



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

SEDE CUENCA

CARRERA INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

**PREDICCIÓN DEL CONSUMO DE COMBUSTIBLE Y EMISIÓN DE CO₂ EN UN
VEHÍCULO CRDI 3.0 L A TRAVÉS DE LA TOMA DE DATOS EN TIEMPO REAL EN
CONDICIONES NORMALES DE FUNCIONAMIENTO**

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

AUTORES: GABRIEL ALEJANDRO ORELLANA PEÑA

JONNATHAN ANDRÉS PILLCO VÉLEZ

TUTOR: ING. LAURO FERNANDO BARROS FAJARDO

Cuenca - Ecuador

2025

**CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE
TITULACIÓN**

Nosotros, Gabriel Alejandro Orellana Peña con documento de identificación N° 0150547891 y Jonnathan Andrés Pillco Vélez con documento de identificación N° 0107153785 manifestamos que:

Somos los autores responsables del presente trabajo; y, autorizamos a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Cuenca, 11 de julio del 2025

Atentamente,

Gabriel Alejandro Orellana Peña

0150547891

Jonnathan Andrés Pillco Vélez

0107153785

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

Nosotros, Gabriel Alejandro Orellana Peña con documento de identificación N° 0150547891 y Jonnathan Andrés Pillco Vélez con documento de identificación N° 0107153785, expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del Proyecto técnico: “Predicción del consumo de combustible y emisión de CO2 en un vehículo CRDi 3.0 l a través de la toma de datos en tiempo real en condiciones normales de funcionamiento”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Automotriz, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 11 de julio del 2025

Atentamente,

Gabriel Alejandro Orellana Peña

0150547891

Jonnathan Andrés Pillco Vélez

0107153785

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Lauro Fernando Barros Fajardo con documento de identificación N° 0103653457, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: PREDICCIÓN DEL CONSUMO DE COMBUSTIBLE Y EMISIÓN DE CO2 EN UN VEHÍCULO CRDI 3.0 L A TRAVÉS DE LA TOMA DE DATOS EN TIEMPO REAL EN CONDICIONES NORMALES DE FUNCIONAMIENTO, realizado por Gabriel Alejandro Orellana Peña con documento de identificación N° 0150547891 y por Jonnathan Andrés Pillco Vélez con documento de identificación N° 0107153785, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Proyecto técnico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 11 de julio del 2025

Atentamente,



Ing. Lauro Fernando Barros Fajardo, Msc.

0103653457

DEDICATORIA

Este proyecto está dedicado, en primer lugar, a mis padres, quienes han sido mi guía constante a lo largo de la vida. Gracias por enseñarme valores fundamentales y por impulsarme siempre a ser una mejor persona.

Con especial cariño, también lo dedico a mi abuelita Susi, quien ha sido como una segunda madre para mí. Su amor, cuidados y constante preocupación por mi bienestar han sido un pilar fundamental en mi camino.

Agradezco profundamente a todos mis familiares, quienes han estado a mi lado en cada paso, brindándome su apoyo incondicional. A mis amigos y conocidos, gracias por sus palabras de aliento, por acompañarme en los momentos difíciles y por ayudarme a levantarme cuando más lo necesitaba.

Este logro es tan mío como de ustedes.

Gabriel Alejandro Orellana Peña

DEDICATORIA

El presente Proyecto le dedico a mis padres Manuel Pillco y María Vélez por su infinito apoyo incondicional durante toda mi vida, por haber creído en mi capacidad y además de dedicarme su tiempo y paciencia que han invertido para poder cumplir mi sueño, a mi hermano Bryan por su apoyo y preocupación a lo largo de mi vida. A mi prima Andrea y mi tío José por sus consejos y ayuda incondicional a lo largo de mi carrera. A mi abuelita Rosa, que la considero como mi segunda madre, por la constante motivación y apoyo de su parte. Igualmente, para todos mis familiares que me han llenado de expectativa a lo largo de mi carrera, compañeros en la universidad por su compañía durante estos 4 años y a mis amigos y conocidos, especialmente a mi amiga Daniela con quien nos hemos apoyado mutuamente.

Jonnathan Andrés Pillco Vélez

AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a todos esos amigos que, a lo largo de este proceso, velaron por mi bienestar tanto físico como emocional. Gracias por estar presentes en los momentos difíciles, por su apoyo constante y por acompañarme en las incontables noches de desvelo que me acercaron a cumplir este sueño.

También agradezco al grupo ASU Recicla y ASU Software libre, por brindarme la oportunidad de aprender, crecer y comprender el verdadero valor de ayudar a los demás sin esperar nada a cambio. Su compromiso con el bienestar colectivo me inspiró y dejó una huella profunda en mi formación.

A mis compañeros y docentes del taller que de igual manera me dieron la mano para poder conseguir este gran logro en mi vida.

Gabriel Alejandro Orellana Peña

AGRADECIMIENTO

La culminación del presente proyecto de titulación representa el resultado de un proceso de sacrificio, esfuerzo, aprendizaje y crecimiento a nivel personal. Este logro no sería posible sin el apoyo y el ánimo de muchas personas a lo largo de mi formación personal, a quienes deseo expresar mi más sincero agradecimiento.

En primer lugar, quisiera dar gracias a Dios, por darme la fuerza, salud y la perseverancia para alcanzar esta meta tan importante en mi vida.

A mis padres, por su apoyo y amor incondicional a lo largo de toda mi vida, por enseñarme a dar el primer paso y nunca rendirme. Por sus palabras de aliento y confianza para seguir persiguiendo mis sueños, ya que representan el motor de mi vida, además, de sus sabios consejos. A mi hermano y mi familia que siempre me apoyaron y me impulsaron para seguir adelante.

También quiero agradecer a todos los ingenieros quienes me enseñaron y me brindaron sus conocimientos y experiencias para mi crecimiento no solo educativo sino también personal, a mi tutor del presente trabajo el ing. Lauro Barros por su guía, paciencia y valiosos aportes durante el desarrollo del trabajo. Su experiencia y dedicación me permitieron culminar este trabajo.

Por último, un agradecimiento para todas las personas que de alguna u otra forma contribuyeron para el desarrollo de este trabajo de titulación.

Jonnathan Andrés Pillco Vélez

RESUMEN

El presente trabajo de titulación aborda la problemática actual del consumo de combustible y las emisiones de dióxido de carbono (CO₂), en los vehículos diésel con sistemas CRDi, tomando como unidad experimental un Chevrolet Dmax 3.0 CRDi, año 2019. Este estudio surge de la necesidad de evaluar y crear un algoritmo para predecir las variables mencionadas, especialmente bajo condiciones normales de funcionamiento. Para ello, se planteó un proceso que incluye una revisión bibliográfica sobre actuadores, sensores y parámetros del motor que incidan en el aumento del combustible y las emisiones de CO₂, la recolección de datos mediante instrumentos especializados como escáner automotriz y medidores de flujo, finalmente, el análisis estadístico mediante un software especializado. El alcance de esta investigación permite establecer y predecir de manera cuantificable entre variables del motor y los indicadores de consumo y emisiones, contribuyendo así al desarrollo de modelos predictivos.

ABSTRACT

This degree project addresses the current issue of fuel consumption and carbon dioxide (CO₂) emissions in diesel vehicles with CRDi systems, using a 2019 Chevrolet D-Max 3.0 CRDi as the experimental unit. This study arises from the need to evaluate and create an algorithm to predict the variables, especially under normal operating conditions. The proposed process includes a literature review on actuators, sensors, and engine parameters that influence fuel consumption and CO₂ emissions, data collection using specialized instruments such as automotive scanners and flow meters, and finally, statistical analysis through specialized software. The scope of this research allows for the establishment and quantification of relationships between engine variables and the indicators of fuel consumption and emissions, thereby contributing to the development of predictive models.

INDICE GENERAL

CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA	3
CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN.....	3
DEDICATORIA.....	5
DEDICATORIA.....	6
AGRADECIMIENTO	7
AGRADECIMIENTO	8
RESUMEN.....	10
ABSTRACT.....	11
INDICE GENERAL	12
Índice de Figuras.....	17
1. INTRODUCCIÓN	20
2. PROBLEMA	21
2.1 Antecedentes	22
2.2 Importancia y alcances	23
2.3 Delimitación	24
3. OBJETIVOS.....	26
3.1 Objetivo General	26
3.2 Objetivos Específicos.....	26

4. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL	27
4.1 Historia.....	27
4.2 Sistema de inyección Common Rail (CRDI).....	27
4.3 Funcionamiento del sistema CRDI	28
4.3.1 Sistema de Baja presión.	29
4.3.1.1 Bomba de transferencia de combustible	30
4.3.1.2 Filtro de combustible	32
4.3.1.3 Regulador de presión de transferencia	33
4.3.2 Sistema de alta presión.....	34
4.3.2.1 Bomba de presión alta	35
4.3.2.2 Riel Común.....	36
4.3.2.3 Sensor de presión del riel	37
4.3.2.4 Válvula reguladora de presión.....	38
4.3.2.3 Inyectores.....	39
4.4 Sensores	40
4.4.1 Sensor MAP.....	41
4.4.2 Sensor MAF.....	42
4.4.3 Sensor CKP	44
4.4.4 Sensor de temperatura del refrigerante	45
4.4.5 Sensor de posición del pedal del acelerador	45

4.4.6 Sensor CMP.....	47
4.4.7 Sensor de temperatura del combustible	48
4.4.8 Carga del motor	49
4.5 Evaluaciones experimentales en tiempo real, metodologías: diseño de experimentos, criterios para la selección de rutas.....	50
4.5.1 Metodología y ciclo de conducción de Bogotá, Colombia	50
4.5.2 Metodología y ciclo de conducción en la Ciudad de México.....	51
4.5.3 Selección de rutas en un proceso experimental.....	53
4.5.3.1 Escenario Urbano	53
4.5.3.2 Escenario en carretera	53
4.5.3.3 Escenario rural	54
4.5.4 Técnicas de instrumentación	54
4.5.4.1 Técnica On Board	55
4.5.4.2 Técnica de persecución de la unidad.....	55
4.6 Instrumentación	55
4.6.1 Escáner Automotriz.....	55
4.6.2 AIC BC 3329 Flow meter	59
5. DESARROLLO:	61
5.1 Protocolo de muestreo.....	61
5.1.1 Protocolo de instrumentación aplicada	63

5.1.2 Instrumentación de la Unidad	63
5.1.3 Configuración de las variables	64
5.1.4 Selección de ruta aplicada.....	65
5.1.5 Recursos técnicos	66
5.1.5.1 Vehículo Experimental	66
5.1.5.2 Escáner Automotriz Platinum S10 PRO.....	68
5.1.5.3 Características del dispositivo AIC BC 3329 Flow meter	69
5.2 Distribución Topográfica del Recorrido	71
5.3 Gráfica representativa de cada parámetro del motor	72
5.3.1 POSICIÓN DEL PEDAL DEL ACELERADOR	73
5.3.2 VELOCIDAD EL VEHÍCULO.....	74
5.3.3 RPM DEL MOTOR	74
5.3.2 FLUJO DE COMBUSTIBLE.....	76
5.3.3 FLUJO DE MASA DE AIRE	77
5.3.4 EMISIONES DE CO2	78
5.3.5 TEMPERATURA DEL REFRIGERANTE	79
6. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS DATOS OBTENIDOS DURANTE LAS PRUEBAS, MEDIANTE LA APLICACIÓN DE UN SOFTWARE ESPECIALIZADO	80
6.1 Designación de las variables para el estudio del flujo de combustible	80
6.2 Análisis del consumo de combustible	81

6.2.1 Evaluación de supuestos mediante gráficos de residuos	81
6.2.2 Reporte de residuos	82
6.2.3 Modelo de regresión múltiple	82
6.2.4 Regresión múltiple reporte de interacciones.....	84
6.2.5 Coeficiente de determinación (R-Cuadrado)	85
6.2.6 Ecuación resultante	85
6.3 Análisis de las emisiones de Dióxido de Carbono (CO ₂ en Kg/h).....	87
6.3.1 Evaluación de supuestos mediante gráficos de residuos	87
6.3.2 Reporte de residuos	89
6.3.3 Modelo de regresión múltiple	89
6.3.4 Regresión múltiple reporte de interacciones.....	91
6.3.5 Coeficiente de determinación (R-Cuadrado)	92
6.3.6 Ecuación resultante	93
6.4 Análisis de resultados.....	95
6.4.1 Modelo de superficie variables vs flujo de combustible	95
6.4.2 Modelo de superficie variables vs Dióxido de carbono CO ₂	96
7. CONCLUSIONES.....	98
8. RECOMENDACIONES	99
9. BIBLIOGRAFÍA.....	100
10. ANEXOS.....	104

Índice de Figuras

Figura 1. Ubicación UPS	25
Figura 2. Sistema de inyección CRDi.....	28
Figura 3. Sistema de inyección CRDi, baja y alta presión.	30
Figura 4. Bomba de transferencia de combustible Chevrolet Dmax 3.0.	31
Figura 5. Estructura interna, bomba de baja presión.	32
Figura 6. Filtro de combustible sistema CRDi.	33
Figura 7. Sistema de inyección CRDi, alta presión.	35
Figura 8. Bomba de alta presión.	36
Figura 9. Riel Común del sistema de inyección CRDi.	37
Figura 10. Sensor de presión.....	38
Figura 11. Válvula reguladora de presión.....	39
Figura 12. Inyectores.	40
Figura 13. Sensores automotrices clasificación y ubicación.	41
Figura 14. Sensor MAP ubicación y señal característica en un osciloscopio.....	42
Figura 15. Sensor MAF.	43
Figura 16. Sensor CKP.	45
Figura 17. Sensor de posición del pedal del acelerador.....	46
Figura 18. Sensor CMP.....	48
Figura 19. Ciclo de conducción desarrollada en la zona Noroeste en la Ciudad de México.....	52
Figura 20. Ciclo de conducción desarrollada en la zona Noreste en la Ciudad de México.....	52
Figura 21. Scanner Automotriz LAUNCH SCANNER X-431 PRO.	58

Figura 22. Scanner Automotriz LAUNCH X-431 PRO-GT 12V.	59
Figura 23. Medidor de flujo AIC BC 3329.....	61
Figura 24. Diagrama de flujo.....	62
Figura 25. Esquema de conexión de equipos para la recolección de datos.	63
Figura 26. Ruta empleada	66
Figura 27. Chevrolet D-MAX 3.0 CRDI.....	67
Figura 28. Perfil Altimétrico y Clasificación de Pendientes en Recorrido de Prueba en ruta.	71
Figura 29. Sensor de posición del pedal del acelerador.....	73
Figura 30. Velocidad del vehículo.....	74
Figura 31. RPM del motor.	75
Figura 32. Flujo de combustible	76
Figura 33. Flujo de masa de aire.....	77
Figura 34. Emisiones de CO2.....	78
Figura 35. Temperatura del Refrigerante.....	79
Figura 36. Resumen de residuos gráficas 4 en 1.....	81
Figura 37. Reporte del modelo de regresión múltiple	83
Figura 38. Reporte de las interacciones y efectos del modelo de Regresión.....	84
Figura 39. Reporte de construcción del modelo de regresión múltiple	86
Figura 40. Resumen de residuos gráficas 4 en 1.....	88
Figura 41. Reporte del modelo de regresión múltiple	90
Figura 42. Reporte de las interacciones y efectos del modelo de Regresión.....	91
Figura 43. Reporte de construcción del modelo de regresión múltiple	94

Figura 44. Gráfica de superficie Flujo de combustible vs Flujo de masa de aire y velocidad del vehículo.....	95
Figura 45. Gráfico de Contorno del CO ₂ (kg/h) en función del Flujo de Combustible (l/h) y el Flujo de Masa de Aire (g/s).	96
Figura 46. Gráfico de Superficie 3D del CO ₂ (kg/h) en función de la velocidad del vehículo y el Flujo de Masa de Aire (g/s).	97

Índice de Tablas

Tabla 1. Características obtenidas del ciclo de conducción en Bogotá.	51
Tabla 2. Características del ciclo de conducción en diferentes Zonas de la Ciudad de México..	52
Tabla 3. Características técnicas de la unidad experimental.....	67
Tabla 4. Características técnicas del escáner Platinum S10 PRO.....	69
Tabla 5. Características técnicas AIC BC 3329.....	70
Tabla 6. Coeficiente de correlación de PEARSON entre variables del motor y flujo de combustible (L/h).....	80

ANEXOS

Anexo A. Conexión de medidor de flujo AIC 5000.....	104
Anexo B. <i>Conexión retorno.</i>	105
Anexo C. Conexión medidora de flujo AIC 5000.....	105
Anexo D. Ubicación medidora de flujo AIC 3329.....	106
Anexo E. Ubicación medidora de flujo AIC 5000.	106
Anexo F. Prueba en ruta.	107

1. INTRODUCCIÓN

El consumo de combustible constituye un factor clave en el ámbito automotriz, al incidir directamente en la eficiencia operativa de los vehículos y en su impacto ambiental. En el caso de los vehículos diésel, diversas normativas han impulsado el desarrollo de tecnologías orientadas a la reducción de emisiones contaminantes. En este contexto, el sistema de inyección directa Common Rail (CRDi) ha evidenciado avances significativos en términos de eficiencia energética, reducción del consumo de combustible y disminución de emisiones. No obstante, cuando estos vehículos son evaluados en condiciones reales de operación, los resultados pueden diferir considerablemente respecto a los obtenidos en entornos controlados, debido a la influencia de factores externos como el estilo de conducción, las condiciones del tráfico, la topografía y la calidad del combustible.

El presente estudio tiene como finalidad principal predecir el consumo de combustible y cuantificar las emisiones de dióxido de carbono (CO_2) producidas por un vehículo Chevrolet D-Max 3.0 CRDi en condiciones reales de operación. Para alcanzar este objetivo, se implementará una metodología que combina recorridos en escenarios reales con la utilización de herramientas de medición y diagnóstico. Entre estas se incluye el uso de sensores conectados al sistema OBD-II, que permiten el monitoreo en tiempo real del comportamiento del motor y de los niveles de emisiones, así como la incorporación de un medidor de flujo AIC, el cual proporciona datos precisos sobre el consumo instantáneo de combustible. La información recopilada será procesada mediante técnicas de análisis estadístico y el apoyo de software especializado, garantizando así una evaluación rigurosa del desempeño del sistema de inyección en condiciones dinámicas.

Este estudio tiene gran relevancia tanto para el avance de tecnologías automotrices como para el impulso de soluciones sostenibles, al enfocarse en reducir la brecha existente entre los

resultados obtenidos en entornos controlados y aquellos registrados en condiciones reales de operación. Asimismo, busca aportar al diseño de estrategias que fomenten una movilidad más eficiente y respetuosa con el medio ambiente, en concordancia con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) y las regulaciones ambientales internacionales.

2. PROBLEMA

El consumo de combustible representa un factor crucial en el sector automotriz, dado su efecto directo sobre la eficiencia operativa y la sostenibilidad ambiental en los vehículos (Villalobos & Wilmsmeier, 2016). Bajo este contexto la estimación exacta del consumo de combustible y de las emisiones de CO₂ en vehículos con inyección directa Common Rail (CRDi) constituye un reto en contextos de operación real. Aunque dichos sistemas favorecen la eficiencia energética y la disminución de emisiones, su comportamiento puede diferir considerablemente durante la conducción en situaciones cotidianas (García & Pérez, 2018).

Factores externos como variaciones de carga en el vehículo, el tráfico urbano y otras condiciones ambientales influyen directamente en el consumo de combustible y en niveles de emisión (Rodríguez & Martínez, 2016). De acuerdo con una investigación llevada a cabo por el Instituto Fraunhofer (2017), los automóviles con sistema CRDi presentan un aumento del 15 al 20 % en el consumo de combustible y en las emisiones comparándolo con simulaciones en laboratorios (Fraunhofer Institute, 2017).

Según un estudio realizado en la universidad Tecnológica de Queensland se observó que en condiciones reales el motor presenta mayores niveles de emisiones y consumo. En particular, se registró un incremento moderado en las emisiones de CO₂ y NO_X, alcanzando hasta un 37 % y 38 % respectivamente (Shahariar et al., 2022).

2.1 Antecedentes

Los motores diésel equipados con sistemas de inyección Common Rail (CRDi) han demostrado ser una solución tecnológica altamente eficiente en términos de consumo de combustible y reducción de emisiones contaminantes. No obstante, diversos estudios han evidenciado que estos parámetros presentan variaciones significativas cuando los vehículos operan bajo condiciones reales de conducción. Esto resalta la necesidad de realizar evaluaciones en escenarios dinámicos y no controlados.

Una investigación desarrollada por la Universidad Politécnica de España señala que el consumo de energía (diésel) en diferentes configuraciones de motorización se ve influenciado por variables como la posición del acelerador, la velocidad del vehículo y las revoluciones del motor. Además, el estudio indica que, durante condiciones reales de conducción, el consumo tiende a incrementarse en fases de aceleración, circulación en pendiente (deriva) y frenado, debido a las mayores demandas energéticas del motor en estos momentos (Zuriaga et al., 2014).

Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), el transporte representa una fuente importante y cada vez más relevante de contaminación del aire, la cual está estrechamente vinculada con el incremento de muertes prematuras debido a la alta concentración de material particulado (PM) en la atmósfera. Además, se señala que aproximadamente el 23% de las emisiones globales de dióxido de carbono (CO₂) provienen de este sector (World Health Organization: WHO, 2024).

En conclusión, los antecedentes analizados permiten comprender la situación actual y evidencian la necesidad de investigar cómo los factores externos no controlables influyen en la generación de CO₂ y en el incremento del consumo de combustible en motores equipados con

sistemas CRDi. Este tipo de investigaciones se ajustará a las condiciones locales, con el propósito de identificar elementos clave que favorezcan la adopción de tecnologías sostenibles y fomenten prácticas adecuadas de mantenimiento, a través de la concienciación sobre el correcto funcionamiento de los sistemas de inyección. Como resultado, se espera mejorar la eficiencia operativa de los vehículos en contextos reales de conducción, al mismo tiempo que se reducen las emisiones contaminantes, en concordancia con los objetivos de sostenibilidad.

2.2 Importancia y alcances

El desarrollo de este estudio cobra especial importancia en el escenario actual, en el que la eficiencia energética y el cuidado del medio ambiente se han convertido en prioridades clave dentro del sector automotor. Evaluar el consumo de combustible y las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) en vehículos equipados con sistemas de inyección Common Rail Direct Injection (CRDi) permite comprender cómo ciertos factores externos influyen en su comportamiento bajo condiciones reales de uso. Esta investigación no solo aporta valor al ámbito científico y académico, sino que también resulta de utilidad práctica para fabricantes, profesionales técnicos del área automotriz y responsables de políticas públicas ambientales.

Los datos obtenidos permitirán sentar las bases para el desarrollo de estrategias que optimicen el rendimiento del motor, fomenten hábitos sostenibles de conducción y mantenimiento, y promuevan el cumplimiento de normativas ambientales, tanto nacionales como internacionales, tales como los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) y la normativa euro 6.

El estudio se centra en la medición y análisis del consumo de combustible y las emisiones de CO₂ de un vehículo CRDi en condiciones reales de operación. Se considerarán variables externas como la calidad del combustible, la topografía del recorrido, el comportamiento del

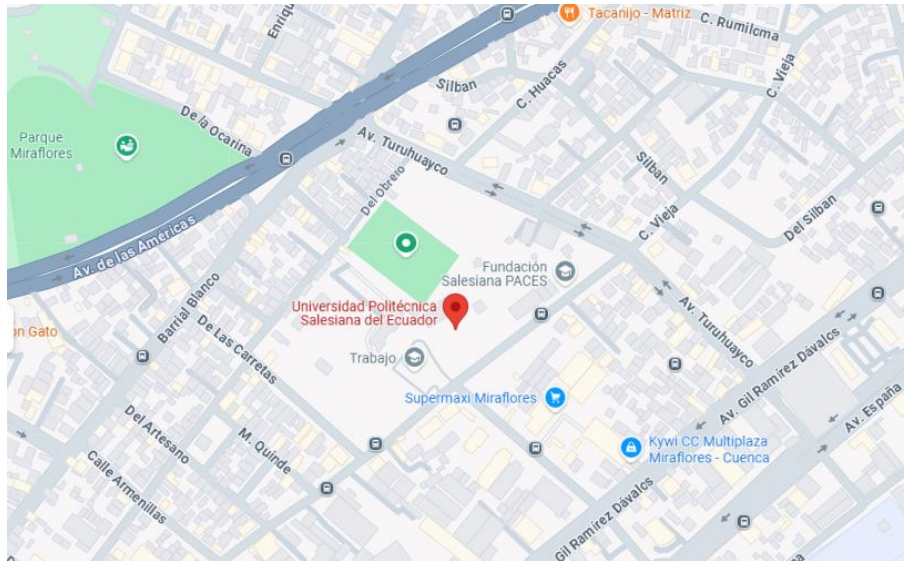
conductor y las condiciones ambientales. Las pruebas se realizarán en rutas específicas que presenten diferentes escenarios de tráfico. Los resultados permitirán identificar factores determinantes que afectan el desempeño del sistema de inyección, disminuir su impacto ambiental y respaldar la formulación de políticas que contribuyan a una mejor gestión del parque vehicular en Ecuador y países con características similares.

2.3 Delimitación

La presente investigación se llevará a cabo en la ciudad de Cuenca-Ecuador, ubicada a una altitud aproximada de 2.500 metros sobre el nivel del mar. La ruta seleccionada para los ensayos contará con una extensión de 11 kilómetros y presentará diversas condiciones de conducción. Entre ellas se incluyen pendientes tanto ascendentes como descendentes, presencia de tráfico vehicular y variaciones en el tipo de superficie, factores que influyen directamente en la dinámica del consumo de combustible.

El estudio se enfocará en la recolección de datos de un único vehículo con motor de 3.0 litros, sin realizar comparaciones con otras tecnologías de inyección de combustible, lo que permitirá analizar de forma específica el comportamiento del sistema CRDi bajo estas condiciones.

Figura 1. *Ubicación UPS*



Fuente: (Google Maps)

3. OBJETIVOS

3.1 Objetivo General

Predecir el consumo de combustible y emisión de CO₂ en un vehículo CRDi 3.0 L a través de la toma de datos en tiempo real en condiciones normales de funcionamiento.

3.2 Objetivos Específicos

1. Desarrollar un marco teórico referencial mediante la revisión bibliográfica de sensores, actuadores y sistemas involucrados que inciden sobre el consumo de combustible y emisiones en motores con sistema CRDi.
2. Aplicar un modelo experimental para medir el consumo de combustible y emisiones a temperatura de funcionamiento, utilizando equipos como un escáner automotriz, analizador de gases y un probador de flujo de combustible.
3. Realizar un análisis estadístico de los datos obtenidos durante las pruebas, mediante la aplicación de un software especializado.

4. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

4.1 Historia

El sistema de inyección Common Rail surgió entre finales de la década de 1980 y principios de los años 90. Teniendo en 1986 un punto clave para su desarrollo, llevado a cabo principalmente en países europeos como Alemania e Italia, gracias al trabajo de compañías multinacionales como Fiat y Bosch.

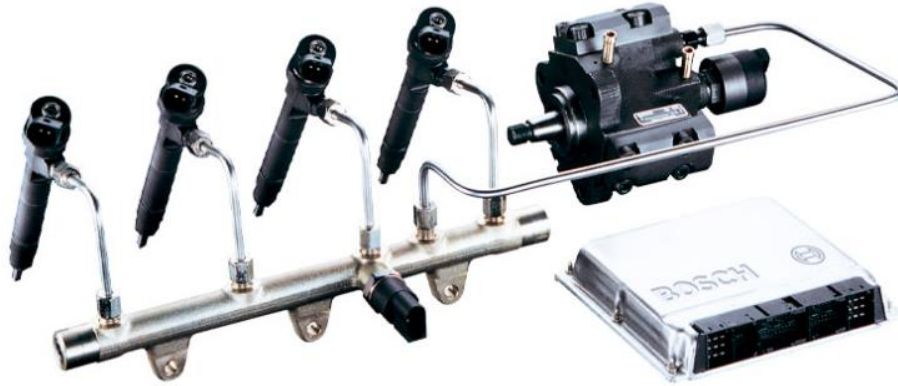
Desde entonces, este sistema ha evolucionado de manera constante, siguiendo un proceso de mejora continua que ha permitido impactos significativos en tres aspectos: Una disminución considerable de emisiones contaminantes, el incremento en la potencia de los motores MEC (motor de encendido por compresión) y la reducción del consumo de combustible por kilómetro recorrido.

4.2 Sistema de inyección Common Rail (CRDi)

Los motores diésel modernos incorporan el sistema de inyección Common Rail para la formación de la mezcla de combustible. Este sistema se basa en un acumulador de alta presión que abastece a los inyectores. La expresión Common Rail, que significa "riel común", hace referencia a un conducto de alta presión que distribuye el combustible de manera uniforme a todos los inyectores.

En el sistema Common Rail, la generación de presión y la inyección del combustible se llevan a cabo de forma independiente. Una bomba especial se encarga de crear la presión elevada necesaria, la cual se almacena en un riel de alta presión. Desde allí, el combustible es enviado a los inyectores mediante una red de tuberías.

Figura 2. Sistema de inyección CRDi.



Fuente: (Dynamic Diesel, s.f)

4.3 Funcionamiento del sistema CRDi

El sistema CRDi se destaca por ser muy flexible y eficiente en el control de la inyección de combustible en los motores diésel.

- Presión de inyección programable: Esto significa que la presión con la que se inyecta el combustible puede ajustarse según las necesidades del motor en cada momento, lo que mejora su funcionamiento en diferentes condiciones.
- Alta presión de inyección: El sistema puede alcanzar presiones de hasta 2000 bares, lo que permite una mejor mezcla entre el aire y el combustible, haciendo que la combustión sea más eficiente (Auto Avance, s.f.).

- Múltiples inyecciones: No se limita a una sola inyección por ciclo; puede hacer inyecciones antes (preinyección) o después (post-inyección) de la principal. Esto ayuda a reducir el ruido, las emisiones contaminantes y a mejorar el rendimiento del motor.

En resumen, este sistema trabaja en dos etapas:

- Baja presión, donde el combustible es tomado desde el tanque y enviado a la bomba.
- Alta presión, donde el combustible es comprimido, almacenado y luego enviado a los inyectores para su distribución controlada.

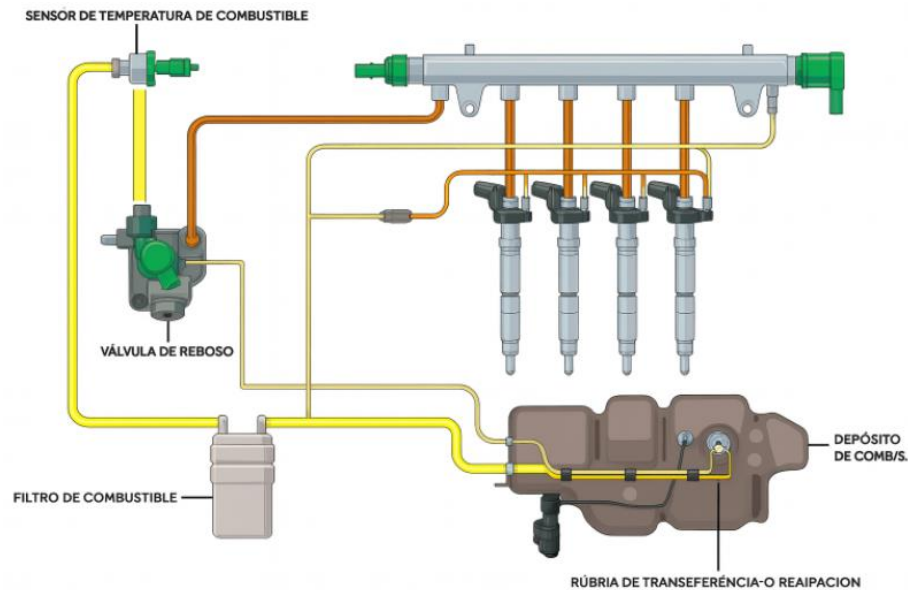
4.3.1 Sistema de Baja presión.

El sistema de alimentación se encarga de llevar el combustible limpio y a una presión adecuada desde el depósito hasta el sistema de inyección, asegurando un flujo constante en cualquier condición de funcionamiento del motor.

Para lograr esto, cuenta con varios componentes importantes:

- Depósito de combustible: Lugar donde se almacena el diésel.
- Bomba de baja presión: Extrae el combustible del depósito y lo impulsa hacia el sistema.
- Filtro de combustible: Elimina impurezas para evitar daños en el sistema de inyección.
- Válvula reguladora de presión: También conocida como válvula de rebose, mantiene la presión estable en el circuito de baja presión.
- Tuberías de baja presión: Son las encargadas de transportar el combustible entre los distintos elementos del sistema.

Figura 3. Sistema de inyección CRDi, baja y alta presión.



Fuente: (Auto Avance, s.f.)

4.3.1.1 Bomba de transferencia de combustible

En los vehículos con sistema Common Rail emplean bombas eléctricas de combustible o bombas de engranajes para enviar el combustible desde el depósito hacia la bomba de alta presión.

La bomba eléctrica, ubicada dentro del depósito de combustible, trabaja en conjunto con el módulo aforador, permitiendo, succionar el combustible a través de un filtro y lo transfiere a la bomba de alta presión con un valor de 6 bares. Tiene un caudal máximo de 190 litros por hora, lo que permite un suministro suficiente para un arranque rápido del motor. La bomba se activa cuando se gira la llave de encendido, asegurando que la presión en el sistema de baja presión esté disponible desde el inicio.

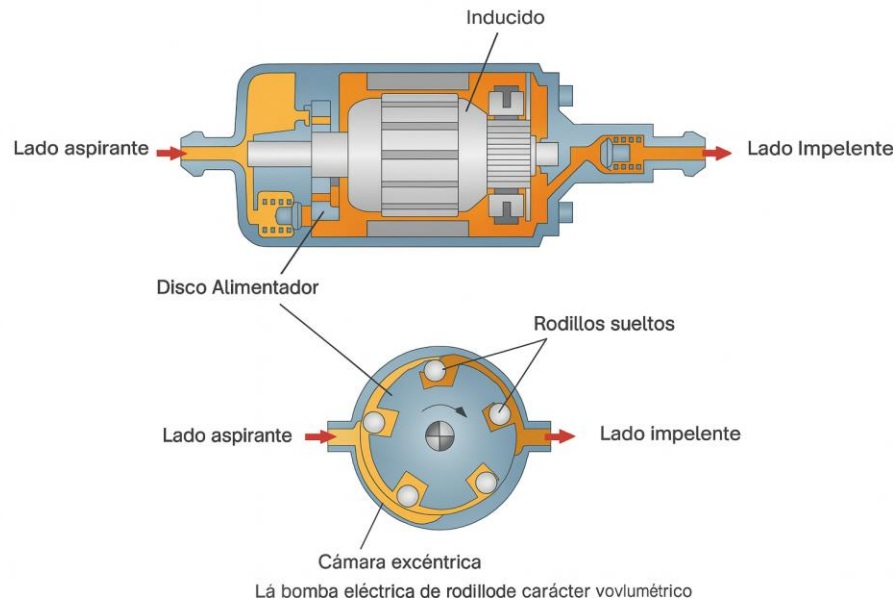
Figura 4. *Bomba de transferencia de combustible Chevrolet Dmax 3.0.*



Fuente: (HVAC Center, s.f.)

En los motores diésel, este tipo de bomba se diferencia de las de gasolina porque en lugar de usar un sistema hidráulico, emplea un mecanismo volumétrico con rodillos y un filtro de malla ancha para una mejor succión y filtrado del combustible. En su estructura interna, el inducido acciona el mecanismo de disco alimentador ubicado en la carcasa. En este disco se encuentra rodillos que, al girar, se desplazan a las paredes, creando cámaras móviles entre ellos. Al aspirar los rodillos se separan lo que genera un vacío, permitiendo la succión del combustible, filtrándose mediante una malla ancha y evitar impurezas. A medida que los rodillos giran, y por efecto centrífugo, el volumen de las cámaras se reduce lo que provoca que el combustible sea empujado a la salida a cierta presión.

Figura 5. Estructura interna, bomba de baja presión.



Fuente: (Auto Avance, s.f.)

4.3.1.2 Filtro de combustible

El filtro de combustible cumple una función esencial para proteger los componentes del sistema.

Este filtro debe:

- Eliminar las partículas sólidas del combustible, ya que pueden desgastar o dañar partes internas del sistema de inyección.
- Separar el agua (tanto libre como mezclada) para evitar la corrosión u oxidación de los componentes metálicos.

En los sistemas Common Rail se emplean filtros altamente eficientes, capaces de retener partículas de hasta 2 micras, asegurando así un combustible limpio y seguro para el funcionamiento

del motor. Esto debido a que las partículas más pequeñas de suciedad pueden causar daños u obstrucciones dentro de sistemas de inyección a Diésel.

Figura 6. *Filtro de combustible sistema CRDi.*



Fuente: (Mansuera, s.f.)

4.3.1.3 Regulador de presión de transferencia

El regulador de presión de transferencia es un elemento indispensable integrado en el módulo aforador, ya que permite que el combustible mantenga una presión constante alrededor de 6 bares, dirigiéndose a la bomba de alta presión. Este dispositivo, en conjunto con la bomba de transferencia y un sistema de retorno aseguran un suministro estable y continuo, evitando fluctuaciones en la presión y caudal que podría comprometer el rendimiento del vehículo en general.

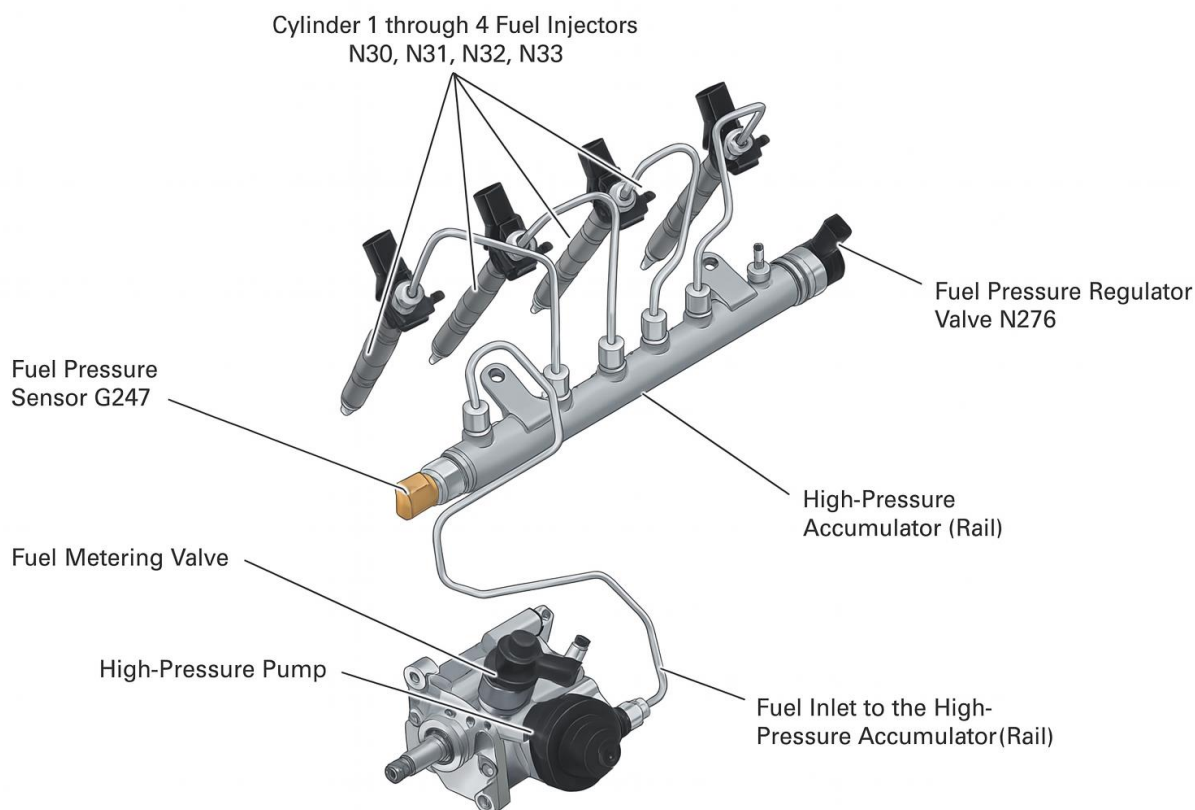
El combustible que llega con presión desde la bomba eléctrica empuja un émbolo con resorte dentro de la válvula de rebose. Si la presión del combustible sobrepasa los 4,3 bares, esta válvula se abre y permite que el exceso de combustible fluya por un conducto de retorno. Así, el combustible sobrante regresa al depósito, evitando sobrepresión y manteniendo la estabilidad del sistema.

4.3.2 Sistema de alta presión

El sistema de alta presión en el Common Rail se organiza en tres funciones principales:

- **Generación de presión:** A cargo de la bomba de alta presión, que comprime el combustible hasta alcanzar los valores necesarios para una inyección eficiente.
- **Acumulación de presión:** El combustible a alta presión se almacena en el riel común (conducto), donde también se encuentran el sensor de presión y la válvula reguladora, que controlan y estabilizan la presión interna.
- **Dosificación del combustible:** Los inyectores son responsables de liberar el combustible en la cantidad y momento exactos, garantizando así un funcionamiento óptimo del motor.

Figura 7. Sistema de inyección CRDi, alta presión.



Fuente: (AreaVAG Foro, s.f.)

4.3.2.1 Bomba de presión alta

La función de la bomba de alta presión es presurizar el combustible desde la bomba y almacenarlo en el riel común para dirigirlos a los inyectores de cada cilindro, con una presión entre 250 y 2000 bares e inyectar el combustible de manera efectiva (Talleres_Admin, 2018).

En la figura 8 se puede observar una bomba de alta presión tipo CP4, comúnmente utilizada en sistemas de inyección diésel Common Rail (CRDi), desarrollada principalmente por Bosch. La característica de este tipo de bomba es que está constituido de uno o dos pistones que son

accionados por una leva excéntrica lo que permite la generación de presión y caudal cuando el motor del vehículo lo necesite.

Las bombas de alta presión tipo CP4 suelen contar con un control electrónico de caudal lo que permite adaptar la cantidad de caudal según las necesidades y carga del motor en tiempo real y así reducir las emisiones y consumo de este.

Figura 8. *Bomba de alta presión.*

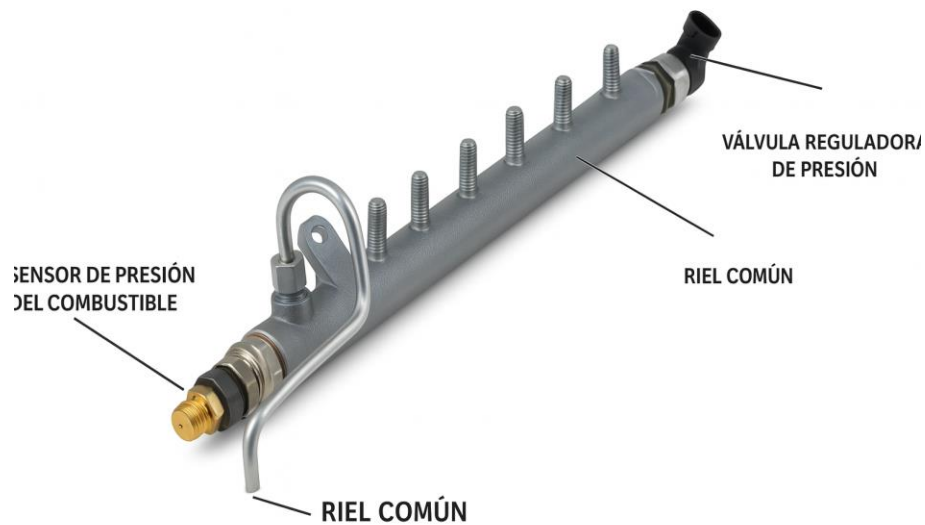


Fuente: (Talleres_Admin, 2018)

4.3.2.2 Riel Común

El riel común o acumulador de presión es un elemento que permite la acumulación del combustible a altas presiones, las pulsaciones originadas por la inyección y por la bomba de alta son amortiguadas gracias al volumen de acumulación lo que garantiza una presión constante en el inyector. Además, en este sistema se encuentra el sensor de presión de combustible y una válvula que regula la presión.

Figura 9. Riel Común del sistema de inyección CRDi.

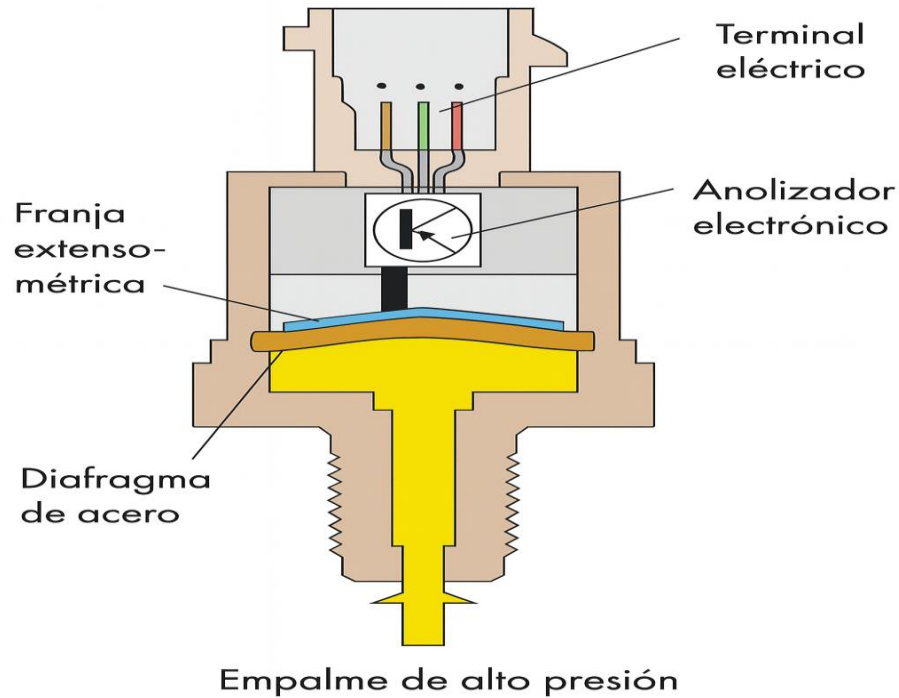


Fuente: (Auto Avance, s.f.)

4.3.2.3 Sensor de presión del riel

Este sensor se compone básicamente de un pequeño diafragma, generalmente, de acero. Al variar la presión existe una flexión en el diafragma de acero que modifica la señal de resistencia de presión. Esto permite enviar una señal a la Unidad de Control Electrónico del sistema de inyección para regular la presión que se encuentra dentro del acumulador de presión.

Figura 10. *Sensor de presión.*



Fuente: (Auto Avance, s.f.)

4.3.2.4 Válvula reguladora de presión

La válvula reguladora mantiene la presión en el acumulador common rail, esto dependiendo, de la carga a la que este sometido el motor. Esta válvula se abre con el fin de retornar el combustible al depósito y en caso de mantener una presión baja esta válvula se cierra hasta aumentar la presión hasta un punto óptimo.

Figura 11. *Válvula reguladora de presión.*



Fuente: (Auto Avance, 2017)

4.3.2.3 Inyectores

Los inyectores son actuadores encargados de suministrar y dosificar una cantidad correcta de combustible dentro de cada cilindro del motor. En los sistemas Common Rail estos son controlados electrónicamente lo que permite una alimentación exacta y homogénea con el aire en la cámara de combustión (Mecanicaautomotrizdgm, 2019).

Figura 12. *Inyectores.*

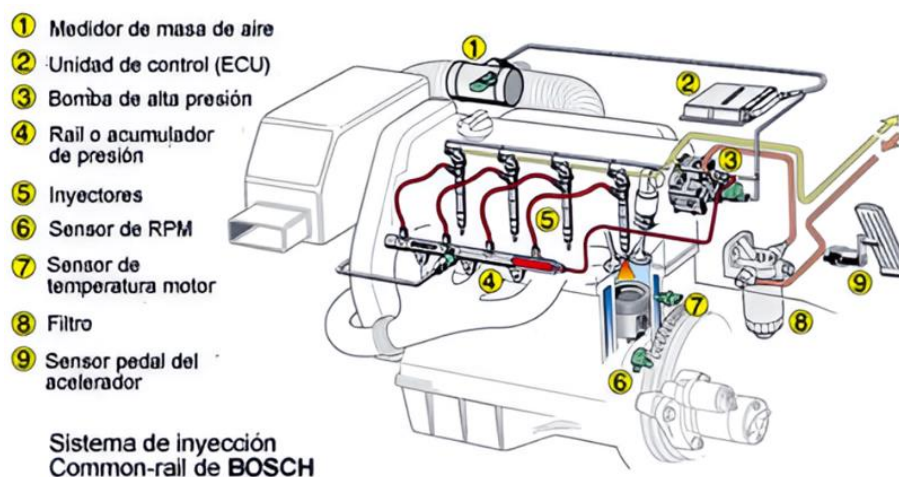


Fuente: (Mecanicaautomotrizdgm, 2019)

4.4 Sensores

Un sensor es un dispositivo (también llamado como sonda o transmisor) con la capacidad de medir magnitudes de tipo física como química, a estas variables se les denomina variables de instrumentación, el cual es transformado en variables eléctricas con la finalidad de que esta magnitud eléctrica pueda ser interpretada por la ECU del vehículo. Esta señal eléctrica puede tener distintas amplitudes como lo son tensión, una frecuencia, periodo, pulsos, oscilaciones eléctricas, además, de parámetros eléctricos como resistencia, capacidad y una inductancia (Santiago, 2018).

Figura 13. *Sensores automotrices clasificación y ubicación.*



Fuente: (*Sistema De Inyección Common- Rail*, 2011)

4.4.1 Sensor MAP

El sensor MAP (Sensor de presión absoluta del múltiple), ubicado en el múltiple de admisión, es el componente encargado de informar a la computadora, mediante una señal, la variación de presión que existe dentro del múltiple de admisión. Información de suma importancia para que la computadora controle la combustión, abasteciendo de combustible al motor, en diferentes condiciones de exigencia del conductor.

Este sensor funciona mediante el principio de un piezoeléctrico, que se encarga de medir la variación de la presión o de vacío y lo transforma a una señal eléctrica para enviarlo a la computadora. Este elemento posee tres cables:

- Cable de alimentación: Normalmente presenta un valor de 5 V.
- Cable de tierra: Cierra el circuito a masa.
- Cable de señal: Con voltajes que van desde 0.2 hasta unos 4.8 V.

Modos de operación:

En condiciones de desaceleración, el sensor reacciona a la baja presión enviando un voltaje de salida de aproximadamente 0.8 V. En un estado de ralentí, el voltaje de salida experimentado ronda por los 0.9 V a 1.5 V, mientras que, cuando las condiciones son de aceleración, la presión se eleva debido a la alta demanda de aire que ingresa al momento lo que provoca que el voltaje de salida del sensor varíe entre 1.5 V a 5.0 V.

Figura 14. *Sensor MAP ubicación y señal característica en un osciloscopio.*



Fuente: (Santiago, 2018)

4.4.2 Sensor MAF

El sensor MAF está constituido principalmente por tres partes clave: un termistor, un hilo de platino (también conocido como hilo caliente) y un circuito electrónico de control. El termistor se encarga de medir la temperatura del aire que entra al motor, mientras que el hilo de platino mantiene una temperatura constante como referencia. El circuito electrónico registra el flujo de corriente y genera una señal de voltaje que depende de esa corriente.

Este sensor utiliza tres cables básicos:

- Uno para la alimentación eléctrica, que recibe voltaje desde la caja de fusibles.
- Otro va conectado al chasis o a la tierra física.
- El tercero se comunica directamente con la unidad de control del motor (ECU).

Cuando el motor se enciende, el hilo de platino se calienta hasta unos 200 °C. Esta temperatura debe mantenerse constante. A medida que entra aire frío al motor, el hilo tiende a enfriarse, y cuanto mayor sea el flujo de aire, mayor será el enfriamiento.

Para evitar que el hilo pierda temperatura, se necesita más corriente eléctrica. Esta corriente es monitoreada por la ECU, que interpreta cuánto aire entra al motor según la cantidad de energía que debe usar para mantener caliente el hilo. Cuanto más aire pasa, mayor es el esfuerzo de la ECU para mantener la temperatura, y así se genera una señal más alta hacia la PCM (módulo de control del tren motriz). Información clave para ajustar la mezcla aire-combustible que ingresa al motor.

Figura 15. Sensor MAF.



Fuente: (Santiago, 2018)

4.4.3 Sensor CKP

El sensor CKP es un componente esencial en el sistema de gestión electrónica del motor. Se trata de un sensor magnético que genera una señal de voltaje, utilizando el movimiento de una rueda dentada (también llamada plato convertidor) conectada al cigüeñal.

Su principal función es informar a la ECU (Unidad de Control Electrónico) y al módulo de encendido sobre la posición exacta de los pistones mientras suben y bajan durante cada ciclo del motor. Esta información permite a la ECU calcular las revoluciones por minuto (RPM) y ajustar con precisión el momento y duración de la inyección de combustible y la chispa de encendido.

El CKP funciona en conjunto con la rueda dentada que suele tener 58 dientes, pero uno o dos están ausentes para generar referencias. Cuando estas posiciones vacías coinciden con el sensor, se produce una caída de voltaje que se interpreta como una señal. Cuando pasan los dientes presentes, el voltaje vuelve a subir. Este cambio de voltaje permite a la computadora determinar la velocidad y la posición angular del cigüeñal.

Además, el sensor CKP suele tener tres conexiones eléctricas:

- Una línea de alimentación (entre 5 y 12 voltios),
- Una tierra o masa,
- Un cable de señal que envía la información a la ECU.

Algunos sensores CKP usan el efecto Hall, el cual aprovecha campos magnéticos para detectar la posición. Estos sensores incluyen un imán y un acoplador magnético, que cuando es activado por el paso del imán, genera una señal eléctrica que es enviada directamente a la ECU.

Figura 16. *Sensor CKP.*



Fuente: (Sensor Automotriz, s.f.)

4.4.4 Sensor de temperatura del refrigerante

Se trata de un elemento termistor que varía su resistencia dependiendo de la temperatura en el refrigerante del motor. En la mayoría motores este tipo de sensor suele ser de tipo NTC (Coeficiente negativo de temperatura), es decir, que disminuye su resistencia cuando la temperatura aumenta.

Pero al momento de ingresar la información dentro de la computadora este se reparte en una resistencia interna, lo que provoca un cambio de tensión lo que permite una lectura correcta por parte de la Unidad de Control Electrónico.

4.4.5 Sensor de posición del pedal del acelerador

Los vehículos modernos utilizan sensores de posición en el pedal del acelerador para interpretar las órdenes del conductor. La mayoría de estos sistemas emplean potenciómetros

electrónicos que generan señales de voltaje variables según la posición del pedal. Como el pedal es el único enlace directo entre el conductor y el motor, su correcto funcionamiento es fundamental para la seguridad.

Por esta razón, el pedal del acelerador suele incorporar dos o hasta tres sensores APP (APP1, APP2 y APP3) que funcionan simultáneamente al presionar el pedal, permitiendo un control preciso del motor. En la imagen se observa un ejemplo de este tipo de sensor.

El sistema incluye un sensor APP con dos señales independientes conectadas al PCM (Módulo de Control del Tren Motriz). Los sensores APP comparten una fuente de alimentación de 5 voltios, pero cada uno transmite su señal por cableado separado. Si el PCM detecta que alguna de las señales se sale de los rangos establecidos (fuera de tolerancia), genera un código de falla (DTC) y limita las revoluciones del motor para evitar riesgos.

Figura 17. *Sensor de posición del pedal del acelerador.*



Fuente: (Auto Avance, 2018)

4.4.6 Sensor CMP

El sensor CMP (sensor del árbol de levas) es un dispositivo eléctrico que detecta las ranuras del engranaje del eje de levas. Para ello, utiliza una bobina de cobre enrollada alrededor de un núcleo imantado, lo que le permite generar una señal cuando detecta el paso de las ranuras metálicas.

Dependiendo del diseño, este sensor puede tener dos o tres cables:

- Con dos cables, uno es para la señal de referencia y el otro actúa como tierra, utilizando el cuerpo metálico del sensor.
- Con tres cables, se incluye una línea de alimentación adicional.

Distribución típica del cableado del sensor CMP:

- Terminal 1: Salida de señal hacia la ECU.
- Terminal 2: Tierra (masa).
- Terminal 3: Alimentación (+12V).

El voltaje generado por el CMP varía según factores como la velocidad del motor, la fuerza del campo magnético, y la distancia entre el sensor y el rotor metálico. Este tipo de sensor se encuentra comúnmente en vehículos con sistemas de inyección electrónica (fuel injection) y encendido computarizado, en los cuales no se utiliza distribuidor.

La computadora del vehículo utiliza la señal del CMP para controlar el orden de encendido y la secuencia de inyección. El sensor "lee" las ranuras y elevaciones del engranaje del árbol de levas, lo que permite a la ECU identificar con precisión la posición de las válvulas.

Estos sensores CMP funcionan mediante el efecto Hall, usando campos magnéticos para detectar posiciones. Cuando el flujo magnético alcanza cierto nivel, el sensor genera una señal de voltaje muy pequeña, en el rango de los microvoltios, la cual es amplificada y enviada a la ECU para su interpretación (Sensor Automotriz, s.f.)

Figura 18. *Sensor CMP.*



Fuente: (Sensor Automotriz, s.f.)

4.4.7 Sensor de temperatura del combustible

El sensor de temperatura de combustible, también conocido como FTS (Fuel Temperature Sensor), es un componente diseñado para medir la temperatura del combustible en tiempo real y enviar esta información a la unidad de control del motor (ECU). Gracias a estos datos, la ECU puede ajustar de forma precisa la relación aire-combustible, optimizando así el rendimiento del motor.

Este sensor es clave para asegurar que el vehículo funcione con la máxima eficiencia posible, sin importar si el entorno es cálido o frío. Cuando la combustión se realiza de forma

eficiente, también se reduce la cantidad de gases contaminantes expulsados por el sistema de escape.

El sensor ayuda a calcular cuánto combustible debe inyectarse, ya que la densidad del combustible varía con la temperatura. Por ejemplo:

- Cuando el combustible está caliente, se vuelve menos denso y requiere menos cantidad para quemarse.
- Si está frío, es más denso y el sensor solicita a la ECU inyectar mayor cantidad de combustible para mantener una combustión adecuada.

Normalmente este sensor se encuentra ubicado en el riel de inyección. En cuanto a su funcionamiento, el FTS opera bajo el principio del termistor de resistencia variable, similar al sensor de temperatura del refrigerante (ECT), pero con características físicas distintas, ya que está en contacto con un fluido más agresivo como es el combustible. (Auto Avance, 2024)

4.4.8 Carga del motor

La carga del motor no es un sensor como tal, pero se considera un factor importante dentro del estudio de variables dentro del contexto de motores Diésel. Definiéndose como un porcentaje de potencia o par máximo disponible en un momento determinado de operación. De acuerdo con la SAE International SAE J1979 / ISO 15031 – 5, proporciona una ecuación para el cálculo de la carga del motor realizada por la ECU usando entrada de otros sensores como TPS, IAT, RPM. Siendo indicador clave para desarrollo de curvas características de potencia y torque, determinación de parámetros clave para el funcionamiento del motor (Soca-Cabrera, Chavarría-Irigoyen & Martínez-Rocha, 2019).

4.5 Evaluaciones experimentales en tiempo real, metodologías: diseño de experimentos, criterios para la selección de rutas

En un análisis vehicular, las evaluaciones experimentales en tiempo real representan una ventaja y una herramienta que resulta esencial para la recolección de datos precisos del comportamiento dinámico de un vehículo en condiciones reales de operación. A diferencia de pruebas en laboratorio las rutas permiten observar directamente la interacción de diferentes sistemas de un vehículo frente variables del entorno.

En este contexto, el desarrollo de ciclos de conducción ha sido de gran importancia para poder modelar de una forma más aproximada patrones de conducción incluyendo distintas fases de arranque, aceleración, desaceleración y variaciones de velocidad. Por lo que esta sección se propone metodologías para la evaluación experimental, enfocándose en procesos de recolección de datos, instrumentación, y puntos estratégicos de velocidad. (Pérez Llanos y Quito Sinchi, 2018)

4.5.1 Metodología y ciclo de conducción de Bogotá, Colombia

Para construcción de este ciclo de conducción se usaron diferentes categorías de transportes: motos, Buses de tipo SITP y buses enfocados en el Transmilenio, con la recolección de datos de 20 horas con el uso de dispositivos GPS y escáneres.

Tabla 1. Características obtenidas del ciclo de conducción en Bogotá.

Parámetros	Motos	SITP	Transmilenio
Duración ciclo (s)	360	600	600
Velocidad media de conducción (km/h)	22.1	14.5	19
Aceleración media (m/s^2)	0.76	0.49	0.38
Desaceleración media (m/s^2)	-0.7	-0.54	-0.49
% de tiempo en ralentí	16.1	22.8	26
% de tiempo de aceleración	36.7	40.9	41.9
% de tiempo de desaceleración	39.6	37.1	32.2
% de tiempo crucero	23.7	22	25.8
Coefficiente de correlación (R)	65%	74%	78%

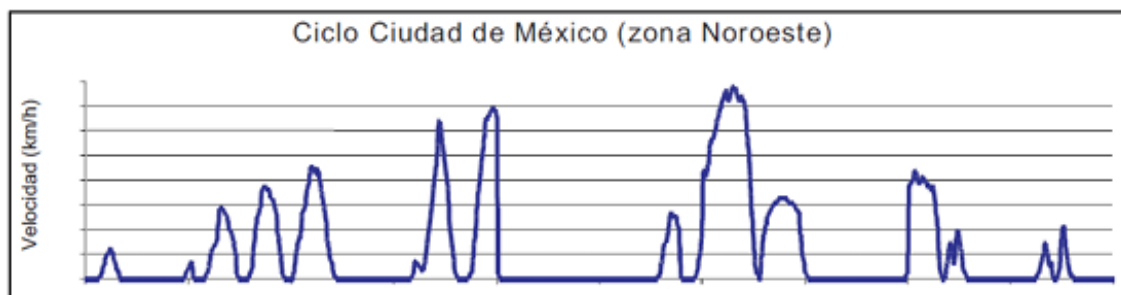
Fuente: (Pérez Llanos y Quito Sinchi, 2018)

4.5.2 Metodología y ciclo de conducción en la Ciudad de México.

Con la aportación de la Universidad Autónoma de México, el gobierno central, en 1998, planteo el desarrollo de ciclos de conducción para vehículos ligeros. De esta manera el procedimiento y metodología usada se enfocó en la instrumentación del automóvil, para ser posible la monitorización por segundos parámetros como la velocidad, la temperatura experimentada en ese instante del aceite, la posición de la mariposa de la aceleración y las RPM del motor (Gonzales Oropeza, 2005)

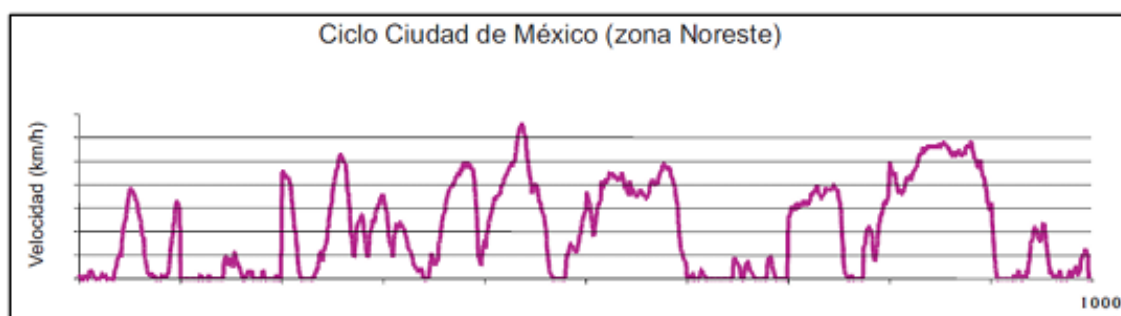
Este ciclo de conducción se caracterizó por someter al vehículo en zonas: intraurbano, urbano y extraurbano, con duraciones de 1000 segundos por cada viaje. Monitorizar y adquisición de datos mediante instrumentos como GPS, sensores.

Figura 19. Ciclo de conducción desarrollada en la zona Noroeste en la Ciudad de México.



Fuente: (Pérez Llanos y Quito Sinchi, 2018)

Figura 20. Ciclo de conducción desarrollada en la zona Noreste en la Ciudad de México.



Fuente: (Pérez Llanos y Quito Sinchi, 2018)

Las características obtenidas en este ciclo se observan en la siguiente tabla:

Tabla 2. Características del ciclo de conducción en diferentes Zonas de la Ciudad de México.

Parámetros	Zona Noroeste	Zona Noreste
Velocidad máxima (<i>km/h</i>)	77	65
Velocidad promedio (<i>km/h</i>)	18,2	22,3
Duración (<i>s</i>)	966	1000
Distancia recorrida (<i>km</i>)	4,88	6,2

Fuente: (Pérez Llanos y Quito Sinchi, 2018)

4.5.3 Selección de rutas en un proceso experimental

La elección de rutas para la realización de pruebas vehiculares en carretera constituye una etapa esencial para asegurar que los resultados obtenidos sobre consumo de combustible y emisiones sean representativos y confiables. Para este propósito, se han definido tres tipos de entornos que permitirán observar variaciones en los resultados, en función de las condiciones específicas a las que será expuesto el vehículo durante la conducción.

4.5.3.1 Escenario Urbano

En un entorno urbano se distingue principalmente por una circulación vehicular densa, una constante presencia de semáforos y pasos peatonales, así como por velocidades de desplazamiento relativamente bajas. En estas condiciones mencionadas, los vehículos experimentan frecuentemente muchas detenciones y reinicios de marcha, acompañados de aceleraciones y frenados constantes, factores mencionados, que promueven la demanda del motor al mantenerse en constante carga lo que aumenta el consumo de combustible y por consecuencia las emisiones de los mismo (Zuriaga et al., 2014). Además, las variaciones en la pendiente del terreno urbano pueden influir negativamente en la eficiencia del sistema de inyección.

4.5.3.2 Escenario en carretera

El entorno de carretera o autopista presenta condiciones ideales para evaluar el desempeño del motor en situaciones de conducción prolongada. Sus principales características son:

- Velocidades con constantes variaciones, que dependen de las necesidades del trayecto que enfrente el conductor en ese instante.

- Flujo vehicular continuo, con pocas interrupciones, lo que reduce las variaciones en la carga del motor.
- Menor consumo de combustible por kilómetro recorrido, debido a la conducción uniforme.
- Presencia de pendientes y curvas extensas, que pueden modificar temporalmente la demanda de potencia.

El entorno de carretera o autopista desempeña un papel crucial en la movilidad de personas y mercancías en Ecuador. La red vial estatal, que incluye carreteras y autopistas, ha sido objeto de mejoras continuas para optimizar su estado y funcionalidad (*Ministerio de Transporte y Obras Públicas del Ecuador, s.f.*).

4.5.3.3 Escenario rural

En los entornos rurales suelen predominar vías con infraestructura limitada, frecuentemente sin pavimentar o en condiciones deterioradas, además de una circulación vehicular reducida. Aunque en estos escenarios la velocidad de conducción tiende a ser más uniforme que en áreas urbanas, las características del terreno, como presencia de lodo, polvo o superficies irregulares, junto con la escasa señalización, pueden exigir un mayor esfuerzo al motor. Esto influye en su desempeño y en el nivel de consumo de combustible (*National Renewable Energy Laboratory, s.f.*).

Dichas condiciones hacen de los caminos rurales un entorno adecuado para evaluar el comportamiento del vehículo en situaciones de baja intervención urbana y mayores exigencias para el sistema de suspensión y tracción.

4.5.4 Técnicas de instrumentación

La instrumentación es indispensable para una representación dinámica de la conducción, por ende, la recolección de datos debe ser recopilada con diversas técnicas como lo son: Técnica On Board y Técnica Persecución del vehículo.

4.5.4.1 Técnica On Board

La técnica de manejo On Board hace referencia al uso de instrumentación necesaria para la recolección de datos en tiempo real de variables cuantitativas (velocidad, aceleración, tiempo, etc.).

El uso de esta técnica nació con la implementación del ciclo de conducción FTP 75 (Federal Test Procedure), desarrollado en la Ciudad de los Ángeles, Estados Unidos. Prueba desarrollada en el centro de la ciudad con la conducción en zonas de mayor flujo de vehículos. Para aplicar eficazmente esta técnica es necesario la presencia de más de una persona con la finalidad de que los datos no sean interrumpidos, permitiendo una evaluación más asertiva. (Pérez Llanos y Quito Sinchi, 2018)

4.5.4.2 Técnica de persecución de la unidad

Para la aplicación de esta técnica se necesita de dos vehículos, el primero el denominado caza, y el segundo objetivo. En el cual la unidad caza sigue al objetivo, en una ruta seleccionada, representando de mejor manera un manejo real. Técnica usada por primera vez en 2001 en Escocia. (Pérez Llanos y Quito Sinchi, 2018)

4.6 Instrumentación

4.6.1 Escáner Automotriz

El escáner automotriz es un instrumento electrónico diseñado para examinar y diagnosticar los componentes eléctricos del vehículo. Además, de permitir la toma de datos en tiempo real del comportamiento de cada uno de los sensores según la variación de la carga que experimenta el motor. Su principal función es identificar fallos en el sistema electrónico mediante la lectura de códigos de error generados por los sensores integrados en la unidad de control del vehículo (ECU).

Esta herramienta tiene como objetivo principal facilitar la detección de fallos para su posterior corrección. En los casos en que el error no pueda resolverse mediante ajustes electrónicos, suele deberse a un desperfecto mecánico del vehículo.

La conexión entre el escáner y el sistema del automóvil se realiza a través de un puerto denominado Diagnóstico a Bordo (OBD, por sus siglas en inglés). Este interfaz permite acceder a datos clave relacionados con el motor, la transmisión, los frenos, la climatización, entre otros sistemas del vehículo.

Con los avances tecnológicos, se han desarrollado escáneres de tipo universal que son compatibles con múltiples marcas y modelos de vehículos. Existen dos tipos de conectores estandarizados:

- OBD-I: utilizado en vehículos fabricados hasta 1995, especialmente en aquellos con sistemas de inyección electrónica.
- OBD-II: implementado en vehículos a partir de 1996, y actualmente considerado el estándar en la industria automotriz.

Entre las marcas más destacadas en el ámbito del diagnóstico automotriz se encuentra Launch, cuyos escáneres son reconocidos por su eficiencia, versatilidad y amplia cobertura. Estos dispositivos permiten la lectura y eliminación de códigos de falla, la visualización de datos en

tiempo real, así como la ejecución de pruebas especializadas en diferentes módulos del vehículo, facilitando una gestión integral del mantenimiento.

- **Launch X-431:** El escáner automotriz Launch X-431 PRO es un equipo de diagnóstico de gama media-alta, diseñado para trabajar con vehículos americanos, europeos y asiáticos desde 1996 hasta modelos actuales. Integra tecnología de diagnóstico inteligente, permitiendo su uso tanto de forma inalámbrica como por cable. Su sistema identifica automáticamente la información del vehículo y facilita el acceso a registros de mantenimiento en línea. Este dispositivo destaca por su compatibilidad con módulos de extensión como osciloscopio, simulador de sensores y herramientas antirrobo, así como por su interfaz moderna y cobertura ampliada a través de internet móvil.

Además, es compatible con módulos de extensión como el osciloscopio, simulador de sensores y herramientas para sistemas antirrobo. También incorpora funciones opcionales para la calibración de sistemas ADAS (como LDW, RCW, AVM, NV, BSD y ACC) mediante el módulo especializado X-431 ADAS.

Figura 21. *Scanner Automotriz LAUNCH SCANNER X-431 PRO.*



Fuente: (Conauto, 2022)

- **X-431 PRO-GT 12V:** El escáner automotriz Launch X431 PRO-GT, perteneciente a la gama alta, incorpora una Tablet con pantalla táctil de 8 pulgadas y un diseño moderno, práctico y funcional. Está equipado con un panel direccional mejorado y botones dedicados para navegación rápida en el menú principal. Opera con sistema Android y utiliza tecnología de diagnóstico inalámbrico por bluetooth, lo que lo posiciona como una de las herramientas más avanzadas en el mercado.

Es de uso intuitivo, con actualizaciones sencillas y cobertura para más de 115 marcas de vehículos. Entre sus funciones se incluyen diagnósticos bidireccionales, pruebas especiales, ajustes electrónicos, reinicios de sistemas y calibraciones. Permite evaluar

múltiples sistemas del vehículo como motor, transmisión, frenos, bolsas de aire, tracción, dirección hidráulica, confort, sistema eléctrico central, aire acondicionado (A/C), TPMS y carrocería (Body). También ofrece lectura de datos y visualización gráfica en tiempo real.

Tiene compatibilidad con vehículos de origen asiático, americano, europeo y chino, tanto con motores a gasolina como diésel ligero.

Figura 22. Scanner Automotriz LAUNCH X-431 PRO-GT 12V.



Fuente: (AUTECH, 2024)

4.6.2 AIC BC 3329 Flow meter

El sistema de medición NEW AIC BC 3329 permite visualizar, calcular y registrar de forma precisa el consumo de combustible en tiempo real, tanto en volumen como en masa. Este equipo proporciona mediciones acumulativas, así como datos sobre velocidad, distancia recorrida y rutinas de vueltas. Está diseñado para instalarse directamente en el vehículo y cuenta con una pantalla LCD de gran tamaño y fácil manejo.

Evaluación de consumo de combustible en vehículos utilizados en actividades de investigación y desarrollo, como camiones de mediana y gran capacidad, autobuses, maquinaria de construcción, demolición y agrícola.

- Control de consumo en generadores diésel.
- Seguimiento y optimización en sistemas de gestión de flotas.

Gracias a su estructura metálica, diseño compacto y facilidad de instalación, el modelo BC 3329 se adapta eficientemente a cualquier cabina vehicular. Este dispositivo facilita la documentación de valores de consumo y emisiones de CO₂ bajo condiciones reales de conducción.

Entre sus características técnicas se encuentra:

- Visualización instantánea del consumo de combustible y las emisiones de CO₂.
- Cálculo de consumo medio con precisión de hasta tres decimales.
- Registro acumulativo del consumo.
- Función de rutinas de vueltas para análisis individual posterior.
- Cálculo de velocidad promedio si se conecta un sensor de velocidad.
- Medición de distancia y número de vueltas realizadas.
- Lectura disponible en unidades métricas o imperiales.
- Alimentación eléctrica versátil: 20–28 VAC/DC, 9–12 VAC, y opción de 253 VAC/DC.
- Puerto USB para transferencia de datos (la memoria USB no está incluida).
- Operación sencilla con funciones de inicio, parada y reinicio del registro.

Figura 23. Medidor de flujo AIC BC 3329.

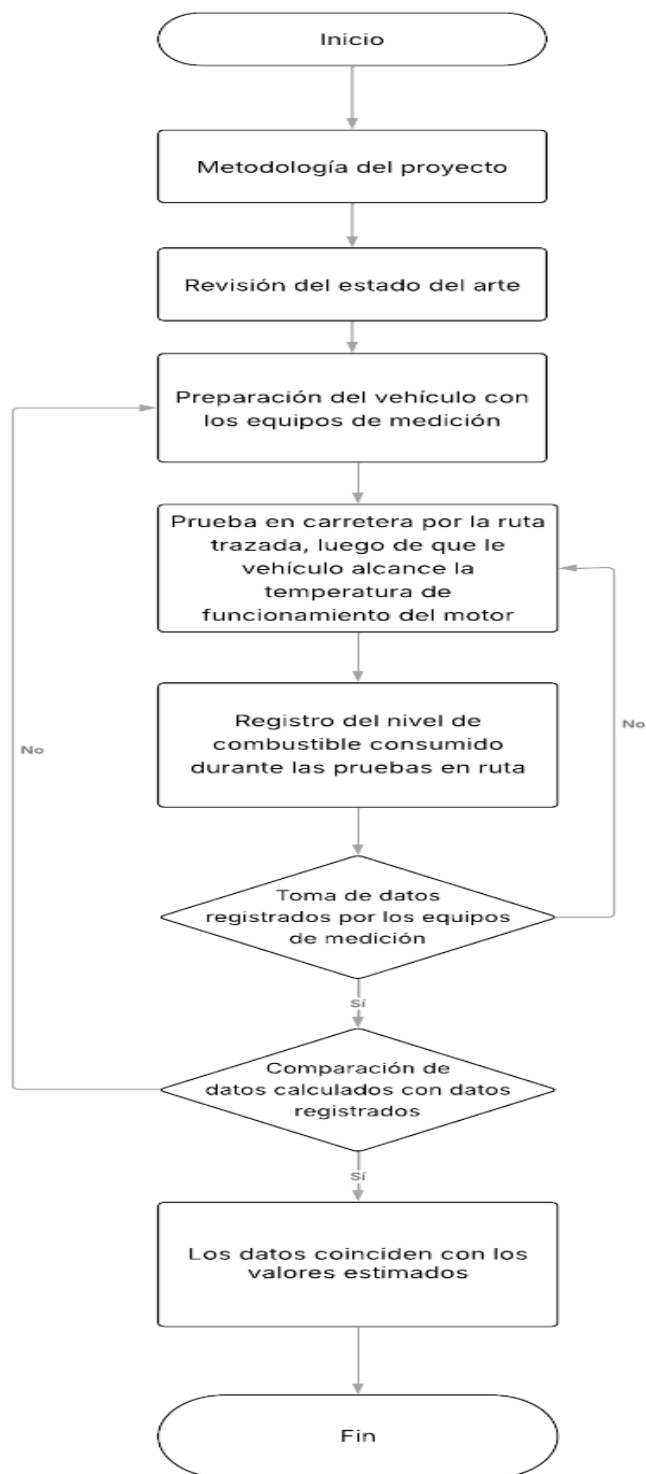


Nota. Ordenador a bordo de la marca AIC. Fuente: (AIC Systems, s.f.)

5. DESARROLLO:

5.1 Protocolo de muestreo

Se describe el protocolo utilizado en la medición del consumo de combustible y las emisiones de dióxido de carbono (CO₂). Mediante la revisión bibliográfica desarrollada en el primer capítulo, se estableció un protocolo de muestreo que asegura la precisión, confiabilidad y repetibilidad de los datos recopilados durante el proceso experimental.

Figura 24. Diagrama de flujo.

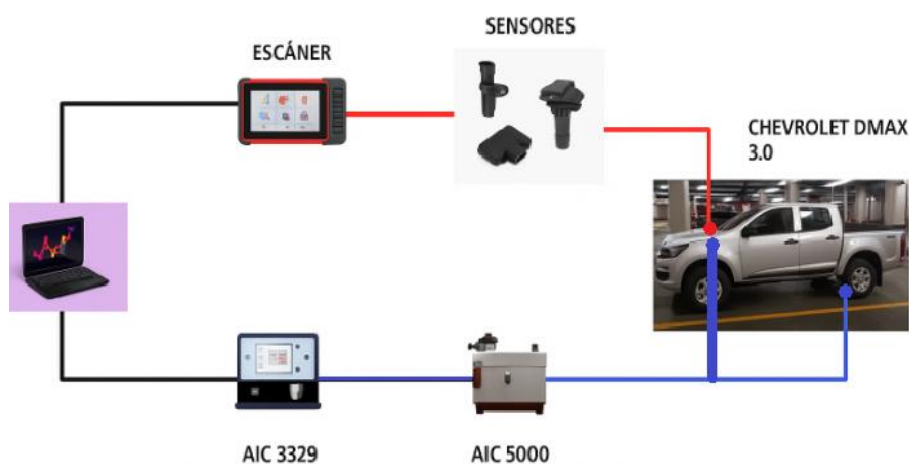
5.1.1 Protocolo de instrumentación aplicada

En evaluaciones en tiempo real, el protocolo se adaptada a condiciones de conducción típicas en América Latina, en particular en la realidad de Cuenca, Ecuador. Tomando como referencia la metodología de México, donde, se instrumentó el vehículo con sensores y herramientas como GPS, además, de basarnos en la técnica de recolección de datos On Board. para registrar parámetros clave como la velocidad, temperatura, posición del pedal del acelerador y el régimen de giro del motor.

Bajo ese enfoque se aplica el uso de herramientas especializadas, incluyendo escáneres automotrices, medidores de flujo tanto digital como mecánico, herramientas útiles para mejorar la precisión en la toma de datos a velocidades límites establecidas es la ciudad de Cuenca en cada tramo evaluado.

5.1.2 Instrumentación de la Unidad

Figura 25. Esquema de conexión de equipos para la recolección de datos.



En la imagen se representa el esquema de conexión utilizado para la recolección de datos en tiempo real. La línea roja indica la comunicación entre el escáner automotriz y los sensores del vehículo, permitiendo el monitoreo de parámetros operativos del motor. La línea azul representa la trayectoria del sistema de medición de flujo de combustible, que inicia con un medidor de flujo mecánico conectado a las líneas de alimentación y retorno, asegurando el funcionamiento continuo del motor. Posteriormente, este sistema se encuentra interconectado a un medidor de flujo digital o a bordo, encargado de registrar los datos con precisión. Finalmente, la línea negra simboliza el vínculo hacia el ordenador, donde se realiza el procesamiento y tabulación de los datos obtenidos durante la prueba.

5.1.3 Configuración de las variables

Para el proceso experimental de mediciones de consumo de combustible y emisiones de CO₂ se realizaron con el motor del vehículo a una temperatura de 80°C. Para ello, se utilizaron sensores del vehículo y un escáner automotriz, junto con un medidor de flujo para obtener datos precisos en tiempo real.

El proceso de medición siguió un protocolo estandarizado, comenzando con la calibración de los equipos de medición y verificación del correcto funcionamiento del vehículo. Las pruebas se llevaron a cabo a lo largo de una ruta previamente definida, controlando temperatura de partida y velocidad del vehículo, con una temperatura ambiente de 18°C, lo que garantizó la precisión de los resultados obtenidos.

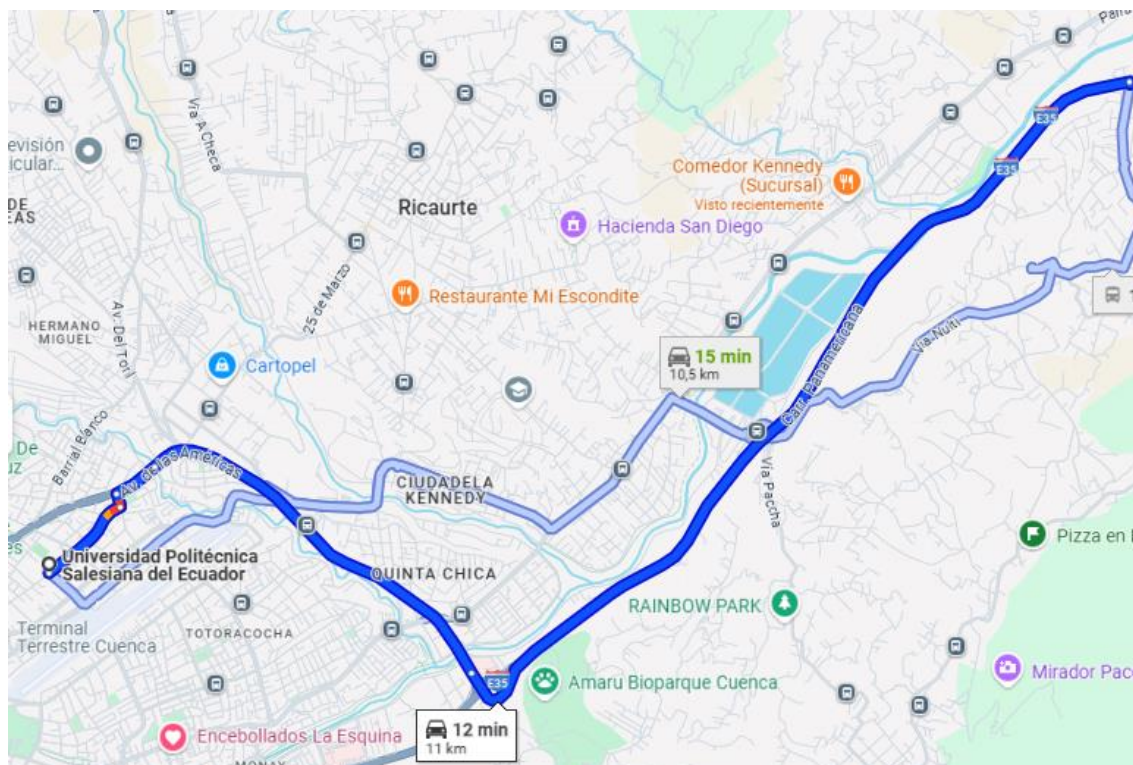
5.1.4 Selección de ruta aplicada

La revisión bibliográfica incluyó una selección estratégica de rutas, orientada a cubrir distintos entornos que representen con precisión las condiciones reales de operación vehicular. Se establecieron tres escenarios clave: urbano, carretera y rural. Esta división permite analizar cómo se modifican tanto el consumo de combustible como las emisiones de CO₂ en función del tipo de conducción, proporcionando así una base sólida para interpretar los resultados en el contexto de la movilidad nacional.

La integración de estos tres entornos garantiza una visión comparativa equilibrada entre distintos estilos de manejo, lo cual enriquece el análisis del comportamiento del vehículo. Esta propuesta metodológica refuerza la fiabilidad de los datos recolectados y facilita la formulación de soluciones tecnológicas que promuevan una mayor eficiencia energética y una disminución efectiva del impacto ambiental.

La ruta utilizada para la recolección de datos en tiempo real comienza en la Universidad Politécnica Salesiana y concluye en la gasolinera PRIMAX en Chaullabamba, abarcando un recorrido total de 11 kilómetros, con un tiempo promedio de 10 minutos. Esta ruta combina tramos urbanos y carreteras con pendientes, lo que permite evaluar el rendimiento del vehículo bajo condiciones variadas de conducción.

Figura 26. Ruta empleada



5.1.5 Recursos técnicos

En esta sección se detallará los recursos utilizados para la toma de datos.

5.1.5.1 Vehículo Experimental

El vehículo elegido para las mediciones fue un Chevrolet D-Max 3.0 CRDi, del año 2019, elegido por su sistema de inyección Common Rail, que favorece una combustión más eficiente y un mejor rendimiento energético, además, de representar un vehículo comercial en la ciudad de Cuenca.

Durante el desarrollo de las pruebas, el vehículo opera bajo condiciones de temperatura de funcionamiento, lo que permite evaluar el desempeño del motor en un entorno operativo típico.

Figura 27. Chevrolet D-MAX 3.0 CRDI



Tabla 3. Características técnicas de la unidad experimental

Característica	Detalle
Motor	3.0L Diésel CRDI
Motorización <u>c.c</u>	2999
Válvulas	16
Potencia neta (<u>HP@rpm</u>)	134 @ 3600
Torque (<u>Nm@rpm</u>)	294 @ 1400 – 3000
Alimentación	CRDI
Transmisión	Manual 5 Velocidades
Tracción	4x4
Consumo urbano / carretera / medio	10.5 / 7.2 / 8.4 L/100 Km
Candados	Shift <u>on the fly</u>
Dirección	Hidráulica Piñón y Cremallera
Suspensión Delantera	Independiente Tipo Doble <u>Wishbone</u>
Suspensión Posterior	Rígida con Ballesta
Frenos Delanteros	Disco Ventilado
Frenos Posteriores	Tambor
Freno de Parqueo	Entre Asientos
Llantas	245/75/R16

Fuente: (General Motors Ecuador, 2019)

5.1.5.2 Escáner Automotriz Platinum S10 PRO.

El escáner automotriz utilizado en este estudio es el Platinum S10 PRO, una herramienta de diagnóstico profesional que ofrece funciones avanzadas como el escaneo integral del vehículo, lectura y borrado de códigos de falla, así como la visualización en tiempo real de los datos proporcionados por diversos sensores. Entre los sensores monitoreados se incluyen:

- Sensor de posición del pedal
- Sensor de flujo de masa de aire (MAF)
- Sensor de temperatura del refrigerante
- Sensor de velocidad
- Sensor de revoluciones por minuto (RPM)

Sensores que nos ayudaran a conocer la carga y parámetros a la que se somete el vehículo en un trayecto para incidir en el consumo de combustible y generación de emisiones de CO₂.

Tabla 4. Características técnicas del escáner Platinum S10 PRO

Característica	Detalle
Sistema Operativo	Android 10.0
Pantalla	Pantalla táctil de 10"
Cobertura	Funcionalidad TPMS y calibración ADAS
Almacenamiento interno	64 GB
Procesador	2.0 GHz, cuatro núcleos
Cámara	Cámara trasera de 8 megapíxeles
Batería	6000 mAh/7,6 V
Conexión	BT5.0/WiFi (WLAN 802.11b/g/n)
Memoria RAM	4 GB
Wi-Fi	Bandas duales 2,4 GHz y 5 GHz

Fuente: (Thinkcar, 2025)

5.1.5.3 Características del dispositivo AIC BC 3329 Flow meter

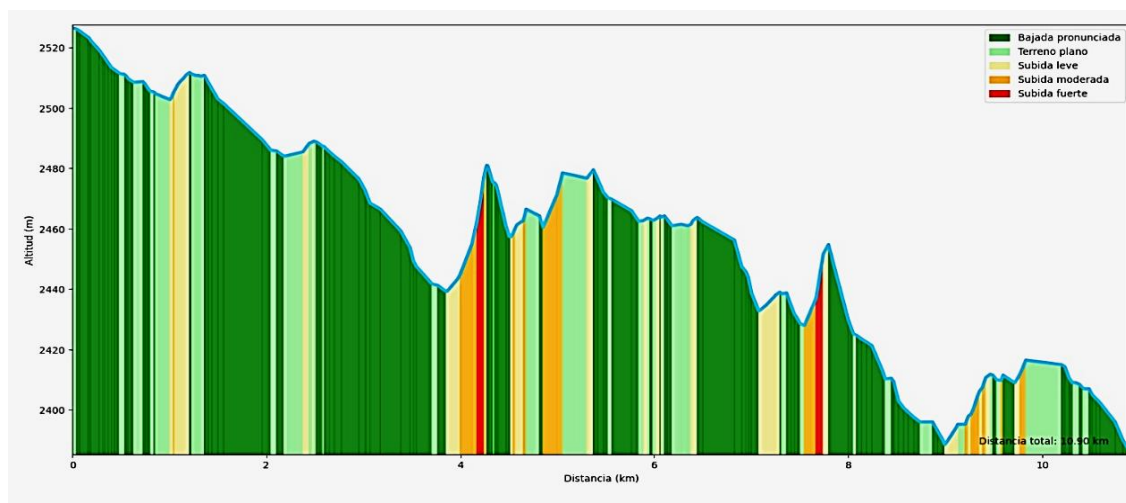
Tabla 5. Características técnicas AIC BC 3329

Característica	Detalle	
Dimensiones	140 x 113 x 58 mm / 5.5" x 4.45" x 2.3"	
Pantalla	LCD (Resistente a rayos UV), 4 líneas de pantalla, varios caracteres	
Teclado	Botón de micro interruptor (teclado resistente a rayos UV)	
Rango de temperatura de trabajo	-5°C a +80°C (23 a 176°F)	
IP	32	
Certificación	EMC Certificado acorde a EN 52121-3-2:2006	
Voltaje de suministro	9 – 12 VDC 20 – 28 VAC/DC Opcional 20 – 253 VAC/DC	
Carga del suministro para BC	4.5W a 7.0W – 230VAC / 0.4 A a 24 V	
Entrada de velocidad a distancia	PNP open collector	
Rango posible	ppKm	100 – 30'000
Tensión de entrada	U Low	< 0.5 V
	U high	> 3.5
Corriente de entrada	< 1 mA	
Frecuencia fmax	>2.5 kHz (max. Speed displayed 299.9 km/h)	

Fuente: (AIC, 2025)

5.2 Distribución Topográfica del Recorrido

Figura 28. Perfil Altimétrico y Clasificación de Pendientes en Recorrido de Prueba en ruta.



Fuente: (gpx.studio, s.f.)

En la gráfica se puede observar un perfil altimétrico de la ruta expuesta anteriormente, con una extensión aproximada de 11 km, donde, se puede observar en el eje vertical la altitud y en el eje horizontal la distancia recorrida en kilómetros. La línea azul traza la variación de la altitud a lo largo del trayecto, mientras que el fondo se codifica con colores para indicar la variación del terreno:

- Verde oscuro: Bajada pronunciada
- Verde claro: Terreno plano
- Amarillo claro: Subida leve
- Amarillo oscuro: Subida moderada
- Rojo: subida fuerte

La visualización del terreno nos permite conocer los segmentos más exigentes para el vehículo.

5.3 Gráfica representativa de cada parámetro del motor

En este apartado se puede observar la descripción de los parámetros principales del motor, recolectados en la ruta empleada, mostrando el comportamiento en el transcurso del tiempo.

- Flujo de masa de aire (g/s): Variable analizada que demuestra la cantidad de aire que ingresa al cilindro, indicador necesario para la inyección de combustible y el aumento de este.
- Carga del motor (%): Variable que indica el nivel de exigencia del motor según la demanda del conductor y las condiciones de manejo. Es un parámetro que refleja cuánta potencia se solicita al motor, siendo clave para determinar el consumo de combustible.
- Presión del Riel de Combustible (PSI): Representa la presión con la que el combustible se encuentra en el riel común antes de ser inyectado en los cilindros. Un parámetro crítico en sistemas de inyección directa como los CRDI, ya que influye en la eficiencia de la combustión.
- Revoluciones del motor (RPM): Indica la cantidad de veces que el cigüeñal del motor gira por minuto. Es un indicador del esfuerzo operativo del motor y tiene una relación directa con el consumo de combustible y la respuesta del vehículo.
- Velocidad (km/h): Mide la rapidez a la que se desplaza el vehículo. Este parámetro afecta al consumo, ya que a mayor velocidad se requiere mayor potencia y, por lo tanto, mayor cantidad de combustible.
- Flujo de combustible (l/h): Variable que será analizada y demuestra la tasa de consumo que experimenta el vehículo durante la prueba en ruta.
- CO₂ (kg/h CO₂): Indica la masa de CO₂ desprendido al ambiente por cada hora, variable indispensable para su estudio.

5.3.1 POSICIÓN DEL PEDAL DEL ACELERADOR

Figura 29. Sensor de posición del pedal del acelerador.



La figura 29 muestra el porcentaje de accionamiento ejercida sobre el pedal del acelerador, valor obtenido mediante el sensor APS. En el gráfico se observa un comportamiento dinámico y altamente variable, lo que nos indica un patrón de conducción no constante, es decir, que en la prueba se sometió al vehículo con múltiples aceleraciones y desaceleraciones a lo largo de la prueba.

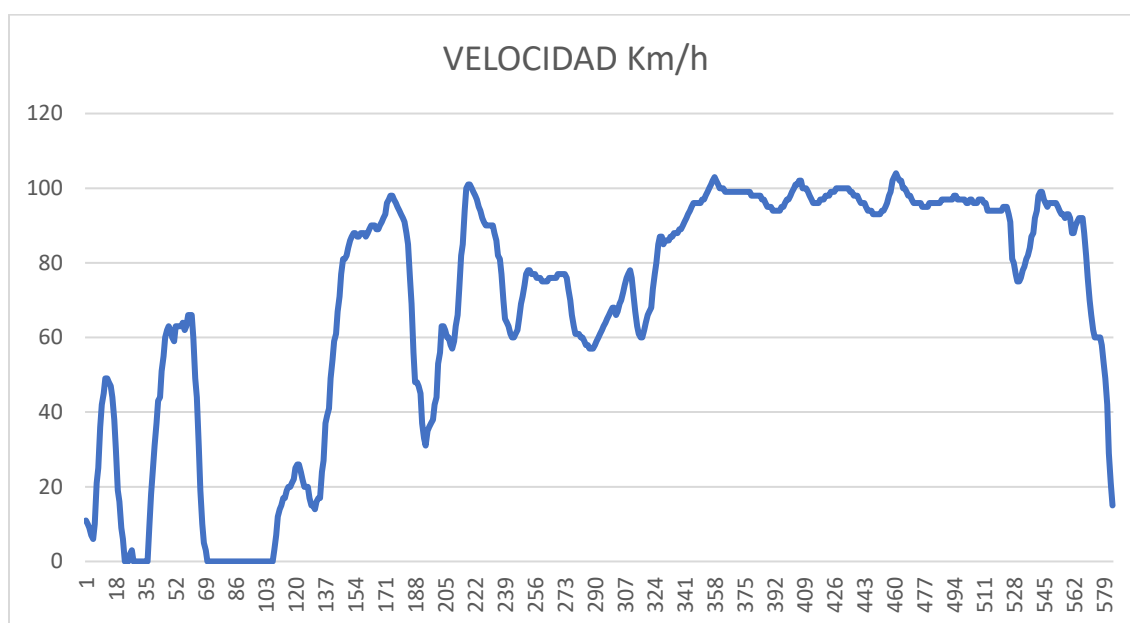
Durante los primeros segundos de la prueba se puede observar que la posición del pedal mantiene en rangos bajos (15% - 60%), que según, la conducción topográfica experimentada, en ese trayecto, se encuentra un pequeño desnivel que indica el inicio de la conducción, por ello, la necesidad de aplicar presión al pedal del acelerador, hasta que este valor cae, lo que indica que ya no es necesario acelerar por la característica de la altitud en ese instante. Sin embargo, durante el segundo 145 se puede observar valores cercanos a 60% reflejando la necesidad de esforzarle al

motor con aceleraciones fuertes. Lo que sugiere el inicio de las pendientes observadas en la gráfica de altimetría.

Los datos obtenidos en esta gráfica son fundamentales ya que la posición del pedal del acelerador está ligada al control del sistema de inyección y por lo tanto a su consumo.

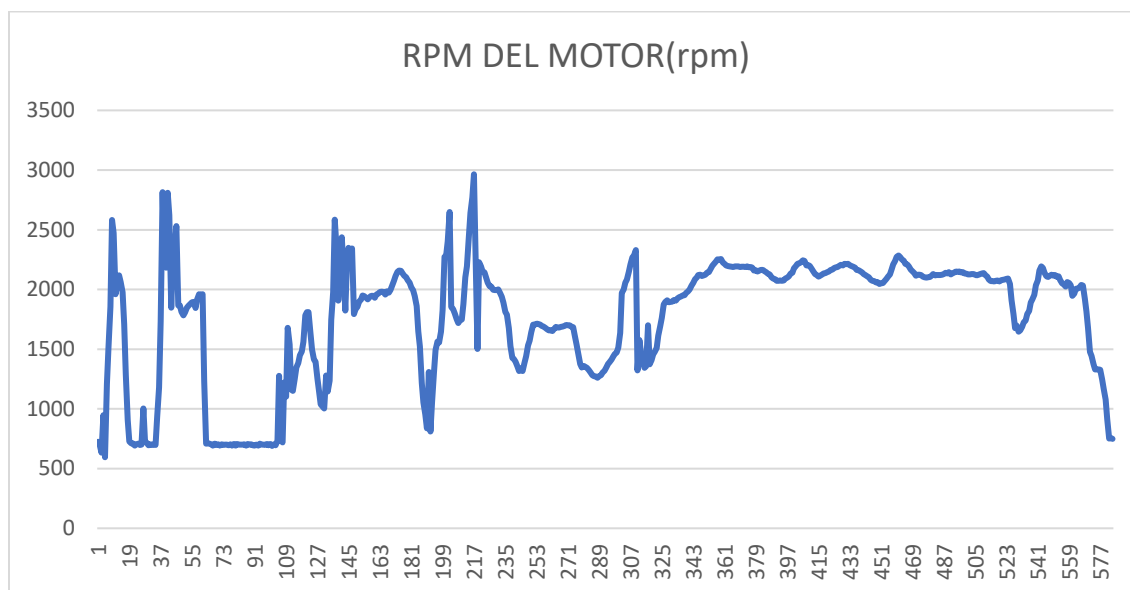
5.3.2 VELOCIDAD EL VEHÍCULO

Figura 30. *Velocidad del vehículo.*



En la gráfica se observa la variación de la velocidad del vehículo según la necesidad de la ruta. Al observar con la gráfica de altimetría, se observa que a medida que el terreno desciende, se observan incrementos de velocidad más sostenidos y altos. Por el contrario, en instantes donde la zona presenta una subida fuerte o moderada, la velocidad se mira afectada disminuyéndolo de manera brusca o de manera inestable.

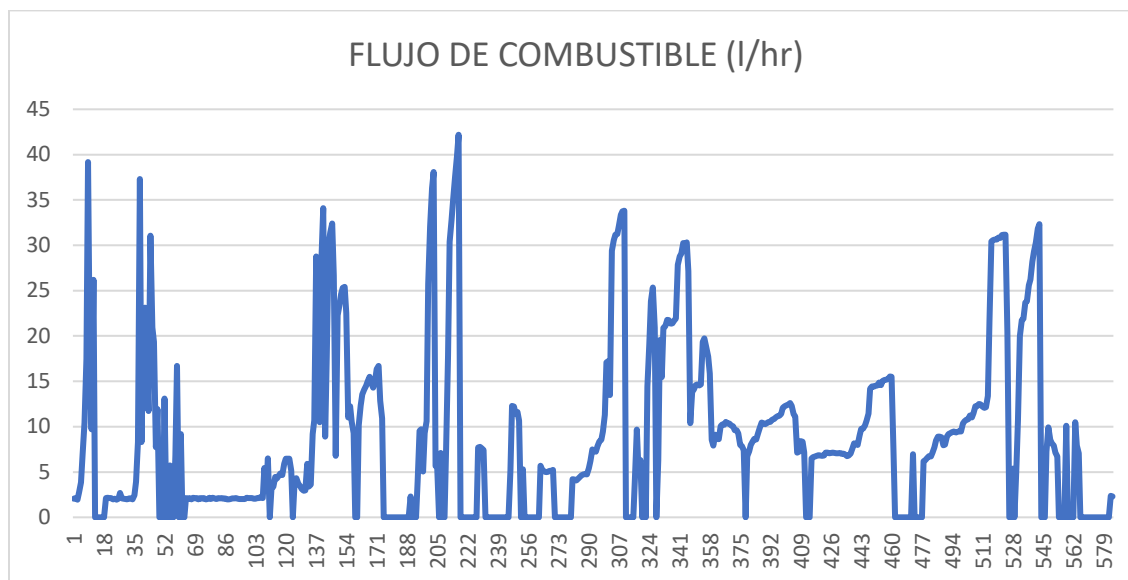
5.3.3 RPM DEL MOTOR

Figura 31. RPM del motor.

En la gráfica se observa que el rpm varía y son inestables durante los primeros 300 segundos, y luego se estabiliza entre 1700 y 2200 rpm, lo que indica una fase de conducción constante, luego de haber superado una pequeña subida observado en la gráfica de altimetría. Al final de la trayectoria se observa una caída rápida lo que indica un frenado total y apagado o ralentí del motor.

5.3.2 FLUJO DE COMBUSTIBLE

Figura 32. *Flujo de combustible*



La figura 32 nos demuestra la evolución del flujo de combustible durante la prueba en carretera expresada en l/h. Se puede evidenciar una variabilidad en los datos obtenidos, dato considerable en el consumo con valores mínimos que se puede observar entre los primeros segundos de la prueba con valores entre 0 a 40 l/h hasta llegar a picos superiores a 40 l/h lo que ocurre en el segundo 221.

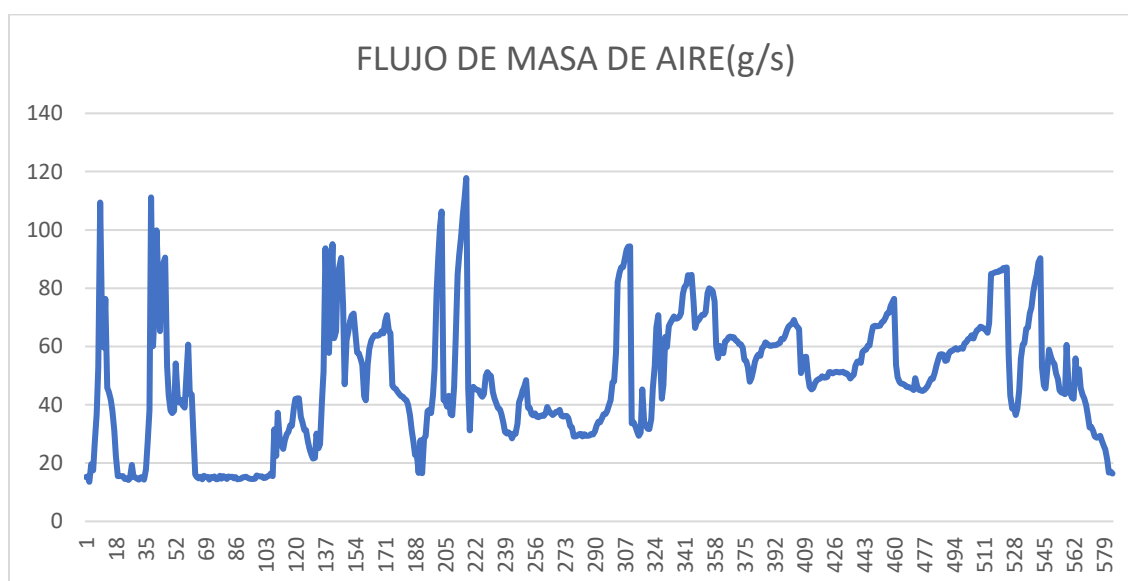
Durante los primeros instantes de la prueba, el flujo aumenta progresivamente, esto puede deberse a que el vehículo se sometió a una fase de conducción en condiciones de exigencia cuando se inicia el arranque, observado en la gráfica de la posición del pedal del acelerador donde empieza el trayecto de manera progresiva. De igual manera, a medida que avanza la prueba se observa múltiples picos abruptos lo que nos indica el momento donde el motor fue sometido a mayor demanda, en la gráfica de altimetría, se puede observar aproximadamente a los 4 km de haber

iniciado la ruta se presenta el inicio de pendientes, lo que puede respaldar los picos observados en la gráfica.

Esta gráfica nos permite visualizar de forma clara como el consumo de combustible varía en función del estilo de conducción y el esfuerzo demandado por el motor en el momento.

5.3.3 FLUJO DE MASA DE AIRE

Figura 33. *Flujo de masa de aire*

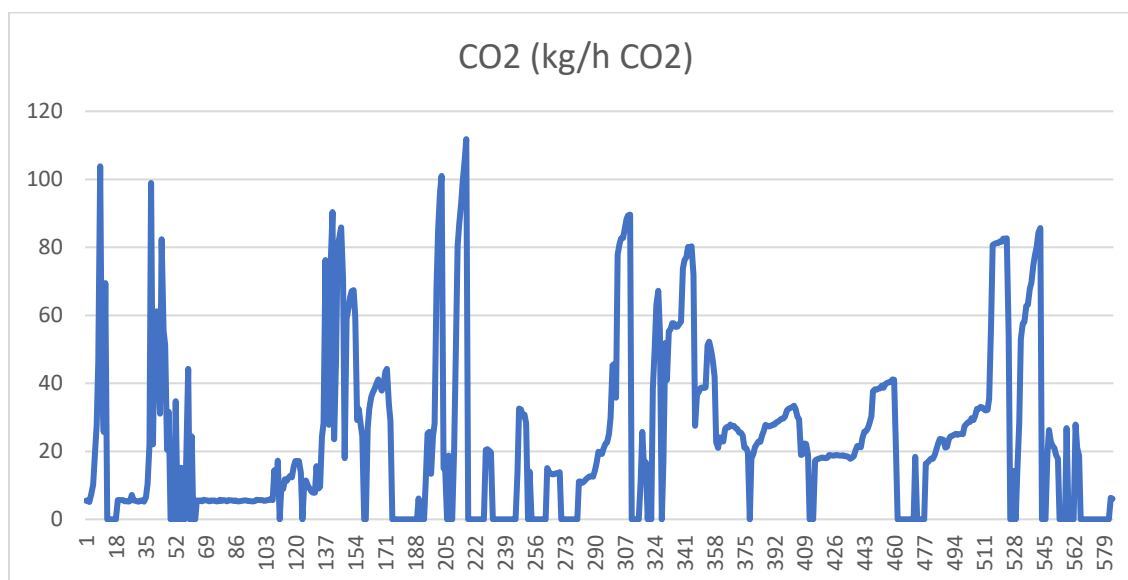


La figura 33 representa la variación del flujo de masa de aire que ingresa al motor durante la prueba dinámica en ruta. Se puede observar un comportamiento variable con múltiples valores picos que llegan alrededor de los 100 g/s lo que evidencia momentos de mayor exigencia del motor.

Estos picos coinciden con las demandas elevadas de potencia en tramos específicos de la gráfica, donde la ECU incrementa la entrada de aire para mantener una mezcla aire-combustible eficiente. Durante la prueba se puede observar múltiples oscilaciones, lo cual es característico en una conducción real con cambios frecuentes de velocidad.

5.3.4 EMISIONES DE CO₂

Figura 34. *Emisiones de CO₂*



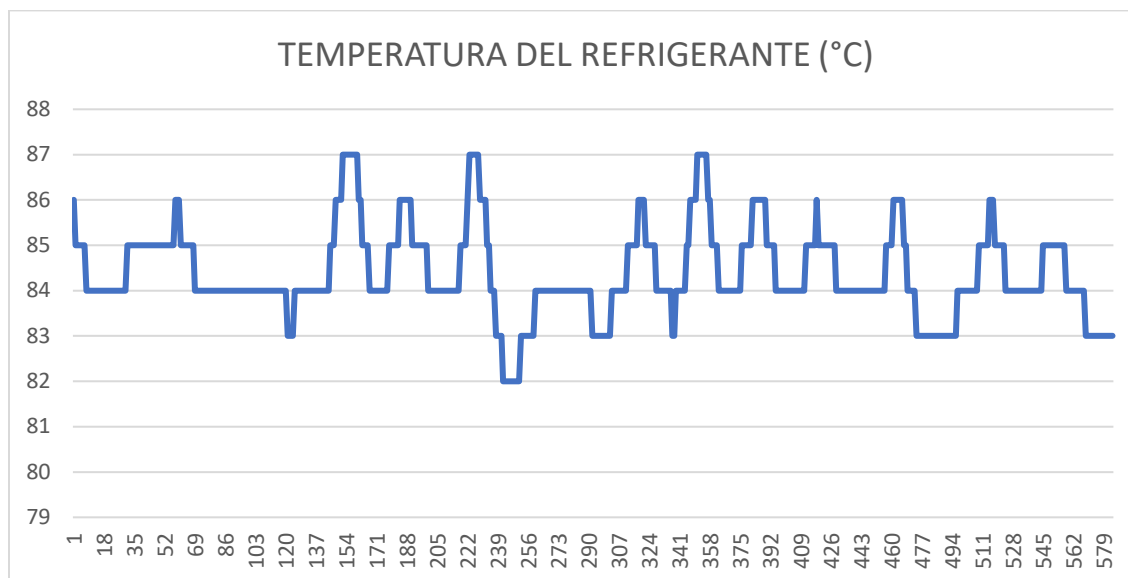
La figura 34 muestra la evolución de CO₂ en kg/h desprendido de CO₂ durante toda la prueba en ruta. Se evidencia variaciones considerables a lo largo de la prueba con valores picos que alcanzan los 100 kg/h, lo cual se puede deber a condiciones de alta exigencia al motor.

Durante los primeros tramos, las suben abruptamente, alrededor de un 100 kg/h lo que refleja el inicio del trayecto, evidenciando con el accionamiento del pedal del acelerador. Sin embargo, al someterse a altas cargas como lo son aceleraciones repentinas o cambios de marchas incrementa la carga del motor por lo tanto los valores de CO₂.

Los momentos de mayor emisión coinciden en condiciones de elevado flujo de aire y mayor flujo de combustible, lo que una combustión más activa. El conocimiento de estos valores puede ser útil para estrategias de conducción más eficiente.

5.3.5 TEMPERATURA DEL REFRIGERANTE

Figura 35. *Temperatura del Refrigerante*



La figura 35 muestra el comportamiento del refrigerante durante la prueba en ruta, los valores nos indica un comportamiento estable, oscilando entre 82°C y 87°C, lo cual respalda con el objetivo del presente proyecto.

Se puede observar pequeñas fluctuaciones que responden al régimen del trabajo del motor, donde incrementos leves de temperatura puede deberse a momentos de mayor carga. Sin embargo, el sistema responde eficazmente sin presentar sobrecalentamiento o un inicio de la prueba a temperaturas inadecuadas.

6. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS DATOS OBTENIDOS DURANTE LAS PRUEBAS, MEDIANTE LA APLICACIÓN DE UN SOFTWARE ESPECIALIZADO

En esta etapa, los datos previamente tabulados y recolectados serán analizados mediante correlación de PEARSON como medio para filtrar variables y posterior un análisis en software estadístico, una herramienta clave para el análisis de las variables. Además, de obtener una gráfica de superficie que nos permitirá la visualización de la interacción de las variables en relación con las emisiones de CO₂.

6.1 Designación de las variables para el estudio del flujo de combustible

Previo a un análisis estadístico es fundamental evaluar las posibles relaciones entre variables. El coeficiente de correlación de PEARSON es una función de Excel que nos permite identificar la relación entre dos variables.

Tabla 6. *Coeficiente de correlación de PEARSON entre variables del motor y flujo de combustible (L/h)*

Variable	Coeficiente de correlación (r)
Carga del motor (%)	0.86
Flujo de masa de aire (g/s)	0.85
Posición del pedal del acelerador (%)	0.79
Presión del riel de combustible (psi)	0.82
RPM del motor (rpm)	0.49
Temperatura del refrigerante (°C)	0.07
Velocidad (km/h)	0.35

La tabla 6 nos presenta el resumen del estudio realizado sobre las 8 variables del motor, este estudio, nos explica lo siguiente: A medida que el coeficiente se acerque a valores de +1 o -1, nos indicaría una correlación, en el caso de ser positiva (cuando los dos valores suben o bajan iguales) con el valor cercano a +1, mientras que, cuando es negativa (Una variable sube mientras que la otra baja) con valores cercanos a -1. Por otro lado, si el valor es cercano a cero nos indica una correlación nula o cercano a nula.

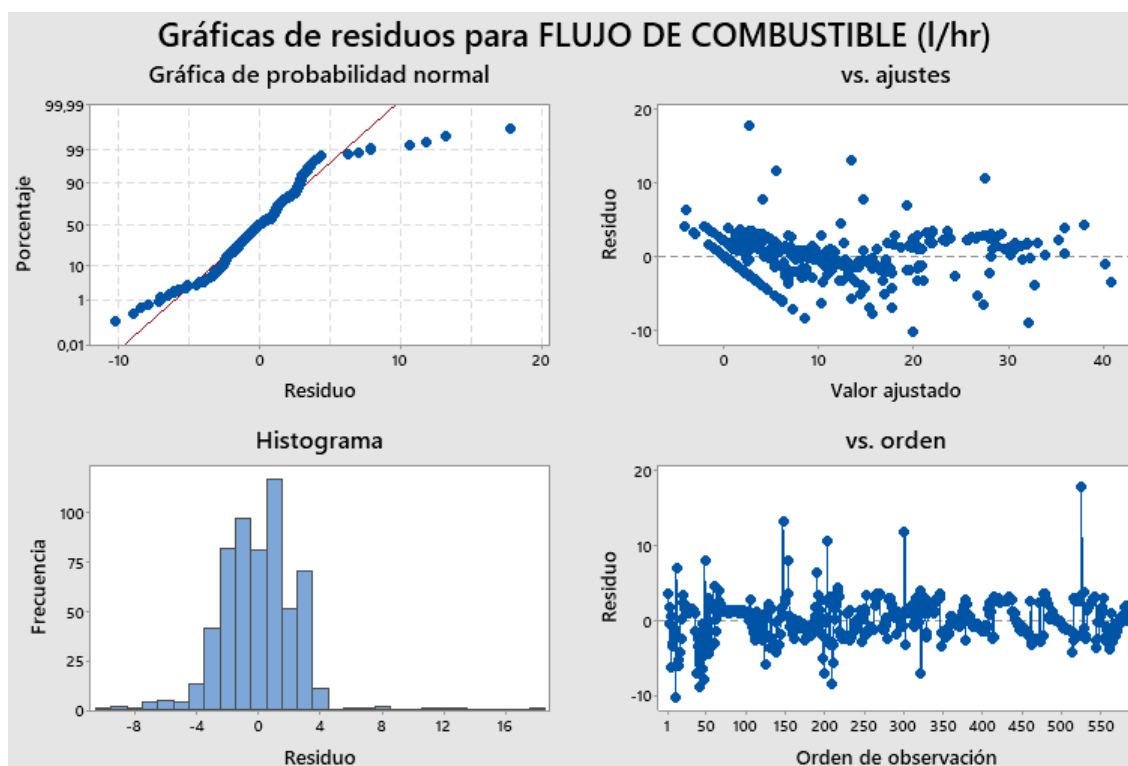
Por lo tanto, para el estudio en un software estadístico especializado se designó las siguientes variables: Carga del motor (%), Flujo de masa de aire (g/s), posición del pedal del acelerador (%), Presión del riel de combustible (psi) y velocidad (km/h).

6.2 Análisis del consumo de combustible

Para llevar a cabo el análisis del consumo de combustible y desarrollar un algoritmo capaz de predecir dicho consumo bajo condiciones normales de funcionamiento, se empleará un análisis de regresión múltiple (con múltiples variables). Este análisis se realizará utilizando los datos recopilados mediante el escáner automotriz y con el apoyo de un medidor de flujo.

6.2.1 Evaluación de supuestos mediante gráficos de residuos

Figura 36. Resumen de residuos gráficas 4 en 1.



La figura 36 nos presenta un informe de los residuos y su tendencia a lo normal. La gráfica de probabilidad normal, nos indica que hay desviaciones importantes en los extremos, que no siguen una tendencia (la línea roja), lo que indica valores atípicos en la toma de datos. Sin embargo, el comportamiento central se encuentra en la normalidad lo que es común por el tamaño de la muestra. La gráfica residuo vs ajustes, nos muestra la dispersión de los residuos relacionados alrededor del cero, por lo que nos indica una independencia de los datos. Mientras que el histograma debe tomar la forma de una campana simétrica para indicar una correcta distribución de los residuos. Por último, la gráfica residuos vs orden es lo suficientemente aleatorio, sin presencia de patrones que hablen de una mala aplicación del modelo.

6.2.2 Reporte de residuos

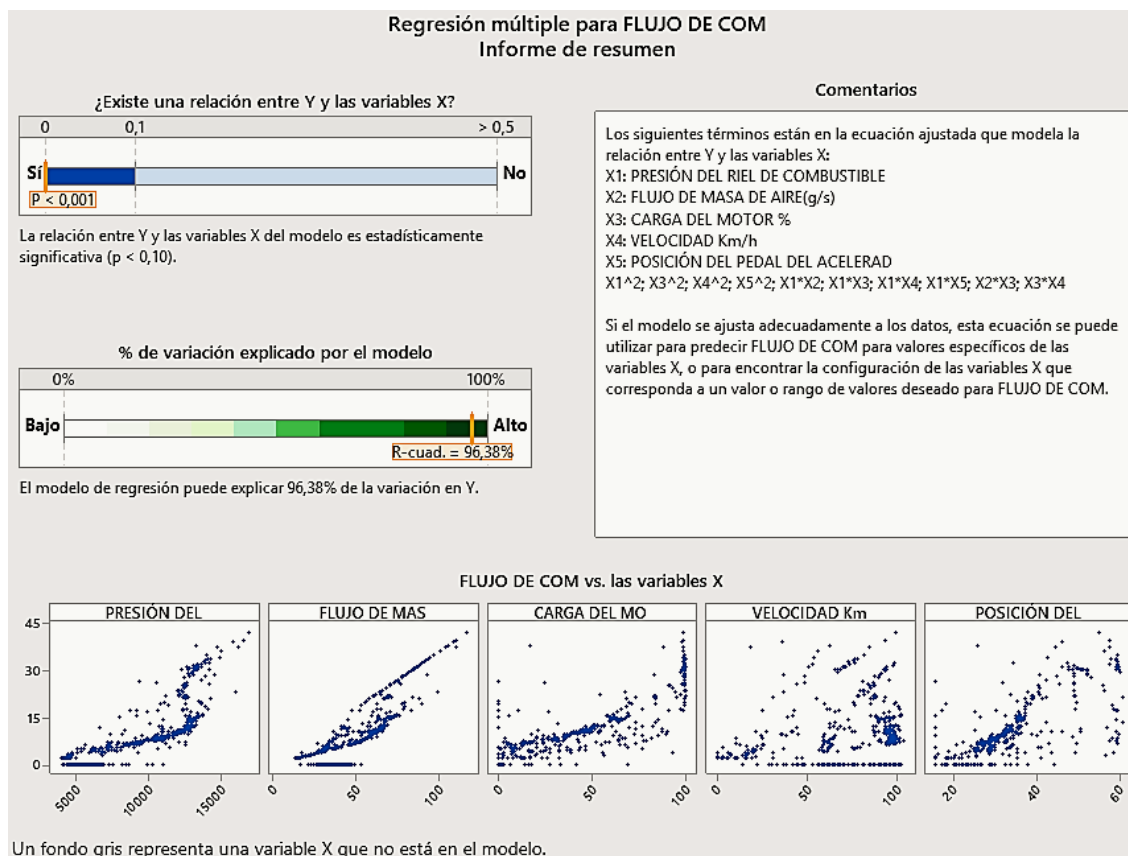
El reporte de residuos muestra que el tamaño de la muestra (584), es lo suficiente grande como crear un modelo. Se identifico la presencia de 38 puntos con residuos elevados, lo que nos sugiere que el modelo no predice bien estos valores. Mientras que existen 30 observaciones con valores atípicos.

La presencia de estos residuos nos indica la presencia de ruidos o presencia de variables no controladas que afectan la toma de datos, pero, el informe garantiza que el modelo cumple con los requisitos de normalidad, ya que la muestra tomada supera 15 puntos para que los supuestos no presenten un problema significativo.

6.2.3 Modelo de regresión múltiple

El análisis de regresión múltiple presentada en la figura 37 nos muestra un p-valor < 0.001 lo que indica una relación estadísticamente significativa entre la variable dependiente (Flujo de combustible), y las variables independientes.

Figura 37. Reporte del modelo de regresión múltiple



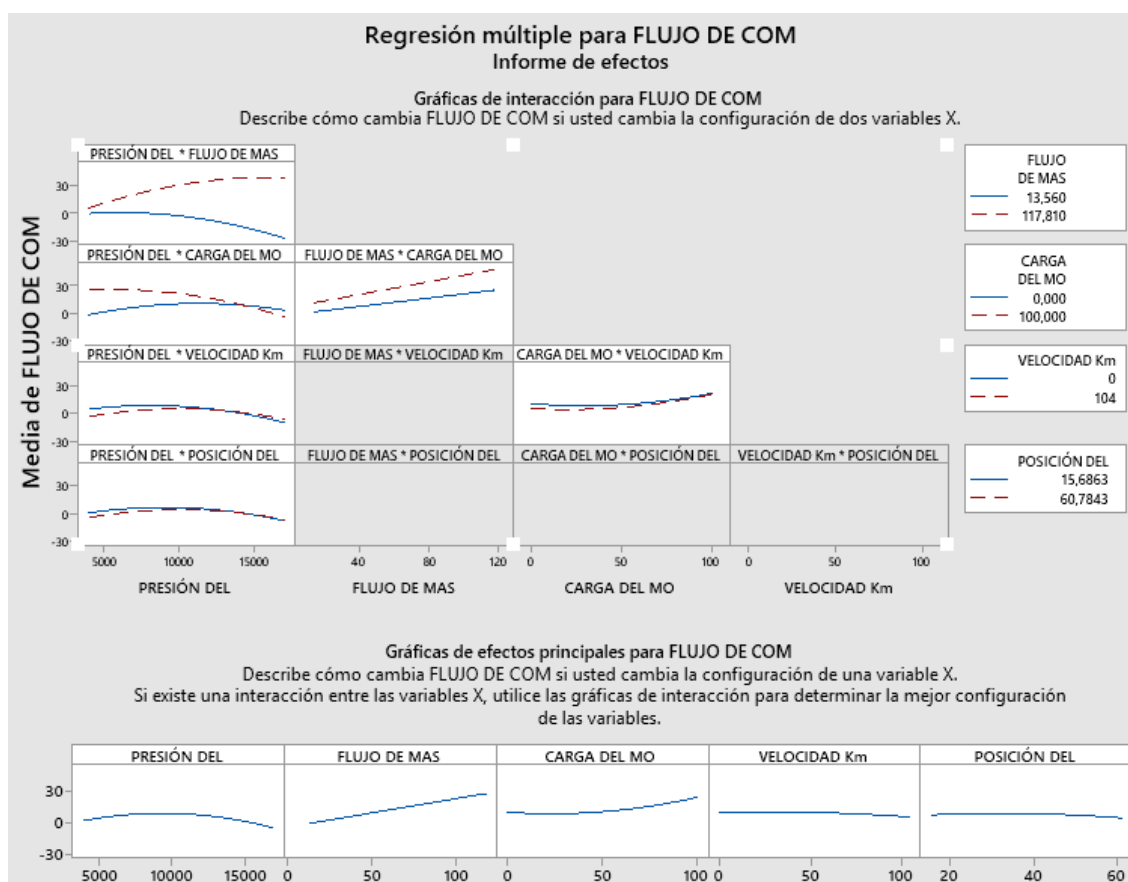
La Figura 37 también nos indica los gráficos de dispersión de las variables independientes de forma separada. Cada gráfica indica lo siguiente:

- La presión del riel del combustible presenta una dispersión significativa, aunque positiva.
- El flujo de masa de aire presenta una relación más lineal y positiva, la dispersión es menor lo que indica que es un parámetro fundamental para explicar el modelo.
- La carga del motor muestra una relación positiva, aunque se encuentra dispersa, lo que sugiere que este valor por sí solo no explica el flujo de combustible, pero si influye y añade información.

- La velocidad presenta una dispersión más significativa indicando una significancia menor al modelo.
- La posición del pedal del acelerador se presenta una dispersión positiva, con tendencia a la dispersión, pero con una significancia para aportar información al modelo predictivo.

6.2.4 Regresión múltiple reporte de interacciones

Figura 38. Reporte de las interacciones y efectos del modelo de Regresión.



La figura 38 analiza las interacciones entre las variables de independientes y como afectan al consumo de combustible. Los gráficos representan:

- Interacción de la presión del riel de combustible entre el flujo de masa de aire, indican que la presión del riel de combustible influye en el consumo de combustible sobre todo cuando el flujo de masa de aire es alto.
- La presión del riel de combustible y la carga del motor indica una interacción explicando como estas dos variables afectan al consumo.
- La presión del riel de combustible y la velocidad presenta una evidente interacción de las dos líneas.
- La presión del riel de combustible y la posición del pedal del acelerador nos indica una interacción, aunque al final de las líneas.
- Flujo de masa de aire y carga del motor presenta líneas rectas paralelas, por lo no tiene mucha fuerza la interacción de las variables.
- La carga del motor y la velocidad del vehículo presenta líneas que no son paralelas, ya que existe interacción, pero con una tendencia al paralelismo por lo que su interacción no es tan fuerte.

6.2.5 Coeficiente de determinación (R-Cuadrado)

El modelo aplicado nos indica un R-cuadrado ajustado de 96.38% lo que indica la capacidad de este para explicar la relación entre las variables con el consumo de combustible, validando de manera estadística la selección de variables independientes con respecto a la variable dependiente.

6.2.6 Ecuación resultante

$$\begin{aligned} \text{Flujo de combustible} = & -6,53 + 0,002222 \cdot X_1 - 0,1615 \cdot X_2 + 0,0256 \cdot X_3 - 0,0363 \cdot X_4 + 0,2341 \cdot X_5 \\ & - 0,000000 \cdot X_1^2 + 0,002608 \cdot X_3^2 - 0,000873 \cdot X_4^2 - 0,00520 \cdot X_5^2 + 0,000044 \cdot X_1 \cdot X_2 - \\ & 0,000026 \cdot X_1 \cdot X_3 + 0,000009 \cdot X_1 \cdot X_4 + 0,000011 \cdot X_1 \cdot X_5 + 0,001212 \cdot X_2 \cdot X_3 + 0,000422 \cdot X_3 \cdot X_4 \end{aligned}$$

Donde:

X1 = Presión del riel de combustible (%)

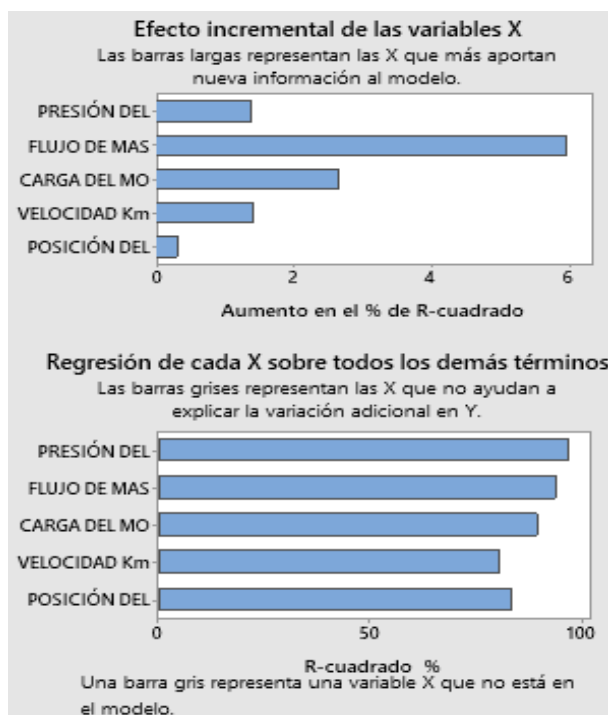
X2 = Flujo de masa de aire (g/s)

X3 = Carga del motor (%)

X4 = Velocidad (km/h)

X5 = Posición del pedal del acelerador (rpm)

Figura 39. Reporte de construcción del modelo de regresión múltiple



En la figura 39 se puede observar las relaciones de cada valor independiente con el flujo de combustible, donde, el coeficiente de determinación R-cuadrado promedio es de 96.38 % lo que indica la capacidad del modelo de explicar el 96.38% de los datos y su variabilidad. Un nivel claramente adecuado considerando la naturaleza de los valores y lo que nos permite predecir el consumo del combustible.

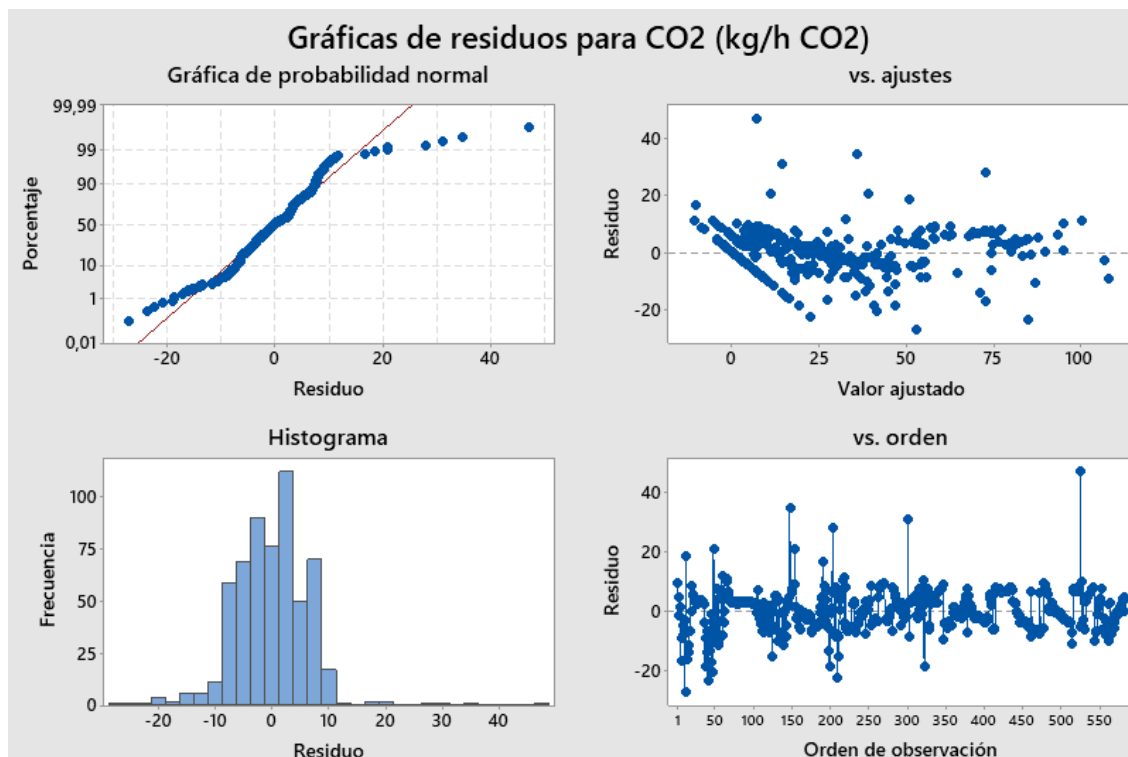
La gráfica también nos indica un promedio influyente, también se puede observar los valores que aportan con menor incidencia al modelo de predicción. La velocidad por si sola presenta un valor R-cuadrado de 80.71 %, un valor bajo, puede deberse a la naturaleza propia del dato. Por otro lado, se observa la variable más influyente en el modelo el cual es el flujo de la masa del aire, variable que afecta directamente al consumo de combustible.

6.3 Análisis de las emisiones de Dióxido de Carbono (CO₂ en Kg/h)

Para llevar a cabo el análisis de las emisiones de Dióxido de Carbono y desarrollar un algoritmo capaz de predecir dicha emisión bajo condiciones normales de funcionamiento, se empleará un análisis de regresión múltiple (con múltiples variables).

6.3.1 Evaluación de supuestos mediante gráficos de residuos

Figura 40. Resumen de residuos gráficas 4 en 1.



En la gráfica se observa un informe 4 en 1 para el resumen de residuos donde se observa lo siguiente:

- La gráfica de probabilidad normal muestra como los datos (puntos azules), presentan una tendencia a mantenerse en la línea central (roja) con la presencia de valores que se dispersan a los extremos.
- La gráfica de residuos vs valores ajustados muestra la tendencia de los valores a distribuirse alrededor del cero, considerando una independencia de los datos.
- La gráfica de frecuencia (histograma), sigue la forma de la campana de Gauss, con una distribución asimétrica a la derecha, con una concentración en cero, siguiendo la tendencia esperada.

- La gráfica de residuos vs orden presenta aleatoriedad, distribuidos en la zona positiva y negativa por lo que se sigue independencia.

6.3.2 Reporte de residuos

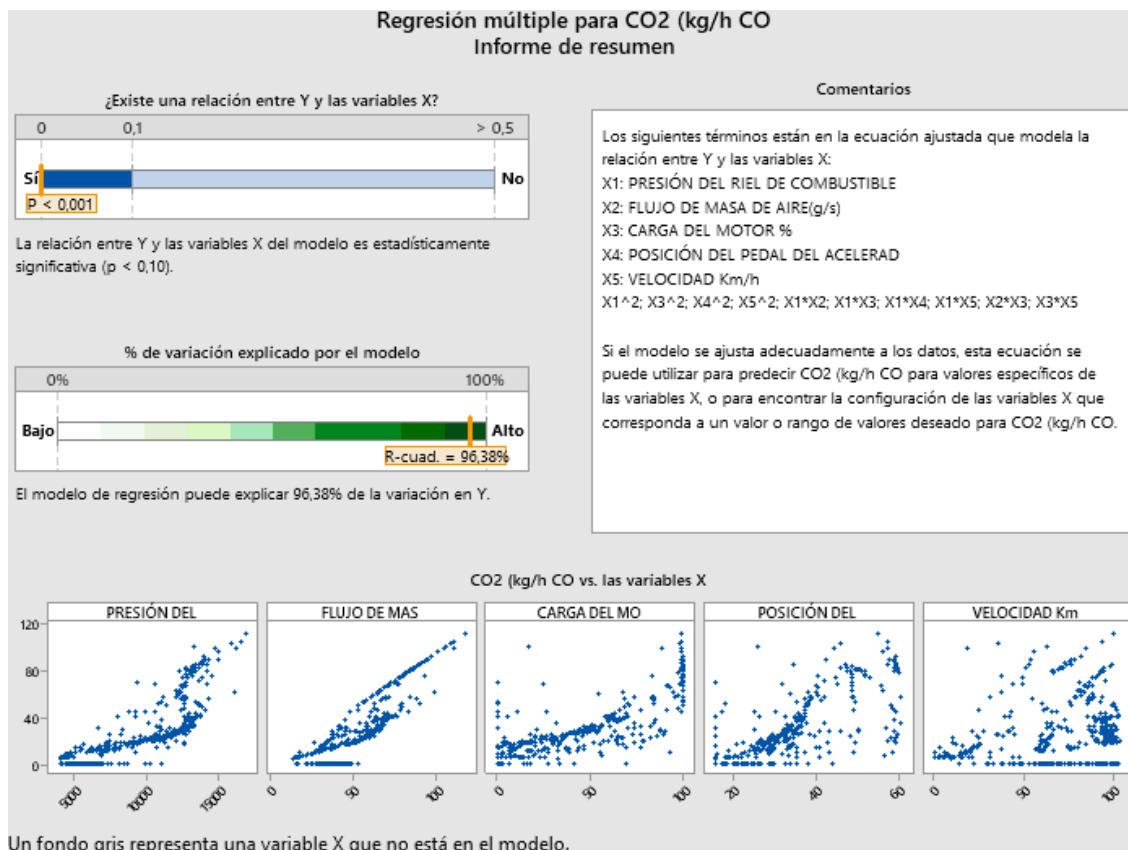
El reporte de residuos indica que el tamaño de la muestra (584), es lo suficiente grande como crear un modelo fuerte. Se identifico la presencia de 38 puntos con residuos elevados, lo que nos sugiere que el modelo no predice bien estos valores. Mientras que existen 30 observaciones con valores atípicos.

La presencia de estos residuos nos indica la presencia de ruidos o presencia de variables no controladas que afectan la toma de datos, pero, el informe garantiza que el modelo cumple con los requisitos de normalidad, ya que la muestra tomada supera 15 puntos para que los supuestos no presenten un problema significativo.

6.3.3 Modelo de regresión múltiple

El análisis de regresión múltiple presentada en la figura 41 nos muestra un p-valor < 0.001 lo que indica una relación estadísticamente significativa entre la variable dependiente (Emisiones de Dióxido de carbono CO₂), y las variables independientes.

Figura 41. Reporte del modelo de regresión múltiple



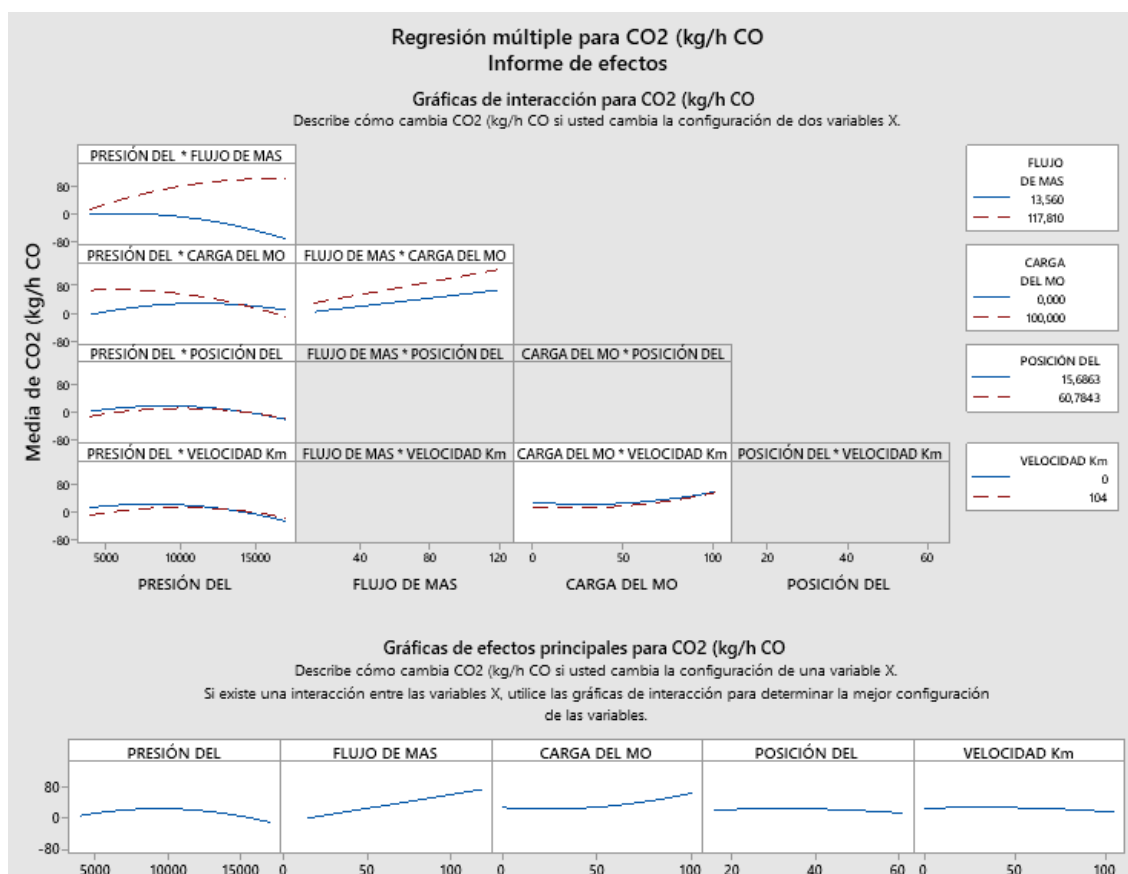
La gráfica muestra la dispersión de las variables independientes de forma separada. Cada gráfica indica lo siguiente:

- La presión del riel del combustible presenta una linealidad positiva donde los puntos de dispersión tratan de seguir una tendencia y a medida que aumenta, las emisiones también tienden a subir.
- El flujo de masa de aire presenta una relación más lineal y positiva, la dispersión es menor lo que indica que es un parámetro fundamental para explicar el modelo indicando una relación más directa entre el flujo de masa y las emisiones.

- La carga del motor presenta tendencia presencia positiva leve, aunque se encuentra dispersa, lo que sugiere que hay una ligera tendencia a mayores emisiones, pero con mayor dispersión.
- La velocidad presenta una dispersión más significativa indicando una significancia menor al modelo. Por lo que no se observa una relación directa, indicando que este valor necesita de los demás parámetros para explicar el modelo.
- La posición del pedal del acelerador se presenta una dispersión positiva, con tendencia a la dispersión, pero con una significancia para aportar información al modelo predictivo.

6.3.4 Regresión múltiple reporte de interacciones

Figura 42. Reporte de las interacciones y efectos del modelo de Regresión.



Las gráficas analizan las interacciones entre las variables de independientes y como afectan a las emisiones de CO₂. Los gráficos representan:

- La unión entre la presión del riel de combustible y el flujo de masa de aire, presenta una línea casi paralela, lo que indica una leve interacción de las variables con relación al desprendimiento de emisiones contaminantes.
- La presión del riel de combustible y la carga del motor, ya presenta líneas no paralelas, lo que indica una interacción más fuerte, indicando que la presión del riel de combustible baja se relaciona con el aumento de emisiones cuando la carga del motor es alta.
- La presión del riel de combustible y la posición del pedal del acelerador indica líneas paralelas cercanas con interacción al final por lo que estos parámetros tienen una correlación leve.
- La presión del riel de combustible y la velocidad, presenta líneas no paralelas, aunque no es tan evidente, tiene una interacción fuerte.
- El flujo de masa de aire y la carga del motor, presenta líneas paralelas, por lo que su interacción es débil, pero no nula ya que tienden a presentar interacción.
- La carga del motor y la velocidad del vehículo presenta líneas curvas tendiendo al paralelismo, pero con una interacción leve.

6.3.5 Coeficiente de determinación (R-Cuadrado)

El modelo aplicado nos indica un R-cuadrado ajustado de 96.38%, lo que indica la capacidad de este para explicar la relación entre las variables independiente con el desprendimiento de las emisiones de Dióxido de Carbono (CO₂), validando de manera estadística la selección de variables independientes con respecto a la variable dependiente.

6.3.6 Ecuación resultante

$$\begin{aligned} \text{CO}_2 \text{ (kg/h CO}_2\text{)} = & -17.56 + 0.00589 \cdot X_1 - 0.428 \cdot X_2 + 0.0679 \cdot X_3 - 0.0620 \cdot X_4 - 0.0961 \cdot X_5 - \\ & 0.000001 \cdot X_1^2 + 0.006911 \cdot X_3^2 - 0.01379 \cdot X_4^2 - 0.002315 \cdot X_5^2 + 0.000116 \cdot X_1 \cdot X_2 - \\ & 0.000070 \cdot X_1 \cdot X_3 + 0.000030 \cdot X_1 \cdot X_4 + 0.000023 \cdot X_1 \cdot X_5 + 0.00321 \cdot X_2 \cdot X_3 + 0.001118 \cdot X_3 \cdot X_5 \end{aligned}$$

Donde:

X1 = Presión del riel de combustible (%)

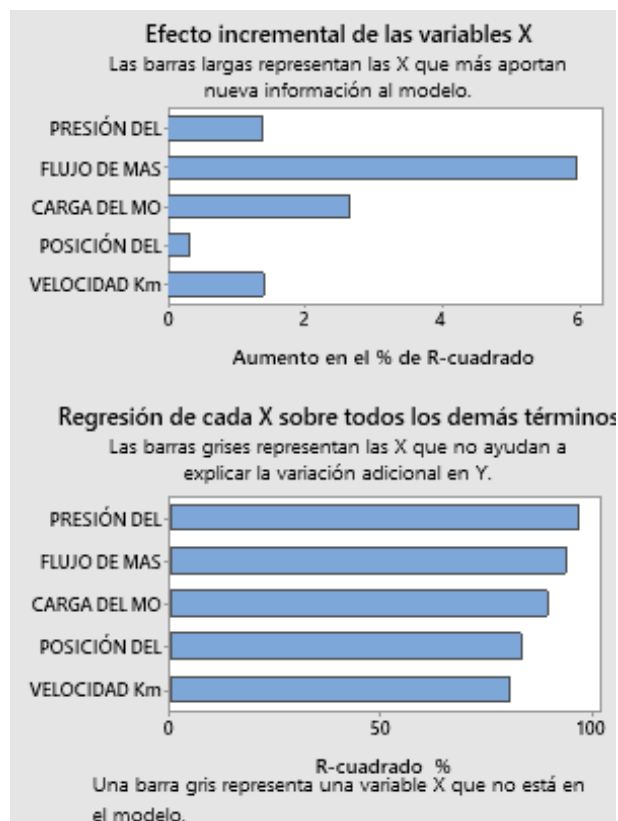
X2 = Flujo de masa de aire (g/s)

X3 = Carga del motor (%)

X4 = Posición del pedal del acelerador (%)

X5 = Velocidad (km/h)

Figura 43. Reporte de construcción del modelo de regresión múltiple



La gráfica muestra las relaciones de cada valor independiente con las emisiones de CO₂, donde, el coeficiente de determinación R-cuadrado promedio es de 96.38 % lo que indica la capacidad del modelo de explicar el 96.38% de los datos y su variabilidad. Un nivel claramente adecuado considerando la naturaleza de los valores y lo que nos permite predecir las emisiones de CO₂.

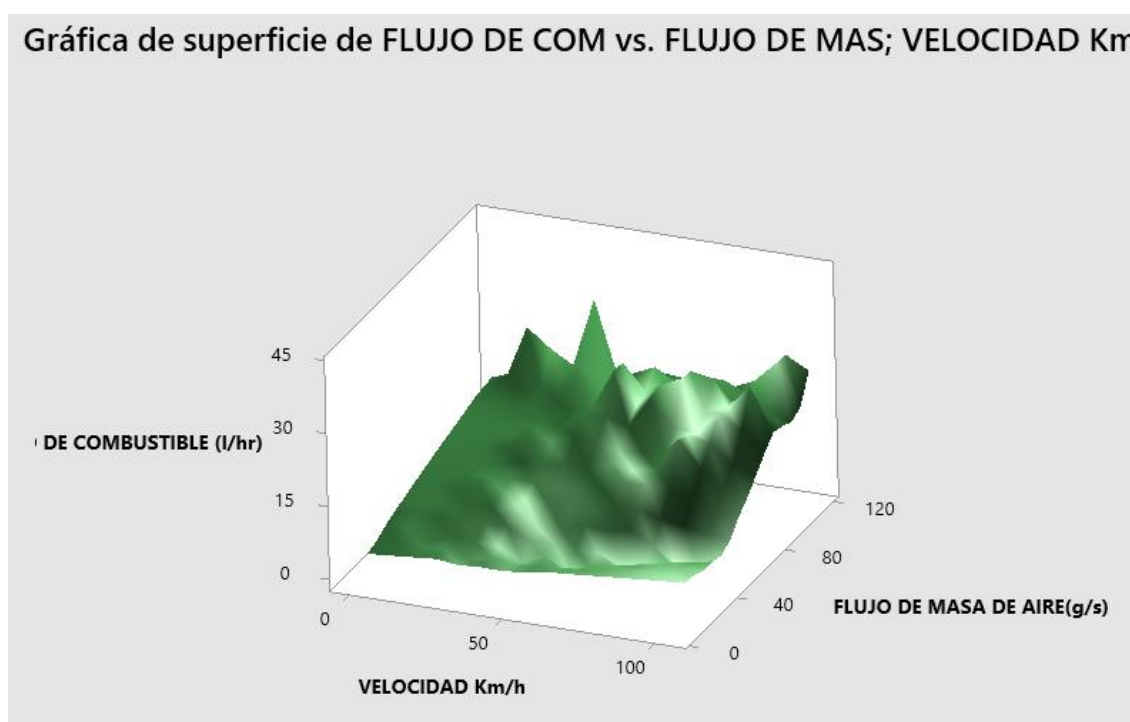
La gráfica también nos indica un promedio influyente, también se puede observar los valores que aportan con menor incidencia al modelo de predicción. La velocidad por si sola presenta un valor R-cuadrado de 80.71 %, un valor bajo, puede deberse a la naturaleza propia del dato. Por otro lado, se observa la variable más influyente en el modelo el cual es el flujo de la masa del aire, variable que afecta con mayor fuerza a las emisiones de CO₂.

6.4 Análisis de resultados

El análisis de resultados tendrá un enfoque visual, en el cual se empleará gráficos de superficies y de contorno. Lo que permitirá visualizar el comportamiento del flujo de combustible y las emisiones de CO₂ en función de variables operativas estudiadas en el software estadístico.

6.4.1 Modelo de superficie variables vs flujo de combustible

Figura 44. Gráfica de superficie Flujo de combustible vs Flujo de masa de aire y velocidad del vehículo.

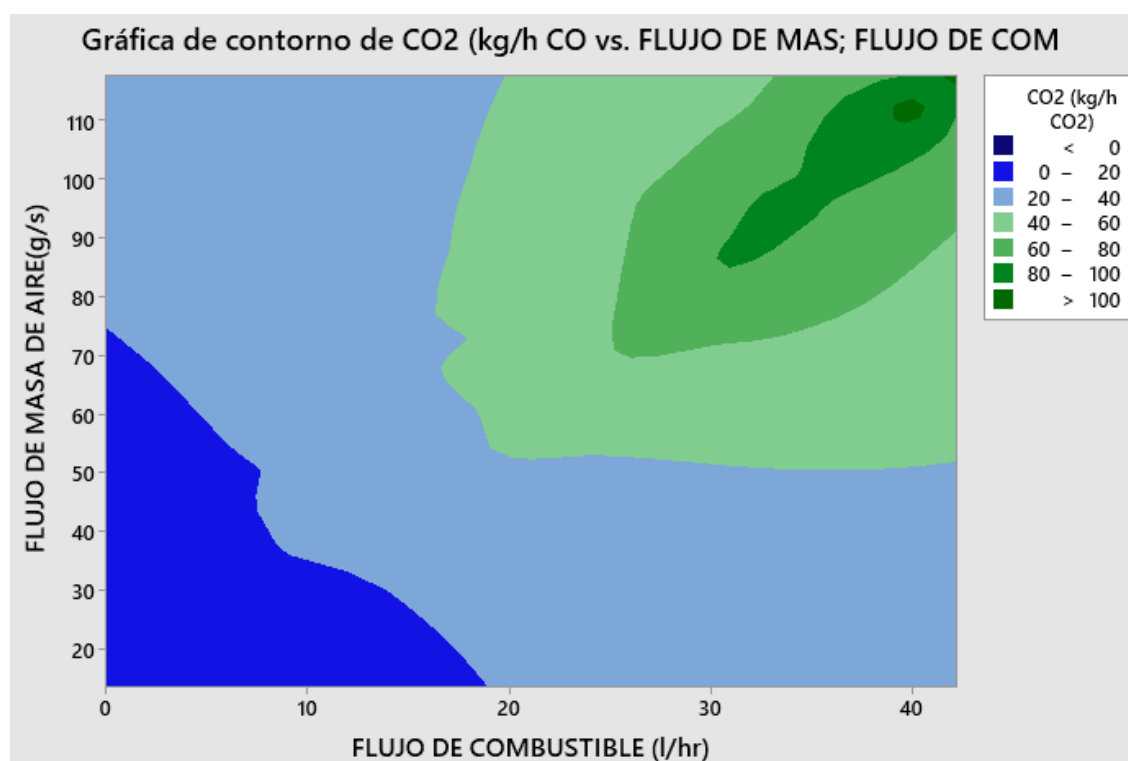


La gráfica señala la relación que posee el flujo de masa de aire (g/s) y la velocidad del vehículo (km/h) al flujo de combustible. Se observa un incremento pronunciado del flujo de combustible a medida que aumenta tanto el flujo de masa de aire como la velocidad del vehículo. Al centro del modelo se observan relieves con tendencia incremental en relación con el flujo de masa de aire, al interactuar con la velocidad se observa picos y valles que no se explican solo con la velocidad, teniendo la necesidad de compararlo la posición del pedal del acelerador.

El gráfico de superficie confirma de manera visual la validez del modelo de regresión múltiple al mostrar como el flujo de combustible responde a los cambios de las variables independientes. Además, de mostrar la relación entre estas dos variables, lo que refuerza la ecuación en términos de interacción.

6.4.2 Modelo de superficie variables vs Dióxido de carbono CO₂

Figura 45. Gráfico de Contorno del CO₂ (kg/h) en función del Flujo de Combustible (l/h) y el Flujo de Masa de Aire (g/s).

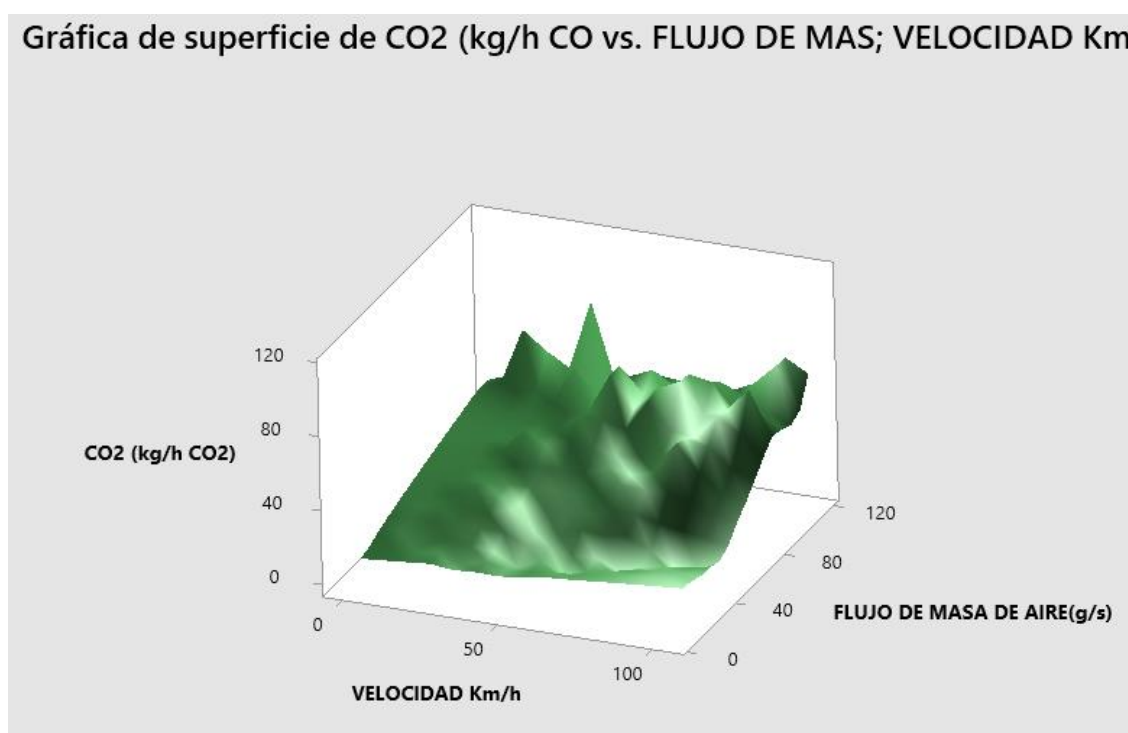


La gráfica muestra la relación entre las emisiones de dióxido de carbono (CO₂ en kg/h), respecto a dos variables. El gráfico de contorno nos indica una relación directa del flujo de combustible, este al aumentar también lo hacen las emisiones, lo cual se espera debido a que mayor cantidad de combustible consumido aumenta la producción de gases de combustión. El efecto del

flujo de masa de aire también incrementa las emisiones de CO₂, pero en menor medida que el combustible.

La gráfica valida que las emisiones de CO₂ tienen a aumentar de manera descontrolada en condiciones reales de conducción, diferenciando a las pruebas de ensayo en ralentí y de aceleración normalmente para revisiones técnicas o pruebas en laboratorio.

Figura 46. Gráfico de Superficie 3D del CO₂ (kg/h) en función de la velocidad del vehículo y el Flujo de Masa de Aire (g/s).



La gráfica representa como varía las emisiones de CO₂ en función de dos variables independientes. Donde se observa que existe una relación directa entre las variables, a medida que la velocidad del vehículo aumenta, por encima los 70 km/h, las emisiones de CO₂ también aumentan considerablemente y esto mientras que el flujo de masa de aire aumenta de igual manera. También se observa un aumento cuando la velocidad es baja, explicado por parámetros como la

posición del pedal del acelerador y la carga que experimenta el motor en ese instante, ya que, el vehículo necesita vencer su propio peso para iniciar el recorrido.

La forma de la superficie nos indica que los valores bajos de ambas variables tienen consecuencias de generar bajas emisiones, siempre y cuando, no exista pendiente que genere una carga extra al motor como se observa en la gráfica de topografía. La forma no lineal de la gráfica, es decir, los picos y valles, puede estar influenciado por interacciones entre variables como la eficiencia de la combustión o el ajuste de la ECU a la mezcla aire-combustible para cumplir con las cargas elevadas del motor.

7. CONCLUSIONES

La revisión bibliográfica permitió el desarrollo de un protocolo para el desarrollo de la parte experimental donde la metodología aplicada por diversas instituciones o naciones permitieron la exploración de técnicas, recursos, rutas, y datos relevantes para el éxito del caso estudiado.

El estudio indica que en situaciones donde las exigencias de la ruta nos demandan la elevación de la carga del motor, esto relacionado con el accionamiento del pedal del acelerador y el aumento del flujo de la masa de aire, aumenta de manera incremental el consumo de combustible.

De la misma manera se evidencia el efecto del consumo de combustible en el incremento de las emisiones de CO₂ sobre todo cuando la velocidad tiende a incrementar.

Finalmente, el presente estudio permitió identificar de manera estadística la relación de factores que inciden de manera parcial o total al consumo de combustible y las emisiones de CO₂

en un vehículo con sistema CRDi. Este estudio destaca el impacto que presenta las condiciones de conducción como lo es la topografía, estilos de conducción, la temperatura ambiente, entre otros. Permitiendo predecir el consumo de combustible mediante análisis estadísticos, bajo condiciones típicas de conducción.

El análisis mediante un coeficiente de correlación permitió generar un filtrado de variables para un estudio más centrado, obteniendo como resultado un modelo predictivo con una confiabilidad de R-cuadrado de 96.38 %, en ambos casos, validando su capacidad explicativa, además, de obtener una relación de variables que mayor inciden en el consumo de combustible, y las emisiones de CO₂, como resultado, el flujo masico de aire con mayor impacto en el modelo.

8. RECOMENDACIONES

Para reducir las emisiones y consumo de combustible se recomienda usar tecnologías como lo es control crucero, además, de evitar un estilo de conducción agresiva con aceleraciones bruscas constantemente. Además, de evitar el aumento de las RPM en el vehículo sobre todo en momentos de mayor exigencia (subidas).

Es fundamental implementar prácticas de mantenimiento y modernización vehicular en el país, especialmente ante la creciente incorporación de nuevas tecnologías en el sector automotriz que los vehículos antiguos no integran.

El mantenimiento adecuado de sistemas clave como el catalizador, la válvula EGR y el depósito de carbón activado resulta esencial para reducir las emisiones contaminantes. Estas acciones no solo prolongan la vida útil del vehículo, sino que también promueven una movilidad

más sostenible y ambientalmente responsable, alineada con prácticas ecológicas y normativas actuales de control de emisiones.

9. BIBLIOGRAFÍA

Villalobos, J., & Wilmsmeier, G. (2016, May 1). Estrategias y herramientas para la eficiencia energética y la sostenibilidad del transporte de carga por carretera.

<https://repositorio.cepal.org/entities/publication/16e10c75-5d56-4d94-840a-150ba17c87fd>

Shahariar, G. H., Bodisco, T. A., Zare, A., Sajjad, M., Jahirul, M., Van, T. C., Bartlett, H., Ristovski, Z., & Brown, R. J. (2022). Impact of driving style and traffic condition on emissions and fuel consumption during real-world transient operation. *Fuel*, 319, 123874.

<https://doi.org/10.1016/j.fuel.2022.123874>

Zuriaga, P. S., Alandí, R. S., Villalba, I., & Fernández, P. M. (2014). MEDICIÓN DEL CONSUMO DE COMBUSTIBLE EN AUTOMOTORES DIÉSEL PARA SU GESTIÓN ENERGÉTICAMENTE EFICIENTE. ResearchGate.

https://www.researchgate.net/publication/265301296_MEDICION_DEL_CONSUMO_DE_COMBUSTIBLE_EN_AUTOMOTORES_DIESEL_PARA_SU_GESTION_ENERGETICAMENTE_EFICIENTE

World Health Organization: WHO. (2024). Air pollution. https://www.who.int/health-topics/air-pollution#tab=tab_1

Google. (s.f.). Universidad Politécnica Salesiana del Ecuador [Mapa]. Google Maps.

<https://www.google.com/maps/place/Universidad+Polit%C3%A9cnica+Salesiana+del+Ecuador/@-2.886008,-78.9921409>

Google. (s.f.). Ruta desde Universidad Politécnica Salesiana del Ecuador hasta Gasolinera Chaullabamba Primax Atimasa [Mapa]. Google Maps.
<https://www.google.com/maps/dir/Universidad+Polit%C3%A9cnica+Salesiana+del+Ecuador,+Calle+Vieja,+Cuenca/Gasolinera+Chaullabamba+primax+atimasa>

Garrido Quintana, D. A., & Álvarez Luzuriaga, V. H. (2016). Estudio de la evolución de los CRDI (Common Rail Direct Injection) en función del combustible en Sudamérica [Tesis de pregrado, Universidad Internacional del Ecuador]. Repositorio UIDE.
<https://repositorio.uide.edu.ec/bitstream/37000/1766/1/T-UIDE-1313.pdf>

Dynamic Diesel. (s.f.). http://www.dynamicdiesel.cl/common_rail.html

Auto Avance. (s.f.). MANUAL SISTEMA DE INYECCION COMMON RAIL. Scribd.
<https://es.scribd.com/document/468561181/MANUAL-SISTEMA-DE-INYECCION-COMMON-RAIL?v=0.579>

Mansuera. (s.f.). GM 8980677613 Conjunto Filtro de Combustible.
<https://www.mansuera.com/gm-8980677613-conjunto-filtro-de-combustible>

AreaVAG Foro. (2025, 10 julio). Fallo presión combustible CBD [Hilo de discusión]. AreaVAG.
<http://www.areavag.com/foro/showthread.php?57016-Fallo-presi%20n-combustible-cbd/page3>

Talleres Cuenca. (2018). El sistema Common Rail (P.III): Bombas de alta presión. Recuperado de
<https://tallerescuenca.com/el-sistema-common-rail-p-iii-bombas-de-alta-presion/>

Auto Avance. (2017). Válvula Reguladora de presión Sistemas Diesel Common Rail. Curso Automotriz - Curso Virtual Automotriz - Capacitación Automotriz.

https://www.autoavance.co/blog-tecnico-automotriz/147-valvula-reguladora-de-presion-sistemas-diesel-common-rail/?utm_source=chatgpt.com

Mecanicaautomotrizdgm. (2019). Sistema Common Rail. Concepto, función, ventajas tipos e importancia. MECANICA AUTOMOTRIZ.

<https://mecanicaautomotrizdg.wordpress.com/2019/01/19/sistema-common-rail-concepto-funcion-ventajas-tipos-e-importancia/>

Sensor Automotriz. (s.f.). Sensor CKP: Qué es, tipos, cómo funciona y síntomas de falla. <https://sensorautomotriz.com/sensor-ckp/>

Sensor Automotriz. (s.f.). Sensor de posición del árbol de levas - Sensor CMP. Sensor Automotriz. <https://sensorautomotriz.com/sensor-cmp/>

Sensor Automotriz. (s.f.). Sensor de temperatura refrigerante - Sensor ECT. Sensor Automotriz. <https://sensorautomotriz.com/sensor-ect/>

Ministerio de Transporte y Obras Públicas del Ecuador. (s.f.). Inicio. <https://www.obraspublicas.gob.ec/>

LAUNCH SCANNER X-431 PRO v 5.0 – CONAUTO. (s.f.). <https://www.conauto.com.ec/index.php/launch-scanner-x-431-pro-v-5-0/>

AUTECH. (2024). Launch X-431 PRO GT. <https://autech.com.ec/product/launch-x-431-pro-gt/>

AIC. (2025). AIC BC-3329. <https://www.flowmeter-aic.com/aic-bc-3329/>

General Motors Ecuador. (2019). Chevrolet.com. Recuperado el 02 de abril de 2025, de <https://www.chevrolet.com.ec/content/dam/chevrolet/south->

america/ecuador/espanol/index/pickups-and-trucks/2019-dmax/mov/01-pdf/d-max-ficha-tecnica.pdf

Thinkcar. (2025). THINKCAR PLATINUM S10 PRO.

https://thinkcarus.com/es/products/ps10pro?srsId=AfmBOoqBb8gVyAPJ-BAWlgaserIp0Uo_uxOrP9awHuC9XDFfVBUgAwZb

Santiago, A. M. (2018). Sensores automotrices. *ResearchGate*.

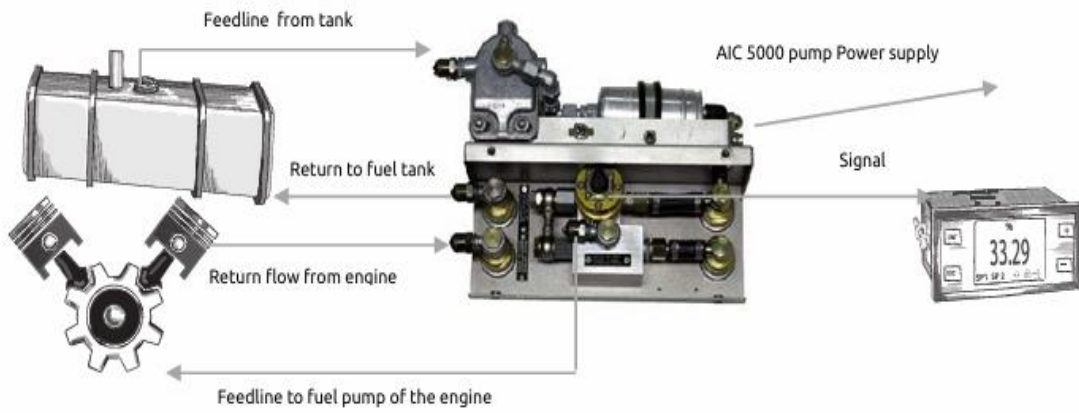
<https://doi.org/10.13140/RG.2.2.11558.98883>

Sistema de inyección Common- Rail. (2011, March 15). Josemaco's Blog.

<https://josemaco.wordpress.com/2010/03/30/sistema-common-rail/>

10. ANEXOS

Anexo A. Conexión de medidor de flujo AIC 5000.



Anexo B. *Conexión retorno.*



Anexo C. *Conexión medidora de flujo AIC 5000.*



Anexo D. *Ubicación medidora de flujo AIC 3329.*



Anexo E. *Ubicación medidora de flujo AIC 5000.*



Anexo F. Prueba en ruta.