



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS CARRERA DE INGENIERÍA EN MANTENIMIENTO AUTOMOTRIZ

**TEMA: MEDICIÓN DE EMISIONES DE CO2 EN CONDICIONES
REALES CON EL USO SEMS
(SMART EMISION MEASUREMENT SYSTEM).**

AUTORES: MENESES ROSAS GONZALO LEONARDO

REVELO OBANDO BORIS CLÍMACO

DIRECTOR: MSc. Fausto Eduardo Tapia Gudiño Ing.

Ibarra, 2023

CERTIFICADO

ACEPTACIÓN DEL DIRECTOR

En mi calidad de director del plan de trabajo de grado, previo a la obtención del título de Ingeniería en Mantenimiento Automotriz, nombrado por el Honorable Consejo Directivo de la Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas.

CERTIFICO:

Que una vez analizado el plan de grado cuyo título es "Medición de Emisiones de CO2 en condiciones reales con el uso SEMS (Smart Emission Measurement System)" presentado por los señores: Revelo Obando Boris Clímaco con número de cédula 040188024-0 y Meneses Rosas Gonzalo Leonardo con número de cédula 040173891-9, doy fe que dicho trabajo reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a presentación pública y evaluación por parte de los señores integrantes del jurado examinador que se designe.

En la ciudad de Ibarra, a los 10 días del mes marzo del 2023.

Atentamente



MSc. Fausto Eduardo Tapia Gudiño Ing.

DIRECTOR DEL TRABAJO DE GRADO



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

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

DATOS DE CONTACTO			
CÉDULA DE IDENTIDAD:	0401880240		
APELLIDOS Y NOMBRES:	Revelo Obando Boris Clímaco		
DIRECCIÓN:	Carchi, Espejo		
EMAIL:	bcreveloo@utn.edu.ec		
TELÉFONO FIJO:	062975014	TELÉFONO MÓVIL:	0967829796
DATOS DE CONTACTO			
CÉDULA DE IDENTIDAD:	0401738919		
APELLIDOS Y NOMBRES:	Meneses Rosas Gonzalo Leonardo		
DIRECCIÓN:	Carchi, Espejo		
EMAIL:	glmenesesr@utn.edu.ec		
TELÉFONO FIJO		TELÉFONO MÓVIL	0959604309
DATOS DE LA OBRA			
TÍTULO:	MEDICIÓN DE EMISIONES DE CO2 EN CONDICIONES REALES CON EL USO SEMS (SMART EMISION MEASUREMENT SYSTEM)		
AUTORES:	Revelo Obando Boris Clímaco, Meneses Rosas Gonzalo Leonardo		
FECHA:	17/03/2023		
SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO			
PROGRAMA:	PREGRADO		
TITULO POR EL QUE OPTA:	INGENIERÍA EN MANTENIMIENTO AUTOMOTRIZ		
ASESOR/DIRECTOR:	MSc. Fausto Eduardo Tapia Gudiño Ing.		

2. CONSTANCIAS

Los autores manifiestan que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos del 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 17 días del mes de marzo de 2023.

AUTORES



Boris Climaco Revelo Obando

040188024-0



Gonzalo Leonardo Meneses Rosas

040173891-9

DEDICATORIA

El presente trabajo de grado lo dedico de manera especial a Dios quien es mi fortaleza y fuerza para enfrentar mis obstáculos de la vida: sin embargo, nada viera sido posible sin el apoyo de mis Padres Leonidas Revelo y Zoila Obando quienes han sido mis guías, sustento y principal fuente de motivación en el transcurso de mi educación. A mis hermanos: Janneth, Esmeralda, Alexis, por su apoyo y confianza que han logrado formar en mí.

Boris Revelo

Este trabajo lo dedico a mis padres Gonzalo y Rosario por su apoyo incondicional y por darme el ejemplo de sacrificio y humildad.

A mi esposa e hijos por ser mi mayor motivación y mi pilar fundamental para culminar mi formación académica.

A mi hermana por ser mi ejemplo de superación y perseverancia para alcanzar mis metas.

Gonzalo Meneses

AGRADECIMIENTO

Mi agradecimiento en primer lugar radica en Dios por permitirme culminar una nueva etapa de mi vida, de igual forma agradecer a mi familia, a mis padres y hermanos, quienes son los principales promotores de mis sueños.

A nuestros compañeros y Docentes de la Universidad Técnica del Norte por formar una parte importante durante nuestro desarrollo académico y profesional durante el transcurso de la carrera.

Boris Revelo

Agradezco a Dios, por concederme una familia hermosa que confiaron en mí y me motivaron a lo largo de mis estudios.

A la Universidad Técnica del Norte por abrirme sus puertas de esta prestigiosa institución y a mis docentes por haberme brindado sus conocimientos y enseñanzas durante todo este proceso académico.

Gonzalo Meneses

ÍNDICE DE CONTENIDOS

	PÁGINA
RESUMEN	XIV
ABSTRACT	XV
INTRODUCCIÓN	XVI
CAPÍTULO I	1
1 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	1
1.1 Objetivos	1
1.1.1 Objetivo General	1
1.1.2 Objetivos Específicos	1
1.2 Justificación	1
1.3 Alcance	2
1.4 Antecedentes	2
1.5 Cambio Climático	3
1.5.1 Fuentes de emisiones de dióxido de carbono	4
1.5.2 Formación del dióxido de carbono en el vehículo	5
1.5.3 Control de las emisiones de CO ₂ de los vehículos	6
1.6 Normativas de emisiones vehiculares	7
1.6.1 Normativas EURO (europa)	7
1.6.2 Ciclos de conducción	8
1.7 Pruebas de emisiones en carretera	9
1.7.1 Ciclo complementario RDE	10
1.8 Dispositivos Portátiles PEMS (Portable Emissions Measurement System)	12
1.8.1 Instalación de los dispositivos PEMS	12
1.8.2 Medición de las emisiones de CO ₂ con equipo PEMS	13
1.9 Sistema de medición SEMS.	13
1.9.1 Registrador de datos (Data Logger)	14
1.9.2 Módulo GPS	14
1.9.3 Arquitectura del sistema SEMS	14
1.10 Validación y comparación de los sistema SEMS y PEMS	15
1.11 Medición del CO ₂ mediante el sistema SEMS	17

CAPÍTULO II	18
2 MATERIALES Y MÉTODOS	18
2.1 Materiales y Equipos	18
2.1.1 Selección del Vehículo	18
2.1.2 Registrador de datos CAN Edge2	20
2.1.3 Módulo GPS	21
2.1.4 Cable DB9- OBD II	22
2.1.5 Cable divisor en Y DB9 – DB9/DB9	23
2.1.6 Tarjeta SD Industrial para CAN Edge2	23
2.2 Procesos Metodológicos	24
2.2.1 Trazado de la ruta de ensayos de emisiones (RDE)	25
2.2.2 Obtención de PIDs	29
2.2.3 Levantamiento de datos	30
2.2.4 Procesamiento de información	31
2.2.5 Cálculo de las emisiones de CO2	35
CAPÍTULO III	39
3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN	39
3.1 Construcción de la ruta de ensayos de emisiones en la ciudad de Ibarra	39
3.1.1 construcción de la ruta 1	40
3.2 Construcción de la ruta 2	42
3.2.1 Ruta de ensayos tramo urbano	43
3.2.2 Ruta de ensayos tramo rural	44
3.2.3 Ruta de ensayos tramo autopista	46
3.2.4 Ruta conforme a la normativa RDE	47
3.2.5 Perfil de la altitud	49
3.2.6 Perfil de velocidades	52
3.2.7 Ciclo de conducción combinado	57
3.2.8 Análisis de la ruta 1 y 2	58
3.3 Consumo de Combustible	59
3.3.1 Consumo de combustible Tramo Urbano	61
3.3.2 Consumo de combustible Tramo Rural	63
3.3.3 Consumo de combustible Tramo Autopista	65
3.3.4 Comparación del consumo de combustible estimado con la ficha técnica vehicular	67
3.4 Emisiones de CO2	69
3.4.1 Emisiones de CO2 Tramo Urbano	69
3.4.2 Emisiones de CO2 Tramo Rural	72
3.4.3 Emisiones de CO2 Tramo Autopista	75
3.4.4 Emisiones de CO2 Combinado	76

CAPÍTULO IV	78
4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	78
4.1 Conclusiones	78
4.2 Recomendaciones	79
BIBLIOGRAFÍA	80
ANEXOS	84

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA NÚM.	PÁGINA
1.1 Características del sistema SEMS y PEMS	16
2.1 Equipos y materiales utilizados en la elaboración del proyecto	18
2.2 Especificaciones del vehículo Ford Escape	19
2.3 Especificaciones técnicas del equipo CAN Edge	20
2.4 Especificaciones técnicas del módulo GPS	22
2.5 Sensores automotrices para el cálculo de las emisiones de CO ₂	35
2.6 Especificaciones del combustible	37
2.7 Especificaciones de CO ₂ quemado por litro de combustible	38
3.1 Tramos en la ruta Urbana	44
3.2 Tramos de la ruta Rural	46
3.3 Detalles de la elevación de la carretera	52
3.4 Velocidad de la ruta 1-ruta 2	58
3.4 Valores calculados del consumo de combustible tramo urbano	61
3.5 Valores calculados del consumo de combustible ciclo rural	64
3.6 Valores calculados del consumo de combustible tramo autopista	66
3.7 Consumo de combustible respecto a la ficha técnica vehicular	68
3.8 Emisiones de CO ₂ por cada kilómetro recorrido tramo urbano	70
3.9 Emisiones de CO ₂ por cada kilómetro recorrido tramo rural	73
3.10 Emisiones de CO ₂ por cada kilómetro recorrido tramo autopista	75
3.11 Comparación de las emisiones de CO ₂ con la ficha técnica vehicular	77

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA NÚM.	PÁGINA
1.1 Gases de efecto invernadero que contribuyen al calentamiento global	4
1.2 Sectores que emiten dióxido de carbono (CO ₂)	4
1.3 Emisiones de CO ₂ originadas por el transporte en la UE	5
1.4 Perfil de velocidades del Nuevo Ciclo de conducción Europeo NEDC	8
1.5 Perfil de velocidades del ciclo WLTP	9
1.6 Perfil de velocidades del ciclo complementario RDE	10
1.7 Perfil de velocidad y altitud de la ruta de ensayos rde dinámica	11
1.8 Vehículo equipado con dispositivo PEMS	12
1.9 Medidor de CO ₂ con sensores NDIR	13
1.10 Integración del sistema SEMS	13
1.11 Arquitectura del sistema SEMS	15
2.1 Ford Escape 2.5L año 2013	19
2.2 CAN Edge2 CAN Bus Data Logger	20
2.3 Módulo GPS y dispositivo IMU	21
2.4 Conector frontal	21
2.5 Conector trasero	21
2.6 Cable DB9 – OBD 2	23
2.7 Cable divisor en Y (DB9)	23
2.8 Tarjeta de memoria SD	23
2.9 Metodología para la estimación de emisiones de CO ₂	24
2.10 Trazo de la Ruta Urbana	26
2.11 Ruta rural	27
2.12 Ruta de Autopista	28
2.13 Flujograma para la obtención de datos	29
2.14 Conexión del registrados de datos y GPS	30
2.15 Decodificación de datos en el software asammdf.	31
2.16 Conversión de datos mdf4 a CSV	32
2.17 Señal del régimen del motor	32
2.18 Señal del sensor IAT	33
2.19 Señal del sensor MAP	33

2.20	Señal del sensor TPS	34
2.21	Señal del sensor MAF	34
2.22	Esquema de las diferentes posibilidades de cálculo del consumo de combustible y las emisiones de CO2 mediante el sensor MAF	35
3.1	Trazado de la ruta 1	40
3.2	Perfiles de velocidad y altitud de la ruta 1	41
3.3	Registro de datos asammdf	42
3.4	Tramo Urbano de la ruta de ensayos	43
3.5	Tramo Rural de la ruta de ensayos	45
3.6	Tramo Autopista de la ruta de ensayos	47
3.7	Ruta de ensayos de emisiones (RDE) en la ciudad de Ibarra	48
3.8	Perfil de la altitud del Tramo Urbano	49
3.9	Perfil de la altitud del Tramo Rural	50
3.10	Perfil de la altitud del Tramo Autopista	51
3.11	Perfil de la altitud de la ruta RDE	51
3.12	Comparación de la velocidad del módulo GPS y ABS en el tramo autopista	53
3.13	Perfil de velocidades tramo urbano	54
3.14	Perfil de velocidades tramo rural	55
3.15	Perfil de velocidades tramo autopista	56
3.16	Perfil de velocidades de la ruta de ensayos RDE	57
3.17	Comparación del consumo de combustible con el uso de sensor MAF y MAP	60
3.18	Consumo de combustible tramo urbano	62
3.19	Consumo de combustible tramo rural	64
3.20	Consumo de combustible tramo autopista	66
3.21	Autonomía de combustible Ford Escape 2013	67
3.22	Consumo de Combustible vehículo Ford Escape 2013	68
3.23	Emisiones de CO2 g/s en el kilómetro 3	71
3.24	Emisiones de CO2 g/s en los kilómetros 7-8	71
3.25	Emisiones de CO2 g/s en los kilómetros 13-14	72
3.26	Emisiones de CO2 g/s en los kilómetros 19-20	73
3.27	Emisiones de CO2 g/s en los kilómetros 24-25	74

3.28 Emisiones de CO2 g/s en los kilómetros 27 - 28	74
3.29 Emisiones de CO2 g/s en los kilómetros 34 - 37	75
3.30 Producción de emisiones de CO2 del vehículo Ford Escape 2013 en la ruta de ensayos de emisiones	76

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO NÚM.		PÁGINA
1.	Consumo de Combustible y emisiones de CO ₂ del vehículo Ford Escape 2013	85
2.	Conexión del Registrador de Datos CAN Edge y el módulo CANmod GPS en el conector OBD II del vehículo Ford Escape 2013	85
3.	Comparación de las señales registradas con el sensor ABS del vehículo y el módulo CANmod GPS.	86
4.	Comparación de la estimación del consumo de Combustible con el sensor MAF y MAP	87
5.	Trazado del tramo Urbano en el programa asammdf	88
6.	Trazado del tramo Rural en el programa asammdf	89
7.	Trazado del tramo Autopista en el programa asammdf	90
8.	Emisiones de CO ₂ g/s Tramo Urbano	91
9.	Emisiones de CO ₂ g/s Tramo Rural	91
10.	Emisiones de CO ₂ g/s Tramo Autopista	92

RESUMEN

El crecimiento vehicular se ha convertido en una de las principales fuentes de contaminación a la atmósfera debido a que emiten gran cantidad de dióxido de carbono y otros gases nocivos, por esta razón países europeos han implementado normativas para la homologación, basado en un ciclo de conducción más real. El objetivo de este trabajo de investigación fue desarrollar una metodología para calcular las emisiones de CO₂ en una ruta de ensayos de emisiones RDE establecida en diferentes zonas de la ciudad de Ibarra mediante un sistema inteligente de medición de emisiones denominado SEMS, el cual aprovecha la interfaz OBD-II del vehículo para recopilar todos los datos de los sensores disponibles (rpm, velocidad del vehículo, Temperatura del Aire, flujo de masa de aire, presión etc.). La implementación de esta metodología se la aplicó en un vehículo a gasolina para determinar el consumo de combustible y las emisiones de CO₂ de manera instantánea, para esto se hizo uso de un registrador de datos CAN- Edge y un módulo GPS. De acuerdo con los datos proporcionados por el vehículo se realizó cálculos matemáticos, que posteriormente se hizo una comparación de los resultados obtenidos con los datos de la ficha técnica del vehículo expuesto a prueba. Los resultados de esta investigación muestran que existe una relación entre la ruta de ensayos RDE con las emisiones de CO₂ principalmente en el tramo urbano debido a que hay mayor número de paradas, y mayor pendiente cuesta arriba, lo que implica que el vehículo ejerza mayor aceleración y potencia. Esto ha hecho que el vehículo consuma más combustible y por lo tanto genere más emisiones de dióxido de carbono. Sin embargo, en los demás tramos de la ruta como es rural y autopista generan altas emisiones cuando el conductor aplica los frenos para reducir la velocidad y luego acelerar para continuar con la circulación.

Palabras clave: CO₂, Contaminación a la atmósfera, Registrador de datos, OBD-II, GPS, RDE, SEMS.

ABSTRACT

Vehicular growth has become one of the main sources of pollution to the atmosphere because they emit a large amount of carbon dioxide and other harmful gases, for this reason European countries have implemented regulations for homologation, based on a more real driving cycle. The objective of this research work was to develop a methodology to calculate CO₂ emissions in an RDE emissions test route established in different areas of the city of Ibarra through an intelligent emission measurement system called SEMS, which takes advantage of the OBD-II interface of the vehicle to collect all the data from the available sensors (rpm, vehicle speed, air temperature, mass air flow, pressure etc.). The implementation of this methodology was applied in a gasoline vehicle to determine fuel consumption and CO₂ emissions instantaneously, for this a CAN-Edge data logger and a GPS module were used. According to the data provided by the vehicle, mathematical calculations were made, which was subsequently made a comparison of the results obtained with the data of the technical sheet of the vehicle exposed to test. The results of this research show that there is a relationship between the RDE test route with CO₂ emissions mainly in the urban section due to the fact that there are more stops, and a greater uphill slope, which implies that the vehicle exerts greater acceleration and power. This has caused the vehicle to consume more fuel and therefore generate more carbon dioxide emissions. However, in the other sections of the route such as rural and highway generate high emissions when the driver applies the brakes to reduce speed and then accelerate to continue with the circulation.

Keywords: CO₂, Air pollution, Data logger, OBD-II, GPS, RDE, SEMS.

INTRODUCCIÓN

Los vehículos que circulan por carretera son una fuente de contaminación que afectan a la salud de las personas y contaminan el medio ambiente, estos vehículos funcionan con combustibles fósiles por ende emiten dióxido de carbono (CO₂), un gas de efecto invernadero que contribuye al calentamiento global. Por tal motivo legislaciones europeas cada vez han ido estableciendo requisitos más rigurosos sobre las emisiones de los vehículos que circulan por la carretera.

A pesar de la implementación de exigentes normativas europeas relacionadas a la contaminación que emite el vehículo por el tubo de escape, las emisiones de CO₂ y el consumo de combustible en condiciones reales (RDE) apenas han cambiado en los últimos años. Una de las razones es que años atrás el procedimiento para la certificación de los vehículos homologados consistía únicamente en laboratorios utilizando ciclos de conducción no representativos como es el ciclo (NEDC). Ciclo que se lo utilizó por mucho tiempo hasta que fue declarado un ciclo engañoso, debido a que no tomaba en cuenta algunos parámetros y factores en la conducción, por lo tanto, las emisiones de CO₂ y el consumo de combustible no eran representativos en el mundo real. Ante este escenario se estableció el ciclo de conducción (WLTP) un ciclo más representativo para analizar las emisiones y el consumo de combustible de los vehículos.

Con este ciclo (WLTP) se ha tenido que implementar laboratorios más sofisticados que simulen una conducción real y también sistemas portátiles de medición de emisiones (PEMS). Estas nuevas implementaciones han permitido que los países desarrollados tengan un mejor control de las emisiones de los vehículos. Sin embargo, muchos países subdesarrollados no cuentan con este control debido a que la implementación de laboratorios o sistemas portátiles es costosa.

Ante esta situación, la presente investigación tiene como objetivo medir las emisiones de CO₂ en condiciones reales con el uso de un sistema de medición de emisiones inteligentes denominado por sus singlas en inglés (SEMS). Este sistema consta de módulos diferentes de bajo costo como: Data Logger y GPS los cuales permitirán adquirir señales del lector OBD II, y señales de posicionamiento del vehículo, con estas señales adquiridas por estos sistemas

se podrá realizar cálculos de las emisiones principalmente de las emisiones de CO₂ que son emitidas por el vehículo en condiciones reales.

El trabajo de tesis se organiza como sigue:

- En una primera parte se informa los ciclos de conducción y los parámetros que debe cumplir la ruta de ensayo de emisiones RDE de acuerdo con las normativas europeas, además la instrumentación a bordo que se utiliza para estimar las emisiones de CO₂.
- En una segunda parte describe los modelos matemáticos que se utilizan para calcular el consumo de combustible y las emisiones de CO₂ en los vehículos a gasolina expuesto a pruebas.
- A continuación, se informa del procedimiento de configuración de los equipos que se utilizarán para la recolección de datos.
- En el capítulo tres se presenta una comparación entre los modelos y los datos experimentales. Estas mediciones se las realiza en una ruta de ensayos RDE en la ciudad de Ibarra.
- En la última parte del documento se exponen las conclusiones y recomendaciones.

CAPÍTULO I

1 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 OBJETIVO GENERAL

Estimar las emisiones de CO₂ de un vehículo liviano en una ruta de ensayo: Real Driving Emission (RDE) Test, mediante un equipo Data Logger y GPS, para la obtención de resultados de gases CO₂.

1.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Trazar una ruta de ensayo de emisiones RDE en la ciudad de Ibarra por medio del módulo GPS, para la estimación de las emisiones de CO₂ en condiciones reales de funcionamiento del vehículo.
- Obtener los PID's del vehículo en tiempo real con el registrador de datos (Data Logger) por medio del conector OBD II, para la recopilación de la información de los diferentes sensores del vehículo.
- Estimar las emisiones de CO₂ en una ruta de ensayo de emisiones (RDE), usando las variables de operación de un vehículo liviano, para su posterior interpretación.

1.2 JUSTIFICACIÓN

Actualmente el crecimiento vehicular en la ciudad de Ibarra ha hecho que sea uno de los principales causantes de enfermedades a las personas y no solo eso, sino también al aumento del calentamiento global, debido a la concentración de emisiones de gases CO₂ que emanan los vehículos por el tubo de escape, aunque en la actualidad estas emisiones ya vienen descritas por el fabricante en la ficha técnica vehicular, sin embargo, existe una considerable diferencia de estos gases cuando el vehículo está expuesto a diversos factores como es la aceleración, velocidad y el tipo de terreno en el que se transita. Es por ello que, la presente

investigación tiene como fin de dar a conocer datos más reales de las emisiones de efecto invernadero precisamente las emisiones de CO₂ que son producidas por el vehículo, sobre todo en una ruta de ensayo (RDE) en la ciudad de Ibarra. Lo cual permitirá que estos datos obtenidos en esta investigación sean de utilidad para futuras investigaciones y lograr mitigar el problema de contaminación ambiental.

1.3 ALCANCE

En este estudio se pretende realizar una estimación de las emisiones de CO₂ que son generadas por un vehículo liviano a gasolina en condiciones reales, para esto se utilizará un Datalogger para registrar las señales de los diferentes sensores por medio del conector OBD-II y a la vez se utilizará un módulo GPS para trazar una ruta de ensayos de emisiones para vehículos ligeros en la ciudad de Ibarra. La cual contará con un tiempo aproximado de 90-120 minutos y una distancia de 51 km distribuidas en tres tramos: urbano, rural y autopista.

Los softwares que permitirán realizar la estimación de las emisiones de CO₂ serán capaces de procesar toda la información de las diferentes señales de los sensores del vehículo. Cabe indicar que la para la lectura de los datos registrados por estos módulos serán realizados en softwares de acceso gratuito asammf.

1.4 ANTECEDENTES

Científicos han dedicado décadas para identificar el principal causante del calentamiento global, pero la única forma de explicar por qué se produce este fenómeno es por la emisión de gases de efecto invernadero que se producen por las actividades que realiza el ser humano (Useros, 2013, p.77).

La mayoría de los gases de efecto invernadero se generan por la quema de los combustibles fósiles que utilizan los coches, fábricas y también en la producción de la electricidad. Según National Geographic (2010), informa que las emisiones de CO₂ también conocidas como dióxido de carbono es el principal responsable del calentamiento global (p.2). A nivel mundial es indiscutible que el sector automovilístico es uno de los principales causantes de las emisiones de gases de efecto invernadero, ya que estas emisiones han venido en aumento debido a que hay más personas que usan medios de transporte (Bedoya, 2016, p.8).

Los países de la unión europea son los responsables del más del 30% de las emisiones de CO₂ principalmente del sector de transporte de las cuales el 72% provienen de los vehículos que circulan por carretera. Como parte de la investigación para reducir estas emisiones los países que conforman la unión europea se ha comprometido a reducir estas emisiones que provienen de este sector. (Duch, 2022, p.2).

Para lograr con el objetivo de reducir las emisiones de CO₂, los países de la unión europea han implementado normativas las cuales permitan medir estas emisiones y determinar el consumo de combustible de los vehículos livianos. (WLTP, Worldwide Harmonised Light Vehicles Test Procedure)” (Unión Europea [UE], 2017, p.1).

Sin embargo, en Ecuador no se ha aplicado un ciclo de conducción o en su defecto un dispositivo PEMS que permita medir las emisiones de CO₂ provenientes del vehículo y proporcionar valores más realistas, para que las entidades gubernamentales y no gubernamentales tomen acciones para mitigar y mejorar la calidad del aire en sus ciudades.

Con este antecedente se ha visto procedente elaborar un proyecto que permita estimar los gases de CO₂ en condiciones reales generadas por un vehículo liviano y a así concientizar a los gobiernos de los rangos de emisiones, que coadyuvará a frenar este fenómeno latente en la contaminación ambiental.

1.5 CAMBIO CLIMÁTICO

El cambio climático se genera debido a las altas concentraciones de las emisiones de efecto invernadero en la atmósfera cómo es el dióxido de carbono (CO₂) el metano (CH₄) y el óxido nitroso (N₂O). Estas emisiones impiden que los rayos ultravioletas salgan de la corteza terrestre por lo que genera el aumento de la temperatura afectando a todos los seres vivos generando múltiples consecuencias como enfermedades respiratorias, infecciones causadas por plagas, extinción de especies animales, disminución del nivel de agua en los ríos, etc. (Rojas, 2018,p.7).

Según Hannappel (2017) dice que el factor que más contribuye al calentamiento del planeta son las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) debido a la quema de los combustibles, tanto en el transporte, construcción, manufactura, generación de electricidad, etc.

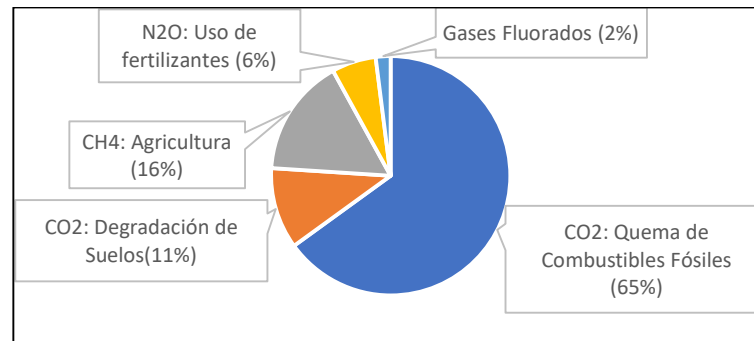


Figura 1.1 Gases de efecto invernadero que contribuyen al calentamiento global (Hannappel, 2017,p.2)

Como se observa en la **Figura 1.1** las emisiones con mayor contribución al calentamiento global son las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) representando el 76% de todos los gases de efecto invernadero. Los cuales el 65% se produce por la quema de los combustibles fósiles y el otro 11% por la degradación de los suelos.

1.5.1 FUENTES DE EMISIONES DE DIÓXIDO DE CARBONO

Como se mencionó en el apartado anterior, el CO₂ es el gas de efecto invernadero que ocasiona el calentamiento global principalmente el que se produce por la quema de los combustibles.

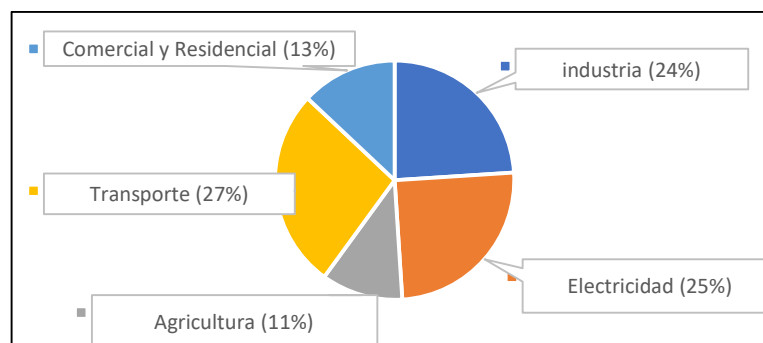


Figura 1.2 Sectores que emiten dióxido de carbono (CO₂) (Agencia de Protección Ambiental [EPA], 2020)

De acuerdo con la **Figura 1.2** El sector con mayor emisión de CO₂ es el transporte esto debido por la combustión de los combustibles que se utilizan para el funcionamiento de los vehículos como es la gasolina, diésel o el metano. Este sector representa el 27% de producción de dióxido de Carbono. Conforme a la agencia de protección del medio

Ambiente (EPA, 2020) más del 90% del consumo de combustible es utilizado para la circulación de barcos, automóviles, camiones, trenes, etc.

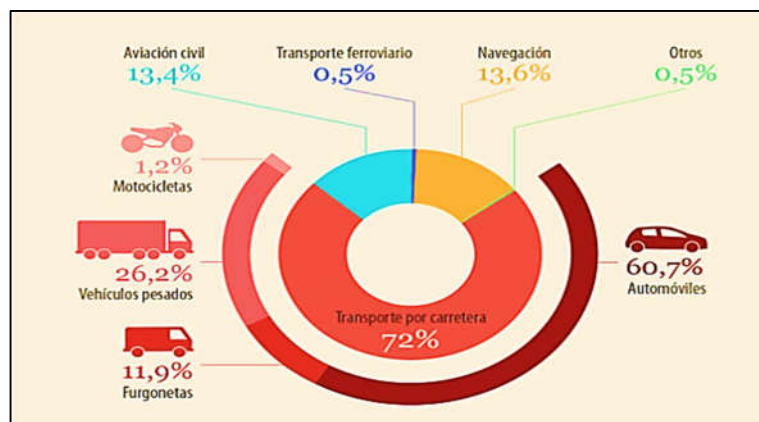


Figura 1.3 Emisiones de CO₂ originadas por el transporte en la UE (Parlamento Europeo 2019)

En la unión europea las emisiones de CO₂ que son generadas por el sector de transporte por carretera representan el 72 % como se observa en la **Figura 1.3** este porcentaje abarca a diferentes medios de transporte como son motocicletas, vehículos pesados, furgonetas y automóviles, este último es uno de los más contaminantes de CO₂ representando el 60.7% de todo el sector de transporte.

1.5.2 FORMACIÓN DEL DIÓXIDO DE CARBONO EN EL VEHÍCULO

El dióxido de Carbono en el vehículo se genera al quemar el combustible que contienen carbono. La combinación del carbono y el oxígeno se produce el dióxido de carbono (CO₂). Con la implementación de los catalizadores en los vehículos, los gases que son resultantes de la explosión de la mezcla aire combustible se canalizan a través de los colectores la cual pasan por una serie de fases produciendo modificaciones químicas en estos gases contaminantes. Estas modificaciones tienen como objetivo reducir la proporción de los gases nocivos como son los hidrocarburos (HxCx), óxidos de nitrógeno (NOx) y el monóxido de Carbono (CO) que se forman en la combustión. Los hidrocarburos se transforman en dióxido de carbono (CO₂) y agua (H₂O).

El monóxido de carbono tiene una transformación en dióxido de carbono. Y el monóxido de nitrógeno (NOx) se reduce el nitrógeno y oxígeno.

Hidrocarburos: $\text{HC} + \text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$

Monóxido de Carbono: $2\text{CO} + \text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2$

Monóxido de Nitrógeno: $2\text{NO} \rightarrow \text{N}_2 + \text{O}_2$

Con esta transformación que realizan los catalizadores los gases contaminantes se transforman en gases menos contaminantes como es el dióxido de Carbono (CO_2).

1.5.3 CONTROL DE LAS EMISIONES DE CO_2 EN LOS VEHÍCULOS

El crecimiento vehicular ha sido uno de los principales responsables de la contaminación del aire y de múltiples enfermedades que ha generado en las personas. Por tal razón, en el año de 1950 han desarrollado estándares que permitan reducir estos contaminantes y a la vez a incentivado a la industria automotriz a desarrollar nuevos métodos en el automóvil con el fin de reducir las emisiones como: hidrocarburos (HC), óxidos nitrosos (NO_x), y el monóxido de carbono (CO) (EPA, 2020).

Con el paso del tiempo la agencia de protección del medio ambiente (EPA) ha venido regulando las emisiones y controlando que los vehículos nuevos tengan una mejor autonomía. En el 2009 luego de realizar un examen minucioso se determina que las concentraciones de los gases de efecto invernadero en la atmosfera amenazan a la salud de las personas y conducen al cambio climático. En el año 2010 se establece un programa para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero en los vehículos livianos del año 2012 al 2016 mejorando la economía del combustible, y estos son los primeros estándares de emisiones de gases de efecto invernadero.

A pesar de la implementación de rigurosas normativas para el control de las emisiones provenientes del vehículo como son los hidrocarburos (HC), monóxido de carbono (CO) y los monóxidos de nitrógeno (NO_x) todavía se tiene una mala calidad del aire. Por lo que en la actualidad la mayor preocupación son las emisiones de CO_2 . La contaminación por la quema de los combustibles fósiles en el sector de transporte está afectando rápidamente el cambio climático (EPA, 2020).

La unión europea ha establecido ciertos objetivos para reducir este gas de efecto invernadero y contribuir con la mejora de la calidad del aire. En el sector de transporte principalmente para los vehículos que circulan por carretera el parlamento europeo ha propuesto normas

estrictas para reducir las emisiones de CO₂. El primero de enero del 2020, el reglamento (UE) 2019/631 entró en vigor en el que se establecieron límites para reducir estas emisiones donde se derogó reglamentos anteriores como es el (CE) n°. 443/2009.

Los beneficios de la implementación de este reglamento contribuye a la consecución que tiene el acuerdo de Paris, además de reducir las emisiones de CO₂ reduce el consumo de combustible debido a que es directamente proporcional a estas emisiones, y finalmente refuerza la competitividad de la industria del automóvil (Valverde, Clairotte, Pavlovic, Giechaskiel, Bonnel, 2020, p.2).

1.6 NORMATIVAS DE EMISIONES VEHICULARES

A medida que el parque automotor crece los países desarrollados están cada vez implementando un mayor número de requisitos en cuanto a la reducción de contaminantes.

En la Unión Europea existen un conjunto de normativas y leyes establecidas para proteger la salud de los seres vivos y el medio ambiente. Es por esta razón que se regulan los valores límites de los gases que emiten los vehículos por el tubo de escape.

1.6.1 NORMATIVAS EURO (EUROPA)

Las normativas Europeas son las que controlan las emisiones generadas por los vehículos principalmente las emisiones que son potencialmente perjudiciales para el medio ambiente y para las personas cómo son los óxidos de nitrógeno, monóxido de carbono, hidrocarburos, y material particulado (Paredes, 2022, p.19).

Las normativas europeas se aplicaron en el año de 1992 que empezó con la normativa EURO1. El objetivo de las normativas euro es controlar las emisiones contaminantes de los vehículos Diesel, Gasolina, vehículos livianos, autobuses, etc. Desde aquel año en adelante se inició teniendo nuevos valores por lo que el sector de transporte tuvo que ajustarse a los cambios de las nuevas normativas (Pesantes, Ortega, Reyes, Rubio, 2021, p.982)

Pero en la actualidad debido al crecimiento vehicular las consecuencias de las emisiones atmosféricas también han aumentado generando grandes perturbaciones hacia el medio ambiente. El objetivo que tienen estas normativas es disminuir las emisiones del dióxido de

carbono CO₂, aplicando técnicas en la fabricación de los vehículos y mejorando el carburante que se utiliza para el funcionamiento del motor. Por esta razón se han establecido las normativas con la finalidad de exigir a los fabricantes de los vehículos a reducir el consumo de combustible.

1.6.2 CICLOS DE CONDUCCIÓN

Un ciclo de conducción es una secuencia de velocidades que se representan con respecto al tiempo, y estas en sí representan patrones de manejo en los vehículos en un determinado sector que puede ser urbano rural o autopista. Al final del ciclo de conducción se analizan los datos de las velocidades que tiene cada viaje. Por lo general la toma de datos se utiliza una frecuencia de 1 Hz (Dávalos, 2017, p.3).

1.6.2.1 Ciclo NEDC

El ciclo de conducción NEDC está considerado como un ciclo de conducción artificial y suave, de acuerdo con las magnitudes de las aceleraciones y velocidades en comparación con una conducción en el mundo real (WLTP). Este ciclo tiene incorporado velocidades y aceleraciones constantes, lo que quiere decir que dentro de este rango de tiempo permitido produce un bajo CO₂ (Spren, Kadijk, Vermuelen, Smokers, Mark, et al., 2016).

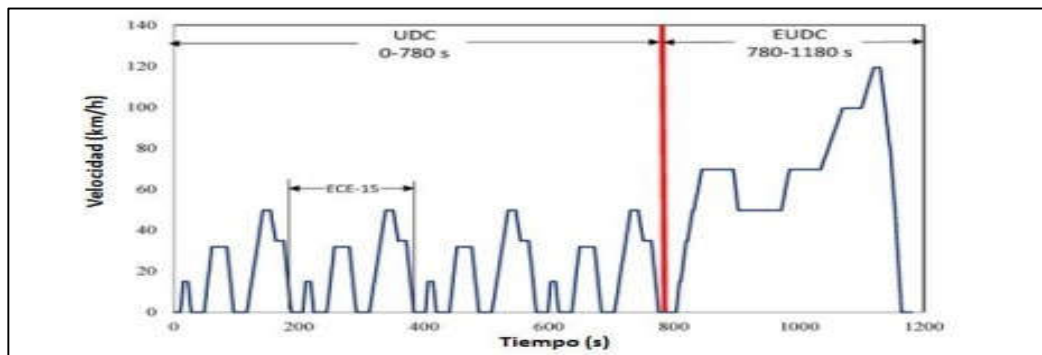


Figura 1.4 Perfil de velocidades del nuevo ciclo de conducción europeo NEDC (Chen 2015)

Cómo se puede observar en la **Figura 1.4** el ciclo NEDC consiste en cuatro ciclos de conducción repetidos ECI-15, y un ciclo de conducción extraurbano EUDC, para certificar a los vehículos se estableció este ciclo de conducción. El ciclo cuenta con una duración de viaje de 20 minutos, una velocidad media de 31.6 Km/h y una distancia de viaje de 11 km.

1.6.2.2 Ciclo WLTP (World harmonized light-duty vehicle test procedure translation).

En los últimos años la normativa WLTC ha sido desarrollado como parte de la normativa WLTP. A partir del año 2013 la WLTC ha sido desarrollada por institutos con programas y equipos especializados, capaces de evaluar diferentes ensayos para la homologación de los vehículos (Spren et al., 2016, p. 25).

Si bien es cierto el ciclo WLTC se acerca más a una conducción realista, y es más apropiado para los automóviles debido a su avance tecnológico. Hoy en día este ciclo se lo utilizan para realizar una medición de las emisiones de CO₂ provenientes del vehículo y más no para la validación de las diferentes emisiones contaminantes (Pulles, 2012).

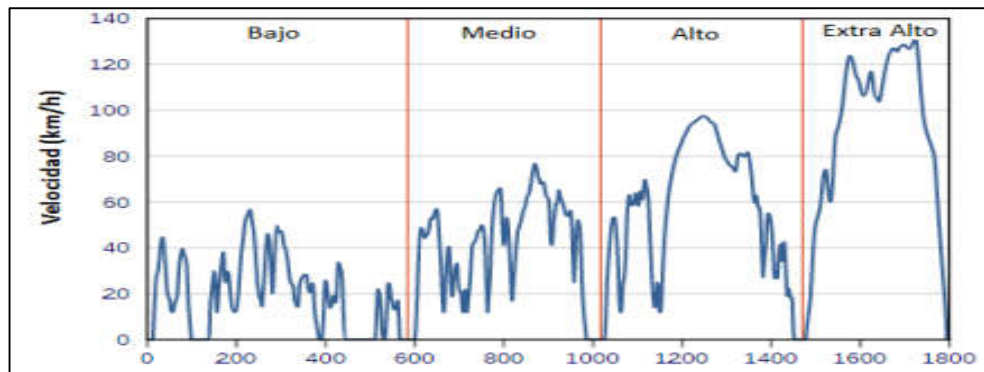


Figura 1.5 Perfil de Velocidades del ciclo WLTP
(Wikner y Thiringer, 2018)

Cómo se puede observar en la **Figura 1.5**, dentro de este procedimiento existen cuatro zonas denominadas bajo, Medio, Alto, y Extra alto. Los procedimientos WLTP determinan la autonomía del vehículo y las emisiones que emite por el tubo de escape. La velocidad de la prueba es de 30 minutos, la distancia de 23,26 km la velocidad máxima de 131,6 km/h y la velocidad media de 46,3 km/h.

1.7 PRUEBAS DE EMISIONES EN CARRETERA

Las pruebas de emisiones en carretera son evaluaciones que se realiza a los vehículos, con la finalidad de analizar la cantidad o porcentaje de emisiones de gases contaminantes al ambiente, se realizan conducciones en carretera que son efectuadas por personal capacitado y con equipos sumamente técnicos. En países europeos se implementaron normativas y

recientemente se introdujo el método de prueba de emisiones de conducción real (RDE), con el propósito de medir las emisiones del motor como NO_x, NO₂, CO, CO₂ y número de partículas. Las pruebas de conducción se realizan en diferentes zonas que ya han sido analizadas previamente, donde en cada sector como en lo Urbano se obtendrá valores diferentes al sector Rural y Autopista permitiendo realizar la comparación de cada uno de estos con la ayuda de los equipos técnicos.

1.7.1 CICLO COMPLEMENTARIO RDE

El ensayo de emisiones en condiciones reales (RDE, Real Driving Emissions) permite verificar las emisiones que emite el vehículo por el tubo de escape se mantengan bajas, incluso en conducción en carretera. Durante este ensayo se conduce al vehículo en diferentes condiciones donde incluyen altitudes, temperaturas, conducciones cuesta arriba, conducciones cuesta abajo, carreteras urbanas (velocidades bajas), rurales (velocidades medias) y autopistas (velocidades altas).

1.7.1.1 Ruta de ensayo de emisiones RDE conforme a la normativa

De acuerdo con los requisitos de viaje sugeridos por la unión europea (UE), esta distancia de cada uno de los tramos debe ser al menos de 16 km. Estas deberían representar el 34%, el 33% y el 33% respectivamente. En el tramo de la ruta urbana debe contener una relación mínima de paradas de 6-30%. Además, la duración total de la ruta de conducción debe estar entre los 90 y 120 minutos (Junker, 2016, p.2).

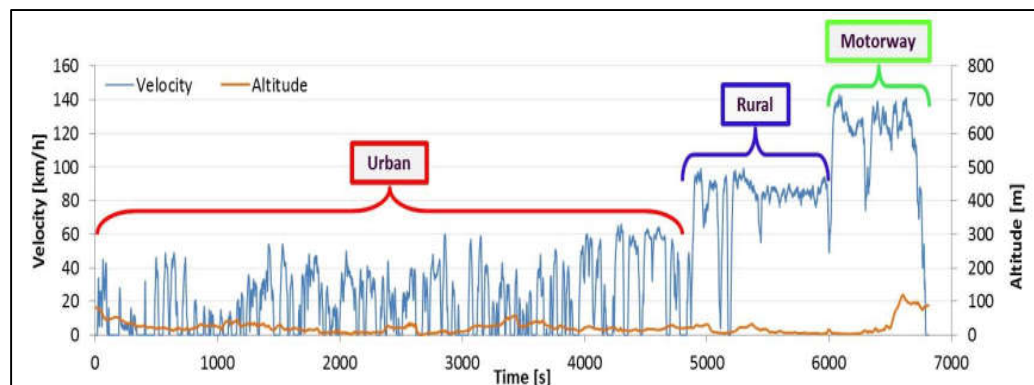


Figura 1.6 Perfil de velocidades del ciclo complementario RDE
(Zisis, Ntziachristos, Dimaratos, Triantafyllopoulos, 2019)

Con respecto al cumplimiento de la normativa estas pruebas se deben realizar en una carretera totalmente nivelada además el estado de las vías deben ser de primer orden para que los perfiles de velocidad sean representativos y puedan alcanzar las velocidades que establece la normativa, como se muestra en la **Figura 1.6**.

1.7.1.2 Ruta de ensayos de emisiones RDE dinámica

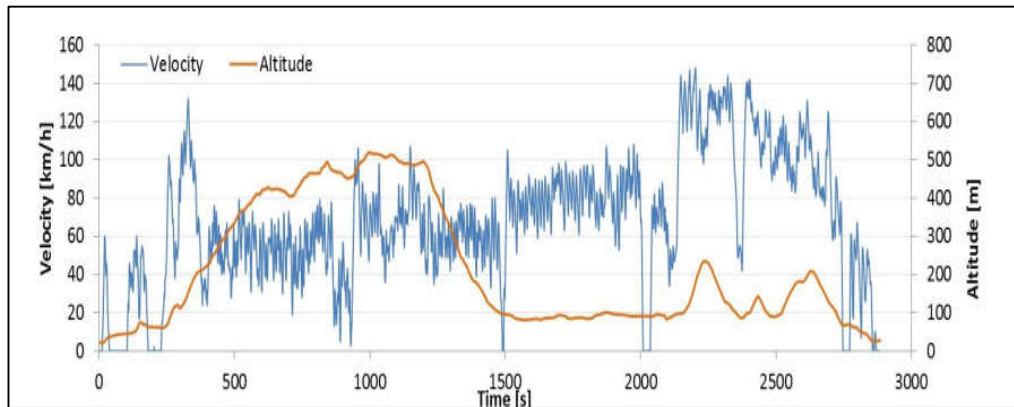


Figura 1.7 Perfil de velocidad y altitud de la ruta de ensayos RDE dinámica (Triantafyllopoulos et al., 2019)

Este tipo de ensayos está diseñado para una conducción más dinámica al igual que el anterior, debe constar con las tres rutas las cuales son: urbana, rural, y autopista con su única diferencia que esta ruta se la realiza con un tipo de conducción más dinámica donde incluye perfiles de altura más representativos, como se muestra en la **Figura 1.7** la altitud de la ruta puede llegar hasta 500m del punto más bajo hasta el punto más alto.

Así como todos los ciclos de conducción de laboratorio cumplen con diferentes parámetros. En este ciclo complementario RDE también debe cumplir con lo siguiente:

- Ciclo urbano: Velocidad máxima de 60 km/h
- Ciclo rural: Velocidad entre 60 y 90 km/h
- Ciclo autopista: Velocidad más de 90 km/h

Estas pruebas se las realiza con el fin de medir las emisiones del vehículo teniendo resultados mucho más representativos a comparación con los valores de las emisiones que otorga los laboratorios. Para estas pruebas en carretera se hace uso de los dispositivos PEMS los cuales van conectados en la parte posterior del vehículo y recopilan la información de las emisiones en tiempo real.

1.8 DISPOSITIVOS PORTÁTILES PEMS (PORTABLE EMISSIONS MEASUREMENT SYSTEM)

Los sistemas portátiles son usados con la finalidad de medir las emisiones que son generadas por los vehículos. Estos son utilizados con el objetivo de obtener datos que permitan determinar el comportamiento del vehículo en diferentes pruebas de conducción en el mundo real, esto es posible gracias a la capacidad que tienen en la toma de datos.

La implementación del equipo PEMS se la puede realizar en los ciclos de conducción: Artemis 130, US06, WLTP, y en una ruta de ensayos RDE, por lo general los equipos portátiles son más utilizados en el ciclo de conducción RDE debido que representa mejores perfiles de velocidad, a comparación del ciclo NEDC que se basa en un perfil de conducción teórico (Paz y Pérez, 2019, p.5).

Para la recopilación de los datos y la medición de las emisiones, estos dispositivos PEMS utilizan diferentes módulos, los cuales van conectados al tubo de escape y a la electrónica del vehículo, de esta manera estos dispositivos registran los datos de una manera instantánea.

1.8.1 INSTALACIÓN DE LOS DISPOSITIVOS PEMS



Figura 1.8 Vehículo equipado con dispositivo PEMS
(Soria, 2017)

Los dispositivos Portátiles PEMS, por lo general vienen instalado diferentes módulos lo cual tienen la capacidad de medir las emisiones de los gases del vehículo. La instalación de estos dispositivos se la realiza en la parte posterior del vehículo, como se muestra en la **Figura 1.8** Estos módulos están alimentados por baterías, por lo que el peso del dispositivo varía del tamaño y este va de los 30 a 150kg, esto puede afectar al consumo de combustible y por ende varía las mediciones de los gases (Norbert, Gerrit, y Richard, 2016, p.8).

1.8.2 MEDICIÓN DE LAS EMISIONES DE CO₂ CON EQUIPO PEMS

La técnica para medir las emisiones CO₂ que realizan los equipos PEMS se denomina NDIR (Kindelán 2016). Los componentes principales de este tipo de sensores de absorción no dispersivos NDIR son: fuente o lámpara de infrarrojos, cámara o tubo de luz, filtro de longitud de onda, detector de infrarrojos (Pulles 2012).

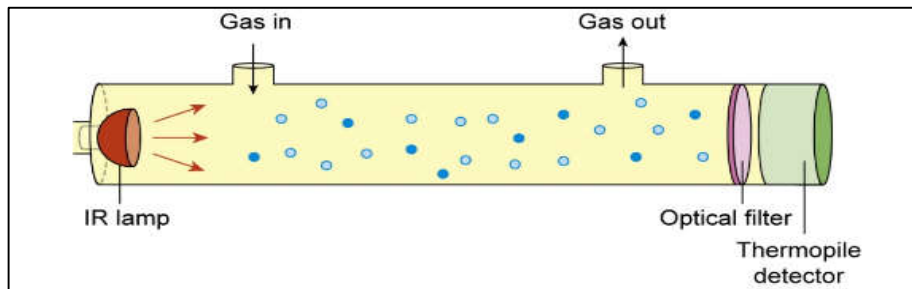


Figura 1.9 Medidor de CO₂ con sensores NDIR
(Mendes, Ogink, Edourard, Mosquera, Dooren, et al., 2015)

En la **Figura 1.9** se muestra la estructura de un sensor NDIR que tiene la finalidad de medir las emisiones de CO₂, donde la lámpara de infrarrojos (IR) dirige las ondas de luz a través del tubo hacia el filtro óptico, y el detector de luz (IR) mide la cantidad de Luz que pasa a través del filtro óptico.

1.9 SISTEMA DE MEDICIÓN SEMS.

El sistema SEMS es desarrollado por la Organización Holandesa (TNO), donde la técnica de medición de estos sistemas está basada en sensores de bajo costo, este comprende un sensor de NO_x, NH₃, una señal GPS la cual mide la velocidad del vehículo y también la altitud de la ruta de conducción, una señal del conector de diagnóstico a bordo (OBD II), este es el más importante debido a que obtiene la información de los diferentes sensores del vehículo (Spren, Kadijk, Vermuelen, Smokers, Mark, et al., 2016).

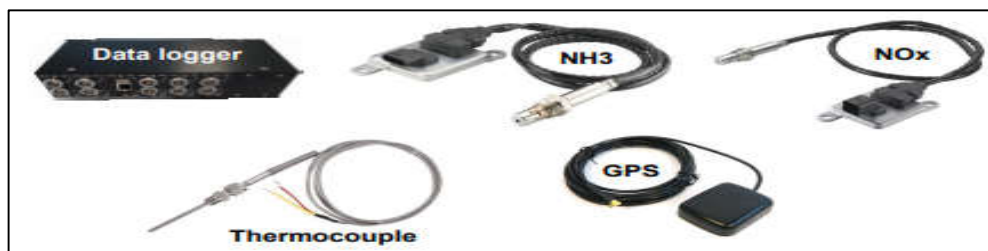


Figura 1.10 Integración del sistema SEMS
(Spren et al., 2016)

Como se puede observar en la **Figura 1.10** al ser este un sistema simplificado de medición de emisiones, este método utiliza un registrador de datos (Data Logger) el cual va conectado a la electrónica del vehículo, además se basa en la combinación de sensores que recopilan la información de las emisiones, algunos parámetros con este sistema se miden de manera directa como son las NOX y NH3 debido a que se instala estos sensores en el tubo de escape.

1.9.1 REGISTRADOR DE DATOS (DATA LOGGER)

Los registradores de datos (Data Logger) son dispositivos electrónicos que tienen la capacidad de monitorear y recopilar datos de diferentes sensores en tiempo real, como voltaje, temperatura, corriente, normalmente estos equipos almacenan toda esta información en una memoria interna, que luego se descarga a una computadora externa para el análisis.

Los data Logger vienen en todas formas, tamaños, tipos y diseños, pero no todos los registradores de datos pueden conectarse a una red CAN BUS del vehículo, pero hoy debido a su estandarización por ISO existen algunos data Logger que han optado por la implementación de esta interfaz (Smith, 2020).

El registrador de datos en los dispositivos SEMS cumplen una función importante para estimar y medir las emisiones del vehículo, debido a la comunicación directa que existe con la electrónica del vehículo y los sensores externos que pueden ser conectados.

1.9.2 MÓDULO GPS

Los sistemas SEMS registran varias señales de velocidad por medio de sensores del vehículo como es el ABS (velocidad de rotación de la rueda), VSS (sensor de velocidad del vehículo) y GPS, de los cuales las señales de velocidad del vehículo tanto ABS y VSS están calibradas para que coincidan con la distancia del vehículo GPS además este módulo sirve para determinar el tipo de carretera (urbana, rural, autopista).

En algunos vehículos la velocidad ABS no está disponible por lo que se hace uso del módulo GPS, y si esta también falta se usa la velocidad del vehículo (VSS) según lo suministrado por el sistema OBD II.

1.9.3 ARQUITECTURA DEL SISTEMA SEMS

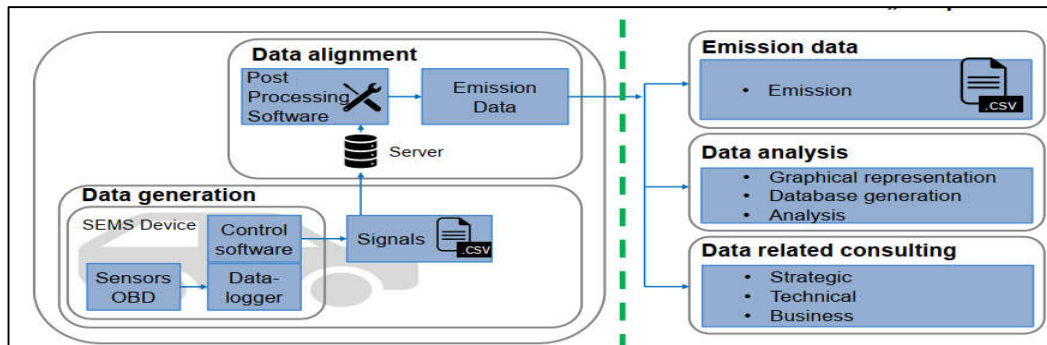


Figura 1.11 Arquitectura del sistema SEMS
(Spreen, et al., 2016)

Los sistemas SEMS para registrar las señales de los diferentes sensores del vehículo y obtener los datos de las emisiones realizan el procedimiento descrito en la **Figura 1.11**.

1.9.3.1 Generación de Datos

Con los debidos procesos y herramientas permite realizar pruebas de medición de emisiones contaminantes en condiciones reales en vehículos, con ayuda de registradores de datos se puede obtener los valores en un momento instantáneo, donde mediante softwares se realiza la importación de estos para efectuar el análisis correspondiente.

1.9.3.2 Captura y transferencia de Datos

Los dispositivos SEMS cuentan con un software (Stars Enterprise de HORIBA) que es capaz de integrar de una forma perfecta todos los sistemas de medición, esta aplicación está basada en la nube y permite una captura automatizada de datos.

1.10 VALIDACIÓN Y COMPARACIÓN DE LOS SISTEMA SEMS Y PEMS

Con el fin de validar los sistemas de medición inteligente SEMS, el vehículo fue sometido a una prueba con el dispositivo portátil PEMS el cual cuenta con un sensor no dispersivo de CO₂ y que va conectado directamente en el tubo de escape y por el otro lado con el sistema SEMS a la electrónica del vehículo. Al aplicar esta comparación los resultados de las emisiones de CO₂ tuvieron una desviación del 8%, aunque estos sistemas SEMS sean menos

precisos que los dispositivos PEMS, el sistema es idóneo para la detección rápida de las emisiones del vehículo. Su margen de error es suficientemente bajo a comparación de las pruebas que están mucho más allá de los límites de emisión (Spren et al., 2016, p.30).

En la siguiente **Tabla 1.1** se realiza una comparación de los diferentes sistemas que permiten medir las emisiones del vehículo de manera directa e indirecta.

Tabla 1.1 Características del sistema SEMS y PEMS

PARÁMETROS	SEMS	PEMS
USO	Medir las emisiones en condiciones reales, y funcionamiento permanente Control del rendimiento de emisiones.	Medir las emisiones en condiciones reales. Control de rendimiento de las emisiones. Pruebas de conformidad en servicio de la Unión Europea.
MEDICIÓN DE GASES	NO _x , O ₂ , NH ₃ , medido con sensores automotrices.	CO, CO ₂ , NO, NO ₂ , NO _x medido con analizadores de gases
EMISIONES	Emisiones absolutas estimadas utilizando señales CAN, por ejemplo: Consumo de combustible Flujo de aire del Múltiple Emisiones de CO ₂ , estimadas en O ₂ .	Emisiones absolutas determinadas con medición alimentada del flujo de gases de escape.
CÁLCULO DE EMISIONES	Para el cálculo de emisiones de CO ₂ utiliza datos de GPS y módulo de control electrónico (ECU): velocidad del motor, velocidad de combustible, señales del sensor MAF O MAP.	Emisiones instantáneas [g/s]. Emisiones específicas del trabajo utilizado el par y la velocidad del motor ECU [g/ kWh]. Emisiones específicas de distancia [g/km] emisiones específicas de CO ₂ [g/Km CO ₂].
EVALUACIÓN DE DATOS	Factor SEMS (SF) El método simula la evaluación de pase error PEMS utilizando datos SEMS.	Factor de conformidad (CF) Aplica normas formales (582/2011/EC).

Fuente: (R. Vermeulen , 2015)

Aunque SEMS es menos preciso que PEMS, el sistema es muy adecuado para una detección rápida de las emisiones de NO_x de un vehículo. Sus márgenes de error son lo suficientemente bajos como para identificar emisiones que están mucho más allá de los límites de emisión. Además, se comparan las concentraciones de volumen de NO_x y CO₂ de SEMS y el analizador en bruto del dinamómetro del chasis. Ambas señales de medición están en línea, especialmente las concentraciones de volumen más bajas. Para las concentraciones más altas de NO_x, es decir de 300 ppm se produce una desviación en la medición (Spren et al., 2016, p.35).

1.11 MEDICIÓN DEL CO₂ MEDIANTE EL SISTEMA SEMS

Se cabe mencionar que este dispositivo no mide las emisiones de CO₂ de una manera directa, este modelo microscópico no proporciona el flujo total de las emisiones del caudal de escape en (mg/s), por lo tanto, este modelo utiliza el flujo de aire del sensor (MAF) de las señales del OBD II del vehículo, juntamente con el contenido de carbono e hidrógeno del combustible además las concentraciones del oxígeno en el tubo de escape, para el cálculo de las emisiones tanto de CO₂ como de NO_x (Vermeulen, Van, Baarbe, Spreen, Vonk, 2014).

Esto quiere decir que el dispositivo SEMS no utiliza un sensor no dispersivo (NDIR) como en los sistemas PEMS, debido a que este sistema utiliza la electrónica del vehículo para medir la cantidad de CO₂ que emite el vehículo por el tubo de escape.

1. La concentración de las emisiones de CO₂ se determina a partir de la concentración restante del oxígeno O₂, esto en comparación con la concentración del oxígeno del medio ambiente.
2. El flujo de las emisiones de CO₂ se determina a partir del sensor MAF y la concentración del oxígeno; Este flujo másico de entrada es la suma del sensor MAF y el consumo de combustible.
3. El consumo de combustible se calcula a partir del flujo de CO₂ por el balance de carbono.
4. El caudal del escape (kg/s) va a ser igual al flujo másico de entrada.

CAPÍTULO II

2 MATERIALES Y MÉTODOS

Para cumplir con el objetivo de este trabajo de grado el cual es estimar las emisiones de CO₂ en condiciones reales, fue necesario seguir una metodología paso a paso para obtener y calcular todos los parámetros necesarios. Estos fueron desde el trazado de la ruta de ensayos RDE en la ciudad de Ibarra, y luego proceder con el cálculo del consumo de combustible y finalizar con la estimación de las emisiones de CO₂.

Para cumplir con este procedimiento fue necesario hacer uso de equipos que permitan tener comunicación con el vehículo para registrar los datos en tiempo real y posteriormente procesar las señales en programas que sean capaces de realizar cálculos matemáticos.

2.1 MATERIALES Y EQUIPOS

Los Materiales y Equipos utilizados para la construcción de la Ruta de ensayos y la obtención de las señales del conector OBD II del vehículo se describen en la **Tabla 2.1**

Tabla 2.1 Equipos y Materiales utilizados en la elaboración del Proyecto

Cantidad	Descripción
1	Data Logger CAN Edge
1	Módulo GPS
1	Dispositivo IMU
1	Cable DB9- OBD2
1	DB9-DB9/DB9 conexión a CAN Edge
1	Micro SD extraíble 8GB

2.1.1 SELECCIÓN DEL VEHÍCULO

La selección del vehículo es muy importante para poder realizar la estimación de las emisiones de CO₂, para ello se realizaron varias pruebas en diferentes autos principalmente a gasolina con el fin de seleccionar el adecuado, tomando en consideración que el vehículo permita tener una comunicación con el registrador de datos mediante el conector OBD II.

Luego de realizar diferentes pruebas de conexión del registrador de datos en diferentes vehículos, se llegó a elegir el vehículo Ford Escape año 2013 el cual tiene una certificación OBD II y accedió fácilmente a la información del vehículo.



Figura 2.1 Ford Escape 2.5 L año 2013

El vehículo que se muestra en **Figura 2.1** tuvo una conexión con el registrador de datos (Data-Logger) y fue procedente realizar las respectivas pruebas para evaluar las señales de los diferentes sensores. En la **Tabla 2.2** descrita a continuación, se detallan las características con sus respectivos valores del vehículo seleccionado.

Tabla 2.2 Especificaciones del vehículo Ford Escape

CARACTERÍSTICAS	DETALLES	VALORES
INFORMACIÓN GENERAL	Marca/ Modelo /Generación/Año	Ford / Escape/ Escape III/ 2013
RENDIMIENTO	Consumo de combustible urbano Consumo de combustible extraurbano Consumo de combustible combinado Combustible Relación peso/ potencia	10.7 l /100 km 7.6 l /100 km 9.4 l /100 km Gasolina 9.5 kg/CV, 105.4 CV/Tonelada
MOTOR	Potencia máxima Potencia por litro Par máximo Cilindrada real Distribución de los cilindros	168 CV@6 000 rpm 67.5 CV/l 230 Nm @4 500 rpm 2 488 cm ³ En línea
VOLUMEN Y PESO	Peso en orden de marcha Capacidad del depósito de combustible Peso de remolque frenado (12%)	1 594 kg 58 L 680 kg

Fuente: (Luis Hernández 2015)

2.1.2 REGISTRADOR DE DATOS CAN Edge2

El registrador de Datos CAN Edge2 es un dispositivo pequeño que se conecta al puerto OBD II para registrar datos, realizar pruebas de campo, diagnóstico y mantenimiento del vehículo, este dispositivo permite el registro independiente de datos desde el bus CAN y LIN a una tarjeta SD.



Figura 2.2 CANEdge2 CAN BUS Data Logger
(CSSElectronics, 2021)

El registrador de datos que se observa en la **Figura 2.2**, cuenta con dos puertos DB9, denominados CH1 y CH2. El canal CH1 se lo utilizó para realizar la conexión con el vehículo mediante el puerto OBD II y el canal CH2 para realizar la conexión con el módulo GPS. Toda la información recolectada de estos dos canales se almacena en la tarjeta de memoria de este módulo. En la **Tabla 2.3** se detalla las especificaciones del equipo y los accesorios que se debe utilizar para realizar las respectivas conexiones.

Tabla 2.3 Especificaciones Técnicas del Equipo CAN Edge

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL EQUIPO CAN EDGE		
GENERAL	Origen Software Documentación	Dinamarca 100% libre de código abierto y gratuito Documentación en línea/ Dinamarca
REGISTRADOR DE DATOS	Tarjeta SD Formato del archivo Configuración	Micro SDHC industrial extraíble de 8-32 GB Archivo MDF4 Opciones de configuración avanzada
CAN BUS	Canales Protocolos	2 x CAN/CAN FD + 2 x LIN 2.0 (slaves) J 1939, OBD, CAN open, NMA2000, FD
SUMINISTRO	Conector Suministro de Insumos Consumo Cota Peso Led Temperatura	2 x DB9 (Cables adaptadores) + 7 V a + 32 V DC a través del canal 1 DB9 < 1 w 55,5 x 81,4 mm (Largo Ancho x alto) 100 g 5 leds externas (PWR, CH1, CH2, CH3, MEM, WFI) -25 °C a + 75 °C

Fuente: (CSSElectronics, 2021)

2.1.3 MÓDULO GPS

El módulo GPS de CSS Electronics produce posición GNSS y datos de inercia 3D, esto gracias a que este módulo cuenta con un giroscopio y un acelerómetro, que puede ofrecer un posicionamiento continuo a través de estimaciones basadas en el dispositivo IMU. Los datos de salida que emite este dispositivo son de 1 Hz y es compatible con diferentes satélites GPS.



Figura 2.3 Módulo GPS y dispositivo IMU
(CSSElectronics, 2021)

El módulo CANmod GPS que se muestra en la **Figura 2.3** se utilizó para realizar la trazabilidad de la ruta de ensayos en la ciudad de Ibarra, este dispositivo cuenta con ciertas especificaciones técnicas que se tomó en cuenta antes de realizar las conexiones con el vehículo.

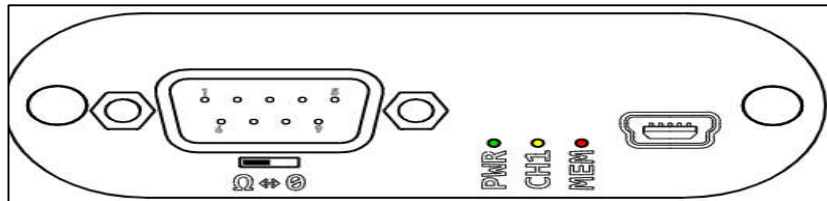


Figura 2.4 Conector Frontal
(CSSElectronics, 2021)

En la parte frontal como se muestra en la **Figura 2.4** este cuenta con un conector DB9 el cual cumple la función de alimentar y comunicar con el CAN-Bus, además utiliza un conector mini USB para la configuración y las actualizaciones del firmware.

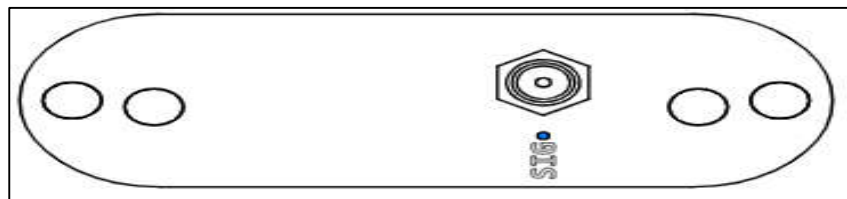


Figura 2.5 Conector Trasero
(CSSElectronics, 2021)

En la parte trasera el dispositivo mostrado en la **Figura 2.5** cuenta con un conector SMA para una conexión con la antena GNSS.

En la **Tabla 2.4** se presenta las especificaciones técnicas del módulo GPS y el sensor IMU

Tabla 2.4 Especificaciones Técnicas del Módulo GPS

GENERAL	Funcionalidad	Dispositivo configurable
	Configuración	Archivo de configuración de código abierto.
	Software	Herramienta gratuita de edición de código abierto.
SENSOR (GNSS/IMU)	Módulo	Sensor u-blox (72 canales) calidad profesional con un giroscopio y acelerómetro.
	GNSS	Admite combinaciones de GPS, Galileo, BeiDou, Glonass.
	Fusión de Sensores	Precisión de posición mejorada
	Precisión	Posición: 2.5m Rumbo: 1° (50 % a 130 m/s) Velocidad: 0.05 m/s
PARÁMETROS DE DATOS	Señales CAN	Posición GNSS: Información de longitud y latitud (1 HZ).
		Hora GNSS: (1HZ).
		Velocidad de desplazamiento en m/s (1HZ).
		Odómetro: Distancia recorrida (1 Hz).
		velocidad angular basada en giroscopio y aceleración basada en acelerómetro (x, y, z) (100 Hz).
MECÁNICO	Conector	Un conector estándar (DB9).
	LED	Estado del módulo a través de cuatro LED: alimentación, memoria, GNSS, bus CAN
	Temperatura	Temperatura de funcionamiento -25 ° C a +70° C.
	Antena GPS	U-blox ANN-MS-0-005 (enchufe SMA, cable de 5 m, base magnética).

Fuente: (CSSelectronics, 2021)

2.1.4 CABLE DB9- OBD II

El cable DB9 -OBD II Se lo utilizó para la conexión del registrador de datos CAN Edge2 con el conector abordo OBD II, brindando acceso a los datos del vehículo. Este cable tiene una longitud de 1.5 m Lo cual facilita la manipulación del registrador de datos.



Figura 2.6 Cable DB9 – OBD 2
(CSSElectronics, 2021)

Como se puede observar en la **Figura 2.6** el cable DB9 -OBDII tiene dos extremos, uno de ellos va conectado al vehículo por medio del conector OBD II y el otro va conectado al equipo CAN Edge2.

2.1.5 CABLE DIVISOR EN Y DB9 – DB9/DB9



Figura 2.7 Cable divisor en Y (DB9)
(CSSElectronics, 2021)

El cable divisor en Y DB9 – DB9/DB9 que se muestra en la **Figura 2.7** permite conectar varios dispositivos a un solo puerto, esto se logra a través de los conectores macho a hembra/hembra. El conector macho conecta al registrador de datos y el conector hembra a demás módulos, por ejemplo; el módulo GPS, el módulo de temperatura, o el módulo de entrada para señales de sensores externos.

2.1.6 TARJETA SD INDUSTRIAL PARA CAN Edge2



Figura 2.8 Tarjeta de memoria SD
(CSSElectronics, 2021)

El registrador de datos CAN Edge2 viene con una tarjeta de memoria SD de 8-32 GB la cuál almacena los parámetros del vehículo. Además, se la utilizó para actualizar el firmware del del equipo y actualizar el esquemas de reglas para el correcto funcionamiento. Para la facilitar la conexión con el computador esta viene con un adaptador SD como se muestra en la **Figura 2.8**.

2.2 PROCESOS METODOLÓGICOS

En el flujograma que se presenta continuación ayudó con el desarrollo de la investigación, el cual resume todo el procedimiento a seguir para cumplir con los objetivos establecidos.

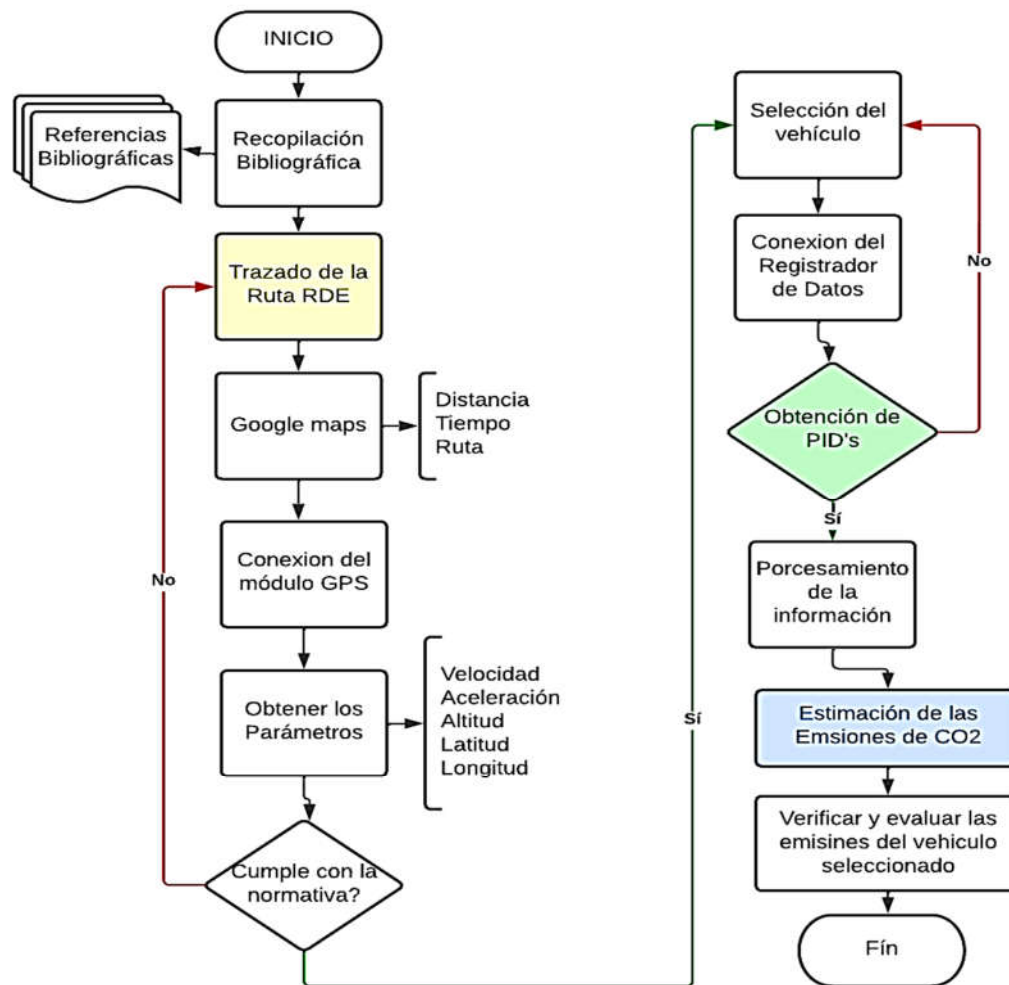


Figura 2.9 Metodología para la estimación de emisiones de CO2

Como se observa en la **Figura 2.9**, En la primera parte se tiene la recopilación bibliográfica la misma que fue necesaria para la sistematización de la información del tema.

Luego se definió el procedimiento para el desarrollo del trazado de la ruta de ensayos de emisiones RDE en la ciudad de Ibarra, la misma debe regirse a ciertos requisitos establecidos por la normativa europea.

En la selección del vehículo se comprobó que el registrador de datos tenga comunicación con la unidad de control electrónico ECU además cuente con los sensores que permitan estimar tanto el consumo de combustible como las emisiones de CO₂, para finalmente realizar una comparación de los valores obtenidos con los valores referenciales establecidos por el fabricante del vehículo.

2.2.1 TRAZADO DE LA RUTA DE ENSAYOS DE EMISIONES (RDE)

Para medir las emisiones del vehículo en una conducción real se debe trazar una ruta de ensayos, este trazado debe cumplir con ciertos requisitos que son establecidos por las estrictas normativas europeas. Como se mencionó en el capítulo anterior la ruta debe contar con tres tramos secuenciales como son urbano, rural y autopista, cada uno estos con una distancia mínima de 16 km, un tiempo total que puede variar de 90 a 120 minutos, y los límites de velocidad para el tramo urbano hasta 60km/h, en el tramo Rural hasta 90 km/h y en el tramo de autopista hasta 130 km/h. Por lo tanto, en el tramo Rural y Autopista se debe trazar de acuerdo con el estado de la vía y que debe estar conectada secuencialmente.

En esta investigación que tiene como objetivo estimar las emisiones de CO₂ en una conducción real en la ciudad de Ibarra fue necesario realizar un trazado de la ruta de ensayos de emisiones (RDE), Para lo cual se implementó la metodología descrita en la **Figura 2.9**.

2.2.1.1 Trazado de la ruta de Ensayos con la aplicación Google Maps

Con la aplicación Google Maps se estableció el trayecto que se debe seguir al momento de empezar a realizar las pruebas en el vehículo, además dio cumplimiento con algunos requisitos que lo establece la normativa como es la distancia y el tiempo. Para el tramo urbano se estableció la ruta que se muestra en la figura a continuación.

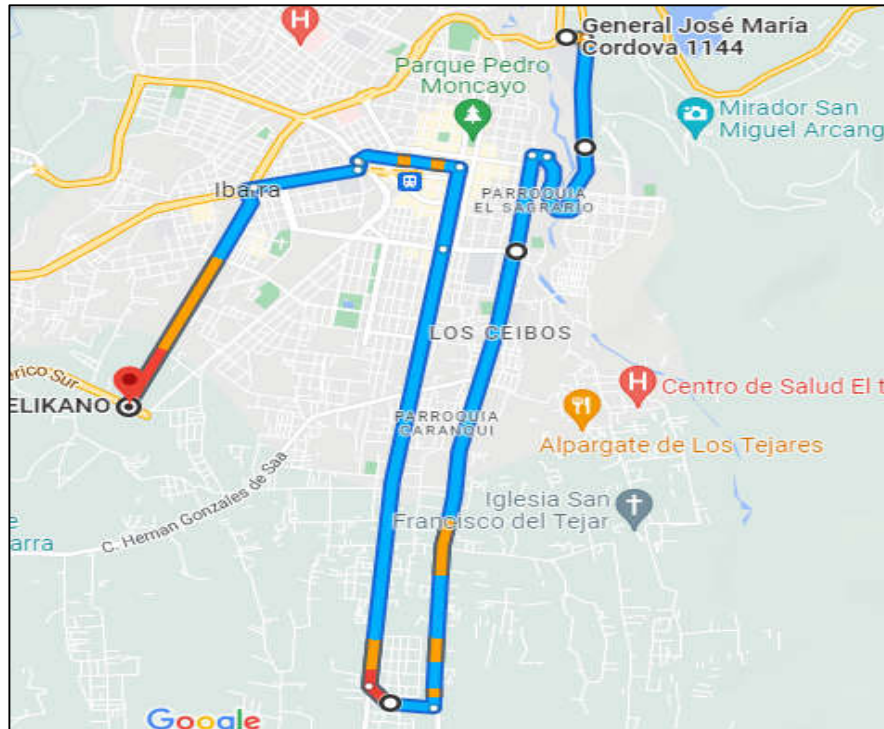


Figura 2.10 Trazo de la Ruta Urbana

Como se observa en la **Figura 2.10** el trazado de la ruta urbana tiene una distancia de 16 km y un tiempo aproximado de 60 minutos, además está constituida por 8 tramos como se describe a continuación:

- **Inicio:** Universidad Técnica del Norte
- **Tramo 1:** Calle Juan José Flores
- **Tramo 2:** Calle Juan Montalvo
- **Tramo 3:** Av. Retorno
- **Tramo 4:** Av. Atahualpa
- **Tramo 5:** Calle Simón Bolívar
- **Tramo 6:** Calle Pedro Moncayo
- **Tramo 7:** Av. Mariano Acosta
- **Fin:** Av. Camilo Ponce Enríquez

Al igual que en la ruta urbana se procede a realizar el trazado de la ruta Rural, se cabe mencionar que en este tramo no se tomó en consideración la sectorización sino más bien que el trazado cumpla con las velocidades y que tenga una conexión con las rutas urbana y autopista.

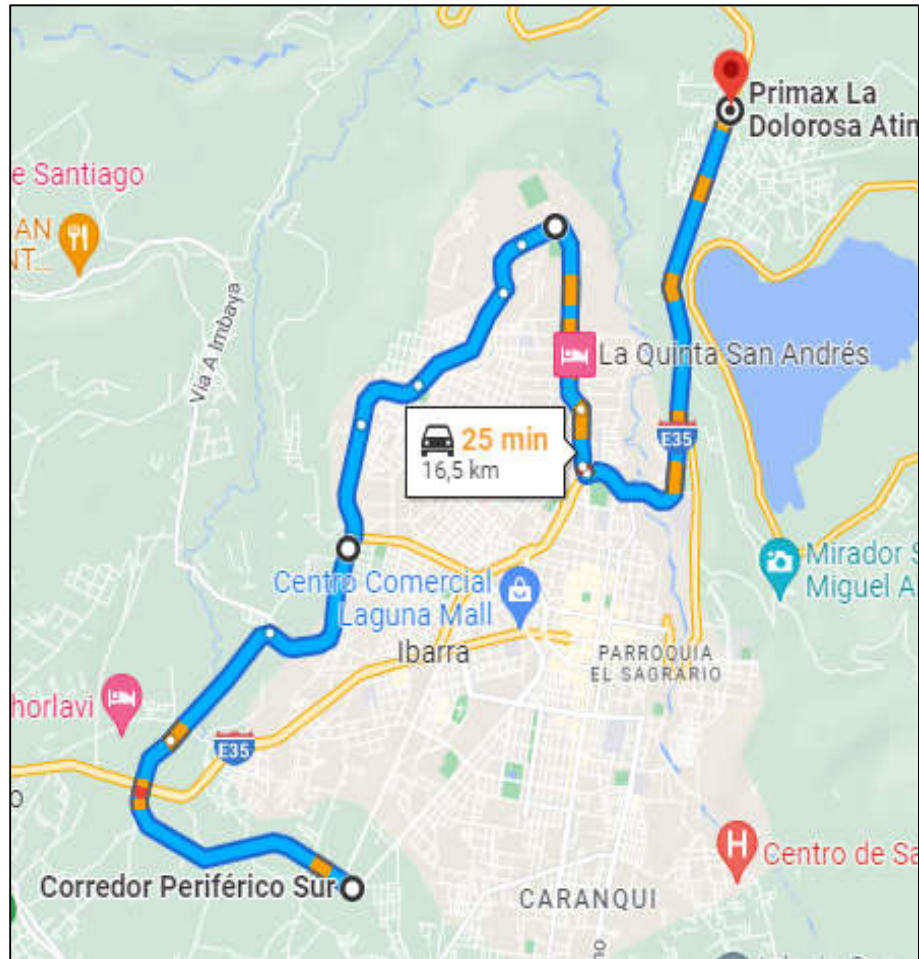


Figura 2.11 Ruta Rural

Como se muestra en la **Figura 2.11** este trazado tiene una distancia de 16.5 km y un tiempo aproximado de 25 minutos, además esta ruta está constituida por 6 tramos como se detalla a continuación:

- **Inicio:** Corredor Periférico Sur
- **Tramo 1:** Corredor Periférico Norte
- **Tramo 2:** Av. Fray Vacas Galindo
- **Tramo 3:** Av. Monseñor Leonidas Proaño
- **Tramo 4:** Av. Cotopaxi
- **Tramo 5:** Av. 13 de abril, hasta la Panamericana Norte
- **Fin:** Panamericana Norte hasta la gasolinera Primax La Dolorosa.

A continuación, se realiza el trazado de la ruta autopista la cual tiene una distancia de 17.5 km y un tiempo aproximado de 17 minutos.

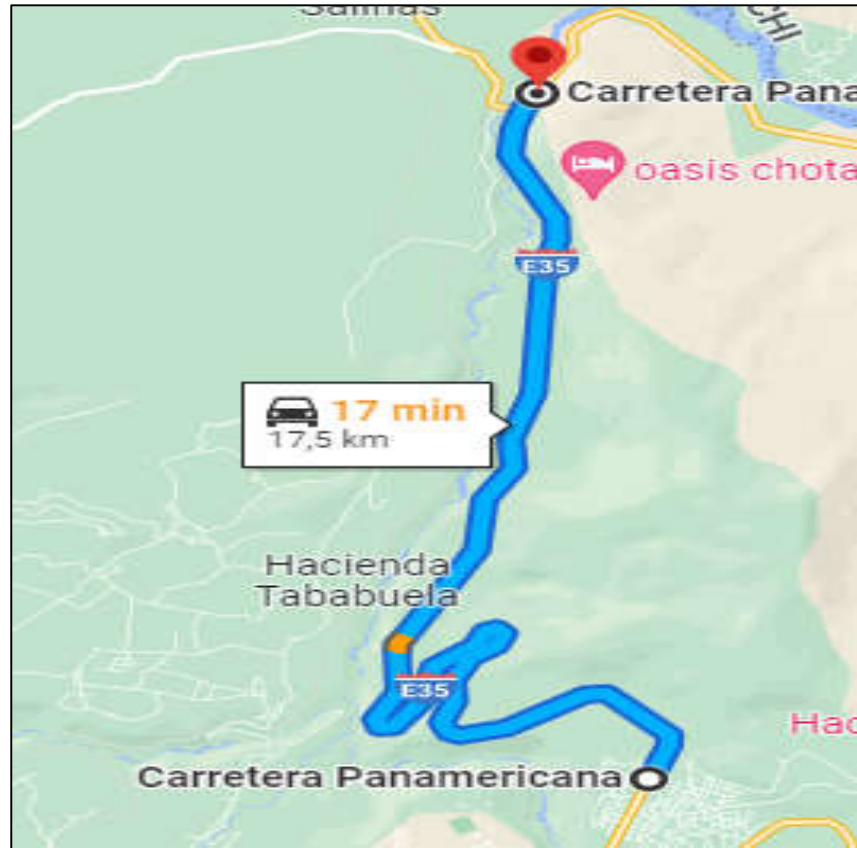


Figura 2.12 Ruta de Autopista

Como se muestra en la **Figura 2.12** el trazado de la ruta inició desde la gasolinera Primax La Dolorosa, hasta el desvío a salinas por la vía Ibarra el Juncal.

Finalmente, este trayecto cuenta con una distancia de 50 km y un tiempo aproximado de 102 minutos. Para determinar los perfiles de velocidad y el perfil de la altitud se realizaron las conexiones de los módulos CANmod-GPS y el módulo CANedge2.

2.2.1.2 Conexión del módulo GPS

Para registrar los datos de posición y ubicación primero se tiene que energizar el dispositivo a través de los cables estándar DB9-J1939 (camiones, autobuses), DB9-OBDII (coches, camiones) o se puede utilizar cables personalizados donde su alimentación sea de 5-26 V CC. En este caso para energizar el dispositivo se realizó una conexión al segundo puerto del módulo CANedge2 mediante un cable DB9-DB9/DB9 y este a la vez conectado al puerto OBDII con un cable OBDII-DB9, Tomando en cuenta que para energizar el segundo puerto del módulo CANedge2 se lo realizó en su configuración.

2.2.2 OBTENCIÓN DE PIDS

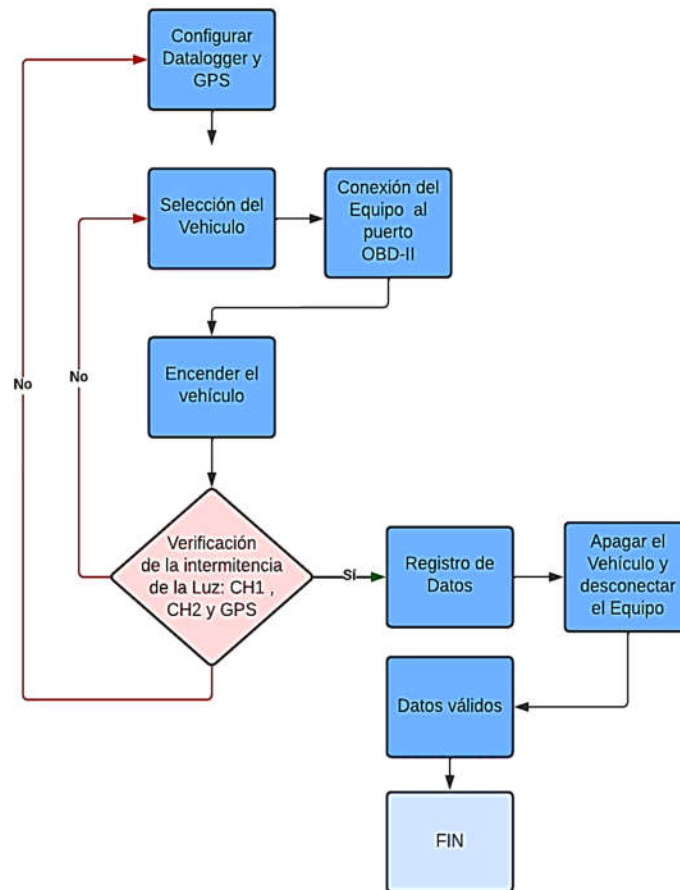


Figura 2.13 Flujograma para la obtención de Datos

Esta prueba consiste en la recolección de los datos de los diferentes sensores mediante la conexión del equipo CAN Edge al puerto OBDII del vehículo, para ello se utiliza el siguiente esquema de reglas como se indica en **Figura 2.13**.

2.2.2.1 Configuración de los módulos CANEdge2 y CANmod-GPS

Antes de realizar la conexión de estos módulos al vehículo se realizó una configuración en la tarjeta de memoria SD del dispositivo. Para lo cual se utilizó el manual descrito por el fabricante que se encuentra en el siguiente sitio web: <https://www.csselectronics.com/>. Para este caso de estudio la configuración que se realizó en el equipo CAN-Edge fue limitar la tasa de Bits aproximadamente a 1 HZ (1 dato por segundo) de los diferentes sensores del vehículo seleccionado. Además, se realizó la configuración de puertos del equipo CAN-Edge para tener una conexión con el equipo GPS.

2.2.2.2 Conexión del registrador de datos al Puerto OBD II y GPS

Las conexiones del registrador de datos al vehículo se realizaron mediante el manual del fabricante para evitar conexiones erróneas o en su defecto dañar este equipo. A continuación, se detallan algunos puntos que se tomó en cuenta antes de realizar la conexión.

- Verificación del Pin de salida: verificación del CAN-Edge2, el cable adaptador y los puertos de salida.
- Verificación del cableado: confirmar que los cables CAN L/H estén conectados.
- Verificación de la fuente de alimentación: verificar que proporcione una fuente de alimentación al conector CH1 de 7-32V.
- Verificación que el equipo esté conectado a un Bus CAN válido y que esté transmitiendo datos, esto se comprueba cuando las Leds del equipo se encienden correctamente.



Figura 2.14 Conexión del Registrados de Datos y GPS

En la **Figura 2.14** se aprecia la conexión del Registrados de Datos y el Módulo GPS al conector OBDII del vehículo a prueba.

2.2.2.3 Verificación de registro de datos

Después de realizar la configuración y conexión tanto del equipo CAN-Edge como GPS se verifica que los datos se estén registrando en la tarjeta de memoria, y esto se lo realiza con una inspección visual del estado de las Leds.

2.2.3 LEVANTAMIENTO DE DATOS

Estos módulos al trabajar con una programación de código abierto se puede extraer la información de diferentes formas: Una de estas es realizando una conexión a una base de

datos e ir registrando de manera instantánea, y la otra forma más práctica es extrayendo la tarjeta SD y luego conectar a un pc externo. En esta investigación para el levantamiento de datos se realizó de la segunda forma que es, extrayendo la tarjeta de memoria del equipo y conectando a un pc externo debido que su interpretación de señales se las realiza en softwares gratuitos y fáciles de usar.

2.2.4 PROCESAMIENTO DE INFORMACIÓN

Una vez obtenido los datos del vehículo por el dispositivo CAN-Edge se realizó una decodificación del formato MDF4 a un formato que permita leer los datos fácilmente, para ello se utilizó el software GUI asammdf.

2.2.4.1 Software GUI asammdf.

Este software es un analizador y editor de archivos MDF (formato de archivos de medición). En el proyecto este software permitió decodificar y crear diagramas en tiempo real para el análisis de las señales que fueron registradas por los equipos CAN-Edge y GPS.

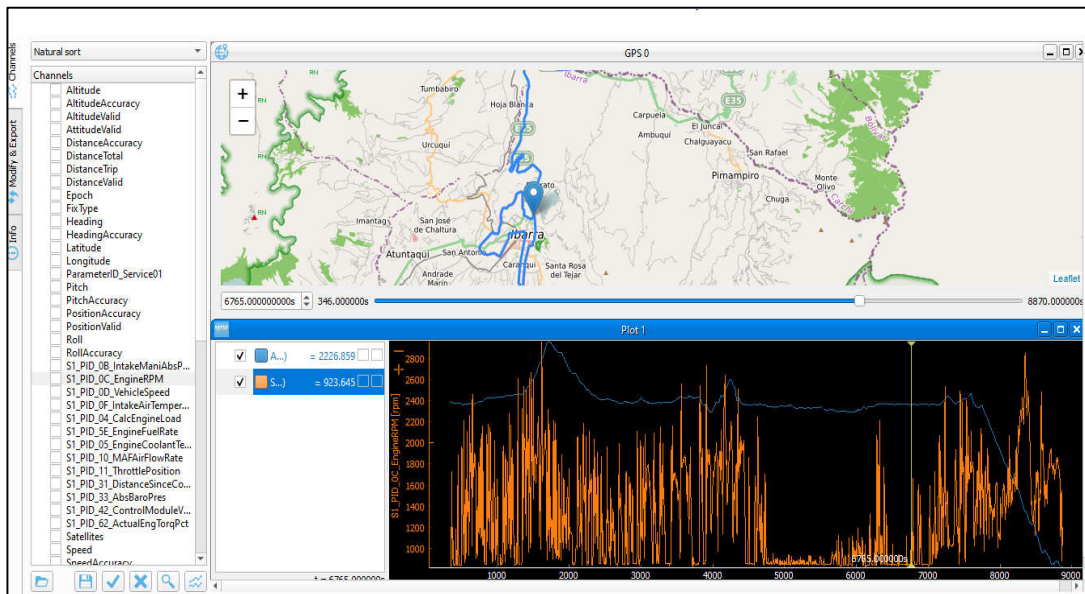


Figura 2.15 Decodificación de datos en el software asammdf.

Como se observa en la **Figura 2.15** la interfaz dinámica del software facilitó la interpretación de las señales registradas por los diferentes módulos. No solamente esto, sino que también permitió generar un archivo en formato “CSV”.

timestamps	Altitude	Latitude	Longitude	S1_PID_08_IntakeMani	S1_PID_OC_EngineRPM	S1_PID_OD_VehicleSpeed	S1_PID_OF_IntakeAirTemperature
14	2257.82796	0.340477	-78.145421	29	600.0432	0	54
15	2257.8	0.340476316	-78.145421	29	598.6359364	0	54
16	2257.8	0.340476	-78.14542171	29	599.18195	0	54
17	2257.8	0.340476	-78.145422	29	601.4543546	0	54
18	2257.8	0.340476	-78.145422	29	600.409091	0	53.97081704
19	2257.731223	0.340476	-78.14542269	37	592.7155284	0	53.87082404
20	2257.7	0.340475297	-78.1454237	40	622.0780422	0	53.77083104
21	2257.631862	0.340473637	-78.14542605	44	558.3137373	2	53.67083804
22	2257.672973	0.34047081	-78.14542992	50	660.2658532	2	53.57084504
23	2257.563025	0.340467944	-78.14543443	50	725.411653	2	53.47085204
24	2257.571512	0.340464138	-78.14543958	46	832.7744726	2	53.37085904
25	2257.525407	0.340460761	-78.14544324	44	759.2554	1	53.27086604
26	2257.350415	0.340459252	-78.1454455	36	854.6439856	0	53.17087304
27	2257.150711	0.340459	-78.145446	27	750.5023498	0	53.07088004
28	2257.025854	0.340459742	-78.145446	31	621.933	0	52.94177611
29	2256.926202	0.340460738	-78.14544452	30	601.6553845	0	52.74179711
30	2256.753412	0.3404632	-78.1454418	51	667.8343666	3	52.54181811
31	2256.482088	0.340471267	-78.14543664	48	1085.70438	7	52.34183911
32	2256.256293	0.34048694	-78.14542853	58	1537.077235	9	52.14186011
33	2256.2	0.340512051	-78.14541239	66	2552.478202	15	51.94188111
34	2256.05135	0.340543796	-78.14538246	21	2988.01515	19	51.74190211
35	2255.84818	0.340578581	-78.1453421	44	1839.8907	22	51.54192311

Figura 2.16 conversión de Datos MDF4 a CSV

Con la conversión del formato MFD4 a CSV permitió trabajar de una manera más ordenada en la que se puede observar todos los datos registrados por el equipo data Logger y GPS en cada segundo como se muestra en la **Figura 2.16**.

2.2.4.2 Señales registradas a través del dispositivo CAN-Edge en el vehículo Ford Escape 2013.

Las señales del vehículo registradas por el Data Logger y GPS que se toman en cuenta en el presente estudio son las siguientes:

- **Revoluciones del motor (rpm)**

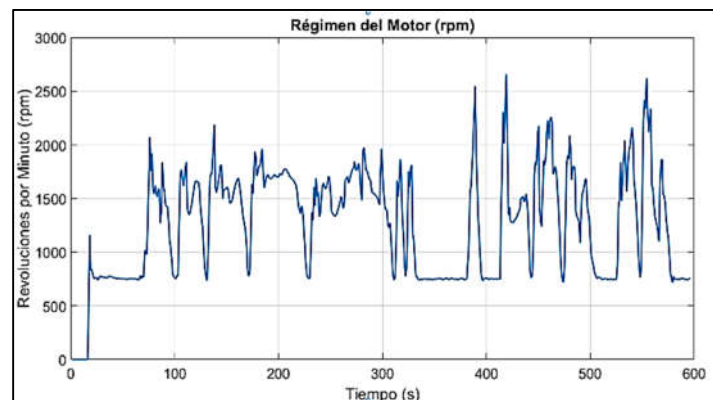


Figura 2.17 Señal del Régimen del Motor

Por lo general las revoluciones del motor se obtiene a partir del sensor de CKP, este sensor informa la posición y la velocidad de giro del cigüeñal. La señal se presenta en la **Figura 2.17** donde se expresan el régimen del motor (rpm) y el tiempo empleado (s).

- **Temperatura del Aire de Admisión IAT**

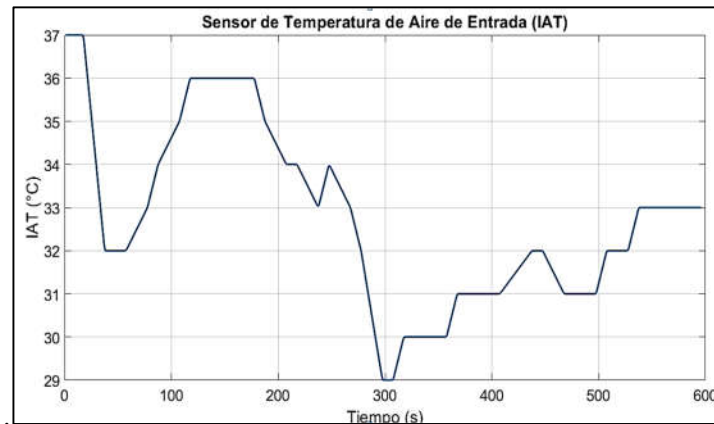


Figura 2.18 Señal del sensor IAT

El sensor IAT genera una señal de voltaje que envía al módulo de control electrónico del vehículo (ECU) para que esta controle la inyección de combustible basándose en la densidad del aire que ingresa en la cámara de combustión. Además, el funcionamiento de este sensor se basa en el principio de un termistor lo cual quiere decir que varía su resistencia de acuerdo con el cambio de temperatura; así como se observa en la **Figura 2.18**.

- **Presión Absoluta del colector MAP**

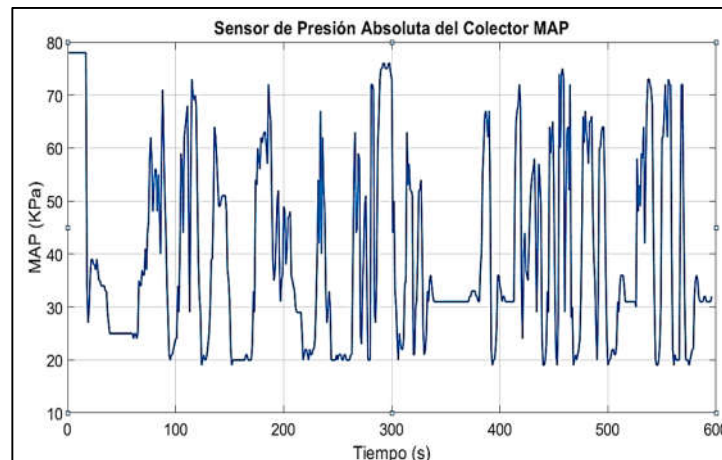


Figura 2.19 Señal del sensor MAP

El sensor MAP tiene la finalidad de detectar la presión que se genera durante la succión que realizan los pistones en el trabajo del motor, este sensor lleva un tipo de membrana flexible que varía su resistencia de acuerdo con la cantidad de aire que ingresa en el motor como se puede observar en la **Figura 2.19**

- **Sensor TPS**

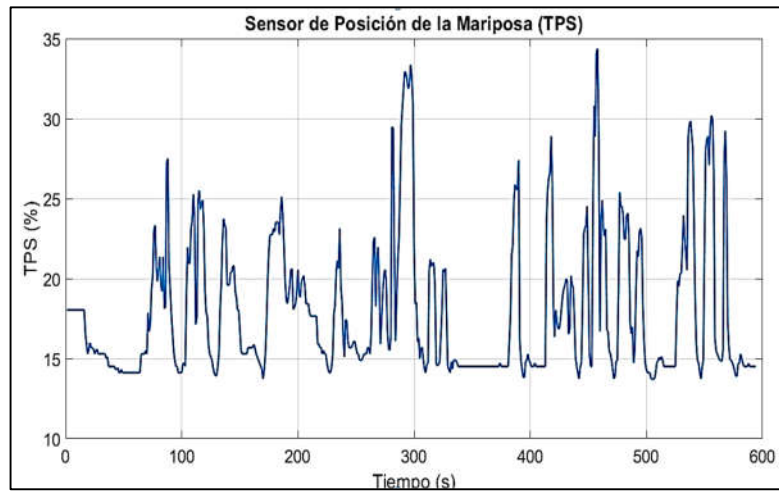


Figura 2.20 Señal del sensor TPS

El sensor TPS es un transmisor que controla la inyección mediante una señal que envía a la computadora del vehículo, donde al abrirse la mariposa permite la entrada del aire al motor esto se da gracias a la acción que realiza el pedal del acelerador. En la **Figura 2.20** se muestra la gráfica de la posición del acelerador.

- **Sensor MAF**

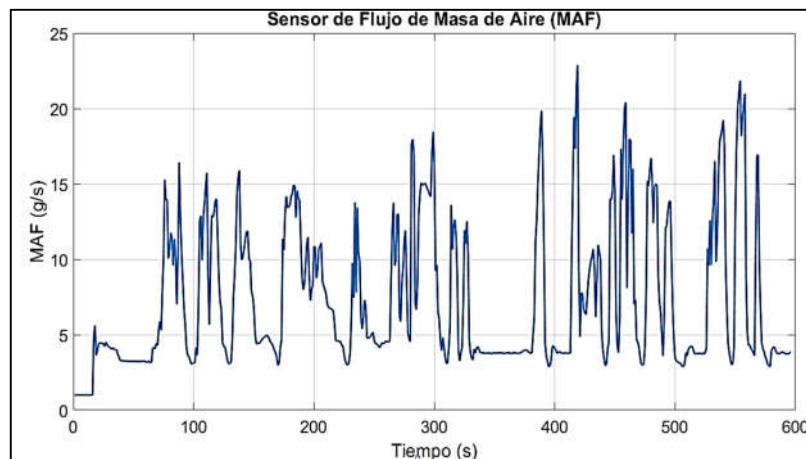


Figura 2.21 Señal del sensor MAF

El sensor de masa de flujo de Aire (MAF) se encuentra ubicado antes del colector de admisión y después del filtro de aire. Este sensor mide la cantidad de aire que ingresa al motor, como se observa en la **Figura 2.21** la cantidad de aire es medida en g/s.

2.2.5 CÁLCULO DE LAS EMISIONES DE CO2

Esta medición se realiza de forma indirecta debido a que no proporciona el valor de las emisiones de CO2 en el conector OBDII, por esta razón las emisiones deben ser calculadas por las variables proporcionadas por los sensores del vehículo, cada una de estas variables está definida por un PID (Parameter Identification) diferente. Los sensores que se utilizan para realizar el cálculo de las emisiones de CO2 se describen en la **Tabla 2.5**

Tabla 2.5 Sensores automotrices para el cálculo de las emisiones de CO2

SENSORES	DESCRIPCION	UNIDAD
MAP	Presión Absoluta del Colector	KPa
MAF	Flujo de Masa de Aire	g/s
IAT	Sensor de Temperatura de Aire	°K
RPM	Revoluciones por minuto del motor	rpm

Además, se cabe mencionar que no todos los vehículos cuentan con estos sensores, en la mayoría de los vehículos a gasolina solo vienen con un sensor que puede ser MAF o MAP y en algunos de los casos vienen incorporado los dos sensores, para esta peculiaridad se define dos metodologías para la estimación del CO2.

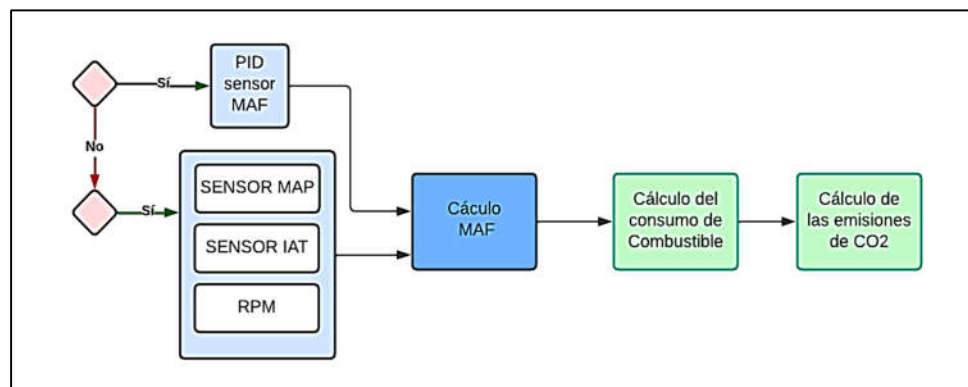


Figura 2.22 Esquema de las diferentes posibilidades de cálculo del consumo de combustible y las emisiones de CO2 mediante el sensor MAF

Como se puede observar **Figura 2.22** en el siguiente flujograma, para el cálculo de las emisiones de CO2, es necesario determinar el consumo de combustible, pero no en todos los vehículos está disponible esta información, esto se debe a que el fabricante decide no ponerlo a disposición, o no existe un sensor insertado en la línea de combustible, pero este valor se

puede determinar combinando la tasa de combustible o también conocida como flujo de combustible con la velocidad.

2.2.5.1 Cálculo de la Masa de Flujo de Aire (MAF)

Dentro de lo planteado para determinar el consumo mediante los PIDS se necesita tener el valor del Flujo de Masa de Aire (MAF), como se mencionó anteriormente en algunos vehículos no cuentan con este sensor por lo que se debe encontrar este valor aplicando la ecuación del gas ideal [2.1], al aplicar esta ecuación se puede determinar el volumen en función de la cantidad de la masa de aire que ingresa al motor de combustión interna.

$$PV = nRT \quad [2.1]$$

Donde:

P: Presión en la cámara de combustión obtenido por el sensor MAP.

V: Volumen de la cámara de combustión de los cilindros en el motor.

n: Número de moles de la muestra.

R: Constante general de los gases, es igual a $8.314(\text{cm}^3 \times \text{MPa}) / (\text{K} \times \text{mol})$.

T: Temperatura del gas obtenida por el sensor IAT en °K.

El número de moles de muestra se la determina por la siguiente ecuación [2.2]:

$$n = \frac{PV}{RT} \quad [2.2]$$

La masa del aire se la puede calcular de la siguiente manera:

$$m_{\text{air}} = n \times M_{\text{air}} \quad [2.3]$$

$$\frac{m_{\text{air}}}{M_{\text{air}}} = \frac{PV}{RT} \quad [2.4]$$

$$m_{\text{air}} = \frac{PV}{RT} \times M_{\text{air}} \quad [2.5]$$

La ecuación [2.5] es válida cuando el rendimiento volumétrico del motor (VE) es igual al 100%, este rendimiento volumétrico se lo define entre la relación de la densidad de la mezcla aire combustible con la misma densidad del mismo volumen en el colector de admisión. Este valor se determina a partir de la ecuación [2.6]:

$$VE(\%) = \frac{V_{\text{entrada}}}{V_{\text{nominal}}} \times 100 \quad [2.6]$$

Donde:

V_{entrada}: Es el volumen de admisión que soportan los cilindros.

$V_{nominal}$: Es el volumen del motor del vehículo.

Con lo antes mencionado se obtiene la ecuación [2.7] para determinar la masa de aire:

$$m_{air}[g] = \frac{P[KP_a]V[cm^3]}{R\left[\frac{cm^3 MPa}{kmol}\right]T[K]} \times M_{air}\left[\frac{g}{mol}\right] \times VE \quad [2.7]$$

Después de determinar la masa de aire, es necesario incluir en la fórmula [2.8] el número de RPM que es adquirido por el puerto OBDII del vehículo

$$MAF\left[\frac{g}{s}\right] = \frac{P \times V \times M_{air} \times VE \times RPM}{1000 \times 120 \times R \times T} \quad [2.8]$$

Una vez obtenido el valor del Flujo de la Masa de Aire, se puede calcular el consumo de combustible.

2.2.5.2 Cálculo del Consumo de Combustible

Según, (Meseguer et al. 2017) para calcular el consumo de combustible (litros/segundo) con el PID Flujo de la Masa de Aire (MAF), se divide el MAF por el producto de la Relación Air-Combustible y la densidad del combustible (g/l).

$$\text{consumo de combustible}\left[\frac{l}{s}\right] = \frac{MAF\left[\frac{g}{s}\right]}{AFR \times \rho_{gas}\left[\frac{g}{l}\right]} \quad [2.9]$$

Donde:

MAF : Se refiere al Flujo de Aire Másico (g/s)

AFR : Relación de aire combustible (ver tabla **Tabla 2.6**)

ρ_{gas} : Densidad del combustible (ver **Tabla 2.6**)

Tabla 2.6 Especificaciones del combustible

COMBUSTIBLE	Densidad $\left[\frac{g}{l}\right]$	AFR
Gasolina	737	14,7:1
Diésel	850	14,6:1
Etanol	789	9,0:1

Para calcular el consumo de combustible en (litros/kilómetro) se emplea la siguiente ecuación (Meseguer et al. 2017).

$$\text{consumo de combustible } [l/km] = \frac{\text{consumo de combustible } [L]}{\text{Velocidad } [Km]} \quad [2.10]$$

2.2.5.3 Cálculo de las emisiones de CO2

Las emisiones de CO2 se generan al quemar un combustible fósil que contiene carbono. Como el carbono del combustible se combustiona con el oxígeno esto puede calcularse mediante las masas atómicas (Sohail et al. 2019).

Masa atómica del carbono: 12u

Masa atómica del oxígeno: 16u

$$CO_2 = 12u + (2 \times 16u) = 44 \text{ u} \quad [2.11]$$

Donde:

La quema de 1kg de contenido de carbono, la cantidad de CO2 por una quema completa puede aproximarse mediante la siguiente ecuación

$$44/12 \approx 3.67 \text{ kg de CO}_2 \quad [2.12]$$

Para determinar las emisiones de CO2 para 1kg de combustible se emplea la ecuación [2.11] donde el contenido de carbono en la gasolina es del 87%.

$$CO_2 = 3.67 \times (\text{cont. de Carbono}) \times (\text{cant. de Combustible}) \quad [2.13]$$

Además, es posible calcular las emisiones de CO2 instantáneas multiplicando el consumo de combustible por la masa de carbono al quemar 1 (l) de combustible.

$$CO_2 \left[\frac{g}{s} \right] = \text{Consumo de Combustible} \left[\frac{l}{s} \right] \times CO_{2PL} \left[\frac{g}{l} \right] \quad [2.14]$$

Las especificaciones de CO2 quemado por litro de combustible CO_{2PL} se expresa en la siguiente **Tabla 2.7**:

Tabla 2.7 Especificaciones de CO2 quemado por litro de combustible

COMBUSTIBLE	$CO_{2PL} \left[\frac{g}{l} \right]$
Gasolina	2 310
Diésel	2 660
Etanol	1 510

CAPITULO III

3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A partir de lo dispuesto en los capítulos anteriores, en el presente capítulo se muestran los resultados de la investigación. Los datos recopilados luego de aplicar el proceso metodológico permitieron tener información relevante de ciertas características de la ruta y del vehículo a prueba. El estudio se divide en tres partes, la primera en el trazado de la ruta de ensayo de emisiones RDE en la ciudad de Ibarra, la segunda la estimación del consumo de combustible del vehículo y la tercera parte la estimación instantánea de las emisiones de CO₂.

Para llegar a estimar las emisiones de CO₂ en condiciones reales del vehículo se tuvo que trazar una ruta en la ciudad de Ibarra ajustándose lo más posible a la estricta normativa RDE y considerando los parámetros más importantes como es la altitud, la velocidad, la distancia y el tiempo. Además del método indirecto que utilizan los sistemas SEMS para medir las emisiones de CO₂, se tuvo que estimar el consumo de combustible a cada segundo debido a que el vehículo seleccionado no cuenta con un sensor que determine el consumo de una manera directa. Esta es la razón por la cual se tuvo que emplear ecuaciones matemáticas incluyendo los sensores que vienen incorporados en el vehículo.

Para garantizar la fiabilidad de las ecuaciones empleadas en la estimación del consumo de combustible y de las emisiones de CO₂. Se tomó como referencia los datos entregados por la ficha Técnica del vehículo a prueba.

3.1 CONSTRUCCIÓN DE LA RUTA DE ENSAYOS DE EMISIONES EN LA CIUDAD DE IBARRA

Los principales requisitos establecidos por las normativas europeas para los ciclos de conducción RDE se describen en el Reglamento (UE) 2016/427, lo cual especifica las características del recorrido como (velocidad, distancias, tiempos, etc.) En esta investigación para determinar la ruta de ensayos se tomó en cuenta diferentes vías:

Ruta 1: Camino urbano, Rural y Autopista propuesto por anteriores autores.

Ruta 2: Construcción empírica de la ruta para el análisis de las emisiones de vehículos livianos.

3.1.1 CONSTRUCCIÓN DE LA RUTA 1

En la ruta 1 parte y vuelve a la universidad Técnica de Norte. Esta ruta se desarrolló originalmente para probar la autonomía de la batería de un vehículo eléctrico en condiciones de conducción real. En esta ruta el conductor realizó cuatro etapas lo cual comprobó que la velocidad promedio en el tramo urbano es de 17,57 km/h, en el tramo rural de 27,17 km/h y en el tramo de autopista de 38,63 km/h, además esta ruta cuenta con una distancia de 55 km (Paillacho y Tequis 2022).

Para la obtención de las emisiones en condiciones reales de funcionamiento de los vehículos livianos es importante establecer una ruta de ensayos que en lo posible cumplan con las velocidades estipuladas en la normativa (UE) 2016/427 esta ruta al estar enfocada para un vehículo eléctrico donde las velocidades de conducción en cada tramo varían con respecto a los vehículos livianos con motores de combustión interna. Es por esto que se realizó una prueba experimental para comprobar ciertas velocidades.

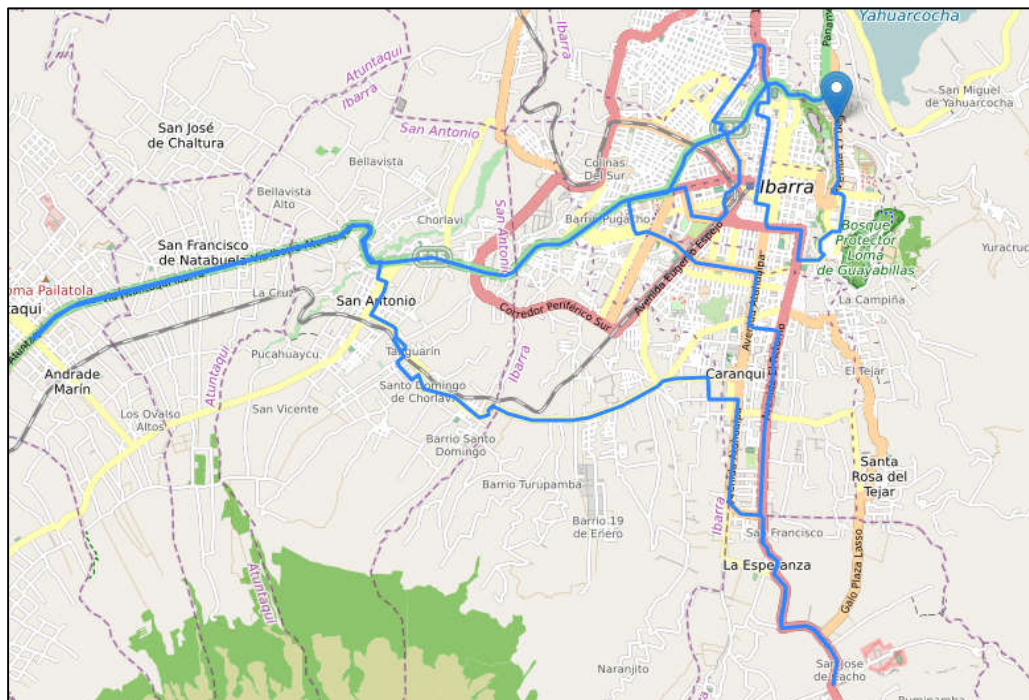


Figura 3.1 Trazado de la Ruta 1

Al seguir el recorrido de la ruta con un vehículo de combustión interna como se muestra en la **Figura 3.1** se pudo determinar que las velocidades promedio varían con respecto a las velocidades resultantes del vehículo eléctrico principalmente en el ciclo de conducción rural, esto se debe a la sinuosidad, estado de la carretera y reductores de velocidad.

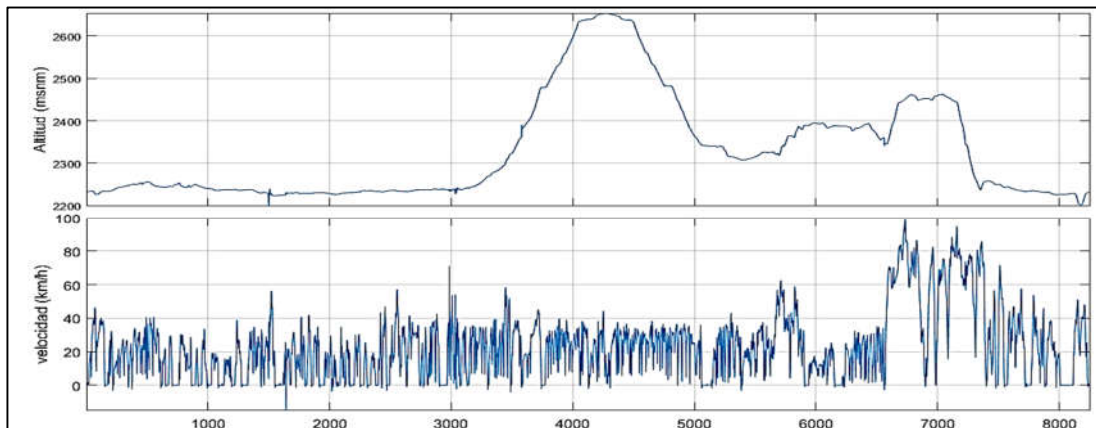


Figura 3.2 Perfiles de velocidad y altitud de la ruta 1

Al realizar la prueba con el vehículo liviano en la carretera se tuvo el siguiente perfil de velocidad y de altitud como se muestra en la **Figura 3.2**. En esta prueba se trató de ajustar a los patrones de conducción como lo estipula la normativa principalmente los parámetros de la velocidad en los diferentes tramos de la ruta. En esta prueba para recoger los datos de la conducción se hizo uso de un registrador de datos y del módulo GPS.

Para ajustar la velocidad de la conducción del vehículo de acuerdo con la velocidad que establece la normativa, el conductor realizó una inspección visual del velocímetro del vehículo lo cual en el tramo urbano no se tuvo inconvenientes ya que la velocidad en este tramo no va más de los 60km/h debido a la congestión vehicular, paradas por intersecciones o por semáforos.

En el tramo rural la velocidad fue muy inferior a lo que lo establece la normativa que es de 60 a 80 km/h en este tramo la sinuosidad y el estado de la carretera, no permitió ir más de los 60 km/h. El perfil de velocidades en el tramo de autopista oscila de 0km/h a 100km/h como se observa en la **Figura 3.2**. En este tramo la conducción del vehículo no abarca adecuadamente las velocidades que establece la normativa. Como velocidad mínima debe ser de 90 km/h y debe ser superior a los 100km/h durante un tiempo mínimo de 5 minutos, lo cual en este tramo que se realizó la prueba de conducción existen intersecciones

semaforizadas y no solamente esto sino también existe mucha congestión vehicular, lo cual no se logró establecer con este requisito.

3.2 CONSTRUCCIÓN DE LA RUTA 2

Con el trazado previo de la ruta que se realizó en la aplicación Google Maps permitió determinar la distancia y el tiempo aproximado que tendrá la prueba. Luego se realizó la conexión del módulo GPS en el vehículo donde se recopiló información necesaria como la velocidad, aceleración, distancia, altitud, tiempo, y para determinar la posición y ubicación de la ruta se tomó en cuenta la longitud y latitud. Todos estos datos fueron registrados con una frecuencia de muestreo de 1HZ. Cabe mencionar que para este trazado no se basó en la sectorización de la ciudad de Ibarra, más bien que la ruta cumpla con el perfil de velocidades. Además, estas pruebas permitieron realizar una comparación entre los resultados obtenidos con los valores de la normativa europea RDE.

La conexión del registrador de datos CAN- Edge 2 con el módulo GPS de la marca CSS electronics registró los datos a la frecuencia configurada, luego estos datos tuvieron que ser decodificados con el software asammdf. Los archivos que permitieron realizar este proceso de decodificación se encuentran en la página del siguiente enlace:

<https://canlogger.csselectronics.com/canmod-gps-docs/configuration/output.html#signal-encoding-description-file-dbc-file>

Una vez decodificado los datos se comprobó las señales registradas por los dispositivos como la posición y ubicación (latitud, longitud) en el software asammdf como se muestra a continuación.

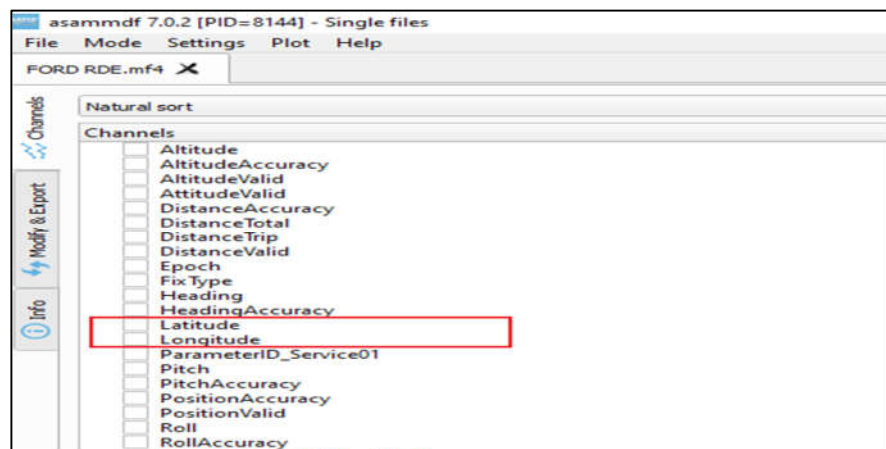


Figura 3.3 Registro de datos Asammdf

Una vez verificado el registro de datos de los dispositivos CAN Edge2 y GPS como se muestra en la **Figura 3.3** se procedió a presentar y analizar las señales registradas en los diferentes tramos de la ruta.

3.2.1 RUTA DE ENSAYOS TRAMO URBANO

La ruta que se trazó en el tramo urbano se realizó mediante una sectorización tomando en cuenta los barrios urbanos como son: Los Ceibos, El sagrario, y San Francisco, además se tomó en cuenta la velocidad máxima como lo establece la normativa que es de 60km/h. Con esto poder determinar, analizar y calcular las emisiones de CO2 del vehículo en condiciones reales.

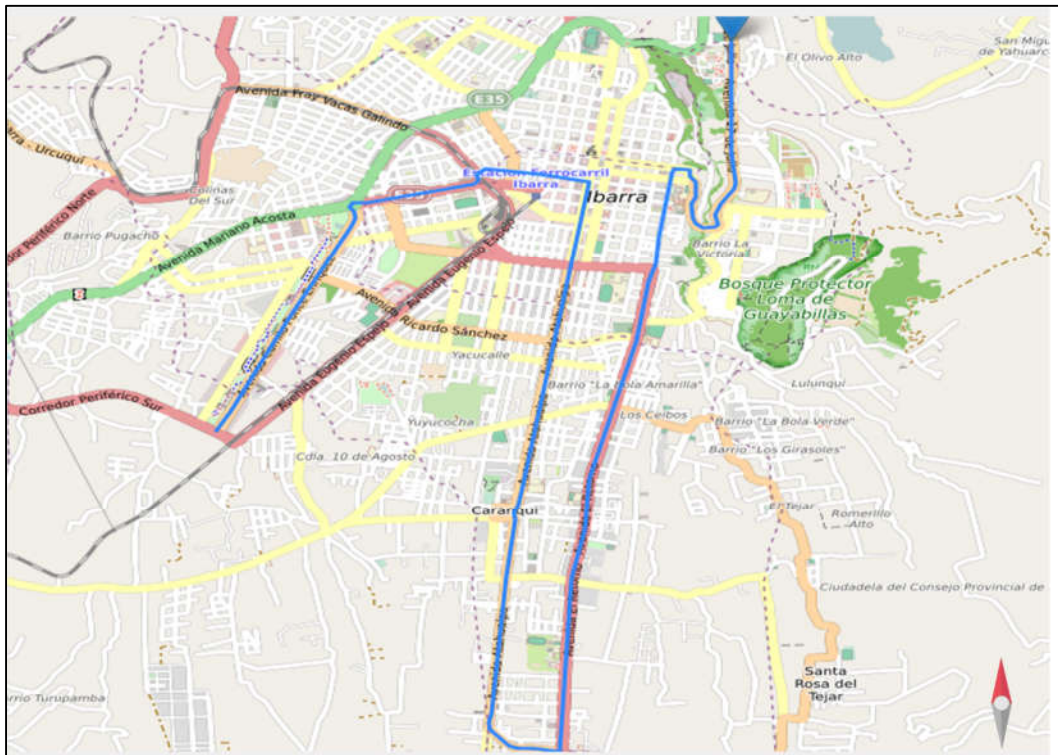


Figura 3.4 Tramo Urbano de la Ruta de Ensayos

En la **Figura 3.4**. se presenta el recorrido que se realizó en el tramo urbano conforme al trazado previo de Google Maps. El recorrido inició en la avenida 17 de julio frente la Universidad Técnica del Norte, y finalizó en la avenida Camilo Ponce Enríquez intersección con el Corredor Periférico Sur. Este recorrido cuenta con 9 tramos los cuales están distribuidos como se describe en la **Tabla 3.1**.

Tabla 3.1 Tramos en la ruta Urbana

Tramo	Inicia	Finaliza	Distancia (m)	Tiempo (s)
Tramo 1	Av. 17 de Julio frente La Universidad Técnica del Norte.	Av. 17 de Julio y Calle Juan José Flores.	2 168	309
Tramo 2	Av. 17 de Julio y Calle Juan José Flores	Calle Juan José Flores y la calle Juan Montalvo.	243	87
Tramo 3	Calle Juan José Flores y la calle Juan Montalvo	Calle Juan Montalvo y la Av. Teodoro Gómez de la Torre	908	148
Tramo 4	Av. Teodoro Gómez de la Torre y la Av. El Retorno.	Av. El Retorno y Av. Atahualpa.	4 291	575
Tramo 5	Av. El Retorno y Av. Atahualpa.	Av. Atahualpa y Av. Teodoro Gómez de la Torre.	4 667	859
Tramo 6	Av. Atahualpa y Av. Calle Simón Bolívar	Calle Simón Bolívar y Calle Pedro Moncayo.	770	288
Tramo 7	Calle Simón Bolívar y Pedro Moncayo.	Calle Pedro Moncayo y Av. Mariano Acosta.	749	225
Tramo 8	Calle Pedro Moncayo y Av. Mariano Acosta	Av. Mariano Acosta y redondel de la madre.	938	169
Tramo 9	Av. Mariano Acosta y redondel de la Madre	Av. Camilo Ponce Enríquez y Corredor Periférico Sur.	2 266	340
TOTAL			17 000	3 000

3.2.2 RUTA DE ENSAYOS TRAMO RURAL

El trazado de la ruta de acuerdo con la sectorización en la ciudad de Ibarra las parroquias rurales son: Angochagua, La esperanza, Lita, San Antonio, Carolina, Ambuquí, y Salinas. Las cuales la infraestructura vial está conformada por calles, o avenidas que articulan con los demás tramos de la ruta de ensayos, los caninos vecinales al sector rural son de tercer orden, por lo tanto, las velocidades son muy inferiores a los requisitos que establece la normativa RDE para vehículos ligeros.

Para aproximarse más a las velocidades establecidas por la normativa RDE para este tipo de vehículos, el estado vial debe ser de primer orden lo cual en la ciudad de Ibarra las vías que están jerarquizadas en este orden son: la vía E35 (Panamericana), la vía E10 (Ibarra- San

Lorenzo) y el Anillo Vial, aunque esta última tiene pocos kilómetros, pero se ajusta a las velocidades requeridas.

Luego de analizar y comprobar ciertas rutas trazadas en la ciudad Ibarra para este tipo ensayos se llegó a establecer la ruta que se muestra en la figura a continuación. Esta ruta se ajustó más a las velocidades establecidos por la normativa RDE que es de 60 a 90 km/h, además la ruta está enlazada con los tramos urbano y autopista.

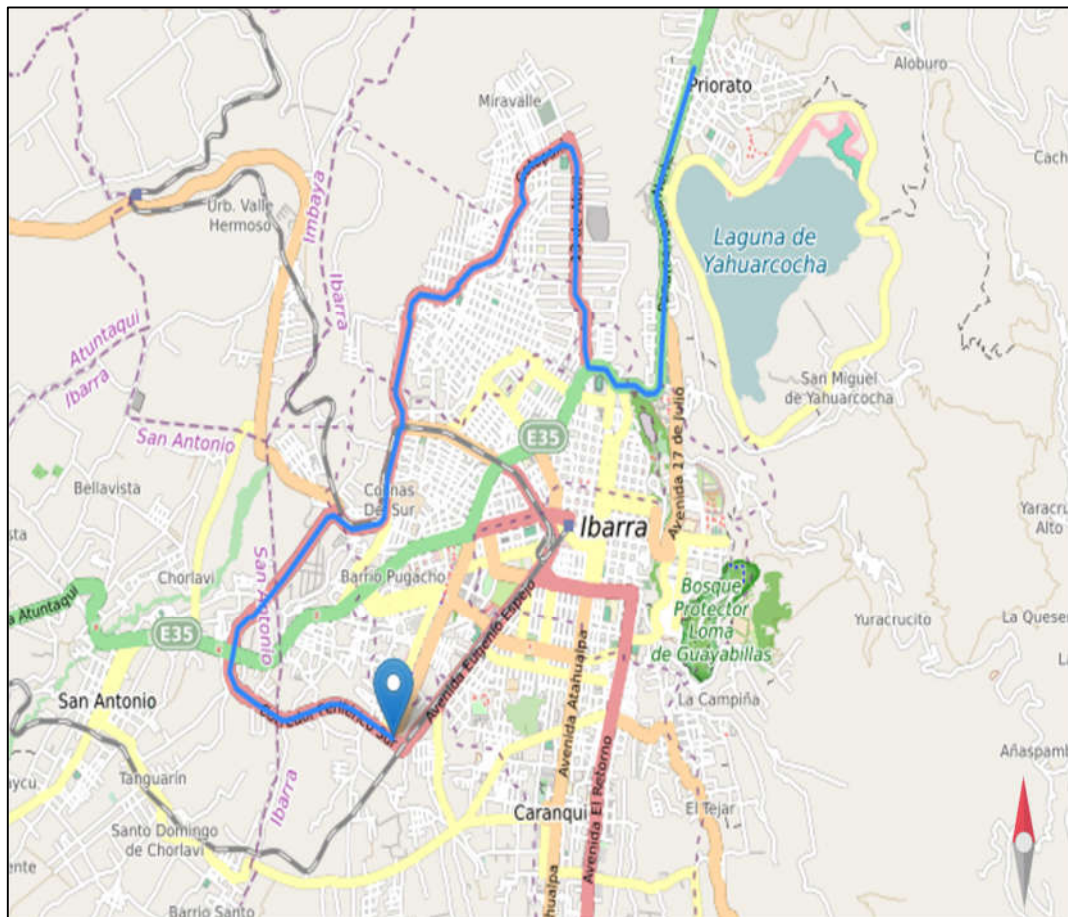


Figura 3.5 Tramo Rural de la Ruta de Ensayos

El trazado de la ruta en el tramo rural se realizó desde avenida Camilo Ponce Enríquez e intersección con el Corredor Periférico Sur y finalizó en la Panamericana Norte E35 frente la gasolinera Primax la Dolorosa en el sector de Piorato, como se muestra en la **Figura 3.5**.

En la

Tabla 3.2 que se muestra a continuación se detallan los tramos que conforman la ruta rural con la distancia y el tiempo que tomó en realizar cierta prueba con el vehículo seleccionado.

Tabla 3.2 Tramos de la ruta Rural

Tramo	Inicia	Finaliza	Distancia (m)	Tiempo (s)
Tramo 1	Av. Camilo Ponce Enríquez y Corredor periférico Sur	Corredor Periférico Sur intersección vía Ibarra Atuntaqui	2 272	172
Tramo 2	Corredor Periférico Norte y vía Ibarra Atuntaqui	Corredor Periférico Norte- vía Ibarra Urcuquí	1914	225
Tramo 3	Av. Fray Vacas Galindo- vía Ibarra Urcuquí	Av. Fray Vacas Galindo -Av. Monseñor Leónidas Proaño	1 534	86
Tramo 4	Av. Fray Vacas Galindo- Av. Monseñor Leónidas Proaño	Av. Monseñor Leonidas Proaño y redondel con la Av. Cotopaxi	3 009	191
Tramo 5	Av. Monseñor Leonidas Proaño y redondel con la Av. Cotopaxi	Av. Cotopaxi y Av. 13 de abril	872	52
Tramo 6	Av. Cotopaxi y Av. 13 de abril	Av. 13 de abril y obispo Jesús Yerovi	1 515	126
Tramo 7	Av. 13 de abril y obispo Jesús Yerovi	Obispo Jesús Yerovi y Av. Cristóbal de Troya	746	178
Tramo 8	Obispo Jesús Yerovi y Av. Cristóbal de Troya	Av. Cristóbal de Troya y Panamericana Norte	461	30
Tramo 9	Av. Cristóbal de Troya y Panamericana Norte	Av. Panamericana Norte frente gasolinera Primax la Dolorosa	4 677	479
TOTAL			17 000	1 539

3.2.3 RUTA DE ENSAYOS TRAMO AUTOPISTA

En el tramo de autopista para vehículos ligeros, las velocidades deben ser de 90 km/h como mínimo y como máximo 140 km/h, además debe mantener la velocidad por encima de los 100 km/h por 5 minutos. Para cumplir con estas velocidades establecidas por la normativa RDE la ruta debe contener en su mayoría rectas y el estado de las vías debe ser de primer orden, con respecto a las vías en la ciudad Ibarra existen dos vías que son asfaltadas y se encuentran en buen estado, la primera es la vía E35 (Panamericana Norte) y la segunda es la vía E10 (Ibarra San Lorenzo). Para esta prueba se tomó en cuenta la vía panamericana norte E35 debido a que la prueba en el tramo Rural finaliza en la gasolinera Primax la Dolorosa vía E35.

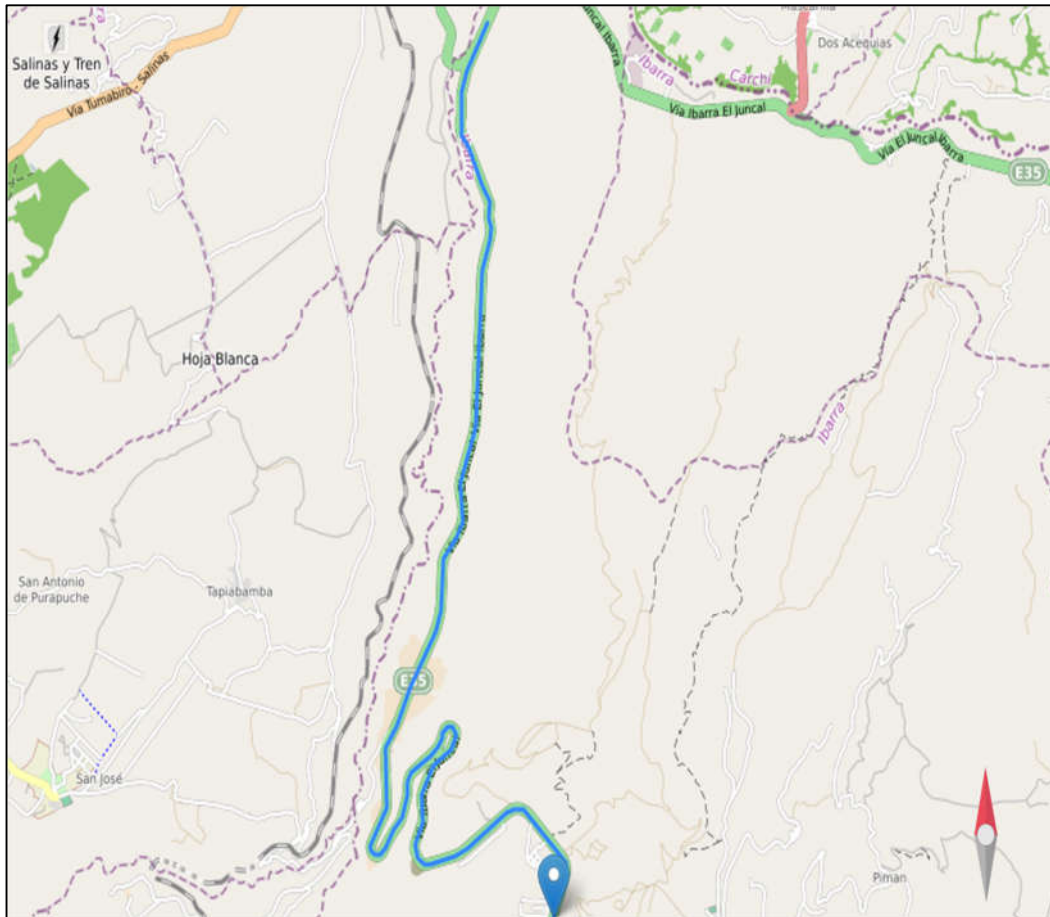


Figura 3.6 Tramo Autopista de la Ruta de Ensayos

En la **Figura 3.6** se muestra el recorrido que se realizó en el tramo de autopista, el cual comienza en la avenida Panamericana Norte E35 frente la gasolinera Primax la Dolorosa y finaliza en el desvío a Salinas, este tramo cuenta con una distancia de 16.9 km.

3.2.4 RUTA CONFORME A LA NORMATIVA RDE

El trazado de la ruta de ensayos de emisiones en la ciudad de Ibarra se ajustó a ciertos parámetros como la velocidad, el tiempo, la distancia y la secuencia en los tramos. Sin embargo, la geografía de la ciudad no ha permitido cumplir con los perfiles de la altitud como lo establece la normativa. Se han analizado posibles rutas y en su mayoría las velocidades son bajas, por el estado de la vía, la sinuosidad de la carretera, la distancia o la congestión vehicular. Estos problemas se han presentado más en la selección del tramo rural y autopista. Se cabe aclarar que en esta investigación se enfoca más a los vehículos ligeros por lo tanto el trazado se enfocó más al perfil de velocidades.

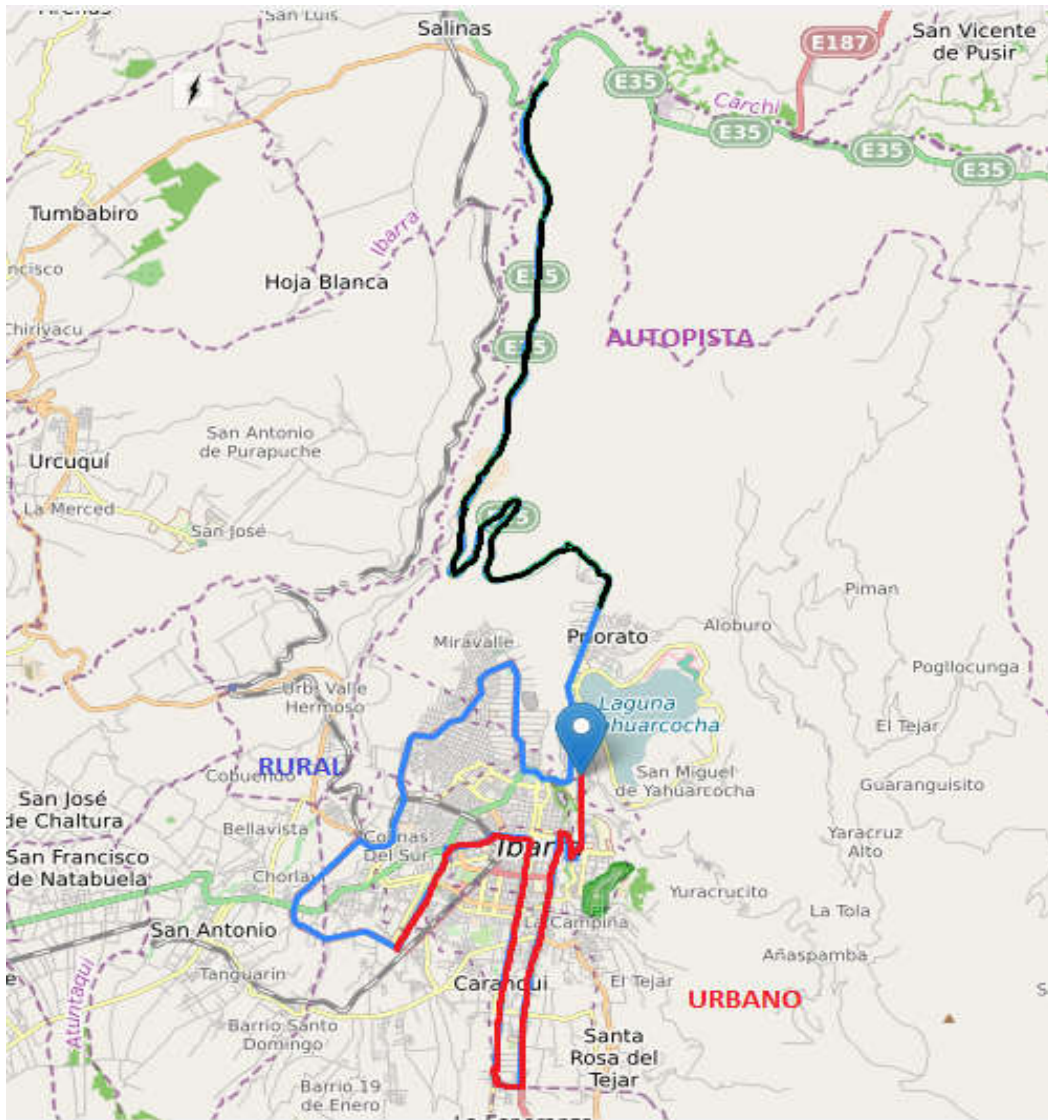


Figura 3.7 Ruta de ensayos de Emisiones (RDE) en la ciudad de Ibarra

Como se puede observar en la **Figura 3.7** el trazado de la ruta en la ciudad de Ibarra cuenta con los tres tramos secuenciales urbano, rural, y autopista, cada uno de estos tramos están divididos con la distancia mínima como lo establece la normativa RDE que es de 16 km. En este trazado con el módulo GPS se registró una distancia de 17 km en el tramo urbano, 17 km en el tramo rural y 16.9 km en Autopista. Además, el tiempo empleado en transcurrir del punto inicial al punto de llegada fue de 5400 segundos correspondientes a 90 minutos, este tiempo varía del tráfico vehicular y de las paradas principalmente en la zona urbana. En esta prueba el tiempo empleado en la zona urbana fue de 3000 segundos correspondientes a 50 minutos, en la zona rural se tuvo un tiempo de 25 minutos y en la zona de autopista de 15 minutos.

3.2.5 PERFIL DE LA ALTITUD

Para trazar el perfil de la altitud en los diferentes tramos de la ruta primero se tuvo que extraer estos datos del módulo GPS y exportarlos al programa Excel, para luego ordenar y procesar la información, y finalmente exportar los datos al software Matlab para graficar y señalar los puntos más críticos de cada tramo de la ruta y así analizar el comportamiento del consumo de combustible y de las emisiones de CO₂.

3.2.5.1 Tramo Urbano

En la siguiente gráfica se presenta el perfil de la altitud del tramo urbano, este tuvo inicio en la Universidad Técnica del Norte situado a una altitud de 2231 msnm, y finalizó en la avenida Camilo Ponce Enríquez a una altitud de 2260 msnm.

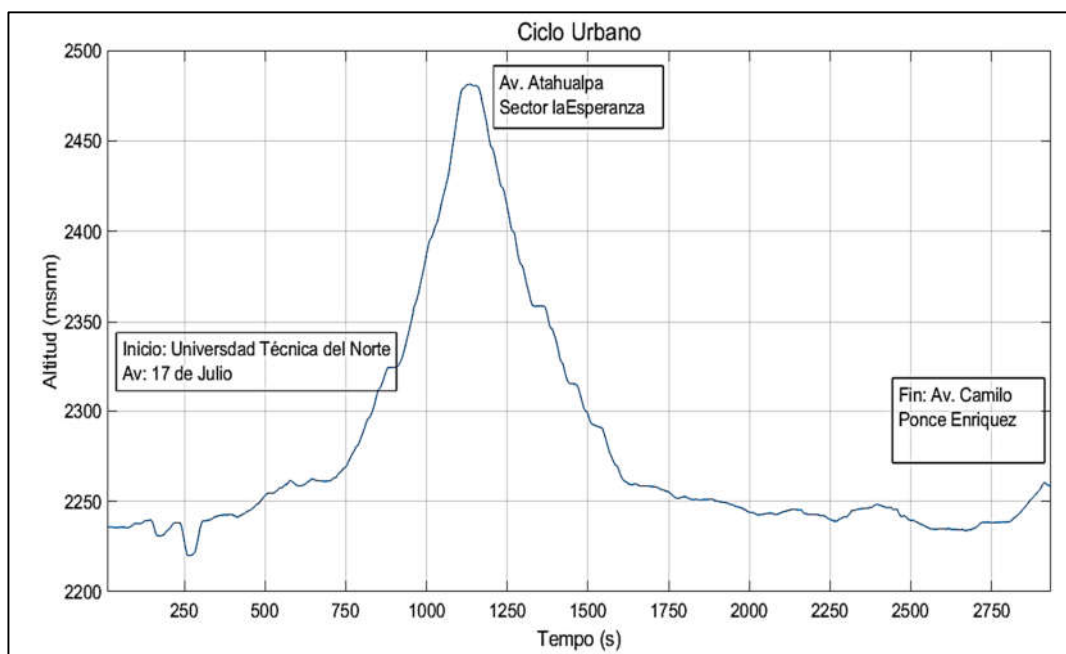


Figura 3.8 Perfil de la Altitud del Tramo Urbano

Como se puede observar en la **Figura 3.8** la geomorfología designada para el tramo urbano en la ciudad de Ibarra cuenta con ciertas elevaciones importantes: El punto más bajo de este tramo se registró en la Av. 17 de Julio en el sector el Sagrario, este punto se encuentra a una altitud e 2220 msnm, y el punto más alto que se registró fue en la Av. El retorno la cual conecta con la Av. Atahualpa división con los sectores los Ceibos y la esperanza, en este punto se registró una altura de 2480 msnm.

3.2.5.2 Perfil de la altitud Tramo Rural

El trazado de la ruta del tramo rural se lo realizó en los sectores San Francisco, San Antonio, Alpachaca donde la topografía del suelo en estos sectores corresponde a pendientes que fluctúan entre el 2 y el 6 % como se muestra en la figura a continuación.

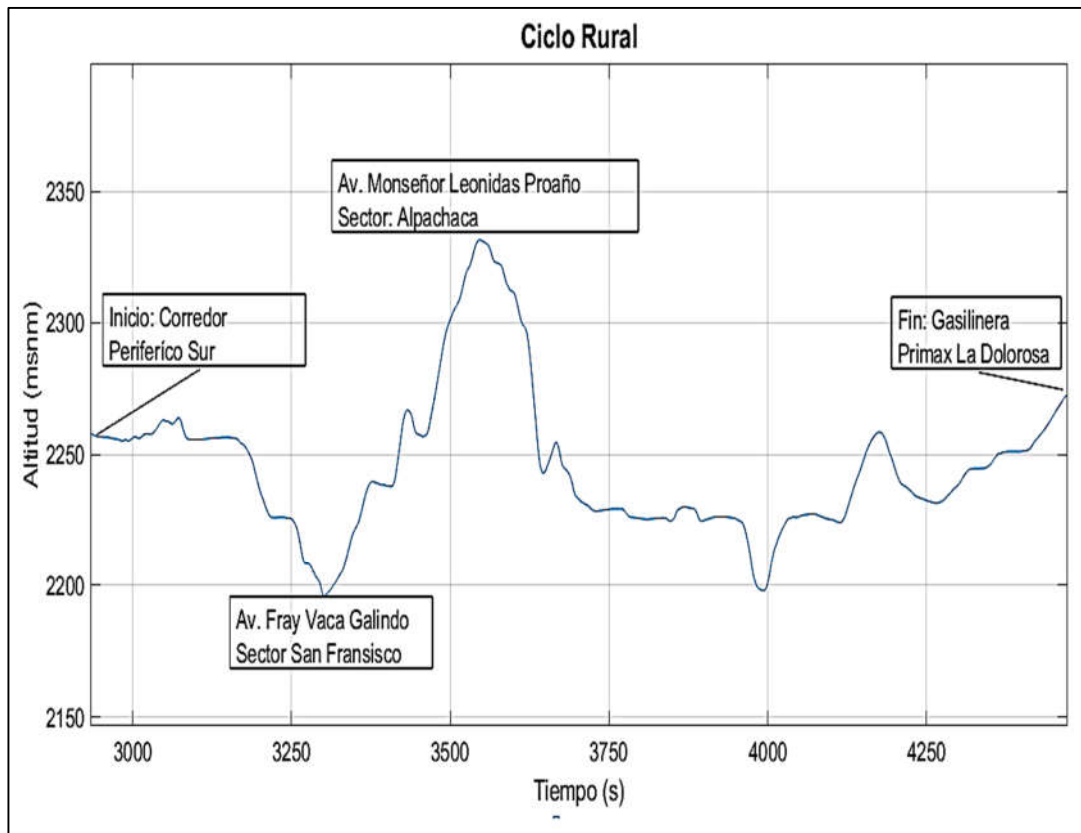


Figura 3.9 Perfil de la Altitud del Tramo Rural

En la **Figura 3.9** se muestra el perfil de la altitud del tramo rural, el punto de partida de este trayecto inicia en el Corredor Periférico Sur situado a 2255 msnm, el punto más bajo que se registró en este trayecto fue en el redondel que une la avenida Fray Vaca Galindo, La vía Ibarra-Urcuquí, y el Corredor Periférico Norte situado en el sector de San Francisco a una altitud de 2199 msnm. El punto más alto que se registró en este tramo fue en la avenida Monseñor Leonidas Proaño en el sector de Alpachaca situado a una altitud de 2317 msnm. Luego como se observa en la imagen este trayecto comienza a descender por la avenida Cotopaxi y llega a la avenida 13 de abril, registrando una altura de 2225.3 msnm y finalmente el trayecto finaliza en la avenida 13 de abril la cual conecta con la Avenida Panamericana Norte llegando hasta la gasolinera Primax la Dolorosa donde se registró una altura de 2253 msnm.

3.2.5.3 Perfil de la altitud Tramo Autopista

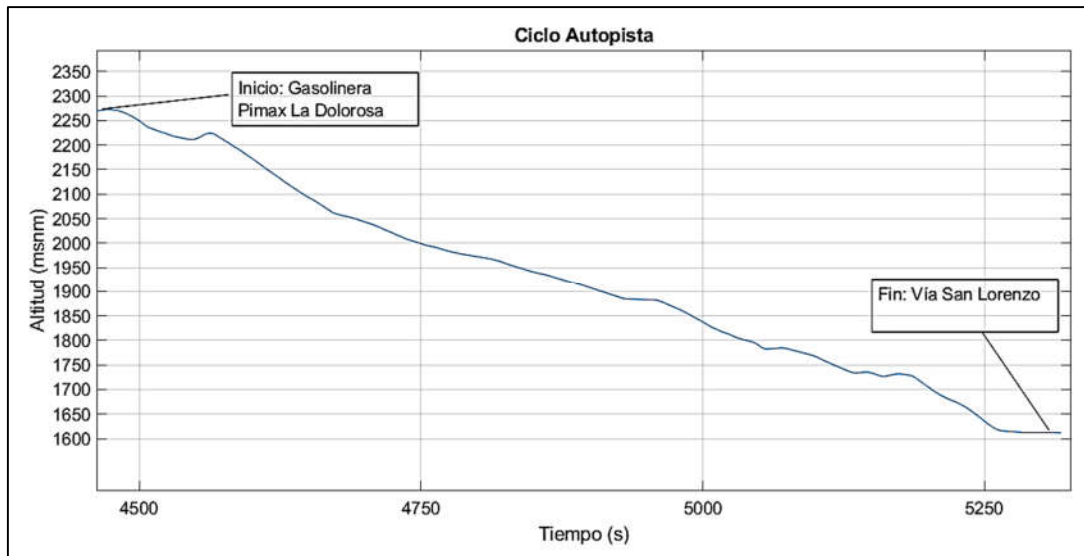


Figura 3.10 Perfil de la Altitud del Tramo Autopista

En la **Figura 3.10** Se muestra el perfil de la altitud del tramo Autopista. El punto de inicio del recorrido inicia en la gasolinera Primax La Dolorosa sector de Priorato encontrándose a 2255 msnm. Este tramo de la ruta fue seleccionado por las altas velocidades que puede alcanzar el vehículo a la hora de realizar las pruebas de conducción, la vía Ibarra – San lorenzo tiene una distancia de 16.9 km con un desnivel del punto más alto al punto más bajo de 611m. En este tramo se registró el punto más alto de 2231msnm y el punto más bajo de 1620 msnm.

3.2.5.4 Perfil de la altitud de Ciclos Combinados

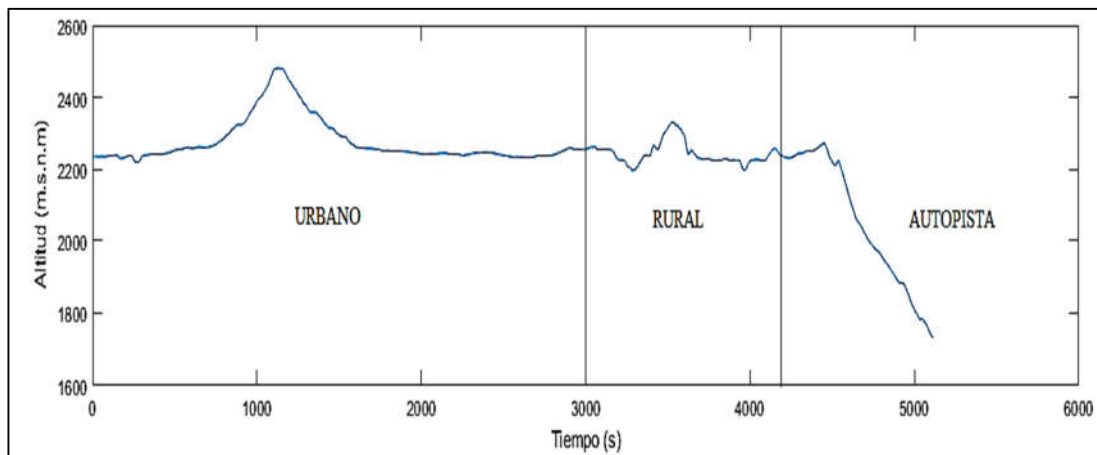


Figura 3.11 Perfil de la altitud de la ruta RDE

El perfil de la elevación de la ruta urbana, rural y autopista se indican en la **Figura 3.11**, la altura máxima de la ruta de ensayos de emisiones es de 2480 msnm y la altura mínima es de 1620 msnm la diferencia del punto más alto al punto más bajo es 860 m.

En la siguiente **Tabla 3.3** se especifica a detalle de cada una de las alturas en los tres tramos (urbano, rural, autopista) y la diferencia que entre el punto más alto al punto más bajo de cada tramo.

Tabla 3.3 Detalles de la elevación de la carretera

TRAMO	Elevación mínima (m.s.n.m)	Elevación máxima (m.s.n.m)	Diferencia Punto mínimo al Punto Máximo (m)
Urbano	2 220	2 480	260
Rural	2 199	2 331	132
Autopista	1 620	2 231	611

3.2.6 PERFIL DE VELOCIDADES

Para la obtención de los perfiles de velocidades de los diferentes ciclos de conducción: urbano, rural y autopista para vehículos ligeros en la ciudad de Ibarra, se utilizó el módulo GPS y a la vez el registrador de datos CAN Edge. La velocidad registrada por el módulo CAN Edge fue del sensor de rotación de la rueda ABS que cuenta el vehículo Ford Escape 2013. Para el levantamiento de los datos se hizo uso del software asammdf que permitió decodificar las diferentes señales registradas en el vehículo, además con este programa se realizó una conversión de los datos al formato CSV. Finalmente se ordenó y se transportó los datos al software Matlab para graficar el perfil de velocidad de los ciclos de conducción.

En este caso de estudio se analizó las señales de velocidad registradas por estos dos módulos para comprobar cuál señal de velocidad es más estable y confiable a la hora de realizar la estimación del consumo de combustible y de las emisiones de CO₂. Según Ligterink (2016), asegura que los datos de velocidad recopilados con el sensor de rotación de la ruda ABS es mucho más preciso que la velocidad registrada con el GPS, y la desviación de la señal GPS puede variar dependiendo del tipo de aceleraciones que realice el conductor en la carretera. Esto quiere decir que a mayor velocidad mayor será la desviación de la señal del módulo GPS.

A continuación, se presenta la gráfica de la velocidad registrada en el tramo autopista, se cabe señalar que en esta sección únicamente se hizo análisis de este tramo de la ruta por las altas velocidades, el gráfico comparo con todos los datos registrados por cada segundo y en los tres tramos de la ruta se presenta en la Figura A II.1.

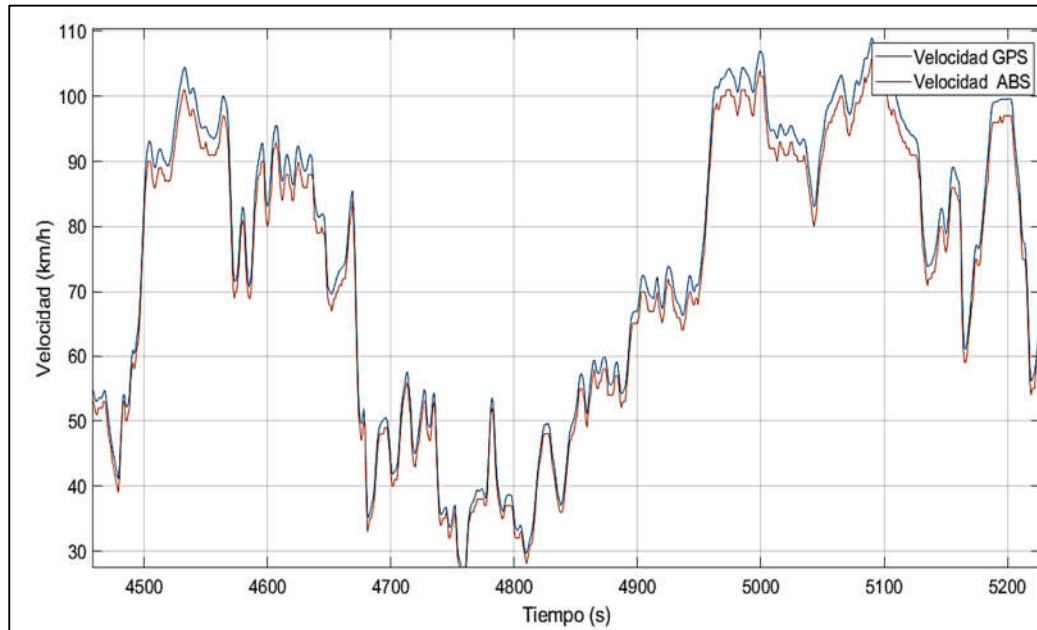


Figura 3.12 Comparación de la velocidad del módulo GPS y ABS en el tramo Autopista

Como se muestra en la **Figura 3.12**, las velocidades del GPS que se encuentran de 30-60 km/h tiene una baja desviación de la señal con respecto a la del sensor ABS. En cambio, las velocidades mayores a 80 km/h su desviación es mayor llegando hasta 7 km/h de diferencia con las velocidades registradas con el sensor de rotación de la rueda.

Las señales del GPS suelen parecer suaves y apropiadas, pero tienden a desviarse cuando aumenta la velocidad. Por esta razón, se presenta a continuación la desviación de las señales que se registró con el módulo GPS y con el sensor de rotación de la rueda ABS, para los 3 tramos de la ruta de ensayos de emisiones de la ciudad Ibarra.

- En el tramo urbano la desviación de la señal con el sensor ABS fue de 16.38 y la del GPS de 16.87 con una diferencia de 0.49.
- En el tramo rural la desviación de la señal del sensor ABS fue de 23.47 y del GPS del 24.14, con una diferencia de 0,65.
- Finalmente, En el tramo de autopista la desviación de la señal con sensor ABS fue 24.77 y con el GPS del 25. 49 con una diferencia de 0,71.

Con estos resultados se procede a presentar los perfiles de velocidad en los diferentes tramos de la ruta; urbano, rural, y autopista. Además, para la estimación y el análisis del consumo de combustible como también de las emisiones de CO₂ se hace referencia a los valores registrados por el sensor de rotación de la rueda ABS para tener un menor margen de error en los resultados.

3.2.6.1 Perfil de velocidades Tramo Urbano

El tramo urbano de la ruta de ensayos de emisiones comenzó en la Universidad Técnica del Norte y finalizó en la Av. Camilo Ponce Enríquez. Las velocidades variaron por el tráfico vehicular, por los reductores de velocidad, y por las paradas que se tuvieron que realizar por la semaforización que tiene este tramo.

El tramo urbano cuenta con 9 reductores de velocidad, y 19 semáforos. En esta prueba tres de los semáforos estuvieron habilitados con la luz verde.

Como se ilustra en la figura a continuación todo el perfil de velocidades para este tramo no sobrepasa con la velocidad máxima que lo establece la normativa RDE que es de 60km/h.

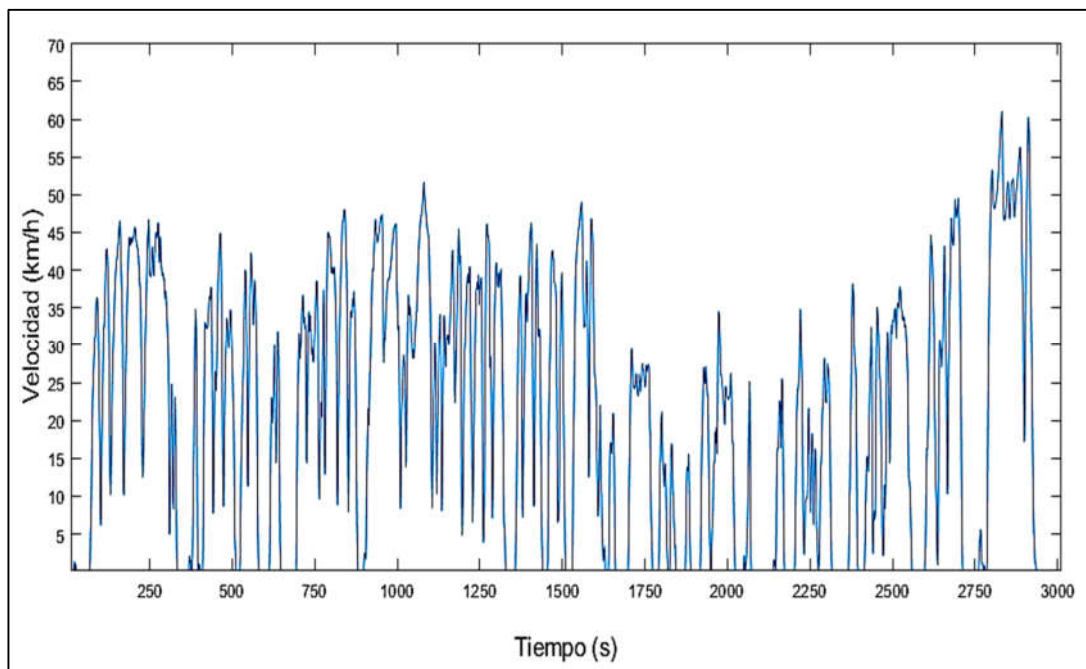


Figura 3.13 Perfil de velocidades Tramo Urbano

En la **Figura 3.13** se muestra el perfil de velocidades Vs. tiempo que se tuvo en el tramo urbano, y este cuenta con los siguientes parámetros.

- Duración (s): 3000
- Velocidad máxima (km/h): 62,6
- Velocidad promedio (km/h): 20,58
- Distancia (km):17
- Número de paradas: 24

3.2.6.2 Perfil de velocidades Tramo Rural

El registro de las velocidades del tramo Rural comenzó en corredor periférico Sur y finalizó en la Gasolinera Primax la Dolorosa que se encuentra ubicada en la Panamericana Norte. En este tramo se tuvo velocidades que oscilan de 60km/h a 80 km/h, La cual se tuvo menor porcentaje de paradas por intersecciones semaforizadas y por reductores de velocidad. Este tramo cuenta con 11 semáforos, 3 reductores de velocidad, y 8 rotondas. En esta prueba 3 semáforos se encontraron habilitados con la luz verde.

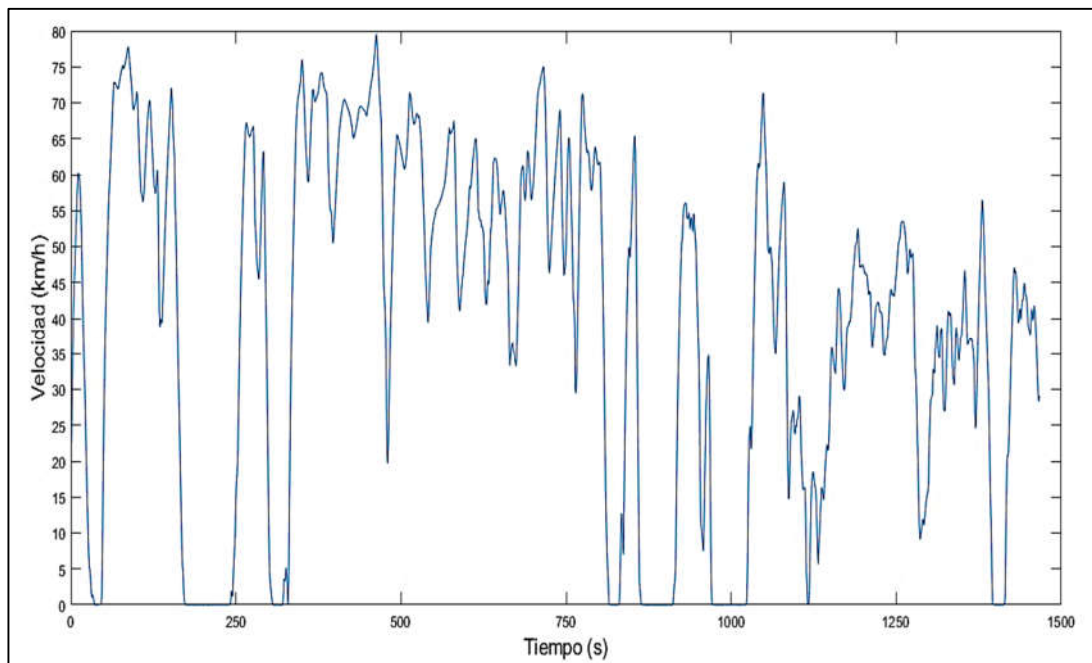


Figura 3.14 Perfil de velocidades Tramo Rural

En la **Figura 3.14** se muestra el perfil de velocidades versus tiempo que se tuvo en el tramo Rural, y este cuenta con los siguientes parámetros.

- Duración (s): 1539
- Velocidad máxima (km/h): 80
- Velocidad promedio (km/h): 40.10

- Distancia (km):17
- Número de paradas: 8

3.2.6.3 Perfil de velocidades Tramo Autopista

El perfil de las velocidades del tramo Autopista se presenta en la siguiente figura. Esta prueba se la realizó desde la gasolinera Primax la Dolorosa que se encuentra ubicada en la Panamericana Norte y finalizó en el desvío a salinas. En este tramo no se tuvo reductores de velocidad, tampoco paradas por semáforos. La fluctuación de la velocidad que se presenta en este perfil se da por el tráfico vehicular y por la sinuosidad de la carretera, lo cual se tuvo que reducir la velocidad hasta 30km/h.

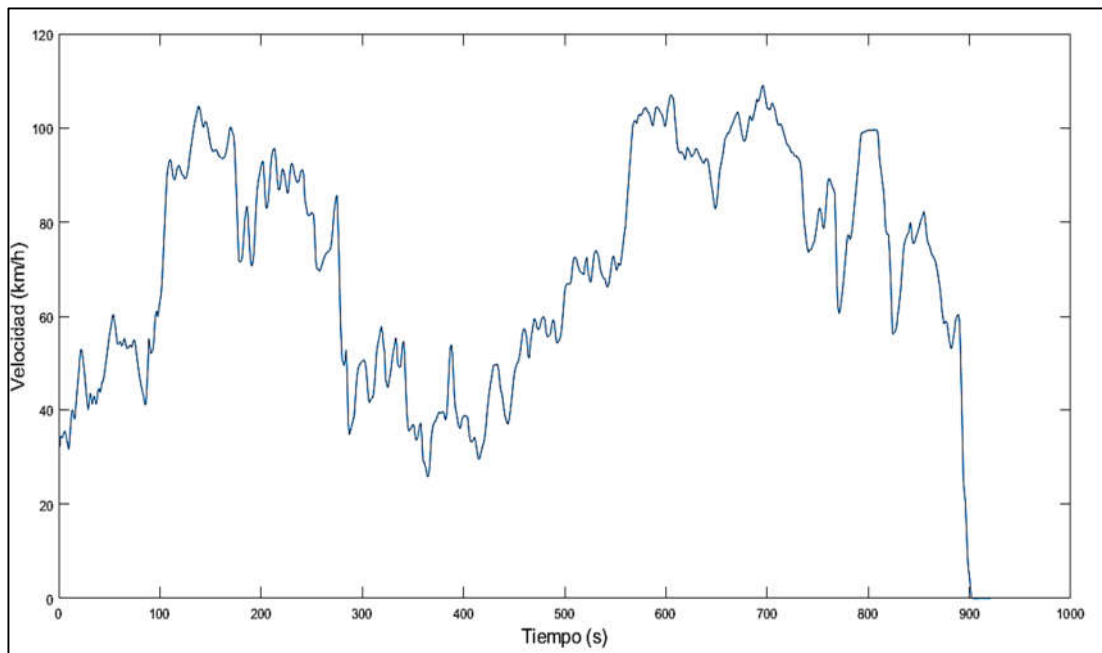


Figura 3.15 Perfil de velocidades Tramo Autopista

En la **Figura 3.15** se muestra el perfil de velocidades versus tiempo que se tuvo en el tramo Autopista, y este cuenta con los siguientes parámetros.

- Duración (s): 900
- Velocidad máxima (km/h): 110
- Velocidad promedio (km/h): 70
- Distancia (km): 16.9
- Número de paradas: 0

Los perfiles de velocidad presentados anteriormente. El ciclo urbano y Rural cumplieron con la mayoría de los parámetros establecidos por la normativa RDE. Sin embargo, en el tramo autopista a pesar de contar con carreteras de primer orden el perfil de velocidades no cumplió con el parámetro como lo rige la normativa que es mantener la velocidad por encima de 100km/h en un tiempo mínimo de 5 minutos. En la ciudad de Ibarra se realizó diferentes pruebas de conducción en diferentes vías como es la E35 y la E10, vías de primer orden. Sin embargo, la sinuosidad de la carretera y el tráfico vehicular no permitió establecer este requerimiento.

3.2.7 CICLO DE CONDUCCIÓN COMBINADO

Durante las pruebas de conducción se obtuvo las velocidades de cada tramo (urbano, Rural, Autopista) lo cual permitió evaluar y comparar el ciclo más adecuado para medir el consumo de combustible y las emisiones que emite el vehículo principalmente los gases de efecto invernadero como es el CO₂. La reproducción y la evaluación de los dos ciclos de conducción permitió seleccionar el tramo 2 ya que tiene una mejor representación de las velocidades como se puede apreciar en la siguiente imagen.

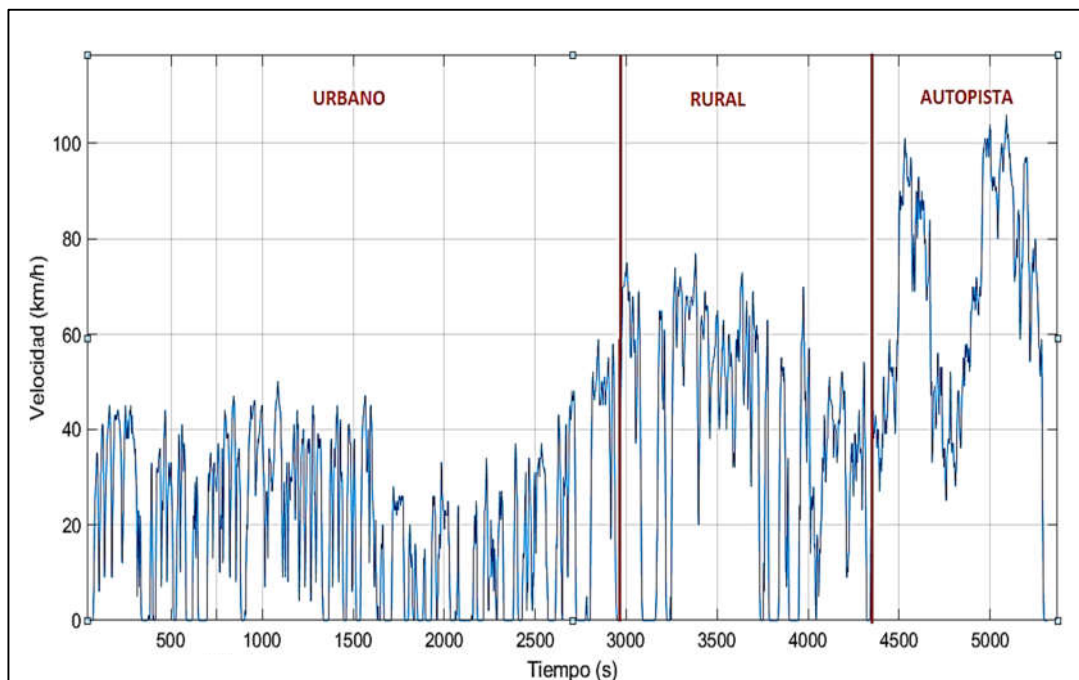


Figura 3.16 Perfil de velocidades de la Ruta de ensayos RDE

En la **Figura 3.16** se presenta los perfiles de velocidad, que se determinó en los diferentes tramos de la ruta como son; urbano, rural y autopista.

3.2.8 ANÁLISIS DE LA RUTA 1 Y 2

Luego de realizar las pruebas experimentales de conducción de un vehículo con la utilización de un equipo receptor GPS se pudo poner en evidencia algunos aspectos críticos a la hora de definir la ruta de ensayos de emisiones en la ciudad de Ibarra RDE. El estado de la carretera, el tiempo de parada, la congestión vehicular, el tiempo del recorrido, la velocidad y la distancia son aspectos que se ha tomado en cuenta a la hora del realizar el recorrido.

Para estimar la producción de las emisiones del vehículo en los diferentes tramos de la ruta es necesario que los ciclos de conducción cumplan con las velocidades establecidas por la normativa. En la **Tabla 3.4** que se presenta a continuación se realiza una comparativa de los valores obtenidos con los valores referenciales.

Tabla 3.4 velocidad de la ruta 1-ruta 2

TRAMO		Ruta 1	Ruta 2	Normativa RDE
RDE	Distancia (km)	55	51	> 48
	Tiempo (min)	126,1	90	90-120
	Tiempo de paradas (min)	19,25	16,7	-
	Porcentaje de paradas	12,8	18,5	6-30% del total del tiempo
Tramo Urbano	Velocidad máxima (km/h)	63,65	62,6	-
	Velocidad media (km/h)	16,97	20	15-30
	Número de paradas	36	24	-
	Tiempo de paradas (s)	708	759	-
	Distancia del Recorrido	17,25	17	>16
Tramo Rural	Velocidad máxima (km/h)	73,71	80	-
	Velocidad Promedio (km/h)	19,01	40	-
	Número de paradas	8	8	-
	Tiempo de paradas (s)	140	246	-
	Distancia del Recorrido (km)	17,78	17	>16
Tramo Autopista	Velocidad máxima (km/h)	81,45	110	140
	Velocidad Promedio (km/h)	36,5	70	-
	Número de paradas	17	0	-
	Tiempo de paradas (s)	307	0	-
	Distancia del Recorrido	20	16,9	>16
	Tiempo (min) de la Velocidad >100 km/h	0	1,6	5

Según los autores (Montúfar-Paz, Vásconez-Núñez, y Tello-Oquendo 2021), manifiestan que; Para una tener una mejor representación del consumo de combustible y de las emisiones de CO₂ se debe realizar una selección del ciclo de conducción el cual logre representar un mejor patrón de conducción acercándose más al perfil de velocidades como lo establece la normativa. De acuerdo con esto se realizó un análisis de los resultados obtenidos de la ruta 1 y 2 como se puede observar en la **Tabla 3.5**.

Los resultados que se obtuvo en la ruta 2 principalmente de la velocidad promedio fue muy superior a la velocidad promedio de la ruta 1. Por lo tanto, para realizar, la estimación del consumo de combustible y de las emisiones de CO₂ se tomó en cuenta los valores de la ruta 2 ya que se tendrá una mejor representación de las emisiones y se podrá realizar una comparativa con los valores referenciales de la ficha técnica vehicular.

3.3 CONSUMO DE COMBUSTIBLE

En este apartado se analizan las variables registradas durante la prueba experimental que se realizó en el vehículo seleccionado. Para determinar las emisiones de CO₂ del vehículo primero fue necesario determinar el consumo de combustible instantáneo. Sin embargo, en la mayoría de los vehículos a gasolina que se realizó las pruebas de conexión del registrador de datos no se tuvo información precisamente de un caudalímetro o un sensor de flujo. Si bien es cierto todos los vehículos traen el indicador del nivel de combustible que viene montado normalmente en tanque y este componente consiste en un flotador que su medición no es exacta porque este sigue los movimientos del combustible durante la marcha, las aceleraciones, las frenadas, y cuando el vehículo se enfrenta a la pendiente de la carretera.

Luego de realizar la conexión del registrador de datos en el vehículo Ford Escape se tuvo el PID del nivel del tanque de combustible. Cómo se explicó anteriormente este es un dato que no es exacto al momento de determinar el consumo de combustible. Al encontrarnos con este inconveniente en este vehículo se optó por realizar cálculos matemáticos para determinar el consumo de combustible instantáneo.

Con la aplicación de la ecuación [2.9] descrita en el capítulo anterior se pudo determinar el consumo de combustible de una manera más rápida, ya que se reemplazó directamente los valores del sensor MAF obtenidos con el registrador de datos.

Como un aporte a la investigación también se realizó el cálculo del consumo de combustible aplicando la ecuación [2.8] debido a que muchos modelos de vehículos no cuentan con este sensor MAF. Esta ecuación se la empleó para determinar las señales del sensor MAF y a partir de esto determinar el consumo de combustible aplicando nuevamente la ecuación [2.9].

Como se ha hecho mención anteriormente muy pocos son los vehículos que cuentan con estos dos sensores tanto MAF como MAP. por tal razón se realizó las pruebas en el vehículo Ford Escape 2013 para estimar el consumo de combustible y comparar con estas dos ecuaciones como se muestra en la **Figura 3.17**.

Cabe señalar que en esta sesión únicamente se analizó ciertos datos del recorrido, a fin de que sea más notoria la variación del consumo aplicando las dos ecuaciones. El gráfico completo con todos los datos se muestra en la **Figura A II.1** en la sección de anexos que se encuentra al final de la investigación.

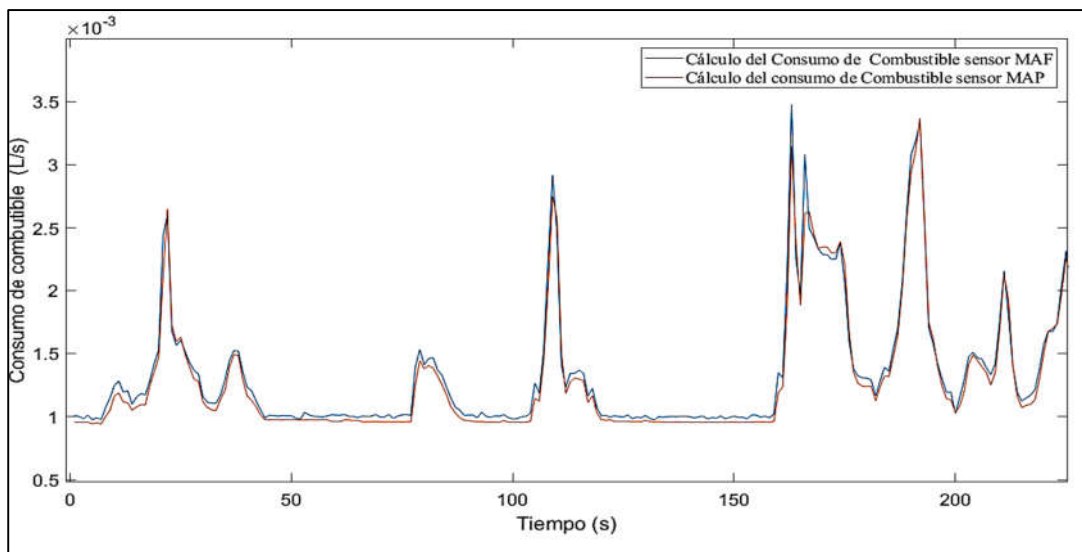


Figura 3.17 Comparación del consumo de combustible con el uso de sensor MAF y MAP

Como se puede observar en la **Figura 3.17** el cálculo del consumo de combustible instantáneo aplicado las ecuaciones del sensor MAF y MAP se tuvo resultados muy similares, aunque en algunas investigaciones recomiendan hacer uso de la ecuación del sensor MAF debido a que tiene un bajo margen de error comparado con un caudalímetro o un sensor de flujo de combustible, a continuación se procede aplicar la ecuación [3.1] para conocer el porcentaje de error entre estas dos ecuaciones, considerando que el valor exacto es el sensor MAF y el valor aproximado el sensor MAP.

$$\%error = \frac{|aproximado - exacto|}{exacto} \times 100 \quad [3.1]$$

Al tener una buena concordancia entre estos dos conjuntos de datos el porcentaje de error entre estas dos ecuaciones es muy bajo teniendo como resultado del 0.97%. Con este porcentaje de error permitió determinar que la ecuación [2.8] es capaz de estimar el consumo de combustible cuando no viene incorporado en los vehículos el sensor MAF, con este análisis se presenta a continuación los valores obtenidos en cada tramo de la ruta.

3.3.1 CONSUMO DE COMBUSTIBLE TRAMO URBANO

El procesamiento de datos del sensor MAF en el programa Excel, permitió determinar el consumo de combustible a cada segundo y en los diferentes tramos de la ruta. En el tramo urbano se registró 2923 datos (1 dato por segundo) por consiguiente se realizó una agrupación por cada minuto como se muestra en la **Tabla 3.5**. Además, para su posterior análisis se resaltó los 10 primeros intervalos con mayor consumo de combustible.

Tabla 3.5 Valores calculados del consumo de combustible tramo urbano

Tiempo (s)	Consumo (L)	Tiempo (s)	Consumo (L)	Tiempo (s)	Consumo (L)
0-60	0.013	1 020-1 080	0.102	2 040-2 100	0.023
60-120	0.047	1 080-1 140	0.077	2 100-2 160	0.020
120-180	0.040	1 140-1 200	0.030	2 160-2 220	0.026
180-240	0.048	1 200-1 260	0.022	2 220-2 280	0.032
240-300	0.052	1 260-1 320	0.035	2 280-2 340	0.029
300-360	0.029	1 320-1 380	0.020	2 340-2 400	0.029
360-420	0.037	1 380-1 440	0.030	2 400-2 460	0.029
420-480	0.053	1 440-1 500	0.034	2 460-2 520	0.044
480-540	0.046	1 500-1 560	0.025	2 520-2 580	0.026
540-600	0.040	1 560-1 620	0.036	2 580-2 640	0.034
600-660	0.036	1 620-1 680	0.024	2 640-2 700	0.057
660-720	0.035	1 680-1 740	0.026	2 700-2 760	0.023
720-780	0.058	1 740-1 800	0.022	2 760-2 820	0.042
780-840	0.082	1 800-1 860	0.024	2 820-2 880	0.064
840-900	0.052	1 860-1 920	0.020	2 880-2 923	0.047
900-960	0.087	1 920-1 980	0.029		
960-1020	0.089	1 980-2 040	0.023		

Cómo se puede notar los valores de la tabla en cada intervalo varían considerablemente desde 0.013 hasta 0.102 litros por cada minuto y esto se debe a diversos factores que es sometido el vehículo a prueba como: aceleraciones, desaceleraciones, tiempo de paradas, condiciones climáticas, pendientes cuesta arriba, etc. Todo esto incide en que aumente el consumo de combustible en el vehículo.

Como un aporte adicional a esta investigación se realizó un análisis de los posibles factores que intervienen en este aumento de combustible, para esto se presentó la siguiente gráfica donde se adjunta el consumo de combustible (l/s), la velocidad (km/h) y el perfil de la altitud (msnm).

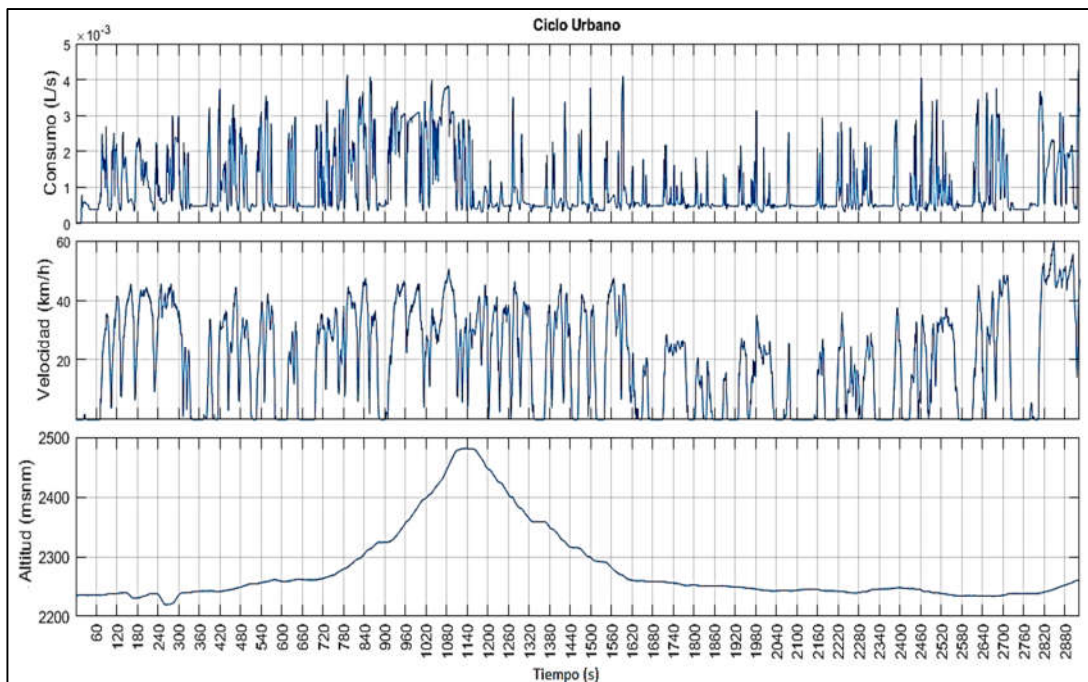


Figura 3.18 Consumo de Combustible Tramo Urbano

Como se aprecia en la **Figura 3.18**, el consumo de combustible en el tramo urbano varía conforme aumenta o disminuye la velocidad, pero también cuándo el vehículo pasa por puntos críticos de la ruta de ensayo principalmente por carreteras empinadas.

3.3.1.1 Análisis de los intervalos con mayor consumo de combustible.

Intervalo 240-300: Como se puede observar en la **Figura 3.18** en el perfil de la altitud el vehículo es transportado por una pendiente cuesta abajo del -4.81% y luego por una

pendiente cuesta arriba del 4.71 %, a pesar de tener pendientes casi iguales se llegó a estimar un mayor consumo de combustible cuando el vehículo es conducido por la pendiente cuesta arriba, lo cual quiere decir que al momento de ascender comienza el vehículo a inyectar más combustible.

Intervalo 420-480: Como se puede apreciar en la imagen, en este minuto el vehículo fue sometido a diferentes estilos de conducción, primero reduce la velocidad de 40 a 5 km/h y luego Aumenta de 5 a 43 km/h. Estos cambios de velocidad han generado que el vehículo a prueba tenga que consumir más combustible en este minuto.

Intervalo 720-900: Como se puede observar en la imagen el vehículo comienza a ascender una pendiente y las velocidades oscilan de 5 a 45 km/h. La variación de estas velocidades se debe a los reductores que se encuentran en este tramo. Es decir, el conductor realizó aceleraciones y desaceleraciones lo que provocó que aumente el consumo de combustible.

Intervalo 900-1140: En estos minutos se registró la mayor cantidad de combustible inyectado por el vehículo, en este tramo como se puede observar en la imagen la velocidad se mantiene por un tiempo más prolongado, además el vehículo se enfrenta a una pendiente cuesta arriba del 6.7%. Es decir, el vehículo al enfrentarse a una pendiente requiere de mayor potencia para mantener cierta velocidad, por lo tanto, consume más combustible.

Intervalo 1140-2640: En este tramo se estimó un menor consumo de combustible, debido a que el vehículo es sometido por una pendiente cuesta abajo, es decir esta condición favorece a tener una conducción más eficiente ahorrando combustible.

Con respecto a los factores que influyen en el aumento del consumo de combustible se puede decir que existe una mayor representación cuando el vehículo se enfrenta a una pendiente cuesta arriba por lo que el vehículo requiere de mayor potencia para mantener cierta velocidad y no solamente esto sino también por los cambios de velocidad cuando el conductor realiza aceleraciones o desaceleraciones bruscas, mientras que una conducción cuesta abajo y sin este tipo de aceleraciones proporciona un menor consumo de combustible.

3.3.2 CONSUMO DE COMBUSTIBLE TRAMO RURAL

En el tramo rural se registró 1559 datos (1 dato por cada segundo). Por lo tanto, se realizó una agrupación de los datos por cada minuto como se muestra en la **Tabla 3.6**, y para realizar

el análisis de los datos se resaltó los los 7 valores con mayor consumo de combustible. En este tramo se llegó a estimar un consumo de 1.53 L.

Tabla 3.6 Valores Calculados del consumo de combustible ciclo Rural

Tiempo (s)	Consumo (L)	Tiempo (s)	Consumo (L)
2 923-2 940	0.058	3 720-3 780	0.048
2 940-3 000	0.073	3 780-3 840	0.022
3 000-3 060	0.068	3 840-3 900	0.058
3 060-3 120	0.038	3 900-3 960	0.036
3 120-3 180	0.041	3 960-4 020	0.068
3 180-3 240	0.032	4 020-4 080	0.043
3 240-3 300	0.063	4 080-4 140	0.067
3 300-3 360	0.097	4 140-4 200	0.067
3 360-3 420	0.108	4 200-4 260	0.036
3 420-3 480	0.095	4 260-4 320	0.060
3 480-3 540	0.114	4 320-4 380	0.051
3 540-3 600	0.049	4 380-4 440	0.066
3 600-3 660	0.064	4 440-4 462	0.038
3 660-3 720	0.058		

De igual manera que en el ciclo urbano se realiza el análisis del consumo de combustible en el ciclo rural, tomando en cuenta los perfiles de la velocidad y la altitud registrados en esta prueba.

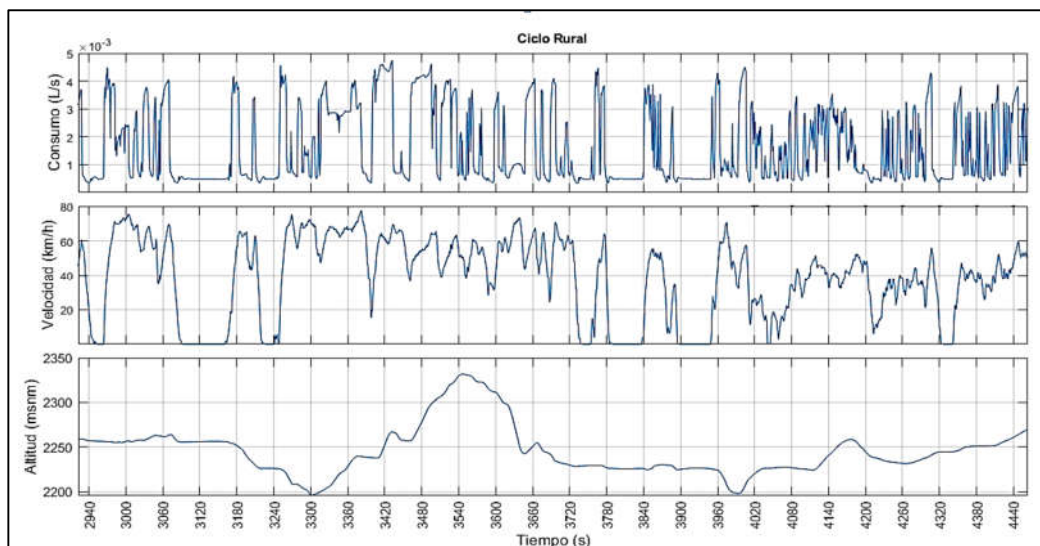


Figura 3.19 Consumo de Combustible Tramo Rural

En **Figura 3.19** se presenta los perfiles del consumo de combustible, velocidad y altitud registrados en el tramo rural.

Intervalo 2940 – 3060: Como se aprecia en la **Figura 3.19** el consumo de combustible varía de acuerdo con el estilo de conducción. Es decir, si el conductor realiza una aceleración brusca para alcanzar cierta velocidad, el vehículo tiende a consumir más combustible. En este caso como se aprecia en la figura de la velocidad el vehículo parte del reposo y luego alcanza una velocidad de 70 km/h en 28 segundos lo cual se tuvo un consumo de combustible de 0.045L por cada segundo.

Intervalo 3300 – 3540: En este intervalo se registra la mayor cantidad de combustible consumido por el vehículo como se puede apreciar en la imagen en el perfil de la altitud el vehículo se enfrenta a una pendiente cuesta arriba, además las velocidades oscilan de 20 a 80 km/h. Los valores estimados son desde 0.95 hasta 0.114 L por cada minuto.

Intervalo 3960 – 4020: Finalmente en este intervalo se llegó a estimar un consumo de combustible de 0.068L. En este minuto el vehículo es conducido por una pendiente cuesta abajo a una velocidad de 73 km/h y luego asciende a una velocidad de 60 km/h.

Con los valores estimados en el tramo Rural de la ruta se puede concluir que los cambios de velocidad provocados por las altas aceleraciones y las pendientes cuesta arriba son los principales factores para que el vehículo consuma más combustible de lo habitual.

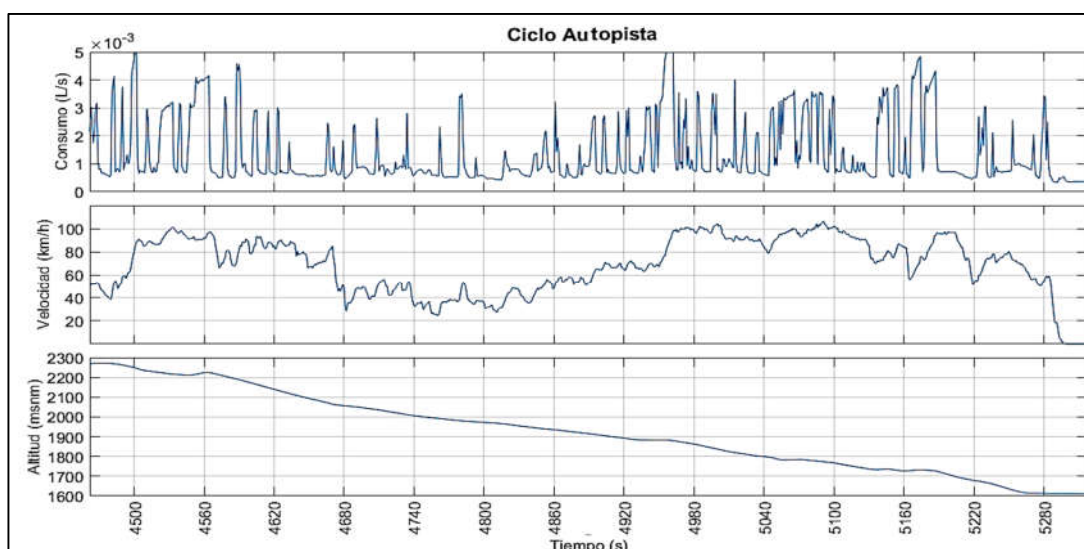
3.3.3 CONSUMO DE COMBUSTIBLE TRAMO AUTOPISTA

En la **Tabla 3.7** se presentan los valores estimados del consumo de combustible en el tramo de autopista por cada minuto recorrido, empezando desde el segundo 4462 y finalizando en el segundo 5340, esta prueba tuvo una duración de aproximadamente 15 minutos. Además, en este tramo se registró que el vehículo recorrió una distancia de 16.9 km y a una velocidad promedio de 70 km/h, donde se llegó a estimar un consumo de combustible de 1 L.

Tabla 3.7 Valores calculados del consumo de combustible tramo Autopista

Tiempo (s)	Consumo (L)	Tiempo (s)	Consumo (L)
4 462-4 500	0.058	4 920-4 980	0.109
4 500-4 560	0.111	4 980-5 040	0.067
4 560-4 620	0.072	5 040-5 100	0.122
4 620-4 680	0.043	5 100-5 160	0.072
4 680-4 740	0.047	5 160-5 220	0.090
4 740-4 800	0.042	5 220-5 280	0.060
4 800-4 860	0.043	5 280-5 340	0.016
4 860-4 920	0.054		

Los 5 valores resaltados en la tabla representan el intervalo de tiempo donde se llegó a estimar la mayor cantidad de combustible consumido por el vehículo Ford Escape 2013.

**Figura 3.20** Consumo de Combustible tramo Autopista

En la **Figura 3.20** se presentan los perfiles de velocidad, altitud y consumo de combustible registrados en el tramo de autopista. En este tramo se puede apreciar como la señal de la velocidad fluctúa de 30 a 110 km/h, además el perfil de la altitud da la información sobre la altura que se estuvo en cada punto de la prueba.

En el primer intervalo 4500-4560 se estimó un consumo de combustible de 0.111 L. Como se puede ver en la **Figura 3.20**, el perfil de la altitud empieza a variar al final de este intervalo con una pendiente cuesta arriba del 3.6%, donde el conductor acciona el pedal del acelerador para mantener la velocidad por encima de los 90 km/h.

En el segundo intervalo resaltado 4920 y 4980 se llegó a estimar un consumo de combustible de 0.109 L en este minuto se puede observar en la imagen como el vehículo mantiene la velocidad a 70 km/h por 40 s y luego realiza una aceleración aumentando la velocidad a 100 km/h.

En el intervalo de tiempo 5040 al 5100 se puede observar como el vehículo mantiene la velocidad por encima de los 90 km/h llegando a estimar el mayor consumo de combustible en este tramo de autopista.

Con respecto a estos resultados en este tramo de autopista el vehículo tuvo un menor consumo de combustible comparado con los tramos urbano y rural, debido a que el vehículo en la mayor parte del tramo fue desplazado por una pendiente del 4.3% cuesta abajo reduciendo los esfuerzos mecánicos del vehículo.

3.3.4 COMPARACIÓN DEL CONSUMO DE COMBUSTIBLE ESTIMADO CON LA FICHA TÉCNICA VEHICULAR

La homologación de la autonomía del vehículo Ford Escape 2013 fue realizada con el ciclo de conducción EPA (Agencia de Protección del Medio Ambiente), para determinar el consumo de combustible del vehículo se realiza bajo condiciones controladas por laboratorios.

En esta investigación para garantizar la fiabilidad de las ecuaciones empleadas en la estimación del consumo de combustible y de las emisiones de CO₂. Se tomó como referencia los datos entregados por la ficha Técnica del vehículo Ford Escape 2013.

Comparar estimaciones de economía de combustible antiguas y nuevas



Figura 3.21 Autonomía de Combustible Ford Escape 2013
(Agencia de Protección Ambiental [EPA], 2020)

La **Figura 3.21** detalla la autonomía del vehículo en los diferentes ciclos de conducción urbano, rural, y autopista. Estos valores permitieron tener una referencia del consumo de combustible estimado en los diferentes tramos de la ruta.

Los valores estimados sobre el consumo de combustible del vehículo Ford Escape 2013 se presenta en la **Tabla 3.8**. Tomando en cuenta que los valores referenciales son establecidos en millas por galón. Por lo tanto, se realizó una transformación de este consumo de combustible a litros por cada 100 km.

Tabla 3.8 Consumo de Combustible respecto a la ficha Técnica vehicular

TRAMO	Consumo de combustible Prueba RDE Ibarra (L/100km)	Ficha Técnica Vehicular Ciclo EPA Consumo (L/100km)
URBANO	11.46	10.7
RURAL	9.19	9.4
AUTOPISTA	5.95	7.8
TOTAL	8.87	9.3

En los diferentes tramos de la ruta, urbano, rural y autopista se tuvo un consumo de combustible de 1.94 L, 1.53 L y 1.0 L respectivamente, Luego de realizar la relación que podría consumir el vehículo Ford escape 2013 al recorrer una distancia de 100 km se tuvo que; En el sector urbano su consumo de combustible puede ser de 11.46 L, en el sector rural de 9.19 L y en la autopista de 5.95 L. Tomando en cuenta que estos valores pueden variar dependiendo del estilo de conducción y de las condiciones de la carretera.

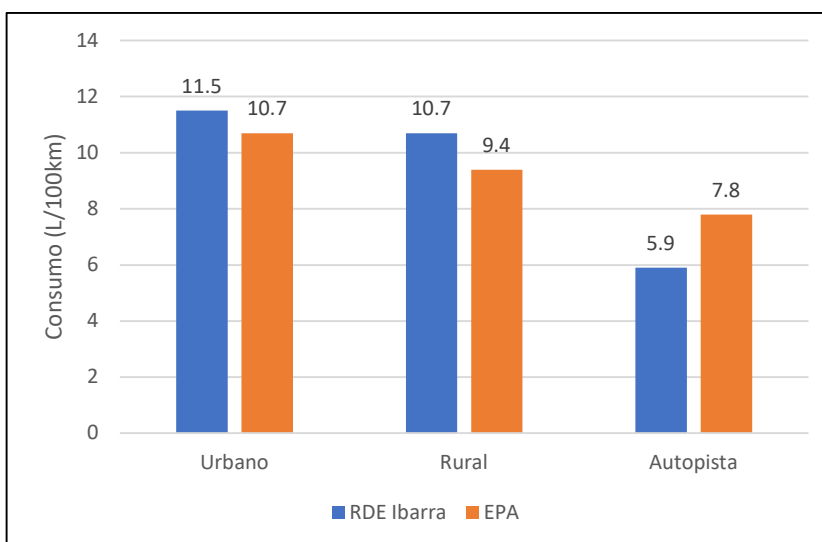


Figura 3.22 Consumo de Combustible vehículo Ford Escape 2013

En la **Figura 3.22** Se muestra la comparación del consumo de combustible estimado con los valores referenciales de la ficha técnica vehicular. Donde se puede observar que el mayor consumo de combustible del vehículo Ford Escape 2013 se genera en el tramo urbano.

Los cálculos que se realizó del consumo de combustible se han ajustado a los valores previstos por la ficha técnica vehicular, además se ha comprobado que los comportamientos de conducción afectan considerablemente el consumo de combustible en el vehículo, mientras que una conducción suave que no realiza aceleraciones o desaceleraciones agresivas proporciona un consumo sólido. Además, se identificó experimentalmente que el vehículo al descender una pendiente no realiza esfuerzos mecánicos por lo tanto se tiene un mayor ahorro de combustible.

3.4 EMISIONES DE CO₂

Con el cálculo del consumo de combustible facilitó estimar las emisiones de CO₂ por cada segundo recorrido, y en las diferentes condiciones de manejo. Con la ayuda de las herramientas internas de Office (Excel) y con el software Matlab permitieron procesar todos los datos y realizar gráficas para comprender el comportamiento de producción que genera el vehículo seleccionado en cada tramo de la ruta.

La aplicación de la ecuación [2.12] permitió determinar las emisiones de CO₂ en gramos por segundo, puesto que se reemplazó directamente el consumo de combustible calculado en (l/s) y se multiplicó por la cantidad de masa de carbono que se genera al quemar 1 litro de combustible (gasolina, 2310 g/L), estos resultados se tuvieron que realizar una transformación de unidades a g/km, ya que así lo establece la normativa UE 2019/631.

3.4.1 EMISIONES DE CO₂ TRAMO URBANO

Una vez obtenido los datos de las emisiones de CO₂ instantáneo (g/s) se procedió a exportar al software Matlab y analizar la producción en el tramo urbano, los resultados obtenidos por cada segundo se presentan en la **Figura A V.1** estas emisiones oscilan de 0.7 g/s cuando el vehículo se encuentra en ralentí y 10 g/s cuando el conductor acelera o realiza desaceleraciones bruscas para detener el vehículo principalmente en este tramo por las intersecciones. A continuación, se presenta los valores estimados por cada kilómetro

recorrido y para facilitar con la interpretación de los datos se resaltó los kilómetros donde se genera una mayor producción de CO₂.

Como se puede notar los valores de la **Tabla 3.9**, las emisiones varían su producción en cada kilómetro desde, 118 hasta 555.73 g/km, esta variación depende de los diversos factores en el que es sometido el vehículo. Por consiguiente, se tuvo que calcular el promedio total de estas emisiones donde se tuvo un promedio de 264.45 g/km

Tabla 3.9 Emisiones de CO₂ por cada kilómetro recorrido tramo urbano

Distancia (km)	Tiempo (s)	Emisiones de CO ₂ (g/km)	Distancia (km)	Tiempo (s)	Emisiones de CO ₂ (g/km)
0 - 1	0 - 190	230.91	9 - 10	1 276 – 1 426	125.11
1 - 2	190 - 282	118.56	10 - 11	1 426 – 1 575	147.34
2 - 3	282 - 471	467.15	11 - 12	1 575 – 1 833	203.65
3 - 4	471 - 707	297.02	12 - 13	1 833 – 2 243	439.4
4 - 5	707 - 820	235.17	13 - 14	2 243 – 2 507	555.73
5 - 6	820 - 950	170.64	14 - 15	2 507 – 2 679	212.35
6 - 7	950 – 1 055	299.5	15 - 16	2 679 - 2 832	249.8
7 – 8	1 055 – 1 162	398.75	16 - 17	2 832 - 2 908	200.11
8 - 9	1 162 – 1 276	144.48			

3.4.1.1 Análisis de los intervalos con mayor producción de CO₂ (Tramo Urbano)

De acuerdo con los resultados obtenidos luego de realizar el procesamiento de los datos, se desarrolló el análisis respectivo de los diferentes intervalos tomando en cuenta los valores más altos de las emisiones de CO₂ emitidas por el vehículo seleccionado.

La mayor producción de CO₂ en el tramo urbano se debe a diversos factores y situaciones que se enfrenta el vehículo como las paradas por intersecciones, congestión vehicular, pendientes cuesta arriba, y las aceleraciones bruscas que realiza el conductor durante todo el trayecto. Posteriormente se detalla los resultados obtenidos, teniendo una relevancia de los datos superiores donde indicarían las existencias de un alto porcentaje de emisiones emitidas por el vehículo.

En el kilómetro 3 se llegó a estimar una producción de 467.15 g de CO₂, en este kilómetro se genera por dos factores; El primero por la pendiente cuesta arriba que es conducido el vehículo y el segundo factor se debe a la reducción de la velocidad principalmente cuando se acerca a las intersecciones.

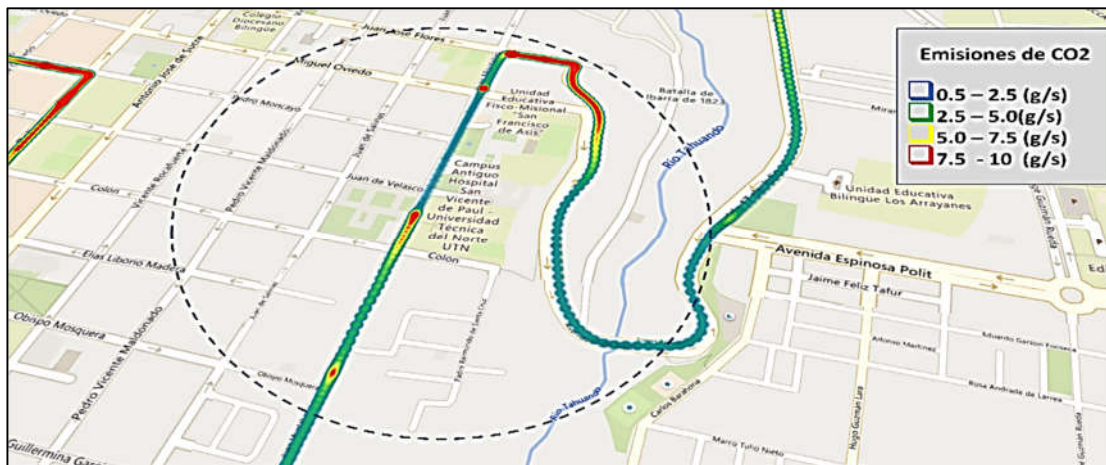


Figura 3.23 Emisiones de CO2 g/s en el kilómetro 3

Como se muestra en la **Figura 3.23** la mayor producción de las emisiones en este kilómetro se genera cuando el vehículo se enfrenta a la pendiente del 6% que se encuentra al final de la avenida 17 de Julio y conecta con la calle Juan José Flores hasta la intersección Juan Montalvo generando de 7.5 a 10 g/s. Además, se puede observar cómo existe un aumento de estas emisiones cuando el vehículo se aproxima a una intersección.

En los kilómetros 7 y 8 se llegó a estimar una producción de 299.5 y 398,75 gramos de CO2 respectivamente, los factores que intervienen en esta producción son pendientes cuesta arriba y las aceleraciones que realiza el conductor para mantener cierta velocidad.

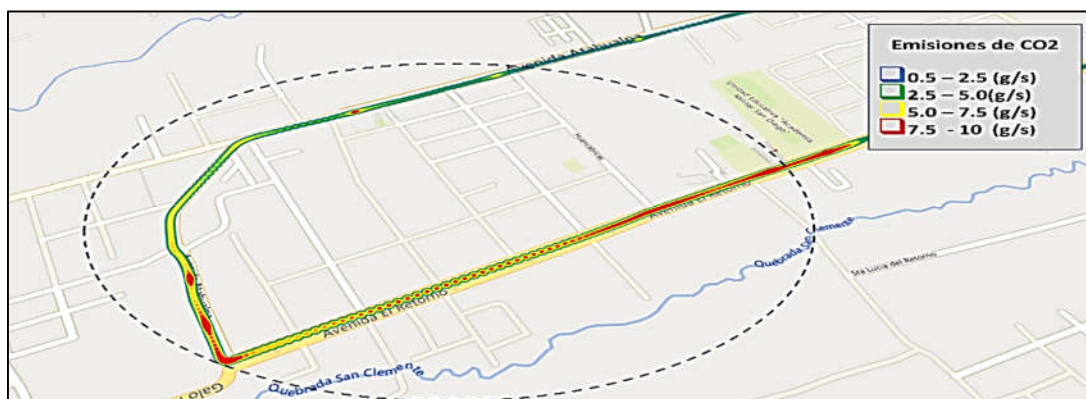


Figura 3.24 Emisiones de CO2 g/s en los kilómetros 7-8

El kilómetro 7 empieza desde la unidad educativa “Academia Militar San Diego” y finaliza en la avenida Atahualpa en el sector la Esperanza, en este tramo se registró una producción de 7.5 a 10 g/s como se puede observar en la **Figura 3.24** además, hay que aclarar que en este kilómetro a pesar de que existe una mayor emisión por segundo al final llegó a producir

99.5 g menos que en el kilómetro 8 y la razón, es por el tiempo que tardó en desplazarse. En el kilómetro 7 se tuvo Velocidades de 40 a 50km/h en cambio en el kilómetro 8 La velocidad es de 20 a 40 km/h incluyendo las paradas por intersecciones y por los reductores de velocidad.

En el kilómetro 13 y 14 se registró una producción de 439.4 y 555.7 g/km respectivamente, los factores que intervienen en esta producción son las bajas velocidades por la congestión vehicular.

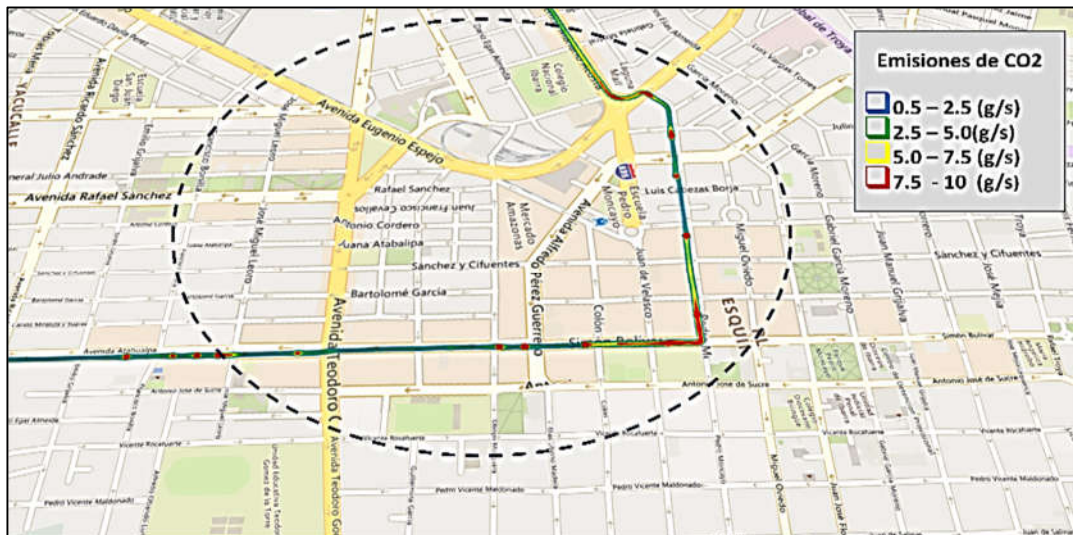


Figura 3.25 Emisiones de CO2 g/s en los kilómetros 13-14

Cómo se observa en la **Figura 3.25** las emisiones de CO2 en el kilómetro 13 produce 7.5 a 10 g/s, este kilómetro empieza en la avenida Atahualpa con la intersección José Miguel Leoro hasta la intersección con la calle Pedro Moncayo.

En el kilómetro 14 se genera la mayor producción de las emisiones de CO2 del tramo urbano, éste empieza en la calle Pedro Moncayo y la intersección con la calle Simón Bolívar, y finaliza en la avenida Mariana de Jesús intersección con la calle Gabriela Mistral.

3.4.2 EMISIONES DE CO2 TRAMO RURAL

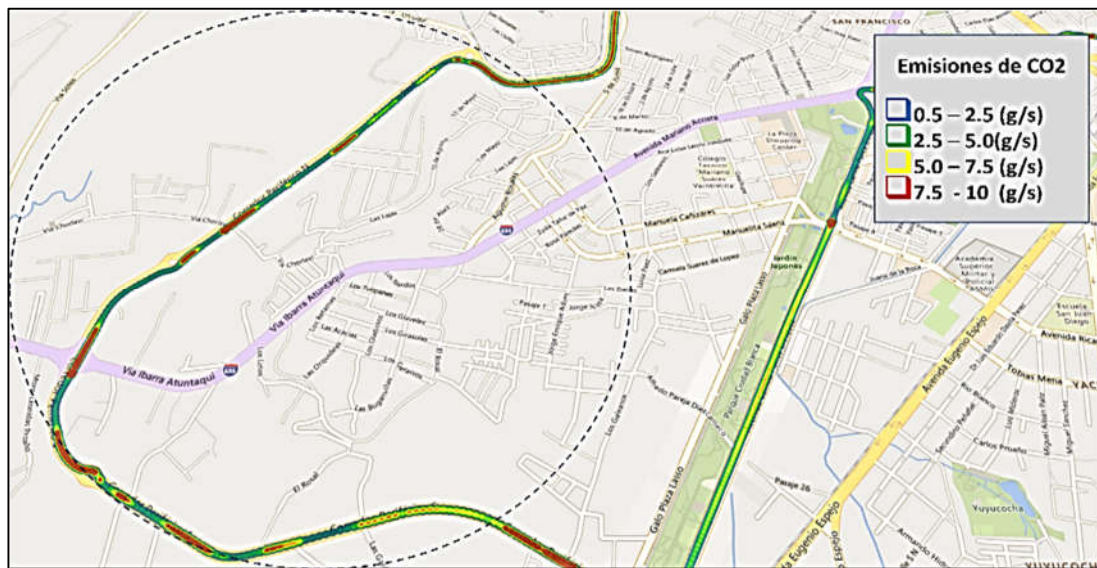
En la **Tabla 3.10** se muestran los valores del tramo Rural. En este tramo el vehículo recorrió una distancia de 17 km en un tiempo aproximado de 25 minutos, donde se tuvo un consumo de combustible de 1.53 L y una producción de 3534.23 gramos de CO2, su promedio por cada kilómetro fue de 207.89 g/km.

Tabla 3.10 Emisiones de CO₂ por cada kilómetro recorrido tramo Rural

Distancia (km)	Tiempo (s)	Emisiones de CO ₂ (g/km)	Distancia (km)	Tiempo (s)	Emisiones de CO ₂ (g/km)
17 - 18	2 908 – 2 990	96.08	26 - 27	3 592 – 3 651	204.39
18 - 19	2 990 – 3 049	123.23	27 - 28	3 651 – 3 743	369.45
19 - 20	3 049 – 3 203	299.87	28 - 29	3 743 – 3 944	159.65
20 - 21	3 203 – 3 286	385.5	29 - 30	3 944 – 4 052	142.64
21 - 22	3 286 – 3 341	210.28	30 - 31	4 052 – 4 140	233.89
22 - 23	3 341 – 3 399	214.28	31 - 32	4 140 – 4 240	207.37
23 - 24	3 399 – 3 458	208.34	32 - 33	4 240 – 4 356	80.47
24 - 25	3 458 – 3 521	361.55	33 - 34	4 356 – 4 436	166.97
25 - 26	3 521 – 3 592	70.16			

3.4.2.1 Análisis de los intervalos con mayor producción de CO₂ (Tramo Rural)

En los kilómetros 19 y 20 se tuvo una producción de 299.87 y 385.5 g/km respectivamente, en este tramo de la ruta se genera por el aumento de la velocidad que se aplica al vehículo luego de salir de una intersección o al salir de una rotonda, como se puede observar en la siguiente imagen.

**Figura 3.26** Emisiones de CO₂ g/s en los kilómetros 19-20

En el kilómetro 20 se registró la mayor cantidad de emisiones de CO₂ del tramo Rural, produciendo 385.5 g/km como se puede observar en la **Figura 3.26** en este kilómetro la mayor producción por segundo se genera cuando el vehículo se aproxima a una intersección o a una rotonda o cuando sale de ésta generando de 7.5 a 10 g/s.

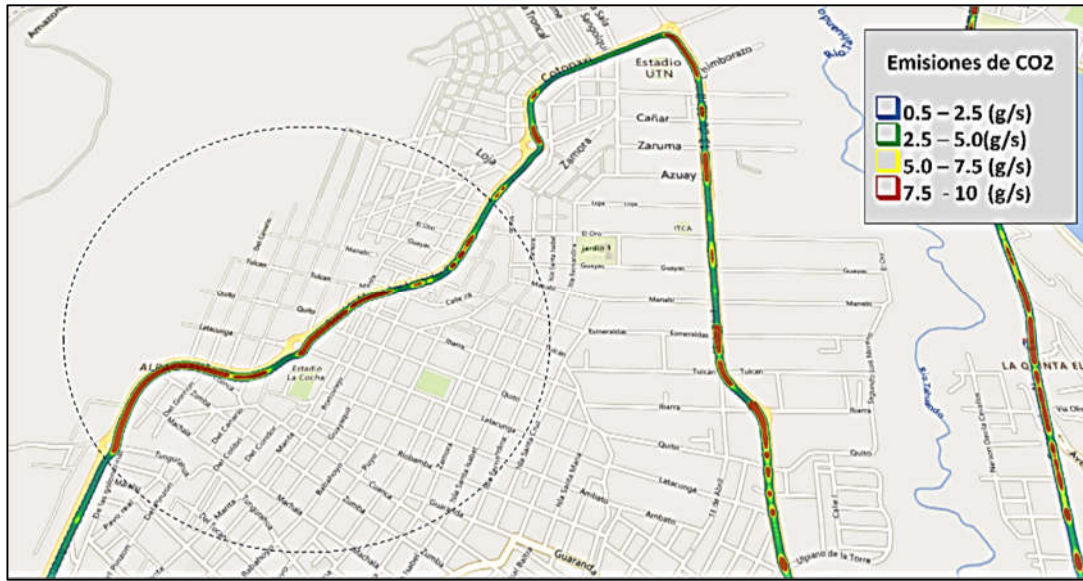


Figura 3.27 Emisiones de CO₂ g/s en los kilómetros 24-25

En el kilómetro 24 se tuvo una producción de 361.55 g/km, en este tramo se genera por el aumento de velocidad que se le aplica al vehículo luego de salir de intersecciones y rotondas, Por lo general al aumentar la velocidad el vehículo tiende a producir más emisiones de CO₂ que vienen desde 7.5 a 10 g/s.

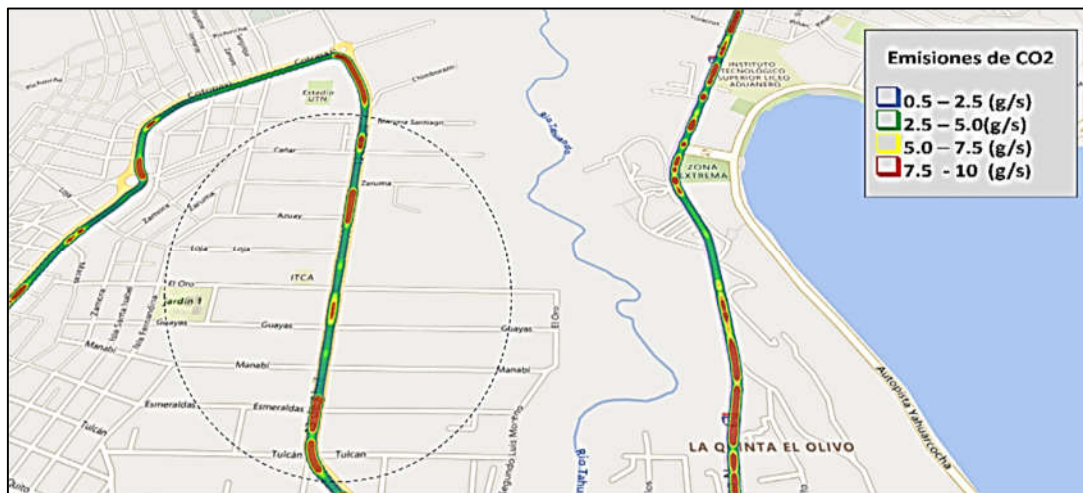


Figura 3.28 Emisiones de CO₂ g/s en los kilómetros 27 - 28

Cómo se muestra en la **Figura 3.28** la mayor producción de las emisiones de CO₂ se genera cuando el vehículo se aproxima a una intersección o cuando sale de ésta.

3.4.3 EMISIONES DE CO2 TRAMO AUTOPISTA

Los valores calculados para el tramo de conducción Autopista se presentan en la **Tabla 3.11** que se muestra a continuación. En este tramo se tuvo una distancia recorrida de 16.9 km con tiempo de 800 segundos, en este trayecto el vehículo tuvo un consumo de combustible de 1.00 L, produciendo 2299.86 gramos de CO₂ la cual dio un promedio de 135.29 g/km.

Tabla 3.11 Emisiones de CO₂ por cada kilómetro recorrido tramo Autopista

Distancia (km)	Tiempo (s)	Emisiones de CO ₂ (g/km)	Distancia (km)	Tiempo (s)	Emisiones de CO ₂ (g/km)
34 - 35	4 517	163.06	43 - 44	4 998	48.17
35 - 36	4 553	203.8	44 - 45	5 037	126.89
36 - 37	4 595	212.96	45 - 46	5 073	101.91
37 - 38	4 635	136.08	46 - 47	5 109	150.29
38 - 39	4 689	84.45	47 - 48	5 150	142.52
39 - 40	4 772	133.02	48 - 49	5 193	91.05
40 - 41	4 857	181.45	49 - 50	5 238	81.25
41 - 42	4 915	210.74	50 - 51	5 317	104
42 - 43	4 963	128.21			

Es un hecho que las emisiones del tramo de conducción rural y autopista sean menores con respecto a las emisiones de CO₂ producidas en el tramo Urbano, y esto se debe a los diversos factores que influyen en la conducción como los cambios de velocidad, aceleración, desaceleraciones, pendiente de la carretera, etc.

3.4.3.1 Análisis de los intervalos con mayor producción de CO₂.

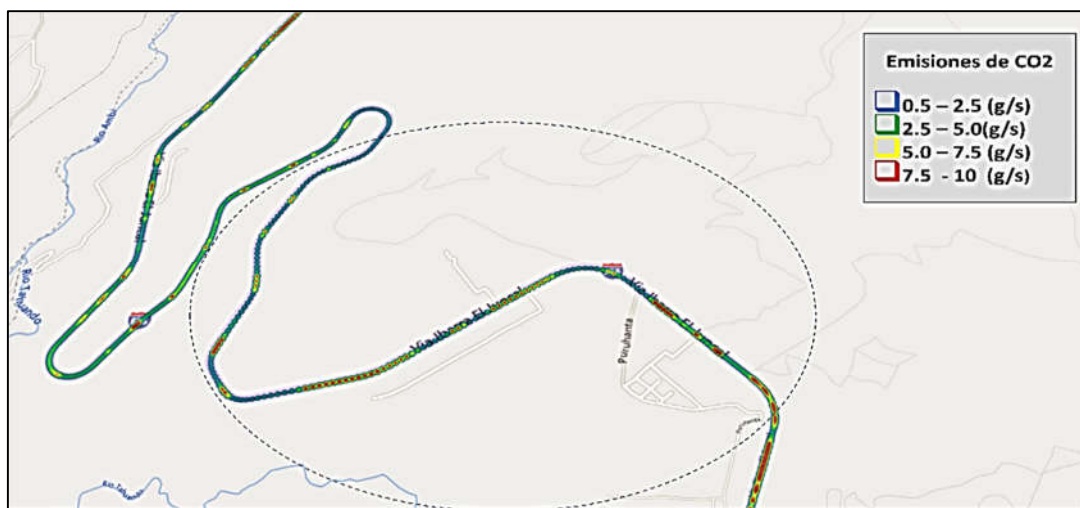


Figura 3.29 Emisiones de CO₂ g/s en los kilómetros 34 - 37

Como se observa en la **Figura 3.29** en este tramo de la ruta las emisiones de CO₂ por cada segundo son equivalentes de acuerdo con el estilo de conducción, cuando es acelerado o desacelerado el vehículo tiende a emitir más emisiones por cada segundo y cuando el vehículo mantiene la velocidad genera menos emisiones.

3.4.4 EMISIONES DE CO₂ COMBINADO

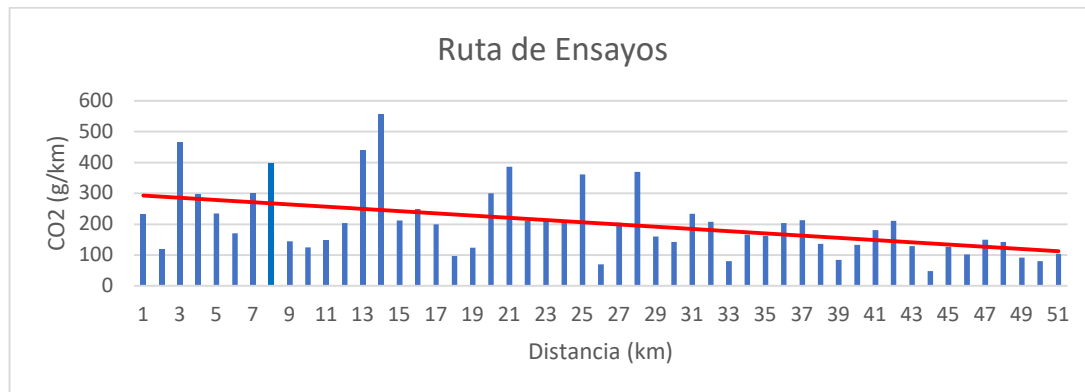


Figura 3.30 Producción de Emisiones de CO₂ del vehículo Ford Escape 2013 en la ruta de Ensayos de Emisiones

Como se mira en la **Figura 3.30** la línea de tendencia en el tramo urbano se encuentra en los 300g/km, en el tramo rural en los 200g/km y en el tramo de autopista llega hasta los 100g/km, esto quiere decir que en el tramo urbano existe una mayor producción de emisiones de CO₂ a comparación con los demás tramos de la ruta.

Para verificar si las ecuaciones empleadas son capaces de obtener correctamente las emisiones de CO₂ en el vehículo a prueba, se realizó una comprobación con los valores referenciales del vehículo. Estos valores se los encuentra en la página web de la Agencia de Protección del Ambiente (EPA) www.fueleconomy.gov. En el país de Estados Unidos se desarrolló este sitio web para que los consumidores puedan informarse de la eficiencia del combustible y de las emisiones de CO₂ que tiene el vehículo. También este sitio web proporciona la facilidad de que los usuarios registren su propia experiencia de la eficiencia del combustible. Los valores alojados en el sitio son de agencias gubernamentales, en este caso de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA).

De acuerdo con la normativa europea las emisiones de CO₂ que emiten los vehículos nuevos es de 90 a 120 g/ km tomando en cuenta que estos valores se establecieron desde el año 2020

en adelante, por lo tanto, este vehículo al ser del año 2013 su homologación fue realizada en el ciclo de conducción EPA (Agencia de Protección del Ambiente).

En la siguiente **Tabla 3.12** se muestra la comparación de los valores en cada tramo de la ruta de ensayos de Emisiones y el promedio total por cada kilómetro recorrido.

Tabla 3.12 Comparación de las emisiones de CO₂ con la ficha Técnica Vehicular

Tramo	Emisiones de CO ₂ RDE en la ciudad de Ibarra (g/100km)	Emisiones de CO ₂ Ciclo de conducción EPA (g/100km)
Urbano	264,45	248,41
Rural	207,89	218.60
Autopista	135,29	182.17
CO₂ PROMEDIO	202,54	216.39

Como resultado final de la producción de las emisiones de CO₂ del vehículo Ford Escape 2013 fue de 202,54 g/km teniendo una mayor producción en el tramo Urbano de 264,45 (g/km), seguido por el tramo rural con 207,89 g/km y finalmente con el tramo de autopista con 135,29 g/km registrando una menor producción. Además, se cabe aclarar que el sitio web (EPA) para este vehículo no detalla las emisiones de CO₂ para las diferentes condiciones de manejo por lo que se tuvo que multiplicar la cantidad de carbono que emite en 1L de combustible (2310 g) en las diferentes condiciones de manejo. Donde el valor el valor promedio fue de 216.39 g/km.

De acuerdo con estos resultados y comparativas con la ficha técnica vehicular permitió verificar que la metodología utilizada y las ecuaciones empleadas si son capaces de estimar las emisiones de CO₂.

CAPÍTULO IV

4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 CONCLUSIONES

- La construcción de la Ruta de ensayo de emisiones RDE para vehículos ligeros en la ciudad de Ibarra permitió evaluar la conducción obteniendo una representación del consumo de combustible y de las emisiones de CO₂ del vehículo seleccionado, en el ciclo de conducción urbano se tuvo una velocidad promedio de 20,58 km/h en el ciclo rural de 40,10 km/h y en el ciclo de autopista de 70km/h. Además, un tiempo de la prueba de 90 minutos y una distancia de viaje total de 50.9 km. De esta manera se estableció la ruta cumpliendo con la normativa UE 2016/427.
- Los diferentes parámetros del vehículo que se registró en tiempo real por medio del conector OBDII, permitió estimar el consumo de combustible instantáneo en (L/s). La aplicación de ecuaciones matemáticas y el uso de programas de cálculo se logró comparar el comportamiento del consumo de combustible en los diferentes tramos de la ruta y de igual manera con los datos referenciales de la ficha técnica vehicular. En el tramo Urbano el vehículo Ford escape 2013 recorrió una distancia de 17 km lo cual tuvo un consumo de combustible de 1.94 L en el tramo rural con la misma distancia tuvo un consumo de combustible de 1.47 L y en el tramo de autopista con una distancia de 16.9 km tuvo un consumo de combustible de 1.0 L.
- La producción de las emisiones de CO₂ varían con el estilo de conducción. Al reducir las velocidades aplicando los frenos para detener el vehículo y luego acelerar para continuar con la circulación, ha generado que el vehículo consuma más combustible y emita más emisiones. En el tramo urbano el vehículo Ford Escape 2013 recorrió una distancia de 17 km lo cual tuvo una producción de 4495 gramos CO₂, en el tramo rural con la misma distancia emitió 3535 g de CO₂ y en el tramo de Autopista con una distancia de 16.9 Km generó 2299 g de CO₂. Lo cual con estos valores se pudo concluir que existe una mayor producción de CO₂ en el tramo urbano.

4.2 RECOMENDACIONES

- Para futuras investigaciones que involucren la construcción de los ciclos de conducción y el análisis de las emisiones con respecto a la velocidad se recomienda que la toma de estos datos se la realice con el registrador de datos OBDII principalmente de los sensores (ABS o VSS) ya que estos son mucho más precisos y estables que la velocidad del módulo GPS.
- Para futuros estudios que se requiera medir el consumo de combustible del vehículo de manera instantánea y precisa en (L/s) y no cuente con sensores relacionados, se recomienda instalar un sensor de flujo de combustible externo en el sistema de inyección del vehículo y emplear un registrador de datos de entradas análogas y digitales de sensores externos.
- Para futuras investigaciones que requieran hacer un análisis del comportamiento de las emisiones de CO₂ en diferentes estilos de conducción como son aceleraciones, desaceleraciones, pendientes, e intersecciones semaforizadas, etc. Se recomienda hacer uso del registrador de datos OBDII y de ecuaciones matemáticas, ya que estas permiten realizar un análisis en tiempos más prolongados.

BIBLIOGRAFÍA

1. Agencia de Protección Ambiental [EPA]. 2020. «Sources of Greenhouse Gas Emissions | US EPA». Recuperado 10 de agosto de 2022 (<https://www.epa.gov/ghgemissions/sources-greenhouse-gas-emissions>).
2. Bedoya, Vanessa Ríos. 2016. «Estimación de las emisiones de CO₂ desde la perspectiva de la demanda de transporte en Medellín». 15:302-22.
3. Bird, Lilian, y Jose Olina. 2006. «Causas del calentamiento global Consecuencias del calentamiento global». *Revista Digital Universitaria* 1-5. Recuperado 3 de mayo de 2022 (<https://www.nationalgeographic.es/medio-ambiente/causas-del-calentamiento-global>).
4. Chen, Jia Shiun. 2015. «Energy Efficiency Comparison between Hydraulic Hybrid and Hybrid Electric Vehicles». *Energies* 2015, Vol. 8, Pages 4697-4723 8(6):4697-4723. doi: 10.3390/EN8064697.
5. CSSElectronics. 2021a. «CANedge2 2xCAN/LIN Data Logger (SD + RTC + WiFi)».
6. CSSElectronics. 2021b. «CANedge2 2xCAN/LIN Data Logger (SD + RTC + WiFi)». Recuperado 18 de abril de 2022 (<https://canlogger.csselectronics.com/canedge-docs/ce2/introduction.html>).
7. Dávalos, Danilo. 2017. «Obtención de un ciclo típico de conducción para los vehículos de la unión de taxistas del Azuay».
8. Duch, Jaume. 2022. «Emisiones de CO₂ de los coches: hechos y cifras (infografía) | Noticias | Parlamento Europeo». *Noticias Parlamento Europeo* 1-7.
9. Hannappel, Ralf. 2017. «The impact of global warming on the automotive industry». *AIP Conference Proceedings*, 1-7.
10. J.S. Spreen G. Kadijk R.J. Vermeulen V.A.M. Heijne N.E. Ligterink U. Stelwagen R.T.M. Smokers P.J. van der Mark. 2016. «Evaluación de las emisiones de los vehículos de carretera: metodología de los programas holandeses de pruebas en servicio». Recuperado 28 de abril de 2022 (<https://vdocument.in/tno-report-tno-2016-r11178-assessment-of-road-vehicle-a-erpubliek-a-documenten.html>).
11. Junker, Jean-Claude. 2016. «REGLAMENTO (UE) 2016/ 646 DE LA COMISIÓN - de 20 de abril de 2016.» 22.
12. Kindelán, Jesús. 2016. «Múltiples beneficios que se tiene gracias al transporte.» Recuperado 29 de junio de 2022

- (https://oa.upm.es/43405/1/TFG_FERNANDO_PAUNERO_RUIZ_DANA.pdf).
- 13.Ligterink, Norbert E. 2016. «On-road determination of average Dutch driving behaviour for vehicle emissions». *Earth, Life & Social Sciences* (June). doi: 10.13140/RG.2.1.5080.2804.
 - 14.Luis Hernández. 2015. «Toyota Hilux 2016». Recuperado 19 de mayo de 2022 (<https://noticias.autocosmos.com.mx/2015/11/25/toyota-hilux-2016-a-prueba>).
 - 15.Maloy Smith, Grant. 2020. «Data Logger y Funcionamiento». *DEWESoft*. Recuperado 8 de junio de 2022 (<https://dewesoft.com/es/daq/que-es-un-data-logger#what-is-data-logger>).
 - 16.Mendes, Luciano B., Nico W. Ogink, Nadège Edouard, Hendrik C. Jan van Dooren, Ilda F. de Fátima Tinôco, y Julio Mosquera. 2015. «NDIR Gas Sensor for Spatial Monitoring of Carbon Dioxide Concentrations in Naturally Ventilated Livestock Buildings». *Sensors* 15:11239-57. doi: 10.3390/s150511239.
 - 17.Meseguer, Javier E., Chai Keong Toh, Carlos T. Calafate, Juan Carlos Cano, y Pietro Manzoni. 2017. «Drivingstyles: A mobile platform for driving styles and fuel consumption characterization». *Journal of Communications and Networks* 19(2):162-68. doi: 10.1109/JCN.2017.000025.
 - 18.Montúfar-Paz, Paúl, Daniela C. Vásquez-Núñez, y Fernando M. Tello-Oquendo. 2021. «Análise da representatividade dos ciclos de direção construídos a partir da potência específica do veículo e do consumo de energia com base em micro viagens». 6(7):979-1002. doi: 10.23857/pc.v6i7.2902.
 - 19.Norbert, E., K. Gerrit, y S. Richard. 2016. «las emisiones de diesel Euro 5 furgonetas Contenido». doi: 10.13140/RG.2.2.30386.61126.
 - 20.Paillacho, Javier, y Xavier Tequis. 2022. «Análisis De La Autonomía De La Batería De Un Vehículo Urbano Eléctrico». 178.
 - 21.Paredes, Alejandra. 2022. «Estrategias de movilidad Dostenible para mitigar el impacto ambiental producido por el parque automotor de la ciudad de Guaranda, Provincia de Bolivar». Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.
 - 22.Parlamento Europeo. 2019. «Emisiones de CO2 de los coches: hechos y cifras (infografía) | Noticias | Parlamento Europeo». Recuperado 25 de abril de 2022 (<https://www.europarl.europa.eu/news/es/headlines/society/20190313STO31218/emisiones-de-co2-de-los-coches-hechos-y-cifras-infografia>).
 - 23.Paz, Susana, y Antonio Pérez. 2019. «Portable Nano-Particle Emission Measurement

- System». (2019):1-24.
24. Pesantes, Victor, Carlos Ortega, Guillermo Reyes, y Juan Rubio. 2021. «Análisis de las normativas locales e internacionales en control de emisiones contaminantes en el DMQ». 7:971-92. doi: <http://dx.doi.org/10.23857/dc.v7i5.2293>.
 25. Rodríguez Rojas, Cristhian Andrés, Gustavo Antonio Coveña Serrano, y Pedro David Vela Alquina. 2018. «Estudio de los gases contaminantes modificando la relación de compresión en un vehículo».
 26. Sohail, Anwar Mehmood, Khurram S. Khattak, Adil Iqbal, Zawar H. Khan, y Aakash Ahmad. 2019. «Cloud-based detection of road bottlenecks using obd-ii telematics». *Proceedings - 22nd International Multitopic Conference, INMIC 2019* (December). doi: 10.1109/INMIC48123.2019.9022754.
 27. Soria, María. 2017. «Evolución de la reglamentación europea sobre emisiones y homologación de los vehículos». Recuperado 11 de mayo de 2022 (<https://www.mendeley.com/reference-manager/reader/7766e1cd-e619-3793-8a18-f02d5273b4bf/5e460185-07aa-0aaf-3540-1ddb1888125f/>).
 28. Spreen G. 2016. *Evaluación de las emisiones de los vehículos de carretera: metodología de los programas holandeses de pruebas en servicio*.
 29. Triantafyllopoulos, Georgios, Athanasios Dimaratos, Leonidas Ntziachristos, Yoann Bernard, Jan Dornoff, y Zissis Samaras. 2019. «A study on the CO₂ and NO_x emissions performance of Euro 6 diesel vehicles under various chassis dynamometer and on-road conditions including latest regulatory provisions». *Science of the Total Environment* 666:337-46. doi: 10.1016/j.scitotenv.2019.02.144.
 30. Unión Europea [UE]. 2017. «REGLAMENTO DE EJECUCIÓN (UE) 2017/1152 DE LA COMISIÓN de». 644-78.
 31. Useros, José Luis. 2013. «El Cambio Climático: sus causas y efectos medioambientales». *Real Academia de Medicina y Cirugía de Valladolid* 50:71-98.
 32. Valverde Morales, Victor, Michael Clairotte, Jelica Pavlovic, Barouch Giechaskiel, y Pierre Bonnel. 2020. «On-Road Emissions of Euro 6d-TEMP Vehicles: Consequences of the Entry into Force of the RDE Regulation in Europe». en *SAE Technical Papers*. SAE International.
 33. Vermeulen, R. J., S. van Goethem, H. L. Baarbe, L. W. M. Zuidgeest, J. S. Spreen, y W. A. Vonk. 2014. «SEMS operating as a proven system for screening real-world NO_x and NH₃ emissions». *20th International Transport and Air Pollution Conference*

2014, Graz, Austria, 18-19 September 1.

34. Vermeulen, Robin, W. A. Vonk, R. N. Van Gijlswijk, y E. G. Buskermolen. 2015. «The Netherlands In-Service Emissions Testing Programme for Heavy-Duty Vehicles».
35. Wikner, Evelina, y Torbjörn Thiringer. 2018. «Extending Battery Lifetime by Avoiding High SOC». *Applied Sciences* 2018, Vol. 8, Page 1825 8(10):1825. doi: 10.3390/APP8101825.

ANEXOS

ANEXO I

I VEHÍCULO FORD ESCAPE 2013

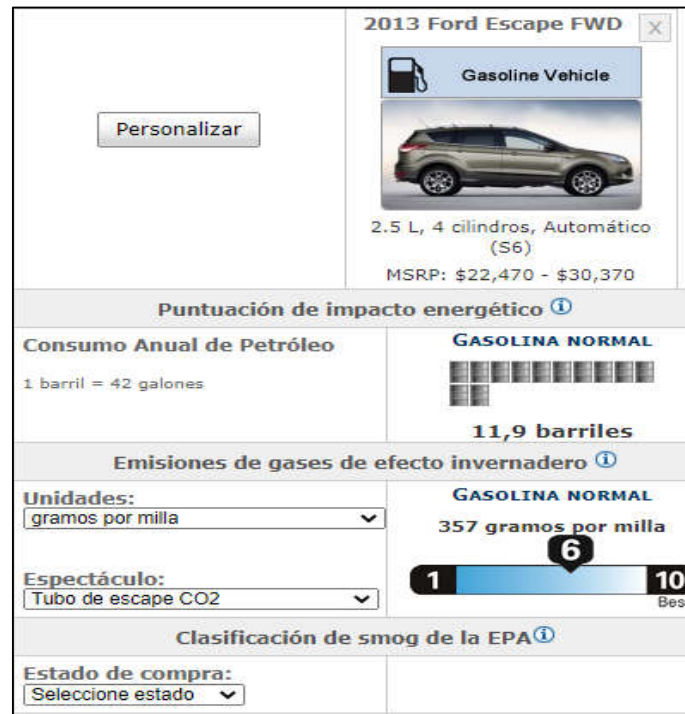


Figura A I.1 Consumo de Combustible y emisiones de CO2 del vehículo Ford Escape 2013



Figura A I.2 Conexión del Registrador de Datos CAN Edge y el módulo CANmod GPS en el conector OBD II del vehículo Ford Escape 2013

ANEXO II

II SEÑALES DE VELOCIDAD EN LA RUTA DE ENSAYOS EN LA CIUDAD DE IBARRA (RDE)

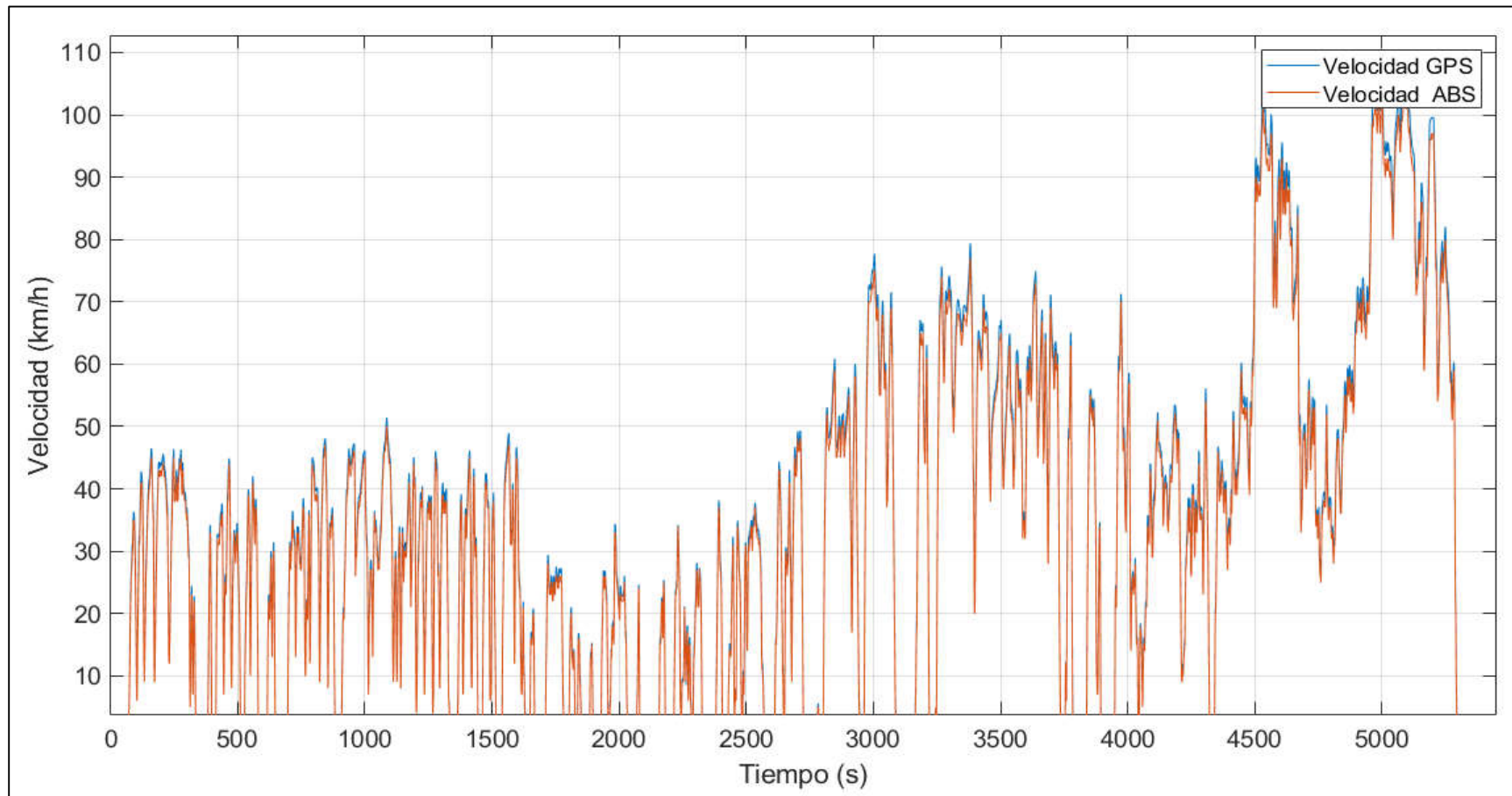


Figura A II.1 Comparación de las señales registradas con el sensor ABS del vehículo y el módulo CANmod GPS

ANEXO III

III CONSUMO DE COMBUSTIBLE SENSOR MAF Y MAP EN LA RUTA DE ENSAYOS (RDE)

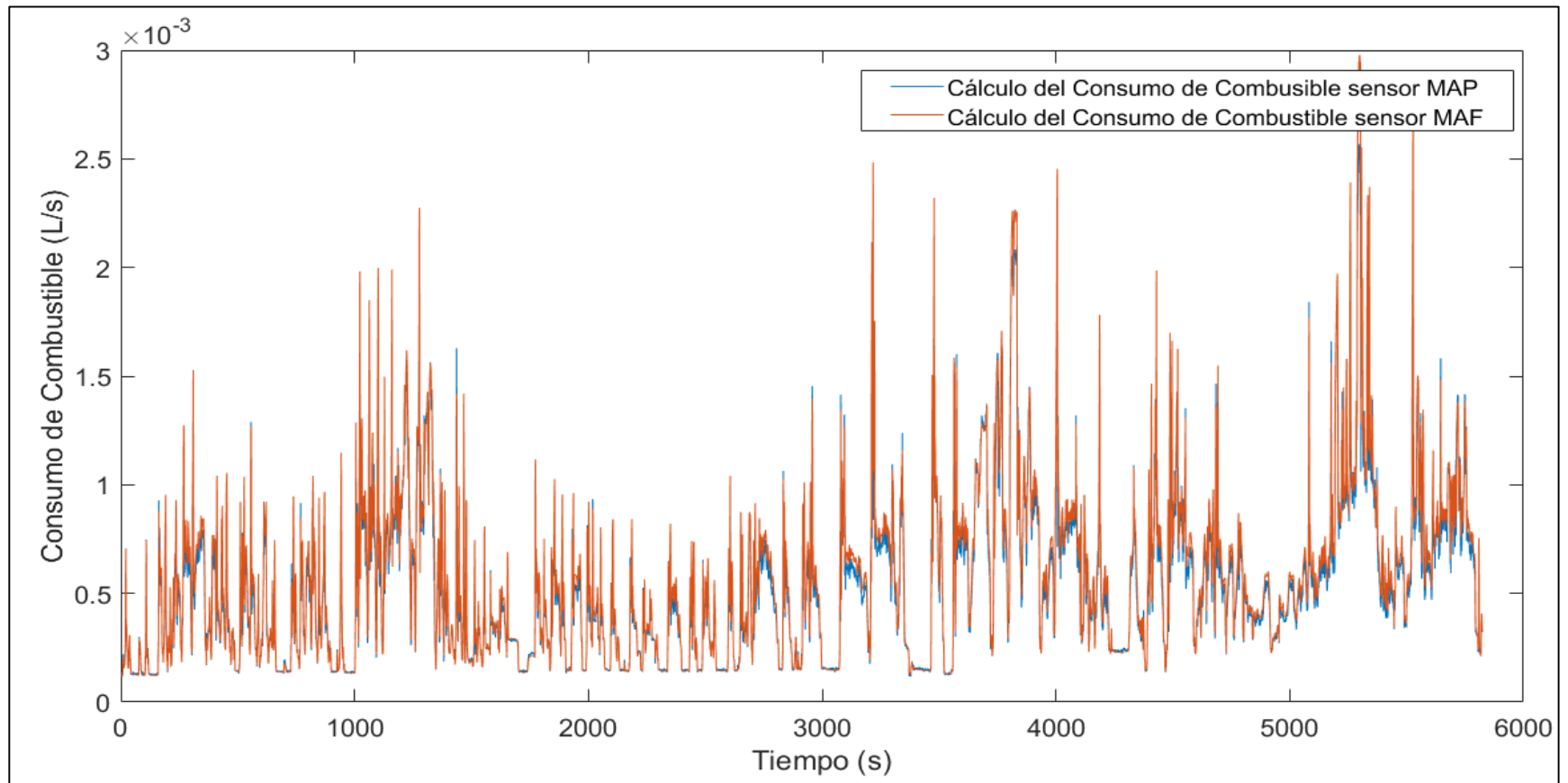


Figura A III.1 Comparación de la estimación del consumo de Combustible con el sensor MAF y MAP

ANEXO IV

IV RUTA DE ENSAYO DE EMISIONES (RDE)

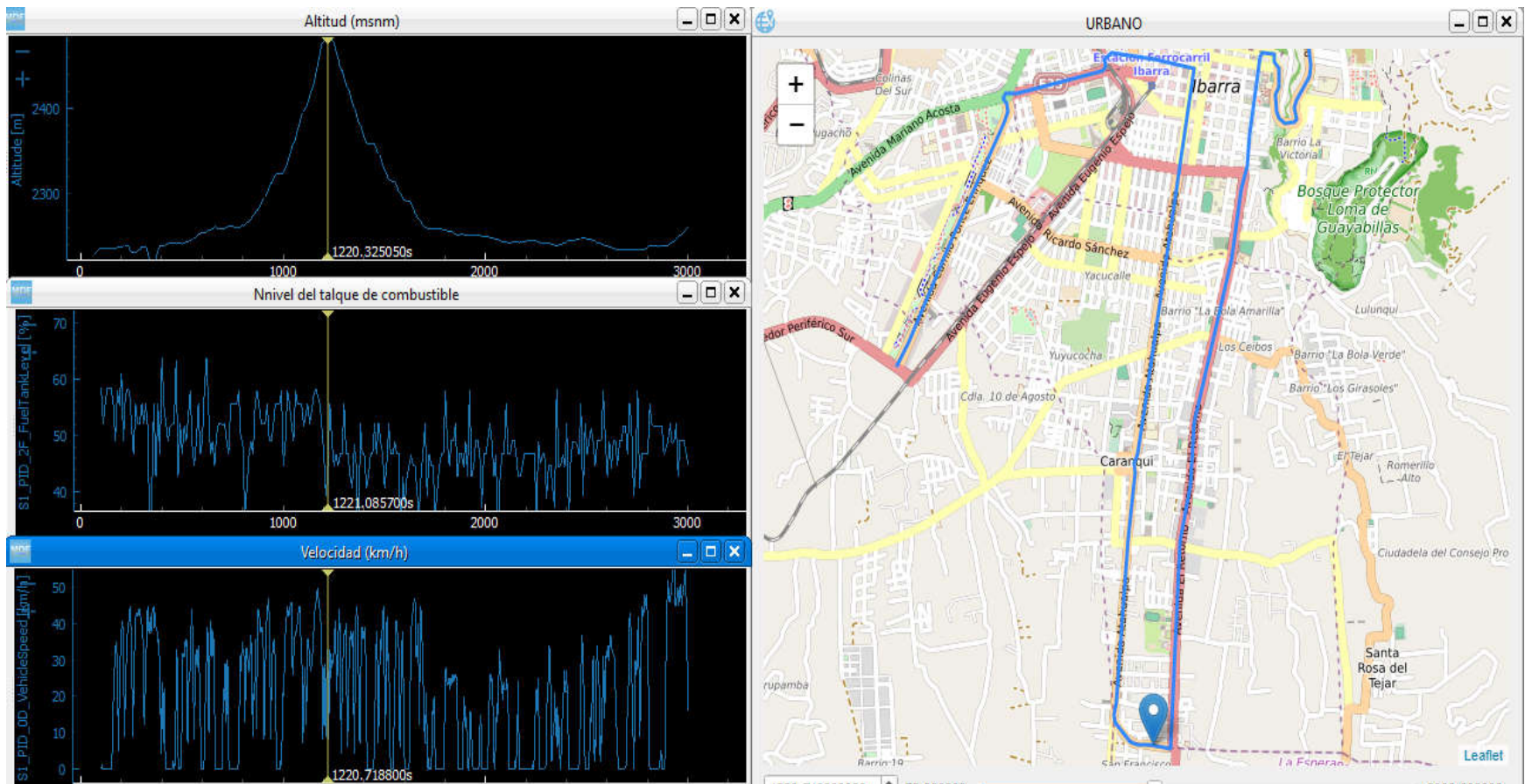


Figura A IV.1 Trazado del tramo Urbano en el programa asammdf

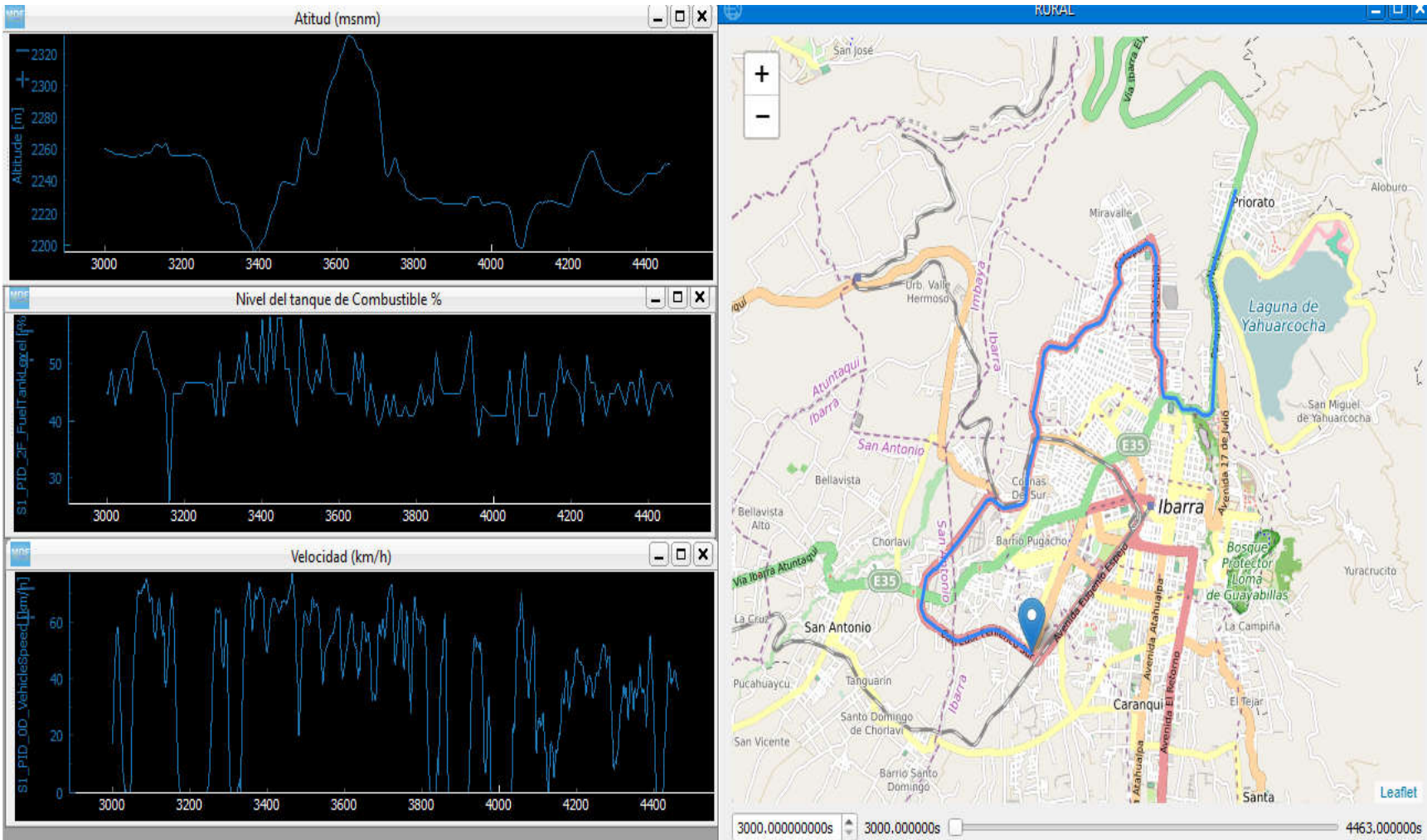


Figura A IV.2 Trazado del tramo Rural en el programa asammdf

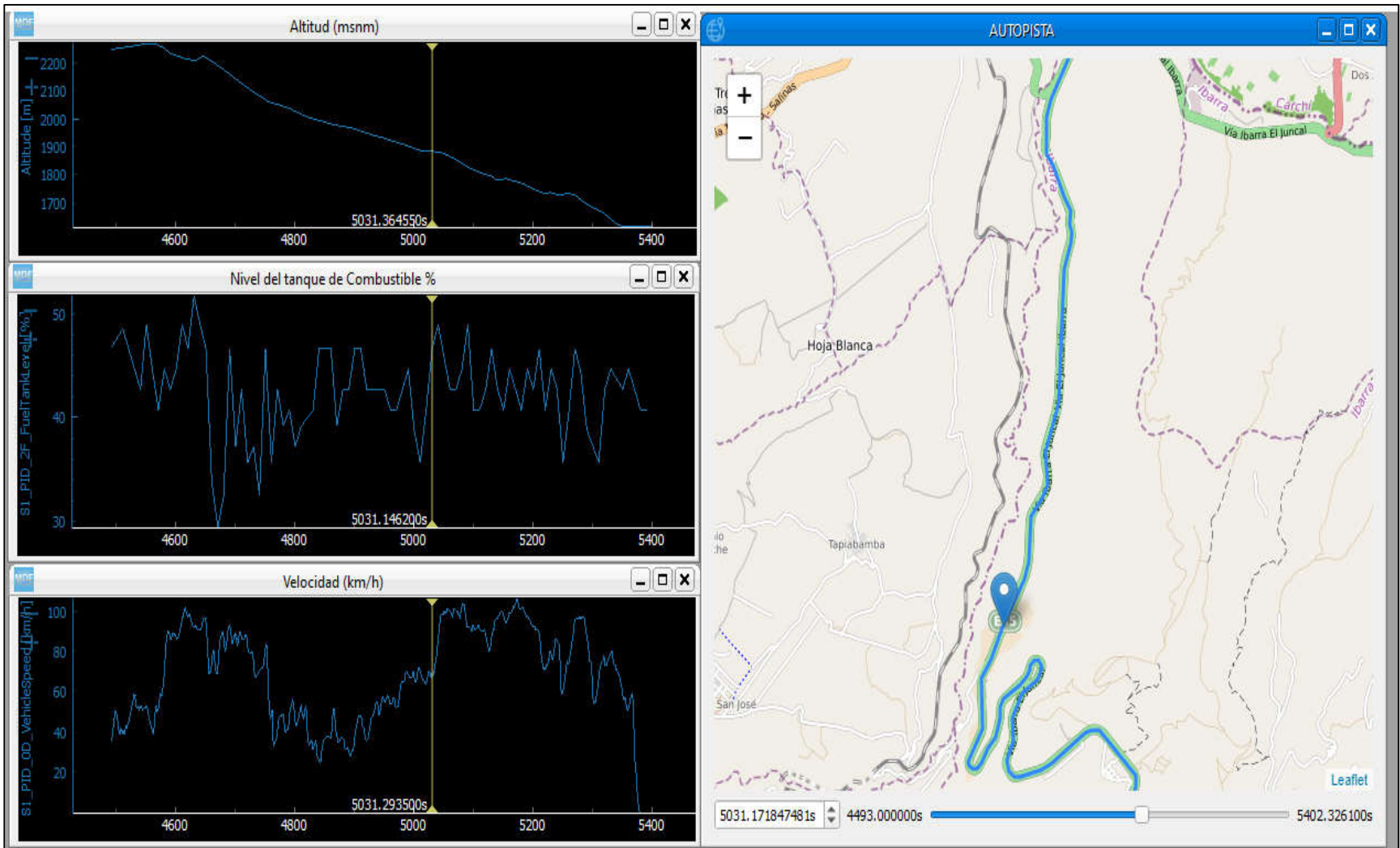


Figura A IV.3 Trazado del tramo Autopista en el programa asammdf

ANEXO V

V EMISIONES DE CO2

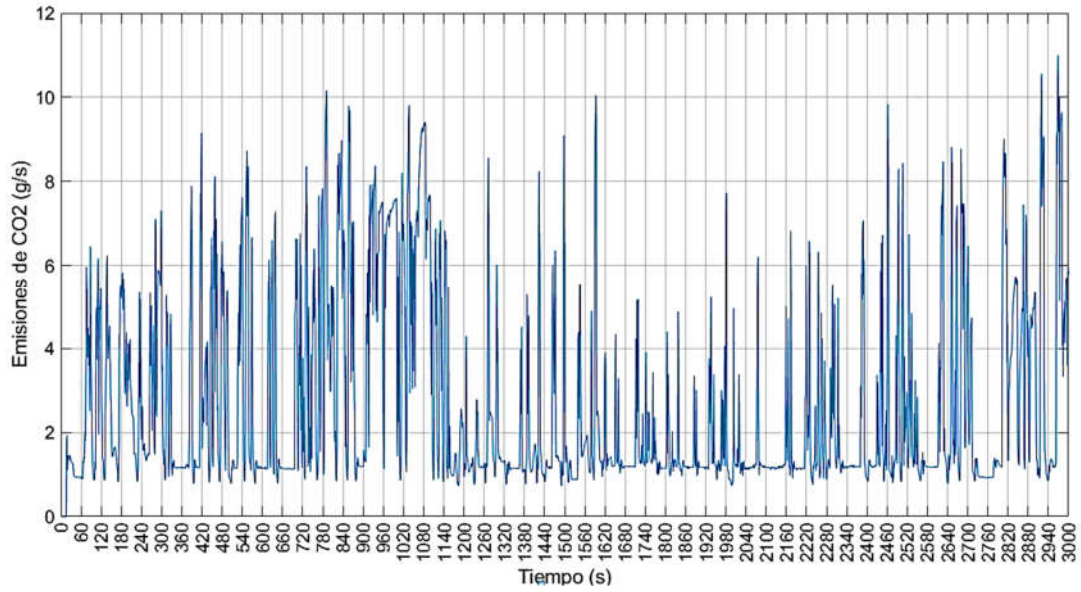


Figura A V.1 Emisiones de CO2 g/s Tramo Urbano

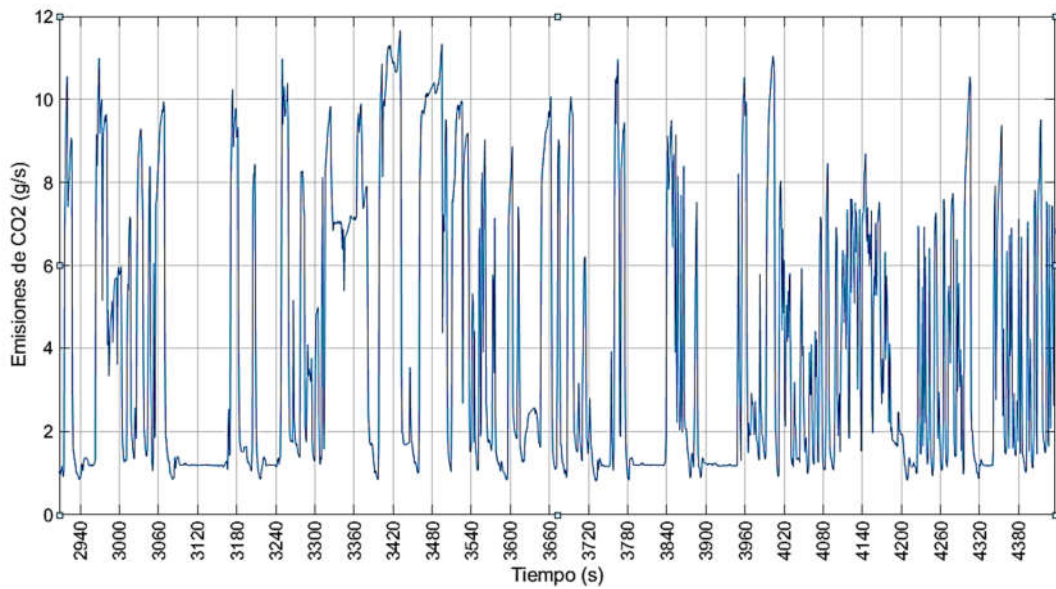


Figura A V.2 Emisiones de CO2 g/s Tramo Rural

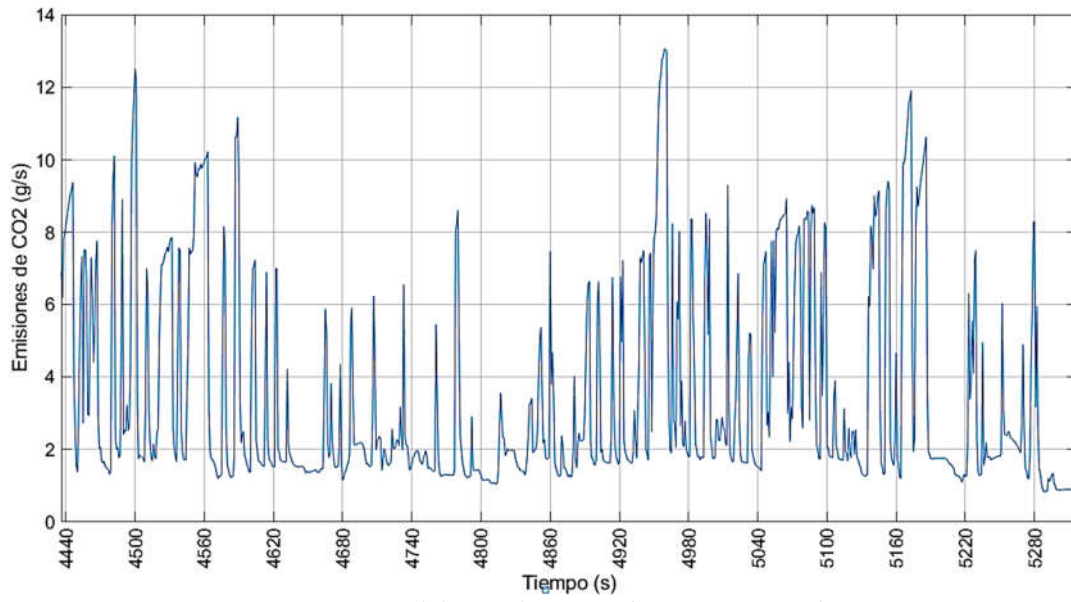


Figura A V.3 Emisiones de CO2 g/s Tramo Autopista