



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE CUENCA
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

**ANÁLISIS DE EMISIONES CONTAMINANTES EN UN VEHÍCULO SUZUKI FORSA CON
SISTEMA DE INYECCIÓN PROGRAMABLE VARIANDO MEZCLA AIRE-
COMBUSTIBLE**

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

AUTORES: SANTIAGO EFRAÍN CALLE RIVERA
ROGER MATTHEW ORTEGA BRAVO
TUTOR: ING. ANDRÉS ESTEBAN ORDOÑEZ SEGARRA, MSc.

Cuenca - Ecuador

2024

CERTIFICADOS DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, Santiago Efraín Calle Rivera con documento de identificación N° 0302730726 y Roger Matthew Ortega Bravo con documento de identificación N° 0706561453; 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, 29 de julio del 2024

Atentamente,



Santiago Efraín Calle Rivera

0302730726



Roger Matthew Ortega Bravo

0706561453

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

Nosotros, Santiago Efraín Calle Rivera con documento de identificación N° 0302730726 y Roger Matthew Ortega Bravo con documento de identificación N° 0706561453, 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: “Análisis de emisiones contaminantes en un vehículo Suzuki Forsa con sistema de inyección programable variando mezcla aire-combustible”, 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, 29 de julio del 2024

Atentamente,



Santiago Efraín Calle Rivera

0302730726



Roger Matthew Ortega Bravo

0706561453

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Andrés Esteban Ordoñez Segarra con documento de identificación N° 0103567863, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: ANÁLISIS DE EMISIONES CONTAMINANTES EN UN VEHÍCULO SUZUKI FORSA CON SISTEMA DE INYECCIÓN PROGRAMABLE VARIANDO MEZCLA AIRE-COMBUSTIBLE, realizado por Santiago Efraín Calle Rivera con documento de identificación N° 0302730726 y por Roger Matthew Ortega Bravo con documento de identificación N° 0706561453, 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, 29 de julio del 2024

Atentamente,



Ing. Andrés Esteban Ordoñez Segarra, MSc.

0103567863

DEDICATORIA

En primer lugar, agradezco a Dios por brindarme la fuerza, la sabiduría y la perseverancia necesarias para alcanzar esta meta.

A mis padres, por su amor incondicional, su apoyo constante y sus palabras de aliento en los momentos más difíciles. Sin su confianza en mí y su ejemplo de esfuerzo y dedicación, no habría llegado hasta aquí.

A mis hermanos, gracias por estar siempre a mi lado, por creer en mí y por brindarme su apoyo incondicional.

A mis familiares, por su cariño, su apoyo y por estar siempre presentes. Sus palabras de ánimo y su interés en mi progreso han sido un pilar importante en este recorrido.

Santiago Efraín Calle Rivera

DEDICATORIA

El presente proyecto se lo dedico a mis señores padres Hermann y Rosita quienes han sido pilares fundamentales en mi formación como profesional, me han inculcado valores y brindado el apoyo necesario para poder cumplir mi anhelo más esperado.

Agradezco a mis queridos abuelitos Herman y Gloria que son como mis segundos padres por haber estado presentes siempre con palabras de aliento que cada día me impulsaron a esforzarme, a seguir creyendo en mí y nunca rendirme. Como olvidarme de mi mamita Rosa que estoy seguro estaría muy orgullosa de verme culminar mis estudios universitarios, que con tanto amor siempre me decía que lo lograría.

Y al todo poderoso mis más grandes agradecimientos ya que sin Él nada de esto sería posible, gracias por siempre haberme brindado calma en mis momentos de angustia y fortaleza en mis momentos de debilidad.

Roger Matthew Ortega Bravo

AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mi más profundo agradecimiento a la Universidad Politécnica Salesiana. A mis profesores, cuyos conocimientos y enseñanzas han sido fundamentales en mi formación académica.

Un especial agradecimiento al Ing. Andrés Ordoñez, por su invaluable guía y apoyo constante durante todo este proceso.

Gracias a todos por su confianza y por ayudarme a alcanzar esta importante meta en mi vida académica.

Santiago Efraín Calle Rivera

AGRADECIMIENTO

Mis totales agradecimientos a la Universidad Politécnica Salesiana, a todos los docentes que conforman la carrera de Ingeniería Automotriz por haberme impartido sus conocimientos, experiencias y valores que nos dejan como enseñanza para el futuro ser excelentes profesionales.

Al Ingeniero Andrés Ordoñez mi más profundo agradecimiento por su tiempo, dedicación y paciencia en todo el proceso de realización del proyecto de titulación no ha sido un camino fácil, pero con su guía lo hemos logrado.

Roger Matthew Ortega Bravo

RESUMEN

El análisis de emisiones contaminantes en un vehículo Suzuki Forsa con sistema de inyección programable, variando la mezcla aire-combustible, tiene como objetivo evaluar cómo diferentes configuraciones de la mezcla afectan las emisiones producidas por el motor. Este estudio se enfoca en modificar la relación aire-combustible a través de un sistema de inyección programable, lo cual permite ajustar con precisión la cantidad de combustible inyectado en el motor en diferentes condiciones operativas.

El análisis incluirá mediciones de gases contaminantes como monóxido de carbono (CO), hidrocarburos no quemados (HC). Estas mediciones se realizarán en diferentes escenarios de mezcla, desde condiciones ricas (más combustible) hasta condiciones pobres (más aire).

Este estudio es relevante para cumplir con regulaciones ambientales cada vez más estrictas y para mejorar la eficiencia energética de los vehículos. También proporciona datos valiosos para el desarrollo de tecnologías de control de emisiones y para optimizar los sistemas de inyección en vehículos similares.

Palabras clave: Análisis de emisiones, Inyección programable, Mezcla aire-combustible.

ABSTRACT

The analysis of pollutant emissions in a Suzuki Forsa vehicle with a programmable injection system, varying the air-fuel mixture, aims to evaluate how different mixture configurations affect the emissions produced by the engine. This study focuses on modifying the air-fuel ratio through a programmable injection system, which allows fine-tuning the amount of fuel injected into the engine under different operating conditions.

The analysis will include measurements of pollutant gases such as carbon monoxide (CO), unburned hydrocarbons (HC). These measurements will be performed in different mixing scenarios, from rich conditions (plus fuel) to lean conditions (plus air).

This study is relevant for complying with increasingly stringent environmental regulations and for improving the energy efficiency of vehicles. It also provides valuable data for the development of emission control technologies and for optimizing injection systems in similar vehicles.

Keywords: Emissions analysis, Programmable injection, Air-fuel mixture.

INDICE GENERAL

CERTIFICADOS DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	2
CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO 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	9
ABSTRACT.....	10
INDICE GENERAL	11
INDICE DE FIGURAS.....	16
INDICE DE TABLAS	18
ÍNDICE DE ANEXOS	19
INTRODUCCION	20
PROBLEMA.....	21
ANTECEDENTES	21
IMPORTANCIA Y ALCANCES.....	22
DELIMITACIONES.....	23
OBJETIVOS	24
CAPÍTULO 1: FUNDAMENTOS TEÓRICOS Y ESTADO DEL ARTE	25
1.1. Marco conceptual.....	25

	12
1.2. Motor G10.....	25
1.3. Vehículo para las pruebas	27
1.4. Enfoque y constitución de la gestión mecánica	27
1.4.1. Principio de funcionamiento	28
1.4.2. Unidad Electrónica de Control (ECU).....	29
1.4.3. Inyección ITB (Individual Throttle Body).....	32
1.4.4. Bobina electrónica de alto rendimiento	35
1.4.5. Sensor de Oxígeno de banda ancha Wideband	36
1.4.6. Regulador de presión de combustible	38
1.4.7. Sensor posición del cigüeñal (CKP)	40
1.4.8. Rueda Fónica	41
1.5. Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2204	42
1.6. Gases contaminantes.....	43
1.6.1. Monóxido de carbono (CO).....	44
1.6.2. Hidrocarburos (HC)	45
1.7. Analizador de gases	46
2. CAPÍTULO 2: TOMA DE DATOS DEL RENDIMIENTO DEL MOTOR.	48
2.1. Prueba de emisiones contaminantes.....	48
2.2. Régimen de giro.....	48
2.3. Toma de datos	49
2.3.1. Protocolo de medición	49

2.3.2.	Proceso para realizar la toma de datos	50
2.3.3.	Resultados de la toma de datos	51
2.3.4.	Comparación de resultados	61
2.3.5.	Comparativa de las emisiones con la norma INEN	62
3.	CAPITULO 3: ANALISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS CON LOS DATOS INICIALES.	63
3.1.	Análisis de los resultados obtenidos en la primera prueba	63
3.1.1.	CO vs tiempo (Ralentí)	63
3.1.2.	HC vs tiempo (Ralentí)	65
3.1.3.	Lambda vs tiempo (Ralentí).....	66
3.1.4.	HC vs Tiempo (1600 rpm).....	67
3.1.5.	CO vs Tiempo 1600 rpm)	68
3.1.6.	Lambda vs Tiempo (1600 rpm)	70
3.1.7.	CO vs Tiempo (2600 rpm).....	71
3.1.8.	HC vs Tiempo (2600 rpm).....	72
3.1.9.	Lambda vs tiempo (2600 rpm).....	73
3.2.	Análisis de los resultados obtenidos en la segunda prueba.....	74
3.2.1.	HC vs Tiempo (Ralentí).....	74
3.2.2.	CO vs tiempo (Ralentí)	75
3.2.3.	Lambda vs tiempo (Ralentí).....	75
3.2.4.	HC vs Tiempo (1600 rpm).....	77

	14
3.2.5. CO vs Tiempo (1600 rpm).....	78
3.2.6. Lambda vs tiempo (1600 rpm).....	79
3.2.7. CO vs Tiempo (2600 rpm).....	80
3.2.8. HC vs Tiempo (2600 rpm).....	81
3.2.9. Lambda vs Tiempo (2600 rpm)	82
3.3. Análisis de los resultados obtenidos en función de lambda.....	83
3.3.1. CO en función del valor de lambda.	83
3.3.2. HC en función de lambda	84
3.3.3. Prueba 2 – CO en función de lambda	85
3.3.4. Prueba 2 – HC en función de lambda	86
3.4. Comparación con la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2204	88
3.4.1. Monóxido de carbono – Prueba 1	88
3.4.2. Hidrocarburos no combustionados – Prueba 1	88
3.4.3. Monóxido de carbono – Prueba 2	89
3.4.4. Hidrocarburos no combustionados – Prueba 2	89
4. CONCLUSIONES	90
5. RECOMENDACIONES.....	91
6. BIBLIOGRAFÍA	93
7. ANEXOS	96
Anexo A Proceso de medición de gases	96
Anexo B Toma de datos en el analizador MTG-5	97

Anexo C Variación del factor lambda en MaxxECU MTune.....	99
---	----

INDICE DE FIGURAS

Figura 1 <i>Ubicación delimitada para el proyecto</i>	23
Figura 2 <i>Estado inicial del Motor G10</i>	26
Figura 3 <i>Vehículo para las pruebas</i>	27
Figura 4 <i>Esquema de funcionamiento de Inyección multipunto</i>	29
Figura 5 <i>Unidad de Control Electrónica (ECU)</i>	30
Figura 6 <i>Esquema del modulo</i>	32
Figura 7 <i>Curva característica del sensor TPS</i>	33
Figura 8 <i>ITB (Individual Throttle Body)</i>	34
Figura 9 <i>Bobinas Electrónicas de alto rendimiento (AEM)</i>	35
Figura 10 <i>Sensor de oxígeno de banda ancha</i>	37
Figura 11 <i>Valores del sensor de oxígeno</i>	38
Figura 12 <i>Regulador de presión de combustible</i>	40
Figura 13 <i>Sensor de posición del cigüeñal (CKP)</i>	41
Figura 14 <i>Onda del sensor CKP</i>	41
Figura 15 <i>Rueda fónica</i>	42
Figura 16 <i>Distribución de Gases Contaminantes</i>	44
Figura 17 <i>Analizador de gases modelo MAHA MGT 5</i>	47
Figura 18 <i>Proceso para la toma de datos</i>	50
Figura 19 <i>Interfaz de MaxxECU MTune</i>	56
Figura 20 <i>Variación de lambda en MaxxECU MTune</i>	57
Figura 21 <i>Concentración de CO vs Tiempo (Ralentí)</i>	64
Figura 22 <i>Concentración de HC vs Tiempo (Ralentí)</i>	65
Figura 23 <i>Concentración de lambda vs Tiempo (Ralentí)</i>	66

Figura 24 <i>Concentración de HC vs Tiempo (1600 rpm)</i>	67
Figura 25 <i>Concentración de CO vs Tiempo (1600 rpm)</i>	69
Figura 26 <i>Concentración de Lambda vs Tiempo (1600 rpm)</i>	70
Figura 27 <i>Concentración de CO vs Tiempo (2600 rpm)</i>	71
Figura 28 <i>Concentración de HC vs Tiempo (2600 rpm)</i>	72
Figura 29 <i>Concentración de Lambda vs Tiempo (2600rpm)</i>	73
Figura 30 <i>Concentración de HC vs Tiempo (Ralentí)</i>	74
Figura 31 <i>Concentración de CO vs Tiempo (Ralentí)</i>	75
Figura 32 <i>Concentración de Lambda vs Tiempo (Ralentí)</i>	76
Figura 33 <i>Concentración de HC vs Tiempo (1600 rpm)</i>	77
Figura 34 <i>Concentración de CO vs Tiempo (1600 rpm)</i>	78
Figura 35 <i>Concentración de Lambda vs Tiempo (1600 rpm)</i>	79
Figura 36 <i>Concentración de CO vs Tiempo (2600 rpm)</i>	80
Figura 37 <i>Concentración de HC vs Tiempo (2600 rpm)</i>	81
Figura 38 <i>Concentración de Lambda vs Tiempo (2600 rpm)</i>	82
Figura 39 <i>CO en función de lambda</i>	84
Figura 40 <i>HC en función de lambda</i>	85
Figura 41 <i>Prueba 2- CO en función de lambda</i>	86
Figura 42 <i>Prueba 2- HC vs lambda</i>	87

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 <i>Especificaciones del motor G10</i>	26
Tabla 2 <i>Datos técnicos MAX XECU MINI</i>	31
Tabla 3 <i>Especificaciones técnicas bobina AEM</i>	36
Tabla 4 <i>Características del regulador de presión de combustible</i>	39
Tabla 5 <i>Límites máximos de emisiones permitidos para fuentes móviles con motor de gasolina</i>	43
Tabla 6 <i>Características del analizador de gases MTG 5</i>	47
Tabla 7 <i>Niveles del Factor Régimen de Giro</i>	49
Tabla 8 <i>Datos obtenidos a Ralentí</i>	52
Tabla 9 <i>Datos obtenidos a 1600 rpm</i>	53
Tabla 10 <i>Datos obtenidos a 2600 rpm</i>	54
Tabla 11 <i>Datos obtenidos a Ralentí luego de variar lambda</i>	58
Tabla 12 <i>Datos obtenidos a 1600 rpm luego de variar lambda</i>	59
Tabla 13 <i>Datos obtenidos a 2600 rpm luego de variar lambda</i>	60
Tabla 14 <i>Comparativa entre las emisiones y la norma</i>	62

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo A <i>Proceso de medición de gases</i>	96
Anexo B <i>Toma de datos en el analizador MTG-5</i>	97
Anexo C <i>Variación del factor lambda en MaxxECU MTune</i>	99

INTRODUCCION

El presente estudio tiene como finalidad analizar el comportamiento de las emisiones contaminantes en un vehículo Suzuki Forsa equipado con un sistema de inyección programable. Se evaluará el impacto que tiene la variación de la mezcla aire-combustible en la generación de estos contaminantes, buscando optimizar la eficiencia del motor y minimizar su impacto ambiental. Para ello, se realizarán pruebas en el analizador de gases bajo diferentes regímenes de revoluciones, midiendo los niveles de monóxido de carbono (CO) e hidrocarburos (HC). El análisis de los datos obtenidos permitirá identificar los puntos de operación más eficientes y con menor impacto contaminante. Además, se analizará la influencia de parámetros como la relación aire-combustible. Los resultados serán comparados con los límites establecidos por las normas vigentes, a fin de evaluar el cumplimiento de la legislación aplicable. Con esta información, se podrán proponer ajustes y modificaciones en el sistema de inyección que permitan mejorar el desempeño ambiental del vehículo.

PROBLEMA

Los modelos Suzuki Forsa GA, distribuidos por General Motors del Ecuador desde 1991, equipan el motor modelo G10 con sistema de carburador. Sin embargo, las actuales demandas de optimización de potencia y reducción de emisiones requieren una dosificación precisa de combustible, no proporcionada por el carburador según estudios. Para mejorar el rendimiento y reducir emisiones, se ha sustituido gradualmente por sistemas más modernos como la inyección electrónica. Según la normativa INEN_2204 (2017), los niveles máximos tolerados en ralentí para vehículos fabricados entre 1990 y 1999 son 3.5% de CO y 650 ppm de HC, superando los estándares actuales.

ANTECEDENTES

El proyecto pretende analizar como varia el comportamiento de las emisiones contaminantes al ajustar la mezcla aire-combustible mediante una Unidad Electrónica de Control (ECU) programable. Se busca entender como la manipulación de la mezcla aire-combustible puede influir en las emisiones producidas. Según la norma NTE INEN 2204 los niveles máximos tolerados en ralentí para vehículos fabricados entre 1990 y 1999 son del 3.5% de CO (monóxido de carbono), y de 650 ppm de HC (hidrocarburos), pero enfocándonos en las exigencias actuales de la norma los niveles máximos tolerados en ralentí son de 1.0% de CO (monóxido de carbono) y de 200 ppm de HC (hidrocarburos).

Partiendo desde los Objetivos de Desarrollo Sostenible 13 (Acción por el clima), el cual promueve prácticas sostenibles en respuesta para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, se analiza la emisión de gases contaminantes de un Suzuki Forsa GA implementado

con un sistema de inyección con computadora programable mediante la variación de la mezcla aire-combustible.

IMPORTANCIA Y ALCANCES

En la actualidad, el control y reducción de las emisiones contaminantes generadas por los vehículos automotores es un tema de gran importancia a nivel mundial. La normativa INEN 2204 exige cada vez mayores restricciones en cuanto a los límites permitidos de estas emisiones, con el objetivo de preservar el medioambiente y la salud pública. Este estudio cobra relevancia al abordar el análisis del comportamiento de las emisiones en un vehículo Suzuki Forsa con sistema de inyección programable, donde la variación de la mezcla aire-combustible juega un papel fundamental. Los resultados obtenidos permitirán identificar los puntos de operación óptimos que minimicen el impacto ambiental, aportando conocimientos valiosos para el desarrollo de estrategias de control de emisiones en este tipo de sistemas de inyección.

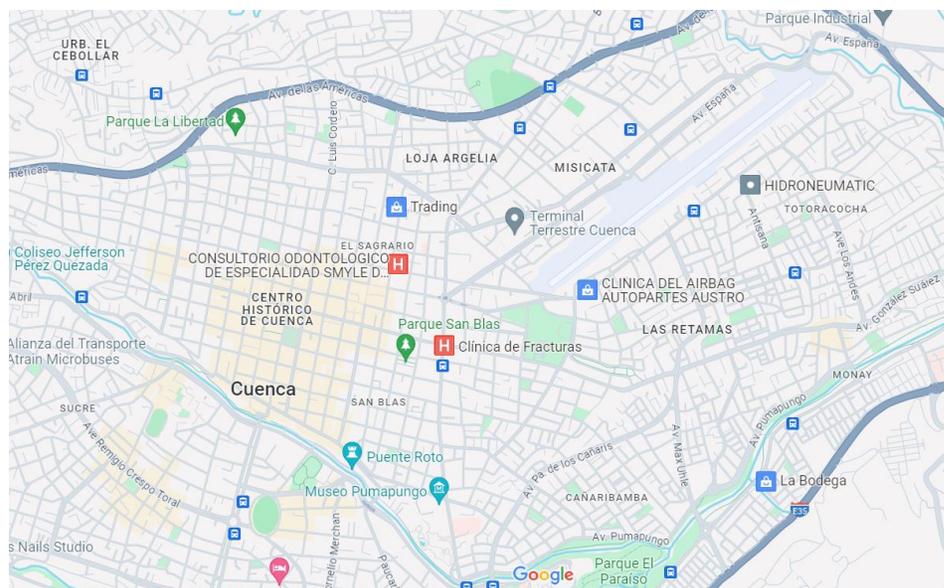
Este estudio permite evaluar la eficacia del sistema de inyección en la reducción de emisiones nocivas como CO (Monóxido de carbono) y HC (Hidrocarburos), contribuyendo así a cumplir con regulaciones ambientales más estrictas. Además, proporciona datos valiosos para mejorar la eficiencia del motor y optimizar su rendimiento, buscando un equilibrio entre potencia y sostenibilidad ambiental. La capacidad de ajustar la mezcla aire-combustible de manera programable ofrece una oportunidad única para minimizar las emisiones sin comprometer el desempeño del vehículo, promoviendo así la adopción de tecnologías más limpias y responsables con el medio ambiente en el sector automotriz. Este análisis es crucial para avanzar hacia una movilidad más sostenible y reducir el impacto negativo de los vehículos en la calidad del aire y el medio ambiente.

DELIMITACIONES

El proyecto se llevará a cabo en el periodo académico 64 el cual es de Marzo – Agosto del 2024. Cuenca, una ciudad situada a una altitud de 2.538 metros sobre el nivel del mar, cuenta con una población aproximada de 580.000 habitantes. Ocupa una extensión territorial de 15.730 hectáreas y disfruta de un clima templado, con temperaturas que oscilan entre los 14°C y los 18°C a lo largo de todo el año.(Conoce Cuenca | Turismo Cuenca Ecuador, n.d.).

Figura 1

Ubicación delimitada para el proyecto



Nota. La figura muestra la ubicación donde se realizará el proyecto. *Fuente:* Google Maps.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Análisis de emisiones contaminantes en un vehículo Suzuki Forsa con sistema de inyección programable variando mezcla aire - combustible.

OBJETIVOS ESPECIFICOS

Revisar exhaustivamente diferentes bibliografías que estudien o analicen sistemas de inyección electrónica programable aplicables a vehículos a carburador en función de las emisiones contaminantes.

Analizar el rendimiento del motor a través de pruebas de laboratorio para realizar los ajustes correspondientes en la programación de la mezcla aire combustible.

Comprobar el desempeño del vehículo luego de la variación de parámetros en la Unidad Electrónica de Control (ECU) comparando los resultados obtenidos con los datos iniciales o de base.

1. CAPÍTULO 1: FUNDAMENTOS TEÓRICOS Y ESTADO DEL ARTE

1.1. Marco conceptual

El desarrollo del proyecto de titulación se basa en el análisis del comportamiento de gases contaminantes variando la mezcla aire-combustible en un sistema de inyección con computadora programable. Esto es para reducir la excesiva emisión de gases contaminantes como los hidrocarburos (HC) y monóxido de carbono (CO). Además, se busca evaluar el impacto de estas variaciones en el rendimiento del motor y en el cumplimiento de las normativas ambientales vigentes, contribuyendo así a un transporte más sostenible y respetuoso con el medio ambiente.

1.2. Motor G10

El vehículo Suzuki Forsa GA distribuido y comercializado por General Motors del Ecuador desde el año 1991 a 1999 cuenta con un motor modelo G10, destacando su diseño en línea de tres cilindros y su funcionamiento con gasolina. Equipado originalmente con un sistema de alimentación a carburador y montado transversalmente, este motor posee una cilindrada de 993 cm³. La dimensión de diámetro del pistón es de 74 mm con una carrera de 77 mm y una relación de compresión de 8.8, indica un diseño compacto y eficiente. Con seis válvulas y sin sobrealimentación, el motor genera una potencia máxima de 53 Hp a 5700 rpm y un par máximo de 76 Nm a 3300 rpm. Diseñado para tracción delantera, se complementa con una caja de cambios manual de cinco velocidades, ofreciendo un rendimiento equilibrado y eficaz en diversas condiciones de conducción. (Ficha Técnica de Suzuki Swift II 1.0, 2005.)

En la figura 2, se aprecia la condición inicial del motor G10, la cual nos marca el inicio del proceso de mejora y a la instalación de sus componentes para reducir la emisión de gases contaminantes.

Figura 2*Estado inicial del Motor G10*

Nota. Se presenta el estado original del motor G10 para la posterior instalación de los componentes externos, *Fuente:* Autores.

Tabla 1*Especificaciones del motor G10*

MOTOR SUZUKI G10 A CARBURADOR	
Modelo del motor	G10
Cilindrada	993 cc
Diámetro del pistón	74.0 mm
Carrera del pistón	77.0 mm
Combustible	Gasolina
Relación de Compresión	8.8
Distribución	SOHC
Potencia	50 Cv a 5800 rpm
Torque	75 Nm a 3600 rpm
Orden de encendido	1,3,2

Nota: Esta tabla muestra las especificaciones del motor G10, *Fuente:* (Ultimate SPECS).

1.3. Vehículo para las pruebas

El vehículo utilizado para llevar a cabo las pruebas es un automóvil Suzuki modelo Forsa GA, como se muestra en la Figura 3. Antes de este experimento, el vehículo se modificó para analizar emisiones contaminantes, y luego se detallan los componentes implementados.

Figura 3

Vehículo para las pruebas



Nota. Suzuki Forsa GA año 1995, *Fuente:* Autores.

1.4. Enfoque y constitución de la gestión mecánica

La implementación de sistemas de inyección y el desarrollo de estrategias de control precisas mediante la ECU se basa en pruebas exhaustivas para optimizar la cantidad y el momento de la inyección de combustible. El objetivo es reducir las emisiones contaminantes ajustando la inyección y la sincronización en respuesta a la demanda del conductor, interpretada a través del pedal del acelerador. Por ello para lograrlo, se emplean algoritmos de control avanzados y sistemas de inyección electrónica que dosifican el combustible según la entrada del conductor. Este proceso equilibra la potencia, la eficiencia y las emisiones, considerando factores como la temperatura del motor, la presión del aire y la velocidad del vehículo.

Los sensores recopilan datos sobre parámetros críticos, que son procesados por la ECU para ajustar los actuadores y controlar la inyección de combustible. Así, se asegura un funcionamiento eficiente y limpio del motor, integrando las demandas del conductor con las condiciones operativas del vehículo.

1.4.1. Principio de funcionamiento

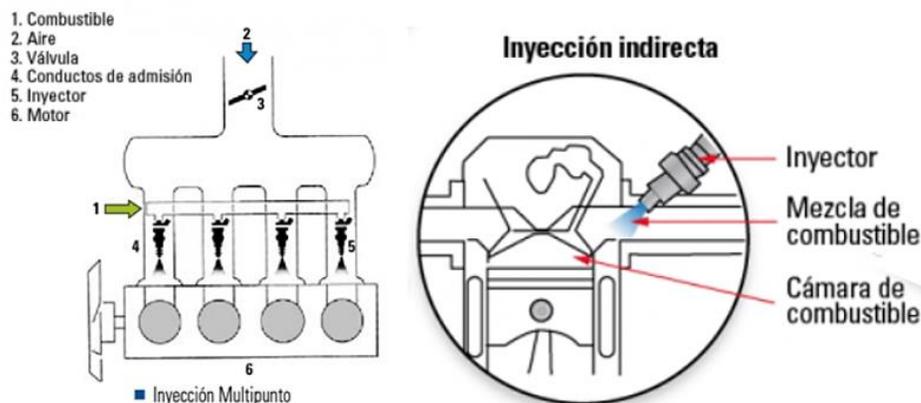
La inyección multipunto indirecta, una variante del sistema de inyección de combustible multipunto común en motores de gasolina, recopila datos de sensores como el MAF, ECT y TPS, procesados por la ECU para calcular la cantidad óptima de combustible a inyectar en cada cilindro.

El combustible se inyecta antes de la válvula de admisión, en el colector de admisión, donde se mezcla con el aire entrante antes de ingresar a la cámara de combustión. Después, la mezcla aire-combustible se distribuye a los cilindros individuales, donde la acciona el sistema de encendido del motor, iniciando el proceso de combustión.

La ECU monitorea continuamente las condiciones de funcionamiento y ajusta la cantidad de combustible inyectado para optimizar el rendimiento del motor y la eficiencia de combustible. Este método ofrece una mezcla más homogénea, mejorando la eficiencia y reduciendo las emisiones, además de proporcionar una respuesta más suave del acelerador.

Figura 4

Esquema de funcionamiento de Inyección multipunto



Nota. Descripción esquemática del sistema de inyección multipunto, *Fuente:* (Revista Autocrash - CesviColombia, 2014.)

1.4.2. Unidad Electrónica de Control (ECU)

Por la modificación realizada en el sistema de alimentación del vehículo, que se cambió de tecnología de un sistema de alimentación de carburador a uno de alimentación a inyección multipunto indirecta, hay que definir nuevos parámetros de funcionamiento diferentes del original como es el tiempo de inyección, el adelanto del encendido para poder optimizar la combustión con el momento del encendido de la chispa en relación con la posición del pistón y por último la mezcla de aire-combustible debido a que si la porción que ingresa es fundamental para la eficiencia y las emisiones del motor. Esto se logra a través de una Unidad Electrónica de control reprogramable. Esta unidad facilita la gestión de la información y la modificación en tiempo real de diversos factores de funcionamiento del motor, tales como el tiempo de inyección, el adelanto al encendido y la mezcla aire-combustible, entre otros, mediante la manipulación de la cartografía de control. Al cambiar de un sistema de carburador a uno de inyección multipunto indirecta, es necesario redefinir los parámetros de funcionamiento del motor. Esto se logra mediante una ECU

reprogramable, que permite gestionar y modificar en tiempo real el tiempo de inyección, el adelanto al encendido y la mezcla aire-combustible, entre otros parámetros. La ECU utiliza una cartografía de control para ajustar estos parámetros, mejorando así la precisión, eficiencia y reducción de emisiones del motor. (Bustos & Calle, De Ingeniería et al., 2016.)

Figura 5

Unidad de Control Electrónica (ECU)



Nota. Unidad Electrónica de Control utilizada en el vehículo para las pruebas, *Fuente:* (MaxxECU MINI, 2022).

La unidad de control electrónica programable MaxxECU MINI es un dispositivo que, mediante su software MTune, permite la configuración y ajuste en tiempo real de diversos parámetros operativos del sistema de gestión electrónica del motor. Además de establecer los parámetros de funcionamiento del motor, el dispositivo posibilita configurar mapas de corrección o retroalimentación de acuerdo con los diferentes estados de operación del motor, obteniendo información de múltiples sensores. (MaxxECU MINI, 2022.)

La Unidad Electrónica de Control posee un sistema avanzado de control de motor básico para hasta cuatro cilindros secuenciales y hasta ocho cilindros en chispa desperdiciada (wasted spark). Este sistema de encendido (wasted spark) utiliza una bobina para cada dos cilindros, generando una chispa por cada revolución del motor. (Conceptos Básicos EFI, 2017.)

Además, un ajuste más rápido y sencillo con el sensor MAP incorporado de hasta 3 bar/43,5 psi de impulso.

Tabla 2

Datos técnicos MAX XECU MINI

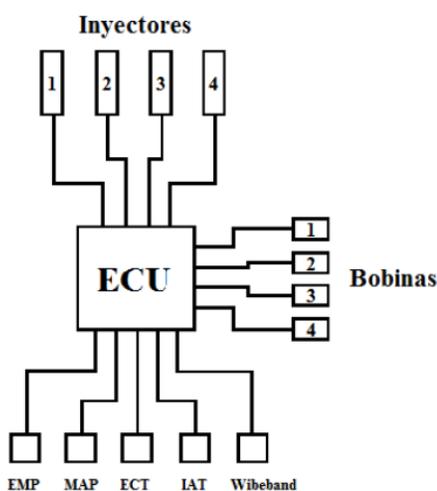
CARACTERISTICAS		
DESCRIPCION		DATOS
Caja de aluminio impermeabilizada	4	Salidas de inyector (alta impedancia)
Control de impulso (triple etapa)	4	Salidas de encendido
Control de tracción	4	Salidas adicionales (GPO)
Registros internos	2	Entradas analógicas adicionales (0-5V)
Shift-cut y lanzamiento	2	Entradas digitales adicionales (HALL)
Sistema de alerta avanzado	8 MB	Memoria
Control de lanzamiento	Cortex-M3 120MHz	Procesador
Sensor MAP incorporado		

Nota. Sistema avanzado de control de motor, *Fuente:*(MaxxECU MINI, 2022.)

Para que la Unidad de Control Electrónica programable pueda controlar el sistema de inyección y encendido, es necesario conectar el módulo a los diversos sensores y actuadores, lo que permite configurarlo según los requerimientos de funcionamiento o las condiciones del experimento en desarrollo. La conexión del módulo se ilustra en la figura 6.

Figura 6

Esquema del modulo



Nota. Esquema de diferentes sensores y actuadores, *Fuente:*(Bustos & Calle, De Ingeniería et al., 2016.)

1.4.3. Inyección ITB (Individual Throttle Body)

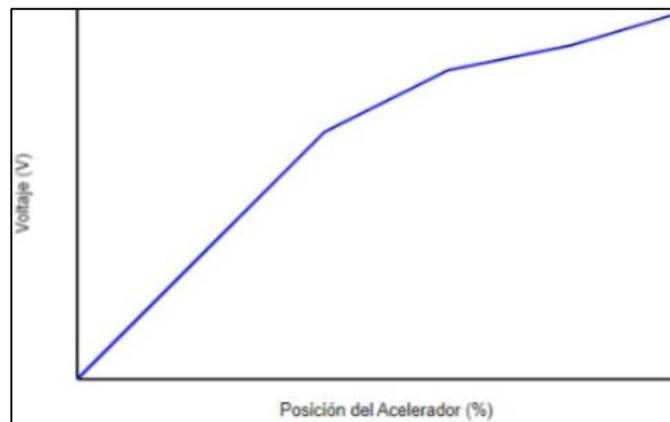
Este tipo de mecanismo de control de flujo de aire se utiliza para regular la entrada de aire en el sistema de admisión del motor. Estos dispositivos están configurados con compartimentos destinados a los inyectores y son operados mediante un sensor que detecta la posición de la mariposa del acelerador (TPS).(Javier Mora et al., 2015.)

El sensor TPS (Throttle Sensor Position) proporciona información a la Unidad de Control Electrónica (ECU) sobre el estado de carga del motor en un momento dado. Con base en esta señal,

la ECU puede ejecutar la estrategia de control más adecuada. La señal enviada por el TPS a la ECU tiene un comportamiento lineal de tipo analógico, lo que coincide con el tipo de entrada digital asignada en el microprocesador para la lectura de este dato. El circuito eléctrico del TPS consta de una alimentación de 5V, una línea de señal que transmite la información a la ECU y un circuito de conexión a masa o tierra. (Merlo, 2023.)

Figura 7

Curva característica del sensor TPS



Nota. La señal enviada por el TPS a la ECU tiene un comportamiento lineal, *Fuente:*(E-Auto, 2013)

El ITB se modifica según el tipo de motor y el perímetro de ingreso de admisión en el Block y su obtención está al alcance en todo el mercado. (Javier Mora et al., 2017.)

Figura 8

ITB (Individual Throttle Body)



Nota. El diámetro de este ITB es de 50 mm con un largo de 90mm, *Fuente:* Autores.

El sistema de Inyección Individual por Cilindro (ITB) es similar al sistema de Inyección Multipunto Secuencial (MPFI) en el sentido de que ambos son controlados por sensores y la unidad de control ECU. Sin embargo, la característica distintiva del sistema ITB es que cada cilindro del motor tiene su propio cuerpo de aceleración independiente. En el caso del sistema ITB, la admisión de aire atraviesa una serie de elementos específicos, como se muestra en la figura 8, que detalla la estructura de este sistema. (Javier Mora et al., 2017.)

Ambos sistemas son controlados por sensores y una Unidad de Control Electrónica (ECU), que ajusta la mezcla de aire y combustible basándose en parámetros como la posición del acelerador, la presión del colector y la temperatura del aire. Mientras que el ITB optimiza el rendimiento del motor a altas revoluciones y asegura una distribución uniforme del aire, el MPFI, con inyectores montados cerca de las válvulas de admisión y control secuencial por la ECU, se destaca por su eficiencia en el consumo de combustible y menor costo, siendo adecuado para una amplia gama de aplicaciones. El ITB incluye elementos específicos como filtros de aire individuales, sensores de posición del acelerador y colectores de admisión diseñados para

minimizar la resistencia al flujo de aire, siendo ideal para vehículos de alto rendimiento como autos de carrera y deportivos, mientras que el MPFI es más común en vehículos de producción en masa debido a su simplicidad y eficiencia.

1.4.4. Bobina electrónica de alto rendimiento

La función de la bobina de encendido en un motor de vehículo es aumentar la energía eléctrica proveniente de la batería a un nivel lo suficientemente alto para permitir el encendido del motor. Esto se logra generando una descarga eléctrica en las bujías a un nivel lo bastante elevado como para crear la chispa eléctrica necesaria para iniciar la combustión en el motor.

Figura 9

Bobinas Electrónicas de alto rendimiento (AEM)



Nota. Convierten la baja tensión de la batería en una alta tensión necesaria para crear la chispa, *Fuente:* Autores.

El núcleo de hierro tiene la función de reforzar el campo magnético. Enrollado alrededor del núcleo de hierro se encuentra un delgado bobinado secundario, compuesto por un hilo de cobre aislado de aproximadamente 0,05-0,1 mm de grosor, con unas 50,000 vueltas. El bobinado primario, a su vez, está enrollado alrededor del secundario y tiene un hilo de cobre de unos 0,6-0,9 mm de grosor. La resistencia óhmica del bobinado primario es de aproximadamente 0,2-3,0 Ω ,

mientras que en el bobinado secundario es de aproximadamente 5-20 k Ω . La relación de enrollamiento del bobinado primario al secundario es de aproximadamente 1:100. La estructura técnica de la bobina de encendido puede variar dependiendo de su ámbito de aplicación. (Bobina de Encendido| HELLA, 2019.)

Tabla 3

Especificaciones técnicas bobina AEM

DATOS TECNICOS	
Salida (sin carga)	40 kV mínimo
Salida (carga de 50pF)	40 kV +/- 10%
Energía de salida	103 mJ +/- 7%
Corriente secundaria máxima	102 mA +/- 10%
Duración del arco	2.9 mS +/- 10%
Corriente máxima	19 Amps
Voltaje máximo de la batería	17 Volts
Base Dwell	3.0 mS
Salida (sin carga)	40kV mínimo

Nota. Se muestra los valores de la ficha técnica del fabricante, Fuente:(Bobinas Individuales AEM, 2018.)

1.4.5. Sensor de Oxígeno de banda ancha Wideband

Se utiliza un sensor de oxígeno de banda ancha, como se muestra en la figura 10, debido a su misión de producir una señal analógica que refleja la relación aire-combustible mediante la medición de la concentración de oxígeno en los gases de escape. Este sensor está conectado a un

módulo de banda ancha correspondiente, el cual recibe la señal analógica generada por el sensor de oxígeno y produce una señal de voltaje variable que indica la riqueza o la pobreza de la mezcla.

(Bustos & Calle, De Ingeniería et al., ,2016.)

Figura 10

Sensor de oxígeno de banda ancha



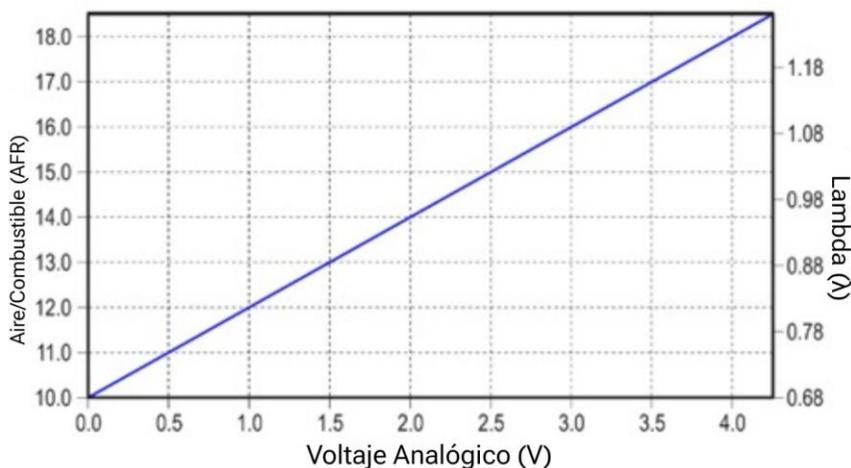
Nota. Refleja la relación aire-combustible, *Fuente:* (Digital Wideband UEGO AFR Gauge/ AEM).

Esto es relevante al ajustar la configuración del vehículo, pues nos permite obtener una lectura instantánea sobre el estado de la mezcla en las diferentes áreas de funcionamiento del vehículo. (Bustos & Calle, De Ingeniería et al., 2016.)

La señal de voltaje del sensor, que mide el factor lambda, se comporta linealmente con una pendiente de 1. En el punto de mezcla ideal, es decir, cuando el factor lambda es igual a 1, la señal de voltaje del sensor toma un valor de 2,375 V. Valores de voltaje superiores a 2,375 V indican mezclas pobres, mientras que valores de voltaje inferiores a 2,375 V indican mezclas ricas. (Bustos & Calle, De Ingeniería et al., 2016.)

Figura 11

Valores del sensor de oxígeno



Nota. Sensor medida en voltios respecto del factor lambda, *Fuente:*(Bustos & Calle, De Ingeniería et al., 2016.)

1.4.6. Regulador de presión de combustible

El regulador de presión de combustible es esencial en el sistema de alimentación de un motor de combustión interna, manteniendo una presión constante para un suministro óptimo de combustible a los inyectores, controlado por una válvula que ajusta el flujo de combustible según las variaciones de presión, asegura una combustión eficiente y protege los componentes del sistema de inyección.

La función principal del regulador de presión de combustible es enviar el exceso de combustible al tanque a través de la línea de retorno cuando se supera la presión máxima admisible en el riel de inyectores. El regulador tiene una conexión de vacío al múltiple de admisión, lo que le permite regular la presión de inyección en función de la depresión existente en el múltiple. Esto se hace para ajustar la cantidad de combustible inyectada según las variaciones de vacío en el múltiple. (Armando Mena Villamarín, 2016.)

Tabla 4*Características del regulador de presión de combustible*

Descripción	Datos Técnicos
Presión de operación	2.5 - 3.0 bares (36 - 44 psi)
Tipo de regulador	Mecánico
Material del cuerpo	Aluminio
Conexión de entrada	Rosca M12
Conexión de salida	Tubo de 8 mm
Rango de temperatura de operación	-40°C a 120°C
Tolerancia de presión	± 0.1 bar
Caudal máximo soportado	100 litros por hora
Compatibilidad con combustibles	Gasolina y E10 (10% etanol)
Vida útil estimada	150,000 km o 5 años

Nota. El regulador de presión de combustible para un Suzuki Forsa G10 opera en un rango de 2.5 - 3.0 bares (36 - 44 psi), *Fuente:* (Corporation, 2017)

Cuando la depresión en el múltiple de admisión aumenta, la cantidad de combustible inyectado a los cilindros también se incrementa. En respuesta, el regulador disminuye la presión de inyección para compensar y mantener la cantidad de combustible adecuada. Por el contrario, cuando la depresión en el múltiple disminuye, el regulador aumenta la presión de inyección, reduciendo la cantidad de combustible inyectado a los cilindros para compensar dicha variación. (Armando Mena Villamarín, 2016.)

Figura 12

Regulador de presión de combustible



Nota. Garantiza un suministro constante y controlado de combustible al motor, *Fuente:* Autores.

1.4.7. Sensor posición del cigüeñal (CKP)

El Sensor de Posición del Cigüeñal (CKP) es un componente clave en el sistema de encendido y control del motor de un vehículo. Su función principal es monitorear la posición y velocidad de rotación del cigüeñal, proporcionando esta información a la unidad de control del motor (ECU).

El sensor CKP funciona mediante el principio de generación de una señal de voltaje alterno. Cuenta con una rueda dentada que gira a una distancia fija de una bobina con su núcleo correspondiente. (Espinoza, 2012.)

A medida que cada diente de la rueda se acerca a la bobina (sensor CKP), se genera un voltaje positivo que aumenta progresivamente. Cuando el diente está justo frente al sensor, el voltaje se aproxima a 0 voltios. Posteriormente, al alejarse el diente, se induce un voltaje negativo, repitiendo así el ciclo. La frecuencia y amplitud de este voltaje alterno son proporcionales a la velocidad de rotación de la rueda dentada. (Espinoza, 2012.)

Figura 13

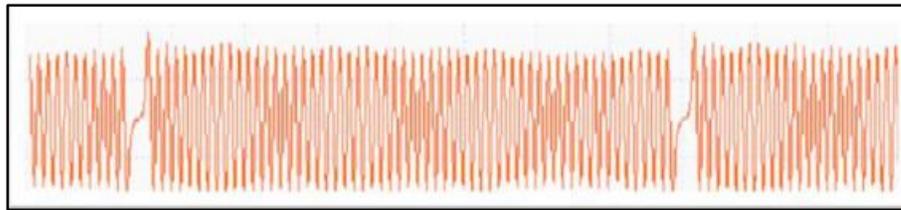
Sensor de posición del cigüeñal (CKP)



Nota. Monitorea la posición y velocidad de rotación del cigüeñal del motor, *Fuente:* Autores.

Figura 14

Onda del sensor CKP



Nota. La frecuencia y amplitud son proporcionales a la velocidad de rotación de la rueda dentada, *Fuente:* (Espinoza, 2012.)

1.4.8. Rueda Fónica

La rueda fónica consiste en un disco metálico equipado con 58 dientes o perforaciones equidistantes a lo largo de su circunferencia. Esta rueda se monta en el cigüeñal, el árbol de levas o en un eje auxiliar del motor, y gira sincronizada con la rotación del motor. El principal propósito de la rueda fónica es proporcionar señales de posición y velocidad al sensor correspondiente, como el Sensor de Posición del Cigüeñal (Sensor CKP), para que la Unidad de Control Electrónica

(ECU) del motor pueda determinar la posición exacta del cigüeñal o del árbol de levas en todo momento. Esta información es crucial para el control preciso del encendido, la inyección de combustible y otros parámetros del motor.

Figura 15

Rueda fónica



Nota. Proporciona datos precisos sobre la velocidad y posición de rotación del cigüeñal, esta rueda posee 58 dientes con dos faltantes, *Fuente:* Autores.

1.5. Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2204

Según la norma NTE INEN 2204 que rige en el Ecuador desde el año 2002, nos permite la regulación de límites permitidos a emisiones contaminantes por vehículos automotores de más de tres ruedas que emplean únicamente gasolina. (Instituto Ecuatoriano de normalización, 2017, n.d.)

La INEN 2204 nos detalla las especificaciones para la correcta ejecución de la prueba estática (marcha mínima o ralentí), como el año del modelo del vehículo, certificación de la casa del fabricante, área frontal, el ciclo de la prueba, también especifica la temperatura normal de operación, vehículos categoría M, dinamómetro, emisión de escape, emisiones evaporativas, equipos de medición, homologación, motor, masa, peso del vehículo, prueba estática, prueba

dinámica, marcha mínima o ralentí, temperatura normal de operación, y clasificación del vehículo automotor, entre otros.

Es crucial reconocer que, según los requisitos de esta normativa, debemos considerar la certificación de emisiones emitida por el fabricante o el propietario del diseño del vehículo, y avalada por la autoridad competente del país de origen, o por un laboratorio autorizado por esta.

Es decir, se debe entregar una copia de dicho certificado a los propietarios del vehículo, ya que la autoridad competente puede revisarlo para verificar su legalidad. (NTE INEN 2204.)

Tabla 5

Límites máximos de emisiones permitidos para fuentes móviles con motor de gasolina.

Año modelo	% CO*		ppm HC*	
	0 - 1500 **	1500 - 3000	0 - 1500	1500 - 3000
2000 y posteriores	1,0	1,0	200	200
1990 a 1999	3,5	4,5	650	750
1989 y anteriores	5,5	6,5	1000	1200

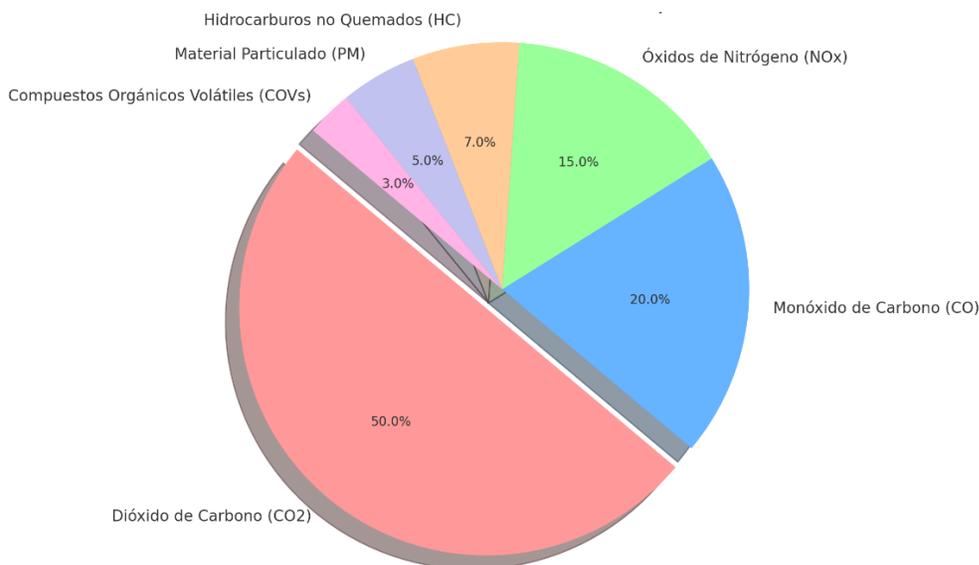
* Volumen
 **Altitud = metros sobre el nivel del mar

Nota. Marcha mínima o ralentí (prueba estática). *Fuente:*(Instituto Ecuatoriano de Normalización,2017.)

1.6.Gases contaminantes

La emisión de gases tóxicos tiene un impacto significativo en el planeta, contaminando el agua, el aire y afectando por ende la salud humana. Estos gases contaminantes se generan durante el proceso de combustión en el motor, cuando se mezcla el aire y el combustible, y la compresión ejercida por el pistón al subir del PMI al PMS, junto con la chispa de la bujía de encendido.

En resumen, la combustión en los motores es el principal factor que da lugar a la liberación de estos gases dañinos que afectan gravemente al medio ambiente y la salud de las personas.

Figura 16*Distribución de Gases Contaminantes*

Nota. En la gráfica se puede observar la distribución de Gases Contaminantes Emitidos por un Vehículo, *Fuente:* (EPA | US EPA, 2019.)

1.6.1. Monóxido de carbono (CO)

Este gas es incoloro, inodoro e insípido, pero es altamente tóxico por su afinidad con la hemoglobina en la sangre. En otras palabras, los glóbulos rojos absorben el monóxido de carbono (CO) con mayor facilidad que el oxígeno, lo que resulta en el bloqueo del transporte de oxígeno por parte de los glóbulos rojos. (Freddy Guanga Pugo, 2013.)

El monóxido de carbono (CO) se mide en porcentaje y se genera durante la combustión cuando no hay suficiente oxígeno para producir dióxido de carbono. Por lo tanto, valores altos de CO indican una mezcla de combustible demasiado rica o una combustión incompleta.

En el sistema de inyección de combustible multipunto, el controlador electrónico tiene como objetivo contrarrestar este inconveniente, suministrando la cantidad necesaria de

combustible para evitar una combustión innecesariamente rica de la mezcla aire-combustible. (Freddy Guanga Pugo, 2013.)

1.6.1.1. Causas de valores de monóxido de carbono altos

- Tiempo de inyección exagerado.
- Problemas en el sistema de combustible.
- Excesiva presión de combustible.
- Una mezcla rica.

1.6.2. Hidrocarburos (HC)

Es un conjunto de moléculas formadas por átomos de hidrógeno y carbono en conjunto a enlaces covalentes. Los hidrocarburos son identificados en la naturaleza y se extraen de distintas formaciones geológicas. Además, los hidrocarburos se presentan en algunos estados físicos, ya sea; líquido en el caso del petróleo, gas en el caso del gas natural y sólido en el caso del carbón.

(VICTOR FAREZ, 2022)

Los hidrocarburos se forman debido a una combustión deficiente de la mezcla aire-combustible. Cuando se forma la mezcla, se comprime en la cámara de combustión y salta la chispa, cierta cantidad de gasolina no se quema del todo. Esta porción de gasolina sin quemar es expulsada junto con los demás gases contaminantes a través del tubo de escape. (Freddy Guanga Pugo, 2013.)

El sistema de inyección multipunto puede mejorar este inconveniente, ya que cuenta con sensores que envían señales a la Unidad Electrónica de Control (ECU) sobre ciertos parámetros, como la temperatura del aire de admisión (IAT) y la posición de la mariposa de aceleración (TPS). Con base en estos datos, la Unidad de Control Electrónico (ECU) ajusta el tiempo de inyección

del combustible, evitando así una mezcla aire-combustible demasiado pobre o altamente rica. (Freddy Guanga Pugo, 2013.)

1.6.2.1. Causa de valores de Hidrocarburos no combustionados

- Problemas mecánicos de válvulas o retenes.
- Tiempo de inyección defectuoso.
- Relación AFR rica.
- Defectos de encendido, relación aire-combustible pobre.
- Paso excesivo de aceite a la cámara de combustión.

1.7. Analizador de gases

El analizador de gases utilizado en el experimento es el modelo MAHA MGT 5, el cual emplea el método de absorción de infrarrojos no dispersivo para medir las concentraciones de monóxido de carbono, hidrocarburos sin quemar y dióxido de carbono. Además, utiliza celdas electroquímicas para la determinación de los niveles de oxígeno y óxidos de nitrógeno. Las especificaciones técnicas del analizador se detallan en la tabla 8. (Rivera & Chica, 2015.)

Tabla 6*Características del analizador de gases MTG 5*

VARIABLE	SIMBOLO	RANGO	UNIDAD
Monóxido de Carbono	CO	0 – 10	%
Hidrocarburos no combustionados	HC	0 – 5000	ppm
Dióxido de carbono	CO ₂	0 – 16	%
Oxigeno	O ₂	0 – 21	%
Óxidos nitrosos	NO _x	0 – 5000	ppm
Factor lambda	λ	0 – 2	-

Nota. En la tabla se muestra los rangos en los que trabaja el analizador, Fuente: (Rivera & Chica, 2015.)

Figura 17*Analizador de gases modelo MAHA MGT 5*

Nota. El analizador de gases MAHA MGT 5 mide CO, hidrocarburos sin quemar y CO₂ mediante infrarrojos no dispersivos, y O₂ y NO_x con celdas electroquímicas, Fuente: Autores.

2. CAPÍTULO 2: TOMA DE DATOS DEL RENDIMIENTO DEL MOTOR.

2.1. Prueba de emisiones contaminantes

Las pruebas de emisiones contaminantes se realizaron en la Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca. Para realizar estas pruebas se tomó como referencia la tabla de límites máximos de emisiones permitidos para fuentes móviles con motor de gasolina, según el año y cilindraje del vehículo. Las cuales están establecidas por la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 2204.

Para este estudio utilizaremos un vehículo marca Suzuki modelo Forsa II del año 1995, que según la tabla 5 los niveles máximos tolerados en ralentí para vehículos fabricados entre 1990 y 1999 son del 4.5% de CO (monóxido de carbono), y de 750 ppm de HC (hidrocarburos), una vez que nos enfocamos en las exigencias actuales de la norma, los niveles máximos tolerados en ralentí son del 1.0 % de CO y de 200 ppm de HC.

Tras la determinación de los límites aceptables para las emisiones de gases contaminantes, se procede a medir los gases expulsados por el sistema de escape del motor. El objetivo de esta medición es identificar la cantidad de Monóxido de Carbono (CO) e Hidrocarburos (HC) liberados al medio ambiente. Estas mediciones se realizan directamente en el tubo de escape y se presentan en porcentaje para el CO y en partes por millón (ppm) para los HC.

2.2. Régimen de giro

La velocidad de rotación del motor es un elemento crucial que influye tanto en el rendimiento como en las emisiones contaminantes, aspectos que son definidos por el fabricante del vehículo. Para llevar a cabo este experimento, es fundamental adherirse a la normativa vigente, específicamente a la "Codificación a la Ordenanza que norma el establecimiento del sistema de

Revisión Técnica Vehicular de Cuenca y la Delegación de Competencias Cuencaire, Corporación para el mejoramiento del aire de Cuenca". Esta normativa incluye las normas NTE INEN 2 203 2000 sobre Gestión Ambiental, Aire y Vehículos Automotores, que establece los métodos para medir la concentración de emisiones en condiciones de marcha mínima o ralentí, así como la NTE INEN 2 349:2003, que detalla los procedimientos para la revisión técnica vehicular. Según estas regulaciones, el régimen de ralentí se fija en un máximo de 1100 rpm. Además, se norman otros regímenes de giro, siendo 2600 rpm el segundo, lo que resulta en un promedio de 1600 rpm. Los valores de este factor se presentan en la tabla 7.

Tabla 7

Niveles del Factor Régimen de Giro

Factor	Nivel mínimo	Nivel central	Nivel máximo
	(-)	(0)	(+)
Régimen de giro	900	1600	2600

Nota. El régimen de ralentí se fija en un máximo de 1100 rpm, *Fuente:* Autores.

2.3.Toma de datos

2.3.1. Protocolo de medición

Para garantizar la reproductibilidad del experimento las muestras fueron tomadas siguiendo el siguiente protocolo:

- Preparar los instrumentos de medición y adquisición de datos.
- Encender el motor.
- Confirmar la temperatura del refrigerante a 90 °C.
- Adquirir los datos de las condiciones ambientales.
- Seleccionar la prueba a realizar.

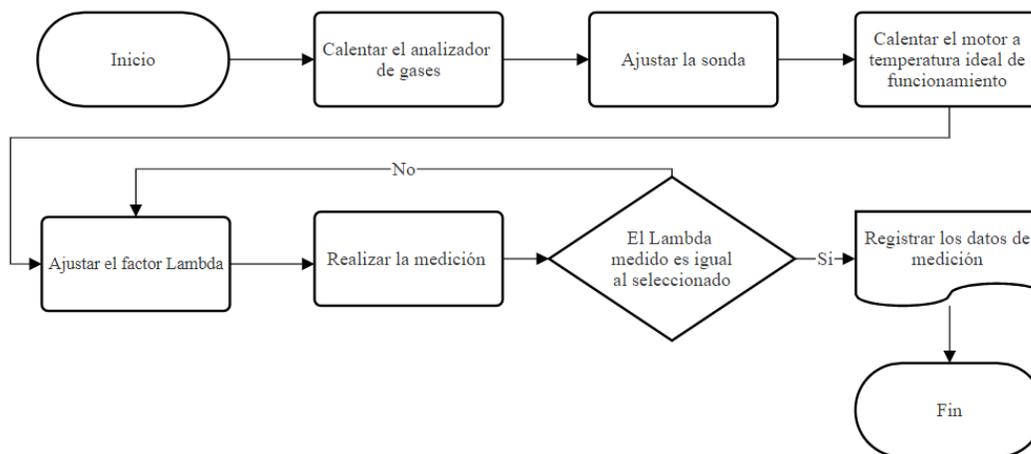
- Apagar el motor.
- Regular el valor de mezcla aire-combustible.
- Encender el motor.
- Mantener el motor funcionando al régimen de giro establecido.
- Adquirir los datos de todas las variables planteadas.
- Regular el factor lambda a su valor inicial.
- Mantener funcionando el motor durante 2 minutos.
- Apagar el motor.

2.3.2. Proceso para realizar la toma de datos

Para mejor entendimiento del proceso de toma de datos, lo resumimos en un flujograma de trabajo, como se presenta en la figura 18.

Figura 18

Proceso para la toma de datos



Nota. El diagrama de flujo detalla el proceso de medición y ajuste del factor Lambda en un motor, asegurando precisión y eficiencia en su funcionamiento, *Fuente:* Autores.

El diagrama de flujo describe el proceso para medir y ajustar el factor Lambda en un motor. Comienza calentando el analizador de gases y ajustando la sonda, seguido de calentar el motor a su temperatura ideal de funcionamiento a 90 °C. Una vez hecho esto, se toma los datos del factor Lambda. Si el valor medido no coincide con el valor seleccionado el cual es de 0,9 aproximadamente para la primera prueba y de 1 aproximadamente para la segunda prueba, se ajusta el factor Lambda y se repite la medición. Este proceso se realiza cíclicamente hasta que el valor medido sea correcto. Cuando el valor de Lambda es el adecuado, se registran los datos de medición, concluyendo así el proceso.

2.3.3. Resultados de la toma de datos

A continuación, los datos obtenidos en el analizador de gases a distintos regímenes de giro del motor:

Tabla 8*Datos obtenidos a Ralentí*

Ralentí				
Segundos	CO	HC	Lambda	RPM
1	3,28	299	0,938	990
2	3,28	301	0,936	1010
3	3,28	301	0,934	1000
4	3,28	302	0,932	1000
5	3,28	301	0,93	1000
6	3,28	301	0,93	1000
7	3,28	304	0,928	1010
8	3,28	305	0,927	950
9	3,31	305	0,926	950
10	3,36	306	0,924	960
11	3,36	306	0,924	960
12	3,34	309	0,923	970
13	3,34	309	0,923	970
14	3,34	310	0,922	960
15	3,39	310	0,921	960

Nota. Valores obtenidos en el analizador de gases MAHA MGT 5, *Fuente:* Autores.

La tabla 8 presenta datos de emisiones contaminantes del vehículo en ralentí durante un periodo de tiempo determinado. Las emisiones de monóxido de carbono (CO) permanecen constantes alrededor del 3,28%, mientras que las emisiones de hidrocarburos (HC) muestran un

incremento leve de 299 a 310 ppm. El valor del coeficiente lambda, que representa la relación aire/combustible, decrece de 0,938 a 0,921, indicando una tendencia hacia una mezcla más rica.

Tabla 9

Datos obtenidos a 1600 rpm

A 1600 RPM					
Segundos	CO	HC	Lambda	RPM	
1	2,77	699	0,969	1650	
2	3,14	699	0,959	1660	
3	3,52	558	0,951	1640	
4	3,52	452	0,948	4660	
5	3,32	379	0,946	1670	
6	3,01	379	0,949	1670	
7	2,97	325	0,946	1680	
8	2,99	293	0,941	1690	
9	2,99	271	0,938	1700	
10	3,05	261	0,933	1700	
11	3,06	255	0,93	1680	
12	3,06	255	0,929	1710	
13	3,08	244	0,928	1690	
14	3,14	236	0,926	1720	
15	3,2	234	0,924	1700	

Nota. Valores obtenidos en el analizador de gases MAHA MGT 5, *Fuente:* Autores.

La tabla 9 muestra los datos de gases contaminantes obtenidos en la prueba estática de emisiones en el vehículo funcionando a 1600 rpm. El promedio de las emisiones de monóxido de carbono (CO) es de 3,12 %, mientras que las emisiones de hidrocarburos (HC) disminuyen de 699 a 234 ppm. El coeficiente lambda, que indica la relación aire/combustible, disminuye de 0,969 a 0,924, indicando una tendencia a una mezcla rica.

Tabla 10

Datos obtenidos a 2600 rpm

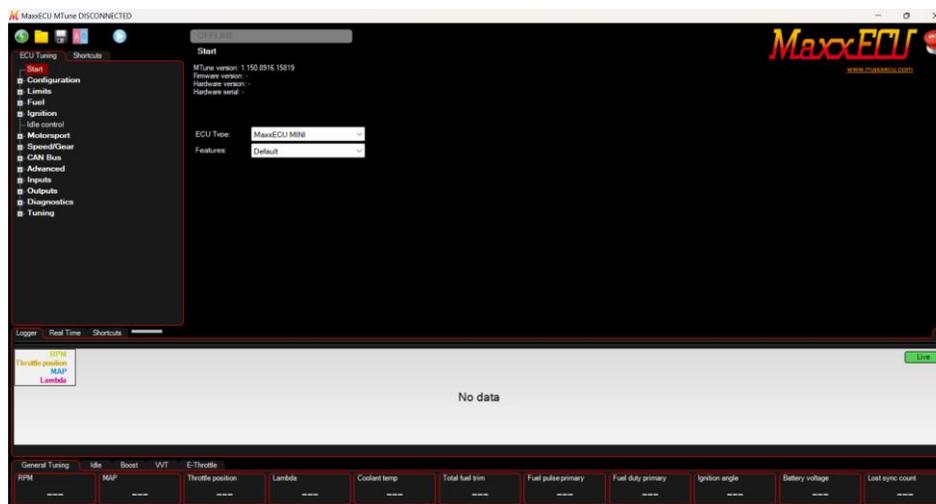
A 2600 RPM				
Segundos	CO	HC	Lambda	RPM
1	4,25	176	0,904	2650
2	4,25	176	0,903	2640
3	4,72	176	0,888	2630
4	4,93	174	0,881	2630
5	4,93	174	0,88	2630
6	4,89	174	0,88	2630
7	4,77	173	0,883	2640
8	4,76	171	0,883	2630
9	4,64	170	0,886	2630
10	4,36	165	0,892	2660
11	4,36	164	0,892	2660
12	4,3	164	0,893	2670
13	4,3	163	0,893	2670
14	4,29	162	0,893	2660
15	4,29	161	0,893	2680

Nota. Valores obtenidos en el analizador de gases MAHA MGT 5, *Fuente:* Autores.

La tabla 10 proporciona datos sobre el rendimiento y las emisiones del motor operando a 2600 rpm durante un período específico. Las emisiones de monóxido de carbono (CO) se mantienen constantes en torno al 4,36%, mientras que las emisiones de hidrocarburos (HC) muestran una ligera variación entre 176 y 161 ppm. El coeficiente lambda, disminuye de 0,904 a 0,893, indicando una tendencia hacia una mezcla más rica.

Variación de mezcla aire-combustible

Para las pruebas variando la mezcla aire-combustible se utiliza un software MaxxECU MTune, este permite la configuración y ajuste en tiempo real de diversos parámetros operativos del sistema de gestión electrónica del motor, además de establecer los parámetros de funcionamiento del motor, el dispositivo posibilita configurar mapas de corrección o retroalimentación de acuerdo con los diferentes estados de operación del motor, obteniendo información de múltiples sensores.

Figura 19*Interfaz de MaxxECU MTune*

Nota. El software MaxxECU MTune permite una configuración y ajuste del motor en tiempo real con una interfaz intuitiva y herramientas avanzadas de diagnóstico, *Fuente:* Autores.

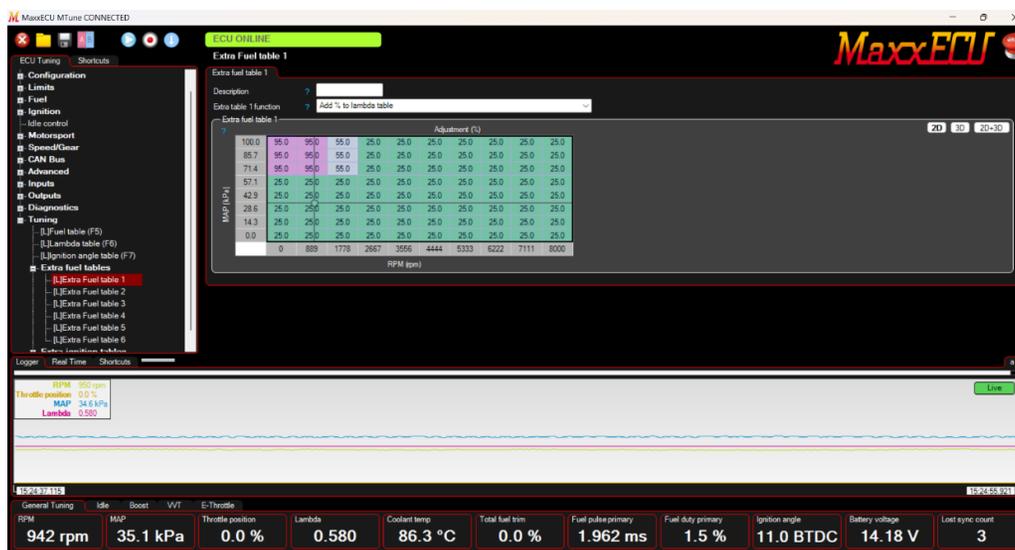
2.3.3.1. Proceso para cambiar lambda en MaxxECU MTune

Para conectar la ECU a la computadora, se debe conectar la MaxxECU mediante el cable USB. Luego, se abre el software MaxxECU MTune en la computadora y se asegura de que la conexión con la ECU esté establecida correctamente, lo cual se muestra generalmente en la parte inferior de la ventana del software. Una vez en MTune, accede a la configuración de lambda desde la sección de "Calibración" o "Fuel" (combustible) del menú principal, y se busca la opción relacionada con la sonda lambda o la configuración de la mezcla aire-combustible. Para ajustar el valor de lambda, se localiza el mapa de lambda o la tabla de relaciones aire-combustible, se selecciona la celda o el rango de celdas que se desea ajustar, y se cambia el valor de lambda según

los requerimientos del motor, siendo los valores típicos de lambda alrededor de 1.00 para una mezcla estequiométrica (14.7:1 relación aire-combustible para gasolina).

Figura 20

Variación de lambda en MaxxECU MTune



Nota. Para ajustar el valor de lambda, se localiza el mapa de lambda o la tabla de relaciones aire-combustible, *Fuente*, Autores.

Después de realizar los ajustes, se deben guardar los cambios en la ECU, lo cual generalmente se hace a través de un botón o una opción en el menú, como "Save to ECU". Finalmente, es importante verificar los ajustes en tiempo real monitoreando los datos de la sonda lambda mientras el motor está en funcionamiento, asegurándose de que el motor opere dentro de los parámetros deseados.

A continuación, los datos obtenidos en el analizador de gases luego de realizar la variación de la mezcla aire-combustible a distintos regímenes de giro del motor:

Tabla 11*Datos obtenidos a Ralentí luego de variar lambda*

Ralentí				
Segundos	HC	CO	Lambda	RPM
1	201	1,53	1,102	969
2	201	1,54	1,11	964
3	201	1,5	1,113	975
4	200	1,5	1,117	964
5	200	1,31	1,117	967
6	200	1,04	1,119	955
7	200	0,79	1,12	963
8	200	0,63	1,121	960
9	201	0,56	1,123	955
10	201	0,56	1,127	866
11	201	0,52	1,129	815
12	202	0,51	1,131	817
13	202	0,48	1,132	814
14	203	0,48	1,136	812
15	204	0,47	1,137	798

Nota. Valores obtenidos en el analizador de gases MAHA MGT 5 luego de variar lambda,

Fuente: Autores.

La tabla 11 muestra datos sobre el rendimiento y las emisiones de un motor en ralentí durante un periodo específico. Las emisiones de monóxido de carbono (CO) se mantienen

constantes alrededor del 1,53%, mientras que las emisiones de hidrocarburos (HC) aumentan ligeramente de 201 a 204 ppm. El valor del coeficiente Lambda, que representa la relación aire/combustible, sube de 1,102 a 1,137, indicando una tendencia hacia una mezcla rica

Tabla 12

Datos obtenidos a 1600 rpm luego de variar lambda

A 1600 RPM				
Segundos	HC	CO	Lambda	RPM
1	120	1,45	1,028	1616
2	120	1,45	1,02	1628
3	120	1,55	1,01	1616
4	119	1,58	1,008	1617
5	119	1,58	1,005	1648
6	119	1,58	1,004	1628
7	121	1,58	1,002	1618
8	121	1,58	1,001	1643
9	121	1,53	1,001	1627
10	117	1,49	1,001	1616
11	117	1,49	1	1613
12	117	1,49	1	1621
13	117	1,59	1	1604
14	117	1,67	1	1603
15	117	1,67	0,999	1622

Nota. Valores obtenidos en el analizador de gases MAHA MGT 5 luego de variar lambda,

Fuente: Autores.

La tabla 12 proporciona datos sobre el rendimiento y las emisiones de un motor operando a 1600 RPM durante un periodo específico. Las emisiones de monóxido de carbono (CO) se mantienen constantes alrededor del 1,45%, mientras que las emisiones de hidrocarburos (HC) disminuyen de 120 a 117 ppm. El coeficiente Lambda, desciende de 1,028 a 0,999, lo que indica una tendencia hacia una mezcla rica.

Tabla 13

Datos obtenidos a 2600 rpm luego de variar lambda

A 2600 RPM				
Segundos	HC	CO	Lambda	RPM
1	152	2,45	0,934	2598
2	145	2,66	0,931	2590
3	137	2,68	0,932	2600
4	132	2,68	0,937	2592
5	122	2,52	0,937	2593
6	121	2,37	0,943	2599
7	120	2,44	0,947	2584
8	120	2,55	0,947	2593
9	118	2,45	0,944	2615
10	118	2,45	0,939	2645
11	118	2,29	0,939	2610
12	112	2,15	0,935	2617
13	111	2,09	0,933	2614
14	108	2,1	0,931	2616
15	107	2,14	0,931	2642

Nota. Valores obtenidos en el analizador de gases MAHA MGT 5 luego de variar lambda,

Fuente: Autores.

La tabla 13 proporciona datos sobre el rendimiento y las emisiones de un motor funcionando a 2600 RPM durante un periodo específico. Las emisiones de monóxido de carbono (CO) se mantienen estables alrededor del 2,45%, mientras que las emisiones de hidrocarburos (HC) muestran una disminución moderada de 152 a 107 ppm. El coeficiente Lambda desciende de 0,934 a 0,931, lo que indica una tendencia hacia una mezcla rica.

2.3.4. Comparación de resultados

Haciendo una comparación entre la tabla 8 y la tabla 11 se puede decir que, en ambos casos, las emisiones de CO se mantienen relativamente constantes, aunque a niveles diferentes (3,28% en el primer caso y 1,53% en el segundo). Las emisiones de HC aumentan levemente en ambas tablas, de 299 a 310 ppm y de 201 a 204 ppm respectivamente. Sin embargo, el comportamiento del coeficiente lambda difiere: en el primer párrafo, decrece de 0,938 a 0,921, sugiriendo una mezcla más rica, mientras que, en el segundo, aumenta de 1,102 a 1,137, también indicando una mezcla más rica. Las revoluciones muestran estabilidad en ambos párrafos, con valores alrededor de 960 y 966 rpm, respectivamente, reflejando un funcionamiento estable del motor.

De igual manera haciendo una comparación entre la tabla 9 y la tabla 12 que presentan datos sobre las emisiones de un motor a 1600 RPM durante un periodo de tiempo determinado se puede decir que, en el primer caso las emisiones de monóxido de carbono (CO) tienen un valor promedio de 3,12%, mientras que, en el segundo caso, estas emisiones son constantes alrededor del 1,45%. Las emisiones de hidrocarburos (HC) muestran una disminución significativa de 699 a 234 ppm en el primer caso, y un descenso menor de 120 a 117 ppm en el segundo. Ambos párrafos indican una tendencia hacia una mezcla más rica, evidenciada por la disminución del coeficiente lambda: de 0,969 a 0,924 en el primer caso, y de 1,028 a 0,999 en el segundo. Las revoluciones

del motor muestran ligeras variaciones, estabilizándose alrededor de 1680 y 1621 rpm respectivamente, reflejando un funcionamiento estable y controlado del motor en ambos casos.

2.3.5. Comparativa de las emisiones con la norma INEN

Después de haber obtenido los datos utilizando los instrumentos de medición, se realizará una comparación técnica con la normativa vigente.

Para el caso del vehículo Suzuki Forsa se realizará la comparativa con la norma INEN 2204 (Límites permitidos de emisiones producidas por fuentes móviles terrestres de gasolina), por lo tanto, los límites con los que realizaremos la comparación serán los de la tabla 8 con respecto a la normativa.

Tabla 14

Comparativa entre las emisiones y la norma

INEN		OBTENIDAS	
CO (%)	HC (ppm)	CO (%)	HC (ppm)
4,5	750	3,28	300

Nota. Los valores obtenidos están dentro del rango permitido por la norma, *Fuente:* Autores.

Se observa que todos los valores obtenidos en el analizador no superan los límites propuestos en la norma INEN, por ejemplo, en el caso del CO los valores calculados son de 3,28% mientras que lo máximo permitido es 4,5%, de la misma manera el HC tiene valores calculados de 300 ppm mientras que el límite es de 750 ppm.

3. CAPITULO 3: ANALISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS CON LOS DATOS INICIALES.

A continuación, se procederá a examinar los datos recolectados por el analizador de gases, centrándose en los diferentes contaminantes, en relación con el valor de lambda y el tiempo.

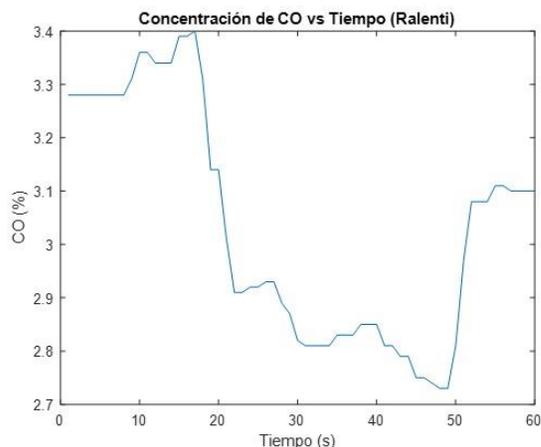
3.1. Análisis de los resultados obtenidos en la primera prueba

3.1.1. CO vs tiempo (Ralenti)

La curva de emisiones de CO muestra un patrón de disminución durante la mayor parte del tiempo de prueba, seguido por un aumento brusco al final. Las fluctuaciones y cambios en los niveles de CO son indicativos de variaciones en la operación del sistema de combustión o en los mecanismos de control de emisiones. Este análisis sugiere que, mientras el sistema es capaz de reducir las emisiones de CO de manera efectiva en ciertas condiciones, también puede estar sujeto a variaciones significativas que deben ser consideradas para una evaluación completa del rendimiento del sistema.

Figura 21

Concentración de CO vs Tiempo (Ralentí)



Nota. La gráfica muestra la concentración de monóxido de carbono (CO) en porcentaje (%) en función del tiempo mientras el motor está en ralentí, *Fuente:* Autores.

La figura 21 muestra la concentración de monóxido de carbono (CO) en porcentaje (%) en función del tiempo mientras el motor está en ralentí. Inicialmente, la concentración de CO se mantiene estable en torno al 3.3% durante los primeros 10 segundos. Luego, se observa un ligero aumento hasta casi el 3.4% entre los 10 y 20 segundos. A partir de ahí, la concentración disminuye rápidamente hasta aproximadamente el 3.0% y continúa bajando gradualmente hasta cerca del 2.8% en los siguientes 20 segundos. Después de mantenerse estable en torno al 2.8% entre los 40 y 50 segundos, la concentración vuelve a aumentar, alcanzando alrededor del 3.2% hacia el final del período de 60 segundos.

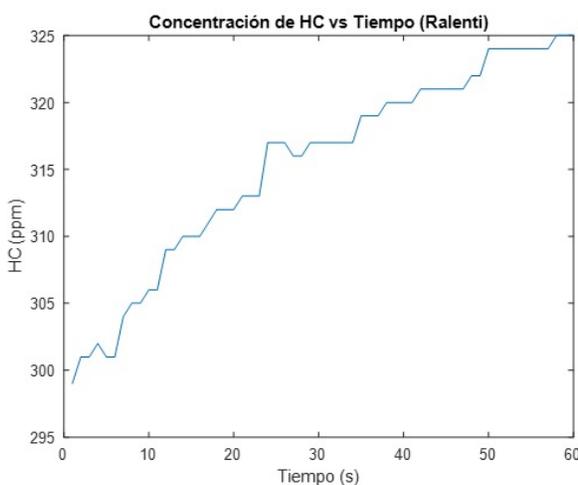
El ajuste continuo de la mezcla aire-combustible por parte de la unidad de control del motor (ECU) y el funcionamiento del convertidor catalítico, que mejora con el tiempo al calentarse, también influyen en estas fluctuaciones. Cambios en la carga del motor y ajustes del sistema de escape y control de emisiones contribuyen igualmente a las variaciones observadas.

3.1.2. HC vs tiempo (Ralentí)

La concentración de HC comienza en aproximadamente 297 ppm y aumenta de manera constante a lo largo del tiempo. En los primeros 30 segundos, la concentración sube gradualmente, alcanzando alrededor de 315 ppm. Después, la concentración sigue aumentando, con algunos pequeños saltos y estabilizaciones, llegando finalmente a aproximadamente 323 ppm al final de los 60 segundos. La tendencia general es un incremento continuo en la concentración de HC a lo largo del período observado.

Figura 22

Concentración de HC vs Tiempo (Ralentí)



Nota. La gráfica muestra la concentración de hidrocarburos (HC) en función del tiempo mientras el motor está en ralentí, *Fuente:* Autores.

La figura 22 presenta un aumento constante en la concentración de hidrocarburos (HC) durante el ralentí del motor. Comenzando en 297 ppm, la concentración alcanza 315 ppm en 30 segundos y culmina en aproximadamente 323 ppm al final del minuto, con ligeras variaciones. Esta tendencia indica un incremento continuo en las emisiones de HC, lo que puede reflejar ineficiencias en la combustión.

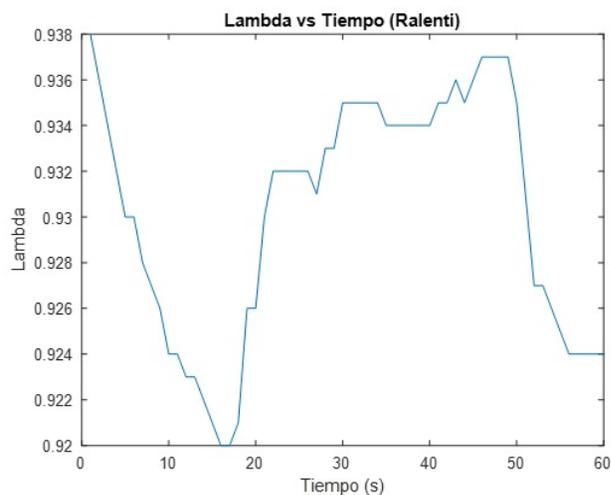
Puede deberse a una combinación de ineficiencia en la combustión, problemas con el sistema de control de emisiones, como un catalizador o sensores de oxígeno defectuosos o el uso de combustibles de baja calidad.

3.1.3. Lambda vs tiempo (Ralentí)

La disminución inicial, seguida de fluctuaciones y un descenso final, refleja la respuesta del sistema de combustión a diversos cambios operativos y ajustes en la relación aire-combustible. Mantener un factor lambda cercano a 1 es crucial para una combustión eficiente y una mínima emisión de contaminantes, y las fluctuaciones observadas indican que el sistema está continuamente ajustándose para alcanzar este objetivo. La información proporcionada por esta curva es esencial para optimizar los parámetros de combustión y mejorar el rendimiento y la eficiencia del motor.

Figura 23

Concentración de lambda vs Tiempo (Ralentí)



Nota. La gráfica del factor lambda muestra un patrón dinámico con variaciones significativas a lo largo del tiempo de prueba, *Fuente:* Autores.

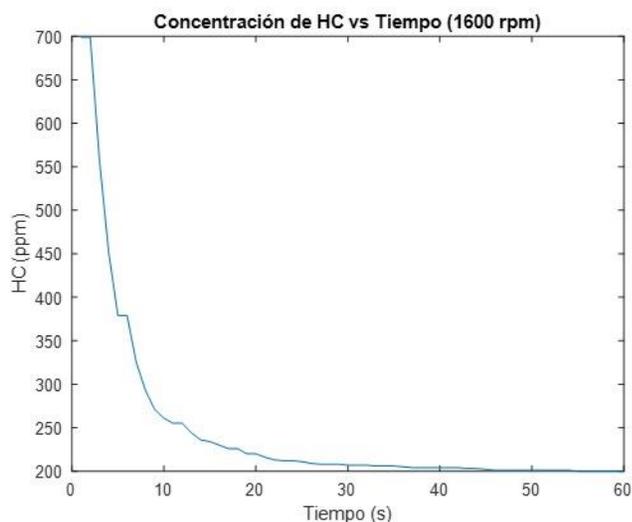
La figura 23 muestra la variación del valor Lambda en función del tiempo mientras el motor está en ralentí. Lambda comienza en aproximadamente 0.937 y disminuye de manera constante durante los primeros 20 segundos, alcanzando un mínimo de alrededor de 0.922. Luego, el valor de Lambda aumenta gradualmente hasta aproximadamente 0.936 en los siguientes 20 segundos. Entre los 40 y 50 segundos, Lambda experimenta fluctuaciones antes de caer nuevamente, terminando en un valor de aproximadamente 0.923 al final del período de 60 segundos. En sí, la gráfica refleja una disminución inicial significativa, seguida de un aumento y luego una caída hacia el final del intervalo de tiempo observado.

Puede deberse a una regulación ineficiente del sistema de control de la mezcla, problemas en los sensores de oxígeno, o variaciones en la eficiencia de la combustión. La disminución inicial podría estar relacionada con una mezcla rica en combustible.

3.1.4. HC vs Tiempo (1600 rpm)

Figura 24

Concentración de HC vs Tiempo (1600 rpm)



Nota. La gráfica presenta la relación entre la concentración de hidrocarburos (HC) y el tiempo, bajo condiciones de operación a 1600 rpm, *Fuente:* Autores

En el eje vertical se muestra la concentración de HC en partes por millón (ppm), que oscila entre 200 y 700 ppm, mientras que en el eje horizontal se representa el tiempo en segundos, abarcando un rango de 0 a 60 segundos. La curva inicia en un valor alto cercano a 700 ppm y desciende rápidamente en los primeros segundos, indicando una disminución significativa de la concentración de HC. Posteriormente, la tasa de disminución se ralentiza, estabilizándose alrededor de 200 ppm hacia el final del intervalo de tiempo analizado. Este comportamiento sugiere un proceso de eliminación o reducción de hidrocarburos eficaz en los primeros momentos, seguido de una fase de estabilización.

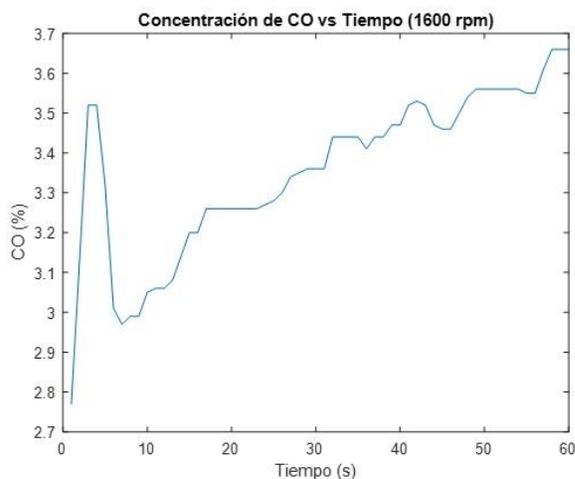
Como posible causa de los valores de HC observados, que descienden rápidamente desde aproximadamente 700 ppm hasta estabilizarse alrededor de 200 ppm, podría deberse a una mejora en el funcionamiento del sistema de control de emisiones del vehículo.

3.1.5. CO vs Tiempo 1600 rpm)

En el eje vertical, se presenta la concentración de CO en porcentaje, oscilando entre 2.7% y 3.7%, mientras que el eje horizontal muestra el tiempo en segundos, de 0 a 60 segundos.

Figura 25

Concentración de CO vs Tiempo (1600 rpm)



Nota. La gráfica ilustra la relación entre la concentración de monóxido de carbono (CO) y el tiempo, a una velocidad de 1600 rpm, *Fuente:* Autores.

Se observa un descenso inicial abrupto en la concentración de CO, seguido de fluctuaciones que indican un comportamiento variable en los niveles de CO a medida que avanza el tiempo. A partir de aproximadamente 20 segundos, la concentración muestra una tendencia general al aumento, estabilizándose en torno a 3.5% hacia el final del periodo medido. Este patrón sugiere que, tras una fase de ajuste, la concentración de CO se mantiene relativamente constante, reflejando posibles cambios en las condiciones de combustión o en el proceso de medición.

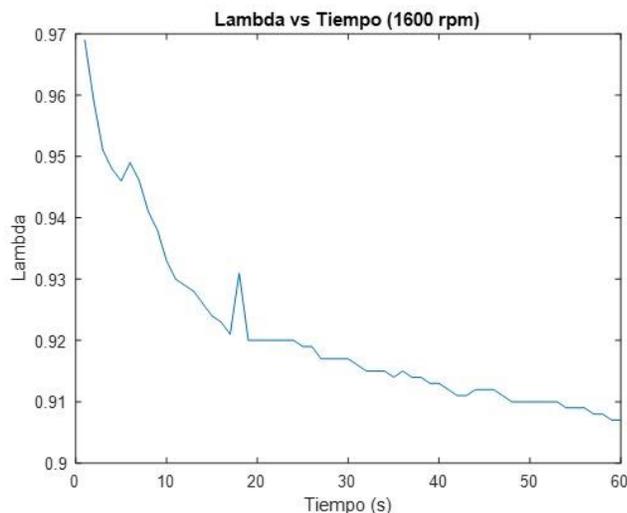
Los cambios en los valores de la concentración de CO se deben a la dinámica del proceso de combustión y la estabilización del sistema, influenciados por varios factores operativos y ambientales. La estabilización podría también reflejar ajustes en el equipo de medición, corrigiendo cualquier error o fluctuación inicial.

3.1.6. Lambda vs Tiempo (1600 rpm)

En el eje vertical se muestra el valor de lambda, que oscila entre 0.9 y 0.97, mientras que el eje horizontal indica el tiempo en segundos, abarcando de 0 a 60 segundos.

Figura 26

Concentración de Lambda vs Tiempo (1600 rpm)



Nota. La gráfica presenta la relación entre el valor de lambda y el tiempo, a una velocidad de 1600 rpm, *Fuente:* Autores.

Al inicio, se observa una ligera disminución en el valor de lambda, seguida de una caída pronunciada hasta alcanzar un nivel estable alrededor de 0.91. Este comportamiento sugiere que, a medida que avanza el tiempo, el sistema tiende a una mezcla más rica de combustible, lo que podría estar relacionado con cambios en la eficiencia de la combustión o en la relación aire - combustible.

Los cambios en los valores de lambda reflejan cómo el sistema ajusta la mezcla de aire y combustible para optimizar la combustión. La ligera disminución inicial seguida por una caída más

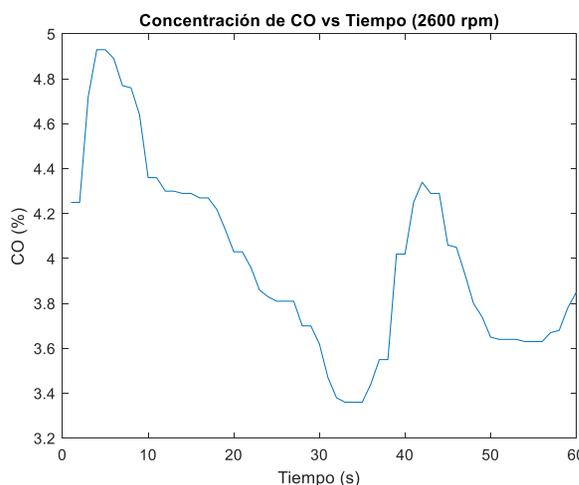
pronunciada y luego estabilización indica que el sistema está encontrando la mejor proporción para una combustión eficiente.

3.1.7. CO vs Tiempo (2600 rpm)

En la imagen se observa la variación de los valores de monóxido de carbono en función del tiempo durante un período de 60 segundos, con el vehículo de prueba operando a 2600 revoluciones por minuto.

Figura 27

Concentración de CO vs Tiempo (2600 rpm)



Nota. A medida que el motor se estabiliza, la concentración de CO comienza a disminuir de manera constante, *Fuente:* Autores.

A medida que el motor se estabiliza, la concentración de CO comienza a disminuir de manera constante, alcanzando un valor mínimo de alrededor del 3.4% entre los 30 y 40 segundos. Esta disminución puede atribuirse a que el catalizador ha alcanzado su temperatura de operación ideal, permitiendo una oxidación más eficiente del CO.

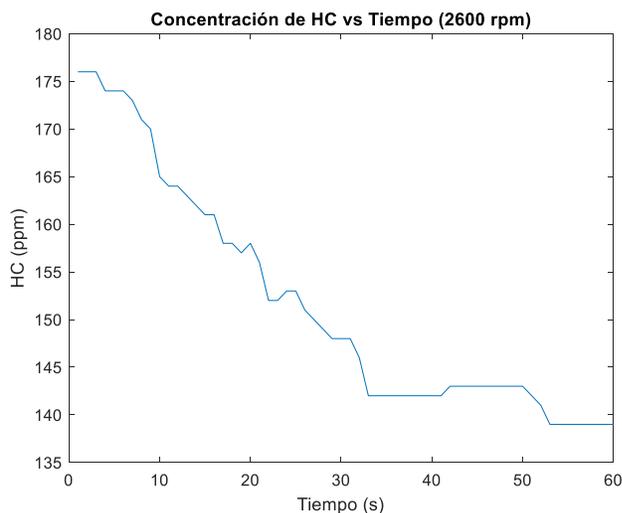
A medida que el motor se estabiliza durante su operación, la cantidad de monóxido de carbono en los gases de escape disminuye. Esto sucede porque el catalizador del motor alcanza su

temperatura óptima, permitiendo que convierta el monóxido de carbono en dióxido de carbono de manera más eficiente.

3.1.8. HC vs Tiempo (2600 rpm)

Figura 28

Concentración de HC vs Tiempo (2600 rpm)



Nota. La gráfica muestra la variación de los valores de hidrocarburos no quemados (HC) en función del tiempo durante un período de 60 segundos, *Fuente:* Autores.

Entre los 30 y 60 segundos, la concentración de HC muestra tendencia a estabilizarse alrededor de 140 ppm. Esta fase de estabilización indica que el sistema ha alcanzado un estado de equilibrio donde el motor y el catalizador están funcionando de manera eficiente para minimizar las emisiones de HC. La reducción sostenida en los niveles de hidrocarburos indica que el catalizador ha alcanzado su máxima eficiencia operativa y que las condiciones de combustión en el motor son óptimas.

El catalizador, al estar caliente, puede oxidar los hidrocarburos de manera más efectiva. Simultáneamente, el motor ajusta su mezcla de aire y combustible para una combustión más

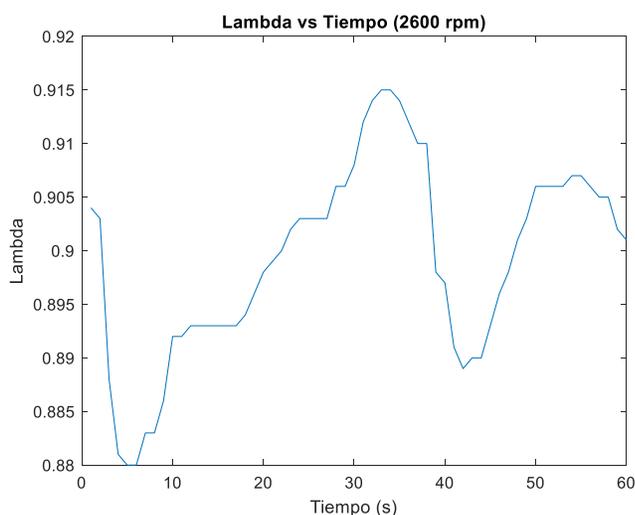
completa, lo que reduce la emisión de hidrocarburos. Estos factores combinados resultan en una reducción sostenida y estabilización de los niveles de HC en los gases de escape.

3.1.9. Lambda vs tiempo (2600 rpm)

El valor lambda es una medida de la relación aire-combustible en la combustión interna, donde un valor de 1 indica una mezcla estequiométrica (relación ideal para una combustión completa). Los valores por debajo de 1 indican una mezcla rica (exceso de combustible), mientras que los valores por encima de 1 indican una mezcla pobre (exceso de aire).

Figura 29

Concentración de Lambda vs Tiempo (2600rpm)



Nota. La gráfica muestra la variación del valor lambda en función del tiempo durante un período de 60 segundos, *Fuente:* Autores.

En el final del período de medición, entre los 40 y 60 segundos, el valor lambda muestra una tendencia a estabilizarse alrededor de 0.905 aproximadamente. Esta estabilización quiere decir que el sistema alcanza una condición de equilibrio donde la relación aire-combustible es más constante y optimizada con la finalidad de tener una combustión eficiente.

Esto suele ser el resultado de ajustes automáticos del sistema para mantener una combustión eficiente, es decir, una combustión que maximiza la conversión de energía del combustible mientras minimiza la producción de contaminantes.

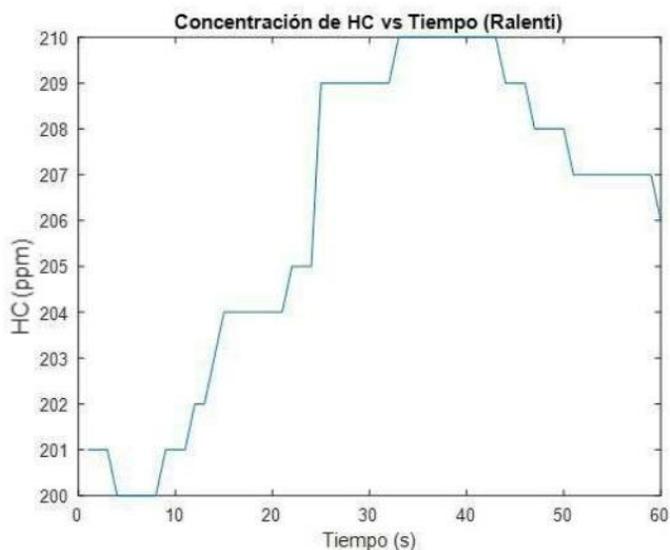
3.2. Análisis de los resultados obtenidos en la segunda prueba

3.2.1. HC vs Tiempo (Ralenti)

La concentración de HC, medida en porcentaje, inicia en aproximadamente 200% y exhibe un incremento escalonado, alcanzando un máximo de alrededor del 209% a los 30 segundos.

Figura 30

Concentración de HC vs Tiempo (Ralenti)



Nota. La gráfica presenta la concentración de Hidrocarburos (HC) en función del tiempo, expresada en segundos, bajo condiciones de ralentí, *Fuente:* Autores.

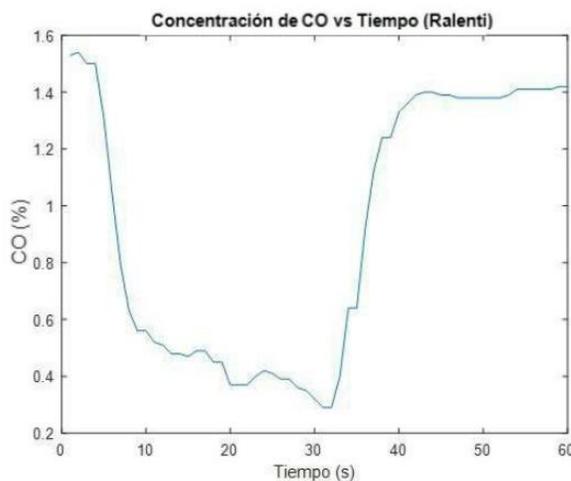
Posteriormente, se observa una disminución gradual en la concentración, estabilizándose cerca del 207 ppm antes de experimentar una leve caída al final del periodo de 60 segundos.

Este patrón indica fluctuaciones en la producción de monóxido de carbono, que pueden reflejar cambios en la eficiencia de la combustión a lo largo del tiempo.

3.2.2. CO vs tiempo (Ralenti)

Figura 31

Concentración de CO vs Tiempo (Ralenti)

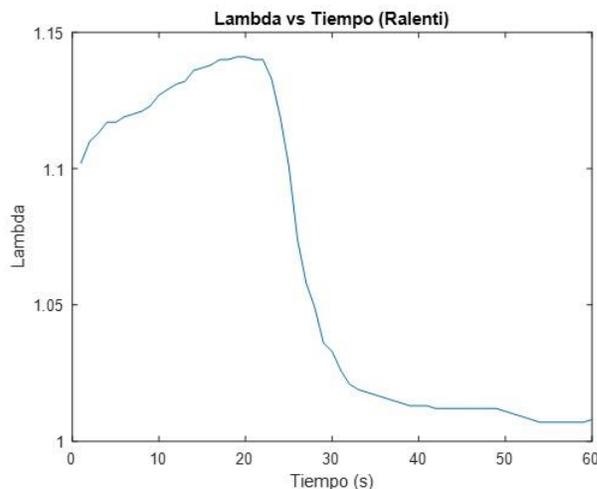


Nota. La gráfica ilustra la concentración de monóxido de carbono (CO) en función del tiempo, medida en segundos, *Fuente:* Autores.

Inicialmente, la concentración de CO, expresada en porcentaje (%), se sitúa alrededor de 1.5 % y experimenta una notable disminución hasta alcanzar un mínimo cercano a 0.3 % entre los 20 y 30 segundos. Posteriormente, se observa un incremento significativo en la concentración de HC, estabilizándose aproximadamente en 1.4 % hacia el final del periodo de 60 segundos.

3.2.3. Lambda vs tiempo (Ralenti)

En el eje vertical se representa Lambda, con valores que oscilan entre 1.05 y 1.15, mientras que el eje horizontal indica el tiempo en segundos, abarcando de 0 a 60 segundos.

Figura 32*Concentración de Lambda vs Tiempo (Ralenti)*

Nota. La gráfica ilustra la evolución del valor de Lambda en función del tiempo durante un periodo de ralentí, *Fuente:* Autores.

Inicialmente, se observa un incremento gradual de Lambda, alcanzando un máximo de aproximadamente 1.15 en los primeros 20 segundos. A partir de este punto, se produce una disminución notable en el valor de Lambda, que se estabiliza alrededor de 1.02 hacia el final del intervalo. Este comportamiento sugiere un cambio significativo en las condiciones operativas del sistema, lo que podría implicar ajustes en la eficiencia o en la mezcla de combustible durante el proceso analizado.

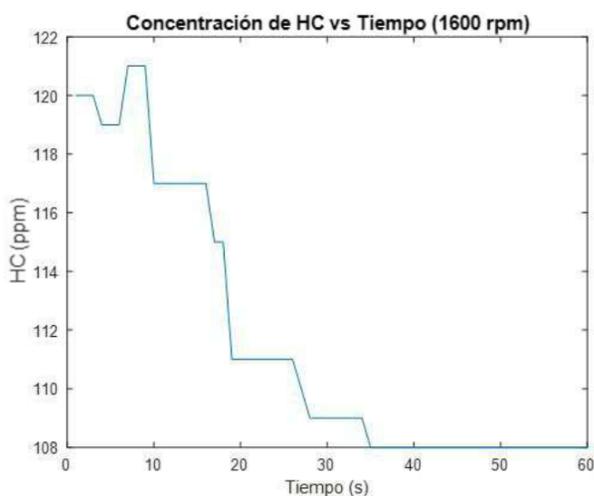
La disminución y estabilización de Lambda podrían indicar que el sistema ha alcanzado una configuración estable donde la mezcla se ha ajustado para mantener un equilibrio entre eficiencia y emisiones, posiblemente en respuesta a cambios en la temperatura del motor o en la demanda de carga.

3.2.4. HC vs Tiempo (1600 rpm)

En el eje vertical se representa la concentración de HC en ppm, oscilando entre 108ppm y 122ppm. El eje horizontal indica el tiempo transcurrido en segundos, abarcando un total de 60 segundos.

Figura 33

Concentración de HC vs Tiempo (1600 rpm)



Nota. La gráfica presenta la relación entre la concentración de hidrocarburo (HC) y el tiempo, bajo condiciones de operación a 1600 rpm, *Fuente:* Autores.

Se observa un comportamiento inicial de la concentración, que comienza en 122ppm y experimenta descensos significativos en intervalos regulares. A partir de los 30 segundos, la concentración se estabiliza en torno a 110ppm, lo que sugiere un proceso de normalización tras las variaciones iniciales. Este patrón indica una respuesta dinámica del sistema, donde la concentración de HC tiende a reducirse de manera notable en los primeros momentos de la medición, seguido de una estabilización.

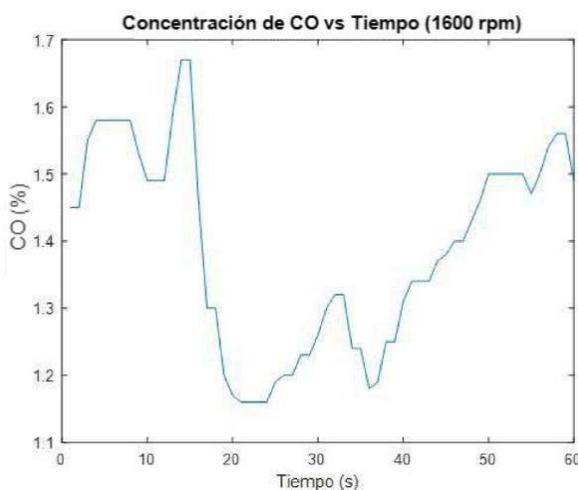
La variación en los valores de concentración de HC podría deberse a un ajuste en la velocidad de reacción del sistema de combustión. Durante los primeros segundos, el sistema podría estar ajustando la proporción de aire y combustible para optimizar la reacción, resultando en una alta concentración de HC.

3.2.5. CO vs Tiempo (1600 rpm)

En el eje vertical se indica la concentración de CO, que varía entre 1.1 % y 1.7 %, mientras que el eje horizontal representa el tiempo desde 0 hasta 60 segundos.

Figura 34

Concentración de CO vs Tiempo (1600 rpm)



Nota. La gráfica muestra la relación entre la concentración de monóxidos (CO) y el tiempo en segundos a una velocidad de 1600 rpm, *Fuente:* Autores.

Se observa un aumento inicial en la concentración de CO, alcanzando un pico de aproximadamente 1.7 % en los primeros segundos. Luego, la concentración presenta fluctuaciones

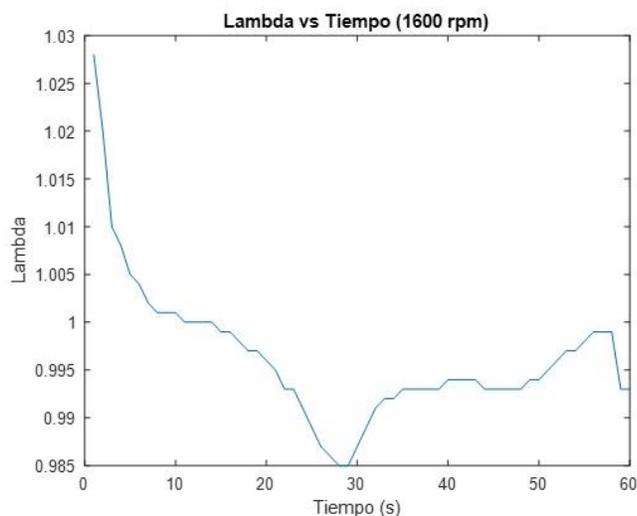
significativas, con caídas y aumentos a intervalos regulares. Hacia el final del periodo, la concentración se estabiliza en torno a 1.5 %.

3.2.6. Lambda vs tiempo (1600 rpm)

En el eje vertical se muestra el valor de lambda, que oscila entre 0.985 y 1.03, mientras que el eje horizontal representa el tiempo desde 0 hasta 60 segundos.

Figura 35

Concentración de Lambda vs Tiempo (1600 rpm)



Nota. La gráfica presenta la relación entre el valor de lambda y el tiempo en segundos a una velocidad de 1600 rpm, *Fuente:* Autores.

Al inicio, se observa un descenso abrupto en el valor de lambda, que comienza en alrededor de 1.03 y cae rápidamente. Después de este descenso inicial, el valor de lambda se estabiliza cerca de 1.0, con ligeras fluctuaciones alrededor de este punto durante el resto del periodo medido. Esta tendencia sugiere un ajuste en la relación aire-combustible, indicando un funcionamiento cercano a la estequiometría a lo largo del tiempo.

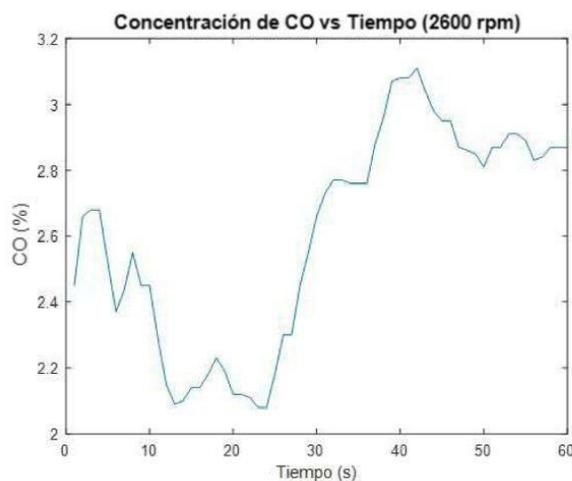
A medida que el sistema se estabiliza, el valor de lambda cerca de 1.0 indica que el sistema está operando en un rango donde las condiciones internas, como la temperatura del motor y la presión, se han ajustado para lograr una combustión más estable y eficiente.

3.2.7. CO vs Tiempo (2600 rpm)

En el eje vertical se presenta la concentración de CO, que varía entre 2.2 % y 3.2 %, mientras que el eje horizontal muestra el tiempo transcurrido de 0 a 60 segundos.

Figura 36

Concentración de CO vs Tiempo (2600 rpm)



Nota. La gráfica ilustra la relación entre la concentración de monóxidos de carbono (CO) y el tiempo en segundos a una velocidad de 2600 rpm, *Fuente:* Autores.

Al inicio del periodo medido, la concentración de CO se sitúa en torno a 2.4%, experimentando un descenso notable hacia 2.2 % en los primeros 30 segundos. Posteriormente, se observa un aumento significativo, alcanzando un pico de aproximadamente 3.2 % alrededor de los

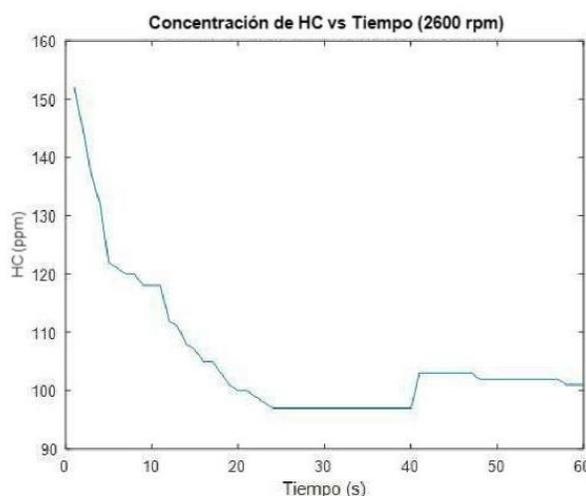
40 segundos. Después de este máximo, la concentración de CO presenta fluctuaciones, estabilizándose en un rango de 2.8 a 3.0 % hacia el final del periodo.

3.2.8. HC vs Tiempo (2600 rpm)

En el eje vertical se presenta la concentración de HC, que oscila entre 90ppm y 160ppm, mientras que el eje horizontal representa el tiempo transcurrido de 0 a 60 segundos.

Figura 37

Concentración de HC vs Tiempo (2600 rpm)



Nota. La gráfica ilustra la relación entre la concentración de Hidrocarburos (HC) y el tiempo en segundos a una velocidad de 2600 rpm, *Fuente:* Autores.

Al inicio del periodo medido, la concentración de HC comienza en un valor elevado, superando los 150ppm. Sin embargo, se observa un descenso abrupto en los primeros segundos, alcanzando un mínimo cercano al 100ppm alrededor de los 10 segundos. Después de este punto, la concentración de HC se estabiliza, fluctuando ligeramente alrededor del 100ppm durante el resto del tiempo medido. Esta tendencia sugiere que el motor puede estar operando en condiciones de

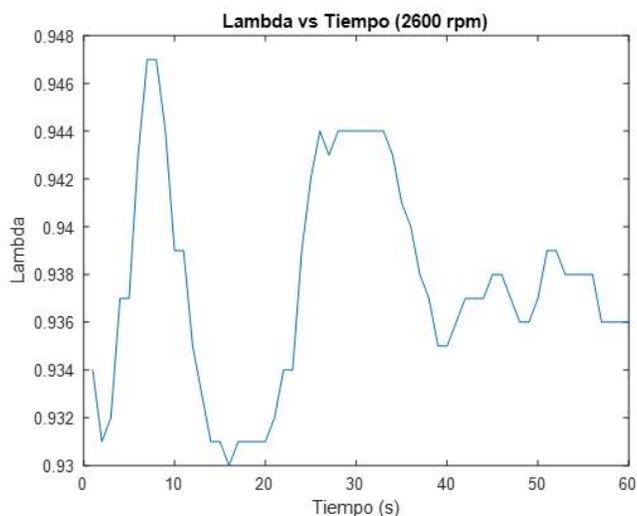
combustión más eficientes a medida que avanza el tiempo, lo que resulta en una reducción significativa de hidrocarburos HC.

3.2.9. Lambda vs Tiempo (2600 rpm)

En el eje vertical se muestra el valor de lambda, que oscila entre 0.93 y 0.948, mientras que el eje horizontal representa el tiempo transcurrido de 0 a 60 segundos.

Figura 38

Concentración de Lambda vs Tiempo (2600 rpm)



Nota. La gráfica presenta la relación entre el valor de lambda y el tiempo en segundos a una velocidad de 2600 rpm, *Fuente:* Autores

Al inicio del periodo medido, se observa un aumento abrupto en el valor de lambda, alcanzando un pico cercano a 0.948 en los primeros 10 segundos. Posteriormente, el valor de lambda experimenta fluctuaciones significativas, con descensos que lo llevan a un mínimo de aproximadamente 0.932. A medida que avanza el tiempo, las variaciones se estabilizan, manteniéndose en un rango de aproximadamente 0.934 a 0.944 durante el resto del periodo.

Las variaciones en los valores de lambda observadas en la gráfica pueden deberse a varios factores, incluyendo cambios en la carga del motor, fluctuaciones menores en la velocidad a pesar de estar a 2600 rpm, y ajustes continuos del sistema de gestión del motor (ECU) para optimizar la combustión.

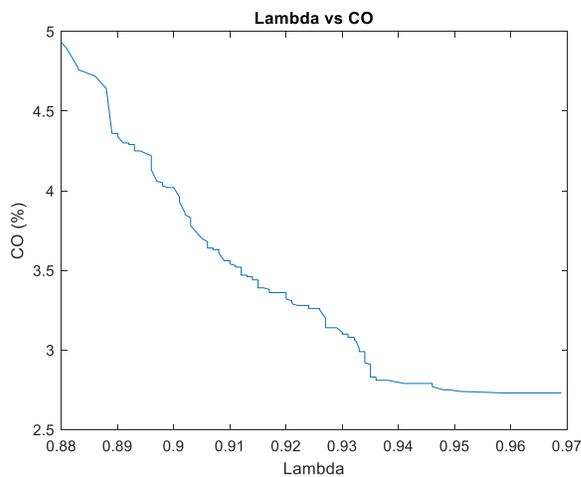
3.3. Análisis de los resultados obtenidos en función de lambda

3.3.1. CO en función del valor de lambda.

En la región de mezcla rica ($\lambda < 1$), las emisiones de CO son altas debido a la combustión incompleta causada por la falta de oxígeno. La combustión incompleta en esta región resulta en la formación de monóxido de carbono, ya que el oxígeno disponible es insuficiente para convertir todo el carbono del combustible en dióxido de carbono (CO_2). Sin embargo, a medida que el valor de λ se aproxima a 1 desde valores menores, las emisiones de CO muestran una tendencia descendente. Esto ocurre porque, aunque la mezcla sigue siendo rica, el incremento gradual en la cantidad de aire mejora la eficiencia de la combustión y reduce la formación de CO.

Figura 39

CO en función de lambda.



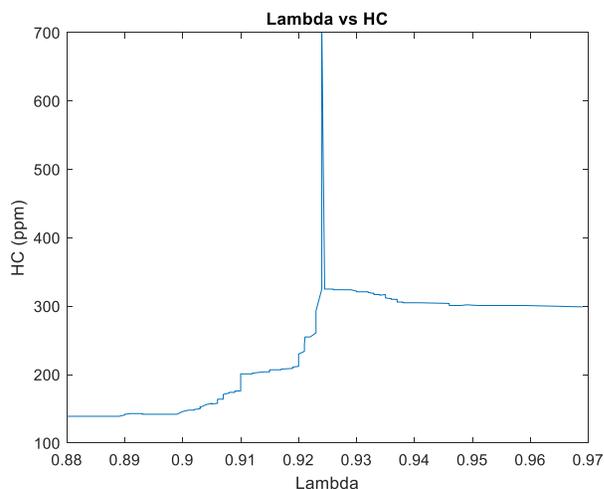
Nota. En la región de mezcla rica ($\lambda < 1$), las emisiones de CO son altas debido a la combustión incompleta causada por la falta de oxígeno, *Fuente:* Autores.

Gráficamente, esta relación muestra un comportamiento descendente de las emisiones de CO en función del aumento del valor de lambda, incluso dentro del rango de mezclas ricas. Conforme λ aumenta y se acerca a 1, la disponibilidad de oxígeno mejora, permitiendo una combustión más completa y reduciendo las emisiones de CO.

3.3.2. HC en función de lambda

En la imagen presentada se observa que existe un pico considerable de aumento de Hidrocarburos no combustionados. Lo cual se atribuye a diferentes causas tales como:

- Falta de homogeneidad en la mezcla
- Problemas en el sistema de inyección de combustible
- Eficiencia variable del catalizador

Figura 40*HC en función de lambda*

Nota. Con una mezcla más próxima a la ideal, la combustión mejora, reduciendo la cantidad de hidrocarburos sin quemar, *Fuente:* Autores.

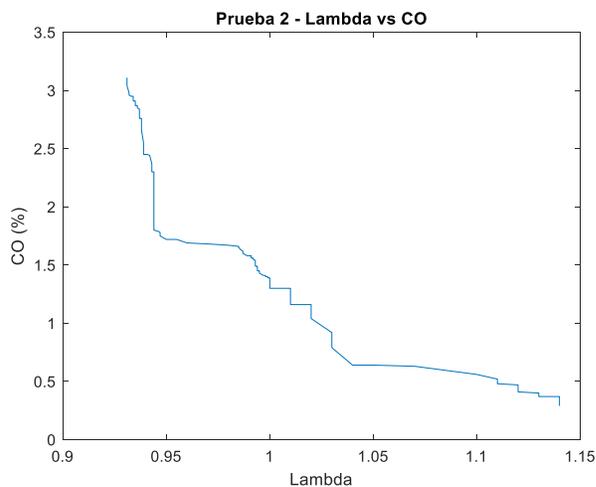
Además, después del pico, cuando $\lambda > 0.925$, los niveles de HC disminuyen a medida que el valor de lambda sigue aumentando. Esto sugiere que la mezcla se está volviendo menos rica y más cercana a la mezcla estequiométrica ($\lambda = 1$). Con una mezcla más próxima a la ideal, la combustión mejora, reduciendo la cantidad de hidrocarburos sin quemar.

3.3.3. Prueba 2 – CO en función de lambda

La gráfica proporciona una visión clara de cómo las emisiones de monóxido de carbono varían con la relación aire-combustible. La alta emisión en mezclas ricas y la reducción significativa al alcanzar la mezcla estequiométrica destacan la importancia de mantener un balance adecuado en la relación aire-combustible para minimizar las emisiones de CO y mejorar la eficiencia del motor.

Figura 41

Prueba 2- CO en función de lambda



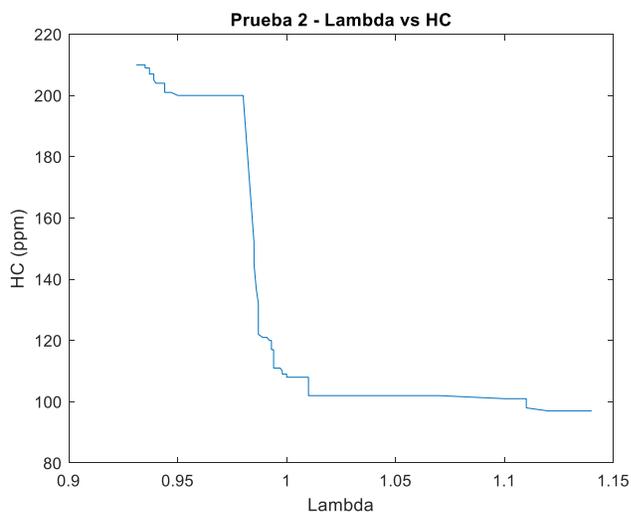
Nota. Las emisiones de monóxido de carbono varían con la relación aire-combustible,

Fuente: Autores.

En la región donde λ es mayor que 1, las emisiones de CO continúan disminuyendo. Sin embargo, la tasa de disminución se vuelve más lenta. En mezclas pobres, aunque hay suficiente oxígeno para una combustión completa, otros factores como la temperatura de combustión y la dinámica del flujo pueden limitar la eficiencia total.

3.3.4. Prueba 2 – HC en función de lambda

Al igual que en el análisis previo de las emisiones de CO, esta gráfica proporciona una visión detallada de cómo varían las emisiones de hidrocarburos en función de la relación aire-combustible.

Figura 42*Prueba 2- HC vs lambda*

Nota. Esto se debe a la combustión incompleta causada por el exceso de combustible,

Fuente: Autores.

En la región donde λ es menor que 1, es decir, en la mezcla rica, los niveles de HC son relativamente altos y estables, situándose alrededor de 200 ppm. Esto se debe a la combustión incompleta causada por el exceso de combustible en relación con el aire disponible, lo que resulta en una mayor cantidad de hidrocarburos sin quemar. A medida que el valor de lambda se aproxima a 1, se observa un descenso abrupto en la concentración de HC. Este descenso significativo en la concentración de hidrocarburos coincide con la transición hacia la mezcla estequiométrica, donde la proporción aire-combustible es ideal para una combustión completa. Esta caída en los niveles de HC refleja una mayor eficiencia en la combustión, reduciendo la cantidad de hidrocarburos sin quemar.

3.4. Comparación con la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2204

3.4.1. Monóxido de carbono – Prueba 1

- En la evaluación de emisiones en ralentí, se obtuvo un promedio de concentración de monóxido de carbono (CO) de 3.94%. De acuerdo con la normativa NTE INEN 2204, el límite máximo permitido para las emisiones de CO en estas condiciones es de 3.4%. Al comparar los resultados obtenidos con el límite normativo, se observa que la concentración promedio de CO supera el valor máximo permitido por la normativa en 0.54 puntos porcentuales.
- En una prueba realizada a 1600 rpm, se obtuvo un promedio de emisiones de monóxido de carbono (CO) del 3.34%. Este valor se comparó con el límite máximo permitido del 4.5% establecido por la norma NTE INEN 2204. Al calcular el porcentaje del límite, se determinó que el promedio de emisiones corresponde aproximadamente al 74.22% del valor máximo permitido por la normativa. Por lo tanto, las emisiones de CO del vehículo se encuentran dentro de los límites aceptables según los estándares establecidos, cumpliendo con los requisitos de la norma mencionada.

3.4.2. Hidrocarburos no combustionados – Prueba 1

- El valor promedio de 310.2 ppm de HC en ralentí excede el límite establecido por la norma NTE INEN 2204 en 245.2 ppm, lo cual representa un excedente del 377.23%. Este resultado indica que los niveles de hidrocarburos (HC) en la prueba superan significativamente los límites permitidos por la normativa, sugiriendo que se requiere una intervención para reducir las emisiones y cumplir con la normativa vigente.

- El valor promedio de 239 ppm está significativamente por debajo del límite de 750 ppm establecido por la norma NTE INEN 2204. Esto indica que el resultado de la prueba cumple con los estándares de emisión de HC definidos por la norma.

3.4.3. Monóxido de carbono – Prueba 2

- El valor promedio de 0.8% está muy por debajo del límite de 3.5% establecido por la norma, lo que indica un buen desempeño en la prueba a ralentí en comparación con los requisitos normativos.
- La prueba a 1600 rpm con un valor promedio de 1.43% está en cumplimiento con la norma, ya que está significativamente por debajo del límite establecido de 4.5%. Esto se atribuye a la tendencia del motor a trabajar con mezcla pobre producto de la variación de la mezcla aire-combustible por medio del valor de lambda.

3.4.4. Hidrocarburos no combustionados – Prueba 2

- El valor promedio de 100 ppm de HC excede el límite permitido de 65 ppm por 35 ppm, lo que representa un exceso del 53.85% sobre el límite establecido por la norma NTE INEN 2204.
- El valor promedio de 113 ppm está significativamente por debajo del límite de 750 ppm establecido por la norma NTE INEN 2204. Esto significa que los niveles de hidrocarburos en la prueba están bien dentro del rango permitido y no presentan un problema según los estándares normativos.

4. CONCLUSIONES

- Con la revisión exhaustiva de diversas bibliografías sobre sistemas de inyección electrónica programable para vehículos a carburador que permitió obtener una comprensión profunda de su impacto en la reducción de emisiones contaminantes; y así, poder comparar distintos estudios y análisis. Este conocimiento resulta crucial para la implementación de soluciones que optimicen la eficiencia y sostenibilidad de los vehículos a carburador, contribuyendo así a la mitigación del impacto ambiental y al avance hacia tecnologías más limpias en el sector automotriz.
- Se realizó el estudio con el equipo analizador de gases MTG-5 de la Universidad Politécnica Salesiana, este nos permitió parametrizar los ajustes en la programación de la unidad electrónica de control del factor lambda. Se establecieron elementos específicos de análisis como, el mismo combustible de 87 octanos (gasolina ECO), los parámetros del banco dinamométrico, el mismo conductor para las pruebas estáticas, los valores no tendrían variación que puedan afectar la investigación por ende los datos obtenidos de CO y HC cumplen los parámetros dados por la normativa INEN 2204; las modificaciones que se realizó al cambio de tecnología en el sistema de alimentación de combustible no altera la funcionalidad del motor.
- Con base en los resultados obtenidos, se concluye que la medición lambda de la mezcla aire-combustible tiene una influencia directa en las emisiones de CO y HC. Además, se observa un aumento en las emisiones de hidrocarburos cuando el vehículo opera con una mezcla rica, es decir, cuando el valor de lambda es menor a 1. A su vez, cuando el valor de lambda se aproxima a 1, se logra una mayor eficiencia en la combustión, lo que indica un mejor rendimiento del motor y una disminución de las emisiones contaminantes. Por lo tanto, el mejor desempeño del

vehículo se registra cuando la mezcla de aire-combustible se aproxima a la ideal ($\lambda = 1$), es decir, una mezcla estequiométrica 14,7:1.

5. RECOMENDACIONES

- Revisar exhaustivamente diferentes bibliografías sobre sistemas de inyección electrónica programable para vehículos a carburador en función de las emisiones contaminantes, es fundamental seleccionar fuentes actualizadas que reflejen los avances tecnológicos más recientes. Además, se recomienda comparar múltiples sistemas de inyección electrónica para identificar cuáles ofrecen una mayor eficiencia en la disminución de emisiones.
- Se debe establecer protocolos de prueba estandarizados que garanticen la consistencia y comparabilidad de los datos obtenidos. El uso de equipos de medición precisos es crucial para obtener resultados exactos sobre el rendimiento del motor. Es importante documentar detalladamente todos los ajustes y resultados para facilitar futuras optimizaciones y realizar ajustes en la programación de manera gradual, permitiendo observar los efectos específicos de cada cambio y asegurar que estos contribuyan positivamente a la eficiencia del motor.
- Es esencial definir claramente los parámetros de comparación. El monitoreo continuo del desempeño del vehículo tras cada variación de parámetros en la ECU permitirá evaluar la efectividad de los ajustes realizados. Además, es importante considerar tanto las mejoras en el rendimiento como los posibles impactos en el consumo de combustible y las emisiones.
- Para asegurar que los datos obtenidos sean de alta fiabilidad y minimizar el margen de error, es esencial usar los instrumentos con la debida certificación. Además, se

recomienda seguir las normas de seguridad del taller de Ingeniería Automotriz de la Universidad Politécnica Salesiana para evitar cualquier incidente. De igual manera, recomendamos hacer uso correcto del protocolo dictado por la norma INEN 2204 para la medición de gases contaminantes en pruebas estáticas. Finalmente, se recomienda continuar realizando estudios sobre la influencia de distintos parámetros o variables en la emisión de gases contaminantes para profundizar en el conocimiento y optimización de estos sistemas.

6. BIBLIOGRAFÍA

- AEM Electronics. (2022). *Bobinas individuales AEM con modulo 40000v*.
<https://www.hfiperformance.com/productos/bobinas-individuales-aem-con-modulo-40000v/>
- Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos. (2019). *EPA en español | US EPA*.
<https://espanol.epa.gov/>
- Ángel Zebedeo Espinoza Palomeque, Milton Emanuel Morocho Navas, & Johnny Patricio Romero Oliveros. (2012). “*IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA MULTIPUNTO CON CONTROL ELECTRÓNICO PROGRAMABLE PARA UN VEHÍCULO DATSUN 1200.*”
- demacmotor.com. (2018). *Conceptos Básicos EFI (Electronic Fuel Injection) Parte 2*.
<http://demacmotor.com/conceptos-basicos-efi-electronic-fuel-injection-parte-2/>
- Diego Armando Mena Villamarín. (2016). *DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE INYECCIÓN MULTIPUNTO INDIRECTA EN UNA CAMIONETA TOYOTA 1000, PARA DETERMINAR LA EFICIENCIA DEL MOTOR*.
- e-auto.com.mx. (2012). *Sensor TPS - Sensor de posición del acelerador*. <https://www.e-auto.com.mx/enew/index.php?view=article&id=3422>
- Francisco Javier Mora, Víctor Danilo Zambrano, Germán Erazo Laverde, & Carla Villacís Heredia. (2017). *Adaptación de un sistema ITB para optimizar el desempeño de un motor de combustión interna* (Vol. 11).
- Freddy Alexander Cocios Arpi, & Víctor Steven Farez Villacís. (2022). ANÁLISIS DE LAS EMISIONES DE GASES DE ESCAPE EN EL AUTOMOTOR HINO CITY 300 CON NORMATIVA EURO 3 A DIFERENTES ALTURAS SOBRE EL NIVEL DEL MAR. In 2022.
- Freddy Geovanny Guanga Pugo, Adrián Remigio Juella Fajardo, & Carlos Eduardo Saldaña Méndez. (2013). “*DISEÑO, CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UN CONTROL*

ELECTRÓNICO PARA EL COMANDO DEL SISTEMA DE INYECCIÓN MONO-PUNTO EN UN VEHÍCULO SUZUKI FORSA.”

Fundación Turismo Cuenca. (2023). *Conoce Cuenca | Turismo Cuenca Ecuador*.
<https://cuenca.com.ec/es/conoce-cuenca>

GESTIÓN AMBIENTAL AIRE VEHÍCULOS AUTOMOTORES LÍMITES PERMITIDOS DE EMISIONES PRODUCIDAS POR FUENTES MÓVILES TERRESTRES QUE EMPLEAN GASOLINA (2017).

hella.com. (2019). *Bobina de encendido Revisión, medición, avería*.
<https://www.hella.com/techworld/mx/Informacion-Tecnica/Electricidad-y-electronica-del-automovil/Bobina-de-encendido-2886/#>:

Juan Daniel Bustos González, & Carlos Julio Calle Espinoza. (2016). “*OPTIMIZACIÓN DE LAS COTAS DE REGLAJE DE LA DISTRIBUCIÓN DE UN MOTOR SUZUKI G13B TWIN CAM MEDIANTE DISEÑO EXPERIMENTAL.*”

maxxecu.com. (2023). *MaxxECU MINI*. <https://www.maxxecu.com/products/mini>

Merlo, E. Iván. (2023). “*Adaptación de un sistema de inyección electrónica a motor de ciclo Otto con carburador.*”

Néstor Diego Rivera Campoverde, & Juan Fernando Chica Segovia. (2015). *ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DE UN MOTOR CICLO OTTO DE INYECCIÓN ELECTRÓNICA RESPECTO DE LA ESTEQUIOMETRÍA DE LA MEZCLA Y DEL ADELANTO AL ENCENDIDO PARA LA CIUDAD DE CUENCA.*

NORMA TÉCNICA ECUATORIANA. (2017). *NTE INEN 2204 NORMA TÉCNICA ECUATORIANA GESTIÓN AMBIENTAL. AIRE. VEHÍCULOS AUTOMOTORES. LÍMITES*

*PERMITIDOS DE EMISIONES PRODUCIDAS POR FUENTES MÓVILES TERRESTRES
QUE UTILIZAN GASOLINA.*

Revista Autocrash, & CesviColombia. (2015). *Evolución de los sistemas de inyección de combustible*. <https://www.revistaautocrash.com/evolucion-de-los-sistemas-de-inyeccion-de-combustible/>

ultimatespecs.com. (2012). *Ficha Técnica de Suzuki Swift II 1.0*. <https://www.ultimatespecs.com/es/car-specs/Suzuki/5878/Suzuki-Swift-II-10.html>

7. ANEXOS

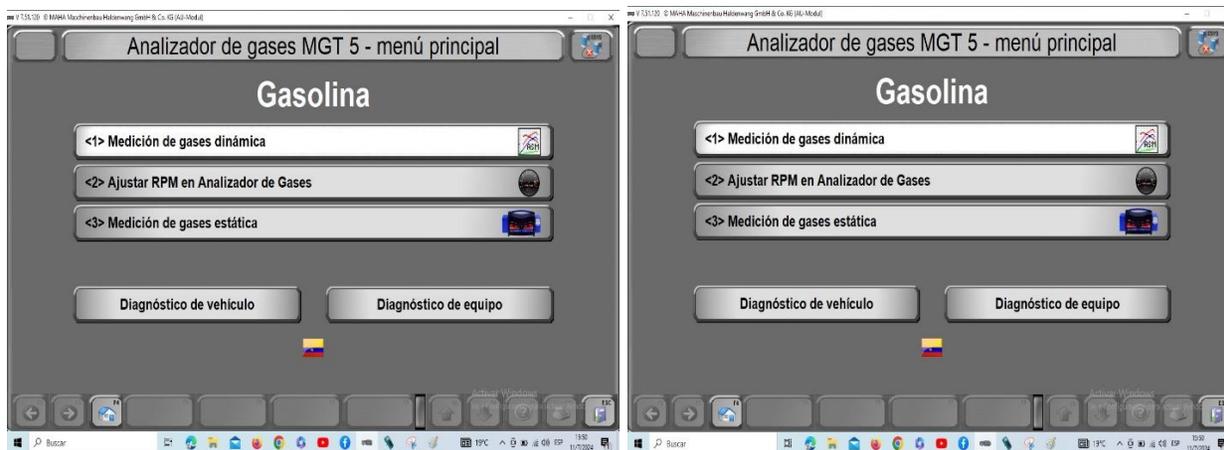
Anexo A

Proceso de medición de gases



Anexo B

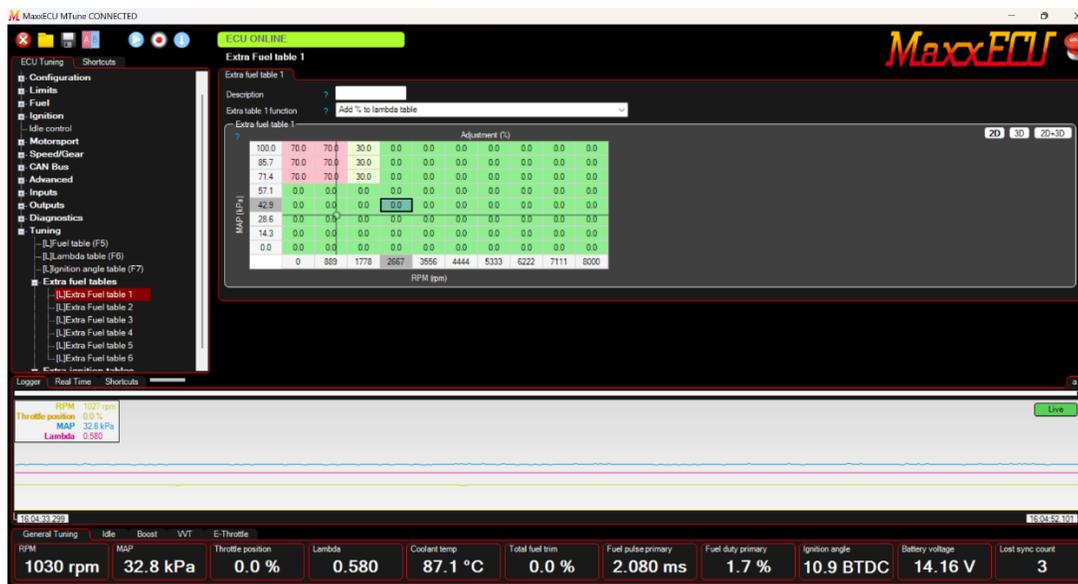
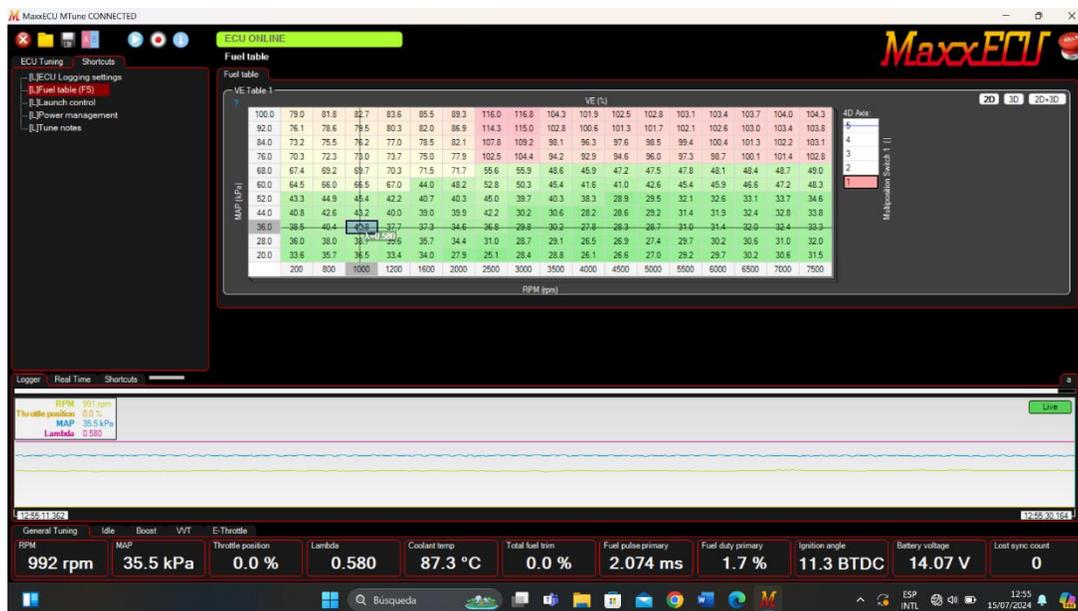
Toma de datos en el analizador MTG-5

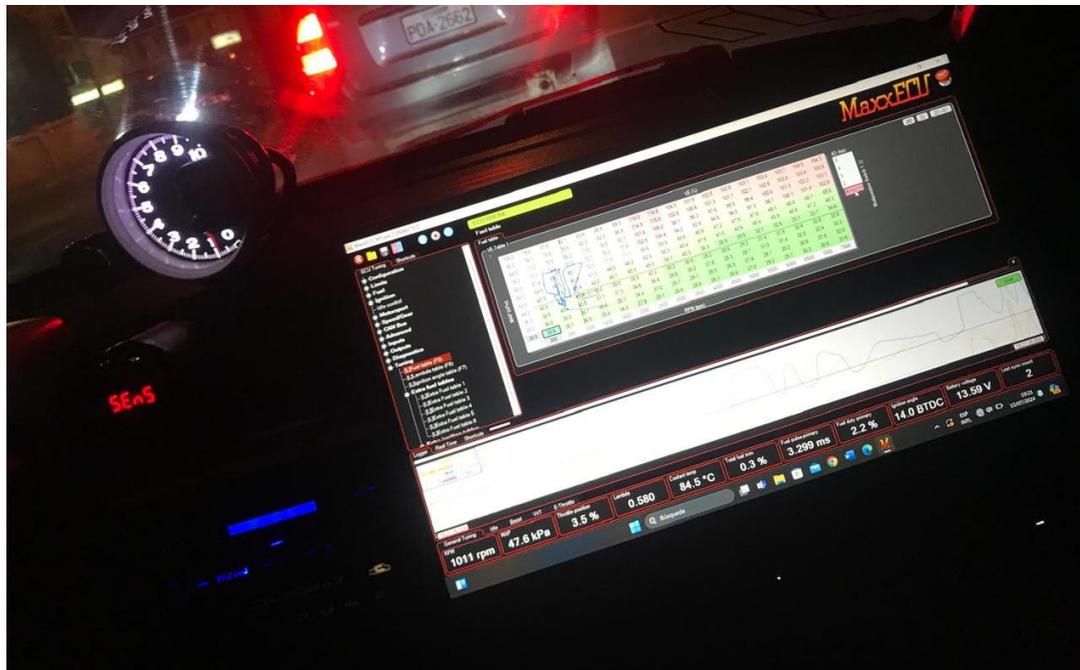




Anexo C

Variación del factor lambda en MaxxECU MTune





MaxxECU MTune CONNECTED

ECU ONLINE

Extra Fuel table 1

Extra fuel table 1

Description:

Extra table 1 function:

Extra fuel table 1

MAP (kPa)	Adjustment (%)									
	7	20	30	20-30	20	30	20-30	20		
100.0	95.0	95.0	95.0	55.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	
85.7	95.0	95.0	95.0	55.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	
71.4	95.0	95.0	95.0	55.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	
57.1	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	
42.9	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	
28.6	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	
14.3	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	
0.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	
	0	889	1778	2667	3556	4444	5333	6222	7111	8000

RPM (rpm)

Logger Real Time Shortcuts

RPM: 942 rpm
 Throttle position: 0.0 %
 MAP: 35.1 kPa
 Lambda: 0.580

SP257119

General Tuning	Idle	Boost	W/T	E-Throttle
RPM: 942 rpm	MAP: 35.1 kPa	Throttle position: 0.0 %	Lambda: 0.580	Coolant temp: 86.3 °C
Total fuel trim: 0.0 %	Fuel pulse primary: 1.962 ms	Fuel duty primary: 1.5 %	Ignition angle: 11.0 BTDC	Battery voltage: 14.18 V
Lost sync count: 3				