



Universidad
Nacional
de Loja

Universidad Nacional de Loja

Facultad de la Energía, las Industrias y los Recursos Naturales no Renovables

Carrera de Ingeniería Automotriz

Análisis del consumo energético y factores de emisión por CO₂ para los modos de operación de un MEP con sistema GDI en la ciudad de Loja

Trabajo de Integración
Curricular, previo a la obtención
del título de Ingeniero Automotriz.

AUTOR:

Thomas Jefferson Astudillo Aguilar

DIRECTOR:

Ing. Diego Vinicio Díaz Sinche Mg. Sc.

Loja – Ecuador

2024

Certificación



unl

Universidad
Nacional
de Loja

Sistema de Información Académico
Administrativo y Financiero - SIAAF

CERTIFICADO DE CULMINACIÓN Y APROBACIÓN DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

Yo, **DIAZ SINCHE DIEGO VINICIO**, director del Trabajo de Integración Curricular denominado **ANÁLISIS DEL CONSUMO ENERGÉTICO Y FACTORES DE EMISIÓN POR CO2 PARA LOS MODOS DE OPERACIÓN DE UN MEP CON SISTEMA GDI EN LA CIUDAD DE LOJA**, perteneciente al estudiante **THOMAS JEFFERSON ASTUDILLO AGUILAR**, con cédula de identidad N° **1900713486**.

Certifico:

Que luego de haber dirigido el **Trabajo de Integración Curricular**, habiendo realizado una revisión exhaustiva para prevenir y eliminar cualquier forma de plagio, garantizando la debida honestidad académica, se encuentra concluido, aprobado y está en condiciones para ser presentado ante las instancias correspondientes.

Es lo que puedo certificar en honor a la verdad, a fin de que, de así considerarlo pertinente, el/la señor/a docente de la asignatura de **Integración Curricular**, proceda al registro del mismo en el Sistema de Gestión Académico como parte de los requisitos de acreditación de la Unidad de Integración Curricular del mencionado estudiante.

Loja, 14 de Agosto de 2024


Firmado electrónicamente por:
DIEGO VINICIO DIAZ
SINCHE
F) _____
**DIRECTOR DE TRABAJO DE INTEGRACIÓN
CURRICULAR**

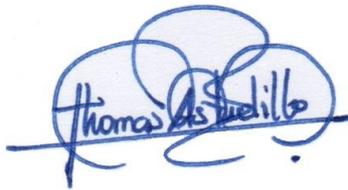


Certificado TIC/TT.: UNL-2024-002666

1/1
Educamos para Transformar

Autoría

Yo, **Thomas Jefferson Astudillo Aguilar** declaro ser autor del presente Trabajo de Integración Curricular y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos, de posibles reclamos y acciones legales, por el contenido del mismo. Adicionalmente acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja la publicación de mi Trabajo de Integración Curricular o de Titulación, en el Repositorio Digital Institucional – Biblioteca Virtual.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Thomas Astudillo', with a stylized flourish underneath.

Firma:

Cédula de identidad: 1900713486

Fecha: 30 de octubre de 2024

Correo electrónico: thomas.astudillo@unl.edu.ec

Teléfono: 0984833698

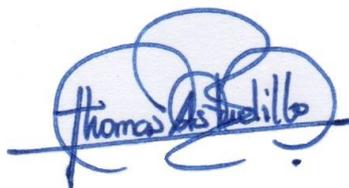
Carta de autorización por parte del autor, para consulta, reproducción parcial o total y/o publicación electrónica del texto completo, del Trabajo de Integración Curricular.

Yo, **Thomas Jefferson Astudillo Aguilar** declaro ser autor del Trabajo de Integración Curricular denominado: **Análisis del consumo energético y factores de emisión por CO2 para los modos de operación de un MEP con sistema GDI en la ciudad de Loja.**, como requisito para optar por el título de **Ingeniero Automotriz**, autorizo al Sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que, con fines académicos, muestre la producción intelectual de la Universidad, a través de la visibilidad de su contenido en el Repositorio Institucional.

Los usuarios pueden consultar el contenido de este trabajo en el Repositorio Institucional, en las redes de información del país y del exterior con las cuales tenga convenio la Universidad.

La Universidad Nacional de Loja, no se responsabiliza por el plagio o copia del Trabajo de Integración Curricular que realice un tercero.

Para constancia de esta autorización, suscribo, en la ciudad de Loja, a los treinta días del mes de octubre de dos mil veinticuatro.



Firma:

Autor: Thómas Jefferson Astudillo Aguilar

Cédula de identidad: 1900713486

Dirección: Av. Pio Jaramillo Alvarado y Calle Argentina

Correo electrónico: thomas.astudillo@unl.edu.ec

Teléfono: 0984833698

DATOS COMPLEMENTARIOS: Ing. Diego Vinicio Díaz Sinche Mg. Sc.

Dedicatoria

Este trabajo de investigación lo dedico a mi familia, en especial a mi padre, Daniel por su apoyo incondicional desde el primer día en el que inicié mis estudios, a pesar de la distancia y a Lorena, mi madre por su amor y palabras de aliento.

A mí por demostrar resiliencia y la capacidad de lograr todo lo que me propongo.

Thomas Jefferson Astudillo Aguilar

Agradecimiento

Agradezco a mis padres y hermanos por siempre creer en mí y ayudarme cuando lo necesité.

A mis amigos por su apoyo constante y palabras de aliento.

A los docentes que durante el periodo académico supieron forjarme como profesional.

Al Ing. Diego Vinicio Díaz Sinche Mg. Sc, por brindarme su conocimiento y ser el guía para que este trabajo llegue a término.

Y a todas las personas que directa e indirectamente colaboraron con este proyecto.

Thomas Jefferson Astudillo Aguilar

Índice de contenido

Portada	i
Certificación	ii
Autoría	iii
Carta de autorización.	iv
Dedicatoria	v
Agradecimiento	vi
Índice de contenido	vii
Índice de tablas	ix
Índice de figuras	ix
Índice de anexos	x
1. Título	1
2. Resumen	2
Abstract	3
3. Introducción	4
4. Marco Teórico	6
4.1 Consumo Energético	6
4.2 Dinámica longitudinal	7
4.2.1 Fuerzas sobre el vehículo	7
4.2.2 Energía, potencia y par en rueda.....	9
4.3 Ciclos de conducción.....	10
4.3.1 Tipos de ciclos de conducción	10
4.3.2 Procedimientos empleados en el desarrollo de los ciclos de conducción.....	13
4.4 Protocolos de comunicación.....	14
4.4.1 Lectura de datos	14
4.5 Modos de conducción.....	16
4.5.1 Modo Normal.....	16
4.5.2 Modo ecológico	16
5. Metodología	17
5.1. Flujograma Metodológico	17
5.2. Lugar de Estudio	17
5.3. Vehículo Experimental.....	19
5.4. Adquisición de datos	20
5.4.1. Conectividad del equipo de diagnóstico y verificación	21
5.5. Procesamiento de datos	22
5.5.1. Reglamento UE 2017/1151	22
5.5.2. Algoritmo de Kernel Gaussiano.....	23
5.6. Algoritmo matemático.....	29

5.6.1.	Parámetros ambientales y del vehículo	29
5.6.2.	Modelo dinámico longitudinal	31
5.6.3.	Mínimas diferencias ponderadas	32
5.7.	Factores de emisión	33
5.7.1.	Análisis del factor Lambda	34
5.7.2.	Estimación de emisión de CO ₂	37
6.	Resultados	39
6.1.	Resultados de las técnicas de suavizado.....	39
6.1.1.	Perfil de altitud	39
6.1.2.	Perfil de pendiente	41
6.2.	Consumo energético en rueda	42
6.2.1.	Ciclos de conducción	42
6.2.2.	Consumo energético en rueda.....	44
6.3.	Estimación de los factores de emisión de los ciclos representativos	47
7.	Discusión	59
8.	Conclusiones	61
9.	Recomendaciones	62
10.	Bibliografía	63
11.	Anexos	69

Índice de tablas:

Tabla 1. <i>Categorización de parámetros</i>	9
Tabla 2. <i>Categorización de los pines del conector OBD-II</i>	15
Tabla 3. <i>Información de la ruta de estudio</i>	18
Tabla 4. <i>Especificaciones técnicas del vehículo experimental</i>	19
Tabla 5. <i>Especificaciones técnicas del equipo de medición</i>	20
Tabla 6. <i>Ecuaciones aplicadas en el método de suavizado por el reglamento UE 2017/1151</i>	22
Tabla 7. <i>Resumen de parámetros ambientales y del vehículo</i>	31
Tabla 8. <i>Valores RMS del dosado relativo de los modos de operación</i>	36
Tabla 9. <i>Energía total positiva consumida</i>	46
Tabla 10. <i>Porcentaje de energía total consumida</i>	47
Tabla 11. <i>Concentraciones promedio de CO₂</i>	57
Tabla 12. <i>Porcentaje promedio de concentración de CO₂</i>	58

Índice de figuras:

Figura 1. <i>Consumo energético mundial por fuente y sector</i>	6
Figura 2. <i>Diagrama de fuerzas de la dinámica longitudinal</i>	7
Figura 3. <i>Ciclo de conducción FPT 72</i>	11
Figura 4. <i>Ciclo de conducción FPT 75</i>	12
Figura 5. <i>Ciclo de conducción FPT 75</i>	12
Figura 6. <i>Ciclo de conducción FPT 75</i>	13
Figura 7. <i>Identificación de pines del puerto OBD-II</i>	14
Figura 8. <i>Flujograma metodológico</i>	17
Figura 9. <i>Caracterización de la ruta de estudio</i>	18
Figura 10. <i>Sistema de alimentación GDI de la unidad experimental</i>	19
Figura 11. <i>PIDs obtenidos durante la prueba experimental</i>	21
Figura 12. <i>Flujograma de control de conectividad y obtención de datos</i>	21
Figura 13. <i>Corrección de altitud y perfil de pendiente por reglamento UE 2017/1151</i>	23
Figura 14. <i>Flujograma del Algoritmo de Kernel Gaussiano</i>	26
Figura 15. <i>Suavizado de la altitud por el Algoritmo de Kernel Gaussiano</i>	27
Figura 16. <i>Suavizado del perfil de pendiente por el Algoritmo de Kernel Gaussiano</i>	28
Figura 17. <i>Área frontal del Toyota RAV4 2.0</i>	29
Figura 18. <i>Modelo de la dinámica longitudinal</i>	32
Figura 19. <i>Gráfica de los valores de dosado relativo</i>	36
Figura 20. <i>Flujograma de obtención de factores de emisión de CO₂</i>	38

Figura 21. <i>Suavizado del perfil de altitud del recorrido de ida</i>	39
Figura 22. <i>Suavizado del perfil de altitud del recorrido de retorno</i>	40
Figura 23. <i>Suavizado del perfil de pendiente del recorrido de ida</i>	41
Figura 24. <i>Suavizado del perfil de pendiente del recorrido de retorno</i>	42
Figura 25. <i>Ciclos de conducción del recorrido de ida</i>	43
Figura 26. <i>Ciclos de conducción del recorrido de retorno</i>	44
Figura 27. <i>Energía consumida del recorrido de ida</i>	45
Figura 28. <i>Energía consumida del recorrido de retorno</i>	46
Figura 29. <i>Concentración de CO2 vs. Velocidad durante el recorrido de ida</i>	48
Figura 30. <i>Concentración de CO2 vs. Velocidad durante el recorrido de retorno</i>	49
Figura 31. <i>Concentración de CO2 vs. RPM durante el recorrido de ida</i>	50
Figura 32. <i>Concentración de CO2 vs. RPM durante el recorrido de retorno</i>	51
Figura 33. <i>Concentración de CO2 vs. Altitud durante el recorrido de ida</i>	52
Figura 34. <i>Concentración de CO2 vs. Altitud durante el recorrido de retorno</i>	53
Figura 35. <i>Concentración de CO2 vs. Porcentaje de carga del motor durante el recorrido de ida</i>	54
Figura 36. <i>Concentración de CO2 vs. Porcentaje de carga del motor durante el recorrido de retorno</i>	55
Figura 37. <i>Concentración de CO2 vs. la posición del acelerado durante el recorrido de ida</i>	56
Figura 38. <i>Concentración de CO2 vs. la posición del acelerado durante el recorrido de retorno</i> ..	57

Índice de anexos:

Anexo 1. <i>Especificaciones técnicas del vehículo utilizado</i>	69
Anexo 2. <i>Equipo de diagnóstico OBDLink Mx+</i>	70
Anexo 3. <i>Especificaciones técnicas del vehículo utilizado</i>	71
Anexo 4. <i>Programación en Matlab para el importe de la base de datos</i>	72
Anexo 5. <i>Programación en Matlab del suavizado aplicado al perfil de altitud y pendiente</i>	73
Anexo 6. <i>Programación en Matlab de las mínimas diferencias ponderadas</i>	74
Anexo 7. <i>Programación de la función de suavizado del perfil altitud por AKG en Matlab</i>	75
Anexo 8. <i>Programación de la función de suavizado del perfil de pendiente por AKG en Matlab</i> ...	76
Anexo 9. <i>Programación en Matlab de la estimación de factores de emisión de CO2</i>	77
Anexo 10. <i>Programación en Matlab del cálculo de emisión de CO2</i>	78
Anexo 11. <i>Certificado de traducción del resumen</i>	79

1. Título

Análisis del consumo energético y factores de emisión por CO2 para los modos de operación de un MEP con sistema GDI en la ciudad de Loja.

2. Resumen

La creciente contaminación generada por el sector transporte y la alta demanda de vehículos turismo propulsados por motores de combustión interna (MCI), impulsan a la utilización de tecnologías como la inyección directa de combustible (GDI) que deriva a modos de operación normal y ecológica con el fin de reducir las emisiones de CO₂ y optimización del consumo de combustible. En esta investigación se presenta el análisis del consumo energético y factores de emisión de CO₂ de los modos de operación de un motor de encendido provocado (MEP) en escenarios únicos de la ciudad de Loja a 2060 [msnm]. El estudio experimental se basó en la recopilación de datos en tiempo real utilizando el sistema de diagnóstico a bordo (OBD-II) de una ruta de prueba (RDE) caracterizada en tramos urbanos y rurales conforme el reglamento UE 2018/1832. Para el suavizado de las medidas del perfil de pendiente y altitud obtenidas por datos GPS se aplica el algoritmo de Kernel Gaussiano como una técnica de suavizado, dichos parámetros se asocian a un modelo dinámico longitudinal del vehículo que permite definir las condiciones típicas y críticas de manejo, con el fin de aplicar un método basado en el balance de carbonos que permita identificar el nivel de contaminante por CO₂ para cada modo de operación del vehículo. Los resultados indican que la conducción ecológica reduce el consumo energético en comparación con la conducción normal en el recorrido de ida, mostrando una disminución en promedio de 0.1243 [kWh] y 0.1853 [kWh] de los ciclos típicos y críticos respectivamente. Así mismo, el modo de operación ECO presenta una reducción en la concentración de CO₂ respecto al modo normal de 0.1963 [g/s] para el ciclo típico y de 0.2272 [g/s] del ciclo crítico de la ruta de ida.

Palabras Claves: Diagnostico a Bordo (OBD-II), Factores de Emisión, Balance de Carbono, Consumo Energético, Modo de Conducción ECO, Algoritmo de Kernel Gaussiano (AKG).

Abstract

The growing pollution generated by the transportation sector and the high demand for tourism vehicles powered by internal combustion engines (ICE), drive the use of technologies such as direct fuel injection (DFI) that derives to normal and ecological modes of operation in order to reduce CO₂ emissions and optimize fuel consumption. This research presents the analysis of energy consumption and CO₂ emission factors of the operating modes of a spark ignition engine (MEP) in unique scenarios in the city of Loja at 2060 [masl]. The experimental study was based on real-time data collection using the on-board diagnostic system (OBD-II) of a test route (RDE) characterized in urban and rural sections according to EU regulation 2018/1832. For the smoothing of the slope and altitude profile measurements obtained by GPS data, the Gaussian Kernel algorithm is applied as a smoothing technique, these parameters are associated to a longitudinal dynamic model of the vehicle that allows defining the typical and critical driving conditions, in order to apply a method based on carbon balance that allows identifying the level of CO₂ pollutant for each vehicle operation mode. The results indicate that ECO driving reduces energy consumption compared to normal driving on the outbound journey, showing an average decrease of 0.1243 [kWh] and 0.1853 [kWh] of the typical and critical cycles respectively. Likewise, the ECO mode of operation presents a reduction in CO₂ concentration with respect to the normal mode of 0.1963 [g/s] for the typical cycle and 0.2272 [g/s] for the critical cycle of the outbound route.

Keywords: On-Board Diagnostics (OBD-II), Emission Factors, Carbon Balance, Energy Consumption, ECO Driving Mode, Gaussian Kernel Algorithm (AKG).

3. Introducción

Los Motores de Combustión Interna Alternativos (MCIA) a lo largo del tiempo han sido indispensables en la economía del mundo, utilizados en diferentes áreas como generadores de energía, maquinaria de ingeniería y principalmente en el sector transporte; sobresaliendo el uso de las máquinas térmicas en el transporte marítimo, terrestre y la aviación (Yue & Liu, 2024). En el presente trabajo se toma como estudio principal el sector automotriz, que es uno de los principales generadores de desechos tóxicos a nivel mundial (Emberger, 2017), donde el 76% de estos desechos son producto de la quema de combustibles fósiles que se encuentran en el aire (Orbea Hinojosa et al., 2017).

La Organización de Países Exportadores de Petróleo establece que el 56.6% del petróleo del mundo es consumido por el sector transporte para el año 2022 (OPEC, 2022c); del cual el 6.1% de dicho porcentaje es destinado para la aviación (OPEC, 2022a) y el 4.1% para el transporte marítimo (OPEC, 2022b); llegando a representar el 37.0% de la energía mundial y generando el 16.2% del total de las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) en dicho periodo (U.S. Energy Consumption by Source and Sector, 2023).

La contaminación generada por el sector transporte y la gran demanda de vehículos impulsados por MCIA, han promovido una búsqueda constante de tecnologías para reducir los gases de efecto invernadero y el consumo de combustible (Huang et al., 2018; Lee et al., 2020); tecnologías como sistemas GDI (*Gasoline Direct Injection* por sus siglas en inglés) la cual deriva a modos de conducción ecológica (ECO) que reduce el consumo de combustible entre 5% y 10% (Zhao et al., 2015); el uso de sistemas SCR (*Selective Catalytic Reduction* por sus siglas en inglés) que demuestra una disminución de emisiones de NO_x de hasta el 40% (Blinov et al., 2019), el empleo de catalizadores de tres vías que ayuda a minimizar los gases contaminantes hasta en un 90% (Reitz et al., 2020), además de la implementación de sistemas avanzados y políticas ambientales (Alam & McNabola, 2014).

Entre las tecnologías antes mencionadas, para efecto de esta investigación se considera el modo de conducción ECO como uno de los objetos de estudio, ya que tiene como finalidad limitar las condiciones de operación del motor a través del control electrónico, lo que implica una reducción significativa que varían desde 2% al 50% en el consumo de combustible y del 2% a 40% de las emisiones de GEI en condiciones reales (Corcoba Magaña, 2014; Fernández-Rodríguez et al., 2015; Morello et al., 2016; Orfila et al., 2012; Stillwater et al., 2017).

Diversas investigaciones consideran al WLTP (*World Harmonized Light Vehicles Test Procedure* por sus siglas en inglés) y a los sistemas de Diagnóstico a Bordo (OBD) como técnicas para determinar el consumo de combustible en condiciones reales de manejo. Los sistemas portátiles

de medición de emisiones (PEMS) son utilizados en muchos países del primer mundo en la homologación de los vehículos, pero al ser un sistema de difícil acceso por su alto valor monetario, se ha optado por trabajar con datos de PIDs (*Parameter Identifier* por sus siglas en inglés) como una alternativa para calcular el consumo de combustible y las emisiones de CO₂ en un vehículo.

Según Zheng et al. (2020) en su estudio evalúa la precisión del dispositivo OBDLink Mx+ como sistemas de diagnóstico a bordo con una fuerte correlación $R^2 = 0.983$ con el método de balance de carbonos para determinar el consumo de combustible. Rosero Obando et al. (2024) por otra parte desarrollan una metodología para desarrollar mapas de motor de contorno bidimensional, basándose en datos OBD registrados en condiciones reales de tráfico. Además, estiman las emisiones de CO₂ utilizando la tasa de combustible registrada desde el sistema OBD; reportando una eficiencia térmica de frenado (ETF) del 27 %, un consumo de combustible específico de frenado (CCFE) de 275 [g/kWh] y un factor de emisión de energía de CO₂ de 716 [g/kWh].

Es importante recalcar que los MCIAs presentan una menor eficiencia en términos de consumo de combustible y niveles de emisiones contaminantes a niveles de altura superiores a los 2000 metros sobre el nivel del mar (Lapuerta et al., 2006; Montúfar et al., 2023). La falta de investigaciones sobre el consumo energético y factores de emisión de CO₂ en una ciudad andina como la ciudad de Loja a 2060 [msnm] impulsan el presente estudio. En este contexto el objetivo del presente trabajo es el desarrollo de un modelo dinámico para determinar en condiciones normales y críticas de circulación considerando los efectos de la altitud, el consumo de energía en relación a los niveles de CO₂ en los distintos modos de operación para un vehículo incorporado con sistema GDI, lo que contribuirá a la reducción de emisiones contaminantes y una mejor eficiencia operativa del vehículo

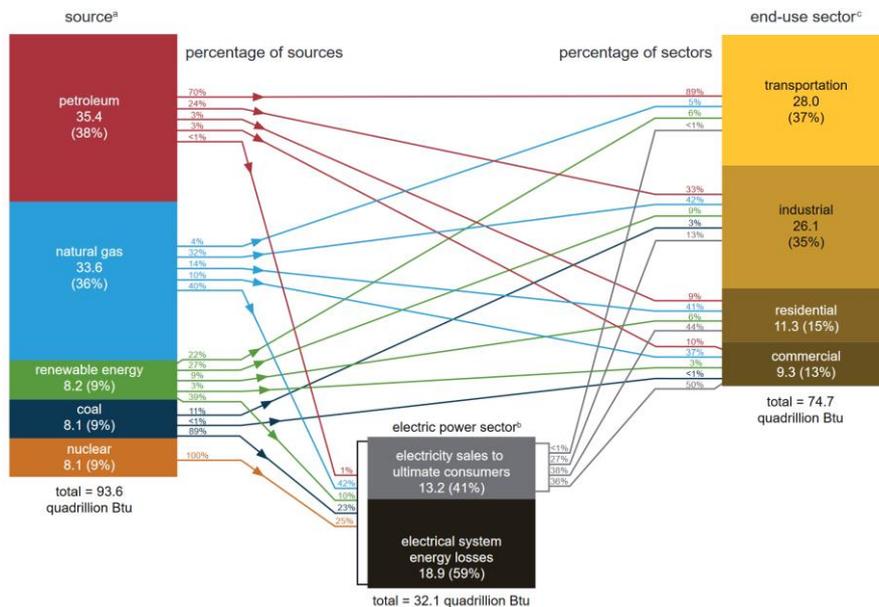
4. Marco Teórico

4.1 Consumo Energético

Se define como consumo energético a la cantidad de energía que es utilizada o consumida en un determinado período de tiempo o proceso específico, el cual permite la evaluación del rendimiento energético de sistemas, procesos y dispositivos; expresada generalmente en kilovatio-hora [kWh] o mega-Joules [MJ]. En la actualidad las mayores fuentes de energía en el medio son: petróleo, carbón, gas natural, energía nuclear e hidráulica; además de existir fuentes renovables como la biomasa, energía solar, eólica y geotérmica (Carrión Astudillo & Villamagua Maldonado, 2018).

Figura 1

Consumo energético mundial por fuente y sector



Nota. El gráfico describe el consumo de energía por fuente y sector; destacando el sector transporte como principal consumidor de energía (U.S. Energy Consumption by Source and Sector, 2023).

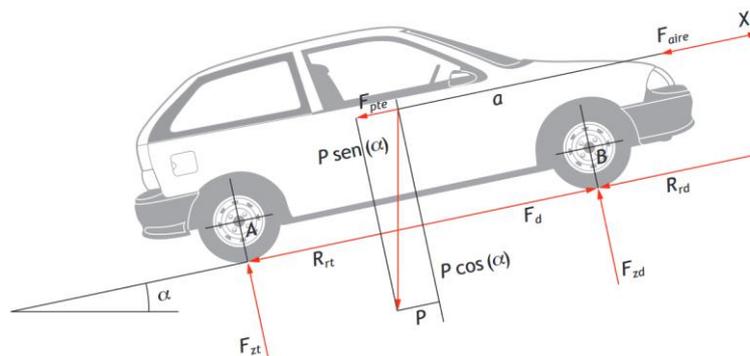
En la Figura 1 se muestra los mayores sectores de consumo energético de los cuales destacan: sector transporte, industrial, residencial y comercial; así mismo, la fuente de mayor energía consumida en el mundo es el petróleo y del cual el 89% de la fuente es destinado para el transporte destacando como mayor consumidor de energía en un 37.0%. El sector transporte para el año 2022 en Ecuador registro un 49.1% del consumo de energía, siendo el 50.7% relacionado con el diésel oíl y el 47.3% las gasolinas convencionales (MEM, 2022). Es por ello, que en el Ecuador los vehículos de encendido provocado (MEP) representan el 71.0% y 67.0% de los automóviles del parque automotor para los años 2022 y 2023 respectivamente (AEADE, 2023). Esto deriva en un énfasis particular en el estudio de la disminución de emisiones contaminantes y la optimización del consumo de combustible.

4.2 Dinámica longitudinal

La dinámica longitudinal estudia el movimiento de traslación longitudinal abarcando el comportamiento del vehículo al circular en línea recta, de manera que la aceleración lateral que se produce sea significativa e ignorando dicha acción y aquellas que generan asimetría al plano longitudinal de vehículo; además de incluir los procesos de aceleración, frenado y circulación sobre pendientes (Correa Sánchez, 2010). En la Figura 2 se muestra el diagrama general de las fuerzas que interfieren en la dinámica longitudinal de un vehículo.

Figura 2

Diagrama de fuerzas de la dinámica longitudinal



Nota. El gráfico describe el esquema general de las fuerzas que actúan en dirección longitudinal de un vehículo. Obtenido de (Rodríguez García & Villar Paúl, 2017).

4.2.1 Fuerzas sobre el vehículo

Para determinar las fuerzas que actúan en el vehículo se considera la segunda Ley de Newton, la cual es fundamental para el análisis dinámico del automóvil aplicado para sistemas traslacionales y rotacionales (Gillespie, 1992). Esta ley indica que para cualquier variación en la velocidad por medio de una aceleración o desaceleración se necesita una fuerza neta, que puede ser positiva al acelerar el vehículo, o negativa al disminuir o frenar.

La fuerza de tracción de un vehículo dependerá de todas las fuerzas resistentes al movimiento tales como: fuerza de resistencia a la rodadura, arrastre aerodinámico, resistencia a las pendientes y fuerza de resistencia a la inercia. La fuerza tractora generada por unidad motriz debe ser equivalente a la fuerza de resistencia total que se opone al movimiento, la cual se determina por la Ecuación 1.

$$F_x = R_x + F_d + R_g + R_i \quad (1)$$

Donde:

F_x = Fuerza de tracción [N].

R_x = Resistencia a la rodadura [N].

F_d = Resistencia aerodinámica [N].

R_g = Resistencia a la pendiente [N].

R_i = Resistencia a la inercia [N].

Resistencia a la rodadura. Esta fuerza es producida directamente en el contacto entre el neumático y la calzada o perfil de pendiente, y se determina aplicando la Ecuación 2.

$$R_x = f_r \cdot M \cdot g \cdot \cos(\theta) \quad (2)$$

Donde:

R_x = Fuerza de resistencia a la rodadura [N].

f_r = Coeficiente de resistencia a la rodadura.

M = Masa [kg].

g = Gravedad [m/s^2].

θ = Elevación de pendiente [rad].

Resistencia aerodinámica. La resistencia por efectos aerodinámicos que actúa directamente sobre el vehículo produce arrastre, elevación o carga hacia abajo, fuerzas laterales, ruido entre otras, las cuales afectan la economía del combustible y el manejo (Gillespie, 1992). Esta fuerza se obtiene por medio de la Ecuación 3.

$$F_d = \frac{1}{2} \cdot C_d \cdot \rho \cdot A_f \cdot V^2 \quad (3)$$

Donde:

F_d = Resistencia aerodinámica [N].

C_d = Coeficiente de arrastre aerodinámico.

ρ = Densidad del aire [kg/m^3].

A_f = Área frontal [m^2].

V = Velocidad [m/s].

Resistencia a la pendiente. Esta fuerza se genera al tener una variación en la calzada y es presentada como inclinación o pendiente; se determina por medio de la Ecuación 4.

$$R_g = M \cdot g \cdot \sin(\theta) \quad (4)$$

Donde:

R_g = Resistencia a la pendiente [N].

M = Masa [kg].

g = Gravedad [m/s^2].

θ = Inclinación de pendiente [rad].

Resistencia a la inercia. Se genera cuando existe un cambio de velocidad en el vehículo, que ocasiona una resistencia a la inercia que tiene un cuerpo (Jäger & Lienkamp, 2014); se expresa por medio de la Ecuación 5.

$$R_i = M \cdot a \quad (5)$$

Donde:

R_i = Resistencia a la inercia [N].

M = Masa [kg].

a = Aceleración [m/s^2].

Al remplazar las fuerzas particulares de resistencia a la rodadura, arrastre, resistencia a la pendiente y resistencia a la rodadura en la Ecuación 1, se obtiene la fuerza en rueda definida en la Ecuación 6, donde existe un total de nueve parámetros que se debe conocer y se los divide en tres categorías: parámetros del vehículo, ambientales y de operación como se describe en la Tabla 1.

$$F_x = F_r \cdot M \cdot g \cdot \cos(\theta) + \frac{1}{2} \cdot C_d \cdot \rho \cdot A_f \cdot V^2 + M \cdot g \cdot \sin(\theta) + M \cdot a \quad (6)$$

Tabla 1

Categorización de parámetros

Categoría	Parámetro
Vehículo	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Coeficiente de arrastre (C_d) ▪ Área frontal del vehículo (A_f) ▪ Coeficiente de resistencia a la rodadura (f_r) ▪ Masa del vehículo (M)
Ambientales	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Densidad del aire (ρ) ▪ Gravedad (g)
Operación del vehículo	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Velocidad (V) ▪ Pendiente (θ) ▪ Aceleración (a)

Nota. La tabla describe los parámetros que se debe conocer y su categoría para la determinar la fuerza en rueda. Adaptado de (Carrión Astudillo & Villamagua Maldonado, 2018).

4.2.2 Energía, potencia y par en rueda

Par en rueda. El par en rueda se produce debido a la fuerza ejercida sobre ella y el radio dinámico que surge de la deformación y el deslizamiento del neumático en la aplicación de los frenos (Di Rado,2013). El par en rueda se determina por la Ecuación 7.

$$\tau = F_x \cdot R_d \quad (7)$$

Donde:

τ = Par en rueda [Nm].

F_x = Fuerza en rueda [N].

R_d = Radio dinámico [m].

Potencia en rueda. La potencia en rueda es aquella necesaria para vencer las fuerzas que se oponen al movimiento del vehículo en su dirección longitudinal y se define empleando la Ecuación 8.

$$P_r = F_x \cdot V \quad (8)$$

Donde:

P_r = Potencia en rueda [kW].

F_x = Fuerza en rueda [N].

V = Velocidad [m/s].

Energía en rueda. La energía desarrollada en rueda es directamente proporcional a la potencia y un diferencial de tiempo, como se representa en la Ecuación 9.

$$E_r = P_r \cdot \Delta t \quad (9)$$

Donde:

E_r = Energía en rueda [kWh].

P_r = Potencia [kW].

t = Tiempo [s].

4.3 Ciclos de conducción

Un ciclo de conducción está constituido por una serie de variables físicas como: velocidad, tiempo, características geográficas y climáticas, características de tráfico y tecnología del automotor; mismas que se relacionan con las particularidades de manejo, ya sea en ruta urbana, rural o autopista; desarrollada para identificar patrones comunes de conducción (Wang et al., 2008). Estos datos se analizan con el fin de comprender el comportamiento de un vehículo a lo largo de un trayecto, evalúa la velocidad alcanzada y el tiempo durante el recorrido. Además, se aplica en la estimación de las emisiones de gases contaminantes, determinación del consumo de energía y análisis del impacto del tráfico (Jaramillo Merino, 2022).

4.3.1 Tipos de ciclos de conducción

Existen dos tipos de ciclos de conducción: los modales o poligonales los cuales tienen cambios de velocidad predecibles y menos frecuente, y los transitorios o ciclos reales que presentan variaciones de velocidad más complejas cada segundo (Quinchimbla Pisuña & Solís Santamaría, 2017).

El Laboratorio de Investigación de Transporte (TRL por sus siglas en inglés) en el libro “*A reference book of driving cycles for use in the measurement of road vehicle emissions*” presentan un

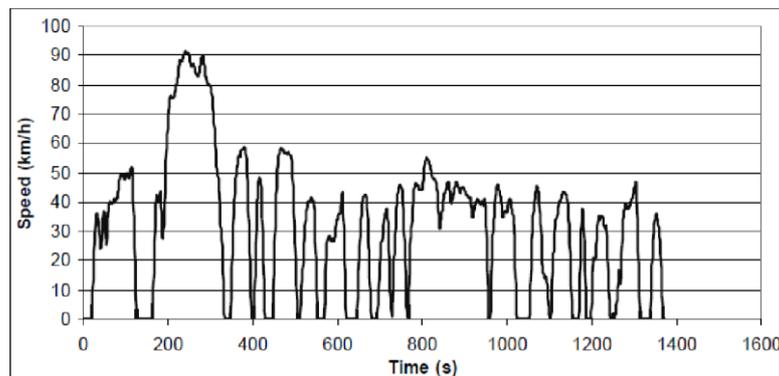
total de 256 ciclos de conducción hasta el 2009 (Barlow et al., 2009), de los cuales se describen los ciclos normalizados más utilizados.

Ciclos de conducción de Estados Unidos de América. En los Estados Unidos de América se implementan dos ciclos de conducción de carácter gubernamental, conocidos a nivel mundial como: FTP72 y FTP75 (*Federal Test Procedure* por sus siglas en inglés), con el objetivo de evaluar, controlar y homologar los niveles de emisiones de gases contaminantes provenientes del automóvil (Gómez,2014).

Ciclo FPT 72. Un ciclo transitorio conocido también como ciclo UDDS (*Urban Dynamometer Driving Schedule* por sus siglas en inglés) mostrada en la Figura 3; simula una ruta urbana de 12.07 [km] con paradas frecuentes, llegando a obtener una velocidad máxima de 91.26 [km/h] y velocidad promedio de 31.6 [km/h]. Se divide en dos fases: la primera de 505 [s] equivalente a 5.78 [km] con una velocidad promedio de 41.2 [km/h] con arranque en frío, y la segunda de 867 [s] con los mismos parámetros.

Figura 3

Ciclo de conducción FPT 72



Nota. El gráfico describe el ciclo de conducción FTP 72 representado por velocidad vs. tiempo (Barlow et al., 2009).

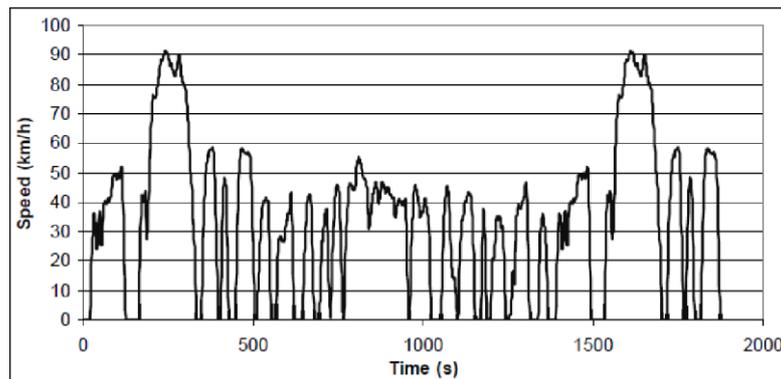
Ciclo FTP 75. Este ciclo transitorio adoptado en el Ecuador desde el 2002 en la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2004, se deriva del ciclo FTP 72 añadiendo una tercera parte de 505 [s] igual que la etapa inicial, la variación consiste de un arranque en caliente para la tercera fase; donde se para el motor en caliente durante 10 [min] y continuar con la prueba como se muestra en la Figura 4 (Barlow et al., 2009).

El ciclo completo contempla:

- Fase de arranque en frío (temperatura ambiente 20 – 30 [°C]) de 0 – 505 [s].
- Fase estabilizada, 506 – 1372 [s].
- Espera en caliente (mínimo 540 [s], máximo 660 [s]).
- Fase de arranque en caliente, 0–505 [s].

Figura 4

Ciclo de conducción FPT 75



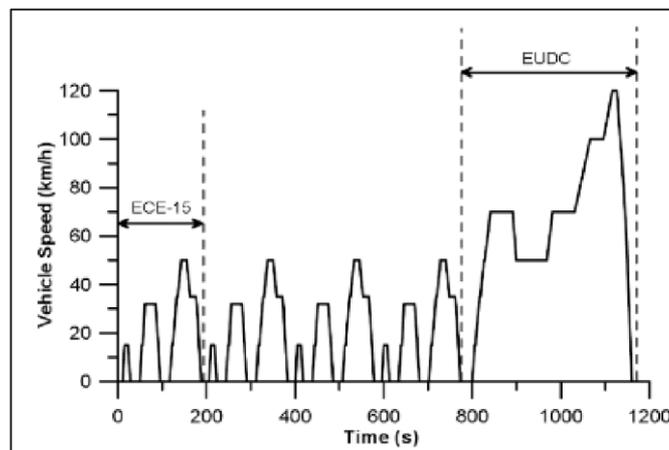
Nota. El gráfico describe el ciclo de conducción FTP 75 de velocidad vs. tiempo (Barlow et al., 2009).

Ciclos de conducción para la Unión Europea.

Ciclo ECE + EUDC 15. Estos ciclos estacionarios representados en la Figura 5 se realizan en un banco dinamométrico (CEE 90/C81/01) en vehículos de pasajeros y camiones ligeros para mediciones de factores de emisiones. El ciclo total consiste en cuatro repeticiones del ciclo ECE seguido de un segmento EUDC (*European Urban Driving Cycle* por sus siglas en inglés) (Iñiguez Carrión, 2017).

Figura 5

Ciclo de conducción FPT 75



Nota. El gráfico describe el ciclo de conducción ECE+EUDC15 representado por velocidad vs. tiempo (Barlow et al., 2009).

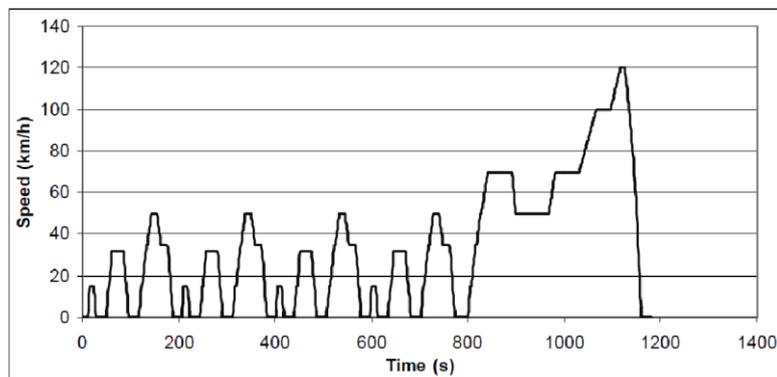
Este ciclo se basa en las características del tráfico de París y está diseñado para simular las condiciones de tráfico en áreas urbanas; se caracteriza por tener aceleraciones moderadas que reflejan las condiciones comunes de manejo en una ciudad europea de gran tamaño.

Después de completar el cuarto ciclo de ECE, se introdujo el segmento de EUDC para abordar estilos de conducción más enérgicos y rápidos, como aquellos que se encuentran en áreas suburbanas o en autopistas.

Ciclo de conducción europeo NEDC. El *New European Driving Cycle* (NEDC por sus siglas en inglés), es un ciclo de conducción estacionario donde se elimina el periodo de ralentí; el esquema del ciclo se muestra en la Figura 6, donde el motor se arranca en frío y el proceso de muestreo comienza inmediatamente; usado para la medición de factores de emisiones de CO₂ (Barlow et al., 2009).

Figura 6

Ciclo de conducción FPT 75



Nota. El gráfico describe el ciclo de conducción estacionario NEDC presentado por velocidad vs. tiempo (Barlow et al., 2009).

4.3.2 Procedimientos empleados en el desarrollo de los ciclos de conducción

Para la representación dinámica del manejo de un vehículo, se consideran diversas variables fundamentales para la obtención de un ciclo de conducción, tales como la distancia [m], la velocidad [km/h] y aceleración lineal [m/s^2]. Para ello se emplea técnicas de recopilación de datos como On Board y persecución de vehículo (Acevedo et al., 2012).

Técnica On-Board. Por medio de esta técnica se obtiene información de operación del vehículo dentro de condiciones reales de funcionamiento, al equipar al automóvil con instrumentación adecuada como: Datalogger, GPS, scanner vehicular u otro dispositivo empleado para registrar datos relacionados con el tiempo, la velocidad, la distancia, tiempo de parada, entre otros parámetros (Quinchimbla Pisuña & Solís Santamaría, 2017).

Técnica de persecución. En esta técnica se utiliza un vehículo denominado caza o persecutor con el objetivo de seguir a otro automóvil en una ruta específica, al emular la forma de conducción del vehículo objetivo. Esta metodología permite una representación más precisa de las condiciones de manejo, utilizando múltiples conductores hasta completar la ruta determinada por medio de equipos de instrumentación para la adquisición de datos sobre el tráfico y la velocidad del vehículo en intervalos de tiempo específicos (Pérez Llanos & Quito Sinchi, 2018). Este protocolo de recopilación de información es más recomendable para automóviles particulares y evitar la

persecución de vehículos de servicio público o pesado (Quinchimbla Pisuña & Solís Santamaría, 2017).

4.4 Protocolos de comunicación

El protocolo de comunicación OBD (*On board Diagnostic* por sus siglas en inglés) es un sistema de diagnóstico a bordo del vehículo, que brinda un control y monitoreo completo del motor y de los sistemas que componen al vehículo, por medio de unidades de control electrónico ECU (*Unit Control Engine* por sus siglas en inglés) con el objetivo de controlar los límites máximos permitidos de emisiones contaminantes, el cual dispone de un indicador MIL (*Malfunction Indicator Lamp* en inglés) para detectar fallas en los sistemas (Cumin et al., 2024).

La interacción con el vehículo se da por medio de protocolos de comunicación basados en **SW-CAN** y **MS-CAN** los cuales son (Gárate Montalvo, 2018).

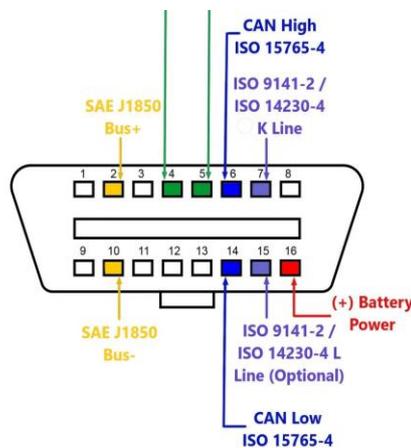
- ISO 9141-2 (LÍNEA K): vehículos asiáticos o europeos.
- SAE J1850 PWM: modulación de anchura de impulso Ford-EE.UU.
- SAE J1850 VPW: anchura de impulso variable GM-EE.UU.
- ISO 14230-4: Protocolo de palabra clave 2000 Grupo VAG.
- SAE J2284//ISO15765-4 (CAN).

4.4.1 Lectura de datos

Para la lectura de datos se dispone de un conector que cumpla la normativa ISO15031-3:2004 acorde a lo indicado en la Figura 6, que dispone de un pin específico para la comunicación de datos y puertos de operación.

Figura 7

Identificación de pines del puerto OBD-II



Nota. El gráfico indica la nomenclatura de los pines de operación y comunicación del puerto OBD-II. Obtenido de (Weis, 2024).

En la Tabla 2 se describen las características de cada uno de los pines del puerto OBD-II.

Tabla 2*Categorización de los pines del conector OBD-II*

Número de pin	Nombre de Pin	Descripción
1	Discrecional del fabricante	Pin no estándar. Libre depende del fabricante.
2	SAE J1850 Bus+	Pin positivo del bus del protocolo. Usa el protocolo de Ancho de Pulso Variable y se encuentra normalmente en los vehículos de General Motors
3	Discrecional del fabricante	Pin no estándar. Libre depende del fabricante.
4	Tierra del chasis	Toma de tierra del sistema del Automóvil (incluido el chasis)
5	Señal de tierra	Toma de tierra del sistema del Automóvil (incluido el chasis).
6	CAN High <ul style="list-style-type: none"> ▪ ISO 15765-4 ▪ SAE J2284 	CAN High Pin. Sigue un protocolo CAN de 2 hilos a 1 Mbps de velocidad.
7	K Line <ul style="list-style-type: none"> ▪ ISO 9141-2 ▪ ISO 14230-4 	Pin de línea K. Sigue un protocolo asíncrono de comunicación serie.
8	Discrecional del fabricante	Pin no estándar. Libre depende del fabricante.
9	Discrecional del fabricante	Pin no estándar. Libre depende del fabricante.
10	SAE J1850 Bus-	Pin negativo del bus del protocolo. Sigue el protocolo de Ancho de Pulso Variable
11	Discrecional del fabricante	Pin no estándar. Libre depende del fabricante.
12	Discrecional del fabricante	Pin no estándar. Libre depende del fabricante.
13	Discrecional del fabricante	Pin no estándar. Libre depende del fabricante.
14	CAN LOW <ul style="list-style-type: none"> ▪ ISO 15765-4 ▪ SAE J2284 	CAN Low Pin. Usa un protocolo CAN de 2 hilos a 1 Mbps de velocidad.
15	L Line (Opcional) <ul style="list-style-type: none"> ▪ ISO 9141-2 ▪ ISO 14230-4 	Pin de línea K. Sigue un protocolo asíncrono de comunicación serie.
16	Alimentación de la batería	Batería del vehículo para alimentar las herramientas de escaneo. Tipo "A"12V/4A; Tipo "B"24V/2A

Nota. La tabla describe las funciones distintas del conector OBD-II. Adaptado de (Weis, 2024).

4.5 Modos de conducción

Existen diferentes tecnologías las cuales ayudan a simplificar la huella de carbono de los vehículos propulsados por motores de combustión interna alternativos (MCIA), dentro de los cuales están los sistemas GDI con diferentes modos de conducción; los cuales son configuraciones que disponen ciertos vehículos para ajustar la dinámica de conducción y la reducción del consumo de combustible acorde a las condiciones de las carreteras a transitar o también a las preferencias personales del conductor. Los parámetros que se modifican de manera general son: la suspensión, transmisión, dirección, aceleración, consumo de auxiliares y variación en la cartografía del desempeño del motor.

4.5.1 Modo Normal

El modo de conducción normal brinda una sensación de comodidad que se caracteriza por un enfoque equilibrado y convencional de operación del vehículo, sin la necesidad de optimizar en el consumo de combustible o reducir las emisiones. En este modo no se restringe al conductor en la variación abrupta de la aceleración dependiendo de las condiciones de tráfico y la necesidad de maniobra, por ende, la velocidad puede fluctuar a los cambios de aceleración y en el uso de los consumidores de calefacción y aire acondicionado a conveniencia (Zhou et al., 2016)

4.5.2 Modo ecológico

Comúnmente se identifica como ECO, en el cual la gestión electrónica del vehículo (ECM *Engine Control Module* por sus siglas en inglés) modifica los parámetros de la respuesta de la aceleración, la rigidez de la suspensión y agudeza de la transmisión según el modo de conducción seleccionado (Ahlstrom & Kircher, 2017). La principal función del modo ECO es el ahorro de combustible y reducción de gases contaminantes, puesto que empobrece la respuesta del motor, limita la velocidad máxima, reduce la respuesta del acelerador y restringe el uso de los consumidores del vehículo (Zhou et al., 2016).

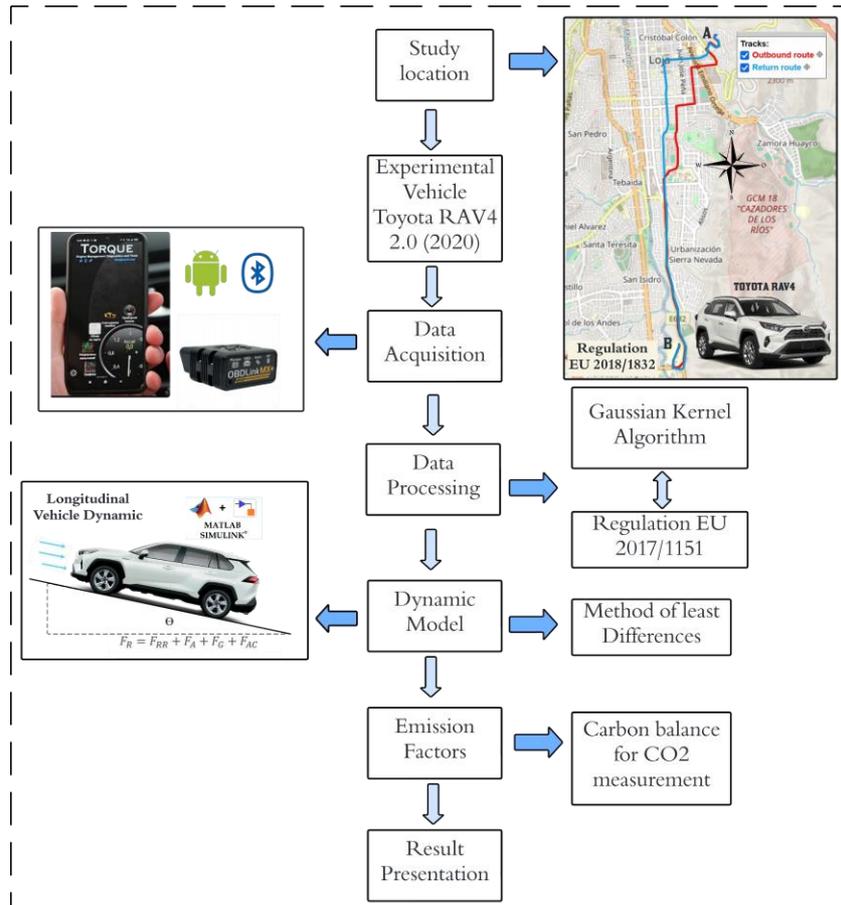
5. Metodología

5.1. Flujoograma Metodológico

La presente investigación emplea un diseño experimental analítico, con un enfoque cuantitativo de carácter correlacional y explicativo. En la Figura 8 se presenta el diagrama metodológico general utilizado en el desarrollo del estudio.

Figura 8

Flujograma metodológico



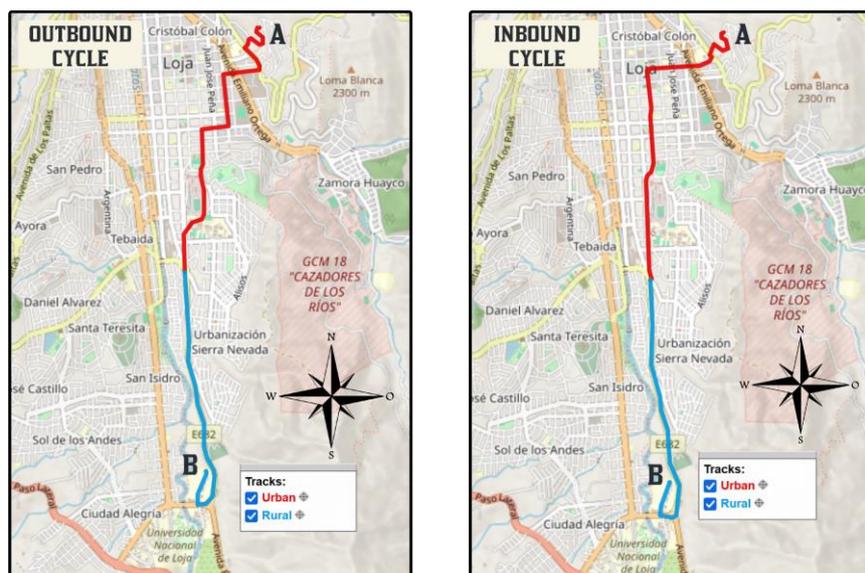
Nota. El gráfico describe la metodología general utilizada en el estudio.

5.2. Lugar de Estudio

El presente trabajo experimental se realizó en un trayecto predefinido del cantón Loja, provincia de Loja, Región Sur del Ecuador. En términos geográficos ubicada en las coordenadas: latitud -3.99313 y longitud -79.20422 , a una altura de 2,060 msnm (Geodatos, 2023). La ciudad cuenta con una población aproximada de 170,280 habitantes en la zona urbana y 78,179 vehículos para el periodo 2022, con un incremento medio anual del parque automotor del 3,25% para los últimos años (Carrión Guerra, 2023; INEC, 2022); circunstancias que conlleva a retos en cuanto a emisiones, tráfico y movilidad.

El trayecto de estudio se caracterizó bajo el reglamento UE 2018/1832 (REGLAMENTO (UE) 2018/ 1832 DE LA COMISIÓN, 2018); de este modo, la investigación se efectuó en una ruta de prueba RDE (*Real Driving Emissions* por sus siglas en inglés) con un recorrido promedio de 5.6 km, distancia que recorre una persona para movilizarse desde su residencia hacia el lugar de trabajo; que abarca tramos urbanos (0 – 60 km/h) y rurales (60 – 90 km/h) como se muestra en la Figura 9.

Figura 9
Caracterización de la ruta de estudio



Nota. El gráfico describe el recorrido de ida y retorno de la ruta de estudio. Caracterizada por tramos urbanos de color rojo y tramos rurales de color azul.

Los horarios establecidos para la toma de datos se dan en función de la demanda de mayor afluencia de vehículos y de la menor afluencia de tráfico vehicular para garantizar que los resultados reflejen distintos niveles de congestión vehicular (Ruiz Pico et al., 2019); las características de la ruta de estudio se describen en la Tabla 3.

Tabla 3
Información de la ruta de estudio

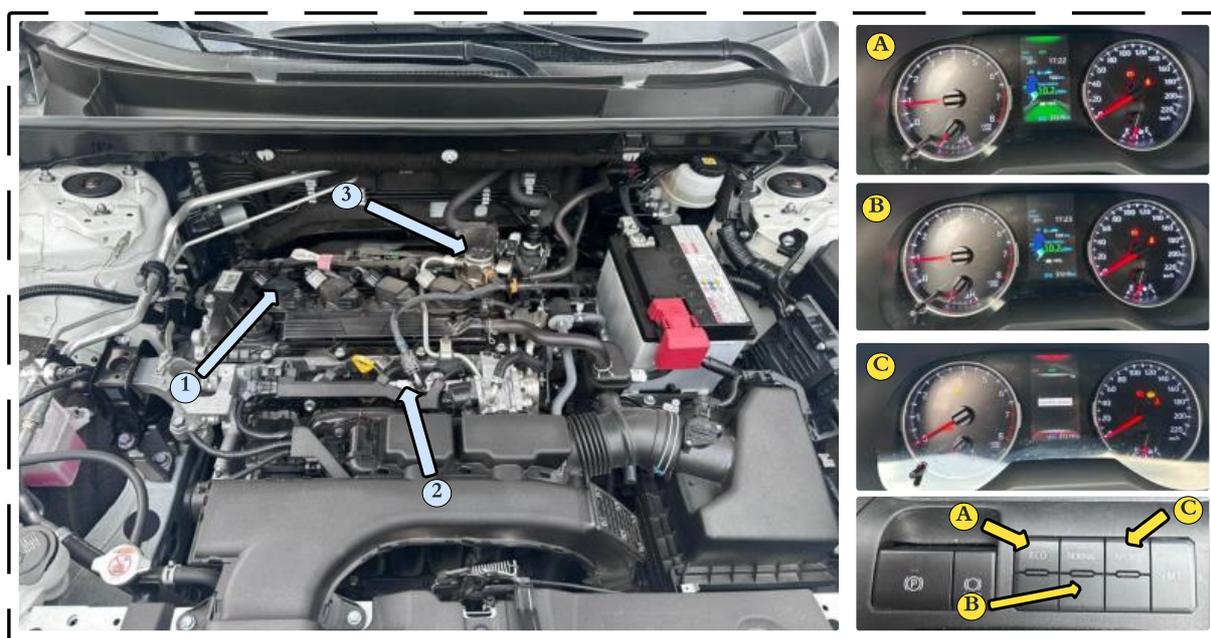
Parámetros	Descripción
Posición (A)	Calle Iliniza y Sincholagua (−3.99414, −79.19520)
Posición (B)	Universidad Nacional de Loja (−4.03009, −79.19937)
Recorrido de ida	A (2112 msnm) → B (2128 msnm)
Recorrido de Retorno	B (2128 msnm) → A (2112 msnm)
Distancia total promedio	5.6 [km]
Rango horario ciclo de ida	12H00 a 13H00
Rango horario ciclo de retorno	21H00 a 22H00

Nota. La tabla describe los parámetros controlados de la ruta de estudio

5.3. Vehículo Experimental

Como unidad experimental se seleccionó un vehículo SUV categoría M1 de la marca Toyota, modelo RAV4, año 2020, con una transmisión manual de seis velocidades más la reversa; que dispone de un sistema de alimentación de combustible GDI y modos de operación del vehículo en condiciones normal, ecológica y sport como se muestra en la Figura 10. Para esta investigación se considera el modo Eco y Normal. Las especificaciones técnicas de la unidad de prueba se proporcionan en la Tabla 4 a partir de la ficha técnica del fabricante (Toyota, 2020).

Figura 10
Sistema de alimentación GDI de la unidad experimental



Nota. El gráfico describe el sistema de alimentación GDI de la unidad experimental donde se aprecia: 1) Bobinas COP 2) riel de inyectores 3) bomba de alta presión; además del control de los modos de operación del vehículo: A) Eco B) Normal C) Sport, junto a la visualización en el tablero.

Tabla 4
Especificaciones técnicas del vehículo experimental

Parámetros del vehículo	Valor
Tipo de combustible	Gasolina – EcoPais RON 87
Marca/Modelo	Toyota/RAV4
Año de fabricación	2020
Peso del vehículo	2030 [kg]
Depósito de combustible	55 [Lt]
Longitud/ancho/altura	4600/1855/1668 [mm]
Número de pasajeros	5
Caja de velocidades	6
Tracción delantera	4x2

Número de cilindros	4 en línea
Mecanismo valvular	16 -Válvulas, DOCH, VVT-iE
Cilindraje	1998 [cm ³]
Relación de compresión	13.0: 1
Par máximo	207 [Nm]@4800[rpm]
Potencia máxima	170 [HP]@6600 [rpm]
Tipo de inyección de combustible	Inyección directa GDI
Tamaño de neumático	225/65R17

Nota. La tabla describe las características técnicas del vehículo experimental. Adaptado de la ficha técnica del fabricante (Toyota, 2020).

5.4. Adquisición de datos

La información recolectada de la unidad de prueba se relaciona con parámetros cinemáticos, de operación y control del motor, así como datos instantáneos de consumo de combustible. Para tal objetivo se emplea un sistema de adquisición de interfaz OBD-II denominado OBDLink® MX+, que permite la lectura de datos de las ECUs (*Engine Control Unit* por sus siglas en inglés) del vehículo en tiempo real con una tasa de actualización de 1 Hz, las características técnicas del equipo se describen en la Tabla 5.

Tabla 5
Especificaciones técnicas del equipo de medición

Parámetros	Descripción
Sistemas operativos compatibles	iOs, Android, Windows
Protocolos de comunicación	SW – CAN – & MS-CAN
Conexión	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Bluetooth v3.0 ▪ Cifrado seguro de datos de 128 bits
Voltaje de operación	12 [V]
Corriente de operación	62 [mA]
Temperatura de operación	-20[°C] a 55 [°C]
Humedad de operación	10 a 85 %
Certificaciones internacionales	<ul style="list-style-type: none"> ▪ RoHS Certified ▪ REACH Compliant

Nota. La tabla describe las características de fabricación del equipo de diagnóstico. Adaptado de la ficha técnica del fabricante (OBDLink, 2024).

La información se almacena en archivos creados por la aplicación Torque Pro de un dispositivo móvil con sistema operativo Android y exportados en formato CSV (*Comma-Separated Values* por sus siglas en inglés) por correo electrónico o cargados a una base de datos en la nube (Google Drive). El dispositivo OBDLink® Mx+ se conecta de manera inalámbrica con el dispositivo móvil vía bluetooth, para la lectura de datos de los diferentes sensores del vehículo denominados PIDs (*Parameter Identifier* por sus siglas en inglés). Durante la recopilación de datos se mantuvo una

conectividad entre el equipo de medición y la unidad experimental para evitar información de datos atípicos o erróneos. En la Figura 11 se ilustra los PIDs de interés utilizado en la investigación.

Figura 11

PIDs obtenidos durante la prueba experimental.

Device Time	Longitude	Latitude	GPS Speed (Meters/second)	Altitude	Mass Air Flow Rate(g/s)	Fuel flow rate/hour (gal/hr)	Intake Manifold Abs Pressure A(psi)	Engine RPM(rpm)	Engine Oil Temperature (°C)	Engine Coolant Temperature (°C)
10/05/2024 21:19	-79.19941	-4.03025	0.00	2140.056	2.370	0.230	3.68	801.5	39	55
10/05/2024 21:19	-79.19943	-4.03026	1.64	2140.913	2.370	0.230	3.68	801.5	39	55
10/05/2024 21:19	-79.19944	-4.03027	2.16	2140.290	4.680	0.230	3.68	1235.75	39	56
10/05/2024 21:19	-79.19945	-4.03029	2.77	2140.110	4.680	0.230	3.68	1235.75	39	56
10/05/2024 21:19	-79.19947	-4.03031	3.09	2140.385	4.680	0.230	3.68	1235.75	39	56
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
10/05/2024 21:34	-79.19519	-3.99420	1.52	2135.287	1.420	0.150	5.65	787.5	82	93
10/05/2024 21:34	-79.19517	-3.99421	1.45	2135.830	1.930	0.210	3.51	1078	82	93
10/05/2024 21:34	-79.19516	-3.99421	1.11	2136.200	1.810	0.180	3.07	980.25	82	93
10/05/2024 21:34	-79.19516	-3.99421	0.52	2136.160	2.170	0.200	3.15	776.5	82	93
10/05/2024 21:34	-79.19516	-3.99421	0.00	2136.255	1.650	0.160	3.56	748.25	82	93

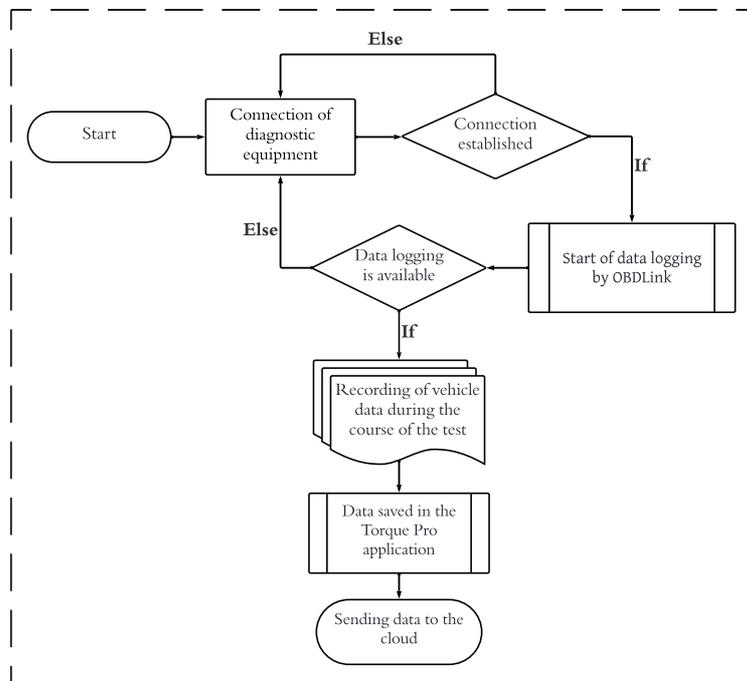
Nota. El gráfico describe los PIDs de interés obtenidos por el equipo de diagnóstico OBD Link Mx+.

5.4.1. Conectividad del equipo de diagnóstico y verificación

El dispositivo de diagnóstico y monitoreo OBDLink® Mx+ se acopla al puerto OBD-II, localizado en la parte inferior izquierda del automóvil. El proceso de la adquisición de datos sigue un flujograma de control, para evitar lecturas erróneas y datos atípicos en la prueba experimental como se observa en la Figura 12.

Figura 12

Flujograma de control de conectividad y obtención de datos



Nota. El gráfico describe la ubicación de puerto OBD-II de la unidad experimental y el procedimiento de verificación de la conexión del equipo de medida y de la recopilación de información.

5.5. Procesamiento de datos

La fase de recolección de datos puede presentar un problema, dado que bajo determinadas condiciones o circunstancias el equipo de medición puede omitir o registrar de manera imprecisa cierta información. Para mitigar este problema; en esta investigación se aplicó una comparación de técnicas de suavizado entre el reglamento UE 2017/1151 (Reglamento (UE) 2017/ 1151 de la Comisión, 2017) y el Algoritmo de Kernel Gaussiano que permitan atenuar datos atípicos del perfil de altitud y porcentaje de pendiente aplicadas al modelo matemático de la dinámica longitudinal del vehículo.

5.5.1. Reglamento UE 2017/1151

Para determinar la ganancia de altitud positiva de un trayecto RDE según el reglamento 2017/1151 se aplican tres fases: i) examen y verificación de la calidad de los datos, ii) corrección de los datos de altitud instantánea del vehículo y iii) cálculo de la ganancia de altitud positiva acumulada (Reglamento (UE) 2017/ 1151 de la Comisión, 2017). Para ello, el reglamento establece cuatro correcciones del perfil de altitud y dos correcciones para el porcentaje de pendiente de carretera (Roadgrade) las cuales se describen en la Tabla 6.

Tabla 6

Ecuaciones aplicadas en el método de suavizado por el reglamento UE 2017/1151

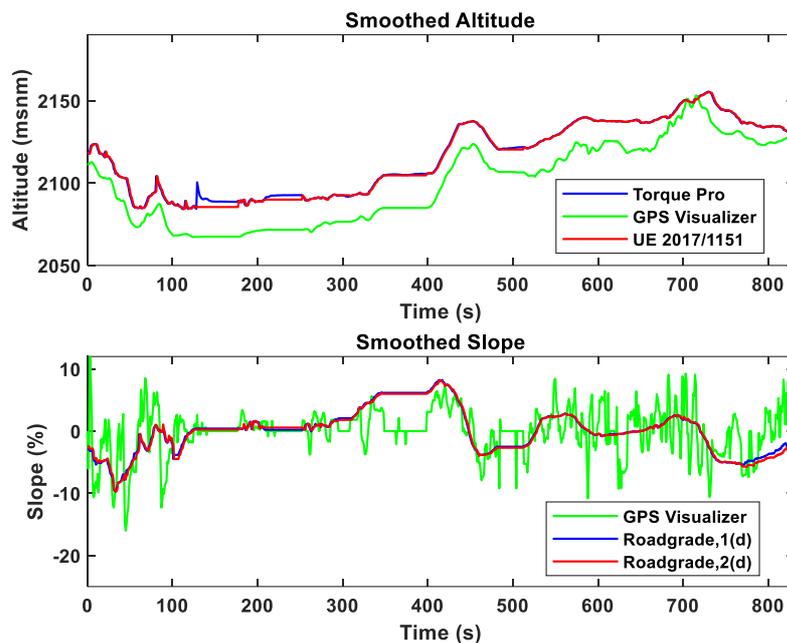
Corrección	Descripción
Primera corrección de altitud $h(t)$	Si $\begin{cases} h(t) - h_{map}(t) > 40m \rightarrow h(t) = h_{map}(t) \\ h(t) - h_{map}(t) \leq 40m \rightarrow h(t) = h_{GPS}(t) \end{cases}$
Segunda corrección de altitud $h_{corr}(t)$	Si $\begin{cases} h(t) - h(t-1) > \left(\frac{v(t)}{3.6} \cdot \sin(45)\right) \rightarrow h_{corr}(t) = h_{corr}(t-1) \\ h(t) - h(t-1) > \left(\frac{v(t)}{3.6} \cdot \sin(45)\right) \rightarrow h(t) = h(t) \end{cases}$
Tercera corrección de altitud interpolada $h_{int}(d)$	$h_{int}(d) = h_{corr}(0) + \frac{h_{corr}(1) - h_{corr}(0)}{d_1 - d_0} * (d - d_0)$
Primer suavizado de pendiente $road_{grade,1}(d)$	$road_{grade,1}(d) = \frac{h_{int}(d + 200m) - h_{int}(d_a)}{(d + 200m)} \quad \text{para } d \leq 200m$ $road_{grade,1}(d) = \frac{h_{int}(d + 200m) - h_{int}(d - 200m)}{(d + 200m) - (d - 200m)} ; 200m < d < (d_e - 200m)$ $road_{grade,1}(d) = \frac{h_{int}(d_e) - h_{int}(d - 200m)}{d_e - (d - 200m)} \quad \text{para } d \geq (d_e - 200m)$
Cuarta corrección: altitud interpolada suavizada $h_{int,sm,1}(d)$	$h_{int,sm,1}(d) = h_{int,sm,1}(d - 1m) + road_{grade,1}(d), d = d_a + 1...a...d_e$ $h_{int,sm,1}(d_a) = h_{int}(d_a) + road_{grade,1}(d_a)$
Segunda ronda de suavizado de pendiente $road_{grade,2}(d)$	$road_{grade,2}(d) = \frac{h_{int,sm,1}(d + 200m) - h_{int,sm,1}(d_a)}{(d + 200m)} \quad \text{para } d \leq 200m$ $road_{grade,2}(d) = \frac{h_{int,sm,1}(d + 200m) - h_{int,sm,1}(d - 200m)}{(d + 200m) - (d - 200m)} ; 200m < d < (d_e - 200m)$ $road_{grade,2}(d) = \frac{h_{int,sm,1}(d_e) - h_{int,sm,1}(d - 200m)}{d_e - (d - 200m)} \quad \text{para } d \geq (d_e - 200m)$

Nota. La tabla describe las ecuaciones de corrección del perfil de altitud y porcentaje de pendiente según el reglamento europeo UE 2017/1151. Adaptado de (*Reglamento (UE) 2017/1151 de la Comisión, 2017*).

La aplicación del reglamento para el suavizado del perfil de altitud y el gradiente de carretera se observa en la Figura 13. El cual utiliza una altitud de mapa $h_{map}(t)$ obtenida por la aplicación en línea GPS Visualizer (Schneider, 2022) para realizar una comparación del perfil de altitud y pendiente y obtenidas por datos GPS a través de la aplicación Torque Pro. El cual puede considerar datos atípicos que no son propios de lo que realmente realiza el vehículo.

Figura 13

Corrección de altitud y perfil de pendiente por reglamento UE 2017/1151



Nota. El gráfico describe la corrección de la altitud y el perfil de pendiente por medio de la aplicación del método descrito por el reglamento UE 2017/1151.

5.5.2. Algoritmo de Kernel Gaussiano

Otra propuesta que plantea esta investigación para la corrección de errores de procesamiento de datos es el Algoritmo de Kernel Gaussiano (Kapralov et al., 2020), el cual es una técnica no paramétrica de estimación de la función de densidad de probabilidad de una variable discreta. Su ejecución consiste en:

Definición del Kernel. Un Kernel es una función simétrica y positiva que asigna pesos a los datos en contexto de métodos estadísticos y de aprendizaje automático (Scott, 2015). Dentro de los tipos de Kernel más comúnmente utilizados se incluyen el Kernel Gaussiano, el Kernel Uniforme y el Kernel Epanechnikov, entre otros. La función del Kernel K determina la distribución de los pesos asignados a los datos. En este estudio, se presenta la expresión matemática del Kernel Gaussiano definida en la Ecuación 10.

$$K(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-0.5 x^2} \quad (10)$$

Donde:

K = Kernel Gaussiano x = Vector de datos.

Estimación de la densidad de Kernel. La estimación de densidad de Kernel es un método no paramétrico utilizado para estimar la función de densidad de probabilidad subyacente de un conjunto de datos. A diferencia de los histogramas, la estimación de densidad de Kernel produce una estimación suave y continua de la densidad, evitando las discontinuidades entre los intervalos (Scott, 2015). La estimación suavizada en un punto x se calcula como una suma ponderada de todos los puntos de datos, donde los pesos son asignados por la función K . Para datos unidimensionales, la estimación de densidad de Kernel suavizada en x se define en la Ecuación 11.

$$\hat{f}(x) = \frac{1}{n \cdot h} \cdot \sum_{i=1}^n K\left(\frac{x - x_i}{h}\right) \quad (11)$$

Donde:

$f(x)$ = Estimación de densidad en el punto x .

h = Ancho de banda.

x_i = Vector de datos.

n = Número de datos.

K = Función de Kernel.

Ancho de banda (h). El ancho de banda h es un parámetro crucial que controla el grado de suavizado en la estimación de la densidad de Kernel. La elección adecuada del ancho de banda es fundamental para obtener resultados óptimos; un valor demasiado pequeño puede conducir a un sobreajuste (*overfitting*), caracterizado por un exceso de ruido en la estimación; por otro lado, un ancho de banda demasiado grande puede llevar a un subajuste (*underfitting*), lo que resulta en una estimación demasiado suave que reduce la variabilidad de los datos. En el contexto de la estimación de altitud o perfil de pendiente, un ancho de banda grande puede hacer que la estimación se asemeje a un segmento de recta, perdiendo detalles importantes de la topografía.

La selección óptima del ancho de banda depende de diversos factores, como la distribución subyacente de los datos, el tamaño de la muestra y el objetivo específico del análisis. En la práctica, se han desarrollado varios métodos para determinar el ancho de banda óptimo, como la validación cruzada y métodos basados en la minimización del error cuadrático medio integrado (MISE, por sus siglas en inglés) y la Regla de Silverman. En esta investigación se aplica la Regla de Silverman para

seleccionar el ancho de banda optimo que requiere un equilibrio entre la precisión de la estimación y la suavidad de la curva resultante.

Regla de Silverman. La regla de Silverman es un método para aproximar el ancho de banda del núcleo el cual es un punto crucial en la estimación de densidad de Kernel (Mammen et al., 2011). En términos generales esta regla sugiere un valor de ancho de banda basado en la varianza de los datos y el tamaño de la muestra, proporcionando así una estimación razonable cuando no se dispone de información previa sobre la distribución subyacente. La expresión matemática de la regla de Silverman para una variable unidimensional se describe en la Ecuación 12.

$$h_s = 0.9 \cdot \min\left(\sigma, \frac{I\hat{Q}R}{1.34}\right) \cdot n^{-1/5} \quad (12)$$

Donde:

h_s = Ancho de banda por la regla del Silverman.

σ = Es la desviación estándar de los datos.

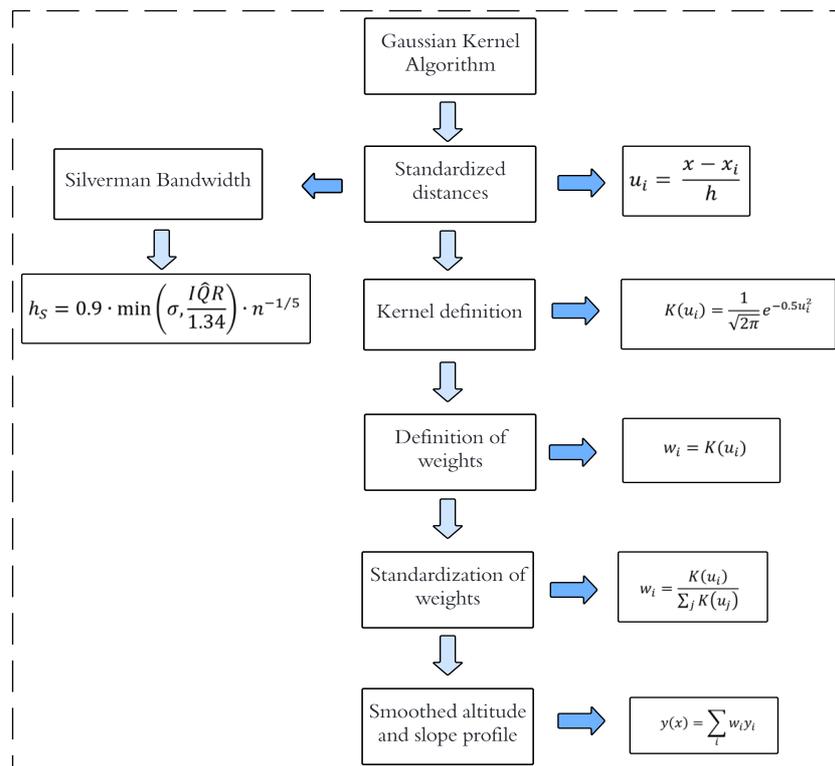
$I\hat{Q}R$ = Rango intercuartil.

n = Tamaño de los datos.

Aplicación a la altitud y perfil de pendiente. En el contexto de un perfil de altitud y porcentaje de pendiente, cada punto de altitud y pendiente pueden ser suavizados aplicando la función de densidad de Kernel, considerando el perfil de altitud o pendiente como valores a suavizar y las distancias o tiempo como las posiciones de x . El algoritmo de Kernel Gaussiano aplicado en esta investigación de manera simplificada se describe en el flujograma de la Figura 14.

Figura 14

Flujograma del Algoritmo de Kernel Gaussiano

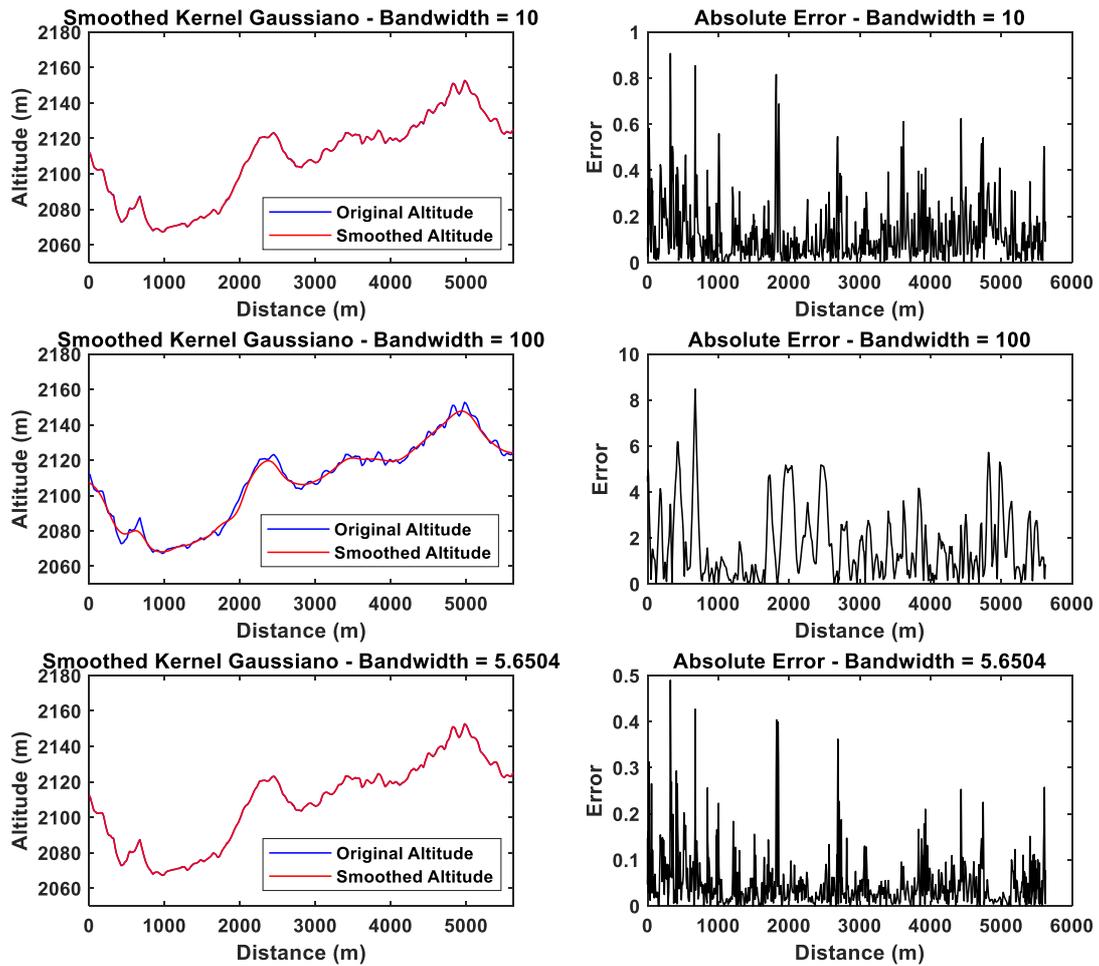


Nota. El gráfico describe el flujograma de algoritmo de Kernel Gaussiano aplicado en el suavizado del perfil de altitud y porcentaje de pendiente.

La aplicación del Algoritmo de Kernel Gaussiano para el suavizado de altitud se ilustra en la Figura 15. En este análisis como un estudio de caso se considera tres anchos de banda diferentes: un ancho de banda que produce un sobreajuste de $h = 10$ asociado a un error absoluto bajo de hasta 0.9%, un ancho de banda que genera un subajuste de $h = 100$ acompañado con error absoluto muy elevados de hasta 8% y el ancho de banda optimizado aplicando la regla de Silverman de $h_s = 5.6504$ con un error absoluto no mayor al 0.5%. Esto permite cuantificar la diferencia entre los valores estimados y reales, proporcionando una medida de la precisión del suavizado.

Figura 15

Suavizado de la altitud por el Algoritmo de Kernel Gaussiano

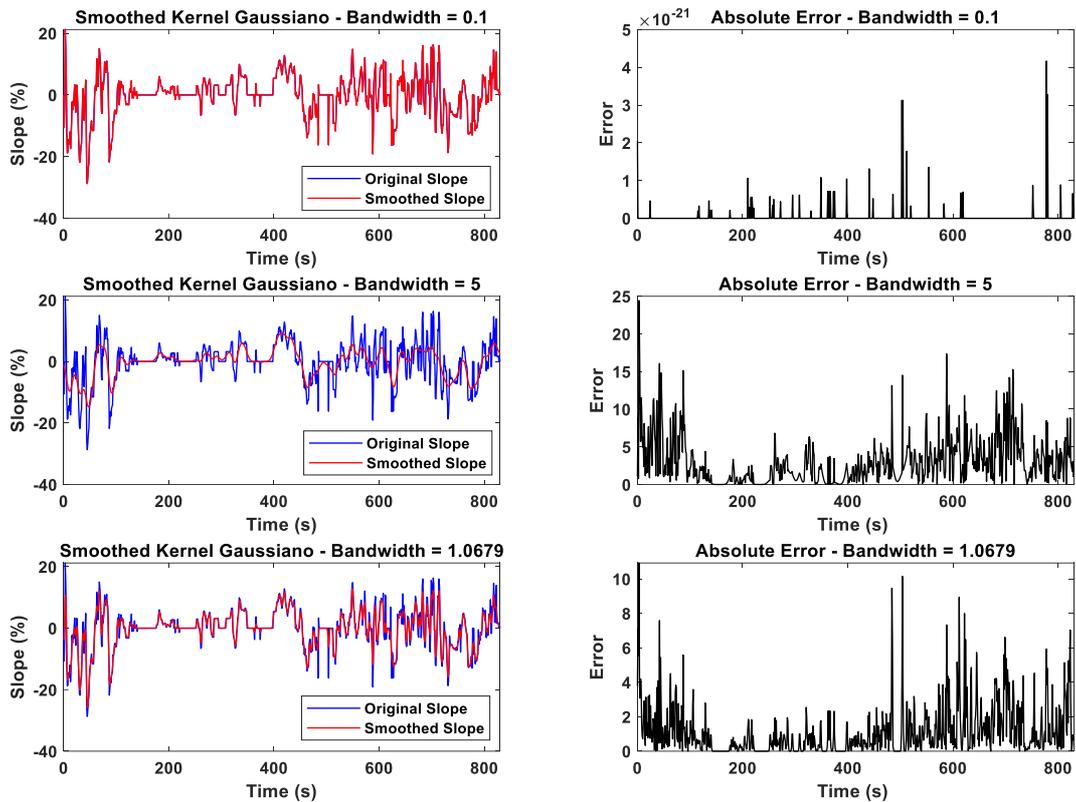


Nota. El gráfico muestra los resultados del suavizado de la altitud aplicando el Algoritmo de Kernel Gaussiano considerando tres anchos de banda y representando el error absoluto al aplicar cada ancho de banda.

De la misma manera se aplicó el Algoritmo de Kernel Gaussiano para suavizar el perfil de pendiente como se ilustra en la Figura 16. En este análisis de manera particular se considera tres anchos de banda diferentes: un ancho de banda que produce un sobreajuste de $h = 0.1$, un ancho de banda que genera un subajuste de $h = 5$ y el ancho de banda optimizado aplicando la regla de Silverman de $h_S = 1.0679$. Asociado cada uno de los valores de ancho de banda se define el error, que permite cuantificar la diferencia entre los valores estimados y reales.

Figura 16

Suavizado del perfil de pendiente por el Algoritmo de Kernel Gaussiano



Nota. El gráfico describe el suavizado del perfil de pendiente aplicando el Algoritmo de Kernel Gaussiano considerando tres anchos de banda diferentes y representando el error absoluto aplicado a cada ancho de banda.

La aplicación de la regla de Silverman establece un ancho de banda optimizado, basado en las propiedades estadísticas de los datos; esto asegura que el suavizado sea apropiado para las características específicas de la muestra. Al utilizar un ancho de banda a priori según el criterio por el usuario, conlleva a errores elevados o casi nulos; es decir un ancho de banda muy grande genera una distorsión de los datos reales; esto se relaciona directamente con el suavizado por el reglamento UE 2017/1151; mientras que un ancho de banda muy pequeño conlleva a considerar valores atípicos de las medidas que alteran los resultados.

Por lo tanto, el uso del Algoritmo de Kernel Gaussiano con un ancho de banda determinado por la regla de Silverman es una estrategia robusta y recomendada para suavizar la altitud y perfil de pendiente y la cual se ha considerado en la investigación. Los parámetros de altitud y gradiente de carretera son de gran importancia por la relación directa dentro de las ecuaciones de la dinámica longitudinal del vehículo, teniendo un efecto de respuesta en las fuerzas de resistencia por gravedad y fuerzas de rozamiento

5.6. Algoritmo matemático

Con el fin de definir el consumo energético en términos de potencia [kWh], se utilizó un algoritmo matemático de la dinámica longitudinal del vehículo, y la aplicación de la metodología por Mínimas Diferencia Ponderadas para determinar los ciclos típicos y críticos de la conducción normal y ecológica.

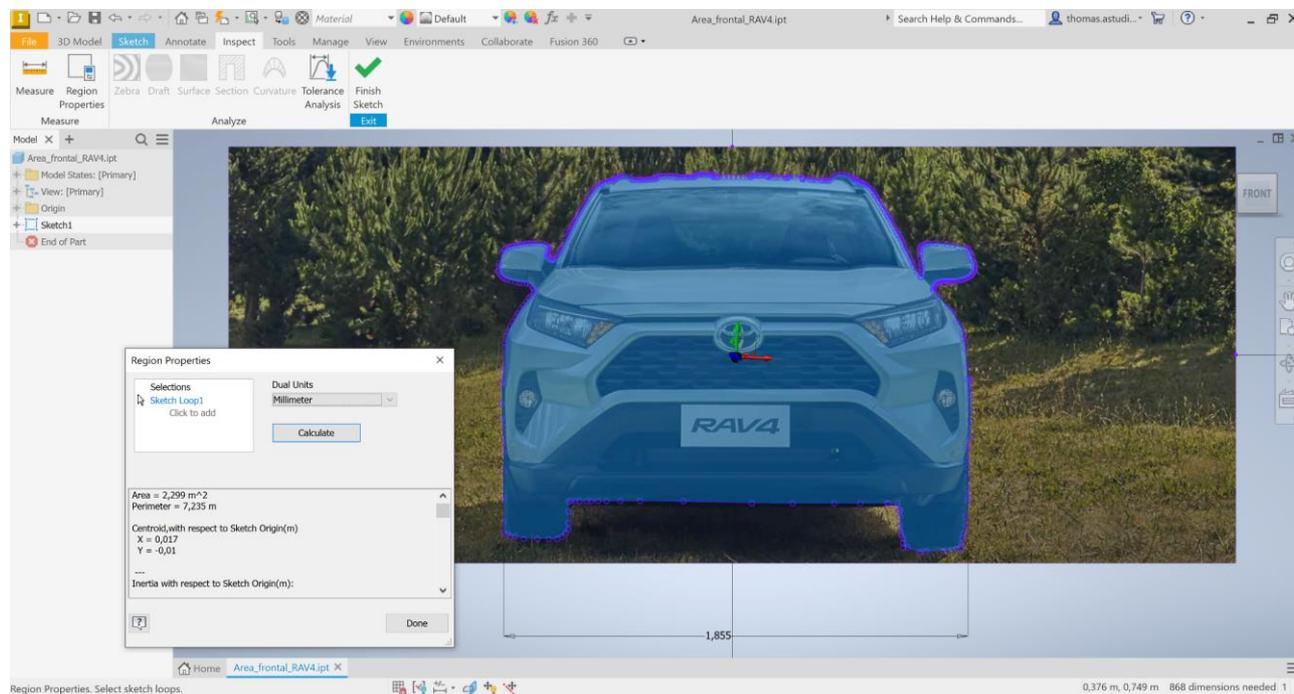
Para la elaboración del modelo dinámico en el entorno de Simulink se deben considerar parámetros ambientales y parámetros de la unidad experimental, los cuales se describen a continuación.

5.6.1. Parámetros ambientales y del vehículo

Área frontal. El área frontal del vehículo se determina a través del software Inventor, donde se inserta la imagen de la unidad experimental y se escala considerando el ancho de vía establecido por el fabricante; seguido se delimita la superficie correspondiente. Una vez delimitada la superficie, se selecciona el boceto del diseño y se elige la opción de propiedades de región como se ilustra en la Figura 17, para obtener el área frontal, siendo esta de $A_f = 2.299 \text{ m}^2$.

Figura 17

Área frontal del Toyota RAV4 2.0



Nota. El gráfico describe la obtención de la superficie frontal del vehículo experimental en el software Inventor expresado en m^2 .

Radio dinámico de rodadura. Es fundamental conocer el radio dinámico o radio efectivo para determinar el Par en rueda. Para ello se debe calcular el radio estático de rodadura por el uso de

la designación del neumático proporcionada por el fabricante de: 225/65R17 y aplicando la Ecuación 13 (Di Rado et al,2013).

$$R_{est} = \frac{1}{2} \cdot \left[\left(A_r \cdot 2 \cdot R_{\frac{h}{a}} \right) + \left(25.4 \left[\frac{mm}{in} \right] \cdot D_{rin}[in] \right) \right] \quad (13)$$

Donde:

R_{est} = Radio estático [mm].

A_r = Ancho de rueda [mm].

$R_{h/a}$ = Relación alto/ancho [%].

D_{rin} = Diámetro del rin [in].

Al remplazar los datos de la denominación del neumático en la Ecuación 13 se obtiene un $R_{est} = 362.15$ [mm], seguido se determina el radio dinámico R_d al aplicar la Ecuación 14 (Di Rango, 2014) se obtiene un valor de $R_d = 351.28$ [mm].

$$R_d = 0.97 \cdot R_{est} \quad (14)$$

Peso bruto vehicular. Este valor se determina por medio de la suma del peso en vacío del vehículo más el peso de un pasajero. La unidad experimental tiene un peso bruto $M = 2100$ [kg] (Toyota, 2020).

Coefficiente de resistencia aerodinámica (C_d). Es la resistencia que tiene un vehículo al flujo de aire. En el contexto del presente estudio, el coeficiente aerodinámico para el Toyota RAV4 se establece en $C_d = 0.32$ según la ficha técnica del fabricante (Automotive Data, 2020; Toyota, 2022).

Coefficiente de resistencia a la rodadura (f_r). Este coeficiente relaciona los efectos de las propiedades físicas del neumático y la calzada. En este estudio se considera un $f_r = 0.012$ en relación a las condiciones del tipo neumático usado, el tipo de calzada y las velocidades alcanzadas (Font Jaumandreu, 2014).

Densidad del aire (ρ_a). Se determina por medio de la Ecuación 15, la cual relaciona la presión atmosférica, la constante universal de los gases y la temperatura. Para la ciudad de Loja se registró la temperatura de la Estación Meteorológica de la UNL (Meteorología UNL, 2024) con un promedio de $T = 17.029$ °C y la presión barométrica media del Observatorio de Clima UTPL (Observatorio de Clima UTPL, 2022) de $P = 1016.26$ [hPa], con esto la densidad el aire es de $\rho_a = 1.220$ [kg/m³].

$$\rho_a = \frac{P}{R \cdot T} \quad (15)$$

Donde:

ρ_a = Densidad del aire [kg/m³].

P = Presión atmosférica [kPa].

R = Constante universal de los gases 0.287 $\left[\frac{\text{kPa}\cdot\text{m}^3}{\text{kg}\cdot\text{K}} \right]$.

T = Temperatura del aire [K].

Los parámetros determinados necesarios en la presente investigación se presentan en la Tabla 7 a manera de resumen.

Tabla 7

Resumen de parámetros ambientales y del vehículo

Parámetros	Valor
Área frontal	$A_f = 2.299 \text{ m}^2$
Peso bruto vehicular	$M = 2100 \text{ [kg]}$
Coefficiente de resistencia aerodinámica	$C_d = 0.32$
Coefficiente de resistencia a la rodadura	$f_r = 0.012$
Radio dinámico de rodadura	$r_d = 351.28 \text{ [mm]}$
Densidad del aire	$\rho_a = 1.220 \text{ [kg/m}^3\text{]}$
Gravedad	$g = 9.81 \text{ [m/s}^2\text{]}$

Nota. La tabla describe los valores de los parámetros esenciales a considerar para el cálculo del consumo energético.

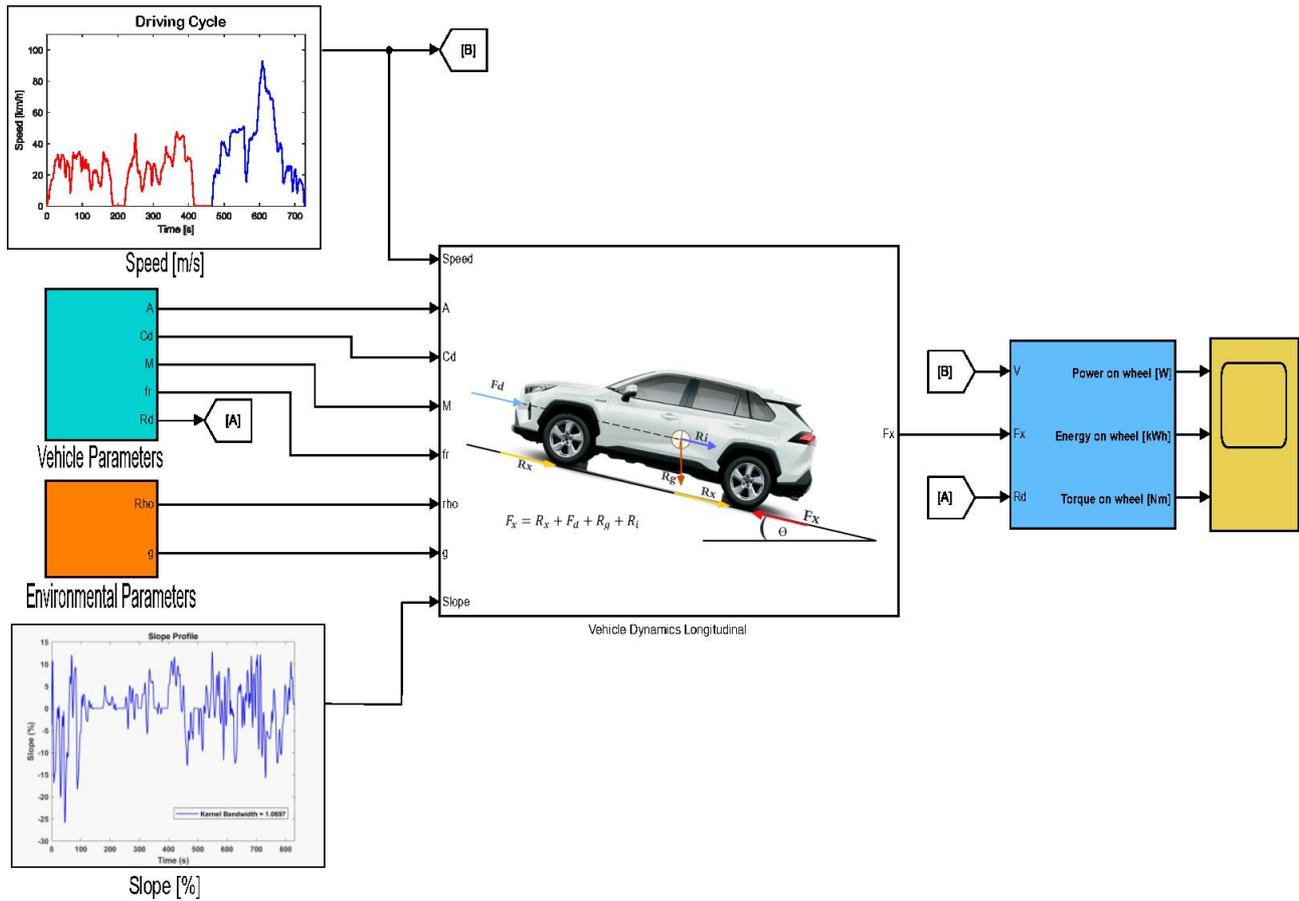
5.6.2. Modelo dinámico longitudinal

La elaboración del modelo de la dinámica longitudinal representa un avance significativo en la simulación y análisis del comportamiento vehicular. Este modelo se fundamenta en principios físicos y matemáticos que involucran todas las fuerzas que actúan en la aceleración y deceleración del vehículo. Mediante la programación gráfica por bloques de Simulink se puede representar el comportamiento del automóvil y modular las distintas variables involucradas. También, se puede realizar distintas simulaciones bajo diversas condiciones operativas y distintos escenarios de carga, pendientes y variaciones en la resistencia al avance.

Este enfoque contribuye a la optimización del diseño vehicular y proporciona una herramienta valiosa para la investigación en el ámbito de la ingeniería automotriz, que permite la evaluación de estrategias de control y mejoras en la eficiencia energética. El modelo desarrollado en Simulink implementado en esta investigación se observa en la Figura 18.

Figura 18

Modelo de la dinámica longitudinal



Nota. El gráfico describe la programación por bloques en Simulink de la dinámica longitudinal implementado en el presente estudio.

5.6.3. Mínimas diferencias ponderadas

En el presente estudio se realizaron un total de 40 viajes de ida y 40 viajes de retorno en dos modos de operación: 20 en modo normal y 20 en modo ecológico con el objetivo de representar de manera precisa los ciclos típicos y críticos que experimenta un vehículo. Es importante destacar que en base a la gran variedad de ciclos de conducción que se dispone de la literatura, no todos se ajustan a las condiciones reales de manejo, por tal razón en el trabajo se propone la definición de los ciclos típicos y críticos. En la selección de dichos ciclos representativos se utilizó el método de mínimas diferencias ponderadas.

Para determinar los ciclos representativos de la conducción normal y ecológica, es necesario estandarizar y ponderar cada uno de los parámetros de energía, lo que permitirá identificar el valor de ponderación o pesos que influye en el consumo energético total. El método se expresa en la Ecuación 16 (Huertas et al., 2018; Vélez Loaiza & Vera Vanegas, 2016).

$$C = Arg \left\{ \min_j \left(\sum \omega_i \cdot \left| \frac{P_{ij} - \bar{P}_i}{\sigma_i} \right| \right) \right\} \quad (16)$$

Donde:

C = Ciclo de conducción representativo.

P_{ij} = Valor del parámetro i obtenido del ciclo j .

\bar{P}_i = Promedio para cada parámetro en todos los ciclos.

ω_i = Pesos asignados a cada parámetro.

σ_i = La desviación estándar de la muestra del parámetro i .

La expresión $\left| \frac{P_{ij} - \bar{P}_i}{\sigma_i} \right|$ representa la diferencia ponderada absoluta normalizada entre el valor del parámetro y el valor promedio en un ciclo específico. Es importante recalcar que ciertos parámetros tienen mayor relevancia que otros en la estimación del consumo de energía. Por consiguiente, la suma de las diferencias debe ser ponderada en función de la importancia de cada parámetro en la evaluación del consumo energético.

Por último, se elige los ciclos representativos de la ruta de estudio de la conducción normal y ecológica, donde el mayor valor de suma de diferencias ponderadas será para los ciclos críticos y el menor valor para los ciclos típicos.

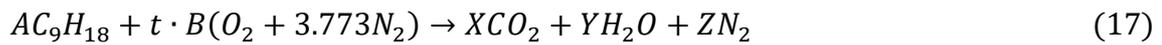
5.7. Factores de emisión

Para la medida de emisiones contaminantes como el CO₂ de vehículos en condiciones reales de manejo, se emplean sistemas de medición de emisiones portátiles (PEMS por sus siglas en inglés: *Portable Emissions Measurement System*). La utilización de estos sistemas presenta varias problemáticas en cuanto a la variabilidad de los resultados y la implementación del equipo; lo que respecta a la lectura de los datos en tiempo real se ve afectada por los factores de calibración del equipo y condiciones ambientales, esto conlleva a obtener inconsistencias en la estimación de los factores de emisión e inestabilidad de los resultados.

Es importante mencionar que para la implementación de PEMS se requiere un manejo técnico especializado lo que implica un costo elevado y limita su aplicación a una flota de vehículos y a estudios a gran escala.

Por estas limitaciones se ve la necesidad de desarrollar metodologías más robustas que integren múltiples fuentes de datos y reduzcan los costos de implementación (Varella et al., 2018). En este contexto, el uso de sistemas de diagnóstico a bordo mediante la lectura de datos a través del protocolo de comunicación por OBD-II se presenta como una alternativa prometedora (Singh & Dubey, 2023). Este enfoque ha demostrado ser eficaz y se ha consolidado como una de las metodologías más utilizadas en la investigación relacionada con la estimación de emisiones reales (Cha et al., 2021).

En la presente investigación se estima de manera indirecta los factores de emisión teóricos de CO₂ mediante el consumo de combustible a través de los datos de flujo másico de aire (\dot{m}_a) y flujo volumétrico de combustible (\dot{V}_f) obtenidos del equipo de diagnóstico OBDLink® Mx+ de conducción normal y ecológica. Los parámetros de \dot{m}_a y \dot{V}_f se emplean en las reacciones de la Ecuación 17 de la estequiometría de la constitución del tipo de combustible y que relaciona la cantidad de aire y combustible que ingresa al motor.



Donde:

A = Moles de combustible medidos.

B = Moles de aire medidos.

t = Parámetro de igualación.

X = Moles de CO₂ a estimar.

Y = Moles de vapor de Agua.

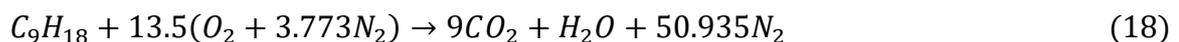
Z = Moles de N₂.

Esta metodología de estimar el CO₂ se plantea como una hipótesis a partir de las medidas de masa de aire y masa de combustible, el motor MEP se encuentre operando en modos estratificados. Para ello se analiza la medida del factor Lambda.

5.7.1. Análisis del factor Lambda

Los motores MEP con sistemas de inyección directa de combustible en muchos de los casos suelen operar a carga estratificada, homogénea y homogénea pobre que deriva del efecto transitorio del modo estratificado al modo homogéneo. Para determinar el modo de trabajo del motor MEP se analiza el factor Lambda a partir de los dosado absoluto y estequiométrico.

El dosado estequiométrico se determina mediante un balance de carbonos a partir de la composición del combustible de la gasolina Ecopaís C₉H₁₈ (EP PETROECUADOR, 2014) donde se asume una combustión completa. En la Ecuación 18 se define el balance de carbono para una combustión estequiométrica.



Una vez igualada la Ecuación 18, se determina la masa de combustible y aire.

$$M_{f_e} = (9)(12.011) + (18)(1.007) = 126.225 \text{ [g}_{\text{comb}}]$$

$$M_{a_e} = (13.5)(4.773)\text{Mol}_{\text{aire}} * \left(28.962 \frac{\text{g}_{\text{aire}}}{\text{Mol}_{\text{aire}}}\right) = 1866.2 \text{ [g}_{\text{aire}}]$$

$$F_{stq} = \frac{M_f}{M_a} = \frac{126.225}{18662} = 0.00676 \Rightarrow \frac{A}{F} = 14.7$$

En esta investigación el dispositivo de diagnóstico brinda el gasto masico de combustible en [g/s] lo que su aplicación es directa; mientras que para el combustible lo recopila en términos de flujo volumétrico en [gal/h] lo que conlleva a una conversión aplicando la Ecuación 19.

$$\dot{m}_f = \frac{(0.003785)(1000)}{3600} \cdot \rho_f \cdot \dot{V}_f \quad (19)$$

Donde:

\dot{m}_f = Masa de combustible [g/s].

ρ_f = Densidad del combustible de 764.3 [kg/m³] (EP PETROECUADOR, 2014).

\dot{V}_f = Flujo volumétrico de combustible [gal/h].

El motor trabaja a condiciones diferentes de las estequiométricas por lo tanto es necesario conocer el dosado de funcionamiento o dosado absoluto por medio la Ecuación 20 a través de los datos medidos.

$$F_{abs} = \frac{\dot{m}_f}{\dot{m}_a} \quad (20)$$

Donde:

F_{abs} = Dosado absoluto.

\dot{m}_f = Masa de combustible [g].

\dot{m}_a = Masa de aire [g].

De la misma manera se aplica la Ecuación 21 para determinar el dosado relativo.

$$F_R = \frac{F_{abs}}{F_{stq}} \quad (21)$$

Donde:

F_R = Dosado relativo.

F_{abs} = Dosado absoluto.

F_{stq} = Dosado Estequiométrico.

El valor Lambda se determina al aplicar la Ecuación 22, siendo esta el inverso del dosado relativo.

$$\lambda = \frac{1}{F_R} \quad (22)$$

Donde:

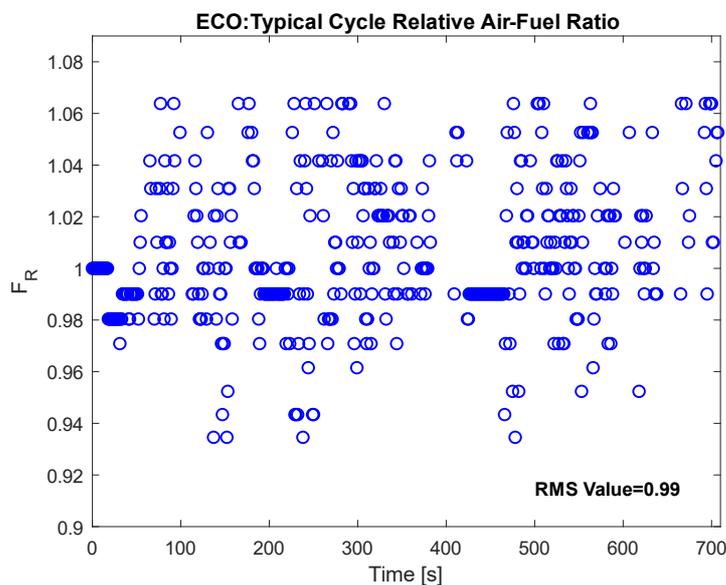
F_R = Dosado relativo.

λ = Factor Lambda.

La Figura 19 se muestra los valores del dosado relativo F_R del ciclo típico de la conducción ecológica de manera particular implicado en el estudio.

Figura 19

Gráfica de los valores de dosado relativo



Nota. El gráfico describe los valores del dosado relativo calculados a partir de los datos registrados por el equipo de diagnóstico utilizando el entorno de Matlab.

Para el caso de estudio se observa que la mayor dispersión del dosado relativo se encuentra entre $0.95 \leq F_R \leq 1.05$, además se muestra el valor medio cuadrático que se encuentra dentro del rango por lo que se estima los factores de CO₂.

Tabla 8

Valores RMS del dosado relativo de los modos de operación

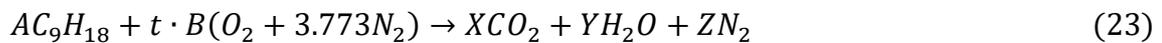
Recorrido		Típico	Crítico
Ida	Ecológica	0.9965	1.0761
	Normal	1.0947	1.0806
Retorno	Ecológica	1.0856	1.0725
	Normal	1.0751	1.0654

Nota. La tabla describe los valores RMS del dosado relativo de los ciclos representativos para los modos de operación del vehículo.

Los valores medidos reflejan que el motor trabaja en la mayor parte del tiempo en modo estratificado, donde existe un enriquecimiento de aire y un empobrecimiento de combustible. Una de las hipótesis que trabaja de manera robusta la metodología enfocada en los balances de carbono, es a partir de que exista mezclas homogéneas o con exceso de aire. Si el motor opera en condiciones de empobrecimiento de aire, y aumento de combustible, el problema resulta indeterminado, ya que se tiene como resultado la presencia de contaminantes mayoritariamente de CO y HC en el producto.

5.7.2. Estimación de emisión de CO₂

En la estimación de los factores de emisión de CO₂ se aplica el balance de carbonos de la estequiometría de la composición del combustible a partir de los datos recopilados durante la ruta de prueba.



Donde:

A = Moles de combustible medidos.

B = Moles de aire medidos.

t = Parámetro de igualación.

X = Moles de CO₂ a estimar.

Y = Moles de vapor de Agua.

Z = Moles de N₂.

Para determinar el número de moles de combustible y aire que ingresan al motor se aplica la Ecuación 24 y 25 de conversión.

$$M_f = \frac{\dot{m}_f}{M_{fe}} \quad (24)$$

$$M_a = \frac{\dot{m}_a}{M_{ae}} \quad (25)$$

Donde:

M_f = Moles de combustible medidos.

\dot{m}_a = Masa de aire.

M_a = Moles de aire medidos.

M_{fe} = Gramos de 1 mol de combustible.

\dot{m}_f = Masa de combustible [g].

M_{ae} = Gramos de 1 mol de aire.

Los valores a determinar por medio de la reacción son los moles de CO₂, H₂O y N₂. Para ellos se aplican las Ecuaciones 26, 27, 28 y 29 que balancean la reacción química.

$$X = 9 \cdot A \quad (26)$$

$$Y = \frac{18}{2} \cdot A \quad (27)$$

$$t = \frac{2 \cdot X + Y}{2 \cdot B} \quad (28)$$

$$Z = 3.773(t \cdot B) \quad (29)$$

Una vez obtenidos los moles de CO_2 se aplica la Ecuación 30 para la conversión a gramos.

$$m_{CO_2} = X \cdot M_{CO_2} \quad (30)$$

Donde:

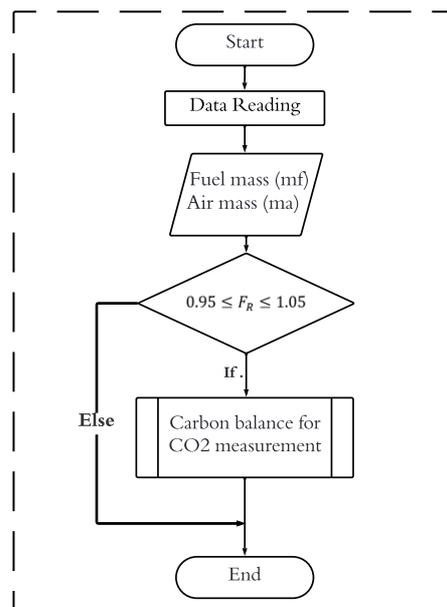
m_{CO_2} = Masa de CO_2 [g].

M_{CO_2} = 44.009 [g/mol]

La Figura 20 se describe un flujograma para determinar de manera indirecta los factores de emisión de CO_2 a partir de la lectura de los PIDs del equipo de medición. El proceso inicia con la lectura de datos del flujo volumétrico de combustible y el flujo masico de aire, seguido de la conversión a flujo volumétrico de combustible con el fin de determinar por medio del dosado relativo si cumple con los requerimientos para aplicar el balance de carbonos y obtener la concentración de CO_2 .

Figura 20

Flujograma de obtención de factores de emisión de CO_2



Nota. El gráfico describe un diagrama de flujo para determinar los factores de emisión de CO_2 .

6. Resultados

En el siguiente apartado se presentan los resultados de los ciclos típicos y críticos de los modos de operación de la conducción normal y ecológica al aplicar las mínimas diferencias ponderadas descritas en la metodología, los cuales se relacionan con el consumo energético y los factores de emisión por CO₂.

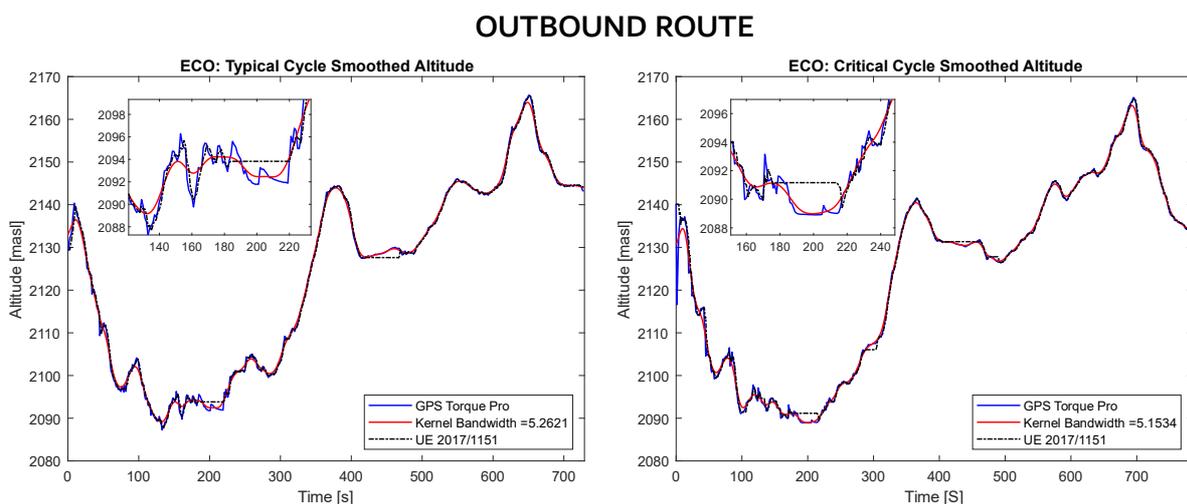
6.1. Resultados de las técnicas de suavizado

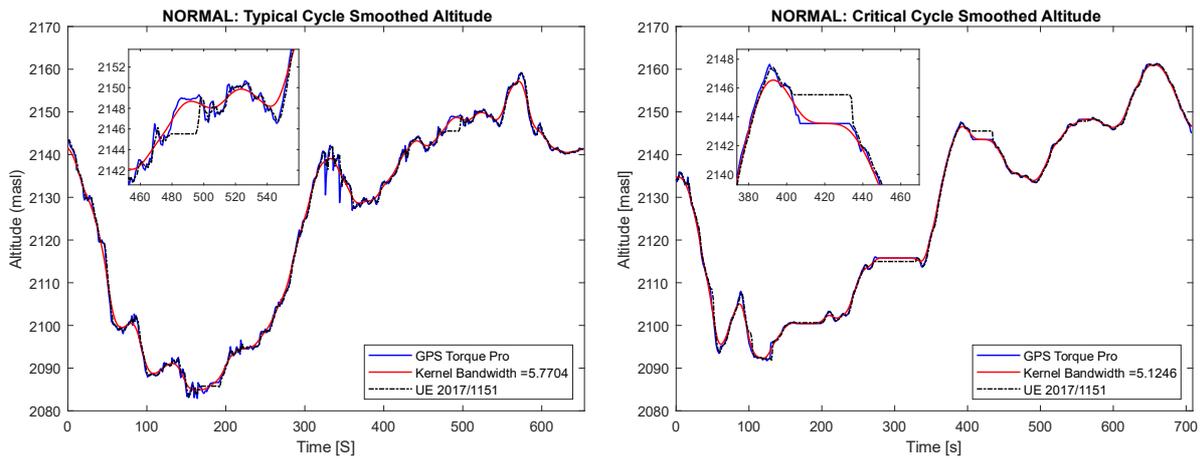
6.1.1. Perfil de altitud

En la Figura 21 y Figura 22 se presenta los resultados comparativos de las altitudes registrada durante el recorrido de ida y de retorno respectivamente; obtenidas a través del dispositivo de diagnóstico OBDLink® Mx+, y las altitudes corregidas por medio de las técnicas de suavizado como el método descrito el reglamento UE 2017/1151 y el Algoritmo de Kernel Gaussiano; de los modos de operación en condiciones normales y ecológicas donde se destaca una altura máxima promedio de 2161.3 [msnm] para el recorrido de ida y de 2162.0 [msnm] para la ruta de retorno de los ciclos representativos. Además, se observa un mejor suavizado por parte del AKG que se acopla a las condiciones topográficas de la ruta sin considera datos atípicos a comparación del método descrito por el reglamento UE 2017/1151 que en ciertos tramos del perfil de pendiente genera otro tipo de perfil que se encuentran fuera de la topografía del recorrido.

Figura 21

Suavizado del perfil de altitud del recorrido de ida



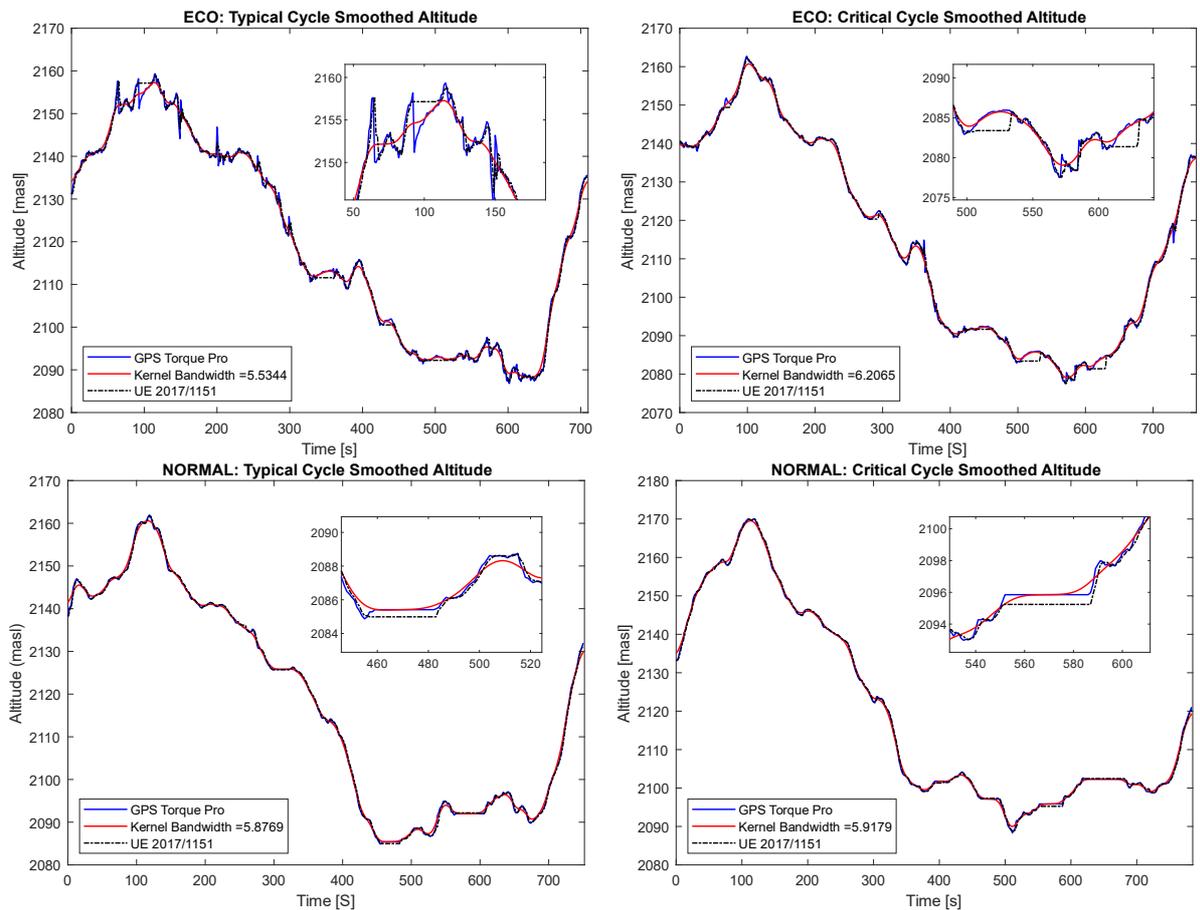


Nota. El gráfico describe el suavizado del perfil de altitud del recorrido de ida aplicando el reglamento UE 2017/1151 y el Algoritmo de Kernel Gaussiano considerando el ancho de banda por la regla de Silverman ajustado al tamaño de la muestra.

Figura 22

Suavizado del perfil de altitud del recorrido de retorno

INBOUND ROUTE



Nota. El gráfico describe una comparativa del suavizado del perfil de altitud del recorrido de retorno aplicando el reglamento UE 2017/1151 y el Algoritmo de Kernel Gaussiano considerando el ancho de banda por la regla de Silverman.

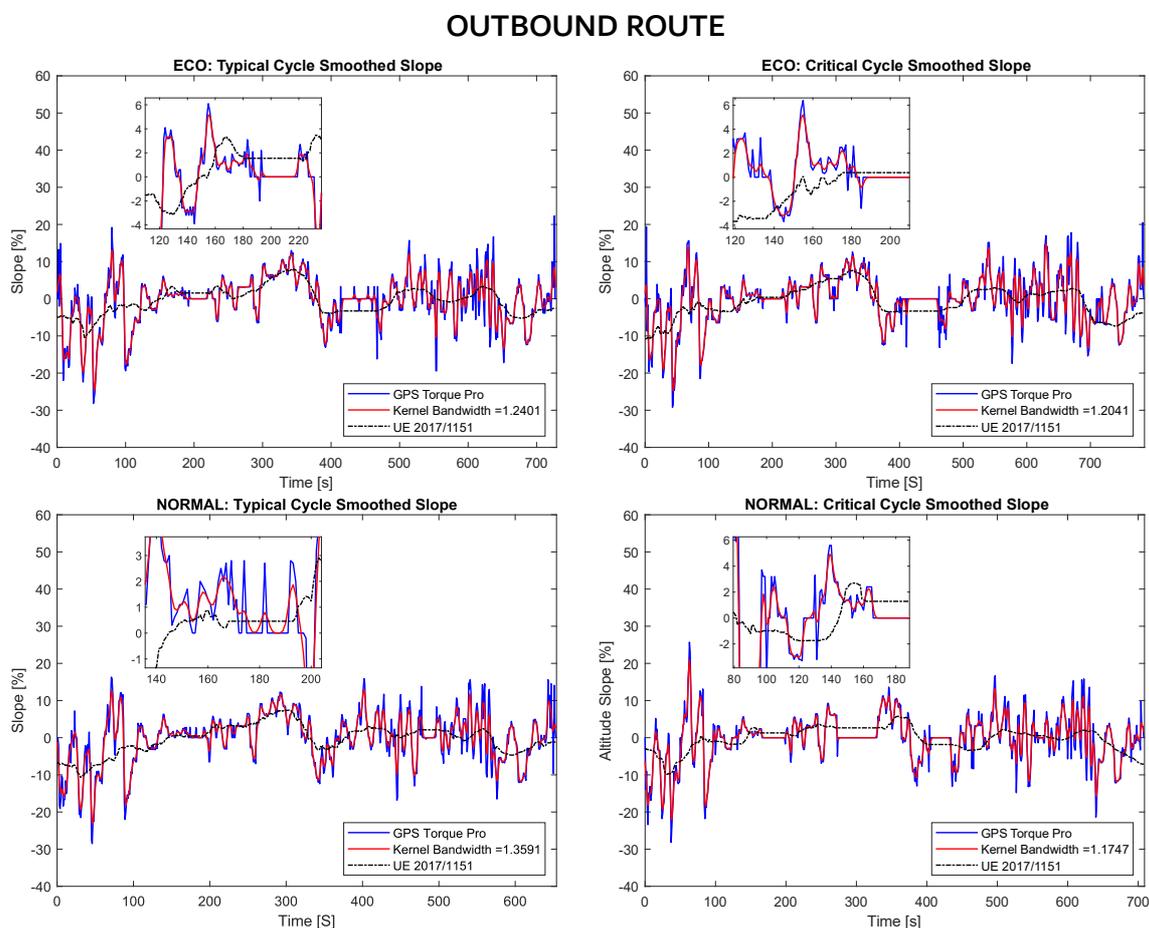
6.1.2. Perfil de pendiente

La inclinación del terreno o porcentaje de pendiente constituye una variable importante para determinar la resistencia a la rodadura y la resistencia por pendiente; por lo que interviene de manera directa en los valores resultantes de la fuerza en la rueda, el par motor, la potencia y la energía transmitida a través de la rueda. El porcentaje de pendiente se obtiene a través de la aplicación online GPS Visualizer, el cual es una herramienta de creación para mapas y perfiles en base de datos geográficos como longitud y latitud (Schneider, 2022).

En la Figura 23 y Figura 24 se observa el perfil de pendiente del recorrido de ida y de retorno respectivamente, obtenidos a través del GPS Visualizer y el suavizado del porcentaje de pendiente mediante el reglamento UE 2017/1151 y el Algoritmo de Kernel Gaussiano; para los modos de operación en condiciones normales y ecológicas. Se destacan valores máximo promedio de 21.2[%] para le recorrido de ida y de 28.3[%] para la ruta de retorno de los ciclos representativos. Se observa que ambos casos el suavizado mediante el método descrito por el reglamento subajusta el perfil de pendiente perdiendo características importantes de la topografía de la ruta, mientras que el AKG se acopla correctamente a las condiciones geográficas obviando datos atípicos.

Figura 23

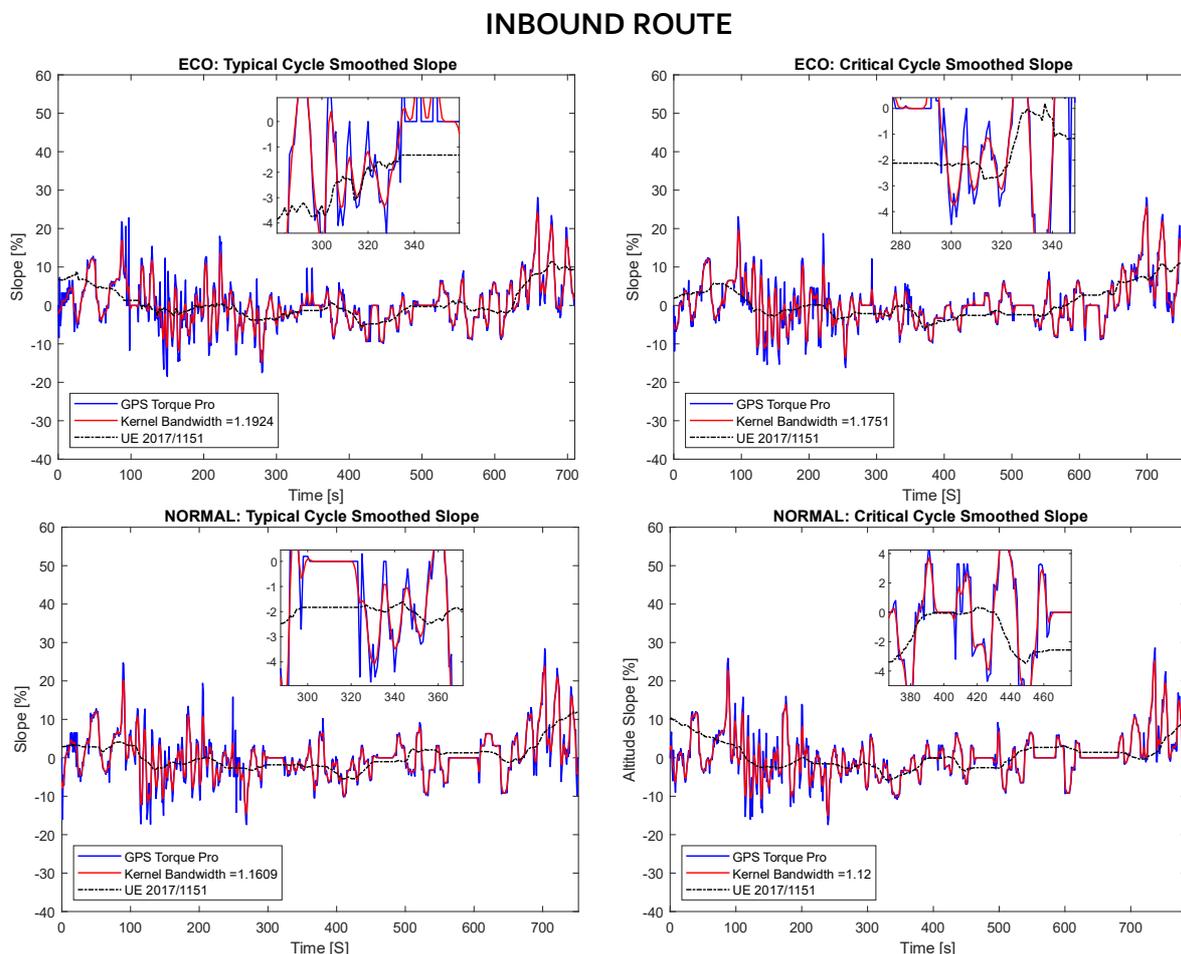
Suavizado del perfil de pendiente del recorrido de ida



Nota. El gráfico describe el perfil de pendiente obtenido del GPS Visualizer y las técnicas de suavizado por medio del reglamento UE 2017/1151 y el Algoritmo de Kernel Gaussiano considerando el ancho de banda por la regla de Silverman ajustado al tamaño de la muestra.

Figura 24

Suavizado del perfil de pendiente del recorrido de retorno



Nota. El gráfico describe el perfil de pendiente obtenido del GPS Visualizer y las técnicas de suavizado por medio del reglamento UE 2017/1151 y el Algoritmo de Kernel Gaussiano considerando el ancho de banda por la regla de Silverman.

6.2. Consumo energético en rueda

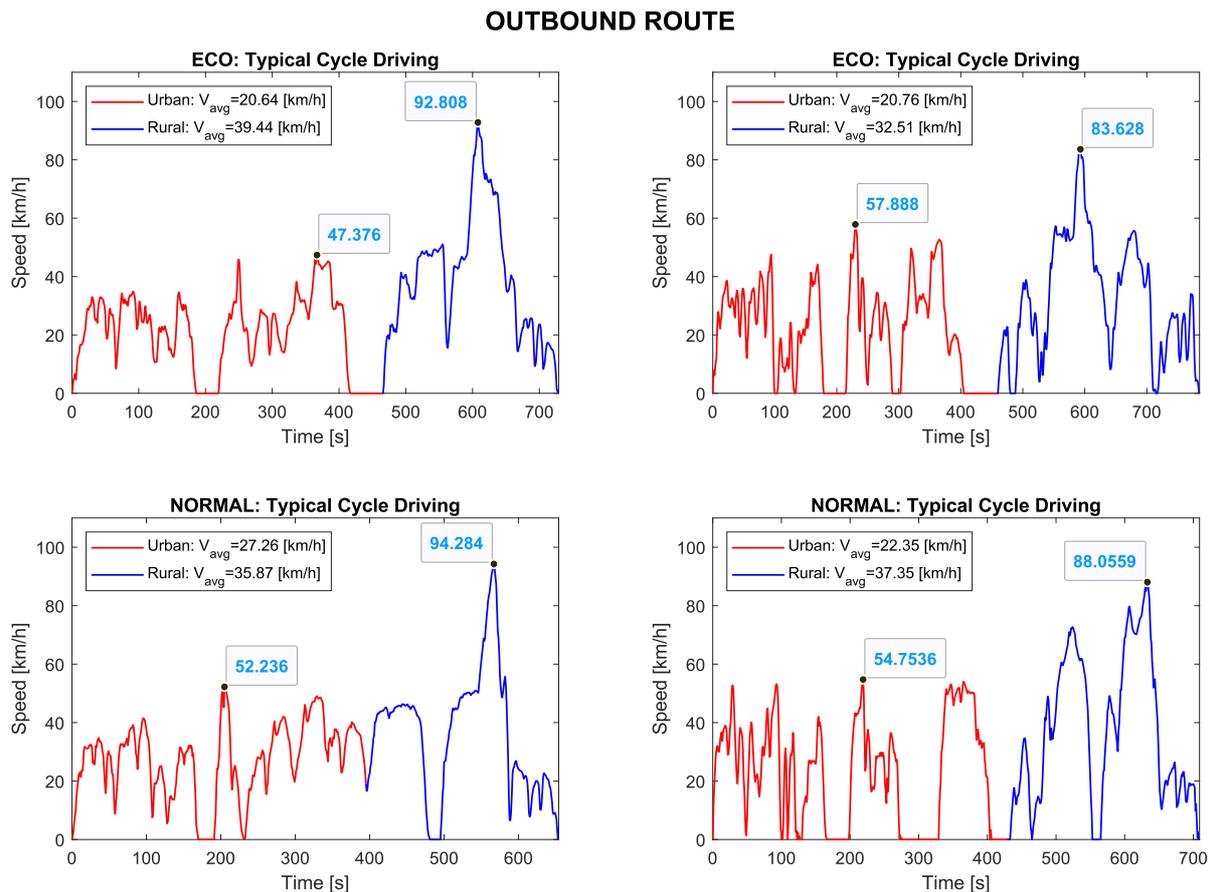
Para determinar el consumo energético en rueda del vehículo de prueba, es fundamental conocer los ciclos representativos de conducción del comportamiento típico y crítico correspondientes a la ruta experimental bajo condiciones específicas de operación normal y ecológica.

6.2.1. Ciclos de conducción

En la Figura 25 se muestran los ciclos de conducción del recorrido de ida de los modos de operación normal y ecológica; obtenidos a través del dispositivo OBDLink® Mx+. En la conducción ecológica se destaca una velocidad máxima de 47.38 [km/h] para el tramo urbano y 92.81 [km/h]

para el tramo rural ciclo típico; así mismo, en el ciclo crítico se tienen velocidades máximas de 57.88 [km/h] y 83.63 [km/h] para el tramo urbano y rural respectivamente. En la conducción normal se alcanza una velocidad máxima de 52.24 [km/h] para el tramo urbano y 94,28 [km/h] para el tramo rural del ciclo típico. De la misma manera en el ciclo crítico se alcanzan velocidades de 54.75 [km/h] y 88.06 [km/h] para el tramo urbano y rural respectivamente.

Figura 25
Ciclos de conducción del recorrido de ida

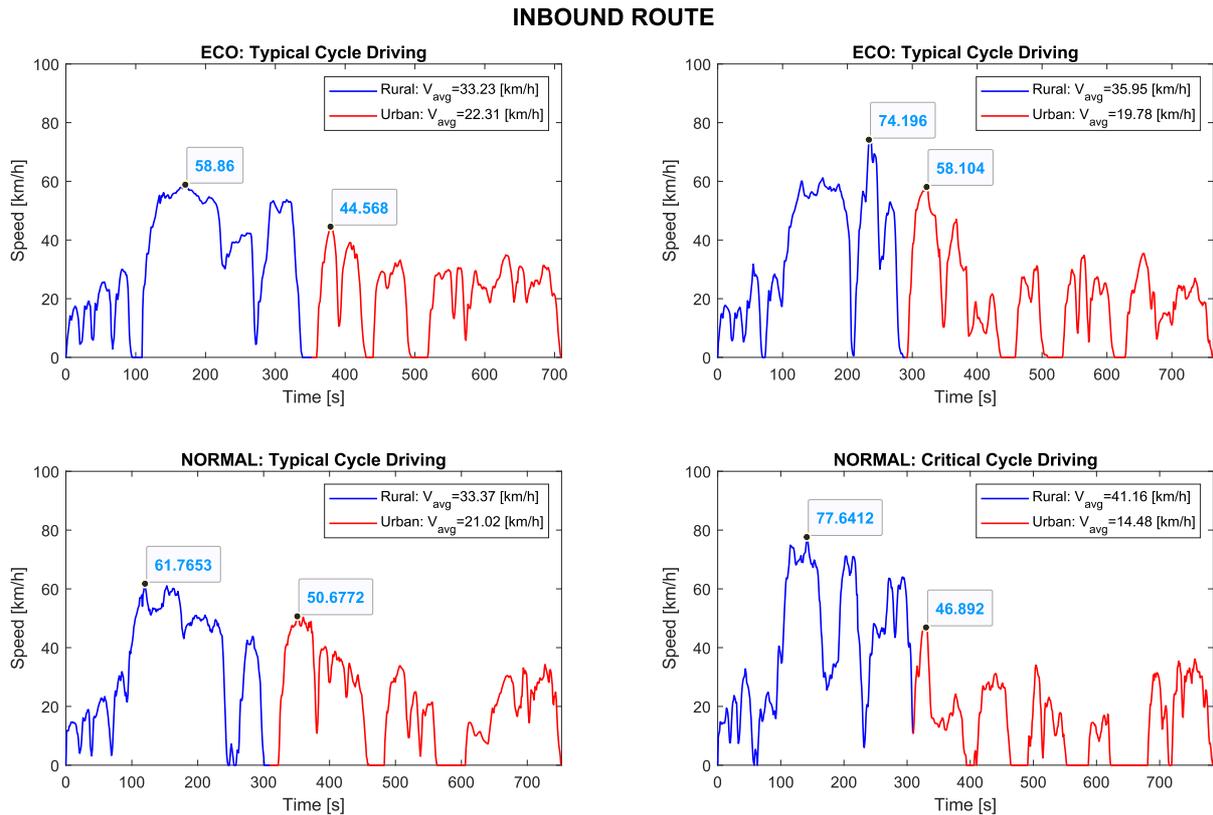


Nota. El gráfico describe los ciclos de conducción del recorrido de ida de los modos de operación normal y ecológica, además de las velocidades máximas y promedio alcanzadas entre tramos urbanos y rurales.

En la Figura 26 se muestran los ciclos de conducción del recorrido de retorno de los modos de operación normal y ecológica; obtenidos a través del dispositivo OBDLink® Mx+. En la conducción ecológica dentro del ciclo típico se destaca una velocidad máxima de 58.86 [km/h] para el tramo rural y 45.07 [km/h] para el tramo urbano; así mismo, en el ciclo crítico se tienen velocidades máximas de 74.26 [km/h] y 58.14 [km/h] para el tramo rural y urbano respectivamente. En la conducción normal se alcanza una velocidad máxima de 61.77 [km/h] para el tramo rural y 50.68 [km/h] para el tramo urbano del ciclo típico. De la misma manera, en el ciclo crítico se alcanzan velocidades de 77.64 [km/h] y 46.89 [km/h] para el tramo rural y urbano respectivamente.

Figura 26

Ciclos de conducción del recorrido de retorno



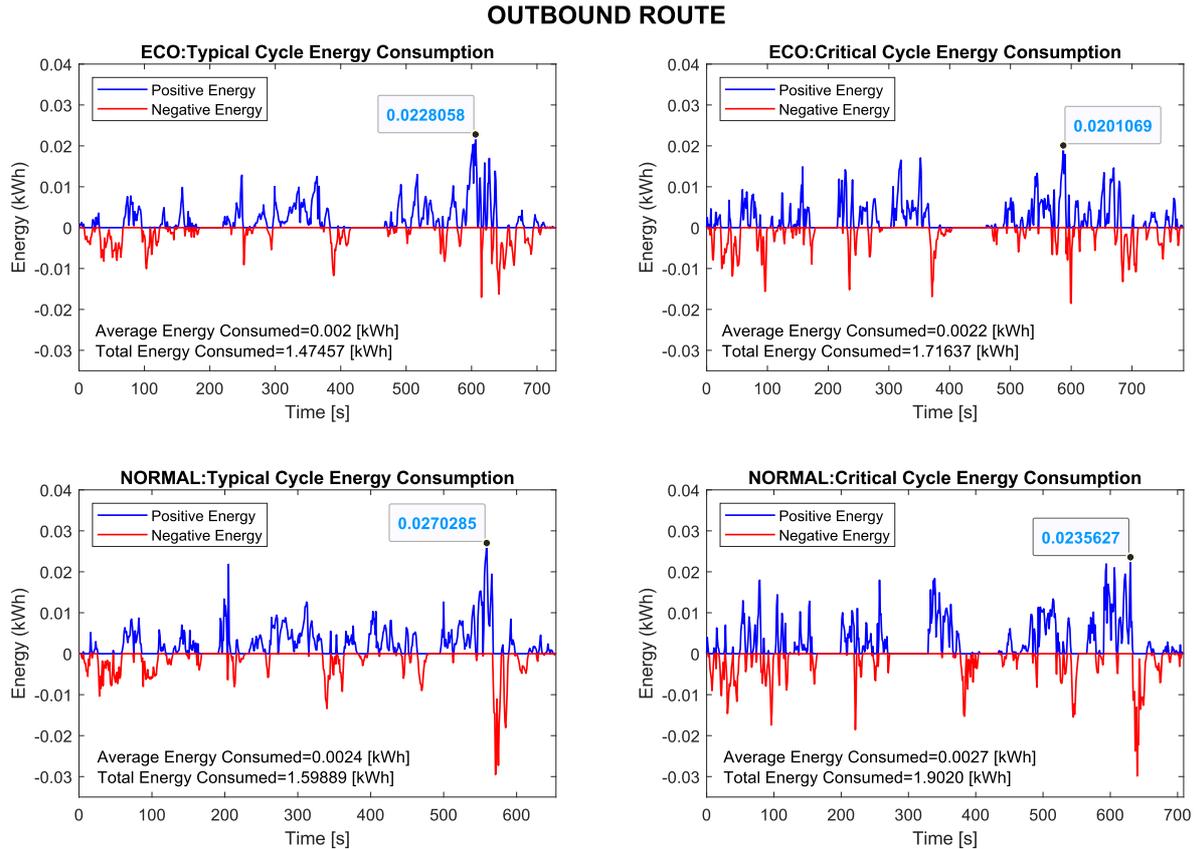
Nota. El gráfico describe los ciclos de conducción del recorrido de retorno de los modos de operación normal y ecológica; donde se detalla las velocidades medias y máximas alcanzadas entre tramos urbanos y rurales.

6.2.2. Consumo energético en rueda

Para que un vehículo se desplace se requiere una energía positiva en rueda, la cual se obtiene al aplicar el modelo de la dinámica longitudinal en Simulink. En la Figura 27 se muestra la energía consumida del recorrido de ida. Dentro de la conducción ecológica en el ciclo típico se obtiene un valor máximo de 0.02280 [kWh], con un promedio de energía consumida de 0.002 [kWh] y un total de energía consumida de 1.4745 [kWh]; mientras que en el ciclo crítico se obtiene un valor máximo de 0.02010 [kWh] con un promedio de energía consumida de 0.0022 [kWh] y un consumo total de energía del 1.7163 [kWh]. Para la conducción normal en el ciclo típico se tiene un valor máximo de 0.02702 [kWh], un consumo medio de 0.0024 [kWh] y un consumo total de energía de 1.59889 [kWh]; por otro lado, el ciclo crítico obtiene un valor máximo de 0.02356 [kWh] con un promedio de energía consumida de 0.0027 [kWh] y un total de energía del 1.9020 [kWh]. Además, existe una similitud en cuanto al consumo de energía entre los ciclos representativos de la conducción normal y ecológica que se da entre los 550 – 600 [s] del recorrido de ida.

Figura 27

Energía consumida del recorrido de ida

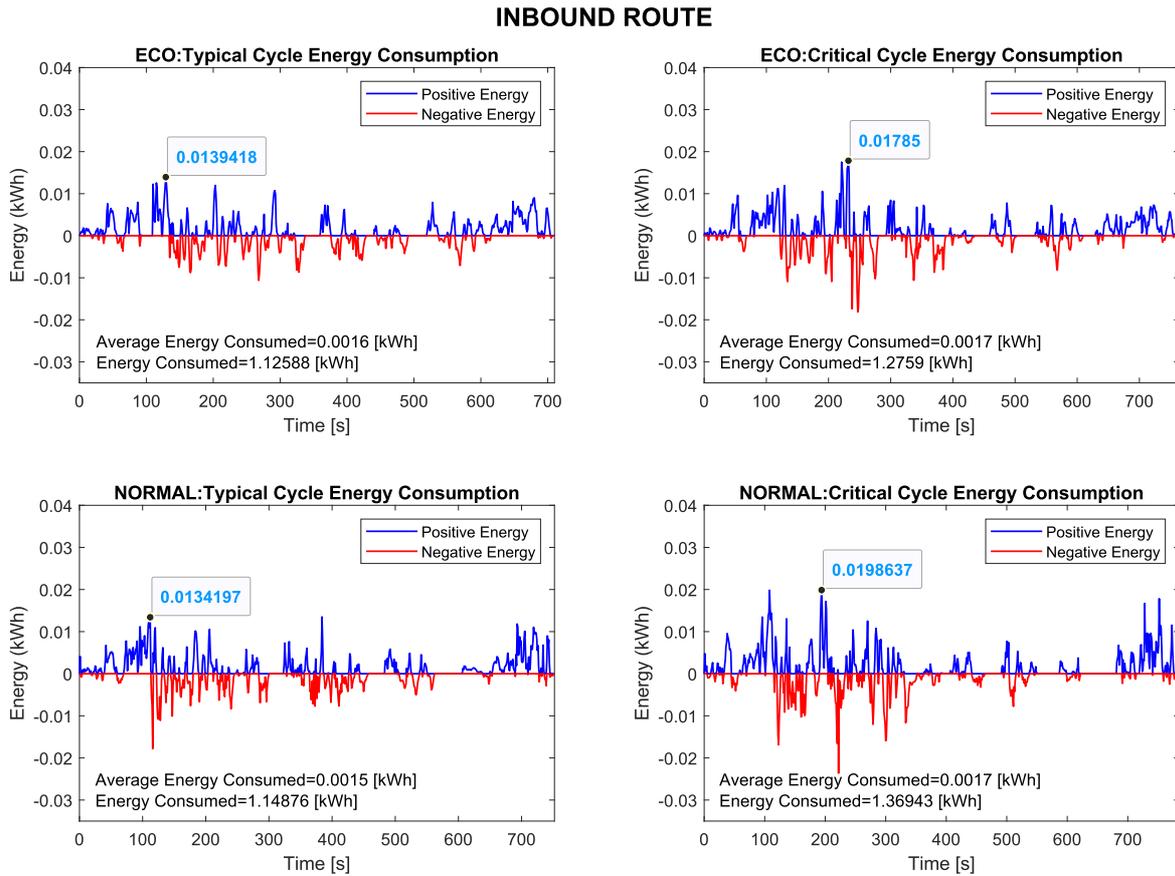


Nota. El gráfico describe la energía positiva y negativa de los modos de operación normal y ecológica, el consumo de energía media y el total de las energías consumida del recorrido de ida.

La Figura 28 muestra la energía consumida del recorrido de retorno. La conducción ecológica dentro del ciclo típico obtiene un valor máximo de 0.01394 [kWh], un consumo promedio de 0.0016 [kWh] con un total de las energías positivas de 1.12588 [kWh]; mientras que en el ciclo crítico se obtiene un valor máximo de 0.01785 [kWh] con un consumo medio de energía de 0.0017 [kWh] y total de energía demandada de 1.2759 [kWh]. En la conducción normal en el ciclo típico se tiene una energía máxima de 0.01342 [kWh] con un consumo medio de 0.0015 [kWh] y un total de energía utilizado de 1.14876 [kWh]; por otro lado, el ciclo crítico obtiene un valor máximo de 0.019863 [kWh], un consumo promedio de 0.0017 [kWh] y un consumo energético total de 1.36943 [kWh].

Figura 28

Energía consumida del recorrido de retorno



Nota. El gráfico describe la energía positiva y negativa de los modos de operación normal y ecológica y el total de las sumatoria de las energías positivas del recorrido de retorno.

En la Tabla 9 se detalla los valores de la sumatoria de las energías positivas obtenidas de los ciclos representativos de la ruta de estudio, donde se observa un consumo mayor de energía por parte de la conducción normal tanto para el recorrido de ida como de retorno. Además, el recorrido de ida destaca valores mayores de energía consumida en relación a la ruta de retorno, puesto que el horario de la toma de los datos se realizó en condiciones de mayor tráfico en comparación a la ruta de retorno; donde existe un funcionamiento de los sistemas de semaforización intermitentes de modo preventivo, que resultan en menores tiempos de parada.

Tabla 9

Energía total positiva consumida

Recorrido		Típico	Crítico
Ida	Ecológica	1.47457 [kWh]	1.71637 [kWh]
	Normal	1.59889 [kWh]	1.90200 [kWh]
Retorno	Ecológica	1.12588 [kWh]	1.27590 [kWh]
	Normal	1.14876 [kWh]	1.36943 [kWh]

Nota. La tabla describe los valores de la sumatoria de las energías positivas de la ruta de estudio de los ciclos representativos de la conducción normal y ecológica.

Con el fin de caracterizar el consumo energético de la conducción normal y ecológica, se comparó la energía consumida de ambos modos, calculando la diferencia entre la energía consumida del modo normal y el modo ECO y así determinar el porcentaje de reducción de energía demanda de los ciclos representativos para cada modo de operación como se muestra en la Tabla 10.

Tabla 10
Porcentaje de energía total consumida

	Diferencia		Porcentaje	
	Típico	Crítico	Típico	Crítico
Ida	0.1242 [kWh]	0.1856 [kWh]	7.77 %	9.76 %
Retorno	0.0228 [kWh]	0.0935 [kWh]	1.99 %	6.83 %

Nota. La tabla describe la diferencia y porcentajes de reducción de la energía total del modo ECO respecto al modo Normal del recorrido de ida de los ciclos representativos de la conducción normal y ecológica.

6.3. Estimación de los factores de emisión de los ciclos representativos

En este apartado se presentan los resultados obtenidos de la estimación de los factores de emisión por CO₂, basados en el balance de carbonos descrito en la metodología. Para el caso estudiado, se compara las emisiones de CO₂ con las variables características de los datos recopilados de la interfaz OBD-II mediante el dispositivo OBDLink® Mx+, en particular: la velocidad del motor [km/h], régimen del motor [rpm], posición del acelerador [%], carga del motor [%] y la altitud [%].

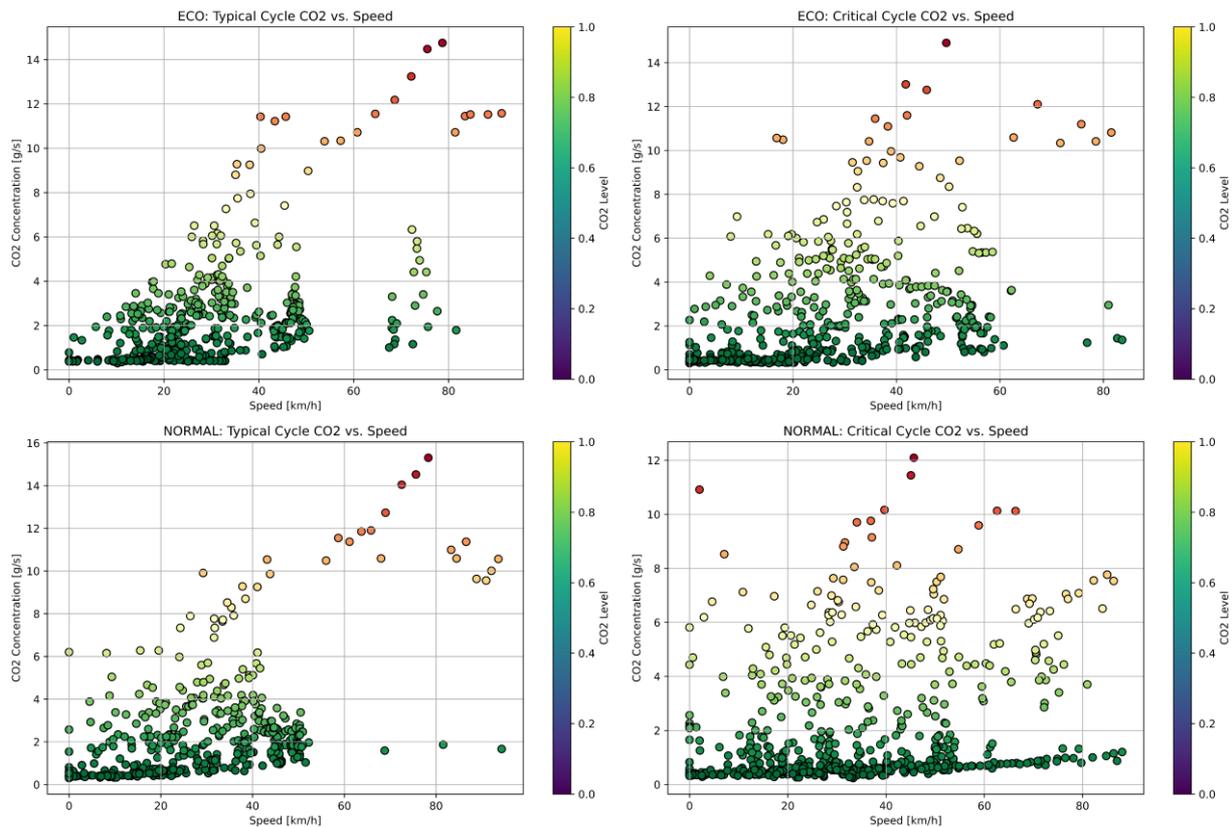
Las gráficas presentadas a continuación de la concentración de CO₂ y las variables características fueron generadas utilizando la plataforma Google Colab, un entorno de desarrollo basado en la nube que facilita la ejecución de código en Python y la visualización de datos.

En la Figura 29 se describe la concentración de CO₂ en función de la velocidad que adquiere el vehículo durante la conducción normal y ecológica en el recorrido de ida; donde se presenta una escala de colores correspondiente al nivel de CO₂, siendo 1 un tono de mayor nivel de CO₂ y 0 de menores concentraciones de CO₂. Se observa que los niveles más bajos de CO₂ se centran en condiciones de manejo ECO para el ciclo típico y mayores concentraciones en condiciones normales, donde la producción de CO₂ se dispersa en mayor medida en la zona central de 4 a 8 [g/s]. Se observan mayores incrementos de concentraciones de CO₂ de manera gradual con la velocidad superando los 40 [km/h] tanto para la conducción normal y ecológica indicando una relación directa a medida que se aumenta la velocidad; así mismo, se destacan mayores niveles de CO₂ a velocidades mayores correspondiente a tramos rurales por encima de los 60 [km/h].

Figura 29

Concentración de CO₂ vs. Velocidad durante el recorrido de ida

OUTBOUND ROUTE

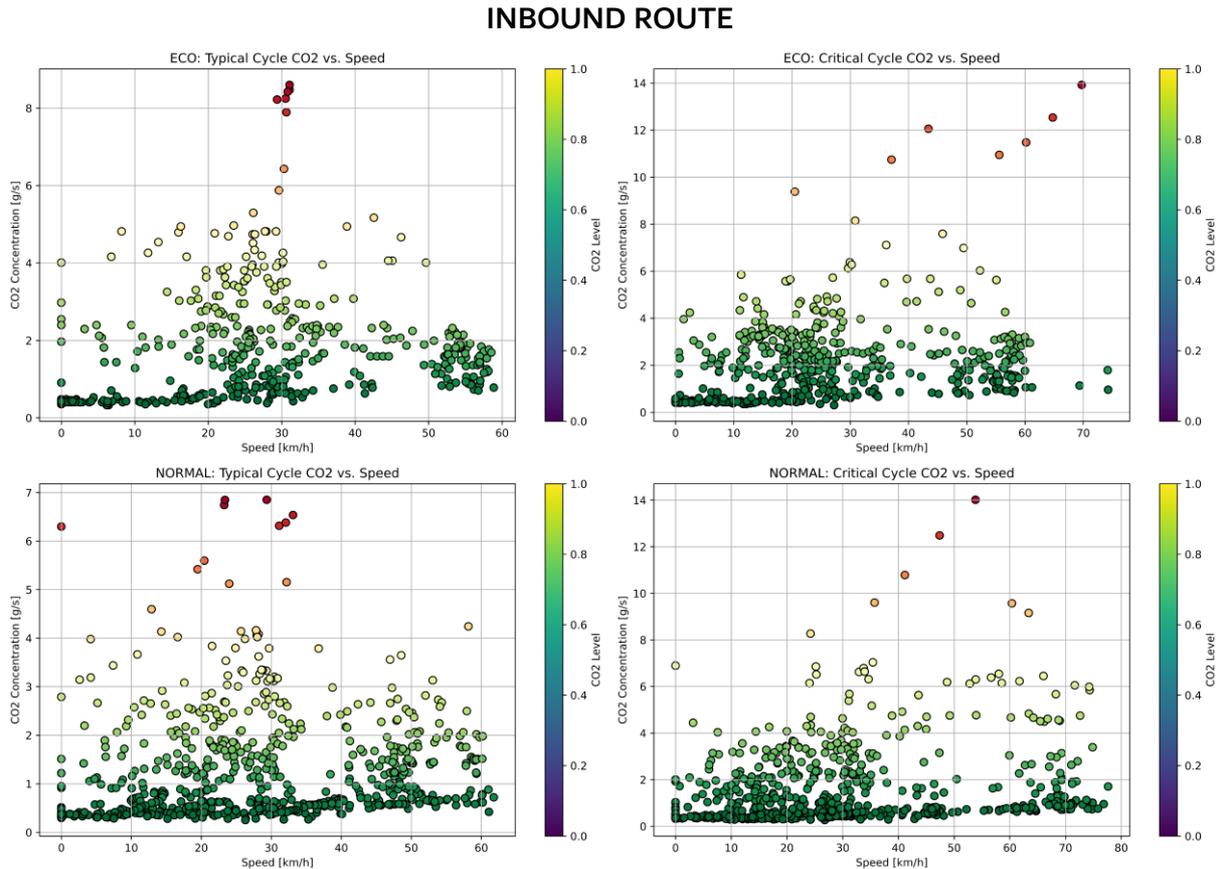


Nota. El gráfico describe la concentración de CO₂ relacionado con la velocidad del vehículo en los modos de operación normal y ecológica del recorrido de ida.

Por otro lado, para el recorrido de retorno las concentraciones de CO₂ en conducción normal y ecológica presentan incrementos de CO₂ a velocidades superiores a los 30 [km/h] para los ciclos típicos y críticos como se observan en la Figura 30; con la diferencia entre que el modo normal conlleva levemente mayores niveles de emisión por encima de los 2 [g/s], esto se da debido a que el motor opera en zonas levemente pobres acorde a lo definido en el factor lambda. Se destaca que la escala de colores del nivel de CO₂ indican mayores concentraciones de emisión en el ciclo crítico de la conducción normal, en la zona comprendida entre 2 a 8 [g/s]; mientras que el modo ECO en el ciclo típico presenta menores niveles donde la concentración se dispersa en la zona central entre 2 a 6 [g/s]

Figura 30

Concentración de CO₂ vs. Velocidad durante el recorrido de retorno



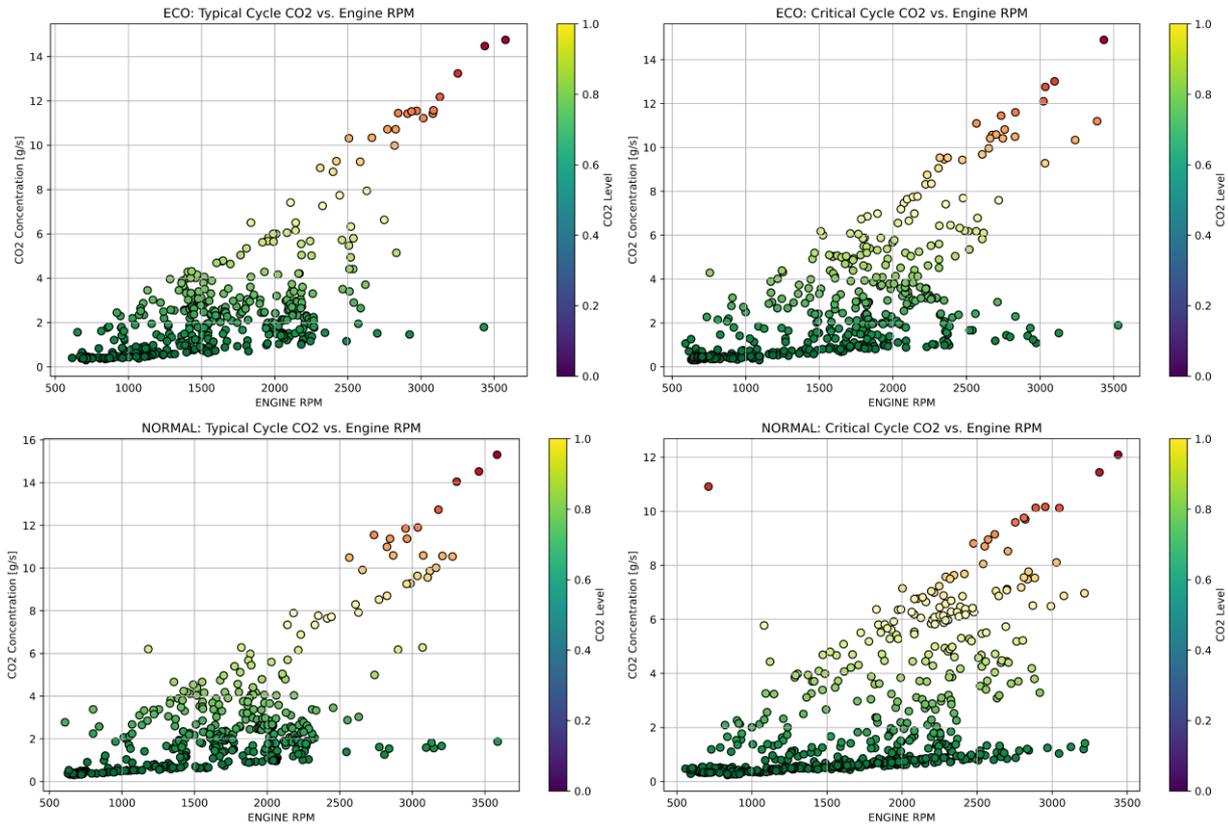
Nota. El gráfico describe la concentración de CO₂ en función de la velocidad del vehículo de los modos de operación normal y ecológica durante el recorrido de retorno.

La Figura 31 presenta la relación entre la concentración de CO₂ y las revoluciones por minuto del motor (RPM) de la conducción normal y ecológica del recorrido de ida. Se indica una escala de colores en la parte derecha de la concentración de CO₂ siendo 1 un tono de mayor concentración y 0 de menor nivel; donde se observa una densidad elevada de CO₂ a medida que se incrementan las revoluciones a partir de las 1500 [rpm] para los ciclos típicos y críticos de los modos normal y ECO. La diferencia entre radica que el menor nivel de CO₂ se ve reflejado en el ciclo típico del modo ECO centrado en la zona de 4 a 8 [g/s] mientras que la mayor densidad de emisión se visualiza en el ciclo crítico de la conducción normal dispersándose la concentración de CO₂ entre 2 a 8 [g/s]. Según la dispersión de CO₂ se evidencia una relación directa entre las RPM del motor y las emisiones en condiciones de operación normales y ecológicas.

Figura 31

Concentración de CO₂ vs. RPM durante el recorrido de ida

OUTBOUND ROUTE



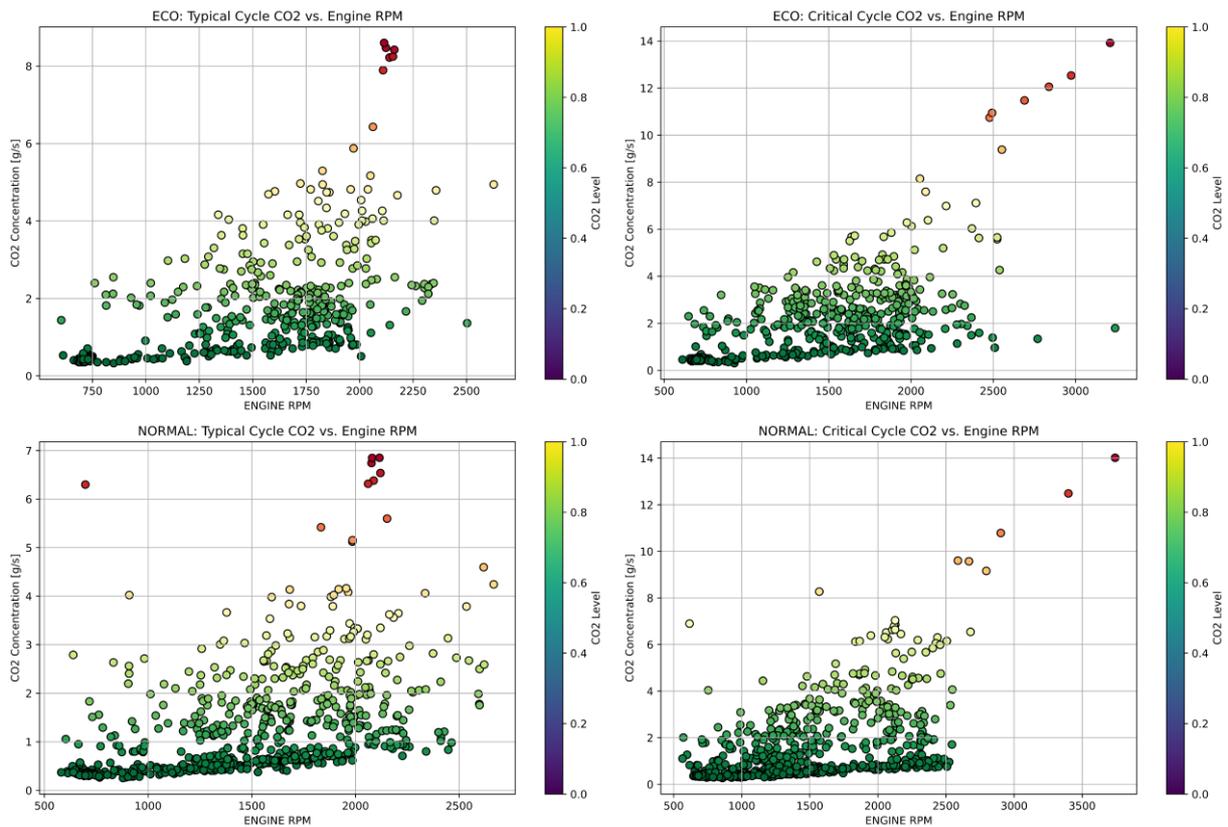
Nota. El gráfico describe la concentración de CO₂ en relación a las revoluciones del motor de los modos de operación normal y ecológica del recorrido de ida.

En cambio, en el recorrido de recorrido de retorno se observa una mayor concentración de CO₂ en los ciclos críticos tanto de la conducción normal como ecológica, los cuales se centran entre 2 a 8 [g/s], mientras que los ciclos típicos presentan una densidad menor comprendida de 2 a 6 [g/s] en ambos modos de operación como se muestra en la Figura 32. Se destaca que la conducción normal presenta niveles de emisión a partir de las 1000 [rpm] en los ciclos típicos y críticos; por otra parte, en el modo ECO los niveles de CO₂ se aumentan a partir de las 1500 [rpm] para los ciclos representativos. Cabe recalcar que debido al comportamiento de la dispersión de la concentración CO₂ se evidencia una relación directa con las RPM del motor indicando que a medida que se exige más al motor existirá una mayor densidad de CO₂ siendo muy notable en ciclos críticos.

Figura 32

Concentración de CO₂ vs. RPM durante el recorrido de retorno

INBOUND ROUTE



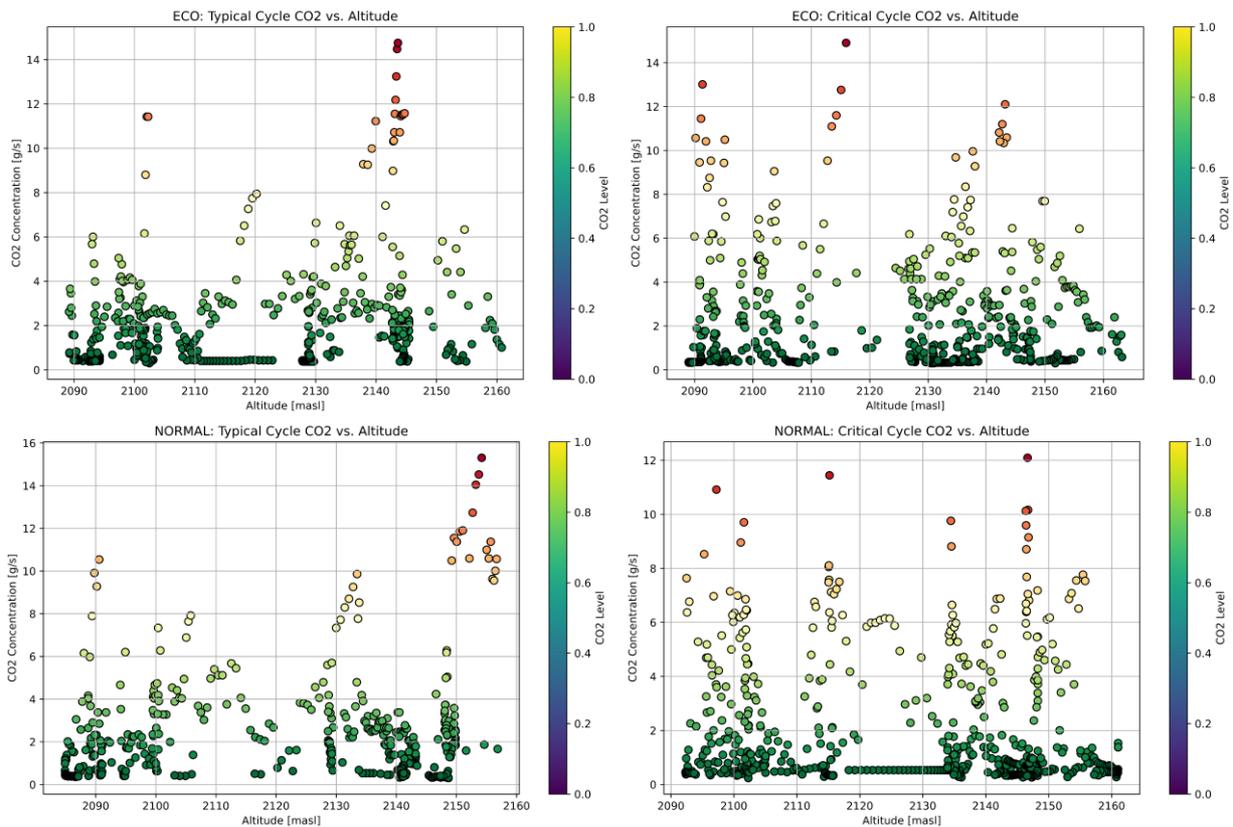
Nota. El gráfico describe la concentración de CO₂ en función de las revoluciones del motor alcanzadas por el vehículo durante el recorrido de retorno de los modos de operación normal y ecológica.

En la Figura 33 se observa la relación de la concentración de CO₂ y la altitud durante el recorrido de ida de los modos de operación normal y ecológica. Cada gráfica dispone de una escala de colores de la densidad de CO₂ siendo 1 de un tono que representa concentraciones elevadas y 0 de menores niveles. El modo de operación normal y ecológico presentan niveles de CO₂ comprendidos entre 4 a 10 [g/s] siendo estas mayores en los ciclos críticos. Se observa que los niveles más bajos de CO₂ que se produce se concentran en condiciones de manejo ecológico en el ciclo típico y mayores concentraciones de emisión se da en el ciclo crítico de la conducción normal respecto a altitudes bajas. Por otro lado, a elevadas altitudes de manera particular a 2140 [msnm] hay mayores densidades de CO₂ de hasta 14 [g/s] en la conducción ecológica en el ciclo típico debido a las limitaciones del modo de operación lo que hace que el motor requiere más esfuerzo y el modo sea menos efectivo. Este efecto no se ve reflejado en el modo normal donde la dispersión de CO₂ no supera los 12 [g/s] en el ciclo crítico y como hay un aumento de emisiones a altitudes específicas, que están relacionadas con mayores demandas energéticas en dicho recorrido.

Figura 33

Concentración de CO₂ vs. Altitud durante el recorrido de ida

OUTBOUND ROUTE

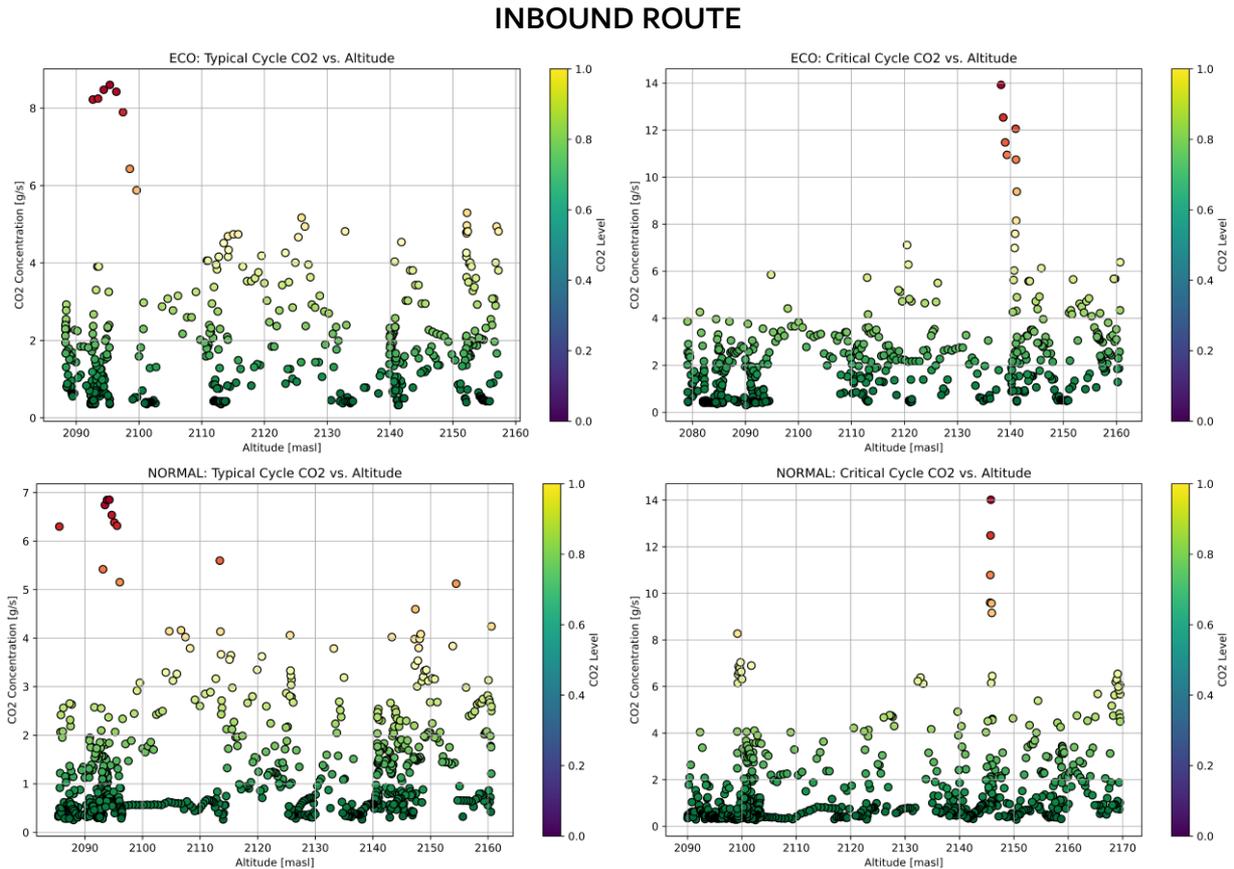


Nota. El gráfico describe la concentración de CO₂ en relación de la altitud del recorrido de ida de los modos de operación normal y ecológica.

En cambio, en el recorrido de retorno que no experimenta condiciones de tráfico los niveles de CO₂ son menores centrándose entre 2 a 6 [g/s] para los modos de operación normal y ecológica en los ciclos representativos como se muestra en la Figura 34. Se observa que los ciclos típicos presentan menores niveles de CO₂ en comparación a los ciclos críticos. De manera particular se observa que los ciclos críticos presentan una elevada concentración de CO₂ de hasta 14 [g/s] a altura comprendidas entre 2140 y 2150 [msnm]. De la misma manera se observa una mayor densidad de CO₂ en el modo ecológico que el modo normal esto debido a las restricciones operacionales del modo ECO y como este es menos efectivo a mayores altitudes por efectos de la menor densidad del aire que exige más al motor para producir la misma cantidad de energía aumentando el consumo de combustible y por ende las emisiones de CO₂.

Figura 34

Concentración de CO2 vs. Altitud durante el recorrido de retorno



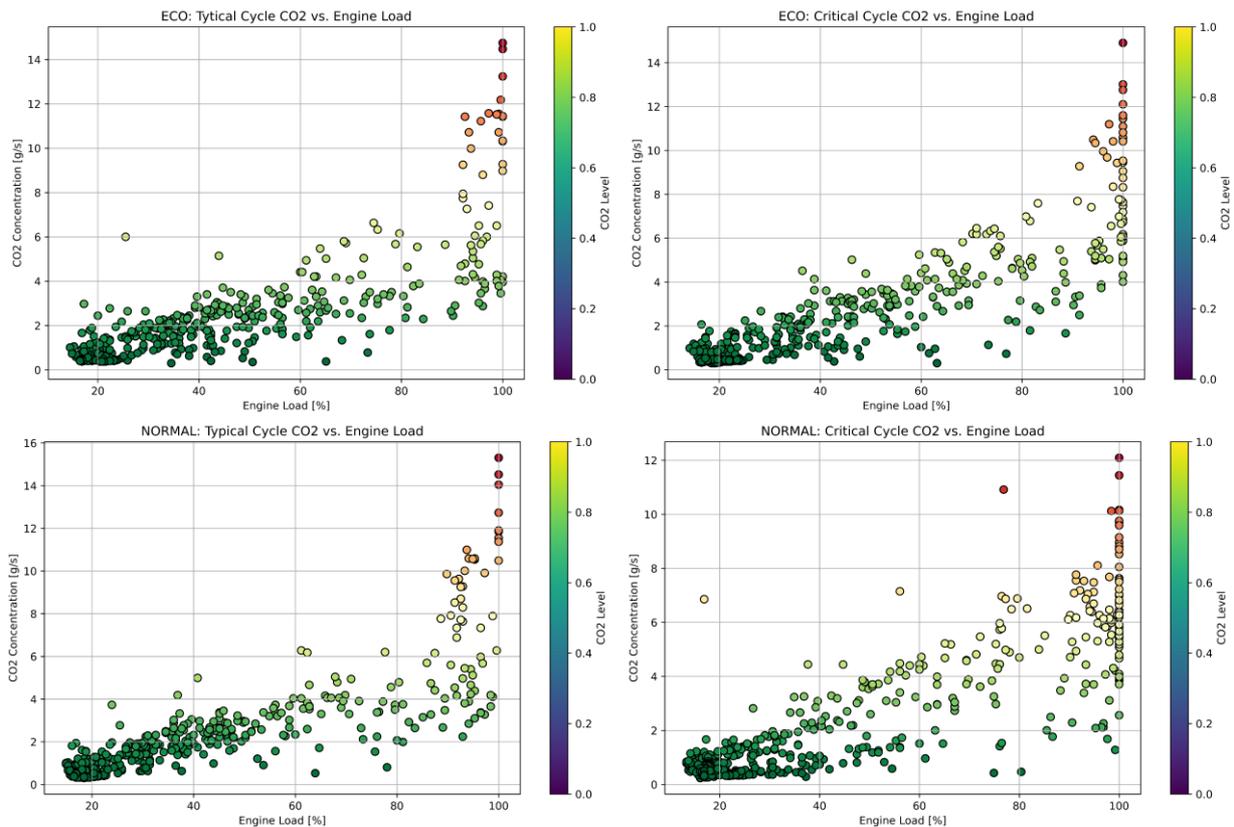
Nota. El gráfico describe la concentración de CO2 relacionado a la altitud del recorrido de retorno de los modos de operación normal y ecológica.

La Figura 35 muestra la relación entre de la concentración de CO2 y el porcentaje de carga medidos durante el recorrido de ida a través del dispositivo de diagnóstico OBDLink Mx+ de los modos de operación normal y ecológica. Junto a cada gráfica se presenta una escala de colores del nivel de CO2 siendo 1 un tono de mayor nivel y 0 un tono de menor nivel de emisión. Se observa que la conducción normal y ecológica presentan mayores concentraciones de CO2 que se relacionan en porcentajes de carga entre el 60 y 100 [%] siendo muchos más elevado a mayores porcentajes de carga para los ciclos típicos y críticos. En el modo de operación normal en el ciclo critico se muestra una mayor dispersión de CO2 centrada entre 2 a 8 [g/s]; el ciclo típico comprendida entre valores de 2.5 a 8 [g/s], mientras que para la conducción ecológica la concentración de CO2 se centra entre 4 a 8 [g/s]. Además, se observa que el modo ECO, aunque más eficiente en cargas menores, tambien presenta un incremento sustancial en las emisiones de CO2 a cargar elevadas muy similar al comportamiento del modo normal.

Figura 35

Concentración de CO₂ vs. Porcentaje de carga del motor durante el recorrido de ida

OUTBOUND ROUTE

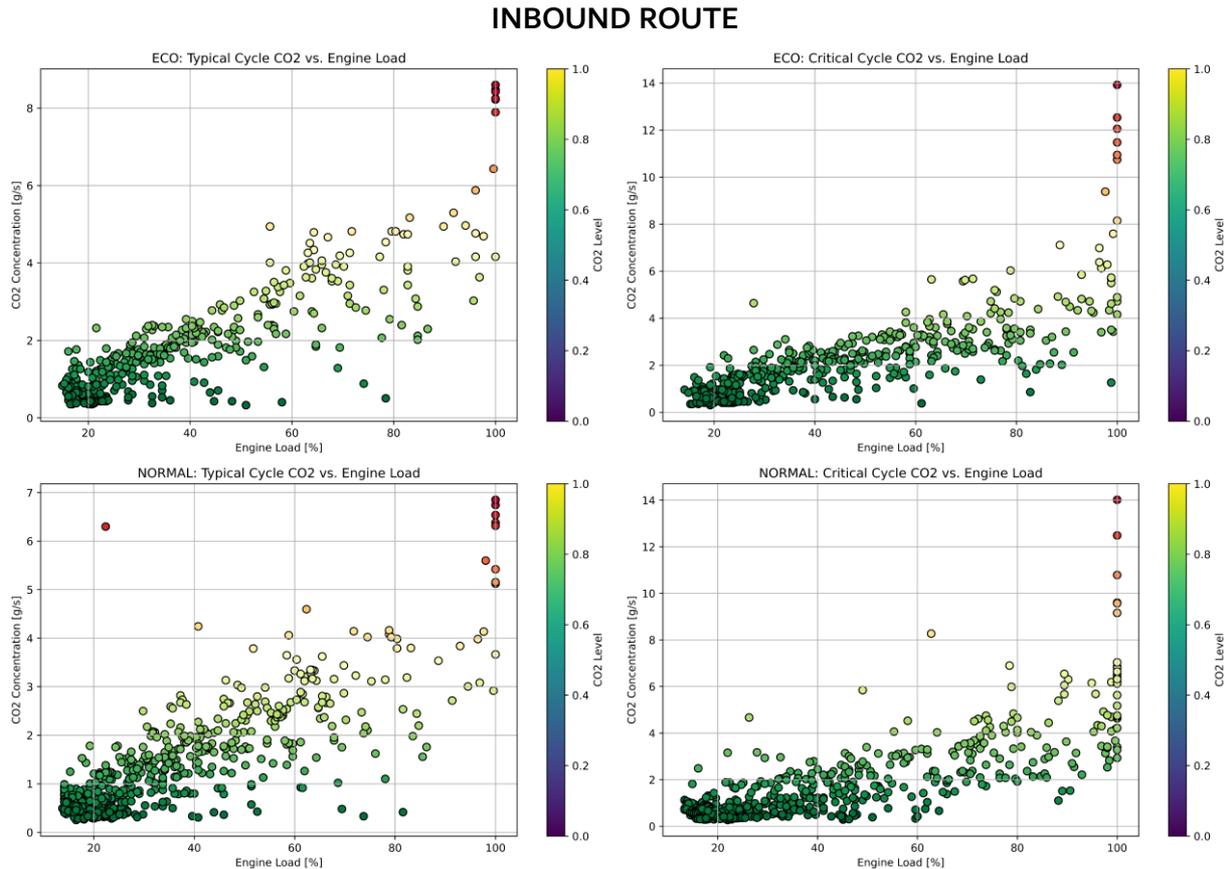


Nota. El gráfico describe la concentración de CO₂ relacionado al porcentaje de carga del motor medido durante el recorrido de ida de los modos de operación normal y ecológica.

Por otro lado, el recorrido de retorno presenta menores concentración de CO₂ en función del porcentaje de carga del motor medido que la ruta de ida ya que esta no se ve implicada bajo condiciones de alto tráfico como se observa en la Figura 36. Los ciclos típicos presentan menores concentraciones de CO₂ para ambos modos de operación centrándose la dispersión entre valores de 2 a 6 [g/s]. Se destacan zonas de saturación al 100% del porcentaje de carga donde los valores de CO₂ alcanzan hasta 8 [g/s] para los ciclos típicos y de hasta 14 [g/s] para los ciclos críticos. Además, se muestra una relación directa entre las emisiones de CO₂ y el porcentaje de carga medido, puesto que a medida que se el motor requiera sobrepasar elevados porcentajes de carga las emisiones incrementan de manera significativa.

Figura 36

Concentración de CO₂ vs. Porcentaje de carga del motor durante el recorrido de retorno



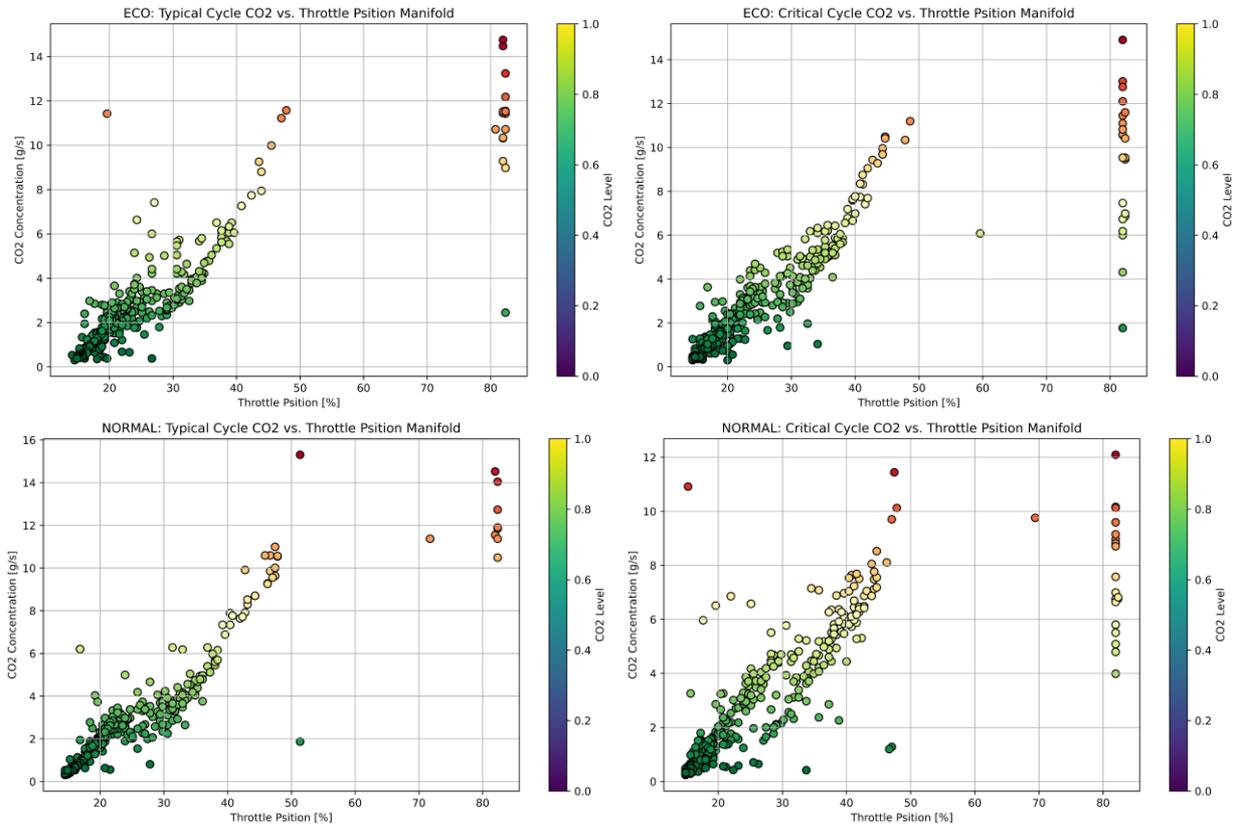
Nota. El gráfico describe la concentración de CO₂ en función del porcentaje de carga del motor medido durante la ruta de retorno de los modos de operación normal y ecológica.

La Figura 37 se muestra la relación entre la concentración de CO₂ y el porcentaje de la posición del acelerador medidos a través del equipo de diagnóstico del recorrido de ida bajo condiciones de tráfico para los modos de operación normal y ecológica. Donde se destaca que el motor trabaja mayor parte del tiempo por debajo del 50% en ambos modos de operación, en aquellos casos que se supera este valor se llega a una saturación y mayor producción de CO₂ debido al hecho que el motor trabaja en condiciones estratificadas con excesos de aire. Los mayores niveles de emisiones vienen dados por debajo del 50% de porcentaje de apertura del acelerador, los cuales se centran entre valores de 4 a 12 [g/s], siendo los ciclos críticos quienes muestran una mayor dispersión entre el 20 y 50% de la posición del acelerador. Se evidencia una relación directa entre el porcentaje de la posición del acelerador y la concentración de CO₂.

Figura 37

Concentración de CO₂ vs. la posición del acelerado durante el recorrido de ida

OUTBOUND ROUTE

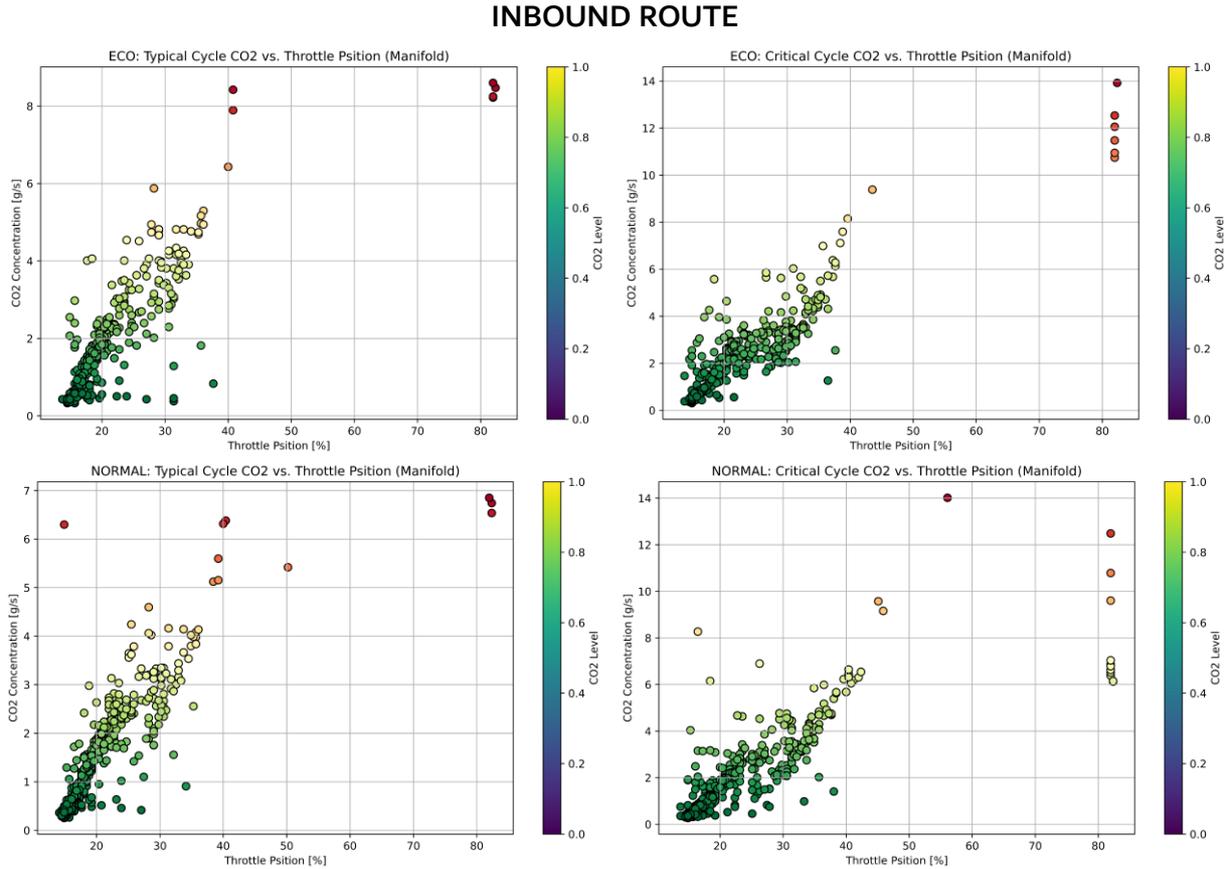


Nota. El gráfico describe la concentración de CO₂ relacionado a la posición del acelerador medidos durante el recorrido de ida de los modos de operación normal y ecológica.

De igual manera que la ruta de ida, durante el recorrido de retorno el motor trabaja en mayor parte por debajo del 50% de la posición del acelerador para los modos de operación normal y ecológica, en casos particulares de sobrepasar dicho porcentaje se llega a obtener una saturación y mayores niveles de CO₂ como se muestra en la Figura 38. Se observan menores niveles de CO₂ para los ciclos típicos siendo muy notable en el modo de operación ECO centrandose en valores entre el 2 y 6 [g/s]. Los resultados muestran una tendencia consistente de aumento de concentraciones a medida que incrementar la apertura del acelerador.

Figura 38

Concentración de CO2 vs. la posición del acelerado durante el recorrido de retorno



Nota. El gráfico describe la concentración de CO2 en función del porcentaje de la posición del acelerador medidos durante la ruta de retorno de los modos de operación normal y ecológica.

En la Tabla 11 se describe los resultados promedios de la concentración de CO2 para los modos de operación normal y ecológica de los ciclos típicos y críticos, donde se evidencia una menor concentración en el modo ECO en comparación con el modo normal. Se evidencia de manera clara que las conducciones normales conllevan a un leve incremento de CO2 siendo las condiciones más desfavorables para los recorridos de IDA esto dado por el efecto de la altitud que enfrenta el vehículo, las condiciones de aceleración y frenado contante que estable un horario de alto tráfico.

Tabla 11

Concentraciones promedio de CO2

Recorrido		Típico	Crítico
Ida	Ecológica	1.5463 [g/s]	1.6704 [g/s]
	Normal	1.7439 [g/s]	1.8976 [g/s]
Retorno	Ecológica	1.1880 [g/s]	1.4196 [g/s]
	Normal	1.2218 [g/s]	1.4641 [g/s]

Nota. La tabla describe los valores de las concentraciones de CO2 de los ciclos representativos de la conducción normal y ecológica.

Se compara las concentraciones de CO₂ de los modos de operación normal y ecológica con el fin de analizar los niveles medios de emisión de la conducción ecológica respecto a la conducción normal, calculando la diferencia entre los CO₂ promedios del modo normal y el modo ECO; y establecer el porcentaje de reducción de la concentración de los ciclos típicos y críticos; los cuales se describen en la Tabla 12.

Tabla 12

Porcentaje promedio de concentración de CO₂

Recorrido	Diferencia		Porcentaje	
	Típico	Crítico	Típico	Crítico
Ida	0.1976 [g/s]	0.2272 [g/s]	11.33 %	11.97 %
Retorno	0.0338 [g/s]	0.0445 [g/s]	2.77 %	3.04 %

Nota. La tabla describe la diferencia y porcentajes de reducción de la concentración de CO₂ de los ciclos representativos de la conducción normal y ecológica de la ruta de prueba.

7. Discusión

Los resultados de la investigación muestran las diferencias del consumo energético y los factores de emisión de CO₂ de los modos de operación bajo ciclos representativos como típicos y críticos. La conducción ECO a lo largo de la investigación demostró que es efectiva para reducir las emisiones de CO₂ en comparación con el modo normal en situaciones de alto tráfico, en condiciones de menores porcentaje de carga y bajas aceleraciones; en situación donde la altitud es elevada el modo ECO no es tan efectivo puesto que el motor debe requiere más esfuerzo para sobrepasar perfiles de pendientes elevados aplicando una mayor carga del motor y una mayor apertura del acelerador generando mayor consumo de combustible y por ende mayores emisiones de CO₂.

Se aplicaron técnicas de suavizado al perfil de altitud y de pendiente, donde el Algoritmo de Kernel Gaussiano proporciona un suavizado superior en comparación al método establecido por el reglamento UE 2017/1151, considerando un ancho de banda establecida por la regla de Silverman que se ajusta al tamaño de la muestra; evidenciando un comportamiento que se asemeja a las condiciones reales de conducción durante el trayecto de recorrido. Esto se evidencia de manera pronunciada en el suavizado del perfil de pendiente donde el reglamento sobreajusta el suavizado perdiendo datos del comportamiento del trayecto.

La inclusión de estas variables suavizadas en el modelo dinámico longitudinal determina el comportamiento real que realiza el vehículo durante la ruta de prueba en los distintos modos de operación. Los resultados muestran un menor consumo energético por parte de la conducción ecológica en comparación con el modo normal. Además, se destaca un mayor consumo energético en el recorrido de ida respecto al de retorno, debido que la recopilación de datos se dio en horas de mayor tráfico y de menor congestión vehicular respectivamente. Cabe destacar que el consumo energético es mayor en condiciones de elevadas altitudes donde se precisa de mayor carga para que el vehículo pueda vencer las resistencias al movimiento.

Los hallazgos de esta investigación son consistentes con estudios previos como el realizado por Leguísamo et al. (2020) donde comparan la conducción ecológica respecto a la conducción normal con la diferencia de que las pruebas las realizan en un dinamómetro de chasis aplicando el ciclo de conducción Japones 10-15 y balance de masas, demuestra una reducción del 5.1% en la emisiones de CO₂ respecto a la conducción normal. Por otro lado Zhao et al. (2015) desarrollan un sistema de retroalimentación basado en un simulador de ecoconducción imitando la gestión electrónica del modo ECO que proporciona información dinámica y estática; validando al sistema por medio de pruebas de rutas obteniendo una reducción del 5,37% en las emisiones de CO₂.

Adicionalmente, el estudio realizado por Noroña Merchán et al. (2023) en la ciudad de Guayaquil revelan que la aplicación de técnicas ecodriving o modo ecológico reduce el consumo de combustible así como las emisiones significativas de CO₂ mediante las limitaciones de carga del motor; obteniendo una reducción del 19% al 25% del consumo de combustible en una ruta de alto tráfico utilizando el dispositivo Azuga como equipo de medición On-Board. Así mismo en el estudio realizado por Remache Chimbo et al. (2021) utilizan al dispositivo ELM 327 como equipo de diagnóstico de interfaz OBD-II sobre una ruta del mundo real para determinar los parámetros de consumo de combustible, par y potencia de los modos de operación ecológica y normal; demostrando que la conducción ecológica en relación al modo normal reduce el consumo de combustible en términos económicos de \$0.02 por km, representado un ahorro del 22 al 24.5% en la optimización del consumo de combustible.

Lo que demuestra que la investigación realizada en el presente trabajo de integración curricular es fiable y aplicable a otros estudios relacionados al tema de estudio.

8. Conclusiones

- Los datos obtenidos mediante el dispositivo de diagnóstico por OBD-II y el algoritmo dinámico del vehículo usados dentro de esta investigación han proporcionado una comprensión detallada del impacto del consumo energético y factores de emisión de CO₂, de los modos de operación ECO y NORMAL de un MEP con sistema GDI bajo diferentes escenarios de conducción típicos y críticos; destacando el desempeño del motor.
- La implementación del dispositivo OBDLink Mx+ como equipo de diagnóstico por OBD-II, permitió caracterizar variables geográficas como longitud, latitud y altitud, además de datos operativos del motor, tales como la velocidad, revoluciones del motor, carga del motor y la posición del acelerador proporcionando una base sólida para el análisis posterior del consumo energético y las emisiones de CO₂.
- La aplicación del algoritmo matemático de la dinámica longitudinal del vehículo permite analizar el consumo energético de los modos de operación normal y ecológica. La investigación reveló, que el modo ECO durante el recorrido de ida reduce el consumo energético respecto al modo normal en 0.1242 [kWh] para el ciclo típico y de 0.18563 [kWh] para el ciclo crítico representando el 7.77% y 9.76% respectivamente; mientras que para la ruta de retorno el consumo se disminuye en 0.0288 [kWh] en el ciclo típico y de 0.09353 [kWh] en el ciclo crítico reflejando el 1.99% y 6.83% correspondientemente. Esto se asocia al perfil de altitud, ya que de esta depende el porcentaje de carga del motor.
- Por medio del método de balance de carbonos se pudo estimar de manera indirecta los factores de emisión de CO₂ de la circulación normal y ecológica de la ruta de estudio; de los cuales el modo de operación ECO presenta menores concentraciones de CO₂ respecto al modo normal. Durante el recorrido de ida se redujo en un 0.1976 [g/s] para el ciclo típico y en 0.2272 [g/s] para el ciclo crítico, reflejando 11.33% y 11.97%; a diferencia de la ruta de retorno que tiene una disminución de 0.0338 [g/s] para el ciclo típico y de 0.0445 [g/s] para el crítico, representando el 2.77% y 3.04% respectivamente. Debido a que en motores GDI, aunque trabajen con mezclas estratificadas donde la concentración de oxígeno es parcialmente mayor, se cumple que en la cercanía del electrodo de bujía las condiciones son estequiométricas.

9. Recomendaciones

- Se recomienda al dispositivo OBDLink Mx+ como equipo de diagnóstico por puerto OBD-II debido a que los datos obtenidos proporcionaron una comprensión detallada del impacto del consumo energético y los factores de emisiones de CO₂ para los modos de operación del vehículo.
- La metodología propuesta se puede extrapolar al estudio de emisiones contaminantes en flota de vehículos de servicio y maquinaria pesada, con el objeto de determinar consumos de combustible y factores relacionados a la huella de carbono. La implementación de dispositivos de bajo coste, permiten monitorear un mayor grupo de vehículos donde resulte el empleo de PEMS una alta inversión económica.
- Se sugiere utilizar esta investigación como base para futuros estudios que se centren en la simulación y predicción de los modos de operación, permitiendo examinar de manera más profunda las dinámicas involucradas y mejorar la precisión de los modelos predictivos en contextos similares.
- Plantear a partir de la metodología propuesta un modelo predictivo del consumo de combustible para los casos típicos y críticos con la finalidad de estimar las emisiones en vehículos en relación al incremento del parque automotor.

10. Bibliografía

- Acevedo, H., Benalcarzar, R., & Osses, M. (2012). *Construcción de ciclos de conducción de Bogotá para la Estimación de factores de Emisión Vehiculares y Consumo de Combustible*. Universidad Nacional de Colombia sede Bogotá.
- AEADE. (2023). *BOLETIN VENTAS PRENSA NOVIEMBRE-2023*. Asociación de Empresas Automotrices del Ecuador. <https://bit.ly/3xSx6fa>
- Ahlstrom, C., & Kircher, K. (2017). Changes in glance behaviour when using a visual eco-driving system – A field study. *Applied Ergonomics*, 58, 414-423. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2016.08.001>
- Alam, Md. S., & McNabola, A. (2014). A critical review and assessment of Eco-Driving policy & technology: Benefits & limitations. *Transport Policy*, 35, 42-49. <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2014.05.016>
- Automotive Data. (2020). *2020 Toyota RAV4 V 2.0 (175 Hp) | Technical specs, data, fuel consumption, Dimensions*. <https://www.auto-data.net/en/toyota-rav4-v-2.0-175hp-38422>
- Barlow, T., Latham, S., McCrae, I., & Boulter, P. (2009). A reference book of driving cycles for use in the measurement of road vehicle emissions. *TRL Published Project Report*. <https://bit.ly/4cAyxmc>
- Blinov, A., Malastowski, N., & Myagkov, L. (2019). Development of the model for a diesel engine catalytic converter. *E3S Web of Conferences*, 140, 06013. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201914006013>
- Carrión Astudillo, P. L., & Villamagua Maldonado, K. S. (2018). *Determinación del consumo de combustible de vehículos en base a los ciclos de conducción EPA FTP 75 y EPA HWFET, en dinamómetro de chasis. Casos de estudio: Vehículo Chevrolet Aveo Family 1.5L, 2010 y Hyundai Acent 1.5L, 2002*. [Grado, Universidad del Azuay]. <https://dspace.uazuay.edu.ec/bitstream/datos/8423/1/14143.pdf>
- Carrión Guerra, J. L. (2023). *Análisis costo-beneficio de la implementación de semáforos inteligentes en el sector urbano del Cantón Loja* [Magister, Universidad Nacional de Loja]. https://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/28385/1/Jos%C3%A9Luis_Carri%C3%B3nGuerra.pdf
- Cha, J., Park, J., Lee, H., & Chon, M. S. (2021). A Study of Prediction Based on Regression Analysis for Real-World Co2 Emissions with Light-Duty Diesel Vehicles. *International Journal of Automotive Technology*, 22(3), 569-577. <https://doi.org/10.1007/s12239-021-0053-z>

- Corcoba Magaña, V. (2014). *Eco-driving: Ahorro de energía basado en el comportamiento del conductor*. <https://hdl.handle.net/10016/19981>
- Correa Sánchez, J. M. (2010). *MODELADO Y SIMULACIÓN DINÁMICA DE VEHÍCULOS DE COMPETICION* [Master, Universidad Politécnica de Valencia]. <https://bit.ly/3xJDrtw>
- Cumin, J., Novoselović, D., Marić, D., & Šolić, T. (2024). Maintenance of Automobiles and Motorcycles Through Prism of OBD II Diagnostic Tools. En T. Keser, N. Ademović, E. Desnica, & I. Grgić (Eds.), *32nd International Conference on Organization and Technology of Maintenance (OTO 2023)* (pp. 171-183). Springer Nature Switzerland. https://doi.org/10.1007/978-3-031-51494-4_16
- Emberger, G. (2017). Low carbon transport strategy in Europe: A critical review. *International Journal of Sustainable Transportation*, *11*(1), 31-35. <https://doi.org/10.1080/15568318.2015.1106246>
- Fernández-Rodríguez, A., Fernández-Cardador, A., & Cucala, A. P. (2015). Energy efficiency in high speed railway traffic operation: A real-time ecodriving algorithm. *2015 IEEE 15th International Conference on Environment and Electrical Engineering (EEEIC)*, 325-330. <https://doi.org/10.1109/EEEIC.2015.7165181>
- Font Jaumandreu, M. (2014). *Estudio de la relación del conjunto neumático-llanta de un automóvil, con el consumo energético y la seguridad vial*. <https://upcommons.upc.edu/handle/2099.1/24328>
- Gárate Montalvo, D. A. (2018). *Desarrollo de un algoritmo para la adquisición y almacenamiento de datos provenientes del sistema de diagnóstico a bordo OBD II* [bachelorThesis]. <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/16587>
- Geodatos. (2023). *Coordenadas Geográficas -Loja* [GeoDatos]. <https://www.geodatos.net/coordenadas/ecuador/loja>
- Gillespie, T. D. (1992). *Fundamentals of Vehicle Dynamics*. Society of Automotive Engineers.
- Huang, Y., Ng, E. C. Y., Zhou, J. L., Surawski, N. C., Chan, E. F. C., & Hong, G. (2018). Eco-driving technology for sustainable road transport: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *93*, 596-609. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.05.030>
- Huertas, J. I., Díaz, J., Cordero, D., & Cedillo, K. (2018). A new methodology to determine typical driving cycles for the design of vehicles power trains. *International Journal on Interactive Design and Manufacturing (IJIDeM)*, *12*(1), 319-326. <https://doi.org/10.1007/s12008-017-0379-y>
- INEC. (2022). *Estadísticas de Transporte*. <https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoiZGE3ODRlNzQtNmUxNi00MWMwLWFiYTQzZj>

c0MDQ2YTBkODVkiwidCI6ImYxNThhMmU4LWNhZWMTNDQwNi1iMGFiLWY1ZTI
1OWJkYTExMiJ9

- Iñiguez Carrión, J. A. (2017). *Propuesta de protocolo de ensayo para estimación de NOx de forma directa en fuentes móviles en el taller de Ingeniería en Mecánica Automotriz de la Universidad del Azuay* [Grado, Universidad del Azuay].
<https://dspace.uazuay.edu.ec/bitstream/datos/7305/1/13248.pdf>
- Jäger, B., & Lienkamp, M. (2014). *Smartphone-based Energy Consumption Simulation for Electric Vehicles*.
- Jaramillo Merino, P. R. (2022). *Definición de un ciclo de conducción representativo para taxis eléctricos en la ciudad de Loja* [Grado]. Universidad Nacional de Loja.
- Kapralov, M., Nouri, N., Razenshteyn, I., Velingker, A., & Zandieh, A. (2020). *Scaling up Kernel Ridge Regression via Locality Sensitive Hashing*.
<https://doi.org/10.48550/arXiv.2003.09756>
- LaHora. (2022). *Caos vehicular fuera de los planteles educativos en horas pico*.
<https://www.lahora.com.ec/loja/caos-vehicular-planteles-educativos/>
- Lapuerta, M., Armas, O., Agudelo, J., & Sánchez, C. A. (2006). Study of the altitude effect on internal combustion engine operation. Part 1: Performance. *Informacion Tecnologica*, 17.
- Lee, Z., Kim, T., Park, S., & Park, S. (2020). Review on spray, combustion, and emission characteristics of recent developed direct-injection spark ignition (DISI) engine system with multi-hole type injector. *Fuel*, 259, 116209. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2019.116209>
- Leguísamo, J. C., Llanes-Cedeño, E. A., Celi-Ortega, S. F., & Rocha-Hoyos, J. C. (2020). Evaluación de la conducción eficiente en un motor de encendido provocado, a 2810 msnm. *Información tecnológica*, 31(1), 227-236. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642020000100227>
- Mammen, E., Martínez Miranda, M. D., Nielsen, J. P., & Sperlich, S. (2011). Do-Validation for Kernel Density Estimation. *Journal of the American Statistical Association*, 106(494), 651-660. <https://doi.org/10.1198/jasa.2011.tm08687>
- MEM. (2022). *Capítulo 4. Consumos de energía por sector y fuente*. Ministerio de Energía y Minas.
<https://bit.ly/3WfVNM3>
- Meteorología UNL. (2024). *Estación 50001 – Facultad de Energía – Meteorología UNL*.
Meteriología UNL. <https://unlmeteorologico.com/estacion-unl-facultad-de-energia/>
- Montúfar, P., Cuisano, J., Ignacio, H., Quinga, M., & Lopez, S. (2023). ANALYSIS OF THE ROLE OF ALTITUDE AND TEMPERATURE ON THE PERFORMANCE OF THE IGNITION INTERNAL COMBUSTION ENGINE USED FOR LIGHT VEHICLE PROPULSION. *Russian Law Journal*, 11(8s). <https://doi.org/10.52783/rlj.v11i8s.1427>

- Morello, E., Toffolo, S., & Magra, G. (2016). Impact Analysis of Ecodriving Behaviour Using Suitable Simulation Platform (ICT-EMISSIONS Project). *Transportation Research Procedia*, 14, 3119-3128. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2016.05.252>
- Noroña Merchán, M. V., Jerez Mayorga, D. A., Loor Mero, C. M., & Gómez Barrezueta, M. F. (2023). Estimación del consumo de combustible en un vehículo Ford Explorer aplicando la técnica Ecodriving en la ciudad de Guayaquil. *South Florida Journal of Development*, 4(1), 520-535. <https://doi.org/10.46932/sfjdv4n1-037>
- OBDLink. (2024). *OBDLink® MX+—Outstanding Bluetooth-Compatible OBD II Scan Tool*. OBDLink® | OBD Solutions LLC. <https://www.obdlink.com/products/obdlink-mxp/>
- Observatorio de Clima UTPL. (2022). *Observatorio Clima*. <https://vinculacion.utpl.edu.ec/observatorios/clima>
- OPEC. (2022a). *Oil demand in the aviation sector by region, 2022-2045*. Organization of the Petroleum Exporting Countries. <https://woo.opec.org/chapter.php?chapterNr=1768&tableID=3003>
- OPEC. (2022b). *Oil demand in the marine bunkers sector by region, 2022-2045*. Organization of the Petroleum Exporting Countries. <https://woo.opec.org/chapter.php?chapterNr=1768&tableID=2993>
- OPEC. (2022c). *Sectoral oil demand, 2022-2045 [Oil demand]*. Organization of the Petroleum Exporting Countries. <https://woo.opec.org/chapter.php?chapterNr=1768&tableID=2998>
- Orbea Hinojosa, L. X., Toapaxi Casanova, J. A., & Guano Calvache, C. A. (2017). Análisis de incentivos y proyecciones del vehículo 100% eléctrico en el ecuador. *INNOVA Research Journal*, 2(4), Article 4. <https://doi.org/10.33890/innova.v2.n4.2017.243>
- Orfila, O., Saint Pierre, G., & Andrieu, C. (2012). Gear Shifting Behavior Model for Ecodriving Simulations Based on Experimental Data. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 54, 341-348. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2012.09.753>
- Pérez Llanos, P. S., & Quito Sinchi, C. O. (2018). *Determinación de los ciclos de conducción de un vehículo categoría M1 para la ciudad de Cuenca* [bachelorThesis, Universidad Politécnica Salesiana]. <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/15032>
- Quinchimbla Pisuña, F. E., & Solís Santamaría, J. M. (2017). *Desarrollo de ciclos de conducción en ciudad, carretera y combinado para evaluar el rendimiento real del combustible de un vehículo con motor de ciclo Otto en el Distrito Metropolitano De Quito* [Master Thesis, Quito, 2017.]. <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/17000>
- Reglamento (UE) 2017/ 1151 de la Comisión. (2017). *Apendice 7b*, 210-220.
- REGLAMENTO (UE) 2018/ 1832 DE LA COMISIÓN (2018). <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2018/1832/oj>

- Reitz, R. D., Ogawa, H., Payri, R., Fansler, T., Kokjohn, S., Moriyoshi, Y., Agarwal, A., Arcoumanis, D., Assanis, D., Bae, C., Boulouchos, K., Canakci, M., Curran, S., Denbratt, I., Gavaises, M., Guenther, M., Hasse, C., Huang, Z., Ishiyama, T., ... Zhao, H. (2020). IJER editorial: The future of the internal combustion engine. *International Journal of Engine Research*, 21(1), 3-10. <https://doi.org/10.1177/1468087419877990>
- Remache Chimbo, Á., Leguisamo Milla, J., Antamba Guasgua, J., & Azanza Luksat, V. (2021). Conducción ecológica: Evaluación de los parámetros operacionales del Motor de Encendido Provocado (MEP) en una ruta mixta de la ciudad de Quito. *Revista Científica y Tecnológica UPSE*, 8(1), 18-24. <https://doi.org/10.26423/rctu.v8i1.552>
- Rodríguez García, J. I., & Villar Paúl, J. (2017). *Sistemas de Transmisión y Frenado*. macmillan. https://www.macmillaneducation.es/wp-content/uploads/2018/09/sistemas_transmision_libroalumno_unidad1muestra.pdf
- Rosero Obando, F., Rosero, X., & Mera, Z. (2024). Developing Fuel Efficiency and CO2 Emission Maps of a Vehicle Engine Based on the On-Board Diagnostic (OBD) Approach. *Enfoque UTE*, 15(1), 7-15. <https://doi.org/10.29019/enfoqueute.1002>
- Ruiz Pico, Á. A., Sánchez Jumbo, K. J., & Arteaga Torres, L. J. (2019). MODELOS DE ORDENACIÓN DEL TRÁFICO DE LA CIUDAD DE LOJA. *Ciencia*, 21(2), 31. <https://doi.org/10.24133/ciencia.v21i2.1515>
- Schneider, A. (2022). *Convert GPS files to plain text or GPX*. GPS Visualizer. https://www.gpsvisualizer.com/convert_input
- Scott, D. W. (2015). *Multivariate Density Estimation* (Second). WILEY.
- Singh, M., & Dubey, R. K. (2023). Deep Learning Model Based CO2 Emissions Prediction Using Vehicle Telematics Sensors Data. *IEEE Transactions on Intelligent Vehicles*, 8(1), 768-777. *IEEE Transactions on Intelligent Vehicles*. <https://doi.org/10.1109/TIV.2021.3102400>
- Stillwater, T., Kurani, K. S., & Mokhtarian, P. L. (2017). The combined effects of driver attitudes and in-vehicle feedback on fuel economy. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 52, 277-288. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2017.02.013>
- Toyota. (2020). *Rav4 | Especificaciones*. Toyota. <https://tomebamba.com.ec/documentos/rav4.pdf>
- Toyota. (2022). *RAV4 Brochure*. RAV4. https://www.toyota.ie/content/dam/toyota/nmsc/ireland/cross-model/brochures/RAV4-PDF-Brochure-2022.02_tcm-3044-1974831.pdf
- U.S. Energy consumption by source and sector. (2023). https://www.eia.gov/totalenergy/data/monthly/pdf/flow/total_energy_2023.pdf

- Varela, R. A., Giechaskiel, B., Sousa, L., & Duarte, G. (2018). Comparison of Portable Emissions Measurement Systems (PEMS) with Laboratory Grade Equipment. *Applied Sciences*, 8(9), Article 9. <https://doi.org/10.3390/app8091633>
- Vélez Loaiza, S. C., & Vera Vanegas, A. V. (2016). *Obtención de los parámetros necesarios para el cálculo de la fuerza en rueda de vehículos eléctricos* [bachelorThesis, Universidad del Azuay]. <http://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/5739>
- Wang, Q., Huo, H., He, K., Yao, Z., & Zhang, Q. (2008). Characterization of vehicle driving patterns and development of driving cycles in Chinese cities. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 13(5), 289-297. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2008.03.003>
- Weis, O. (2024, enero). *Conectores OBD2 Explicado*. FlexiHub. <https://www.flexihub.com/es/oobd2-pinout/>
- Yue, Z., & Liu, H. (Eds.). (2024). *Advanced Research on Internal Combustion Engines and Engine Fuels*. MDPI. <https://doi.org/10.3390/books978-3-7258-0452-8>
- Zhao, X., Wu, Y., Rong, J., & Zhang, Y. (2015). Development of a driving simulator based eco-driving support system. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 58, 631-641. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2015.03.030>
- Zhou, M., Jin, H., & Wang, W. (2016). A review of vehicle fuel consumption models to evaluate eco-driving and eco-routing. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 49, 203-218. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2016.09.008>

11. Anexos

Anexo 1

Especificaciones técnicas del vehículo utilizado

Modelo	TOYOTA RAV4 2.0L 4x2 T/M	TOYOTA RAV4 2.0L 4x2 T/A CVT	TOYOTA RAV4 2.5L 4x4 T/A AWD
MOTOR			
Cilindrada (cc)	2000	2000	2500
Mecanismo valvular	16-Valvulas, DOHC VVT-E	16-Valvulas, DOHC VVT-E	16-Valvulas, DOHC VVT-E
Potencia (HP@Rpm)	170@6600	170@6600	203@6600
Torque (NM@Rpm)	207@4800	207@4800	250@5000
TRANSMISIÓN			
Tipo	Manual de 6 velocidades	Automática CVT multi drive / 10 velocidades	Automática de 8 velocidades
TRACCIÓN			
Tipo	4x2	4x2	4x4 AWD
FRENOS			
Delantero	Discos ventilados	Discos ventilados	Discos ventilados
Posterior	Discos sólidos	Discos sólidos	Discos sólidos
SUSPENSIÓN			
Delantero	Independiente McPherson con barra estabilizadora	Independiente McPherson con barra estabilizadora	Independiente McPherson con barra estabilizadora
Posterior	Independiente de brazos y doble horquilla	Independiente de brazos y doble horquilla	Independiente de brazos y doble horquilla
EQUIPAMIENTO EXTERIOR			
Aires*	Acero (Aluminio*)	Acero (Aluminio*)	Aluminio
Especjo retrovisor exterior	Color carrocería / direccional	Color carrocería / direccional	Color carrocería / direccional
Llantas	225/65R17	225/65R17	225/60R18
Luces	Multi LED con circulación diurna	Multi LED con circulación diurna	Multi LED con circulación diurna
Neblieros	Si*	Si*	Si
Nebliero Posterior	Si	Si	Si
Rielos en el Techo	Si*	Si*	Si
Tensor Stop	Si, con luz LED	Si, con luz LED	Si, con luz LED
EQUIPAMIENTO INTERIOR			
Aire Acondicionado	Manual con control electrónico	Manual con control electrónico	Automático con climatizador dual
Asientos delanteros	Conductor regulable en altura, deslizable, reclinable	Conductor regulable en altura, deslizable, reclinable	Conductor eléctrico con memoria
Bloqueo Central	Si, con llave tipo navaja	Si, con llave tipo navaja	Si, con smart entry y botón de encendido
Cámara de retro	Si, con sensores traseros*	Si, con sensores traseros*	Si, con sensores frontales y posteriores
Controles en el volante	Si	Si	Si
Pantalla multi-información	Si, a color de 4.2"	Si, a color de 4.2"	Si, a color de 7"
Sistema de audio	Radio MP3, USB Aux, Pantalla Touch, Conectividad con smartphones, Bluetooth*	Radio MP3, USB Aux, Pantalla Touch, Conectividad con smartphones, Bluetooth*	Radio MP3, USB Aux, Pantalla Touch, Conectividad con smartphones, Bluetooth
Volante	Uretano / ajustable en altura y profundidad	Uretano / ajustable en altura y profundidad	Cuero / ajustable en altura y profundidad
SEGURIDAD			
Airbags	7	7	7
Anclaje para asiento infantil (isofix)	Si	Si	Si
Asistente de arranque en pendientes (HAC)	Si	Si	Si
Carrocería con deformación programada (GDA)	Si	Si	Si
Control de Tracción (TRC)	Si	Si	Si
Control electrónico de estabilidad (VSC)	Si	Si	Si
Control de balance de remolque (TSC)	Si	Si	Si
Sistema de Frenos ABS + EBD + BA	Si	Si	Si
Toyota Safety Sense	-	-	Si
PESOS Y CAPACIDADES			
Capacidad de Maltreos (t)	580	580	580
Capacidad Tanque de Combustible (litros)	55	55	55
Peso Bruto (kg)	2030	2115	2180

*Aplica por versión

Nota. Esta gráfica describe las especificaciones técnicas del Toyota RAV4 en las diferentes versiones (Toyota, 2022).

Anexo 2

Equipo de diagnóstico OBDLink Mx+



Nota. La gráfica describe el scanner bluetooth OBDLink para la lectura de datos usado en la investigación (OBDSolutions, 2024).

Anexo 3

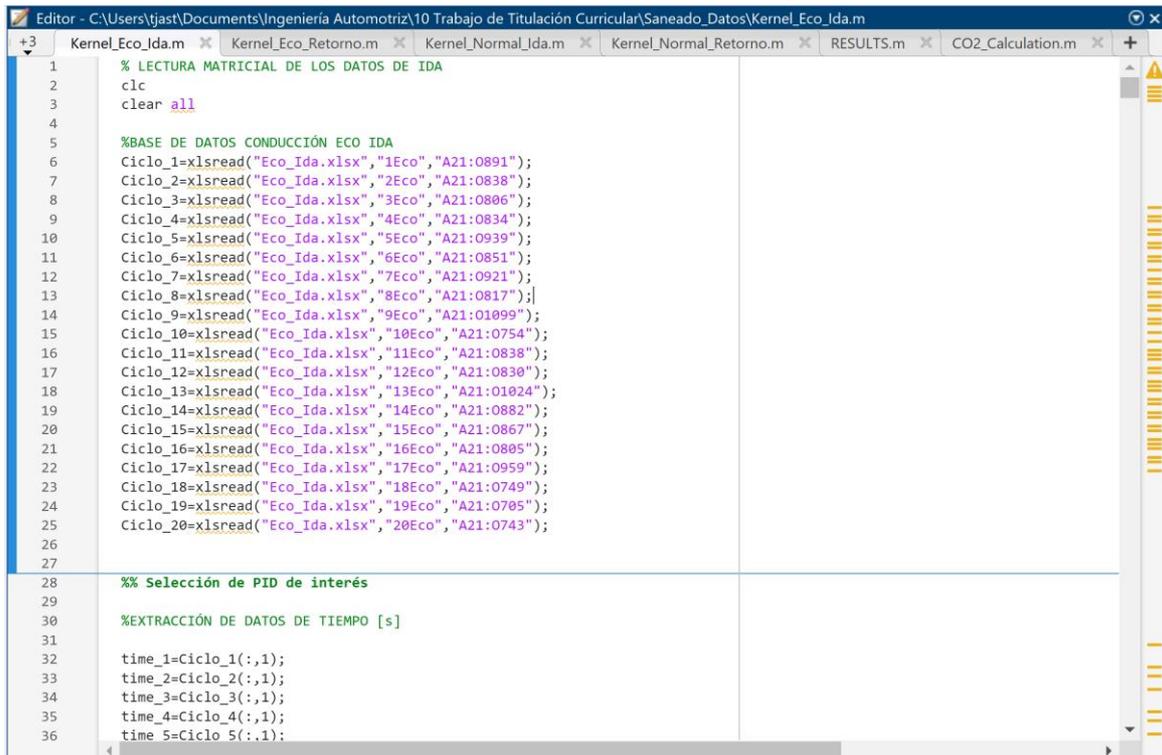
Especificaciones técnicas del vehículo utilizado

Supported Platforms	iOS, Android, Windows
Connection	<ul style="list-style-type: none"> • Class 2 Bluetooth v3.0 • Secure 128-bit data encryption • 'Connect' button – requires physical access to enable Bluetooth pairing
Warranty	<p>OBDLink MX+ comes with an unconditional 180-day money-back guarantee, and a 3 year warranty.</p> 
Operating Voltage	12V automotive systems (8–18V operating range)
Overvoltage Protection	Up to 100V
Operating Current	62 mA
BatterySaver™ Low Power Mode	2 mA
Device Weight	3 oz (85.1 g)
Dimensions	1.97 x 1.77 x 0.91 in (50 x 45 x 23 mm)
Operating Temperature	-4° to 131° F (-20° to 55° C)
Operating Humidity	10 to 85% (non-condensing)
Certifications	<p>INTERNATIONAL</p> <ul style="list-style-type: none"> • RoHS Certified • REACH Compliant <p>NORTH AMERICA</p> <ul style="list-style-type: none"> • FCC Part 15B • IC ICES-003 • ETSI EN 301 489-1 V1.9.2 • ETSI EN 301 489-3 V1.6.1 <p>EUROPE</p> <ul style="list-style-type: none"> • CE (ETSI EN 300 328 V1.8.1 (2012-06)) • E-Mark ECE R10 • EN 60950-1 <p>AUSTRALIA/NEW ZEALAND</p> <ul style="list-style-type: none"> • AS/NZS 61000.6.3 • AS/NZS CISPR 22 • ETSI EN 55022 • ICE EN 61000.6.3

Nota. Esta tabla describe las especificaciones técnicas del dispositivo de medición (OBDSolutions, 2024).

Anexo 4

Programación en Matlab para el importe de la base de datos

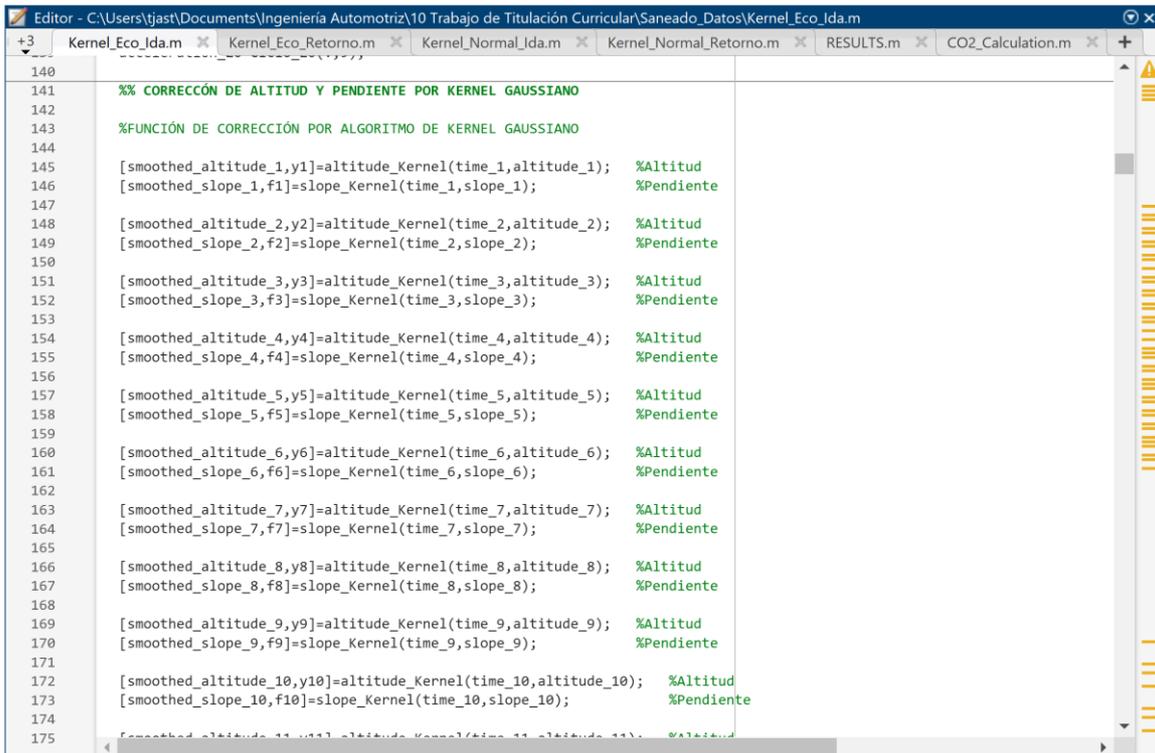


```
1 % LECTURA MATRICIAL DE LOS DATOS DE IDA
2 clc
3 clear all
4
5 %BASE DE DATOS CONDUCCIÓN ECO IDA
6 Ciclo_1=xlsread("Eco_Ida.xlsx","1Eco","A21:0891");
7 Ciclo_2=xlsread("Eco_Ida.xlsx","2Eco","A21:0838");
8 Ciclo_3=xlsread("Eco_Ida.xlsx","3Eco","A21:0806");
9 Ciclo_4=xlsread("Eco_Ida.xlsx","4Eco","A21:0834");
10 Ciclo_5=xlsread("Eco_Ida.xlsx","5Eco","A21:0939");
11 Ciclo_6=xlsread("Eco_Ida.xlsx","6Eco","A21:0851");
12 Ciclo_7=xlsread("Eco_Ida.xlsx","7Eco","A21:0921");
13 Ciclo_8=xlsread("Eco_Ida.xlsx","8Eco","A21:0817");
14 Ciclo_9=xlsread("Eco_Ida.xlsx","9Eco","A21:01099");
15 Ciclo_10=xlsread("Eco_Ida.xlsx","10Eco","A21:0754");
16 Ciclo_11=xlsread("Eco_Ida.xlsx","11Eco","A21:0838");
17 Ciclo_12=xlsread("Eco_Ida.xlsx","12Eco","A21:0830");
18 Ciclo_13=xlsread("Eco_Ida.xlsx","13Eco","A21:01024");
19 Ciclo_14=xlsread("Eco_Ida.xlsx","14Eco","A21:0882");
20 Ciclo_15=xlsread("Eco_Ida.xlsx","15Eco","A21:0867");
21 Ciclo_16=xlsread("Eco_Ida.xlsx","16Eco","A21:0805");
22 Ciclo_17=xlsread("Eco_Ida.xlsx","17Eco","A21:0959");
23 Ciclo_18=xlsread("Eco_Ida.xlsx","18Eco","A21:0749");
24 Ciclo_19=xlsread("Eco_Ida.xlsx","19Eco","A21:0705");
25 Ciclo_20=xlsread("Eco_Ida.xlsx","20Eco","A21:0743");
26
27
28 %% Selección de PID de interés
29
30 %EXTRACCIÓN DE DATOS DE TIEMPO [s]
31
32 time_1=Ciclo_1(:,1);
33 time_2=Ciclo_2(:,1);
34 time_3=Ciclo_3(:,1);
35 time_4=Ciclo_4(:,1);
36 time_5=Ciclo_5(:,1);
```

Nota. La gráfica describe un extracto de la programación en Matlab de la lectura de la base de datos de los ciclos del modo ecológico y la selección de la declaración de las variables involucradas en la investigación.

Anexo 5

Programación en Matlab del suavizado aplicado al perfil de altitud y pendiente



```
140
141 %% CORRECCIÓN DE ALTITUD Y PENDIENTE POR KERNEL GAUSIANO
142
143 %FUNCIÓN DE CORRECCIÓN POR ALGORITMO DE KERNEL GAUSIANO
144
145 [smoothed_altitude_1,y1]=altitude_Kernel(time_1,altitude_1); %Altitud
146 [smoothed_slope_1,f1]=slope_Kernel(time_1,slope_1); %Pendiente
147
148 [smoothed_altitude_2,y2]=altitude_Kernel(time_2,altitude_2); %Altitud
149 [smoothed_slope_2,f2]=slope_Kernel(time_2,slope_2); %Pendiente
150
151 [smoothed_altitude_3,y3]=altitude_Kernel(time_3,altitude_3); %Altitud
152 [smoothed_slope_3,f3]=slope_Kernel(time_3,slope_3); %Pendiente
153
154 [smoothed_altitude_4,y4]=altitude_Kernel(time_4,altitude_4); %Altitud
155 [smoothed_slope_4,f4]=slope_Kernel(time_4,slope_4); %Pendiente
156
157 [smoothed_altitude_5,y5]=altitude_Kernel(time_5,altitude_5); %Altitud
158 [smoothed_slope_5,f5]=slope_Kernel(time_5,slope_5); %Pendiente
159
160 [smoothed_altitude_6,y6]=altitude_Kernel(time_6,altitude_6); %Altitud
161 [smoothed_slope_6,f6]=slope_Kernel(time_6,slope_6); %Pendiente
162
163 [smoothed_altitude_7,y7]=altitude_Kernel(time_7,altitude_7); %Altitud
164 [smoothed_slope_7,f7]=slope_Kernel(time_7,slope_7); %Pendiente
165
166 [smoothed_altitude_8,y8]=altitude_Kernel(time_8,altitude_8); %Altitud
167 [smoothed_slope_8,f8]=slope_Kernel(time_8,slope_8); %Pendiente
168
169 [smoothed_altitude_9,y9]=altitude_Kernel(time_9,altitude_9); %Altitud
170 [smoothed_slope_9,f9]=slope_Kernel(time_9,slope_9); %Pendiente
171
172 [smoothed_altitude_10,y10]=altitude_Kernel(time_10,altitude_10); %Altitud
173 [smoothed_slope_10,f10]=slope_Kernel(time_10,slope_10); %Pendiente
174
175 [smoothed_altitude_11,y11]=altitude_Kernel(time_11,altitude_11); %Altitud
```

Nota. La gráfica describe un extracto de la programación de Matlab para el suavizado del perfil de altitud y de pendiente de todos los ciclos del modo ecológico.

Anexo 6

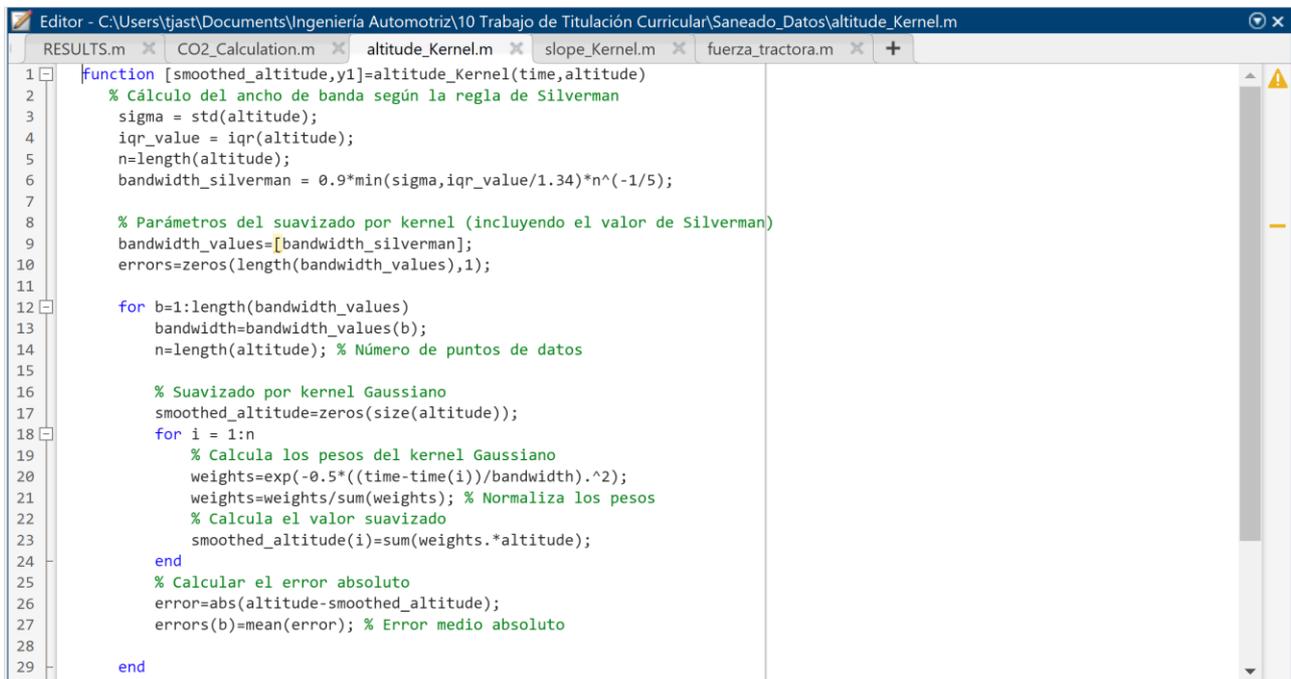
Programación en Matlab de las mínimas diferencias ponderadas

```
Editor - C:\Users\tjast\Documents\Ingeniería Automotriz\10 Trabajo de Titulación Curricular\Saneado_Datos\Kernel_Eco_Ida.m
Kernel_Eco_Ida.m Kernel_Eco_Returno.m Kernel_Normal_Ida.m Kernel_Normal_Returno.m RESULTS.m CO2_Calculation.m
964 legend('Positive Energy','Negative Energy','Total Energy');
965 xlim([0 length(time_20)]);
966
967 %% CALCULO DE LAS DIFERENCIAS PONDERADAS
968
969 PEcoIda=[PEp_1;PEp_2;PEp_3;PEp_4;PEp_5;PEp_6;PEp_7;PEp_8;PEp_9;PEp_10;
970 PEp_11;PEp_12;PEp_13;PEp_14;PEp_15;PEp_16;PEp_17;PEp_18;PEp_19;PEp_20];
971 MPEp=mean(PEcoIda);
972 WMPEp=MPEp./100;
973 nciclos=1:20;
974 nc=nciclos';
975
976 for i=1:20
977     DP(i,1)=(abs(PEcoIda(i,1)-MPEp(1))*(WMPEp(1)))+(abs(PEcoIda(i,2)-MPEp(2))*(WMPEp(2)))+(abs(PEcoIda(i,3)-MPEp(3))*(WMP
978 end
979
980
981 Etiquetas=["Cycles" "E.Fd(%)" "E.Rx(%)" "E.Rg(%)" "E.Ri(%)" "Ex(+) [kW/h]" "Sumatoria"];
982 FPEcoIda=[Etiquetas;nc PEcoIda DP];
983
984 disp(FPEcoIda);
985 fprintf('Ciclo Típico Modo Eco Ida: %.4f\n', min(DP));
986 fprintf('Ciclo Crítico Modo Eco Ida: %.4f\n', max(DP));
987
988
```

Nota. La gráfica describe un extracto de la programación en Matlab para la lectura de la base de datos.

Anexo 7

Programación de la función de suavizado del perfil altitud por AKG en Matlab

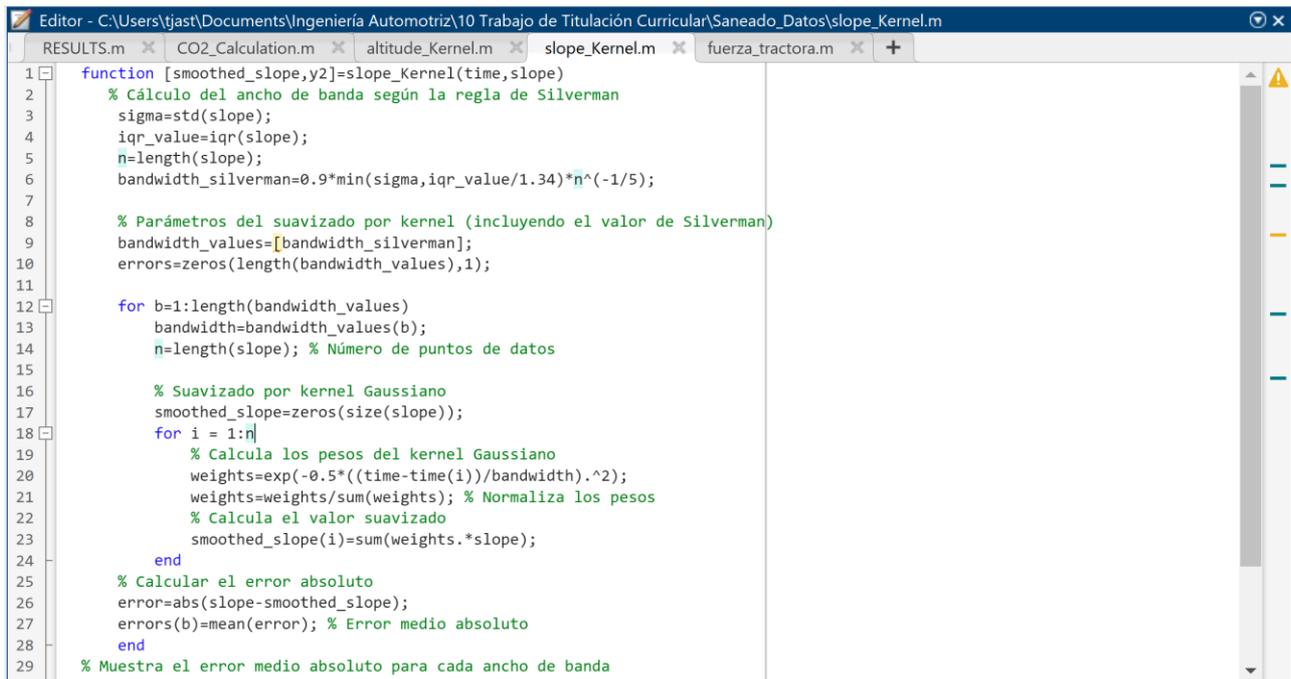


```
1 function [smoothed_altitude,y1]=altitude_Kernel(time,altitude)
2     % Cálculo del ancho de banda según la regla de Silverman
3     sigma = std(altitude);
4     iqr_value = iqr(altitude);
5     n=length(altitude);
6     bandwidth_silverman = 0.9*min(sigma,iqr_value/1.34)*n^(-1/5);
7
8     % Parámetros del suavizado por kernel (incluyendo el valor de Silverman)
9     bandwidth_values=[bandwidth_silverman];
10    errors=zeros(length(bandwidth_values),1);
11
12    for b=1:length(bandwidth_values)
13        bandwidth=bandwidth_values(b);
14        n=length(altitude); % Número de puntos de datos
15
16        % Suavizado por kernel Gaussiano
17        smoothed_altitude=zeros(size(altitude));
18        for i = 1:n
19            % Calcula los pesos del kernel Gaussiano
20            weights=exp(-0.5*((time-time(i))/bandwidth).^2);
21            weights=weights/sum(weights); % Normaliza los pesos
22            % Calcula el valor suavizado
23            smoothed_altitude(i)=sum(weights.*altitude);
24        end
25        % Calcular el error absoluto
26        error=abs(altitude-smoothed_altitude);
27        errors(b)=mean(error); % Error medio absoluto
28
29    end
```

Nota. La gráfica describe un extracto de la programación en Matlab de una función del suavizado del perfil de altitud en Matlab incluyendo el ancho de banda considerado por la regla de Silverman.

Anexo 8

Programación de la función de suavizado del perfil de pendiente por AKG en Matlab



```
1 function [smoothed_slope,y2]=slope_Kernel(time,slope)
2     % Cálculo del ancho de banda según la regla de Silverman
3     sigma=std(slope);
4     iqr_value=iqr(slope);
5     n=length(slope);
6     bandwidth_silverman=0.9*min(sigma,iqr_value/1.34)*n^(-1/5);
7
8     % Parámetros del suavizado por kernel (incluyendo el valor de Silverman)
9     bandwidth_values=[bandwidth_silverman];
10    errors=zeros(length(bandwidth_values),1);
11
12    for b=1:length(bandwidth_values)
13        bandwidth=bandwidth_values(b);
14        n=length(slope); % Número de puntos de datos
15
16        % Suavizado por kernel Gaussiano
17        smoothed_slope=zeros(size(slope));
18        for i = 1:n
19            % Calcula los pesos del kernel Gaussiano
20            weights=exp(-0.5*((time-time(i))/bandwidth).^2);
21            weights=weights/sum(weights); % Normaliza los pesos
22            % Calcula el valor suavizado
23            smoothed_slope(i)=sum(weights.*slope);
24        end
25        % Calcular el error absoluto
26        error=abs(slope-smoothed_slope);
27        errors(b)=mean(error); % Error medio absoluto
28    end
29    % Muestra el error medio absoluto para cada ancho de banda
```

Nota. La gráfica describe un extracto de la programación en Matlab de una función del suavizado del perfil de pendiente en Matlab incluyendo el ancho de banda considerado por la regla de Silverman.

Anexo 9

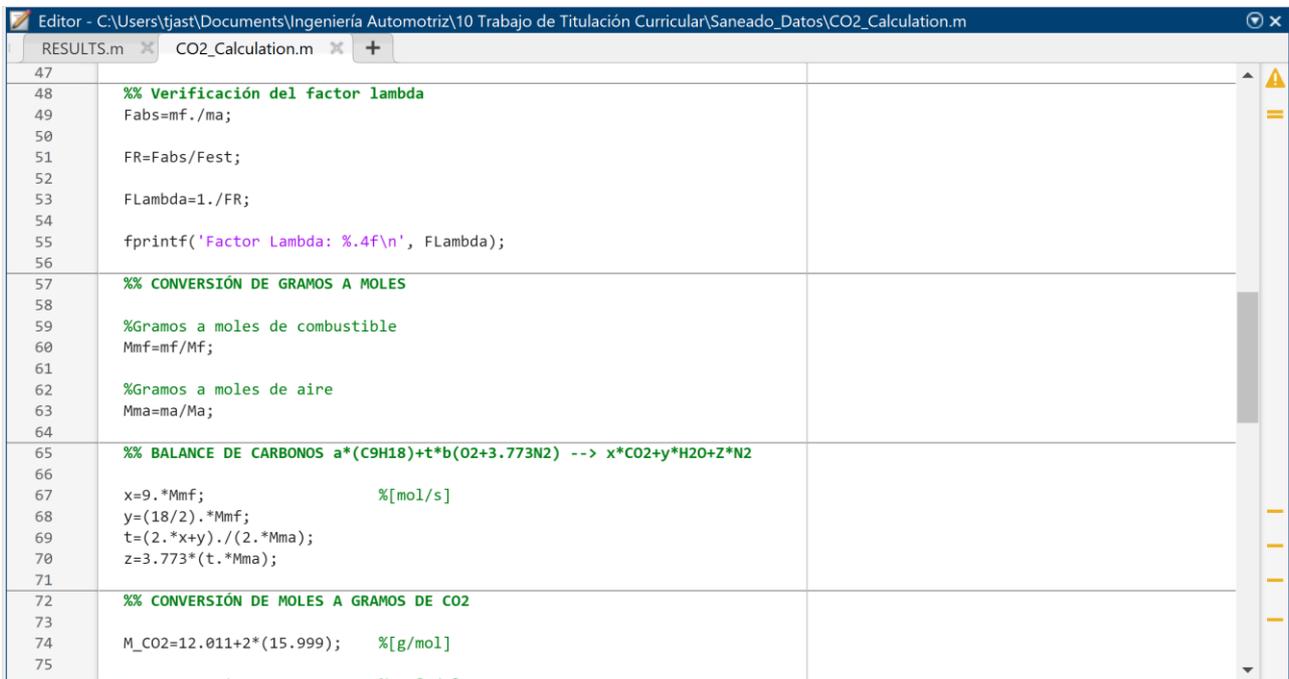
Programación en Matlab de la estimación de factores de emisión de CO₂

```
Editor - C:\Users\tjast\Documents\Ingeniería Automotriz\10 Trabajo de Titulación Curricular\Saneado_Datos\CO2_Calculation.m
RESULTS.m CO2_Calculation.m
22
23 nf=length(time);
24 %% CÁLCULO DE DOSADO ESTEQUIOMETRICO PARA C9H18
25
26 rho_f=764.3;    %[kg/m^3]
27
28 %Conversión de flujo volumetrico a flujo masico m=rho_f*V
29
30 mf=(3.785/3600)*rho_f.*FVf;    %mf=[g.s]
31
32 %Cálculo de la masa molar del combustible: C9H18
33 Mf=(9)*(12.011)+(18)*(1.007);
34
35 %Cálculo de la masa molar del aire: 13.5(O2+3,773N2)
36 Ma=(13.5)*(4.773)*(28.962);
37
38 %Cálculo del dosado estequiometrico Fest=Mf/Ma
39 Fest=Mf/Ma;
40 %Relacion de aire/combustible Fa/f
41 F_af=1/Fest;
42 fprintf('Condiciones estequiometricas:\n');
43 fprintf('C9H18+13.5(O2+3.773N2)-->9CO2+9H2O+50.9355N2 \n');
44
45 fprintf('Dosado Estequiometrico: %.4f\n', Fest);
46 fprintf('Relacion Aire/Combustible: %.4f\n', F_af);
47
48 %% Verificación del factor lambda
49 Fabs=mf./ma;
50
51 FR=Fabs/Fest;
```

Nota. La gráfica describe un extracto de la programación en Matlab para determinar el dosado estequiométrico a partir de un balance de carbonos en una reacción completa.

Anexo 10

Programación en Matlab del cálculo de emisión de CO₂



```
Editor - C:\Users\tjast\Documents\Ingeniería Automotriz\10 Trabajo de Titulación Curricular\Saneado_Datos\CO2_Calculation.m
RESULTS.m CO2_Calculation.m
47
48 %% Verificación del factor lambda
49 Fabs=mf./ma;
50
51 FR=Fabs/Fest;
52
53 FLambda=1./FR;
54
55 fprintf('Factor Lambda: %.4f\n', FLambda);
56
57 %% CONVERSIÓN DE GRAMOS A MOLES
58
59 %Gramos a moles de combustible
60 Mmf=mf/Mf;
61
62 %Gramos a moles de aire
63 Mma=ma/Ma;
64
65 %% BALANCE DE CARBONOS a*(C9H18)+t*b(O2+3.773N2) --> x*CO2+y*H2O+z*N2
66
67 x=9.*Mmf;           %[mol/s]
68 y=(18/2).*Mmf;
69 t=(2.*x+y)./(2.*Mma);
70 z=3.773*(t.*Mma);
71
72 %% CONVERSIÓN DE MOLES A GRAMOS DE CO2
73
74 M_CO2=12.011+2*(15.999);   %[g/mol]
75
```

Nota. La gráfica describe un extracto de la programación en Matlab para determinar los factores de emisión de CO₂ aplicando las ecuaciones descritas en la metodología.

Anexo 11

Certificado de traducción del resumen

Loja, 10 de septiembre de 2024

CERTIFICACIÓN DE TRADUCCIÓN

Doctora.
Erika Lucía González Carrión, Ph.D.

CERTIFICO:

En mi calidad de traductora del idioma Inglés, con capacidades que pueden ser probadas a través de las traducciones realizadas para revistas de alto impacto como: Comunicar(Q1): <https://bit.ly/3v0JggL> así como a través de la Certificación de conocimiento del Inglés, nivel B2, que la traducción del Resumen (Abstract) del Trabajo de Titulación denominado: **“Análisis del consumo energético y factores de emisión por CO2 para los modos de operación de un MEP con sistema GDI en la ciudad de Loja”**. **Periodo académico: marzo-agosto 2024** **modalidad presencial; Régimen 2019**, de autoría del estudiante: **Thomas Jefferson Astudillo Aguilar** con CI: **1900713486**, es correcta y completa, según las normas internacionales de traducción de textos.

Es cuanto puedo certificar en honor a la verdad, facultando al interesado, **Thomas Jefferson Astudillo Aguilar**, hacer uso legal del presente, según estime conveniente.

Atentamente,



Firmado electrónicamente por:
ERIKA LUCIA
GONZALEZ
CARRION

Dra. Erika González Carrión. PhD.