



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

SEDE CUENCA

CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

**ESTIMACIÓN DEL CONSUMO DE COMBUSTIBLE Y MEDICIÓN DE CO₂ EN UN
VEHÍCULO CON SISTEMA DE INYECCIÓN CRDI 2.0 LITROS EN ARRANQUE EN
FRIO**

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

AUTORES: LENIN ISMAEL PIEDRA JARA

ANDRÉS SEBASTIÁN ULLOA ASTUDILLO

TUTOR: ING. LAURO FERNANDO BARROS FAJARDO, MSc.

Cuenca - Ecuador

2025

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, Lenin Ismael Piedra Jara con documento de identificación N° 0302023460 y Andrés Sebastián Ulloa Astudillo con documento de identificación N° 0105965842; manifestamos que:

Somos los autores y 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.

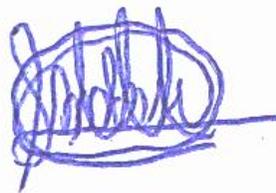
Cuenca, 04 de febrero del 2025

Atentamente,



Lenin Ismael Piedra Jara

0302023460



Andrés Sebastián Ulloa Astudillo

0105965842

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

Nosotros, Lenin Ismael Piedra Jara con documento de identificación N° 0302023460 y Andrés Sebastián Ulloa Astudillo con documento de identificación N° 0105965842, 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: “Estimación del consumo de combustible y medición de CO2 en un vehículo con sistema de inyección CRDi 2.0 litros en arranque en frio”, 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.

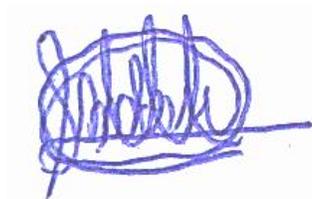
Cuenca, 04 de febrero del 2025

Atentamente,



Lenin Ismael Piedra Jara

0302023460



Andrés Sebastián Ulloa Astudillo

0105965842

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: ESTIMACIÓN DEL CONSUMO DE COMBUSTIBLE Y MEDICIÓN DE CO2 EN UN VEHÍCULO CON SISTEMA DE INYECCIÓN CRDI 2.0 LITROS EN ARRANQUE EN FRIO, realizado por Lenin Ismael Piedra Jara con documento de identificación N° 0302023460 y por Andrés Sebastián Ulloa Astudillo con documento de identificación N° 0105965842, 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, 04 de febrero del 2025

Atentamente,



Ing. Lauro Fernando Barro Fajardo, MSc.

0103653457

DEDICATORIA

El presente proyecto va dedicado primeramente a Dios a mis padres Polivio y Lola que siempre me han estado impulsando, apoyándome incondicionalmente toda mi vida a mi hermano Daniel, mi hermana Milagros que han estado apoyándome y preocupándose por mí, para mi cuñada Karla mi sobrina Alejandra, a mis tres abuelitos que los tengo en el cielo y mi abuelita que es como mi segunda madre

De igual manera para mis familiares que siempre han querido verme triunfar al igual que a mis amigos de la infancia y finalmente para mis compañeros de la universidad que se volvieron mis amigos, especialmente mi amigo Jeyco y siempre nos hemos estado apoyándonos unos a otros.

Lenin Ismael Piedra Jara.

DEDICATORIA

Con gratitud y profundo respeto, dedico este trabajo a mi familia, cuyo apoyo incondicional y palabras de aliento han sido fundamentales en cada etapa de mis estudios y de mi vida. Su confianza en mis capacidades me ha impulsado a superar desafíos y a perseverar hasta este momento de mi vida.

También agradezco a todas las personas que han formado parte de mi vida que a través de sus enseñanzas me han enseñado diversos valores y como ser una gran persona siempre apoyándonos en los momentos más difícil, a mis amigos de la universidad que siempre han acompañado en este camino.

Andrés Sebastián Ulloa Astudillo

AGRADECIMIENTO

El presente trabajo de titulación primeramente me gustaría agradecer a Dios por permitirme cumplir este sueño que él supo cuánto lo anhelaba y que lo lograría sin importar el tiempo y las adversidades, a mi papá que me enseñó y guió para poder seguir esta hermosa carrera a mi mamá y hermanos que nunca me dejaron de impulsar a seguir adelante y no rendirme con su apoyo incondicional también a mi cuñada y sobrina por su apoyo, a todos los ingenieros quienes me brindaron sus conocimientos no solo en el ámbito educativo, practico sino también inculcando valores que nos sirven en la vida para ser una mejor persona y mejor profesional, a mi tutor Ing. Lauro Barros por su apoyo por brindarme sus conocimientos y disposición en todo momento, Ing. Jimmy por su disposición y apoyo en todo este tiempo de aprendizaje, a mis amigos de infancia

Lenin Ismael Piedra Jara.

AGRADECIMIENTO

Es Hoy, al presentar el resultado de este esfuerzo, quiero tomar un momento para expresar mi más profundo agradecimiento a aquellas personas que han sido pilares fundamentales en este camino. A mis padres José Ulloa y Jenny Astudillo, quienes han sido mi mayor fuente de inspiración, apoyo incondicional y guía en cada paso de mi vida. Su amor, sacrificio y enseñanzas han sido el motor que me ha impulsado a superar cada desafío. Gracias por su paciencia, por su confianza en mí y por brindarme la oportunidad de seguir creciendo, tanto personal como profesionalmente. Sin su respaldo, nada de esto hubiera sido posible. Quiero dedicar unas palabras de profundo agradecimiento a una persona muy especial en mi vida, mi tía Esthela Ulloa quien ha sido un pilar fundamental en este camino académico y personal. Gracias, tía, por tu apoyo incondicional, por tus palabras llenos de sabiduría y por estar siempre presente en los momentos más importantes de mi vida. Tu cariño, paciencia y palabras de aliento han sido

una fuente constante de motivación para seguir adelante, incluso en los momentos más difíciles. a mi amigo Adrián Quezada por su apoyo incondicional durante este proceso. Su compañía, palabras de aliento y disposición para ayudar en los momentos más difíciles han sido invaluable

Este trabajo no solo es el resultado de mi esfuerzo, sino también de todas aquellas personas que, de una forma u otra, me han acompañado en este proceso. A todos ellos, les expreso mi gratitud más sincera.

Andrés Sebastián Ulloa Astudillo.

RESUMEN

En la fase 1 del proyecto en este se expone los fundamentos teóricos y el estado del arte sobre el consumo de combustible y las emisiones de CO₂ en motores diésel con sistema de inyección Common Rail Direct Injection (CRDi). Se analiza la evolución de los sistemas de inyección y los beneficios del CRDi, como la reducción del consumo y emisiones. Además, se detallan los componentes clave del sistema, incluyendo la bomba de alta presión, el riel común y los inyectores, así como la importancia de la gestión electrónica del motor a través de la ECU y sensores para optimizar la combustión y minimizar el impacto ambiental.

En la fase 2, se describe la metodología experimental utilizada para medir el consumo de combustible y emisiones de CO₂ en un vehículo con motor CRDi de 2.0 litros durante el arranque en frío. Se seleccionó una ruta representativa con diferentes condiciones de conducción y se emplearon instrumentos como escáner automotriz, analizadores de gases y sensores. Se establecieron protocolos de medición rigurosos para garantizar la precisión de los datos y evaluar la influencia de factores como la temperatura del motor y las condiciones ambientales en el desempeño del vehículo.

En la fase 3, se presenta el análisis estadístico de los datos obtenidos, centrándose en la relación entre consumo de combustible y emisiones de CO₂. Se aplica modelos de regresión múltiple para identificar las variables más influyentes en la eficiencia del motor durante el arranque en frío. Se interpretan diagramas de dispersión, gráficas de interacción y ecuaciones de regresión para evaluar patrones de consumo y emisiones. Los resultados proporcionan información clave para optimizar la gestión térmica y la inyección de combustible, contribuyendo a estrategias de reducción de impacto ambiental en motores diésel.

ABSTRACT

First, there is Phase 1 of the project, which presents the theoretical foundations and the state of the art on fuel consumption and CO₂ emissions in diesel engines with Common Rail Direct Injection (CRDi) systems. The evolution of injection systems in South America and the benefits of CRDi, such as reduced fuel consumption and emissions, are analyzed. In addition, the key components of the system are detailed, including the high-pressure pump, the common rail and the injectors, as well as the importance of electronic engine management through the ECU and sensors to optimize combustion and minimize environmental impact.

In Phase 2, the experimental methodology used to measure fuel consumption and CO₂ emissions in a vehicle with a 2.0-liter CRDi engine during cold start is described. A representative route with different driving conditions was selected and instruments such as automotive scanners, gas analyzers and specialized sensors were used. Rigorous measurement protocols were established to ensure data accuracy and to assess the influence of factors such as engine temperature and ambient conditions on vehicle performance.

In phase 3, statistical analysis of the data obtained is presented, focusing on the relationship between fuel consumption and CO₂ emissions. Multiple regression models were applied to identify the most influential variables on engine efficiency during cold start. Scatter plots, interaction graphs and regression equations were interpreted to assess consumption and emissions patterns. The results provide key information for optimizing thermal management and fuel injection, contributing to environmental impact reduction strategies in modern diesel engines.

INDICE GENERAL

CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO	3
DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA	3
CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	4
DEDICATORIA	5
DEDICATORIA	6
AGRADECIMIENTO	7
AGRADECIMIENTO	8
RESUMEN	10
ABSTRACT	11
1 INTRODUCCIÓN	17
2 PROBLEMA DE ESTUDIO	18
2.1 ANTECEDENTES	18
2.2 IMPORTANCIA Y ALCANCE	19
2.3 DELIMITACIÓN	20
3 OBJETIVOS	21
3.1 Objetivo General	21
3.2 Objetivo Específico	21
4 FUNDAMENTOS TEORICOS Y ESTADO DEL ARTE	22
4.1 Historia	22
4.2 Sistema de inyección CRDi	22
4.3 Evolución de los sistemas de inyección CRDi en función del combustible en Sudamérica	23
4.4 Diseño experimental selección de rutas y tecnologías de medición	24
4.4.1 Selección de Rutas	24
4.4.2 Escenarios Urbanos	24
4.4.3 Carretera	25
4.4.4 Caminos Rurales	25
4.4.5 Enfoque de la toma de datos	25
4.5 Sistema de alimentación de combustible de los vehículos con motor diésel	26
4.5.1 Bomba de Alimentación	26
4.5.2 Filtro de combustible	27
4.5.3 Regulador de presión	27
4.5.4 Sensor de presión	28

4.5.5	Bomba de alta presión	29
4.5.6	Acumulador de Presión (Riel común).....	30
4.6	Funcionamiento del sistema de alimentación CRDi.....	32
4.6.1	Inyección Previa.	33
4.6.2	Inyección Principal.....	33
4.6.3	Post-Inyección	33
4.7	Gestión Electrónica:.....	33
4.8	Control electrónico en motores diésel (ECU).....	34
4.9	Funcionamiento de ECU.....	35
4.9.1	Componentes de la ECU	37
4.10	OBD-II.....	39
4.10.1	Conector:	41
4.11	Sensores.	42
4.11.1	Sensor (MAF).....	43
4.11.2	Sensor APS (Accelerator Pedal Sensor).....	45
4.11.3	Sensor CKP (Camshaft Position Sensor)	46
4.11.4	Sensor de posición del árbol de levas.....	47
4.11.5	Sensor de presión de riel (Rail Pressure Sensor).....	49
4.11.6	Sensor de temperatura del refrigerante.....	50
4.11.7	Sensor de temperatura de combustible	52
4.12	Equipos que se utilizan	53
4.12.1	Multímetro.....	53
4.12.2	Osciloscopio	54
4.12.3	Escáner.....	55
5	MEDIR EL CONSUMO DE COMBUSTIBLE Y LAS EMISIONES DURANTE EL ARRANQUE EN FRÍO.	57
5.1	Instrumentos y Equipos utilizados.....	59
5.2	Procedimiento y protocolos de medición.....	60
5.3	Ruta y vehículo utilizado.	61
5.4	Recolección de datos.	63
5.5	Caudal de Aire Masivo (Línea Naranja).....	75
5.6	Cantidad de Combustible (Línea Celeste)	76
5.7	Posición del Pedal del Acelerador (Línea Azul).....	77
5.8	Toma de datos para emisiones de CO2.....	78

6	ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS DATOS OBTENIDOS SOBRE EL CONSUMO DE COMBUSTIBLE Y LAS EMISIONES CONTAMINANTES CO ₂	90
6.1.1	Análisis de consumo de combustible.....	90
6.1.2	Análisis del modelo de regresión múltiple	91
6.1.3	Capacidad explicativa del modelo:.....	91
6.1.4	Variables incluidas en el modelo:.....	91
6.1.5	Interpretación de los diagramas de dispersión.....	92
6.1.6	Análisis de las gráficas de interacción.....	94
6.1.7	Análisis de las gráficas de efectos principales.....	95
6.1.8	Interpretación de los efectos	95
6.1.9	Ecuación de regresión múltiple	96
6.1.10	Análisis de CO ₂	97
6.1.11	Análisis de la gráfica:	98
6.1.12	Fase de calentamiento:.....	98
6.1.13	Fase de operación estable:	98
6.1.14	Fluctuaciones significativas:.....	99
6.1.15	Interpretación.....	99
7	CONCLUSIONES:	101
8	RECOMENDACIONES:	101
9	Bibliografía.....	103

Índice de figuras

<i>Figura 1 Sistema CRDi</i>	23
<i>Figura 2 Bomba de alimentación</i>	26
<i>Figura 3 Filtro de combustible</i>	27
<i>Figura 4 Regular de Presión</i>	28
<i>Figura 5 Sensor de Presión</i>	29
<i>Figura 6 Bomba de alta presión</i>	30
<i>Figura 7 Inyectores</i>	31
<i>Figura 8 Inyectores</i>	32
<i>Figura 9 Esquema de señales de entrada y salida la ECU</i>	38
<i>Figura 10 Conector ODB- II</i>	42
<i>Figura 11 Actuadores y sensores</i>	43
<i>Figura 12 Ubicación sensor MAF</i>	44
<i>Figura 13 Sensor APS</i>	45
<i>Figura 14 Sensor CKP (Camshaft Position Sensor)</i>	47
<i>Figura 15 Señal del CMP</i>	48
<i>Figura 16 Sensor RPS</i>	49
<i>Figura 17 Sensor ECT</i>	51
<i>Figura 18 Multímetro</i>	54
<i>Figura 19 Osciloscopio</i>	55
<i>Figura 20 Escáner</i>	56
<i>Figura 21 Escáner thinkcar</i>	59
<i>Figura 22 Analizador de gases automotivo emisión analyzer</i>	60
<i>Figura 23 Sondas</i>	60
<i>Figura 24 Hyundai Tucson CRDi</i>	61
<i>Figura 25 Ruta</i>	62
<i>Figura 26 Prestaciones y consumos homologados</i>	62
<i>Figura 27 Motor de Combustión</i>	63
<i>Figura 28 caudal de aire</i>	75
<i>Figura 29 Cantidad de combustible</i>	76
<i>Figura 30 sensor de pedal de acelerador</i>	77
<i>Figura 31 Sensor de temperatura del refrigerante</i>	89
<i>Figura 32 Co2</i>	89
<i>Figura 33 Informe de resumen de regresión</i>	90
<i>Figura 34 regresión múltiple</i>	94
<i>Figura 35 Ecuación</i>	96
<i>Figura 36 Co2</i>	97
<i>Figura 37 Comportamiento de motor</i>	100

Índice de tabla

Tabla 1 Datos variables que afectan el consumo de combustible..... 64
Tabla 2 datos variables que afectan las emisiones de CO2..... ¡Error! Marcador no definido.

1 INTRODUCCIÓN

El consumo de combustible y las emisiones de CO₂ son factores determinantes en la eficiencia y sostenibilidad de los motores de combustión interna, especialmente en sistemas de inyección Common. Durante el arranque en frío, el motor opera en condiciones subóptimas debido a la baja temperatura del sistema, lo que genera una combustión incompleta, un incremento en el consumo de combustible y una mayor producción de gases contaminantes. En este contexto, el presente estudio tiene como objetivo estimar el consumo de combustible y medir las emisiones de CO₂ en un motor diésel de 2.0 litros con inyección CRDi bajo condiciones de arranque en frío, con el fin de analizar su impacto ambiental y su eficiencia operativa.

Para ello, se llevará a cabo un análisis experimental, utilizando herramientas de medición, como sensores de flujo de combustible, analizadores de gases de escape y equipos de diagnóstico automotriz, que permitirán obtener datos exactos sobre el comportamiento del motor en las primeras fases de operación. Asimismo, se emplean métodos estadísticos como un software para procesar la información recopilada y establecer correlaciones entre la temperatura del motor, el tiempo de funcionamiento y las emisiones generadas.

Este estudio resulta fundamental en el contexto de las normativas ambientales y la evolución de la tecnología automotriz, ya que permite identificar oportunidades de optimización en los sistemas de inyección diésel, contribuyendo a la reducción de emisiones y al desarrollo de estrategias que mejoren la eficiencia energética de los vehículos. Los resultados obtenidos sirven como referencia para la industria automotriz, investigadores y organismos reguladores interesados en el control del impacto ambiental del transporte diésel en condiciones de arranque en frío.

2 PROBLEMA DE ESTUDIO

Los motores diésel con sistema de inyección CRDi, presentan un notable aumento en las emisiones de CO₂ y otros contaminantes durante el arranque en frío. En condiciones de baja temperatura, la eficiencia de la combustión disminuye, lo que provoca un incremento en el consumo de combustible y en la contaminación generada. (Castro Mediavilla, J. J., & Gonzáles Torres, M. E. (2019))

Además, el arranque en frío contribuye al desgaste prematuro de componentes claves del motor. Durante los primeros segundos, la fricción interna es alta debido a que la lubricación no es óptima; el aceite no alcanza la viscosidad adecuada, lo que aumenta la fricción y acelera el desgaste de las piezas. A largo plazo, esto puede reducir significativamente la vida útil del motor y afectar su eficiencia. (Caiza Gallo, s.f.)

2.1 ANTECEDENTES

Los motores diésel equipados con tecnología de inyección Common Rail han demostrado un incremento en la emisión de CO₂ y otros contaminantes durante el arranque en frío. Este fenómeno ocurre debido a la reducción en la eficiencia de la combustión cuando el motor opera a bajas temperaturas, lo que conlleva un aumento en el consumo de combustible y un impacto ambiental significativo. Estudios previos han analizado este comportamiento, evidenciando la relación entre la temperatura inicial del motor y la generación de emisiones.

Además, se ha identificado que el arranque en frío no solo afecta la eficiencia de combustión, sino que también influye en el desgaste prematuro de ciertos componentes del motor. Durante los primeros instantes de operación, la lubricación aún no alcanza

condiciones óptimas, lo que provoca una mayor fricción interna y acelera el deterioro de las piezas móviles. A largo plazo, este efecto puede comprometer la vida útil del motor y reducir su eficiencia operativa.

Diversas investigaciones han resaltado la importancia de optimizar la gestión térmica y los sistemas de inyección en motores diésel para minimizar estos efectos adversos. La implementación de estrategias avanzadas, como ajustes en la inyección de combustible y mejoras en la gestión electrónica del motor, contribuir significativamente a la reducción de emisiones contaminantes y al mejor desempeño energético en condiciones de arranque en frío.

2.2 IMPORTANCIA Y ALCANCE

El presente estudio aborda la estimación del consumo de combustible y la medición de emisiones de CO₂ en un vehículo con sistema de inyección CRDi de 2.0 litros durante la fase de arranque en frío, una etapa crítica en el funcionamiento del motor debido a la baja eficiencia térmica inicial, lo que genera un incremento en el consumo de combustible y mayores emisiones contaminantes. La investigación busca aportar datos técnicos que permitan optimizar la eficiencia energética y reducir el impacto ambiental, contribuyendo al desarrollo de estrategias avanzadas de inyección de combustible y gestión térmica.

El estudio se lleva a cabo mediante pruebas en ruta, recopilando datos en tiempo real con sensores de flujo de combustible, analizadores de gases de escape y herramientas de diagnóstico automotriz. La medición se centra exclusivamente en el CO₂, y se analiza la influencia de la temperatura del motor en la eficiencia de combustión hasta alcanzar su temperatura óptima de trabajo.

Los ensayos se realizarán en una ruta determinada, contemplando diferentes condiciones de tráfico y temperatura ambiente. Los resultados obtenidos proporcionan información técnica importante para la optimización de motores diésel con tecnología Common Rail, permitiendo mejorar su desempeño en la fase de arranque en frío, reducir su impacto ambiental y contribuir al cumplimiento de normativas de emisiones en el sector automotriz

2.3 DELIMITACIÓN

El presente estudio se enfoca en la estimación del consumo de combustible y la medición de emisiones de CO₂ en un vehículo con sistema de inyección CRDi de 2.0 litros, considerando su comportamiento durante el arranque en frío, hasta alcanzar su temperatura óptima de operación. La investigación se desarrolla mediante pruebas en ruta, permitiendo analizar en condiciones reales el impacto del proceso de calentamiento del motor en la eficiencia del consumo de combustible y en la generación de emisiones contaminantes.

Figura 1

Ubicación de UPS



Fuente: (Google Maps)

3 OBJETIVOS

3.1 Objetivo General

Estimar el consumo de combustible y las emisiones de CO₂ de un motor diésel CRDi de 2.0 litros mediante la recopilación de datos en tiempo real durante el arranque en frío, con el fin de optimizar la eficiencia del sistema de inyección y reducir las emisiones contaminantes.

3.2 Objetivo Específico

Investigar el estado del arte sobre el consumo de combustible y las emisiones de motores CRDi, revisando literatura, artículos científicos y estudios previos.

Medir el consumo de combustible y las emisiones durante el arranque en frío, utilizando equipos como un escáner automotriz, una sonda para análisis de gases y una probeta para determinar el volumen exacto de combustible consumido.

Análisis estadístico detallado de los datos obtenidos sobre el consumo de combustible y las emisiones contaminantes, empleando el software estadístico para procesar y evaluar la información recopilada, a fin de identificar patrones y tendencias relevantes.

4 FUNDAMENTOS TEORICOS Y ESTADO DEL ARTE

4.1 Historia

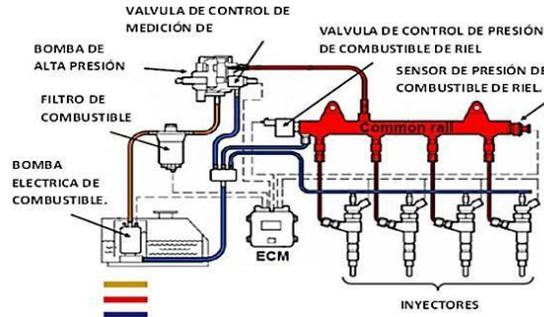
El encendido por compresión es el principio de funcionamiento de los motores diésel, creado en 1893 por Rudolf Diesel. Este proceso ocurre debido a las altas relaciones de compresión que se alcanzan dentro de la cámara de combustión, estas compresiones elevan significativamente la temperatura del aire en el interior del motor, lo que permite que el combustible inyectado se encienda espontáneamente sin necesidad de una chispa externa. Este método es el único utilizado en los motores diésel para generar la ignición. También se les conoce como motores de encendido por compresión (MEC).

4.2 Sistema de inyección CRDi

El sistema Common Rail tuvo su origen en el segundo lustro de la década de los años ochenta y principios de los noventa, en el año 1986 indudablemente como el año cuando fue creado y desarrollado en países europeos, como Alemania e Italia, principalmente por las Multinacionales Fiat y Bosch. A partir de esa época y hasta la actualidad el desarrollo, mejoramiento del sistema ha sido permanente y ha estado enmarcado dentro de un proceso de mejora continua con efecto evidente en tres variables, siendo estas las siguientes: reducción de emisiones contaminantes, aumento de potencia en los motores y disminución de los niveles de consumo de combustible por Kilómetro recorrido. Las ventajas del sistema Common Rail son amplias pudiendo mencionar algunas: la posibilidad de variar la configuración de la presión de inyección y los momentos de inyección. Esto se consigue mediante la separación de la generación de presión (bomba de alta presión) y la inyección (inyectores).

Figura 2

Sistema CRDi



Fuente: (UIDA INNOVA, 2020)

4.3 Evolución de los sistemas de inyección CRDi en función del combustible en Sudamérica

El sistema de inyección Common Rail ofrece una gran versatilidad en la gestión de la inyección de combustible en los motores diésel. Funciona a una presión de inyección, alcanzando 1600 bares, con posibilidades de aumentar hasta 2000 bares dependiendo de la marca. Este sistema permite una amplia gama de inyecciones, tanto tempranas como tardías, incluidas aquellas que pueden realizarse incluso después de inyecciones extraordinariamente retrasadas. Gracias a esta flexibilidad, el Common Rail contribuye a reducir el consumo de combustible, la contaminación acústica, las emisiones de sustancias tóxicas, al mismo tiempo que aumenta la potencia específica del motor. Actualmente, se ha consolidado como el sistema de inyección directa más popular en motores diésel de alto rendimiento para vehículos de turismo.

4.4 Diseño experimental selección de rutas y tecnologías de medición.

El diseño experimental es un componente clave en los estudios sobre consumo de combustible y emisiones vehiculares. Su objetivo principal es generar resultados confiables y representativos de las condiciones reales, permitiendo un mejor entendimiento del comportamiento de los vehículos en diversos entornos. Esto se logra mediante una cuidadosa planificación que incluye tanto la selección de rutas específicas como la integración de tecnologías avanzadas para la recolección de datos.

4.4.1 Selección de Rutas

La selección de rutas constituye un factor fundamental del diseño experimental, ya que las características propias de las vías influyen significativamente en el rendimiento de los vehículos. Para abarcar una amplia gama de condiciones de conducción, se han identificado tres categorías principales de rutas que permiten capturar datos diversos y representativos:

4.4.2 Escenarios Urbanos

Las zonas urbanas presentan un conjunto único de desafíos que incluyen:

Tráfico denso: Los frecuentes arranques y paradas incrementan el consumo de combustible y las emisiones debido a las constantes variaciones en la aceleración.

Velocidades reducidas: Estas condiciones suelen limitar la eficiencia térmica del motor, aumentando las emisiones contaminantes.

Interrupciones constantes: La presencia de semáforos, intersecciones y congestión obliga a los vehículos a operar en modos menos eficientes.

4.4.3 Carretera

La carretera representa un ambiente intermedio con las siguientes características:

Velocidades sostenidas: Este tipo de conducción permite observar el consumo de combustible en condiciones más estables y predecibles.

Curvas y pendientes moderadas: Estas afectan la carga del motor, proporcionando información sobre la respuesta de los sistemas de control y postratamiento de emisiones.

4.4.4 Caminos Rurales

Los caminos rurales ofrecen una variabilidad significativa debido a:

Terrenos irregulares: Estas condiciones incluyen baches, cambios bruscos de topografía y superficies no pavimentadas.

Velocidades variables: Requieren ajustes constantes, afectando tanto el consumo de combustible como las emisiones.

Estas rutas permiten evaluar el rendimiento del vehículo en entornos menos estructurados y con condiciones que representan un reto para los sistemas de control.

4.4.5 Enfoque de la toma de datos.

La combinación de estas categorías de rutas proporciona una visión integral y equilibrada del comportamiento vehicular. Desde las demandas específicas de las zonas urbanas hasta las condiciones desafiantes de los caminos rurales, este enfoque asegura que los datos recopilados reflejen con fidelidad las realidades operativas. Esta perspectiva es fundamental para avanzar en el diseño de soluciones tecnológicas sostenibles y eficientes,

que no solo mejoren el rendimiento del vehículo, sino también reduzcan su impacto ambiental.

4.5 Sistema de alimentación de combustible de los vehículos con motor diésel.

4.5.1 Bomba de Alimentación.

La bomba de alimentación es un componente fundamental del sistema de inyección de un motor diésel, encargada de extraer el combustible del tanque y transportarlo hacia el sistema de inyección. Su función principal es generar la presión necesaria para asegurar un flujo constante de diésel hacia la bomba de alta presión o al riel común, en el caso de los motores CRDi. Esta bomba puede ser de tipo eléctrico o mecánico y está diseñada para mantener una presión estable, garantizando que el combustible llegue de manera eficiente a los componentes subsecuentes del sistema (Parca ofisi, 2005- 2010).

Figura 3

Bomba de alimentación



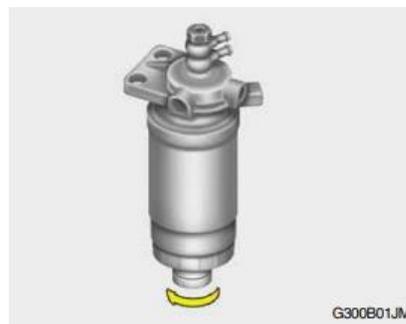
Fuente: (Parca ofisi, 2005- 2010)

4.5.2 Filtro de combustible

El filtro de combustible desempeña un papel crucial en la protección del motor al eliminar impurezas, partículas y contaminantes presentes en el diésel antes de que este alcance los inyectores. La presencia de suciedad en el combustible puede provocar obstrucciones, daños en los componentes del sistema de inyección. Este filtro se sitúa entre la bomba de alimentación y el sistema de inyección, es recomendable su reemplazo periódico para asegurar un funcionamiento óptimo del motor.

Figura 4

Filtro de combustible



Nota: Filtro de combustible del Hyundai Tucson

Fuente: (HYUNDAI, 2020)

4.5.3 Regulador de presión

El regulador de presión es encargado de controlar la presión del combustible en el sistema, asegurando que se mantenga dentro de los parámetros óptimos para un rendimiento eficiente. Este dispositivo ajusta la cantidad de combustible que se dirige al riel común o a los inyectores, evitando tanto el exceso de presión como el vacío, que podrían perjudicar el

funcionamiento del motor. Dependiendo del diseño del sistema, el regulador puede ser mecánico o electrónico (System, 2025).

Figura 5

Regular de Presión



Fuente: (System, 2025)

Nota: El regulador de presión mantiene la presión constante y adecuada en el riel de combustible

4.5.4 Sensor de presión

El sensor de presión monitorea de manera continua la presión del combustible en el riel común o en el sistema de inyección. Este dispositivo envía información a la unidad de control del motor (ECU), que utiliza estos datos para ajustar en tiempo real la cantidad y el momento de inyección del combustible según las necesidades del motor. Un sensor de presión en correcto funcionamiento es esencial para optimizar el rendimiento del motor y minimizar las emisiones contaminantes, contribuyendo así a una operación más eficiente y sostenible (Hyundai sensores, 2019).

Figura 6

Sensor de Presión



Fuente: (Hyundai sensores, 2019)

Nota: Control de presión del combustible, ajusta la cantidad de combustible.

4.5.5 Bomba de alta presión

La bomba de alta presión es un componente fundamental del sistema de inyección de un motor CRDi. Su función principal es elevar la presión del combustible, que proviene de la bomba de alimentación, a niveles elevados, típicamente entre 1,000 y 2,000 bares. Esta presión elevada es necesaria para garantizar que el combustible se atomice adecuadamente cuando se inyecta en la cámara de combustión. La bomba de alta presión opera mediante un mecanismo de pistón o de engranaje, y su capacidad para generar y mantener esta presión constante es fundamental para el rendimiento eficiente del motor (RIDEX REMAN, 2024).

Figura 7

Bomba de alta presión



Fuente: (RIDEX REMAN, 2024)

Nota: Inyecta combustible según la necesidad el motor

4.5.6 Acumulador de Presión (Riel común).

El acumulador de presión, también conocido como riel común, es un componente que almacena el combustible presurizado antes de que se inyecte en los cilindros. Permite que el sistema mantenga una presión constante y disponible para los inyectores en todo momento, lo que facilita una inyección precisa y en múltiples momentos, incluso en condiciones de alta demanda. Este almacenamiento también ayuda a suavizar las variaciones de presión que pueden ocurrir durante la operación del motor, contribuyendo a un rendimiento más uniforme y eficiente (ebay, 2020).

Figura 8

Inyectores



Fuente: (ebay, 2020)

1.5.7. Inyectores

Los inyectores son actuadores encargados de la atomización y la inyección del combustible en la cámara de combustión. En los motores CRDi, los inyectores son controlados electrónicamente, lo que permite una precisión en el momento y la cantidad de inyección. Esto es esencial para optimizar la combustión, mejorar el rendimiento del motor y reducir las emisiones contaminantes. Al recibir la señal de la unidad de control del motor (ECU), los inyectores abren y cierran con alta velocidad, inyectando el combustible en el cilindro en múltiples pulsos durante cada ciclo de combustión, lo que mejora la eficiencia del motor.

Figura 9

Inyectores



Fuente: (DieselTronic, s.f.)

Nota: Inyectores encargados de proporcionar el combustible a la cámara

4.6 Funcionamiento del sistema de alimentación CRDi.

El sistema Common Rail, también conocido como sistema de inyección de riel común, se caracteriza por la separación de la generación de presión y la inyección de combustible. En este sistema, una bomba de alta presión produce de manera continua la presión necesaria. Esta presión se acumula en el conducto (rail) y se distribuye a los inyectores a través de tubos de inyección cortos. La unidad de control del motor se encarga de gestionar tanto la cantidad como el momento de inyección mediante válvulas electromagnéticas ubicadas en los inyectores. Actualmente, este sistema es ampliamente utilizado en los motores CRDi.

Los sistemas de "Riel Común" divide el proceso de inyección en tres etapas que son inyección previa, inyección principal y en algunos casos, inyección posterior (Rosa, 2019).

4.6.1 Inyección Previa.

Esta fase de inyección ocurre antes que el pistón llegue al punto muerto superior (PMS), con un adelanto de hasta 90 grados del cigüeñal. Sin embargo, generalmente se considera un avance de 40 grados, para evitar que el diésel impacte directamente en el pistón o en la pared del cilindro, lo que podría causar una dilución inaceptable del lubricante. Durante esta inyección, se introduce un pequeño volumen de diésel en los cilindros, preparando la cámara de combustión y mejorando la eficiencia de la combustión (Rosa, 2019).

4.6.2 Inyección Principal.

En esta etapa se genera la energía necesaria para el funcionamiento del motor y se produce el par motor. En el sistema "Common Rail", la presión de inyección se mantiene casi constante durante todo el proceso de inyección.

4.6.3 Post-Inyección.

Esta fase sigue a la inyección principal y se produce durante el tiempo de expansión, que puede durar hasta 200 grados después del PMS. Su función es añadir una cantidad controlada de combustible a los gases de escape, lo que ayuda a reducir el ruido y las emisiones contaminantes.

4.7 Gestión Electrónica:

Los avances en los sistemas de inyección están equipados con mecanismos que facilitan el cumplimiento de los rigurosos estándares de control de emisiones a nivel global. A medida que estos requisitos se vuelven más estrictos, los fabricantes deben actualizar constantemente la gestión electrónica para adaptarse a las nuevas regulaciones.

La gestión electrónica examina los sistemas de suministro de combustible en motores diésel modernos (CRDi). Este sistema está controlado por una computadora a bordo (ECU), que recibe datos de sensores y actuadores colocados en ubicaciones estratégicas del motor para lograr una lectura precisa de los parámetros físicos necesarios para su funcionamiento. Estos sensores generan y ajustan señales eléctricas que la ECU compara con valores preestablecidos en su memoria, permitiéndole identificar el estado operativo del motor.

Una vez realizado el análisis, el sistema gestiona diversos mecanismos que regulan los componentes involucrados en la entrega de combustible, como las electroválvulas que aumentan la presión y los inyectores que permiten la entrada del diésel a la cámara de combustión. Este tipo de gestión electrónica se denomina diagnóstico a bordo, o OBD, en los sistemas de inyección diésel de modelos recientes, y sigue principalmente las normativas europeas conocidas como EOBD (European On-Board Diagnostics).

La gestión del motor se fundamenta en que la ECU (Módulo de Control del Motor) no solo analiza las señales físicas del motor y controla los actuadores, sino que también puede identificar cuando algo no está funcionando correctamente. Si un sensor o actuador falla, el vehículo tiende a emitir más contaminantes al ambiente. Para evitar esto, el sistema detecta la anomalía, la registra en la ECU y permite que sea monitoreada y atendida, contribuyendo así a un mejor rendimiento y cuidado ambiental (Rosa, 2019).

4.8 Control electrónico en motores diésel (ECU)

El control electrónico en motores diésel es fundamental para su funcionamiento eficiente y estable, ya que permite gestionar la combustión de manera precisa. Este sistema busca mantener la relación aire-combustible, cumpliendo así con los límites de emisiones y

eficiencia definidos por normativas internacionales. Dado que el funcionamiento de estos sistemas es complejo y requiere precisión, se emplea un conjunto de microprocesadores que coordinan diversas señales para asegurar que el motor opere de forma óptima en todas las condiciones, desde el arranque y la alimentación de combustible hasta aspectos de seguridad y confort en la conducción.

Para lograr un funcionamiento óptimo del motor, la Unidad de Control Electrónico (ECU, por sus siglas en inglés) debe captar y analizar diversas variables, tales como la posición del acelerador, las revoluciones por minuto (RPM), el flujo de aire, las temperaturas del motor y del refrigerante, la presión en el riel de combustible y la temperatura del aceite. Toda esta información es procesada por el sistema electrónico, que a través de un microprocesador envía instrucciones precisas a los actuadores correspondientes, garantizando así un rendimiento eficiente y adecuado del motor en distintas condiciones de operación (Rosa, 2019).

La ECU está diseñada para soportar condiciones extremas de temperatura, ya que cuenta con una capa de protección térmica que la resguarda tanto del calor elevado como de la humedad, factores comunes en el entorno de operación de estos motores. Esta protección garantiza la durabilidad y el funcionamiento confiable del sistema bajo diversas condiciones ambientales (Rosa, 2019).

4.9 Funcionamiento de ECU

El funcionamiento de una computadora en el contexto automotriz se basa en la gestión de datos que recibe externamente. Mientras que en una computadora doméstica estos datos pueden provenir de un mouse o teclado, en el caso de la computadora del vehículo, la

información es suministrada por sensores específicos para motores diésel, como el sensor de flujo de aire masivo (MAF), el sensor de presión de combustible, el sensor de posición del cigüeñal (CKP), el sensor de posición del árbol de levas (CMP), el sensor de temperatura del refrigerante (ECT), el sensor de oxígeno (O2), el sensor de presión del colector de admisión (MAP) y el sensor de temperatura del aire de admisión (IAT). Estos sensores han sido actualizados y mejorados para proporcionar datos precisos y confiables, necesarios para un control óptimo del motor (Chauca Herembas & Guerrero Arciniega , 2015) Para regular el sistema de inyección, la computadora necesita saber la cantidad de aire que ingresa al motor en cada momento. Esta información es obtenida a través del sensor MAF cuyos datos son procesados junto con otros factores como la temperatura del aire, la presión y la velocidad del motor. Estos datos adicionales provienen de sensores estratégicamente ubicados en diversas partes del motor y están conectados directamente a la computadora del vehículo.

Las funciones que realiza la ECU están controladas por un software calibrado por los fabricantes, lo cual permite interpretar con precisión la información de los sensores y almacenar estos datos mediante microprocesadores instalados en la placa. Para asegurar un funcionamiento sin interrupciones externas, la ECU cuenta con un sellado especial que la protege contra polvo y está encapsulada al vacío, lo que reduce el impacto de golpes. Además, dispone de protección contra humedad, erosión y oxidación en sus componentes internos, y es capaz de operar en un rango de temperaturas que va desde 40 °C hasta 140 °C, garantizando su fiabilidad en condiciones extremas (Chauca Herembas & Guerrero Arciniega , 2015).

4.9.1 Componentes de la ECU

El sistema de Control Electrónico Diésel está compuesto por una serie de componentes electrónicos montados en placas de circuito impreso, las cuales se encuentran dentro de una carcasa de aluminio equipada con aletas para facilitar su refrigeración. A esta unidad llegan múltiples señales que informan sobre el estado y el funcionamiento del motor, transmitidas por diversos sensores. Estas señales son procesadas y analizadas para determinar la activación de los actuadores. El programa de control que gestiona estas funciones se almacena en la memoria de la unidad y su ejecución es realizada por un microcontrolador. Las señales de entrada y salida hacia los actuadores se envían a la unidad de control mediante un conector múltiple.

Además, la ECU cumple con la función de registrar datos erróneos, lo cual permite identificar y localizar posibles fallas en el sistema. En caso de detectar un fallo, la unidad puede operar de manera auxiliar, aplicando ajustes compensatorios basados en la información proporcionada por los sensores del motor o de otros sistemas del vehículo.

- **Funcionamiento**

Los microprocesadores en la ECU realizan cálculos en base a los datos obtenidos de los elementos de entrada, los cuales están almacenados en su memoria. Esta unidad debe ejecutar cálculos precisos a una velocidad extremadamente alta, llegando a procesar hasta un millón de operaciones por segundo, con el fin de evitar fallos en el sistema. Este procesamiento abarca todos los dispositivos electrónicos en torno al motor, como sensores y actuadores.

Además de emitir instrucciones de funcionamiento, la ECU gestiona directamente funciones finales críticas, como la regulación de presión en el riel de combustible, el cierre de inyectores y el control de válvulas, tanto para altas como para bajas presiones. También coordina los sistemas de retroalimentación, como la recirculación de gases de escape, y gestiona componentes auxiliares, incluyendo la válvula de vacío, el sistema de refrigeración, el ventilador y el aire acondicionado.

Figura 10

Esquema de señales de entrada y salida la ECU



Fuente: (Chauca Herembas & Guerrero Arciniega , 2015)

Nota: Esquema componentes de la ECU

Las computadoras en los sistemas automotrices no solo emiten órdenes de operación, sino que también gestionan la ejecución de acciones críticas en el vehículo. Entre estas

funciones se incluyen la liberación de presión en el riel de combustible, el control del cierre de los inyectores y la regulación de las válvulas de baja y alta presión. Asimismo, supervisan las etapas finales de retroalimentación, como el funcionamiento de las válvulas de recirculación de gases y las válvulas de vacío.

En sistemas relacionados con la refrigeración, las computadoras controlan el ventilador y el aire acondicionado, asegurando un funcionamiento eficiente y adaptado a las necesidades del motor y del vehículo. Estas acciones demuestran su papel esencial en la integración y operación de los sistemas mecánicos y electrónicos modernos.

4.10 OBD-II

El OBD-II es un sistema de diagnóstico a bordo integrado en los vehículos, cuyo propósito es monitorear el estado del motor y otros sistemas. Actualmente, se emplean los estándares OBD-II en (Estados Unidos), EOBD en (Europa) y JOBD en (Japón), todos enfocados en la reducción de emisiones contaminantes y el control autónomo del vehículo.

Originalmente implementado en vehículos particulares de pasajeros, este sistema permite realizar diagnósticos en carretera, identificando fallas causadas por agentes externos o componentes defectuosos. En caso de detección de errores críticos, el sistema puede activar un modo de emergencia para mantener la operatividad del vehículo de forma segura.

El OBD-II emplea un software que identifica y registra las fallas en la memoria de la ECU, facilitando la localización de problemas sin necesidad de desarmar componentes no implicados en la avería. Además, el sistema está programado para que los interpretadores de diagnóstico encuentren de manera rápida y precisa las áreas afectadas, utilizando códigos de error estandarizados. Para realizar estos diagnósticos, se requiere un escáner compatible que

se conecta a la ECU mediante un conector universal, agilizando el proceso de análisis y reparación.

- **Funcionamiento:**

Los vehículos en el mercado están equipados con una computadora, conocida como ECU, que optimiza el control y funcionamiento general del vehículo. La ECU desempeña un papel crucial en la seguridad de los usuarios y en la reducción de ciertos factores clave, tales como:

- Emisiones contaminantes
- Temperatura del motor
- Temperatura ambiente
- Consumo de combustible
- Velocidad
- Flujo de aire
- Carga del motor

En los sistemas automotrices, las computadoras no solo se encargan de emitir órdenes de operación, sino también de ejecutar funciones clave para el correcto desempeño del vehículo. Estas incluyen la liberación de presión en el riel de combustible, la gestión del cierre de los inyectores y la regulación de las válvulas de alta y baja presión. Además, controlan los procesos finales de retroalimentación, como el funcionamiento de las válvulas de recirculación de gases y las válvulas de vacío.

En el ámbito de los sistemas de refrigeración, las computadoras tienen un rol fundamental al controlar dispositivos como el ventilador y el aire acondicionado, optimizando su funcionamiento según las condiciones del motor y del vehículo. Estas capacidades destacan la importancia de las computadoras en la integración y control de los sistemas electrónicos y mecánicos actuales.

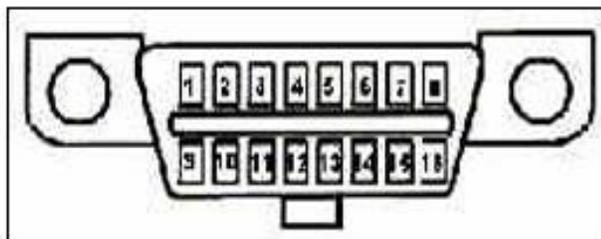
Cuando los parámetros de funcionamiento del vehículo superan los límites establecidos, el sistema OBD-II registra los datos y alerta al conductor sobre una posible falla, recomendando llevar el vehículo a un servicio automotriz. Esto permite a los técnicos identificar el problema directamente, sin necesidad de realizar pruebas adicionales. No obstante, aunque el sistema es avanzado, no es infalible; en algunos casos, una falla puede desencadenar múltiples errores adicionales, todos vinculados a una causa raíz. En estos casos, la experiencia y conocimientos del técnico son fundamentales para diagnosticar y resolver el problema de manera eficaz.

4.10.1 Conector:

El conector del sistema OBD-II debe cumplir con las especificaciones establecidas por la normativa ISO 15031-3:2004. Esto asegura que los técnicos puedan realizar las mediciones e interpretaciones necesarias de manera adecuada.

Figura 11

Conector ODB- II



Fuente: (Villamar)

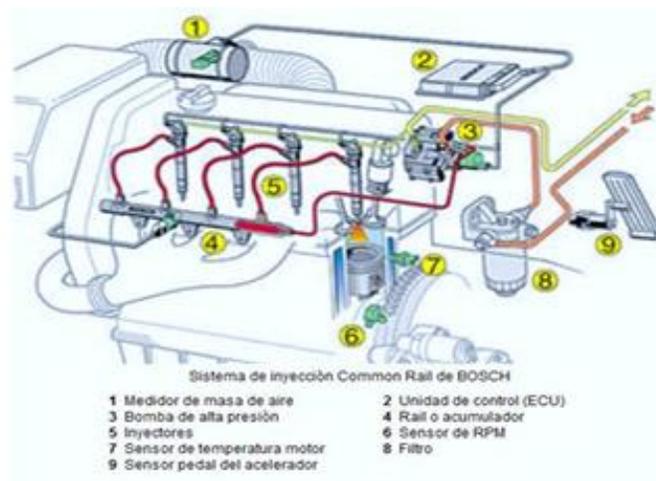
Nota: Puerto de conexión ODB-II

4.11 Sensores.

La demanda de mediciones precisas de las señales físicas generadas por el motor y sus actuadores ha llevado a los diseñadores y desarrolladores tecnológicos a investigar métodos eficaces para realizar estas mediciones. La implementación de sensores ha simplificado esta tarea y mejora el rendimiento del motor diésel y sus componentes. En términos generales, un sensor actúa como un transductor que convierte una magnitud de medida en señales eléctricas que son fácilmente interpretables por la unidad de control (Haro Rueda & Vargas Jarrin , 2015)

Figura 12

Actuadores y sensores



Fuente: (Haro Rueda & Vargas Jarrin , 2015)

Nota: Elementos principales del sistema Common Rail

La ECU utiliza señales provenientes de diversos sensores, tales como la velocidad del motor, la posición del pedal del acelerador y la temperatura del aire, para calcular la cantidad exacta de combustible a inyectar y determinar el momento óptimo de inicio de la inyección. Los denominados mapas, almacenados en la ECU, contienen la información necesaria para la inyección adecuada en función de cada parámetro medido. Esto permite la ejecución tanto de la inyección piloto como de la post-inyección.

4.11.1 Sensor (MAF)

El sensor de flujo de masa de aire MAF (Mass Air Flow), ubicado entre el filtro de aire y la válvula de mariposa, incorpora también el sensor de temperatura del aire de admisión ECT (Engine Coolant Temperature), que contiene una resistencia NTC para medir la

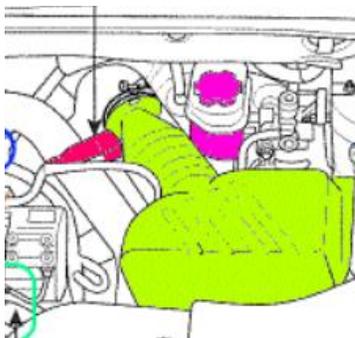
temperatura del aire entrante. El MAF (Mass Air Flow Sensor) emplea un elemento sensor de película caliente para determinar la masa de aire que ingresa al motor, proporcionando datos esenciales para la gestión precisa de la mezcla de aire y combustible.

El flujo de masa de aire se mide mediante la transferencia de calor desde una sonda de película caliente. A medida que cambia el caudal de aire, varía también la cantidad de calor que la sonda transfiere al flujo de aire. Un alto volumen de aire de admisión indica aceleración o condiciones de carga elevada, mientras que un flujo reducido refleja desaceleración o ralentí. La ECU utiliza esta información para regular la válvula solenoide EGR (Exhaust Gas Recirculation) y ajustar la cantidad de combustible de manera precisa.

El sensor de masa de flujo de aire convierte el volumen de aire que ingresa al motor en una señal de voltaje. Esta información es fundamental para que la ECU determine la carga del motor, es decir, el nivel de esfuerzo que el motor está realizando. Con este dato, la ECU calcula la cantidad exacta de combustible a inyectar y decide el momento óptimo para el encendido y los cambios de marcha en la transmisión (DaewoonSpark, 2025).

Figura 13

Ubicación sensor MAF



Fuente: (DaewoonSpark, 2025)

Nota: Sensor de masa de flujo de aire.

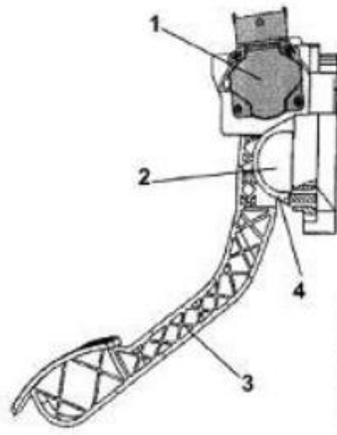
4.11.2 Sensor APS (Accelerator Pedal Sensor)

El sensor del pedal del acelerador elimina la conexión mecánica entre el pedal y la válvula de mariposa en el colector de admisión. En motores diésel con gestión electrónica, no se emplea un cable o enlace físico entre el pedal y la bomba de inyección; en su lugar, la ECU recibe la información sobre la posición del pedal electrónicamente.

Este sensor funciona mediante un potenciómetro que genera un voltaje en función de la posición del pedal. El sensor del pedal incorpora dos potenciómetros, APS1 y APS2. APS1 envía la señal principal de la posición del pedal a la ECU, mientras que APS2 sirve como referencia para verificar la precisión y el correcto funcionamiento de APS1, generando un valor que es exactamente la mitad de APS1. En caso de falla en el sensor del pedal, el sistema activa un modo de prueba que establece una velocidad de ralentí ligeramente elevada para mantener el control básico del motor.

Figura 14

Sensor APS



Fuente: (Automotriz, 2021)

Nota: Sensor de posición del acelerador

4.11.3 Sensor CKP (Camshaft Position Sensor)

La posición del primer pistón dentro de la cámara de combustión es un factor clave para determinar el momento exacto en el que debe iniciarse la inyección de combustible. Los pistones del motor están unidos al cigüeñal a través de bielas, lo que permite transmitir el movimiento lineal a un movimiento rotativo.

Para monitorear la posición del pistón, se utiliza el sensor de posición del cigüeñal CKP (Camshaft Position Sensor), que proporciona información precisa sobre la ubicación del pistón y la velocidad del motor. Este sensor, generalmente de tipo inductivo, funciona como un transductor magnético y se instala frente al aro dentado del volante de inercia. Su señal es esencial para que la Unidad de Control Electrónico (ECU) identifique qué cilindro requiere la inyección en cada momento. Además, aunque la duración de la inyección es regulada por otros sensores, el CKP desempeña un papel central en este proceso.

El sensor CKP opera generando una señal de frecuencia de forma natural mediante inducción electromagnética, lo que lo distingue de los sensores de efecto Hall, que funcionan con un principio diferente. Por su relevancia, este sensor es una pieza fundamental para el correcto funcionamiento del sistema de inyección y sincronización del motor.

Figura 15

Sensor CKP (Camshaft Position Sensor)



Fuente: (MANSUERA)

Nota: Sensor de posición del cigüeñal

4.11.4 Sensor de posición del árbol de levas

El sensor CMP (Camshaft Position Sensor), también conocido como sensor de posición del árbol de levas o sensor de fase, es un componente esencial que registra la posición del árbol de levas y complementa la función del sensor CKP (Crankshaft Position Sensor) para garantizar una sincronización precisa e identificar correctamente los cilindros. Este sensor está ubicado en el árbol de levas, generalmente en la parte superior del motor, y desempeña un papel crucial en los sistemas de encendido computarizado y de inyección electrónica.

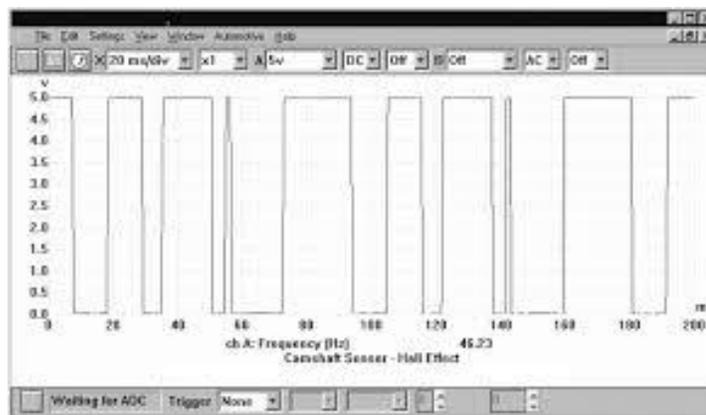
La función principal del sensor CMP (Camshaft Position Sensor) es informar a la Unidad de Control Electrónico (ECU) sobre la posición exacta del árbol de levas, lo que permite establecer la secuencia correcta de inyección de combustible. El sensor genera una señal cada dos revoluciones del cigüeñal, contribuyendo a la coordinación del ciclo del motor.

El CMP (Camshaft Position Sensor) está compuesto por una bobina enrollada alrededor de un núcleo magnético. Su capacidad para producir voltaje depende de diversos factores, como la velocidad de rotación del árbol de levas, la distancia entre el sensor y el árbol, así como la intensidad del campo magnético. Por su diseño y ubicación estratégica, este sensor es clave para el funcionamiento eficiente y preciso del motor moderno.

- La velocidad del motor
- La proximidad del rotor de metal al sensor
- La fuerza del campo magnética ofrecida por el sensor La ECU necesita ver la señal cuando el motor se enciende para su referencia.

Figura 16

Seña del CMP



Fuente: (Javaz, 2020)

Nota: Señal del sensor de posición del árbol de leva

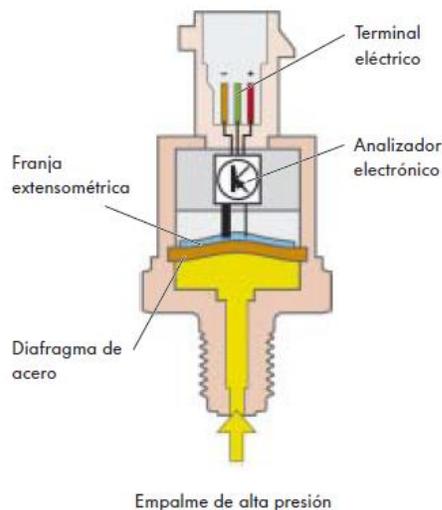
4.11.5 Sensor de presión de riel (Rail Pressure Sensor)

En los sistemas diésel Common Rail, desarrollados por fabricantes como Bosch, Delphi y Siemens, se han establecido valores estándar para el voltaje generado por el sensor de presión. Estos valores oscilan entre 0.5 V, que corresponde a una presión mínima de 0 bar, y 4.5 V, que representa la presión máxima del sistema.

El voltaje emitido por este sensor varía de manera proporcional al incremento de la presión dentro del riel común. En estos sistemas, la señal del sensor es fundamental para que el módulo de control del motor realice cálculos precisos. Dado que las presiones pueden alcanzar hasta 1600 bar, las fluctuaciones en el voltaje reflejan directamente los niveles elevados de presión que el sistema gestiona durante su funcionamiento. Esta relación entre presión y voltaje es crucial para garantizar la eficiencia y precisión del sistema de inyección.

Figura 17

Sensor RPS



Fuente: (e-auto, Common Rail 09 - Sensor de Presión del Combustible G247, 2019)

Nota: Sensor de presión del riel

El sensor de presión del riel utiliza una resistencia eléctrica aplicada en capas sobre su membrana, la cual varía en función de los cambios en su forma. Estos cambios, que corresponden a variaciones de presión en el sistema entre 1 y 1600 bar, alteran la resistencia eléctrica y generan una variación en la tensión del puente resistivo, alimentado con 5 V. Esta señal inicial, que oscila entre 0 mV y 70 mV según la presión registrada, es amplificada por un circuito evaluador hasta alcanzar un rango de salida de 0.5 V a 4.5 V.

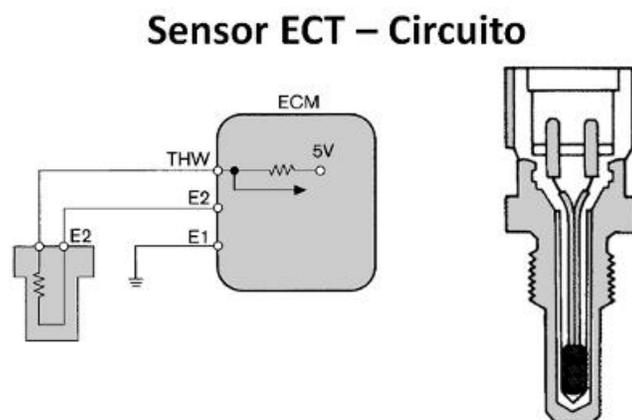
4.11.6 Sensor de temperatura del refrigerante

El sensor de temperatura del refrigerante (Engine Coolant Temperature) tiene la función de registrar la temperatura del líquido refrigerante del motor y transmitir esta información a la Unidad de Control Electrónico. Con base en estos datos, ajusta parámetros clave como el ángulo de inyección y el tiempo de encendido, asegurando que el aire y combustible se adapte adecuadamente a las diferentes condiciones de operación del motor.

Este sensor opera bajo el principio de un coeficiente de temperatura negativo, lo que implica que su resistencia interna aumenta a medida que disminuye la temperatura del refrigerante. Este comportamiento permite al sistema detectar con precisión cambios en la temperatura y realizar los ajustes necesarios para optimizar el rendimiento del motor.

Figura 18

Sensor ECT



Fuente: (e-auto, Sensor ECT - Sensor de Temperatura del Refrigerante, 2019)

Nota: Sensor de temperatura del motor.

El sensor de temperatura del refrigerante ECT (Engine Coolant Temperature) tiene la función de medir la temperatura del líquido refrigerante del motor y enviar esta información a la Unidad de Control Electrónico. Lo hace mediante una resistencia interna que provoca una caída de voltaje en el circuito, permitiendo que la ECU ajuste parámetros clave como la mezcla aire-combustible y la duración de los pulsos de los inyectores. Además, esta información es utilizada para activar funciones como el ventilador del sistema de enfriamiento.

El sensor ECT es esencial para diversas funciones controladas por la ECU, como la inyección de combustible, el tiempo de encendido, la sincronización variable de las válvulas y los cambios en la transmisión. Es fundamental que el motor opere dentro de su rango

normal de temperatura y que el sensor envíe lecturas precisas para garantizar un rendimiento óptimo.

Este sensor funciona como un termistor, un componente cuya resistencia varía con la temperatura. Está conectado en serie con una resistencia de valor fijo y recibe un suministro de 5 V de la ECU. La ECU mide la variación de voltaje entre el sensor y la resistencia fija. Cuando el sensor está frío, su resistencia es alta, resultando en una señal de voltaje elevada. Conforme el sensor se calienta, su resistencia disminuye, lo que provoca una reducción en la señal de voltaje. Este cambio de voltaje permite a la ECU determinar la temperatura del refrigerante, así como del aire de admisión y de los gases de escape en sistemas más avanzados.

El cable de tierra del sensor ECT está conectado directamente a la ECU, generalmente en la terminal E2. Gracias a su diseño y principio de funcionamiento, el sensor ECT es un componente crítico para la correcta gestión térmica y operativa del motor (e-auto, Sensor ECT - Sensor de Temperatura del Refrigerante, 2019).

4.11.7 Sensor de temperatura de combustible

El sensor de temperatura del combustible (Fuel Temperature Sensor) utiliza un termistor cuya resistencia varía en función de la temperatura del combustible. A medida que la temperatura del combustible aumenta, la resistencia eléctrica del termistor disminuye; por el contrario, cuando la temperatura desciende, la resistencia aumenta. Este sensor recibe un suministro eléctrico de 5 V proporcionado por la ECU a través de una resistencia interna.

El FTS (Fuel Temperature Sensor) envía una señal a la ECU que es utilizada para optimizar el consumo de combustible. La ECU procesa esta información para ajustar los

cálculos relacionados con la proporción aire-combustible, teniendo en cuenta las variaciones en la densidad del combustible debido a los cambios de temperatura. Esta optimización es crucial para garantizar un funcionamiento eficiente del motor.

Además, los datos proporcionados por el sensor de temperatura del combustible, junto con otros parámetros del motor, pueden visualizarse mediante un escáner automotriz, lo que permite monitorear tanto el consumo de combustible como la temperatura del mismo en tiempo real. Esto hace del FTS un componente clave en la gestión del rendimiento del motor y la eficiencia del combustible.

4.12 Equipos que se utilizan

4.12.1 Multímetro

El multímetro, también conocido como tester, es un instrumento portátil esencial en cualquier taller mecánico o eléctrico. Su origen se remonta al dispositivo conocido como AVO (Amplifier Voltaje Output), precursor de los multímetros modernos tanto analógicos como digitales. Este instrumento fue diseñado por Donald Macadie, un ingeniero de la British Post Office, quien tuvo la idea innovadora de combinar en un solo dispositivo las funciones de un amperímetro, un voltímetro y un óhmetro, dando lugar al nombre "multímetro".

El multímetro es capaz de medir diversas magnitudes eléctricas, tanto activas, como la corriente y la tensión, como pasivas, tales como la resistencia, la capacidad y otros parámetros eléctricos. Su versatilidad permite realizar mediciones tanto en corriente continua como alterna, abarcando una amplia variedad de rangos de medición para cada tipo de magnitud. Por estas características, el multímetro se ha convertido en una herramienta indispensable para el diagnóstico y análisis de sistemas eléctricos y electrónicos.

Figura 19

Multímetro



Fuente: (TODOMULTIMETRO, 2019)

Nota: Equipo capaz de medir diversas magnitudes eléctricas.

4.12.2 Osciloscopio

El osciloscopio es un instrumento electrónico de medición que permite representar gráficamente señales eléctricas variables en función del tiempo. Es ampliamente utilizado en el ámbito automotriz debido a su capacidad para mostrar las características de las señales electrónicas en forma de ondas. Estas ondas se visualizan en una pantalla, donde el eje horizontal (X) corresponde al tiempo y el eje vertical (Y) representa las tensiones eléctricas.

La representación gráfica obtenida, conocida como oscilograma, proporciona una herramienta esencial para el análisis y diagnóstico de sistemas electrónicos, permitiendo identificar con precisión variaciones y patrones en las señales eléctricas del vehículo (AUTECH Automotive Technology, 2024).

Figura 20

Osciloscopio



Fuente: (AUTECH Automotive Technology, 2024)

Nota: Equipo para análisis y diagnóstico

4.12.3 Escáner

Cada fabricante automotriz equipa sus vehículos con un puerto de comunicación que permite interactuar con la computadora del automóvil. Este puerto, conocido universalmente como OBD II (Diagnóstico a Bordo de segunda generación), es un estándar que facilita la lectura de datos del sistema del vehículo, ya sea con el motor en funcionamiento o apagado. A través de este sistema, se pueden registrar y emitir códigos específicos que identifican posibles fallas o anomalías en el funcionamiento del automóvil.

El escáner automotriz es una herramienta diseñada para diagnosticar fallas relacionadas con los sensores y otros componentes electrónicos del vehículo. Por ejemplo, si un vehículo genera excesivo humo, puede deberse a que uno o varios sensores están funcionando incorrectamente, proporcionando datos erróneos a la computadora del motor.

Para realizar el diagnóstico, el escáner se conecta al puerto OBD II y, en conjunto con la computadora del vehículo, identifica los códigos de falla almacenados. Dependiendo del modelo de escáner, este puede interpretar y traducir los códigos a información legible o simplemente mostrar los códigos, permitiendo a los técnicos evaluar y resolver los problemas detectados (AUTOREX).

Figura 21

Escáner



Fuente: (AUTOREX)

Nota: Analiza códigos de falla del vehículo

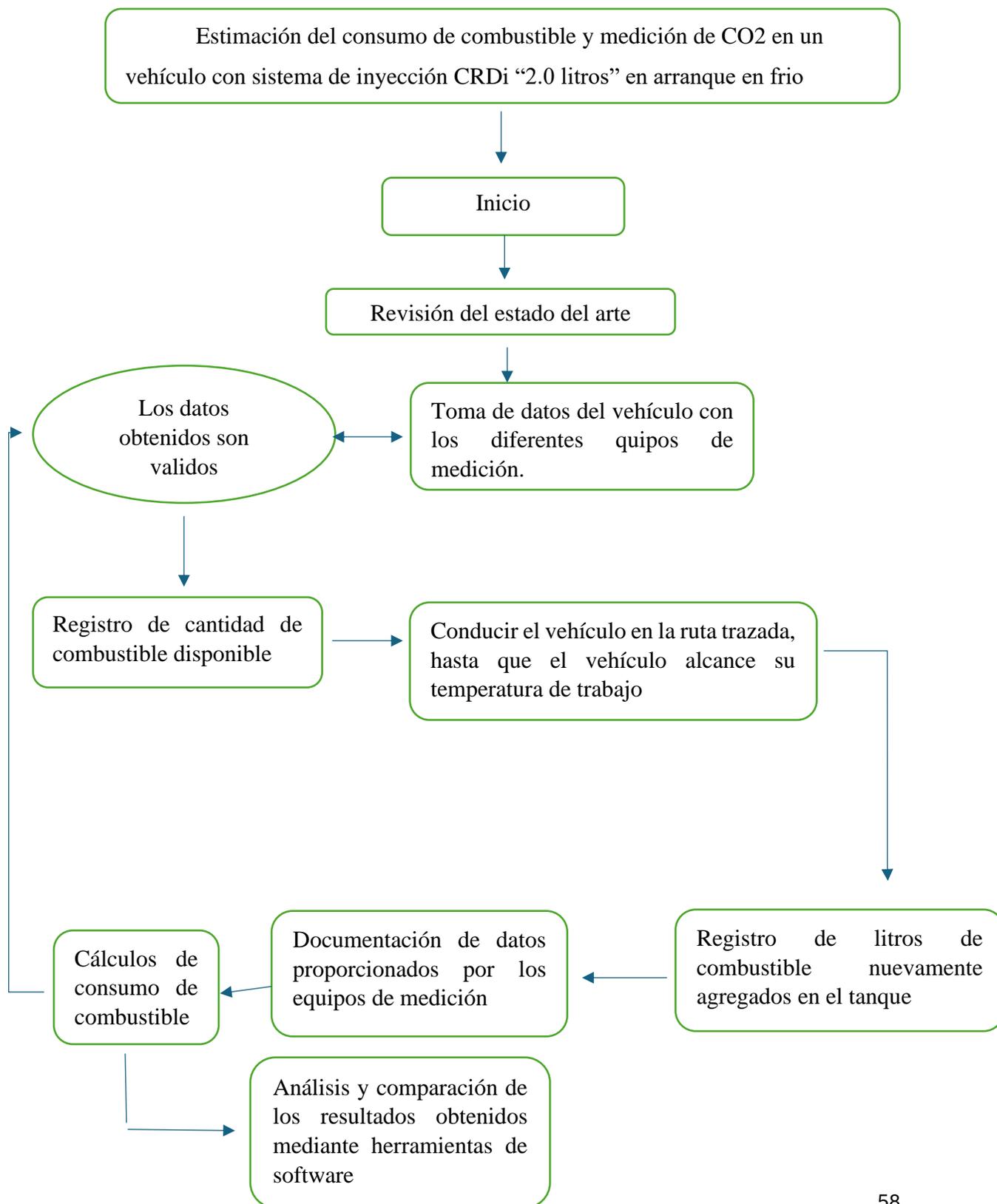
Medir el consumo de combustible y las emisiones durante el arranque en frío, utilizando equipos como un escáner automotriz, una sonda para análisis de gases y una probeta para determinar el volumen exacto de combustible consumido.

Una vez realizado el estudio bibliográfico y obtener conocimientos de los diferentes componentes y parámetros que suceden en la medición de gases, esta sección se dedica a la medición y toma de datos del vehículo en una ruta designada.

5 MEDIR EL CONSUMO DE COMBUSTIBLE Y LAS EMISIONES DURANTE EL ARRANQUE EN FRÍO.

En esta sección se describe de manera detallada la metodología empleada para la medición del consumo de combustible y las emisiones de CO₂, con el propósito de asegurar la exactitud y confiabilidad de los datos obtenidos. Para ello, se utilizaron diversos equipos de medición, tales como escáner, probeta y medidores de gases. Estos procedimientos permiten realizar mediciones exactas de ambos parámetros en condiciones controladas y representativas.

Diagrama de flujo:



Fuente:(Autores)

5.1 Instrumentos y Equipos utilizados.

Para la medición del consumo de combustible, se emplearon un escáner Thinkcar × Smartlink C y una probeta de 250 ml. Estos dispositivos permitieron registrar con alta precisión el volumen exacto de combustible consumido durante un intervalo de tiempo específico, Figura 22

posterior análisis estadístico.

Figura 23

Escáner thinkcar



Fuente: (Herramientas Daniels, 2020)

Para la medición de las emisiones de CO₂, utiliza el analizador de gases de escape NGA-6000, un dispositivo especializado en la determinación de la concentración de dióxido de carbono en los gases emitidos por el sistema de escape del vehículo. El equipo opera mediante dos sondas, las cuales instala en los tubos de escapes del vehículo, permitiendo la obtención precisa de los datos de emisiones en tiempo real.

Figura 24

Analizador de gases automotive emisión analyzer



Fuente: (A. Gases 600 NGA, 2020)

Figura 25

Sondas



Fuente: (Autores)

5.2 Procedimiento y protocolos de medición

Las mediciones se llevan a cabo conforme a un protocolo estandarizado, diseñado para asegurar la consistencia y validez de los resultados obtenidos. En primer lugar, se procedió a la calibración de todos los equipos de medición, asegurando su correcto funcionamiento una vez instalados en el vehículo. Posteriormente, se iniciaron las mediciones a lo largo de la ruta previamente planificada, manteniendo condiciones controladas de temperatura y velocidad del vehículo para garantizar la precisión de los datos recolectados.

Figura 26

Hyundai Tucson CRDi



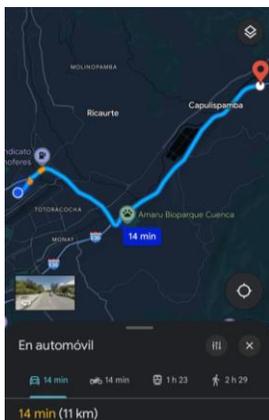
Fuente: (Autores)

5.3 Ruta y vehículo utilizado.

Para la medición del consumo de combustible y las emisiones de CO₂, se selecciona una ruta representativa que abarca diversas condiciones de conducción, incluyendo tramos urbanos y extraurbanos. La ruta, con una longitud total de 11 kilómetros, se recorre bajo condiciones de tráfico normal, lo que permite obtener resultados que reflejan las condiciones de conducción cotidiana.

Figura 27

Ruta



Fuente:(Google Maps)

El vehículo utilizado para las mediciones un Hyundai Tucson 2007 Diesel, elegido por contar con un sistema de inyección CRDi, lo que proporciona una combustión más eficiente. Durante las pruebas, el vehículo se somete a condiciones específicas como arranque en frío, simulando el comportamiento típico de un motor al encenderse hasta alcanzar su temperatura normal de trabajo.

Figura 28

Prestaciones y consumos homologados

Prestaciones y consumos homologados	
Velocidad máxima	179 km/h
Aceleración 0-100 km/h	11,1 s
Consumo NEDC	
Extraurbano	5,9 l/100 km
Urbano	8,8 l/100 km
Medio	7 l/100 km
Emisiones de CO₂ NEDC	184 gr/km
Normativa de emisiones	No disponible
Distintivo ambiental DGT	B

Fuente: (Tucson CRDi VGT)

Figura 29

Motor de Combustión

Motor de Combustión	
Propósito	Impulsar el vehículo
Combustible	Gasóleo
Potencia máxima	140 CV / 103 kW
Revoluciones potencia máxima	4.000 rpm
Par máximo	305 Nm
Revoluciones par máximo	1.800 - 2.500 rpm
Situación	Delantero transversal
Número de cilindros	4
Disposición de los cilindros	En línea
Material del bloque	Hierro
Material de la culata	Aluminio
Diámetro	83 mm
Carrera	92 mm
Cilindrada	1.991 cm ³
Relación de compresión	17,3 a 1
Distribución	
Válvulas por cilindro	4
Tipo de distribución	Un árbol de levas en la culata
Alimentación	Inyección directa por conducto común. Turbo. Geometría variable. Intercooler
Automatismo de parada y arranque del motor ("Stop/Start")	No

Fuente: (Tucson CRDi VGT)

A lo largo de cada prueba, se registra de manera sistemática el tiempo total de funcionamiento, la cantidad de combustible consumido y las emisiones de CO₂ en intervalos regulares por cada segundo, con el fin de generar una base de datos que permite un análisis de los resultados obtenidos.

5.4 Recolección de datos.

En la Tabla 1 se exponen los datos obtenidos de las diversas variables monitoreadas mediante el dispositivo escáner, las cuales están directamente relacionadas con el análisis del consumo de combustible. Este conjunto de información detalla los factores que afectan el rendimiento del motor, permitiendo un análisis de su comportamiento.

Tabla 1 Datos variables que afectan el consumo de combustible

Tiempo	Cantidad de combustible Mcc (milímetro cúbico por ciclo)	Presión de combustible (bar)	Regulador de la presión de combustible %	Sensor de posición del pedal %	Sensor de presión barométrica mbar	Velocidad motora RPM
10	18.73	359.4	20.63	0	750	784
11	18.73	359.4	20.63	0	750	784
12	18.73	359.4	20.63	0	750	792
13	23.45	381.4	21.28	0	750	792
14	23.45	381.4	21.28	0	750	792
15	23.45	381.4	21.28	0	750	785
16	18.66	352	20.67	0	750	785
17	18.66	352	20.67	0	750	785
18	18.66	352	20.67	0	750	815
19	17.6	326.4	19.13	0	750	815
20	17.6	326.4	19.13	0	750	815
21	17.6	326.4	19.13	0	750	781
22	18.43	326.4	18.69	0	750	781
23	18.43	326.4	18.69	0	750	781
24	18.43	326.4	18.69	0	750	807
25	17.51	309.9	18.53	5.51	750	807
26	17.51	309.9	18.53	5.51	750	807
27	17.51	309.9	18.53	5.51	750	802
28	20.92	353.9	20.92	0	750	802
29	20.92	353.9	20.92	0	750	802
30	20.92	353.9	20.92	0	750	802
31	25.2	377.7	21.55	0	750	802
32	25.2	377.7	21.55	0	750	802
33	25.2	377.7	21.55	0	750	798
34	16	280.5	18.26	0	750	798
35	16	280.5	18.26	0	750	798
36	16	280.5	18.26	0	750	800
37	18.95	339.2	20.84	0	752	800
38	18.95	339.2	20.84	0	752	800
39	18.95	339.2	20.84	0	752	798
40	21.19	330	17.84	0	750	798
41	21.19	330	17.84	0	750	798
42	21.19	330	17.84	0	750	801

43	13.95	269.5	17.12	0	750	801
44	13.95	269.5	17.12	0	750	801
45	13.95	269.5	17.12	0	750	799
46	16.51	275	17.65	0	750	799
47	16.51	275	17.65	0	750	799
48	16.51	275	17.65	0	750	923
49	15.17	273.2	17.12	0	750	923
50	15.17	273.2	17.12	0	750	923
51	15.17	273.2	17.12	0	750	1283
52	13.83	267.7	17.06	0	750	1283
53	13.83	267.7	17.06	0	750	1283
54	13.52	264	16.98	0	750	1072
55	13.52	264	16.98	0	750	1072
56	13.52	264	16.98	0	750	1072
57	13.57	267.7	17.11	0	750	877
58	13.57	267.7	17.11	0	750	877
59	13.57	267.7	17.11	0	750	877
60	13.53	267.7	17.16	0	750	815
61	13.53	267.7	17.16	0	750	815
62	13.53	267.7	17.16	0	750	815
63	13.18	267.7	17.01	0	750	1118
64	13.18	267.7	17.01	0	750	1118
65	13.18	267.7	17.01	0	750	1118
66	13.31	265.8	16.95	0	750	954
67	13.31	265.8	16.95	0	750	954
68	13.31	265.8	16.95	0	750	954
69	13.12	265.8	17.02	0	750	800
70	13.12	265.8	17.02	0	750	800
71	13.12	265.8	17.02	0	750	800
72	13.01	260.3	17.09	0	750	791
73	13.01	260.3	17.09	0	750	791
74	13.01	260.3	17.09	0	750	791
75	23.41	423.5	21.25	14.23	750	791
76	19.23	397.9	20.1	10.85	750	1096
77	19.23	397.9	20.1	10.85	750	1096
78	19.23	397.9	20.1	10.85	750	1096
79	10.66	284.2	22.77	7.82	750	830
80	10.66	284.2	22.77	7.82	750	830
81	10.66	284.2	22.77	7.82	750	830
82	23.6	425.4	23.71	12.27	750	1043
83	23.6	425.4	23.71	12.27	750	1044
84	23.6	425.4	23.71	12.27	750	1045

85	24.79	471.2	23.41	7.11	750	778
86	24.79	471.2	23.41	7.11	750	778
87	24.79	471.2	23.41	7.11	750	778
88	14.65	271.3	17.01	0	750	788
89	14.65	271.3	17.01	0	750	788
90	14.65	271.3	17.01	0	750	788
91	13.59	264	16.95	0	750	783
92	13.59	264	16.95	0	750	783
93	13.59	264	16.95	0	750	783
94	13.26	262.2	16.87	0	750	1132
95	13.26	262.2	16.87	0	750	1132
96	13.05	265.8	16.86	0	750	1049
97	32.49	375.9	20.07	0	750	1196
98	22.94	273.2	17.32	0	750	1571
99	12.29	264	17.24	0	750	853
100	27	485.9	38.61	21.53	750	853
101	27	485.9	38.61	21.53	750	779
102	27	485.9	38.61	21.53	750	779
103	36.54	1109.4	15.18	0	750	779
104	36.54	1109.4	15.18	0	750	779
105	36.54	1109.4	15.18	0	750	779
106	32.36	850.8	35.78	34.51	750	779
107	32.36	850.8	35.78	34.51	750	770
108	32.36	850.8	35.78	34.51	750	770
109	28.08	999.3	44.82	43.77	750	770
110	28.08	999.3	44.82	43.77	750	773
111	28.08	999.3	44.82	43.77	750	773
112	18.46	258.4	17.63	0	750	773
113	18.46	258.4	17.63	0	750	775
114	18.46	258.4	17.63	0	750	775
115	36.37	772	35.53	42.52	750	775
116	36.37	772	35.53	42.52	750	778
117	36.37	772	35.53	42.52	750	778
118	34.56	806.8	30.59	26.51	750	778
119	13.14	339.2	16.39	14.05	750	776
120	13.14	339.2	16.39	14.05	750	777
121	13.14	339.2	16.39	14.05	750	777
122	11.29	421.7	22.85	19.92	750	777
123	11.29	421.7	22.85	19.92	750	776
124	19.29	454.7	23.29	19.92	750	776
125	19.29	454.7	23.29	19.92	750	776
126	19.29	454.7	23.29	19.92	750	755

127	16.75	364.9	16.53	8.36	750	755
128	16.75	364.9	16.53	8.36	750	755
129	16.75	364.9	16.53	8.36	750	841
130	8.1	427.2	23.41	22.06	750	841
131	8.1	427.2	23.41	22.06	750	841
132	8.1	427.2	23.41	22.06	750	774
133	20.93	493.2	19.75	16.54	750	774
134	20.93	493.2	19.75	16.54	750	774
135	20.93	493.2	19.75	16.54	750	769
136	12.73	381.4	19.02	13.7	750	769
137	12.73	381.4	19.02	13.7	750	769
138	12.73	381.4	19.02	13.7	750	747
139	7.92	493.2	17.06	12.81	750	747
140	7.92	493.2	17.06	12.81	750	747
141	7.92	493.2	17.06	12.81	750	760
142	7.12	33.7	18.6	15.12	752	760
143	7.12	33.7	18.6	15.12	752	760
144	7.12	33.7	18.6	15.12	752	770
145	6.32	337.4	18.5	14.94	752	770
146	6.32	337.4	18.5	14.94	752	770
147	6.32	337.4	18.5	14.94	752	1102
148	8.69	342.9	21.65	18.32	752	1102
149	8.69	342.9	21.65	18.32	752	1102
150	8.69	342.9	21.65	18.32	752	1251
151	4.88	370.4	18.78	16.54	752	1251
152	4.88	370.4	18.78	16.54	752	1251
153	4.88	370.4	18.78	16.54	752	876
154	7.49	344.7	17.28	14.23	752	876
155	7.49	344.7	17.28	14.23	752	876
156	7.49	344.7	17.28	14.23	752	787
157	29.53	1054.4	40.48	32.2	752	787
158	29.53	1054.4	40.48	32.2	752	787
159	29.53	1054.4	40.48	32.2	752	775
160	12.42	339.2	13.46	0	752	775
161	12.42	339.2	13.46	0	752	775
162	12.42	339.2	13.46	0	752	773
163	41.5	1111.2	44.57	50.53	752	769
164	41.5	1111.2	44.57	50.53	752	769
165	41.5	1111.2	44.57	50.53	752	769
166	30.87	775.6	12.6	0	752	773
167	30.87	775.6	12.6	0	752	773
168	30.87	775.6	12.6	0	752	773

169	0	262.2	17.06	0	752	771
170	0	262.2	17.06	0	752	771
171	0	262.2	17.06	0	752	771
172	38.05	1004.8	44.2	51.24	752	775
173	38.05	1004.8	44.2	51.24	752	775
174	38.05	1004.8	44.2	51.24	752	775
175	42.08	1100.2	44.15	44.12	752	770
176	42.08	1100.2	44.15	44.12	752	770
177	42.08	1100.2	44.15	44.12	752	770
178	34.97	1098.4	46.67	48.04	752	768
179	34.97	1098.4	46.67	48.04	752	768
180	34.97	1098.4	46.67	48.04	752	768
181	22.62	852.6	35.39	32.02	752	1268
182	22.62	852.6	35.39	32.02	752	1268
183	22.62	852.6	35.39	32.02	752	1268
184	26.97	806.8	33.96	31.67	752	1639
185	26.97	806.8	33.96	31.67	752	1639
186	26.97	806.8	33.96	31.67	752	1639
187	27.23	755.5	32.02	28.29	752	2121
188	27.23	755.5	32.02	28.29	752	2121
189	27.23	755.5	32.02	28.29	752	2121
190	23.88	707.8	34.53	34.16	752	1720
191	23.88	707.8	34.53	34.16	752	1720
192	23.88	707.8	34.53	34.16	752	1720
193	32.22	883.8	36.86	35.05	752	1426
194	32.22	883.8	36.86	35.05	752	1426
195	32.22	883.8	36.86	35.05	752	1426
196	31.44	891.1	37.43	35.58	752	1590
197	31.44	891.1	37.43	35.58	752	1590
198	31.44	891.1	37.43	35.58	752	1590
199	29.66	836.1	32.58	29.71	752	2039
200	29.66	836.1	32.58	29.71	752	2039
201	29.66	836.1	32.58	29.71	752	2039
202	16.9	440	22.41	19.92	752	1992
203	16.9	440	22.41	19.92	752	1992
204	16.9	440	22.41	19.92	752	1992
205	15.31	577.6	26.84	24.91	752	2006
206	15.31	577.6	26.84	24.91	752	2006
207	15.31	577.6	26.84	24.91	752	1961
208	21.3	715.1	31.39	29	752	1961
209	21.3	715.1	31.39	29	752	1961
210	21.3	715.1	31.39	29	752	1892

211	31.2	942.5	42.67	42.7	752	1892
212	31.2	942.5	42.67	42.7	752	1892
213	34.39	986.5	35.97	35.58	752	1916
214	34.39	986.5	35.97	35.58	752	1916
215	34.39	986.5	35.97	35.58	752	1916
216	26.22	669.3	29.34	26.51	752	1969
217	26.22	669.3	29.34	26.51	752	1969
218	26.22	669.3	29.34	26.51	752	1969
219	12.76	407	20.55	19.03	752	2125
220	12.76	407	20.55	19.03	752	2125
221	12.76	407	20.55	19.03	752	2125
222	7.99	447.4	22.8	25.44	752	1723
223	7.99	447.4	22.8	25.44	752	1723
224	7.99	447.4	22.8	25.44	752	1723
225	24.29	766.5	32.07	27.04	752	1169
226	24.29	766.5	32.07	27.04	752	1169
227	24.29	766.5	32.07	27.04	752	1169
228	14.76	500.6	22.39	20.81	752	898
229	14.76	500.6	22.39	20.81	752	898
230	14.76	500.6	22.39	20.81	752	898
231	8.03	432.7	22.24	20.1	752	977
232	8.03	432.7	22.24	20.1	752	977
233	8.03	432.7	22.24	20.1	752	977
234	6.66	337.4	15.08	12.45	752	1088
235	6.66	337.4	15.08	12.45	752	1088
236	6.66	337.4	15.08	12.45	752	1088
237	2.37	287.8	16.42	12.98	753	1371
238	2.37	287.8	16.42	12.98	753	1371
239	2.37	287.8	16.42	12.98	753	1371
240	5.86	375.6	13.42	0	753	1333
241	5.86	375.6	13.42	0	753	1333
242	5.86	375.6	13.42	0	753	1333
243	8.49	275	18.49	0	753	1526
244	8.49	275	18.49	0	753	1526
245	9.06	267.7	18.36	0	753	1526
246	9.06	267.7	18.36	0	753	2404
247	9.06	267.7	18.36	0	753	2404
248	7.93	260.3	18.31	0	753	2404
249	7.93	260.3	18.31	0	753	1825
250	7.93	260.3	18.31	0	753	1825
251	9.46	264	18.28	0	753	1825
252	9.46	264	18.28	0	753	2402

253	9.46	264	18.28	0	753	2402
254	9.12	264	17.99	0	753	2402
255	9.12	264	17.99	0	753	1850
256	9.12	264	17.99	0	753	1850
257	8.97	258.5	18.11	0	753	1850
258	8.97	258.5	18.11	0	753	1928
259	8.97	258.5	18.11	0	753	1928
260	9.14	264	18	0	753	1928
261	9.14	264	18	0	753	1897
262	9.14	264	18	0	753	1897
263	9.19	262.2	18.05	0	753	1897
264	9.19	262.2	18.05	0	753	1830
265	9.19	262.2	18.05	0	753	1830
266	10.03	264	18.14	0	753	1830
267	10.03	264	18.14	0	753	1849
268	10.03	264	18.14	0	753	1849
269	43.02	1041.5	49.43	75.8	753	1849
270	43.02	1041.5	49.43	75.8	753	1926
271	43.02	1041.5	49.43	75.8	753	1926
272	28.88	1098.4	43.3	63.7	753	1926
273	28.88	1098.4	43.3	63.7	753	2017
274	28.88	1098.4	43.3	63.7	753	2017
275	7.03	251.2	17.57	66.9	753	2017
276	7.03	251.2	17.57	66.9	753	2082
277	7.03	251.2	17.57	66.9	753	2082
278	44.23	1193.7	51.68	56.76	753	2082
279	44.23	1193.7	51.68	56.76	753	2077
280	44.23	1193.7	51.68	56.76	753	2077
281	44.08	1180.9	49.07	56.04	753	2077
282	44.08	1180.9	49.07	56.04	753	1036
283	44.08	1180.9	49.07	56.04	753	1036
284	41.52	1127.7	43.68	43.77	753	2088
285	41.52	1127.7	43.68	43.77	753	2175
286	41.52	1127.7	43.68	43.77	753	2175
287	13.18	306.2	14.75	12.09	753	2175
288	13.18	306.2	14.75	12.09	753	2260
289	13.18	306.2	14.75	12.09	753	2260
290	5.45	344.7	18.66	15.48	753	2260
291	5.45	344.7	18.66	15.48	753	2290
292	2.53	295.2	16.88	12.81	753	2290
293	2.53	295.2	16.88	12.81	753	2290
294	2.53	295.2	16.88	12.81	753	2112

295	2.65	328.2	17.49	13.52	753	2112
296	2.65	328.2	17.49	13.52	753	2112
297	2.65	328.2	17.49	13.52	753	2017
298	3.75	451.1	22.83	16.19	754	2017
299	3.75	451.1	22.83	16.19	754	2017
300	3.75	451.1	22.83	16.19	754	1987
301	0.81	264	13.65	11.92	754	1987
302	0.81	264	13.65	11.92	754	1987
303	0.81	264	13.65	11.92	754	1963
304	5.88	392.4	20.89	17.61	754	1963
305	5.88	392.4	20.89	17.61	754	1963
306	5.88	392.4	20.89	17.61	754	1894
307	10.74	407	21.56	19.39	754	1894
308	10.74	407	21.56	19.39	754	1894
309	10.74	407	21.56	19.39	754	1918
310	10.2	401.5	21.06	18.86	754	1918
311	10.2	401.5	21.06	18.86	754	1918
312	10.92	440	21.73	20.81	754	1946
313	10.92	440	21.73	20.81	754	1946
314	10.92	440	21.73	20.81	754	1946
315	13.63	436.4	22.81	21.35	754	1928
316	13.63	436.4	22.81	21.35	754	1928
317	13.63	436.4	22.81	21.35	754	1928
318	14.15	449.2	22.8	21.7	754	1933
319	14.15	449.2	22.8	21.7	754	1933
320	14.15	449.2	22.8	21.7	754	1933
321	14.95	440	21.41	20.46	754	1981
322	14.95	440	21.41	20.46	754	1981
323	14.95	440	21.41	20.46	754	1981
324	12.54	407	20.44	17.97	754	2028
325	12.54	407	20.44	17.97	754	2028
326	12.54	407	20.44	17.97	754	2028
327	7.89	383.2	19.88	17.08	754	2096
328	7.89	383.2	19.88	17.08	754	2096
329	7.89	383.2	19.88	17.08	754	2096
330	3.14	366.7	19.86	16.72	754	1823
331	3.14	366.7	19.86	16.72	754	1823
332	3.14	366.7	19.86	16.72	754	1823
333	7.02	370.4	19.9	17.08	755	1124
334	7.02	370.4	19.9	17.08	755	1124
335	7.02	370.4	19.9	17.08	755	1124
336	7.52	386.9	19.55	16.54	755	1280

337	7.52	386.9	19.55	16.54	755	1280
338	7.52	386.9	19.55	16.54	755	1280
339	6.66	251.2	14.12	0	755	1449
340	6.66	251.2	14.12	0	755	1449
341	6.66	251.2	14.12	0	755	1449
342	0	258.5	14.84	0	755	1692
343	0	258.5	14.84	0	755	1692
344	0	258.5	14.84	0	755	1692
345	0	258.5	14.84	0	755	1777
346	0	258.5	14.84	0	755	1777
347	0	258.5	14.96	0	755	1777
348	0	258.5	14.96	0	755	1742
349	0	258.5	14.96	0	755	1742
350	0	258.5	14.96	0	755	1742
351	0	258.5	14.96	0	755	1264
352	3.32	300.7	17.43	13.87	757	1264
353	3.32	300.7	17.43	13.87	757	1264
354	3.32	300.7	17.43	13.87	757	1615
355	3.32	300.7	17.43	13.87	757	1615
356	2.82	295.2	16.74	15.83	757	1615
357	2.82	295.2	16.74	15.83	757	1439
358	2.82	295.2	16.74	15.83	757	1439
359	1.25	264	13.8	4.8	757	1439
360	1.25	264	13.8	4.8	757	1244
361	1.25	264	13.8	4.8	757	1244
362	0	256.7	14.18	0	757	1244
363	0	256.7	14.18	0	757	1232
364	0	256.7	14.18	0	757	1232
365	0	258.5	15.08	0	757	1232
366	0	258.5	15.08	0	757	1329
367	0	258.5	15.08	0	757	1329
368	0	262.2	14.99	0	758	1329
369	0	262.2	14.99	0	758	1329
370	0	262.2	14.99	0	758	1329
371	0	260.3	14.9	0	758	1329
372	0	260.3	14.9	0	758	1273
373	0	260.3	14.9	0	758	1273
374	0	260.3	15.17	9.07	758	1273
375	0	260.3	15.17	9.07	758	1250
376	0	260.3	15.17	9.07	758	1250
377	3.37	346.3	28.17	25.44	758	1250
378	3.37	346.3	28.17	25.44	758	1414

379	3.37	346.3	28.17	25.44	758	1414
380	29.04	526.2	22.86	17.25	758	891
381	26.33	381.4	26.83	36.47	757	891
382	39.88	1092.9	44.41	47.15	758	898
383	39.37	1065.4	45.06	45.9	757	898
384	39.37	1065.4	45.06	45.9	757	898
385	39.37	1065.4	45.06	45.9	757	898
386	39.24	970	46.31	46.26	757	819
387	39.24	970	46.31	46.26	757	819
388	39.24	970	46.31	46.26	757	730
389	40.52	993.8	44.43	48.04	757	730
390	40.52	993.8	44.43	48.04	757	730
391	40.52	993.8	44.43	48.04	757	739
392	38.75	1058	44.17	47.5	757	739
393	38.75	1058	44.17	47.5	757	739
394	38.75	1058	44.17	47.5	757	743
395	40.6	1096.5	43.08	45.72	757	743
396	40.6	1096.5	43.08	45.72	757	743
397	40.6	1096.5	43.08	45.72	757	739
398	37.08	992	41.28	41.99	755	739
399	37.08	992	41.28	41.99	755	739
400	37.08	992	41.28	41.99	755	736
401	38.89	997.5	42.94	42.7	755	736
402	38.89	997.5	42.94	42.7	755	736
403	38.89	997.5	42.94	42.7	755	741
404	14.4	397.9	22.2	15.65	755	741
405	14.4	397.9	22.2	15.65	755	741
406	14.4	397.9	22.2	15.65	755	734
407	32.63	871	38.87	32.56	755	734
408	32.63	871	38.87	32.56	755	734
409	32.63	871	38.87	32.56	755	1114
410	23.81	753.6	34.4	28.82	755	1114
411	23.81	753.6	34.4	28.82	755	1114
412	23.81	753.6	34.4	28.82	755	1764
413	15.41	278.7	14.54	0	755	1764
414	17.33	405.2	19.88	17.25	757	1773
415	36.86	1091	43.09	40.56	755	1915
416	37.05	1001.2	40.08	37.9	755	1894

Fuente: (Autores)

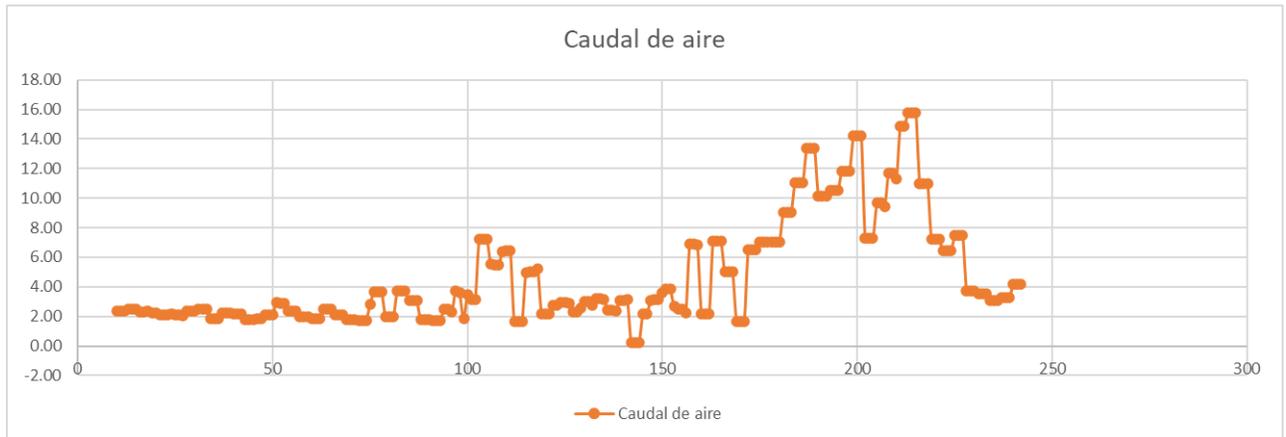
A continuación, se presenta la gráfica correspondiente a la primera prueba realizada, en la cual se recopilaron diversos datos relevantes para el análisis. Esta prueba se lleva a cabo a una temperatura ambiente de 18°C, y del refrigerante del motor registró una temperatura de 18,73°C estos datos se registran a partir de los 10 segundos, donde el vehículo se pone en marcha. Durante la ejecución de la prueba, se registró un consumo de 700 mililitros, utilizando una probeta en un recorrido de 11 kilómetros finalizo ya que el motor alcanzo su temperatura de trabajo, correspondiente a una ruta específica. La prueba se realizó a una velocidad constante de 70 km/h, con el objetivo de obtener datos más precisos y fiables para el análisis posterior (INEN, 2016).

La gráfica muestra tres variables fundamentales en el funcionamiento del motor: el caudal de aire masivo, la cantidad de combustible inyectado y la posición del pedal del acelerador. Cada una de estas variables se representa mediante líneas de colores diferenciados: la línea naranja corresponde al caudal de aire masivo, la línea celeste a la cantidad de combustible, y la línea azul a la posición del pedal del acelerador. Esta representación facilita el análisis de la interrelación entre estas magnitudes y su influencia en el comportamiento general del motor.

5.5 Caudal de Aire Masivo (Línea Naranja)

Figura 30

Caudal de aire.



Nota: Eje X representa el tiempo (s) y el eje Y caudal de aire gr/s.

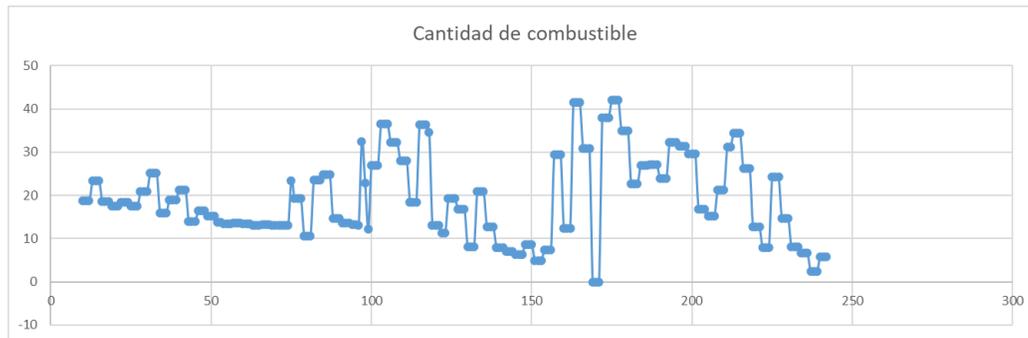
Fuente: (Autores)

El caudal de aire masivo representa la cantidad de aire que ingresa al motor, siendo un parámetro importante para el proceso de combustión. En la gráfica, se observa que esta variable presenta fluctuaciones significativas, lo que indica que el flujo de aire no permanece constante, sino que varía en función de las demandas del motor. Los picos en el caudal de aire suelen coincidir con los momentos en los que el motor requiere un mayor aporte de energía, como durante las aceleraciones, cuando se incrementa la necesidad de aire para optimizar combustible y asegurar una combustión eficiente.

5.6 Cantidad de Combustible (Línea Celeste)

Figura 31

Cantidad de combustible



Nota: Eje X representa el tiempo (s) y el eje Y cantidad de combustible Mcc.

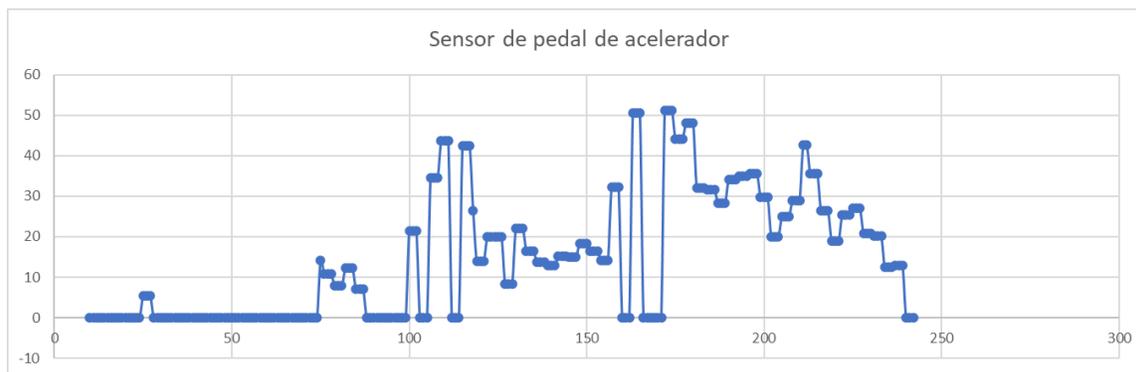
Fuente: (Autores)

La cantidad de combustible inyectada al motor también muestra variaciones que se encuentran correlacionadas con el caudal de aire. Este comportamiento es coherente con los principios operativos de los motores Diesel, donde tanto la entrada de aire como la cantidad de combustible deben ser controladas de manera exacta para garantizar una combustión óptima y eficiente. Los incrementos en la cantidad de combustible generalmente coinciden con los aumentos en el caudal de aire, lo que establece la implementación de una estrategia de control que ajusta ambos parámetros de manera conjunta, en función de las demandas de potencia del motor.

5.7 Posición del Pedal del Acelerador (Línea Azul)

Figura 32

Sensor de pedal de acelerador



Nota: Eje X representa el tiempo (s) y el eje Y caudal de aire %.

Fuente: (Autores)

La posición del pedal del acelerador, representada por la línea azul en la gráfica, es un indicador del control ejercido por el conductor sobre la potencia del motor. Las variaciones en esta variable inicializan los cambios en el caudal de aire y la dosificación de combustible. Un aumento en la presión ejercida sobre el pedal del acelerador se traduce, generalmente, en un incremento simultáneo tanto del caudal de aire como de la cantidad de combustible suministrada. Esto refleja la respuesta dinámica del sistema de inyección, diseñado para satisfacer la demanda de potencia generada por la aceleración. Adicionalmente, la gráfica evidencia el tiempo de retardo existente entre la variación en la posición del pedal del acelerador y la respuesta del sistema de control electrónico del motor (ECU), lo cual es importante para evaluar la eficiencia y la capacidad de respuesta del sistema en términos de entrega de potencia.

Las gráficas muestran una evidente interrelación entre las tres variables analizadas. Tanto el caudal de aire como la cantidad de combustible ajustan su comportamiento en función de las variaciones en la posición del pedal del acelerador. Esta interacción es fundamental en los motores Diesel CRDi, ya que el control preciso de la entrada de aire y la cantidad de combustible inyectado resulta esencial para maximizar el rendimiento y la eficiencia operativa del motor

5.8 Toma de datos para emisiones de CO₂

En la

Tabla 2 se presentan los datos obtenidos de diversas variables monitorizadas mediante el dispositivo escáner, las cuales están directamente vinculadas al análisis de las emisiones de CO₂. Este conjunto de datos proporciona un análisis detallado de los factores que afectan la emisión de gases durante la etapa de arranque en frío, permitiendo comprender

los procesos asociados al comportamiento del motor en condiciones iniciales de funcionamiento.

Tabla 2 Datos variables que afectan las emisiones de CO2

Tiempo	Cantidad de combustible Mcc	CO2 %	Sensor de temperatura del refrigerante °C	Caudal de Aire gr/s	Sensor de posición del pedal %
10	18,73	1,3	18,96	2,35	0
11	18,73	2,4	18,96	2,35	0
12	18,73	2,4	18,96	2,37	0
13	23,45	3,7	19,16	2,52	0
14	23,45	3,7	19,16	2,52	0
15	23,45	4,9	19,16	2,49	0
16	18,66	5	19,26	2,30	0
17	18,66	6,2	19,26	2,30	0
18	18,66	6,2	19,26	2,39	0
19	17,6	6,3	19,76	2,22	0
20	17,6	6,4	19,76	2,22	0
21	17,6	6,5	19,76	2,12	0
22	18,43	6,6	19,96	2,12	0
23	18,43	6,6	19,96	2,12	0

24	18,43	6,7	19,96	2,20	0
25	17,51	6,8	20,26	2,08	5,51
26	17,51	6,8	20,26	2,08	5,51
27	17,51	8,2	20,26	2,07	5,51
28	20,92	8,2	20,66	2,37	0
29	20,92	8,2	20,66	2,37	0
30	20,92	8,2	20,66	2,37	0
31	25,2	8,1	21,06	2,52	0
32	25,2	8,1	21,06	2,52	0
33	25,2	8,1	21,06	2,51	0
34	16	8,1	21,36	1,87	0
35	16	8,1	21,36	1,87	0
36	16	8,1	21,36	1,87	0
37	18,95	8,1	21,76	2,26	0
38	18,95	8,1	21,76	2,26	0
39	18,95	8	21,76	2,26	0
40	21,19	8	22,16	2,19	0
41	21,19	8	22,16	2,19	0
42	21,19	7,9	22,16	2,20	0
43	13,95	7,9	22,56	1,80	0
44	13,95	7,9	22,56	1,80	0
45	13,95	7,9	22,56	1,79	0
46	16,51	7,9	22,76	1,83	0
47	16,51	7,8	22,76	1,83	0
48	16,51	7,8	22,76	2,12	0
49	15,17	7,8	23,16	2,10	0
50	15,17	7,8	23,16	2,10	0
51	15,17	7,6	23,16	2,92	0
52	13,83	7,6	23,46	2,86	0
53	13,83	7,5	23,46	2,86	0
54	13,52	7,5	23,66	2,36	0
55	13,52	7,5	23,66	2,36	0
56	13,52	7,4	23,66	2,36	0
57	13,57	7,4	23,96	1,96	0
58	13,57	7,3	23,96	1,96	0
59	13,57	7,3	23,96	1,96	0
60	13,53	7,3	24,36	1,82	0
61	13,53	7,3	24,36	1,82	0
62	13,53	7,3	24,36	1,82	0
63	13,18	7,2	24,56	2,49	0
64	13,18	7,2	24,56	2,49	0
65	13,18	7,2	24,56	2,49	0
66	13,31	7,2	24,86	2,11	0

67	13,31	7,1	24,86	2,11	0
68	13,31	7,1	24,86	2,11	0
69	13,12	7,1	25,06	1,77	0
70	13,12	7,2	25,06	1,77	0
71	13,12	7,2	25,06	1,77	0
72	13,01	7,3	25,36	1,72	0
73	13,01	7,4	25,36	1,72	0
74	13,01	7,5	25,36	1,72	0
75	23,41	7,7	26,06	2,79	14,23
76	19,23	7,8	26,56	3,63	10,85
77	19,23	7,9	26,56	3,63	10,85
78	19,23	8	26,56	3,63	10,85
79	10,66	8	27,06	1,97	7,82
80	10,66	8	27,06	1,97	7,82
81	10,66	8	27,06	1,97	7,82
82	23,6	8	27,46	3,70	12,27
83	23,6	8,1	27,46	3,70	12,27
84	23,6	8,1	27,46	3,70	12,27
85	24,79	8,1	28,16	3,05	7,11
86	24,79	8,1	28,16	3,05	7,11
87	24,79	8	28,16	3,05	7,11
88	14,65	8	28,46	1,78	0
89	14,65	6,7	28,46	1,78	0
90	14,65	6,7	28,46	1,78	0
91	13,59	6,7	28,96	1,72	0
92	13,59	6,7	28,96	1,72	0
93	13,59	6,7	28,96	1,72	0
94	13,26	6,6	29,36	2,47	0
95	13,26	6,6	29,36	2,47	0
96	13,05	6,6	29,66	2,32	0
97	32,49	6,8	29,86	3,75	0
98	22,94	7,2	30,96	3,58	0
99	12,29	6	31,86	1,88	0
100	27	6	32,06	3,45	21,53
101	27	6,1	32,06	3,15	21,53
102	27	6,2	32,06	3,15	21,53
103	36,54	6,2	32,46	7,20	0
104	36,54	6,3	32,46	7,20	0
105	36,54	6,4	32,46	7,20	0
106	32,36	6,5	32,96	5,52	34,51
107	32,36	6,7	32,96	5,46	34,51
108	32,36	6,7	32,96	5,46	34,51
109	28,08	6,9	33,46	6,41	43,77

110	28,08	6,9	33,46	6,44	43,77
111	28,08	7,1	33,46	6,44	43,77
112	18,46	7,2	34,16	1,66	0
113	18,46	5,6	34,16	1,67	0
114	18,46	4,4	34,16	1,67	0
115	36,37	4,4	34,76	4,99	42,52
116	36,37	3,2	34,76	5,01	42,52
117	36,37	3,2	34,76	5,01	42,52
118	34,56	2,1	35,46	5,23	26,51
119	13,14	2	36,06	2,19	14,05
120	13,14	2	36,06	2,20	14,05
121	13,14	2	36,06	2,20	14,05
122	11,29	3	36,36	2,73	19,92
123	11,29	3	36,36	2,73	19,92
124	19,29	3,1	36,86	2,94	19,92
125	19,29	3,1	36,86	2,94	19,92
126	19,29	4,1	36,86	2,86	19,92
127	16,75	4,1	37,26	2,30	8,36
128	16,75	4,2	37,26	2,30	8,36
129	16,75	4,3	37,26	2,56	8,36
130	8,1	4,3	37,56	2,99	22,06
131	8,1	4,3	37,56	2,99	22,06
132	8,1	4,5	37,56	2,76	22,06
133	20,93	4,5	37,76	3,18	16,54
134	20,93	4,7	37,76	3,18	16,54
135	20,93	4,7	37,76	3,16	16,54
136	12,73	4,8	38,26	2,44	13,7
137	12,73	5	38,26	2,44	13,7
138	12,73	5,1	38,26	2,37	13,7
139	7,92	5,2	38,66	3,07	12,81
140	7,92	5,3	38,66	3,07	12,81
141	7,92	5,4	38,66	3,12	12,81
142	7,12	5,5	38,86	0,21	15,12
143	7,12	5,5	38,86	0,21	15,12
144	7,12	5,5	38,86	0,22	15,12
145	6,32	5,6	39,06	2,16	14,94
146	6,32	5,6	39,06	2,16	14,94
147	6,32	5,6	39,06	3,10	14,94
148	8,69	5,6	39,16	3,15	18,32
149	8,69	5,6	39,16	3,15	18,32
150	8,69	5,7	39,16	3,57	18,32
151	4,88	5,7	39,46	3,86	16,54
152	4,88	5,7	39,46	3,86	16,54

153	4,88	5,8	39,46	2,70	16,54
154	7,49	5,8	39,66	2,52	14,23
155	7,49	7	39,66	2,52	14,23
156	7,49	7	39,66	2,26	14,23
157	29,53	5,5	39,86	6,92	32,2
158	29,53	5,4	39,86	6,92	32,2
159	29,53	3,9	39,86	6,81	32,2
160	12,42	3,9	40,36	2,19	0
161	12,42	4	40,36	2,19	0
162	12,42	5,4	40,36	2,19	0
163	41,5	1,7	41,26	7,12	50,53
164	41,5	1,7	41,26	7,12	50,53
165	41,5	1,7	41,26	7,12	50,53
166	30,87	1,7	41,96	5,00	0
167	30,87	2,7	41,96	5,00	0
168	30,87	2,8	41,96	5,00	0
169	0	2,8	42,56	1,68	0
170	0	2,8	42,56	1,68	0
171	0	2,9	42,56	1,68	0
172	38,05	3,8	42,96	6,49	51,24
173	38,05	3,8	42,96	6,49	51,24
174	38,05	5	42,96	6,49	51,24
175	42,08	5	43,46	7,06	44,12
176	42,08	3,3	43,46	7,06	44,12
177	42,08	3,2	43,46	7,06	44,12
178	34,97	3,2	44,16	7,03	48,04
179	34,97	3,2	44,16	7,03	48,04
180	34,97	3,2	44,16	7,03	48,04
181	22,62	3,2	45,06	9,01	32,02
182	22,62	3,1	45,06	9,01	32,02
183	22,62	3,1	45,06	9,01	32,02
184	26,97	3,1	45,76	11,02	31,67
185	26,97	3,1	45,76	11,02	31,67
186	26,97	3,1	45,76	11,02	31,67
187	27,23	3,1	46,46	13,35	28,29
188	27,23	3	46,46	13,35	28,29
189	27,23	3	46,46	13,35	28,29
190	23,88	3	47,16	10,15	34,16
191	23,88	3,1	47,16	10,15	34,16
192	23,88	3,1	47,16	10,15	34,16
193	32,22	3,1	47,86	10,50	35,05
194	32,22	3	47,86	10,50	35,05
195	32,22	3	47,86	10,50	35,05

196	31,44	3	48,56	11,81	35,58
197	31,44	3,1	48,56	11,81	35,58
198	31,44	3,1	48,56	11,81	35,58
199	29,66	3,1	49,36	14,21	29,71
200	29,66	1,9	49,36	14,21	29,71
201	29,66	1,9	49,36	14,21	29,71
202	16,9	1,9	49,96	7,30	19,92
203	16,9	1,9	49,96	7,30	19,92
204	16,9	1,9	49,96	7,30	19,92
205	15,31	2,8	50,56	9,66	24,91
206	15,31	2,8	50,56	9,66	24,91
207	15,31	2,9	50,56	9,44	24,91
208	21,3	2,9	50,96	11,69	29
209	21,3	3	50,96	11,69	29
210	21,3	3,9	50,96	11,27	29
211	31,2	3,9	51,46	14,86	42,7
212	31,2	4	51,46	14,86	42,7
213	34,39	4	52,16	15,75	35,58
214	34,39	4,1	52,16	15,75	35,58
215	34,39	4,1	52,16	15,75	35,58
216	26,22	4,2	52,86	10,98	26,51
217	26,22	4,2	52,86	10,98	26,51
218	26,22	4,3	52,86	10,98	26,51
219	12,76	4,5	53,56	7,21	19,03
220	12,76	4,5	53,56	7,21	19,03
221	12,76	4,6	53,56	7,21	19,03
222	7,99	4,7	53,96	6,42	25,44
223	7,99	4,8	53,96	6,42	25,44
224	7,99	4,9	53,96	6,42	25,44
225	24,29	4,9	54,26	7,47	27,04
226	24,29	4,9	54,26	7,47	27,04
227	24,29	5	54,26	7,47	27,04
228	14,76	5	54,66	3,75	20,81
229	14,76	5	54,66	3,75	20,81
230	14,76	5	54,66	3,75	20,81
231	8,03	5	54,96	3,52	20,1
232	8,03	5,1	54,96	3,52	20,1
233	8,03	5,2	54,96	3,52	20,1
234	6,66	5,3	55,16	3,06	12,45
235	6,66	5,4	55,16	3,06	12,45
236	6,66	5,4	55,16	3,06	12,45
237	2,37	5,6	55,26	3,29	12,98
238	2,37	5,6	55,26	3,29	12,98

239	2,37	5,6	55,26	3,29	12,98
240	5,86	7,2	55,16	4,17	0
241	5,86	7,3	55,16	4,17	0
242	5,86	7,2	55,16	4,17	0
243	8,49	3,9	55,16	3,50	0
244	8,49	3,9	55,16	3,50	0
245	9,06	3,9	55,26	3,40	0
246	9,06	3,9	55,26	5,36	0
247	9,06	3,9	55,26	5,36	0
248	7,93	3,9	55,36	5,21	0
249	7,93	3,9	55,36	3,96	0
250	7,93	4	55,36	3,96	0
251	9,46	5,4	55,36	4,02	0
252	9,46	5,4	55,36	5,28	0
253	9,46	5,4	55,36	5,28	0
254	9,12	4,2	55,36	5,28	0
255	9,12	4,2	55,36	4,07	0
256	9,12	4,2	55,36	4,07	0
257	8,97	5,8	55,46	3,99	0
258	8,97	5,8	55,46	4,15	0
259	8,97	5,9	55,46	4,15	0
260	9,14	6	55,46	4,24	0
261	9,14	7,2	55,46	4,17	0
262	9,14	7,3	55,46	4,17	0
263	9,19	7,3	55,46	4,14	0
264	9,19	7,2	55,46	4,00	0
265	9,19	7,2	55,46	4,00	0
266	10,03	7,2	55,46	4,03	0
267	10,03	7,3	55,46	4,07	0
268	10,03	7,4	55,46	4,07	0
269	43,02	7,4	55,46	16,05	75,8
270	43,02	7,4	55,46	16,72	75,8
271	43,02	7,5	55,46	16,72	75,8
272	28,88	7,6	55,56	17,63	63,7
273	28,88	7,6	55,56	18,46	63,7
274	28,88	7,7	55,56	18,46	63,7
275	7,03	9,3	56,06	4,22	66,9
276	7,03	9,3	56,06	4,36	66,9
277	7,03	9,4	56,06	4,36	66,9
278	44,23	9,4	56,76	20,71	56,76
279	44,23	9,6	56,76	20,66	56,76
280	44,23	9,6	56,76	20,66	56,76
281	44,08	9,6	57,66	20,44	56,04

282	44,08	9,6	57,66	10,20	56,04
283	44,08	9,5	57,66	10,20	56,04
284	41,52	9,4	59,26	19,62	43,77
285	41,52	7,4	59,26	20,44	43,77
286	41,52	7,4	59,26	20,44	43,77
287	13,18	7,4	60,16	5,55	12,09
288	13,18	7,4	60,16	5,77	12,09
289	13,18	7,4	60,16	5,77	12,09
290	5,45	7,4	60,56	6,49	15,48
291	5,45	7,5	60,56	6,58	15,48
292	2,53	7,7	60,66	5,63	12,81
293	2,53	7,7	60,66	5,63	12,81
294	2,53	9,3	60,66	5,20	12,81
295	2,65	9,3	60,66	5,78	13,52
296	2,65	9,4	60,66	5,78	13,52
297	2,65	9,4	60,66	5,52	13,52
298	3,75	9,4	60,56	7,58	16,19
299	3,75	9,4	60,56	7,58	16,19
300	3,75	9,4	60,56	7,47	16,19
301	0,81	9,3	60,36	4,37	11,92
302	0,81	9,4	60,36	4,37	11,92
303	0,81	9,4	60,36	4,32	11,92
304	5,88	9,4	60,26	6,42	17,61
305	5,88	9,4	60,26	6,42	17,61
306	5,88	9,4	60,26	6,19	17,61
307	10,74	9,4	60,26	6,42	19,39
308	10,74	9,4	60,26	6,42	19,39
309	10,74	9,3	60,26	6,51	19,39
310	10,2	9,3	60,26	6,42	18,86
311	10,2	9,3	60,26	6,42	18,86
312	10,92	9,1	60,36	7,14	20,81
313	10,92	9,1	60,36	7,14	20,81
314	10,92	9,1	60,36	7,14	20,81
315	13,63	9,2	60,36	7,01	21,35
316	13,63	9,2	60,36	7,01	21,35
317	13,63	9,1	60,36	7,01	21,35
318	14,15	7,4	60,66	7,24	21,7
319	14,15	4,8	60,66	7,24	21,7
320	14,15	4,8	60,66	7,24	21,7
321	14,95	4,8	60,76	7,26	20,46
322	14,95	3,1	60,76	7,26	20,46
323	14,95	3,1	60,76	7,26	20,46
324	12,54	3	61,06	6,88	17,97

325	12,54	3	61,06	6,88	17,97
326	12,54	2,9	61,06	6,88	17,97
327	7,89	2,9	61,16	6,69	17,08
328	7,89	2,9	61,16	6,69	17,08
329	7,89	2,9	61,16	6,69	17,08
330	3,14	2,9	61,16	5,57	16,72
331	3,14	2,9	61,16	5,57	16,72
332	3,14	3	61,16	5,57	16,72
333	7,02	3,9	61,16	3,47	17,08
334	7,02	3,9	61,16	3,47	17,08
335	7,02	3,9	61,16	3,47	17,08
336	7,52	3,9	61,16	4,13	16,54
337	7,52	3,9	61,16	4,13	16,54
338	7,52	4	61,16	4,13	16,54
339	6,66	4	61,16	3,03	0
340	6,66	4	61,16	3,03	0
341	6,66	4	61,16	3,03	0
342	0	4,1	61,16	3,64	0
343	0	5,3	61,16	3,64	0
344	0	5,3	61,16	3,64	0
345	0	5,4	61,16	3,83	0
346	0	5,4	61,16	3,83	0
347	0	5,4	60,96	3,83	0
348	0	6,7	60,96	3,75	0
349	0	6,7	60,96	3,75	0
350	0	6,7	60,96	3,75	0
351	0	6,6	60,96	2,72	0
352	3,32	6,6	60,66	3,17	13,87
353	3,32	6,9	60,66	3,17	13,87
354	3,32	6,9	60,66	4,05	13,87
355	3,32	6,9	60,66	4,05	13,87
356	2,82	6,9	60,56	3,97	15,83
357	2,82	8,3	60,56	3,54	15,83
358	2,82	8,3	60,56	3,54	15,83
359	1,25	8,3	60,56	3,17	4,8
360	1,25	8,3	60,56	2,74	4,8
361	1,25	8,2	60,56	2,74	4,8
362	0	8,1	60,36	2,66	0
363	0	8,1	60,36	2,64	0
364	0	8,1	60,36	2,64	0
365	0	8,1	60,26	2,65	0
366	0	8,1	60,26	2,86	0
367	0	6,2	60,26	2,86	0

368	0	6,2	60,26	2,90	0
369	0	6,2	60,26	2,90	0
370	0	6,1	60,26	2,90	0
371	0	4,6	60,16	2,88	0
372	0	3,6	60,16	2,76	0
373	0	2,6	60,16	2,76	0
374	0	1,7	59,96	2,76	9,07
375	0	1,7	59,96	2,71	9,07
376	0	1,7	59,96	2,71	9,07
377	3,37	1,7	59,86	3,61	25,44
378	3,37	1,7	59,86	4,08	25,44
379	3,37	2,6	59,86	4,08	25,44
380	29,04	1,4	60,26	3,91	17,25
381	26,33	0,8	60,56	2,83	36,47
382	39,88	2,3	60,76	8,18	47,15
383	39,37	2,3	61,26	7,97	45,9
384	39,37	2,3	61,26	7,97	45,9
385	39,37	2,3	61,26	7,97	45,9
386	39,24	3,5	62,06	6,62	46,26
387	39,24	3,5	62,06	6,62	46,26
388	39,24	3,5	62,06	5,90	46,26
389	40,52	5	62,96	6,05	48,04
390	40,52	5,1	62,96	6,05	48,04
391	40,52	6,3	62,96	6,12	48,04
392	38,75	6,3	63,86	6,52	47,5
393	38,75	6,3	63,86	6,52	47,5
394	38,75	4,5	63,86	6,55	47,5
395	40,6	4,5	64,86	6,79	45,72
396	40,6	2,9	64,86	6,79	45,72
397	40,6	2,9	64,86	6,75	45,72
398	37,08	2	65,86	6,11	41,99
399	37,08	2	65,86	6,11	41,99
400	37,08	2	65,86	6,08	41,99
401	38,89	2	66,66	6,12	42,7
402	38,89	2	66,66	6,12	42,7
403	38,89	2	66,66	6,16	42,7
404	14,4	2	67,56	2,46	15,65
405	14,4	2	67,56	2,46	15,65
406	14,4	2	67,56	2,43	15,65
407	32,63	3	67,96	5,33	32,56
408	32,63	3	67,96	5,33	32,56
409	32,63	3	67,96	8,09	32,56
410	23,81	3	68,46	7,00	28,82

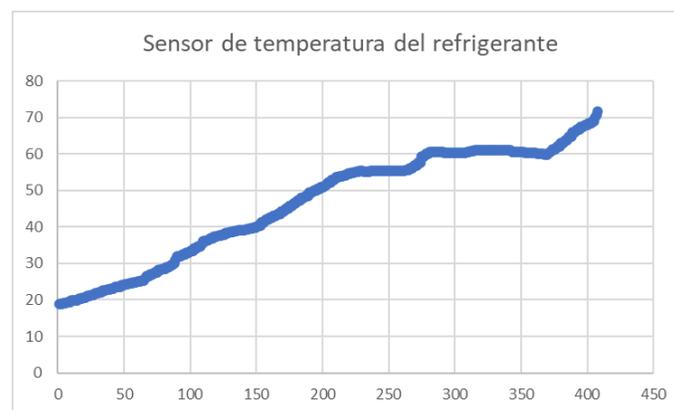
411	23,81	3	68,46	7,00	28,82
412	23,81	4,5	68,46	11,08	28,82
413	15,41	4,5	68,86	4,10	0
414	17,33	6	68,96	5,99	17,25
415	36,86	5,9	69,86	17,41	40,56
416	37,05	5,8	70,66	15,80	37,9

Fuente: (Autores)

En la Figura 33 se muestra el comportamiento de la temperatura del refrigerante durante el arranque en frío. Inicialmente, el motor comienza en condiciones de baja temperatura, con el refrigerante a 18°C hasta que el refrigerante alcanza un rango óptimo de operación 70°C, manteniéndose en niveles constantes.

Figura 33

Sensor de temperatura del refrigerante



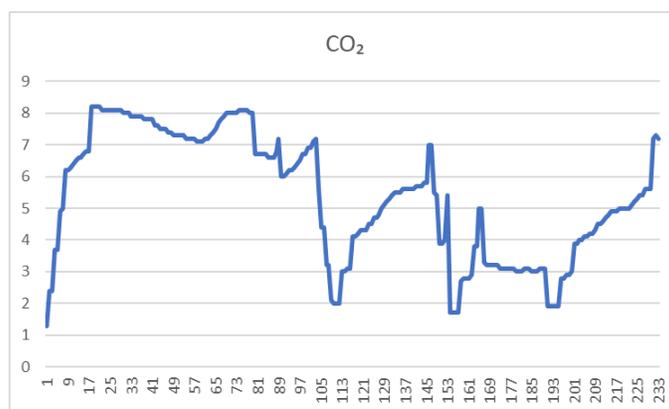
Nota: Eje X representa el tiempo (s) y el eje Y temperatura °C.

Fuente: (Autores)

A continuación, en la Figura 34, se ilustra la evolución de las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) durante el proceso de arranque en frío y posterior calentamiento de un motor basados en los datos recolectados y verificando su cumplimiento con los límites de emisiones. (INEN, 2016)

Figura 34

CO₂



Nota: Eje X representa el tiempo (s) y el eje Y la emisión de CO₂ %.

Fuente: (Autores)

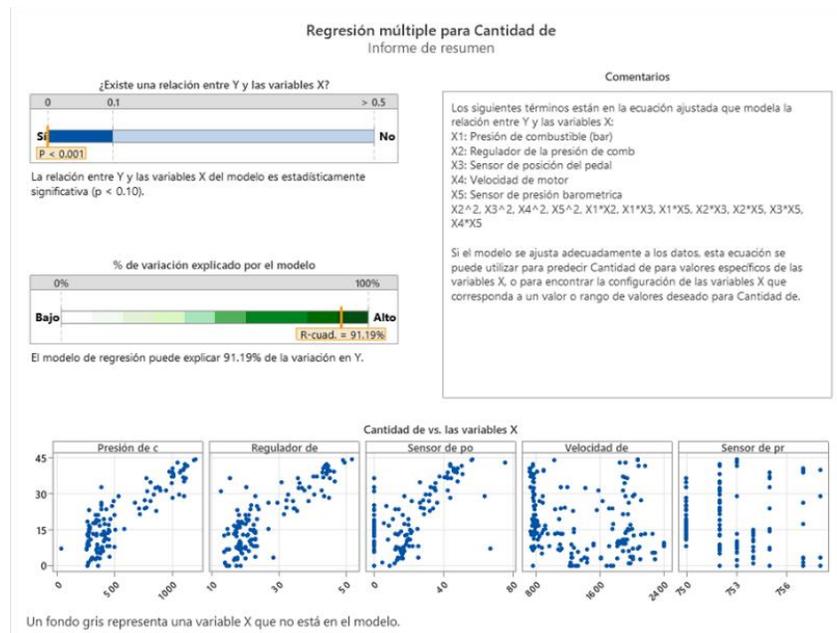
6 ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS DATOS OBTENIDOS SOBRE EL CONSUMO DE COMBUSTIBLE Y LAS EMISIONES CONTAMINANTES CO₂.

6.1.1 Análisis de consumo de combustible

A continuación, se llevará a cabo el análisis estadístico, empleando los datos recopilados durante el periodo de prueba. Este análisis permitirá identificar las distintas variaciones en las variables monitoreadas y comprender cómo cada una de ellas influye en el comportamiento del sistema bajo las condiciones evaluadas.

Figura 35

Informe de resumen de regresión



Fuente:(Autores)

La figura 34 presentada corresponde a un análisis de regresión múltiple aplicado a datos obtenidos durante una prueba de ruta de 11 km realizada a una temperatura ambiente de 18 °C. En este análisis, se han considerado variables críticas capturadas mediante un escáner automotriz, como la presión de combustible, el regulador de presión, el sensor de posición del pedal del acelerador, la velocidad del motor y el sensor de presión barométrica. Este estudio tiene como objetivo evaluar su relación con el consumo de combustible y las emisiones de CO2 en un motor diésel CRDi durante el arranque en frío.

6.1.2 Análisis del modelo de regresión múltiple

El análisis confirma una relación estadísticamente significativa entre las variables dependiente e independientes, con un valor de $p < 0.001$ (p-value es una medida estadística), indicando que el modelo es sólido y los datos capturados explican de manera adecuada las variaciones en la variable dependiente.

6.1.3 Capacidad explicativa del modelo:

El coeficiente de determinación (R-cuadrado = 91.19%) indica que el modelo explica más del 91% de la variabilidad observada en la variable dependiente, lo que refuerza la confiabilidad de las predicciones basadas en este análisis.

6.1.4 Variables incluidas en el modelo:

Presión de combustible: Representa el nivel de presión en el sistema de inyección, directamente relacionado con la eficiencia del motor y el consumo de combustible.

Regulador de presión: Ajusta dinámicamente la presión del combustible, asegurando una cantidad de aire combustible adecuada en función de las condiciones operativas.

Sensor de posición del pedal del acelerador: Indica la demanda del conductor, que afecta la entrega de combustible y, por ende, las emisiones.

Velocidad del motor: Relacionada con las revoluciones por minuto (RPM), que impactan tanto en el consumo como en la generación de emisiones.

Sensor de presión barométrica: Permite ajustes en la entrada de aire según las condiciones atmosféricas, crucial durante el arranque en frío.

6.1.5 Interpretación de los diagramas de dispersión

Los gráficos de dispersión reflejan cómo las variables independientes influyen en la variable dependiente que está relacionada con el consumo de combustible y emisiones de CO₂.

Presión de combustible: Muestra una correlación positiva directa, donde un aumento en la presión resulta en mayores valores de la variable dependiente.

Regulador de presión: Presenta una relación más dispersa, pero se observa un comportamiento consistente dentro de ciertos rangos operativos.

Sensor de posición del pedal: Evidencia un comportamiento progresivo, donde mayores aperturas del pedal están asociadas a un incremento en la demanda de combustible y emisiones.

Velocidad del motor: Relación directa con la variable dependiente, destacando cómo el incremento en las RPM eleva el consumo y las emisiones.

Sensor de presión barométrica: Los valores muestran ajustes dinámicos necesarios para estabilizar las condiciones de operación, especialmente durante el arranque en frío.

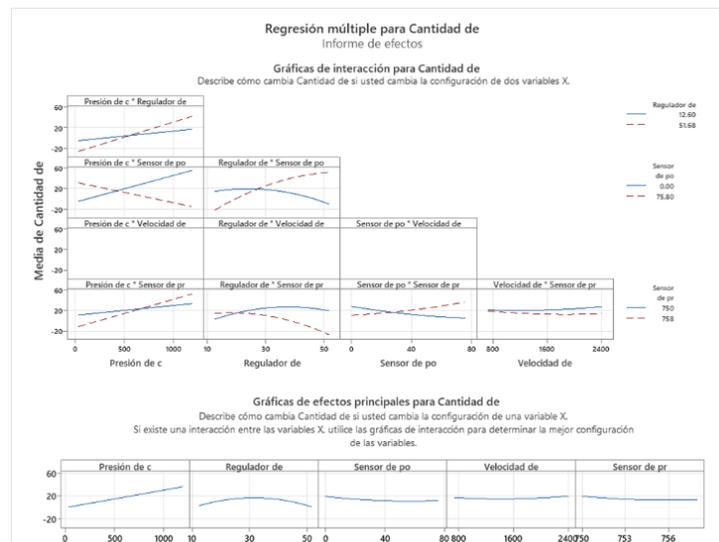
La importancia de este análisis es comprender cómo las variables operativas del motor diésel CRDi influyen en el consumo de combustible y las emisiones de CO₂ durante el arranque en frío. La alta capacidad explicativa del modelo permite identificar factores clave que afectan la eficiencia del motor y los niveles de emisiones, brindando información valiosa para optimizar el diseño y la calibración de los sistemas de inyección y control electrónico. Además, este tipo de estudios es crucial para desarrollar estrategias que reduzcan

el impacto ambiental, cumpliendo con normativas de emisiones y promoviendo una movilidad más sostenible.

La regresión múltiple es un método estadístico que modela la relación entre la variable dependiente y múltiples variables independientes, permitiendo analizar su efecto en el sistema. En la Figura 36, su aplicación se observa en las gráficas de interacción y gráficas de efectos principales, que reflejan la influencia conjunta e individual de las variables. Las gráficas de interacción muestran cómo la respuesta del modelo cambia al modificar dos variables simultáneamente, identificando interacción. Las gráficas de efectos principales evidencian la relación directa entre cada variable independiente y la dependiente.

Figura 36

Regresión múltiple



Fuente:(Autores)

6.1.6 Análisis de las gráficas de interacción

Interacción entre las variables:

En la Figura muestran cómo la variable dependiente que es la cantidad de combustible cambia cuando dos variables independientes interactúan entre sí.

La presión de combustible y regulador de presión: Se observa que la combinación de valores altos en ambas variables genera incrementos en la variable dependiente.

Velocidad del motor y sensor de presión: Las interacciones sugieren que cambios en la velocidad tienen efectos más marcados en la variable dependiente cuando el sensor de presión está en valores específicos.

Líneas sólidas y discontinuas:

Representan diferentes niveles de las variables independientes. El regulador de presión tiene dos niveles analizados 12.60% y 51.68%, mientras que el sensor de presión barométrica también varía entre valores 750mbar y 758mbar.

Estas diferencias destacan cómo los niveles de cada variable modifican el efecto en la variable dependiente.

6.1.7 Análisis de las gráficas de efectos principales

Efectos individuales de las variables independientes:

Las gráficas inferiores muestran cómo la variable dependiente cambia al modificar una sola variable independiente mientras se mantienen constantes las demás.

Presión de combustible: Un aumento en la presión de combustible tiene un efecto casi lineal positivo en la variable dependiente.

Velocidad del motor: Su influencia es menos pronunciada en comparación con otras variables, lo que indica una relación más débil o estabilizada en ciertos rangos operativos.

6.1.8 Interpretación de los efectos

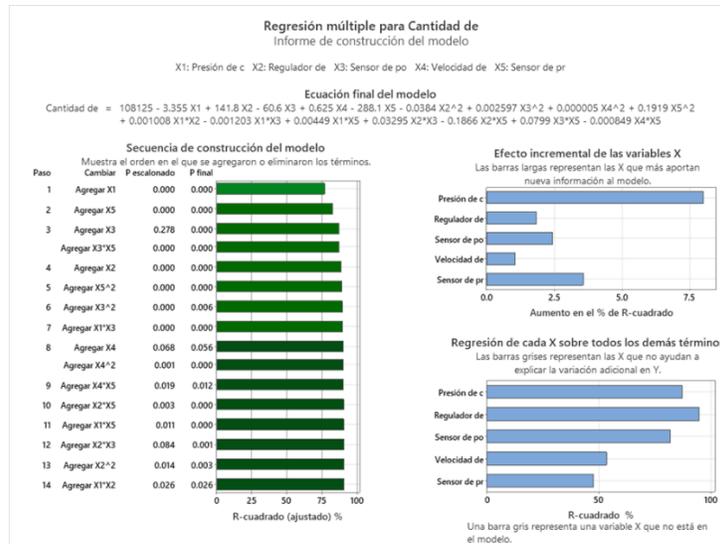
Variables como el regulador de presión y el sensor de posición del pedal muestran comportamientos no lineales, indicando que sus efectos dependen de interacciones con otras variables o de sus propios valores extremos.

El análisis presentado proporciona información sobre cómo las condiciones operativas del motor diésel CRDi afectan el consumo de combustible y las emisiones de CO₂, especialmente durante la etapa de arranque en frío. Las interacciones complejas entre las variables resaltan la importancia de ajustar dinámicamente parámetros como la presión de combustible y la posición del pedal para optimizar el rendimiento y reducir el impacto ambiental. Este enfoque estadístico permite identificar configuraciones óptimas y guiar estrategias de calibración en motores modernos, contribuyendo al desarrollo de tecnologías más sostenibles y eficientes.

6.1.9 Ecuación de regresión múltiple

Figura 37

Ecuación.



Fuente:(Autores)

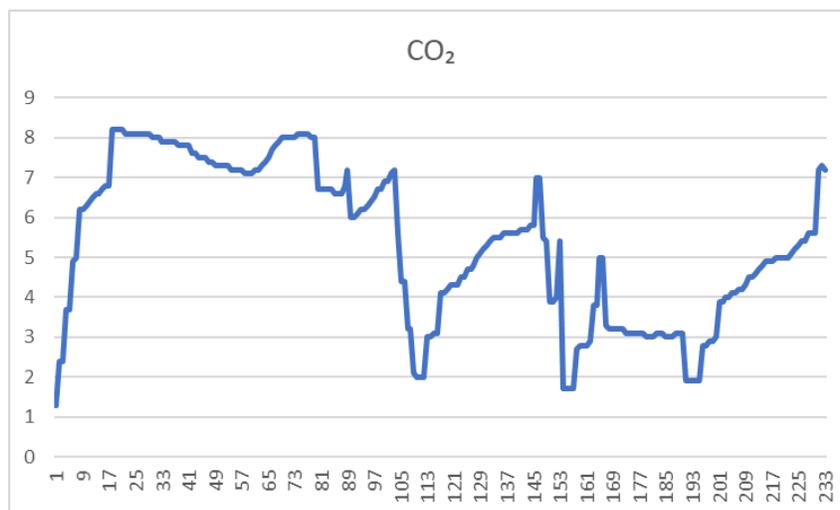
La ecuación presentada en la Figura 37 nos muestra cómo las variables independientes (X1 a X5 y sus interacciones) nos ayuda a predecir la variable dependiente, que es cantidad de combustible.

El modelo desarrollado nos explica, lo que se refleja en el ajuste progresivo del R-cuadrado ajustado con la inclusión de términos adicionales. Este análisis nos muestra la importancia de variables clave como la presión de combustible y el regulador de presión en el consumo de combustible y las emisiones de CO₂. La incorporación de interacciones y términos no lineales permite capturar la complejidad de las dinámicas del sistema CRDi en un motor diésel durante el arranque en frío y el calentamiento. Estos datos obtenidos nos ayudan para optimizar la calibración de los motores y cumplir con normativas ambientales estrictas.

6.1.10 Análisis de CO₂

Figura 38

Grafica del CO₂



Nota: Eje X representa el tiempo (s) y el eje Y las emisiones de CO₂ %.

Fuente: (Autores)

La figura 37 presentada muestra la evolución de las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) durante una prueba en ruta de 11 km, en condiciones iniciales de arranque en frío y hasta que el motor alcanza su temperatura de funcionamiento. La prueba se realiza a una temperatura ambiente de 18 °C.

6.1.11 Análisis de la gráfica:

Fase inicial (arranque en frío):

En los primeros instantes del recorrido, las emisiones de CO₂ presentan un incremento significativo, siendo los aumentos más notorios en los 30 y 140 segundos, donde se alcanzan niveles elevados. Este comportamiento es característico del arranque en frío, fase en la cual el motor aún no ha alcanzado su temperatura óptima de operación. Durante este

periodo, la eficiencia térmica del motor es reducida, lo que conlleva una combustión incompleta y, en consecuencia, un aumento en la generación de emisiones contaminantes.

6.1.12 Fase de calentamiento:

A medida que el motor alcanza su rango óptimo de temperatura de operación, las emisiones de CO₂ presentan fluctuaciones significativas en el intervalo comprendido entre 330 y 350 segundos, seguido de una tendencia gradual hacia la estabilización entre 406 y 411 segundos, con niveles más bajos de emisión. Estas variaciones están asociadas a los ajustes dinámicos del sistema de inyección, donde la Unidad de Control Electrónico (ECU) regula la cantidad de combustible suministrado y la gestión de la admisión de aire, con el objetivo de optimizar la eficiencia térmica del motor y reducir la generación de contaminantes.

6.1.13 Fase de operación estable:

Hacia la mitad y el tramo final del recorrido, correspondiente al segundo 416, según indica en la Tabla 2, el motor ha alcanzado su temperatura de operación estable. Sin embargo, las emisiones de CO₂ continúan presentando picos y valles recurrentes, lo que indica variaciones en las condiciones de carga del motor.

6.1.14 Fluctuaciones significativas:

En varios puntos, se observan descensos abruptos y picos pronunciados en las emisiones de CO₂. Estos cambios están relacionados con transiciones rápidas en la operación del motor, como ajustes del pedal del acelerador, variaciones en la presión de combustible o cambios en la velocidad del motor.

6.1.15 Interpretación

Etapa de arranque en frío: Las emisiones iniciales son altas debido a la temperatura insuficiente del motor, lo que limita la eficiencia del sistema de combustión.

Efecto de la ECU: El control electrónico del motor ajusta los parámetros como el caudal de aire, la presión de inyección y la relación aire-combustible para mejorar la combustión y reducir emisiones a medida que el motor se calienta.

Condiciones de prueba: La temperatura ambiente de 18 °C probablemente influyó un tiempo de calentamiento más corto en comparación con temperaturas más bajas, pero aún genera emisiones más elevadas al principio de la prueba.

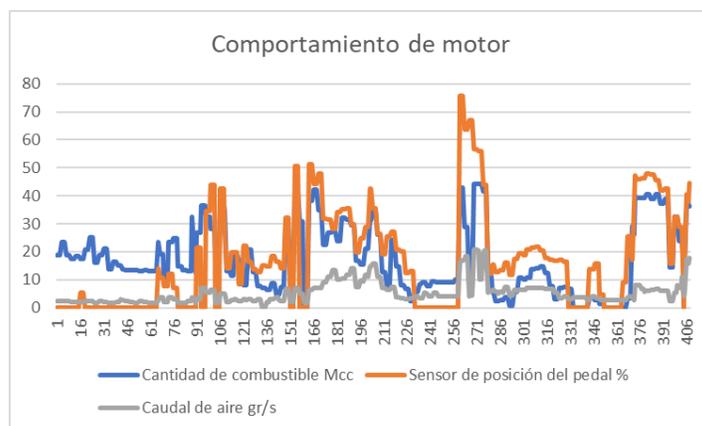
Esta indica la importancia de los ajustes dinámicos del sistema de inyección y control electrónico durante el arranque en frío en motores diésel CRDi. La comprensión de estos patrones es determinante para diseñar estrategias que optimicen el consumo de combustible y minimicen las emisiones de CO₂, especialmente en condiciones iniciales de operación. Estos resultados son importantes para mejorar la calibración de los sistemas automotrices y cumplir con normativas ambientales más estrictas.

En la Figura 39 representa la interacción entre la posición del pedal del acelerador, la cantidad de combustible inyectado y el caudal de aire refleja el comportamiento dinámico del motor. Al aumentar la presión sobre el pedal, se incrementa la inyección de combustible y el flujo de aire, lo que optimiza la combustión para satisfacer mayores demandas de potencia. En contraste, cuando la posición del pedal disminuye, ambos parámetros se reducen, reflejando un menor requerimiento energético. Este análisis evalúa la respuesta del motor en diferentes escenarios operativos, como aceleraciones, desaceleraciones y

funcionamiento en ralentí, proporcionando información para optimizar el rendimiento y la eficiencia del sistema.

Figura 39

Comportamiento de motor.



Fuente: (Autores)

7 CONCLUSIONES:

El análisis de la literatura y estudios previos permitió identificar los principales factores que afectan el consumo de combustible y la emisión de CO₂ en motores CRDi, destacando la temperatura del motor, la dinámica de inyección y la calidad de la combustión. Además, se revisa metodologías de medición empleadas en investigaciones anteriores, lo que facilita la estructuración de un marco referencial sólido para la recolección y análisis de datos.

Las pruebas experimentales en ruta, utilizando equipos de diagnóstico automotriz y probeta, permite medir el consumo de combustible y las emisiones de CO₂ durante el

arranque en frío. Se confirma que a bajas temperaturas la combustión es menos eficiente, aumentando la cantidad de combustible inyectado y las emisiones contaminantes en los primeros minutos de operación. Los análisis estadísticos confirmaron que las emisiones disminuyen progresivamente conforme el motor alcanza su temperatura óptima.

8 RECOMENDACIONES:

Los resultados evidencian un incremento en el consumo de combustible y las emisiones de CO₂ durante el arranque en frío, lo que sugiere la necesidad de optimizar los procesos de inyección y combustión en esta fase. Se recomienda la implementación de sistemas de precalentamiento del combustible y del aire de admisión, así como la mejora en la calibración de la ECU para ajustar la cantidad de combustible inyectado y reducir el exceso de emisiones.

Se sugiere que los procedimientos de homologación de vehículos integren evaluaciones en condiciones de arranque en frío bajo escenarios operativos reales, con el fin de determinar de manera más precisa los límites de emisiones y su comportamiento durante esta fase crítica del funcionamiento del motor. La incorporación de estas pruebas permite el desarrollo de normativas más representativas, alineadas con el impacto ambiental real de los motores diésel en condiciones urbanas y extraurbanas.

El análisis estadístico confirma que la variabilidad en el consumo de combustible está influenciada por la interacción entre la temperatura del motor y los ajustes dinámicos de la ECU. En este sentido, se recomienda el desarrollo de mapas de inyección adaptativos, que ajusten la cantidad de combustible y la presión de inyección en función de la temperatura del

motor, reduciendo el impacto del arranque en frío sobre la eficiencia energética y las emisiones.

9 BIBLIOGRAFÍA

A. Gases 600 NGA. (2020). *Analizador de gases*.

https://doi.org/https://www.herramientasdaniels.com/MLM-1950113785-thinktool-master-2-con-can-fd3anos-gratis-actualizacion-_JM

AUTECH Automotive Technology. (2024). *OSCILOSCOPIO AUTOMOTRIZ DE 4 CANALES MICSIG SATO1004*.

<https://doi.org/https://autech.com.ec/product/osciloscopio-automotriz-de-4-canales-micsig-t01104/>

Automotriz, I. y. (2021). *Sensor de posion de acelerador*.

<https://doi.org/https://www.ingenieriaymecanicaautomotriz.com/1959-2/>

- AUTOREX. (s.f.). *CRP349 Scanner Automotriz LAUNCH CRP-349*.
<https://doi.org/https://autorex.com.ec/producto/crp349-scanner-automotriz-launch-crp-349/>
- Caiza Gallo, 2. (s.f.).
- Chauca Herembas , H., & Guerrero Arciniega , J. (2015). *Guia de diagnostico del sistema electronico motor disel crdi Kia sorento*.
<https://doi.org/https://drive.google.com/file/d/1MAZV7fErQACt5PAddy67XDUUJHkHZx62/view>
- DaewoonSpark. (2025). *Localizacion sensores Hyundai Tucson Diesel*.
<https://doi.org/https://www.autodaewoospark.com/localizacion-sensores-motor-hyundai-tucson.php>
- DieselTronic. (s.f.). *DieselTronic*. Obtenido de DieselTronic:
https://www.dieseltronic.ar/MLA-771998527-inyector-para-hyundai-tucson-20-crdi-0445110258-_JM
- e-auto. (2019). *Common Rail 09 - Sensor de Presión del Combustible G247*.
<https://doi.org/https://www.e-auto.com.mx/engew/index.php/boletines-tecnicos/motor?view=article&id=6627:common-rail-08-sensor-de-presion-del-com>
- e-auto. (2019). *Sensor ECT - Sensor de Temperatura del Refrigerante*.
<https://doi.org/https://www.e-auto.com.mx/engew/index.php?view=article&id=3415>
- ebay. (2020). *Binario iniettor hyundai*.
<https://doi.org/https://www.ebay.it/itm/202711388576>
- Haro Rueda , D., & Vargas Jarrin , D. (2015). *Elaboracion de guias practicas de laboratorio para el analisis de los motores CRDI de la caminonte .*
https://doi.org/https://drive.google.com/file/d/1IzOcmF4oO-EQVIrZD5STY8xJBtIe_XY8/view
- Herramientas Daniels. (2020). *Accesorios para vehiculos .*
- HYUNDAI. (2020). *Manual del Propietario .*
https://doi.org/https://drive.google.com/file/d/1m9IpKJ7C2-Z2lmJPXA2Lch8_gRlxeq4p/view
- Hyundai sensores. (2019). *Caracteristicas del producto sensores de presion de combstible*.
https://doi.org/https://articulo.mercadolibre.cl/MLC-972600057-sensor-presion-riel-para-hyundai-tucson-20-2004-a-10-diesel-_JM
- INEN. (2016). *Normativa Técnica Ecuatoriana*. <https://doi.org/https://www.aeade.net/wp-content/uploads/2016/12/2207-1.pdf>
- Javaz, E. A. (2020). *Sensor de Arbol de levas*.
https://doi.org/https://www.equipoautomotrizjavaz.com/datos_tec

- MANSUERA. (s.f.). *Sensor position cigueñal CKP*.
<https://doi.org/https://www.mansuera.com/sensor-ciguenal-hyundai-tucson-2005-2010-diesel>
- Parca ofisi. (2005- 2010). *Bombda de combustible Hyundai Tucson* .
<https://doi.org/https://www.parcaofisi.com/hyundai-tucson-yakit-pompasi-2005-2010-kore-muadil>
- RIDEX REMAN. (2024). *Bomba inyectora hyundai Tucson*.
<https://doi.org/https://www.expertoautorecambios.es/piezas-de-repuesto-hyundai/tucson-jm/19623/12903/bomba-inyeccion-combustible-alta-presion>
- Rosa, A. J. (2019). *Sistema de inyeccion electronica diesel common rail*.
<https://doi.org/https://drive.google.com/file/d/1iISAwILbNDI5vsqQfcWAYYiXv9yNO2uj/view>
- System, C. R. (2025). *Valvula Control precision , Common Rail System RIDEX* .
<https://doi.org/https://www.recambioscoches.es/ridex/15753438>
- TODOMULTIMETRO. (2019). *Todas las partes de un multimetro*.
<https://doi.org/https://todomultimetros.com/partes-de-un-multimetro-digital/>
- Tucson CRDI VGT. (s.f.). *Hyundai Tucson CRDi VGT 2007*.
<https://doi.org/https://www.km77.com/coches/hyundai/tucson/2005/estandar/classic/tucson-20-crdi-vgt-classic-4x2/datos>
- UIDA INNOVA. (2020). *Analisis comparativo del funcionamineto del inyector*.
<https://doi.org/https://repositorio.uide.edu.ec/bitstream/37000/3420/3/document%20%285%29.pdf>
- Villamar, A. I. (s.f.). *Estudio y analisi de los sistemas de diagnostico en los automoviles modernos , sistemas OBD*. 2008.
<https://doi.org/https://drive.google.com/file/d/1cl49bwuLhTvzBwoGJRi4uPs6FRnwKqy/view>