



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
INGENIERÍA EN MANTENIMIENTO AUTOMOTRIZ

TRABAJO DE GRADO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO EN MANTENIMIENTO AUTOMOTRIZ

TEMA: EVALUACIÓN DE SENSORES QUE INTERVIENEN EN LA
MEZCLA AIRE-COMBUSTIBLE E INFLUYEN EN LAS EMISIONES DE
GASES DE ESCAPE EN MOTORES DE ENCENDIDO PROVOCADO.

AUTORES: GUALSAQUÍ CORONADO DYLAN JAVIER
TACAN CORDOVA JEFFERSON STALIN

DIRECTOR: ING. CARLOS MAFLA MSc.

Ibarra, 2022

CERTIFICADO

ACEPTACIÓN DEL DIRECTOR

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

CERTIFICO:

Que una vez analizado el plan de grado cuyo título es "EVALUACIÓN DE SENSORES QUE INTERVIENEN EN LA MEZCLA AIRE-COMBUSTIBLE E INFLUYEN EN LAS EMISIONES DE GASES DE ESCAPE EN MOTORES DE ENCENDIDO PROVOCADO". presentado por el señor: GUALSAQUÍ CORONADO DYLAN JAVIER con número de cédula 1004138648, doy fe que dicho trabajo reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a presentación pública y evaluación por parte de los señores integrantes del jurado examinador que se designe.

En la ciudad de Ibarra, a los 11 días del mes octubre de 2022.

Atentamente



Ing. Carlos Mafla, MSc

DIRECTOR DEL TRABAJO DE GRADO

CERTIFICADO

ACEPTACIÓN DEL DIRECTOR

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

CERTIFICO:

Que una vez analizado el plan de grado cuyo título es "EVALUACIÓN DE SENSORES QUE INTERVIENEN EN LA MEZCLA AIRE-COMBUSTIBLE E INFLUYEN EN LAS EMISIONES DE GASES DE ESCAPE EN MOTORES DE ENCENDIDO PROVOCADO" presentado por el señor: TACAN CORDOVA JEFFERSON STALIN con número de cédula 0401582341, doy fe que dicho trabajo reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a presentación pública y evaluación por parte de los señores integrantes del jurado examinador que se designe.

En la ciudad de Ibarra, a los 11 días del mes octubre de 2022.

Atentamente



Ing. Carlos Mafla, MSc

DIRECTOR DEL TRABAJO DE GRADO



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

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

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

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

DATOS DE CONTACTO			
CÉDULA DE IDENTIDAD:	DE	1004138648	
APELLIDOS Y NOMBRES:	Y	Gualsaquí Coronado Dylan Javier	
DIRECCIÓN:		Otavalo – Comunidad Nuevo Santiaguillo	
EMAIL:		djgualsaquic@utn.edu.ec	
TELÉFONO FIJO:		TELÉFONO MÓVIL:	0998347862

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	“EVALUACIÓN DE SENSORES QUE INTERVIENEN EN LA MEZCLA AIRE-COMBUSTIBLE E INFLUYEN EN LAS EMISIONES DE GASES DE ESCAPE EN MOTORES DE ENCENDIDO PROVOCADO”
AUTOR (ES):	Gualsaquí Coronado Dylan Javier y Tacan Cordova Jefferson Stalin
FECHA: DD/MM/AAAA	12/10/2022
SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO	
PROGRAMA:	<input checked="" type="checkbox"/> PREGRADO <input type="checkbox"/> POSGRADO
TITULO POR EL QUE OPTA:	INGENIERÍA EN MANTENIMIENTO AUTOMOTRIZ
ASESOR /DIRECTOR:	Ing. Carlos Mafla, MSc

2. CONSTANCIAS

El autor (es) manifiesta (n) que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto la obra es original y que es (son) el (los) titular (es) de los derechos patrimoniales, por lo que asume (n) la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá (n) en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 12 días del mes de octubre de 2022

EL AUTOR:

(Firma).....

Nombre: Dylan Gualsaquí



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

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

3. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

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

DATOS DE CONTACTO			
CÉDULA IDENTIDAD:	DE	0401582341	
APELLIDOS NOMBRES:	Y	Tacan Cordova Jefferson Stalin	
DIRECCIÓN:		Tulcán – Estadio Olímpico	
EMAIL:		jstacanc@utn.edu.ec	
TELÉFONO FIJO:	2987185	TELÉFONO MÓVIL:	0981216669

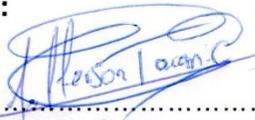
DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	“EVALUACIÓN DE SENSORES QUE INTERVIENEN EN LA MEZCLA AIRE-COMBUSTIBLE E INFLUYEN EN LAS EMISIONES DE GASES DE ESCAPE EN MOTORES DE ENCENDIDO PROVOCADO”
AUTOR (ES):	Gualsaquí Coronado Dylan Javier y Tacan Cordova Jefferson Stalin
FECHA: DD/MM/AAAA	12/10/2022
SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO	
PROGRAMA:	<input checked="" type="checkbox"/> PREGRADO <input type="checkbox"/> POSGRADO
TITULO POR EL QUE OPTA:	INGENIERÍA EN MANTENIMIENTO AUTOMOTRIZ
ASESOR /DIRECTOR:	Ing. Carlos Mafla, MSc

4. CONSTANCIAS

El autor (es) manifiesta (n) que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto la obra es original y que es (son) el (los) titular (es) de los derechos patrimoniales, por lo que asume (n) la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá (n) en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 12 días del mes de octubre de 2022

EL AUTOR:

(Firma).....
Nombre: Jefferson Tacan

DEDICATORIA

Con mucho amor y cariño dedico esta investigación a mi hermana, quien camina a paso firme para conseguir día a día sus objetivos de vida.

Dylan Gualsaquí Coronado

AGRADECIMIENTO

Agradezco a mi madre en primera instancia, quien ha sido mi guía primordial en este largo camino, que con amor y valentía supo ser firme y ayudarme a conseguir este tan grande logro, agradezco a mi padre, quien ha estado presente en varios momentos fuertes y de júbilo, agradezco a mi abuelo, quien, a pesar de ahora no estar presente, fue el impulso inicial para la consecución de cada uno de mis logros.

Agradezco a mi familia entera, a mis amigos que estuvieron presentes en este extenso camino, a Marcela y a Jefferson.

Un agradecimiento especial al Ingeniero Carlos Mafla. MsC., quien supo guiar el presente trabajo de grado y finalmente un agradecimiento al Ingeniero Andrés Cevallos.

Por último, un agradecimiento infinito a la Universidad Técnica del Norte.

Dylan Gualsaquí Coronado

DEDICATORIA

Esta tesis está dedicada a mi mamá Yolanda quien con su esfuerzo, responsabilidad, comprensión y amor me han permitido llegar a cumplir hoy un sueño más, gracias por inculcar en mí el ejemplo de esfuerzo y dedicación, y sobre todo por enseñarme a apasionarme por las cosas que me gustan. A la memoria de mi abuelita Rosalba a quien siempre la llevaré en el corazón y recordaré por todo su apoyo para que yo pueda cumplir lo que he anhelado y propuesto.

Jefferson Tacán Cordova

AGRADECIMIENTO

Agradezco a mi madre por ser la persona que siempre creyó en mi y me apoyó para la realización de este sueño, de igual manera a mi querida abuelita que siempre estuvo ahí para darme aliento en los momentos difíciles.

A mis hermanas Wendy, Julissa y Gaby por su cariño y apoyo incondicional, durante todo este proceso, por estar conmigo en todo momento gracias. También quiero agradecer a todos mis amigos, sobre todo a mi mejor amigo Dylan quien me acompañó en todo este proceso por apoyarme cuando más las necesito, por extender su mano en momentos difíciles y por estar en las buenas y en las malas.

Un agradecimiento especial al Ingeniero Carlos Mafla. MsC., quien supo guiar en todo el proceso que conllevo realizar este trabajo de grado, de igual manera un agradecimiento al Ingeniero Andrés Cevallos por todo el apoyo brindado.

Por último, un agradecimiento infinito a la Universidad Técnica del Norte.

Jefferson Tacán Cordova

RESUMEN

El presente escrito expone la investigación realizada acerca de sensores principales dentro de la gestión de realización y modificación de la mezcla de aire- combustible en vehículos equipados con motor a gasolina de encendido provocado, la misma que se realizó de manera bibliográfica y también práctica en las instalaciones de la Universidad Técnica del Norte. Se realizaron pruebas para determinar la jerarquización de dichos, sensores, así como evaluaciones de funcionamiento y rangos del mismo con el fin de encontrar sus voltajes y tiempos de trabajo normales en ciertas condiciones, seguidamente se realizó las diferentes tomas de muestras de emisiones de escape para ser analizados y finalmente una serie de simulaciones de fallo tomando las muestras finales de gases de escape para ser comparados y determinar el cumplimiento de la normativa NTE INEN 2204.

ABSTRACT

The present writing exposes the research carried out on the main sensors within the management of the realization and modification of the air-fuel mixture in vehicles equipped with a spark-ignition gasoline engine, the same one that was carried out in a bibliographical and also practical way in the facilities of the Technical University of the North. Tests were carried out to determine the hierarchy of said sensors, as well as performance evaluations and their ranges in order to find their normal voltages and working times under certain conditions, then the different exhaust emission samples were taken to be analyzed and finally a series of failure simulations taking the final exhaust gas samples to be compared and determine compliance with the NTE INEN 2204 standard.

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo busca exponer la importancia de la gestión electrónica en el proceso de combustión en motores de encendido provocado mediante la explicación del funcionamiento de sensores importantes dentro del mismo; a su vez detallar como dicho funcionamiento influye en la generación de emisiones de gases de escape, esto siempre enmarcado en el cumplimiento de la normativa NTE INEN 2204 referente a los rangos permitidos de emisiones de fuentes móviles dentro del territorio ecuatoriano. El adecuado funcionamiento de los sensores existentes en los vehículos genera un impacto directo en el medio ambiente, esto debido a que en base al funcionamiento de los sensores se percibe la calidad de los gases de escape. La contaminación ambiental es de vital importancia dentro de todo ecosistema y aun más la contaminación generada por los vehículos que circulan en el medio, de esta manera es fundamental conocer las posibles causas que pueden desembocar en un funcionamiento defectuoso en los sistemas encargados de la combustión en los vehículos. Es así como realizar una estimación de los posibles valores que se pueden obtener al tener desperfectos, mediante una simulación de falla, resulta necesario; esto con la finalidad de conocer la gravedad de las condiciones que se espera generar.

INDICE DE CONTENIDO

	PÁGINA
RESUMEN	X
INTRODUCCIÓN	XII
1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	1
1.1 Objetivos	1
1.1.1 Objetivo General	1
1.1.2 Objetivos específicos	1
1.2 Antecedentes	1
1.3 Formulación del problema	3
1.4 Justificación	3
1.5 Alcance	4
1.6 Proceso de Combustión	5
1.7 Inyección electrónica	6
1.7.1 Inyección directa e indirecta	7
1.7.2 Mezcla aire combustible	8
1.8 Gases de escape	11
1.8.1 Monóxido de Carbono (CO)	12
1.8.2 Hidrocarburos (HC)	12
1.8.3 Dióxido de carbono (CO ₂)	12
1.8.4 Oxígeno (O ₂)	13
1.8.5 Normativa INEN 2204	13

1.9 Equipo BOSCH FSA 740	14
1.9.1 Funcionamiento	14
1.9.2 Características	15
2. MATERIALES Y MÉTODOS	16
2.1 Método de Investigación	16
2.1.1 Enfoque Investigativo	16
2.1.2 Tipo de Investigación	16
2.2 Materiales y Equipos	17
2.2.1 Equipos	17
2.2.2 Software	22
2.3 Metodología	24
2.3.1 Selección del vehículo	25
2.3.2 Determinación de sensores que intervienen en la mezcla aire- combustible	25
2.3.3 Recopilación de datos de sensores	26
2.3.4 Pruebas iniciales de sensores	26
2.3.5 Toma de datos en diferentes condiciones	27
2.3.6 Análisis de gases de escape inicial	27
2.3.7 Simulación de fallos de sensores	27
2.3.8 Análisis de gases de escape tomando datos del sensor O ₂	35
2.3.9 Análisis de gases de escape tomando datos de sensor MAP	35
2.3.10 Análisis de gases de escape tomando datos de sensor MAF	36
2.3.11 Análisis de gases de escape tomando datos de sensor IAT	37
2.3.12 Recopilación de datos de pruebas	37
2.3.13 Comparación con normativa INEN 2204	37
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	39
3.1 Resultado de determinación de sensores que intervienen en la mezcla aire- combustible	40

3.2 Resultado de la recopilación de datos de sensores	46
3.2.1 Datos sensor MAF - IAT	46
3.2.2 Datos sensor MAP	48
3.2.3 Datos sensor O2	49
3.3 Resultado de las pruebas iniciales en sensores	51
3.3.1 Resultados sensor O2	52
3.3.2 Resultados sensor MAF	53
3.3.3 Resultados sensor IAT	54
3.3.4 Resultados sensor MAP	55
3.3.5 Resumen de toma de datos iniciales	56
3.4 Resultado de la toma de datos en diferentes condiciones	57
3.4.1 Pruebas a 1500 rpm	58
3.4.2 Pruebas a 2500 rpm	63
3.4.3 Pruebas a 3000 rpm	67
3.4.4 Síntesis de resultados	70
3.5 Análisis inicial de gases de escape	75
3.5.1 Análisis de gases de escape en ralentí	75
3.5.2 Análisis de gases de escape a 1500 rpm	77
3.5.3 Análisis de gases de escape a 2500rpm	78
3.5.4 Resultado final de análisis de gases de escape en condiciones normales	79
3.6 Análisis de gases de escape con simulación de falla en sensor O2	80
3.6.1 Resultados de simulación de fallo de sensor O2	83
3.7 Análisis de gases de escape con simulación de falla en sensor MAP	85
3.7.1 Resultados de simulación de fallo del sensor MAP	88
3.8 Análisis de gases de escape con simulación de falla en sensor MAF	89
3.8.1 Resultado de simulación de fallo de sensor MAF	92
3.9 Análisis de gases de escape con simulación de falla en sensor IAT	94

3.9.1 Resultado de simulación de fallo de sensor IAT	95
3.10 Resultados de toma de datos con simulación de fallos	96
3.11 Consolidación de resultados	104
3.12 Cumplimiento de normativa INEN 2204	106
4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	108
4.1 Conclusiones	108
4.2 Recomendaciones	110
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	112
ANEXOS	116

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1.1 TRIÁNGULO DE COMBUSTIÓN.	5
FIGURA 1.2 CERTIFICADO DE REVISIÓN TÉCNICA VEHICULAR	14
FIGURA 2.1 FSA-740.	18
FIGURA 2.2 KTS 560.	19
FIGURA 2.3 BEA 050.	20
FIGURA 2.4 FSA – 720.	21
FIGURA 2.5 INTERFAZ DE SOFTWARE ESI[TRONIC].	23
FIGURA 2.6 FLUJOGRAMA.	25
FIGURA 3.1 UBICACIÓN DEL TALLER DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ	39
FIGURA 3.2 VALORES REALES CON VEHÍCULO A RALENTÍ	40
FIGURA 3.3 VALORES REALES CON SENSOR DE OXÍGENO DESCONECTADO	41
FIGURA 3.4 VALORES REALES CON SENSOR MAF-IAT DESCONECTADO	42
FIGURA 3.5 CÓDIGOS DE FALLA DE SENSOR MAF-IAT	43
FIGURA 3.6 VALORES REALES CON SENSOR MAP DESCONECTADO	43
FIGURA 3.7 UBICACIÓN SENSOR MAF-IAT	47
FIGURA 3.8 UBICACIÓN SENSOR MAP	49
FIGURA 3.9 UBICACIÓN DE CONECTOR SONDA LAMBDA (SENSOR O2)	50
FIGURA 3.10 CORRESPONDENCIA DE CABLES SONDA LAMBDA (SENSOR O2)	50
FIGURA 3.11 OSCILOGRAMA DE SONDA LAMBDA (SENSOR O2)	51
FIGURA 3.12 VEHÍCULO Y EQUIPO BOSCH FSA 740	52
FIGURA 3.13 OSCILOGRAMA DE SENSOR O2 CON MOTOR A RALENTÍ	53
FIGURA 3.14 OSCILOGRAMA DE SENSOR MAF CON MOTOR A RALENTÍ	54

FIGURA 3.15 OSCILOGRAMA DEL SENSOR IAT CON MOTOR A RALENTÍ	55
FIGURA 3.16 OSCILOGRAMA DE SENSOR MAP CON MOTOR A RALENTÍ	56
FIGURA 3.17 OSCILOGRAMA DE SENSOR DE OXÍGENO A 1500 RPM	59
FIGURA 3.18 OSCILOGRAMA DE SENSOR MAF A 1500 RPM	60
FIGURA 3.19 OSCILOGRAMA DE SENSOR IAT A 1500 RPM	61
FIGURA 3.20 OSCILOGRAMA DE SENSOR MAP A 1500 RPM	61
FIGURA 3.21 OSCILOGRAMA DE SENSOR DE OXÍGENO A 2500 RPM	63
FIGURA 3.22 OSCILOGRAMA DE SENSOR MAF A 2500 RPM	64
FIGURA 3.23 OSCILOGRAMA DE SENSOR IAT A 2500 RPM	65
FIGURA 3.24 OSCILOGRAMA DE SENSOR MAP A 2500 RPM	65
FIGURA 3.25 OSCILOGRAMA DE SENSOR DE OXÍGENO A 3000 RPM	67
FIGURA 3.26 OSCILOGRAMA DE SENSOR MAF A 3000 RPM	68
FIGURA 3.27 OSCILOGRAMA DE SENSOR IAT A 3000 RPM	68
FIGURA 3.28 OSCILOGRAMA DE SENSOR MAP A 3000 RPM	69
FIGURA 3.29 TENDENCIA DE VALORES DE SENSOR MAF	72
FIGURA 3.30 TENDENCIA DE VALORES DE SENSOR IAT	73
FIGURA 3.31 TENDENCIA DE VALORES DE SENSOR MAP	74
FIGURA 3.32 TENDENCIA DE VALORES DE SENSOR O ₂	75
FIGURA 3.33 MEDICIÓN INICIAL DE GASES DE ESCAPE	76
FIGURA 3.34 MEDICIÓN DE GASES DE ESCAPE A 1500RPM.	77
FIGURA 3.35 ANÁLISIS DE GASES DE ESCAPE A 2500RPM.	78
FIGURA 3.36 ANÁLISIS DE GASES DE ESCAPE CON SIMULACIÓN DE FALLA EN EL SENSOR O ₂	80

FIGURA 3.37 VALORES REALES CON SIMULACIÓN DE FALLA EN SENSOR O2	81
FIGURA 3.38 CÓDIGOS GENERADOS POR DESCONEXIÓN DE BOBINA	82
FIGURA 3.39 OSCILOGRAMA CON BOBINA DESCONECTADA	83
FIGURA 3.40 ANÁLISIS DE EMISIONES DE ESCAPE CON SIMULACIÓN DE FALLO EN MAP	86
FIGURA 3.41 VALORES REALES CON SIMULACIÓN DE FALLO EN MAP	87
FIGURA 3.42 OSCILOGRAMA DEL SENSOR MAP CON SIMULACIÓN DE FALLO.	88
FIGURA 3.43 ANÁLISIS DE GASES DE ESCAPE CON SIMULACIÓN DE FALLO EN MAF-IAT	90
FIGURA 3.44 FLUJO DE DATOS CON SIMULACIÓN MAF-IAT	91
FIGURA 3.45 OSCILOGRAMA SENSOR MAF CON SIMULACIÓN DE FALLO	91
FIGURA 3.46 OSCILOGRAMA SENSOR IAT CON SIMULACIÓN	95
FIGURA 3.47 TENDENCIA DE VALORES DE CO CON SIMULACIÓN DE FALLO	98
FIGURA 3.48 TENDENCIA DE VALORES DE CO2 CON SIMULACIÓN DE FALLO	99
FIGURA 3.49 TENDENCIA DE VALORES DE HC CON SIMULACIÓN DE FALLO	100
FIGURA 3.50 TENDENCIA DE VALORES DE O2 CON SIMULACIÓN DE FALLO	101
FIGURA 3.51 TENDENCIA DE VALORES DE FACTOR LAMBDA CON SIMULACIÓN DE FALLO	102

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1.1 RELACIÓN LAMBDA.	9
TABLA 1.2 LÍMITES MÁXIMOS DE EMISIONES CONTAMINANTES POR AÑO DE FABRICACIÓN	13
TABLA 2.1 EQUIPOS.	18
TABLA 2.2 DATOS TÉCNICOS KTS 560.	19
TABLA 2.3 CAMPO DE MEDICIÓN BEA 050.	20
TABLA 2.4 DATOS TÉCNICOS FSA 720.	22
TABLA 2.5 SOFTWARE.	23
TABLA 2.6 AVERÍAS MECÁNICAS SENSOR O2	28
TABLA 2.7 AVERÍAS ELÉCTRICAS SENSOR O2	29
TABLA 2.8 AVERÍAS MECÁNICAS SENSOR MAF	30
TABLA 2.9 AVERÍAS ELÉCTRICAS SENSOR MAF	31
TABLA 2.10 AVERÍAS MECÁNICAS SENSOR MAP	32
TABLA 2.11 AVERÍAS ELÉCTRICAS SENSOR MAP	33
TABLA 2.12 AVERÍAS MECÁNICAS SENSOR IAT	34
TABLA 2.13 AVERÍAS ELÉCTRICAS SENSOR IAT	34
TABLA 3.1 JERARQUÍA DE SENSORES SELECCIONADOS	45
TABLA 3.2 VALORES DE SENSORES EN RALENTÍ	57
TABLA 3.3 DATOS OBTENIDOS A 1500RPM	62
TABLA 3.4 DATOS OBTENIDOS A 2500RPM	66
TABLA 3.5 DATOS OBTENIDOS A 3000RPM	70
TABLA 3.6 RESULTADOS DE SENSORES A DISTINTOS REGÍMENES	71

TABLA 3.7 RESULTADOS DE ANÁLISIS DE GASES DE ESCAPE	79
TABLA 3.8 TOMA DE DATOS CON SIMULACIÓN DE SENSOR O2	84
TABLA 3.9 TOMA DE DATOS CON SIMULACIÓN EN SENSOR MAP	89
TABLA 3.10 TOMA DE DATOS CON SIMULACIÓN EN SENSOR MAF	93
TABLA 3.11 TOMA DE DATOS CON SIMULACIÓN EN SENSOR IAT	96
TABLA 3.12 SÍNTESIS DE SIMULACIONES DE FALLO	97
TABLA 3.13 CONSOLIDACIÓN DE RESULTADOS DE SENSORES, EMISIONES Y SIMULACIÓN DE FALLAS	104
TABLA 3.14 LÍMITES MÁXIMOS DE EMISIONES CONTAMINANTES	107

1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo General

Evaluar cada uno de los sensores que influyen en las emisiones de gases de escape indicando su funcionamiento y destacando su jerarquía dentro del proceso de combustión en vehículos con MEP basándose en la normativa NTE INEN 2204.

1.1.2 Objetivos específicos

- Determinar los sensores más importantes que influyen en la generación de la mezcla aire-combustible.
- Estudiar el comportamiento y rangos de funcionamiento del sensor de oxígeno, MAP, MAF, IAT; los cuales se encargan de generar la mezcla aire-combustible a diferentes regímenes y condiciones de trabajo.
- Analizar las emisiones de gases de escape tomando en cuenta los rangos de funcionamiento de los sensores descritos para determinar la cantidad de CO, HC, CO₂ y O₂ obtenidos luego de la combustión.
- Comparar los valores de funcionamiento de los sensores mencionados en los cuales las emisiones de gases de escape cumplen con la normativa de emisiones NTE INEN 2204.

1.2 Antecedentes

CEPSA, (2015) menciona que una de las principales actividades humanas en las cuales se emite cantidades considerables de CO₂ es por el consumo de combustibles fósiles, como el carbón, petróleo y sus derivados, además del gas natural. Dentro de estos combustibles fósiles se encuentra la gasolina, la cual es el combustible más utilizado en el parque automotor.

Las emisiones contaminantes de automotores se han convertido a lo largo de la historia en una de las mayores fuentes de contaminación ambiental. En cuanto a los vehículos propulsados con motores de combustión interna, las emisiones generadas por el tubo de escape son producidas por la quema de combustible y evidencian un proceso de combustión poco efectivo. Vazquez, (2015) afirma que la industria automotriz es una de las principales fuentes de emisiones contaminantes al ambiente, estas emisiones son generadas principalmente en la

combustión de los motores utilizados, teniendo mayor incidencia en el encendido y también en el sistema de alimentación de combustible, sin dejar de lado temas mecánicos como calibraciones de balancines y válvulas en ciertos casos. “La contaminación ambiental o atmosférica que producen los vehículos de motor está originada por el monóxido de carbono, el gas contaminante que más abunda en la atmósfera de nuestras ciudades” (CONUEE, 2017).

Además del monóxido de carbono, la normativa que rige al Ecuador establece parámetros para oxígeno e hidrocarburos.

El avance tecnológico automotriz se ha basado en la implementación de la electrónica en los vehículos, implementando sensores con el fin de la reducción de gases contaminantes, es así como a partir de 1988 se implementó el primer sistema de diagnóstico a bordo llamado OBD-I, el cual permitía la evaluación de varios sensores básicos informando anomalías en cuanto a emisiones pero mostrando varios inconvenientes en cuanto a su estandarización de puertos de conexión y en cuanto a calibraciones de niveles específicos de gases. Para la resolución de estos inconvenientes, a partir de mediados de los años 1990, se implementó el sistema OBD-II, el cual estandarizó los puertos de conexión y mejoró el monitoreo de los sensores relacionados con las emisiones. “OBDII es la segunda versión del OBD, que se modificó para encargarse también de monitorear el catalizador que afecta el nivel de emisiones del vehículo; para esto, se colocaron dos sondas que controlan el catalizador llamadas sondas lambda o sensores de oxígeno” (Kilicarslan & Qatu, 2017). La segunda generación del diagnóstico a bordo permite además un monitoreo continuo de sensores y actuadores encargadas del control de emisiones, una descripción de manera universal de códigos de falla permite la utilización de equipos universales de diagnóstico y la normalización de protocolos de comunicación.

Es importante mencionar que el sistema OBD-II es utilizado hasta la actualidad y ha permitido el control de las emisiones contaminantes logrando reducirlas en gran cantidad y optimizar recursos, basándose principalmente en sensores como SO₂, sensores de flujo y presión de aire de admisión y sensores de temperatura, los cuales son monitoreados constantemente.

Tim Dallmann (2018) menciona que uno de los aspectos principales para el control de las emisiones de gases de escape, es la evaluación de estos en condiciones normales y en condiciones reales. Esto permite generar una apreciación más cercana a lo que se obtiene

diariamente en todo el parque automotor. Además, al generar una evaluación efectiva, esta permite cuantificar la cantidad de gases obtenidos y así realizar una comparación con la normativa establecida en cada país.

1.3 Formulación del problema

¿De qué manera influyen los rangos de funcionamiento de los sensores que se encargan de regular la mezcla aire-combustible y como esto se refleja en la emisión de gases de escape en MEP?

Analizar el funcionamiento de la gestión electrónica de los MEP es fundamental para entender el comportamiento del motor en diferentes situaciones. Además, conocer los rangos en los cuales funcionan los sensores principales para el proceso de la combustión, proporcionará una visión más clara de la manera en la cual se comporta el motor. Finalmente, todo el análisis generado en la parte electrónica correspondiente a los sensores complementará al análisis de gases de escape, ya que el comportamiento de los sensores influye, en parte, a la cantidad de gases de escape que generen los MEP, entre otras condiciones influyentes como el estado de los diferentes sistemas del vehículo, la calidad de los combustibles y la ubicación geográfica.

1.4 Justificación

La investigación presente, está amparada al plan de desarrollo 2017-2021, teniendo en cuenta especialmente el objetivo número 3, el cual menciona “Garantizar los derechos de la naturaleza para las actuales y futuras generaciones”, puntualizando la política 3.4, la cual menciona de manera textual: “Promover buenas prácticas que aporten a la reducción de la contaminación, la conservación, la mitigación y la adaptación a los efectos del cambio climático, e impulsar las mismas en el ámbito global” (Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo, 2017). Teniendo un enfoque ambientalista y concientizando a los lectores acerca de las emisiones de escape generadas por cada vehículo y su impacto global en el planeta, centrando al Ecuador.

La investigación está orientada a conocer la incidencia de la tecnología en el avance del área automotriz, puntualizando los sensores encargados de la realización de la mezcla de

aire-combustible en motores de encendido provocado, el impacto de cada una de estas y su influencia en el territorio ecuatoriano especialmente.

Es importante detallar el impacto social que las emisiones vehiculares han desarrollado en lo ambiental, tomando en cuenta el contexto histórico en que la industria automotriz ha venido avanzando junto con su desarrollo tecnológico y las mejoras que esta tecnología ha permitido en dicha área.; ya que de esta manera se determinará parámetros correctos de funcionamiento de varios sensores, realizando pruebas experimentales que permitirán resultados reales.

Cabe mencionar que para ejecutar esta investigación es necesario además la comparación con la normativa ecuatoriana INEN 2204 en cuanto a emisiones contaminantes, así mismo, es necesario conocer las condiciones de los vehículos que llegan al país, así como la calidad de los combustibles de este (INEN, 2017).

Dicha investigación es de suma importancia en el país debido al retraso tecnológico que este vive, detallando las falencias del sector automotriz y su permisivo sistema de control de emisiones, teniendo en cuenta las condiciones del país en cuanto a combustibles y combustiones defectuosas.

1.5 Alcance

El alcance ha sido determinado como descriptivo-correlacional debido a que se pretende analizar, describir y comprar las principales variables que afectan o favorecen, ya sea de manera directa o indirecta en la elaboración de la mezcla de aire y combustible, sin dejar de lado las consecuencias que estos producen en cuanto a emisiones de escape.

Para la ejecución de la investigación propuesta, la recolección de datos y evaluaciones se llevarán a cabo en su mayoría dentro de los talleres de ingeniería Automotriz de la Universidad Técnica del Norte, así mismo se utilizarán los equipos pertenecientes a los talleres mencionados anteriormente.

En el presente estudio está basado en un vehículo con motor de encendido provocado de la marca Chevrolet modelo Onix del año 2021. Este vehículo está provisto con un motor alimentado por un sistema de inyección electrónica multipunto y un cilindraje de 1000 centímetro cúbicos. A su vez, este vehículo cuenta con los sensores que se han detallado para

su estudio, los cuales son: sensor de oxígeno, sensor de flujo de aire – MAF, sensor de presión absoluta - MAP, sensor de temperatura de aire de admisión - IAT.

Los sensores mencionados serán la guía de medición de los rangos de trabajo en función del voltaje generado por cada uno de ellos. Además, se planea someter al vehículo a varias pruebas, estableciendo las revoluciones por minuto a las que estará funcionando el vehículo y de esta manera observar y analizar el comportamiento de los sensores, los rangos de voltaje que envían y como esto se refleja en las emisiones de gases de escape. Por otra parte, una vez se generen dichos gases durante el funcionamiento, estos se analizarán, tomando como principales los gases de escape que se cuantifica para que un vehículo apruebe la revisión técnica vehicular.

1.6 Proceso de Combustión

Según García (2001). La combustión resulta ser un proceso que comprende reacciones de oxidación en conjunto los cuales generan desprendimiento de calor. Para obtener la combustión es necesario la presencia de sus dos elementos fundamentales, los cuales son: combustible, el cual puede estar tanto en líquido, como en gas o en estado sólido, además de un comburente, el cual es el oxígeno.

La combustión es un proceso de oxidación rápida, que cuenta con la presencia de llama. Además de los dos elementos fundamentales mencionados anteriormente, es necesario un tercer factor, el cual es la energía necesaria para su activación. A continuación, se muestra el llamado triángulo de combustión, el cual es una representación gráfica de la misma.

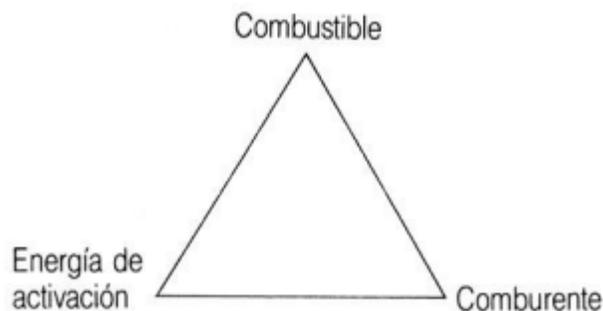


Figura 1.1 Triángulo de combustión.

MAVAINSA (2011) Afirma que la combustión resulta ser una reacción exotérmica de oxidación, esta permite gracias a una energía de activación la transformación de la materia gracias a un combustible y la presencia del oxígeno en el aire. Cabe mencionar que la combustión sería imposible sin uno de los tres elementos fundamentales mostrados en el llamado triángulo de combustión.

La energía de activación suele estar presente como una chispa en quemadores o demás máquinas térmicas como un motor de encendido provocado, este elemento es quien desencadena la reacción de la combustión. Al mencionar a los combustibles, se encuentren estos en cualquiera de los estados mencionados con anterioridad, están compuestos fundamentalmente por carbono, hidrógeno, azufre, además de humedad, lo que provoca la salida de gases durante la reacción, estos pueden ser: dióxido de carbono, monóxido de carbono, dióxido de azufre, entre otros gases.

1.7 Inyección electrónica

La inyección electrónica resulta ser un sistema automotriz que nace a partir de la necesidad de reducir el consumo de combustible en motores de combustión interna, además de mejorar el rendimiento de estos y mermar los gases de escape contaminantes para el ambiente. Dicho sistema sustituyó a la inyección mecánica realizada a través de un carburador, utilizado anteriormente en vehículos, debido a que no garantizaba una mezcla óptima de combustible, desperdiándolo sin mejorar las prestaciones del motor de dichos vehículos.

Inicialmente, la inyección electrónica se utilizó en motores destinados a la aviación y llegando posteriormente a los vehículos terrestres.

El primer sistema de inyección electrónica aparece en 1967, el cual fue llamado D- Jetronic, presentando varios problemas y una mejoría poco evidente respecto al carburador (Paredes Echeverría, 2011).

Los sistemas de inyección electrónica constan principalmente de sensores y actuadores, los cuales mediante su gestión generan la llamada mezcla estequiométrica, que resulta ser una mezcla perfecta en la relación de aire y combustible según las condiciones de trabajo del motor. Cabe mencionar que el rendimiento del motor, la economía del combustible y las

emisiones de gases contaminantes por el tubo de escape dependen de manera directa a cuan adecuada resulte dicha mezcla (Bosch, 2010).

Fundamentalmente, la inyección electrónica capta fenómenos físicos a través de sensores, los cuales son transformados a pulsos eléctricos y enviados a la unidad de control para ser procesados y posteriormente enviar señales a los actuadores para realizar funciones específicas (Universidad Nacional De La Plata, n.d.).

Sensores

Según Bosch (2010), resultan componentes instalados en el motor, en diversos puntos, estos tienen el deber de enviar distintas señales hacia la unidad de control, es decir, envían señales de entrada.

Actuadores

Bosch (2010), afirma que los actuadores, están encargados de la variación de volumen de combustible inyectado, además de mantener el ralentí, avances de encendido, entre muchas más funciones, las cuales son ordenadas por la unidad de control, la cual recibió información de parte de los sensores.

1.7.1 Inyección directa e indirecta

Inyección indirecta. Nace a partir de la primera normativa de emisiones de gases de escape en 1967, siendo el primer sistema de inyección electrónica llamado D- Jetronic, el cual sustituyó a los sistemas de inyección mecánica (carburador) pero presentando varias falencias (Bosch, 2010).

La inyección indirecta también llamada inyección por tubo de aspiración realiza la mezcla de aire- combustible en el colector de admisión, para posteriormente pasar a la cámara de combustión. Aunque actualmente la tendencia mundial adopta la inyección directa para los vehículos nuevos y futuros, cabe mencionar que en mercados como Brasil y China se siguen desarrollando opciones para utilizar inyección directa debido principalmente a la economía que presenta (Centro Zaragoza, 2014).

Inyección directa. Resulta ser un avance tecnológico bastante contribuyente a la obtención de motores más limpios y eficientes, además de su aporte a la tendencia de disminución de cilindraje a motores actuales. Estos sistemas garantizan una mezcla adecuada

durante todo el tiempo de funcionamiento del motor y en cada tiempo de trabajo de este, elevando el rendimiento del motor y mermando el consumo de gasolina y las emisiones de gases contaminantes.

Este sistema está constituido por un circuito de baja y otro de alta presión, en donde en el circuito de baja, una bomba eléctrica impulsa el combustible a una presión aproximada de 6 Bar desde el depósito hasta la bomba de alta, esta eleva la presión del combustible hasta aproximadamente 200 bar haciéndolo llegar hasta el riel de los inyectores, distribuyendo seguidamente a cada inyector con una cantidad de alta precisión hasta la cámara de combustión (Bosch, 2017).

Leguisamo Milla (2016), afirma que un vehículo implementado con un sistema de inyección directa podría obtener varias ventajas y optimizaciones como las siguientes:

- Merma de consumo de gasolina hasta en un 20%
- Merma de consumo de gasolina hasta un 40 % en ralentí
- Disminución interna de fricción en el motor aproximadamente en un 30%
- Reducción elevada de pérdidas por bombeo.
- Reducción significativa de emisiones contaminantes por el tubo de escape
- Disminución del peso total del motor hasta en un 10%

1.7.2 Mezcla aire combustible

Para que un motor presente un rendimiento óptimo tanto en consumo de combustible, así como en emisiones contaminantes, es de suma importancia una mezcla de aire-combustible perfecta en cada régimen de giro del motor. La llamada mezcla es la perfecta relación entre aire y combustible que ingresa al motor para ser combustionado, es decir la cantidad ideal de combustible para la cantidad de aire admitido. Mientras más precisión mantenga la mezcla, mayores serán las prestaciones del motor en cuanto a rendimiento, economía del combustible y reducción de emisiones contaminantes (Bosch, 2010).

La mezcla ideal, también llamada estequiométrica resulta ser la relación puntual entre las cantidades perfectas de aire y combustible para ser combustionados dentro del motor, siendo en los motores Otto 14,7 partes de aire para una de combustible. Al conseguir la llamada mezcla estequiométrica, se obtiene un factor lambda igual a 1. Si el factor lambda es

mayor a 1 se tiene una mezcla pobre, evidenciando la falta de combustible o a su vez un exceso de aire. Por el contrario, al tener un factor lambda menor a 1, se evidencia mezcla rica, por lo que se está combustionando una mezcla con excesos de combustible o falta de aire (Centro Zaragoza, 2014).

Heredia & Jiménez (2013), muestran la siguiente tabla ilustrativa acerca de la mezcla de aire y combustible:

Tabla 0-1.1 Relación Lambda.

X	Mezcla	Factor Lambda	Observación
Menor a 14.7	Rica	Menor a 1	Exceso de combustible o a su vez escasas de aire.
14.7	Estequiométrica	1	Valor necesario teóricamente
Mayor a 14.7	Pobre	Mayor a 1	Déficit de combustible o a su vez exceso de aire

Sensor MAF. Es un medidor de caudal que utiliza el principio conocido como caudalímetros térmicos másicos, está constituido generalmente por dos electrodos, uno expuesto a la entrada de aire a medir, mientras que el otro se encuentra dentro del sensor y a una temperatura constante.

Este sensor se encuentra ubicado junto al alojamiento del filtro de aire y se encarga de medir de manera directa la masa de aire admitida (Paidá Puente, 2007).

Denso (2018), afirma que este sensor es del tipo caudalímetro, el cual censa la cantidad de aire que ingresa al motor del vehículo para así enviar esta señal de manera de pulsos eléctricos hasta la unidad de control. En la actualidad el sensor de hilo caliente es el más común entre los fabricantes de vehículos, este está constituido por un elemento calefactor, una resistencia para medición de temperatura, además de un circuito de control y un sensor de temperatura. Gracias a las señales que envía este sensor, la unidad de control puede calcular la densidad de aire y así corregir los tiempos de inyección.

Sensor IAT. El sensor de temperatura de aire de admisión es un termistor, el cual generalmente es del tipo PTC, es decir de coeficiente positivo, el cual aumenta o disminuye de manera directamente proporcional a los cambios de temperatura, este se ubica normalmente en la admisión, anterior a la válvula de aceleración.

El IAT está encargado de enviar su señal como voltaje hasta el módulo control, para ser calculado mediante comparación con el voltaje nominal en la alimentación y obtener así la temperatura. La gestión del IAT aportará de manera directa en la precisión de la mezcla, así como en la disminución de emisiones de monóxido de carbono y además en la reducción de consumo de gasolina (Coello Salcedo & Cordero Peralta, 2011).

Sensor MAP. El sensor de presión absoluta del múltiple de admisión es el encargado de medir el vacío generado en el múltiple con el motor en funcionamiento y compararlo con la presión atmosférica. Generalmente está ubicado después de la válvula de aceleración o en ocasiones está integrado en el mismo módulo de control electrónico del vehículo. Su gestión permite junto a la gestión del sensor CKP, modificar los tiempos de inyección según la carga del vehículo.

Su tipología según su funcionamiento es divisible en:

- Por variación de presión: Su gestión está basada en una resistencia variable y consta de tres cables.
- Por variación de frecuencia: Mide la presión en el colector y la presión atmosférica, consta de igual manera de tres cables, pero su diagnóstico y revisión se la debe realizar con osciloscopios o medidores de frecuencia (Coello Salcedo & Cordero Peralta, 2011).

Sensor de oxígeno. También conocido como sonda Lambda, el sensor de oxígeno es una pieza fundamental en los sistemas de inyección electrónica, ya que este está encargado de medir la cantidad de oxígeno en el escape, monitoreando durante todo el tiempo de funcionamiento del motor las variaciones de este gas y enviando estas señales hasta la ECU, para modificar así los tiempos de inyección. Existen de varios tipos y comúnmente su rango de funcionamiento abarca hasta el 1 voltio, mostrando una tensión de 450mV en mezcla ideal,

aumentando y disminuyendo esta señal de voltaje según la riqueza de la mezcla (Paredes Echeverría, 2011).

Los vehículos actuales traen equipados dos sensores de oxígeno, una antes y otra después del catalizador, teniendo como objetivo además monitorear el funcionamiento del convertidor catalítico (Bosch, 2010).

1.8 Gases de escape

Los combustibles fósiles se han convertido en la principal fuente de energía a lo largo de la historia de los automóviles, es evidente que en la actualidad se ha buscado nuevas alternativas para remplazar a este combustible; pero aún se sigue utilizando en nuestro medio. El proceso de combustión genera gases de escape, los cuales son contaminantes, esto debido a que en la práctica no existen combustiones completas, dejando así residuos al momento de quemar la mezcla aire-combustible. Según Bosch, 2003 “Cuando más incompleta es la combustión, tanto mayor es la expulsión de contaminantes en los gases de escape”, de esta manera se evidencia de que dependiendo de el régimen y carga del motor, la combustión va a variar y esto va ser directamente proporcional a la cantidad de gases de escape que se expulsan al ambiente.

Teóricamente luego de una combustión completa se obtiene como residuo en forma de gases de escape dióxido de carbono (CO_2) y vapor de agua (H_2O); el primero siendo un gas no contaminante, sino que es un gas de efecto invernadero, por otra parte, el vapor de agua no tiene ningún efecto nocivo en el medio ambiente. Pero, como se mencionó anteriormente, en la realidad no se tiene una combustión ideal completa, de esta manera se tiene muchos más compuestos dentro de los gases de escape. Según Obando, 2010 los gases que expulsa un motor luego de una combustión real son: dióxido de azufre (SO_2), dióxido de carbono (CO_2), monóxido de carbono (CO), óxido de nitrógeno (NO_x) y oxígeno (O_2). Las emisiones contaminantes de gases producidas por el motor de combustión interna son responsables únicamente de un 5 % de las emisiones de dióxido de azufre (SO_2), son responsables del 25 % de las emisiones de dióxido de carbono (CO_2), del 87 % de las de monóxido de carbono (CO) y del 66 % de las de óxidos de nitrógeno (NO_x).

En los siguientes apartados se describirá cada uno de los gases que conforman las emisiones producidas por un motor de combustión interna, además se ha considerado solo estos gases debido a que en base a estos se genera la base para aprobar o no la revisión técnica vehicular vigente en Ecuador.

1.8.1 Monóxido de Carbono (CO)

La gasolina principalmente está compuesta por carbono y este combustible al entrar en el proceso de combustión y no darse de una manera completa, genera residuos de carbono. Principalmente el monóxido de carbono se forma cuando existe una baja cantidad de aire para generar la mezcla que posteriormente se va a quemar (Rodríguez Rojas et al., 2018). Cuando existe residuos de carbono luego de la combustión, estos átomos se unen a los átomos de oxígeno, formando así los CO.

1.8.2 Hidrocarburos (HC)

Los hidrocarburos básicamente son sustancias químicas orgánicas que se componen de hidrógeno y carbono (Lara et al., 2009). Dentro de los gases de escape, las emisiones de hidrocarburos se presentan cuando no se quema completamente la mezcla aire-combustible, es decir, cuando existe una combustión incompleta.

1.8.3 Dióxido de carbono (CO₂)

La GCE afirma que “Las emisiones de dióxido de carbono proceden de la oxidación del carbono de los combustibles durante la combustión”. En condiciones ideales de combustión, el contenido total de carbono existente en los combustibles fósiles debe convertirse en CO₂. Sin embargo, en procesos reales no se cumplen estas condiciones, generando así otros gases contaminantes procedentes de la unión del carbono con otros compuestos. Es importante mencionar que el dióxido de carbono no es un gas tóxico, este reduce el estrato de la atmosfera terrestre, produciendo lo que se denomina como efecto invernadero (Rodríguez Rojas et al., 2018).

1.8.4 Oxígeno (O₂)

Es un gas que siempre se va a encontrar en los gases de escape, esto debido a que un 21% de la composición del aire es oxígeno; al ser el aire parte importante para que se genere la mezcla, luego de darse la combustión real y al no ser completa se va a tener presencia de este gas (Guevara Hidalgo, 2010). Además, la presencia de este compuesto en los gases de escape sirve de dato al sensor del oxígeno para generar una señal que proporcionará información del estado de la mezcla y de esta manera poder corregirla, ya sea enriqueciéndola o empobreciéndola.

1.8.5 Normativa INEN 2204

La normativa INEN 2204 es la encargada de establecer los límites permitidos de emisiones de contaminantes producida por fuentes móviles terrestres, ya sean estos vehículos automotores que empleen gasolina (INEN, 2017). La normativa mencionada y la cual es de aplicación obligatoria en todo el territorio ecuatoriano tiene referencias de normativas de otros países, entre ellas se encuentra la Normativa EURO III y la normativa estadounidense EPA Tier 1. En base a estas normativas extranjeras se ha establecido la normativa ecuatoriana, es importante mencionar que para la aplicación de esta se ha considerado los tipos de combustibles existentes.

Dentro de la normativa, en el apartado 4.1 se establecen los “Límites máximos de emisiones permitidos para fuentes móviles con motor de gasolina. Marcha mínima o ralentí (prueba estática)”, en el cual se indica la siguiente tabla:

Tabla 1.2 Límites máximos de emisiones contaminantes por año de fabricación

Año modelo	% CO ^a		ppm HC ^a	
	0 – 1500 ^b	1500 – 3000 ^b	0 – 1500 ^b	1500 – 3000 ^b
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

^a Volumen
^b Altitud = metros sobre el nivel del mar (msnm).

INEN, 2017 menciona que “Toda fuente móvil con motor de gasolina, durante su funcionamiento en condición de marcha mínima o ralentí y a temperatura normal de operación, no debe emitir al aire monóxido de carbono (CO) e hidrocarburos (HC) en cantidades superiores a las señaladas en la Tabla 1”. La tabla 1 mencionada textualmente se indica en la tabla 1.2.

En base a la normativa INEN 2204 la Empresa Pública de Movilidad del Norte MOVIDELNOR ha establecido la Revisión Técnica Vehicular, el cual es una inspección técnica del estado de los sistemas mecánicos y elementos de seguridad de un automotor, bajo parámetros nacionales exigidos por la ley competente y donde se autoriza o no la circulación del automotor en el territorio ecuatoriano para garantizar la seguridad de los ciudadanos (Obando Rosero, 2014). Dentro del cual se contempla la prueba de gases de escape, la cual consiste analizar los gases de escape mediante una prueba estática a bajas y altas revoluciones. En la figura 1.2 se indica la sección del certificado de revisión técnica vehicular en el que se muestra la “PRUEBA DE GASES”.

PRUEBA DE GASES (Equipo: 20574)										
Temperatura		RPM	Monóxido de Carbono (CO)		Oxígeno (O ₂)		Hidrocarburos (HC)		Lambda	RESULTADO
Inicial	Final		Valor	Instructivo	Valor	Instructivo	Valor	Instructivo		
63		Baja	775	0.4	< 1 %	2.6	< 3 %	251	< 250 ppm	Tipo 1
		Alta	2410	0.4	< 1 %	2.5	< 3 %	171	< 250 ppm	

Figura 1.2 Reporte emisiones RTV

(MOVIDELNOR, 2021)

1.9 Equipo BOSCH FSA 740

Es un módulo de medición creado por Bosch con la finalidad de proporcionar una comprobación rápida y precisa de todos los sistemas eléctricos, así como componentes eléctricos y electrónicos del vehículo, brindando muchas prestaciones para lograr un diagnóstico acertado. Este equipo cuenta con un osciloscopio de 2 canales de alta calidad y ofrece una impresionante tasa de muestreo de 50 MS/s.

1.9.1 Funcionamiento

El equipo Bosch FSA 740 posee un paquete completo de software especializado para el diagnóstico completo de sensores y actuadores. El programa básico “SystemSoft[plus]” es suministrado junto con el equipo y contiene información sobre pruebas generales y conexiones, las pruebas paso a paso, además del software para el generador de señales, el multímetro y el osciloscopio universal. El programa “CompacSoft[plus]” contiene las pruebas de componentes e información sobre pruebas y conexiones exclusivas de los vehículos, además de datos específicos para todos los procedimientos de las pruebas (Bosch, n.d.).

1.9.2 Características

Según Bosch, las características y ventajas de este equipo son las siguientes:

- Sistema Premium de medición.
- Comprobación de componentes sin necesidad de desmontarlos con 50 pruebas preconfiguradas.
- Medición de descarga de batería de 24 horas.
- Generador de señales para la comprobación de los sensores instalados,
- Concepto modular: Ampliación con el KTS 560, el software de diagnóstico ESI[tronic] 2.0 Online, con módulos de la serie BEA para la medición de gases de escape, o con FSA 050 para un mejor análisis de los vehículos eléctricos e híbridos
- Conectividad inalámbrica: Conecte con Bosch Connected Repair u otras redes de taller para ayudarle a trabajar con mayor eficiencia

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Método de Investigación

Se utilizó la metodología experimental, desarrollando métodos de pruebas y controlando las variables principales en el vehículo especificado, analizando, comprando y describiendo dichas variables y su influencia positiva o negativa en la elaboración de la mezcla de aire -combustible que posteriormente desembocará en la calidad de emisiones por el tubo de escape.

La toma de datos se lo realizó en los talleres del Olivo en las instalaciones de la Universidad Técnica del Norte y con el equipo Bosch FSA 740 principalmente.

2.1.1 Enfoque Investigativo

El propósito del presente proyecto es analizar el comportamiento de los sensores seleccionados, para que de esta manera se obtengan datos de su funcionamiento a diferentes regímenes de trabajo del motor. Adicional a este análisis, parte importante del trabajo es analizar los gases de escape del vehículo, también es necesario realizar una relación entre el funcionamiento de los sensores que intervienen en la mezcla aire-combustible y la cantidad de gases de escape obtenidas mediante el analizador.

Una vez ejecutada esta comparación se logrará comprender en que rangos de funcionamiento de los sensores se tiene más o menos gases de escape contaminantes, enfocándose principalmente en los gases de escape que son analizados en la revisión técnica vehicular, tomando siempre en cuenta la normativa que rige en nuestro país.

2.1.2 Tipo de Investigación

En el presente proyecto se ha determinado que cuenta con tres tipos de investigación, esto debido a que en primer lugar se revisó documentación referente o relacionada al tema propuesto, con esto se analizó el procedimiento para llegar a obtener los resultados, para que finalmente de manera experimental se logre obtener los resultados propuestos en los objetivos de este trabajo.

Método documental. La utilización de este método en el desarrollo de este trabajo fue clave para la recopilación de información de varias fuentes de investigación confiables, ya sean estos libros, artículos científicos, fichas técnicas, revistas, tesis relacionadas al tema, entre otras.

Método analítico. Mediante el análisis y una vez teniendo toda la información bibliográfica, fue posible determinar que sensores son importantes para el proceso de combustión. Para posteriormente generar el análisis experimental mediante el equipo BOSCH FSA-740 y a su vez estudiar los gases de escape, generando así la comparación en funcionamiento.

Método experimental. El equipo BOSCH FSA – 740 brinda muchas prestaciones para el diagnóstico de sensores, esto gracias a los paquetes de softwares que posee, mediante el uso de esas pruebas se puede obtener los datos de funcionamiento de los sensores ya seleccionados. Adicional a esta función, también cuenta con el analizador de gases, el cual nos proporcionara los datos necesarios para generar la comparación. En este punto se realizarán varias pruebas experimentales a diferentes regímenes de funcionamiento para observar el comportamiento de los sensores y la calidad de los gases de escape contaminantes.

2.2 Materiales y Equipos

La obtención de los datos necesarios para la ejecución del presente trabajo fue necesaria la utilización de un vehículo implementado con sistema OBD-II; además, se utilizó tanto equipos como herramientas adecuadas para realizar una buena recopilación de información.

2.2.1 Equipos

Para la presente investigación fue necesaria la utilización de equipos que permiten realizar pruebas y análisis de diversos sistemas de los vehículos. Además, contar con equipos que proporcionen diagnósticos de sistemas OBD II, facilitan la recopilación de datos y la ejecución de diversas pruebas.

En la tabla 2.1 se detallan los equipos utilizados en el presente trabajo:

Tabla 2.1 Equipos.

Marca	Descripción
Bosch	FSA – 740

FSA – 740

Es un equipo de BOSCH el cual cuenta con varios sistemas y prestaciones fundamentales para generar un análisis y diagnóstico de los vehículos. En la **figura 2.1** se muestra el equipo completo con todos los sistemas que cuenta.



Figura 2.1 FSA-740.

(Bosch, 2019)

Este equipo está formado por una interfaz de diagnóstico, un osciloscopio, un analizador de gases para pruebas en gasolina y un analizador de gases para pruebas en diésel. A continuación, se detallan las características de cada uno de ellos:

KTS 560. Es un equipo móvil de análisis de sistemas vehiculares y de diagnóstico de la unidad de comando. Es una interfaz de diagnóstico provista del software ESI [tronic], el cual es propio de BOSCH, mediante el cual se accede a la memoria de defectos en el sistema del vehículo, ubicándose así las causas del problema. Además, se tiene acceso a una completa biblioteca de información de una cantidad considerable de marcas existentes en el mercado, ya

sean vehículos a gasolina o diésel, vehículos híbridos y eléctricos, y todas las versiones existentes de los vehículos.



Figura 2.2 KTS 560.

(Bosch, 2019)

En la **tabla 2.2** se muestran las características del KTS 560:

Tabla 2.2 Datos técnicos KTS 560.

Datos técnicos	
KTS 560	Multímetro de 1 canal
Tensión de operación	8 V DC – 28 V DC
Consumo de energía a través de la batería del vehículo	< 10 Vatios
Conexiones para PC	USB 2.0, Bluetooth Clase 1
Ancho de banda del multímetro	100 kHz
Protocolos de vehículo	ISO 15031, ISO 22900, SAE J2534-1 y -2 (PassThru), ISO 9141-2 (K y L), SAE J1850 VPW y PWM, CAN High Speed ISO 11898, ISO 15765-4 (OBD), CAN Single Wire, CAN Low Speed, ISO 13400 (Diagnostics over IP) y otros protocolos específicos del vehículo
Temperatura de funcionamiento	5 °C – 40 °C

BEA 050. El analizador de gases de escape BEA 050 sirve para realizar en forma sencilla el análisis de gases de escape en vehículos con motor a gasolina. Se puede comprobar todo el espectro de vehículos con motor a gasolina que participa en el tráfico vial y en los que se tienen que realizar controles de emisiones. BEA 050 sólo se puede utilizar en combinación con sistemas de comprobación Bosch y el programa de análisis de sistemas de emisiones.



Figura 2.3 BEA 050.

(Bosch, 2019)

El campo de medición del BEA 050 se detalla en la **tabla 2.3**:

Tabla 2.3 Campo de medición BEA 050.

Componente	Campo de medición	Resolución
CO	0,000 ... 10,00 % vol	0,001 % vol
CO ₂	0,000 ... 18,00 % vol	0,01 % vol
HC	0 ... 9999 ppm vol	1 ppm vol
O ₂	0,00 ... 22,00 % vol	0,01 % vol
Lambda	0,500 ... 9,999	0,001
NO	0 ... 5000 ppm vol	1 ppm vol

FSA 720 – Módulo de medición portátil. El FSA 720 está compuesto por la unidad de medición una fuente de alimentación con cable de conexión a la red para alimentar la unidad de medición y un cable de conexión USB para la conexión a un PC. Adicionalmente se suministran varios sensores para el registro de los valores medidos. Este módulo de medición cuenta con las siguientes características:

- 50 pruebas de componente preconfiguradas
- Osciloscopio de 2 canales.
- Medición de la descarga de la batería durante 24 horas.
- Amplia oferta de sondas, sensores y pinzas adicionales
- Cuenta con el software SystemSoft[plus]



Figura 2.4 FSA – 720.

(Bosch, 2019)

En la **tabla 2.4** se muestran las características técnicas que posee el módulo de medición FSA 720:

Tabla 2.4 Datos técnicos FSA 720.

Datos técnicos	
Osciloscopio de 2 canales	Tasa de escaneado 50 MS/s
Generador de señales	10 V a 12 V con 4 formas de señal, 1 Hz a 1 kHz
Rango de medición de voltaje	0 V a 60 V
Rango de medición de corriente	0 A a 1000 A
Rango de medición de resistencia	0 a 1 MΩ
Rango de medición de la temperatura del aceite	-20 °C a 150 °C
Número de pruebas de componentes	50 preconfiguradas
Almacenaje de secuencias de señal	Sí
Fuente de alimentación	15 V / 4.3 A
Temperatura de funcionamiento	5 °C – 40 °C

2.2.2 Software

Todo equipo de diagnóstico, para su correcto funcionamiento, debe estar provisto de un software, el cual proporciona todas las herramientas tecnológicas necesarias para la ejecución de las diferentes tareas a las cuales estará destinado el equipo. En la **tabla 2.5** se muestra el software utilizado dentro del presente trabajo:

Tabla 2.5 Software.

Marca	Descripción
Bosch	ESI [tronic] 2.0 Online

ESI [tronic] 2.0 Online

El software de diagnosis ESI[tronic] 2.0 Online permite realizar trabajos de mantenimiento, servicio y reparaciones de forma rápida, eficaz y profesional. Este software de diagnosis cubre una amplia gama de vehículos en todo el mundo. El modelo flexible de licencias permite ampliar el software de diagnóstico en función de sus necesidades y de su crecimiento. ESI[tronic] 2.0 Online posibilita la realización de diagnósticos exhaustivos para encontrar la solución de reparación adecuada y solucionar fallos.

El software proporciona acceso a los datos de vehículos de más de 150 marcas, así como a tareas de mantenimiento, diagramas de circuitos, manuales de reparación y soluciones de reparación de averías conocidas basadas en la experiencia de fabricantes y talleres (EBR). El software de diagnosis ESI[tronic] 2.0 Online se utiliza con una herramienta de diagnóstico de Bosch de la serie KTS o la serie DCU. En la **figura 2.5** se indica la interfaz del software mencionado.

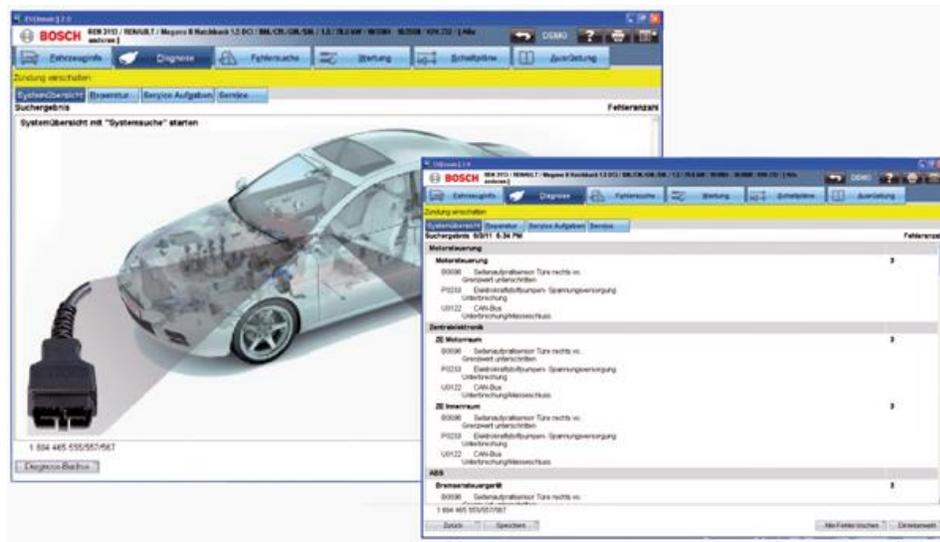


Figura 2.5 Interfaz de software ESI[tronic].

(Bosch, 2019)

2.3 Metodología

En la **Figura 2.6** se muestra el flujograma el cual detalla el proceso a seguir dentro de la elaboración del presente trabajo. De manera resumida se detallan los procesos que se deben ejecutar para la recopilación de datos, análisis de estos y finalmente la obtención de resultados. El flujograma hace evidente la importancia de la recopilación bibliográfica en la presente investigación, priorizando la base de datos del equipo FSA 740, además de los datos originales del fabricante.

Se detalla, además lo que se realizó en cuanto en selección del vehículo y los sensores que se utilizarán, además de los gases que serán analizados y los rangos en los que realizará la comparación de estos.

Se recalca también que cada dato tomado y comparado será realizado mediante el equipo FSA 740 de Bosch y cada uno de sus sub-equipos implementados.

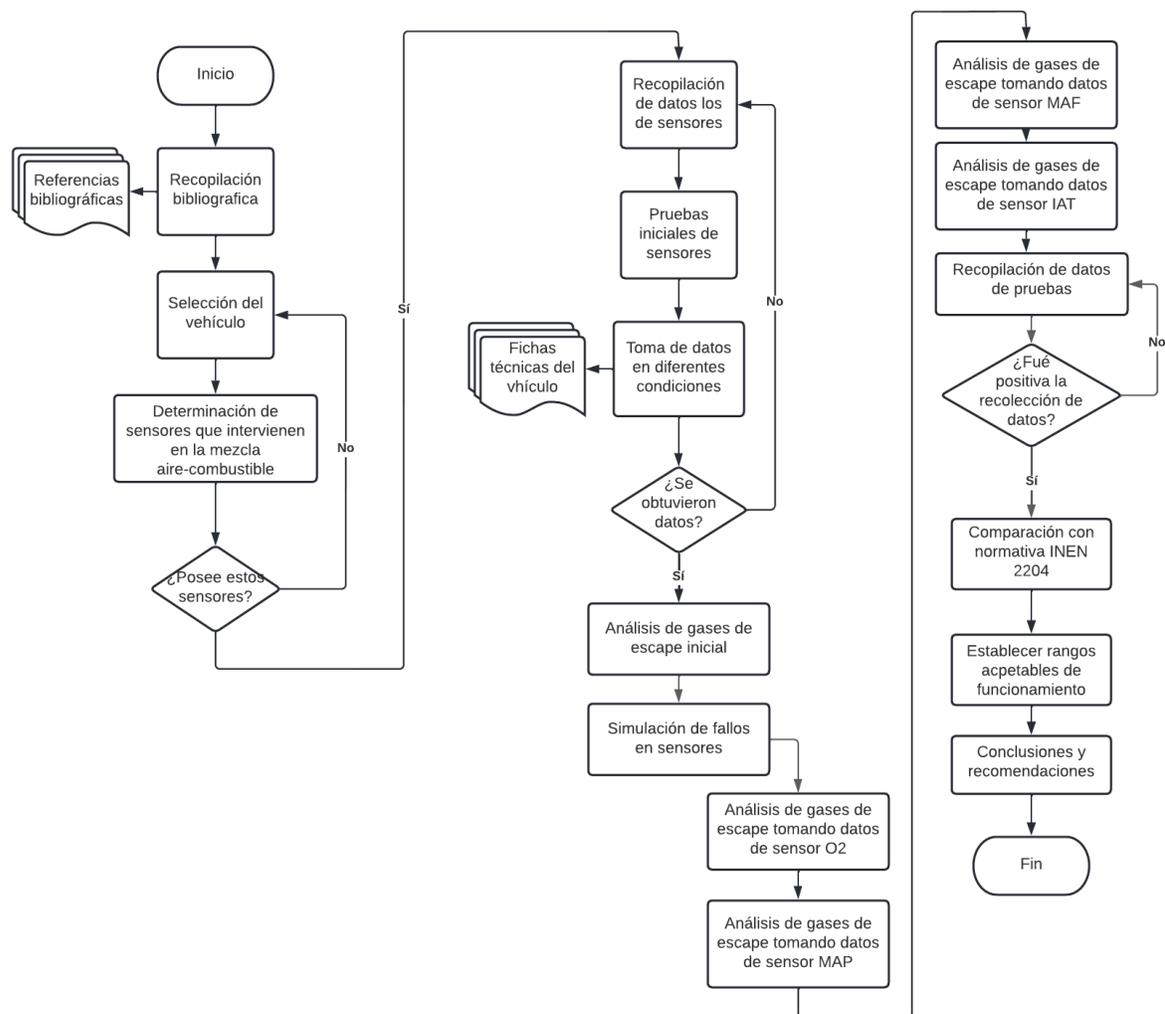


Figura 2.6 Flujograma.

2.3.1 Selección del vehículo

El vehículo se seleccionó mediante una búsqueda en función de los sensores que se especificó en los objetivos, cabe mencionar que, en el medio, no abundan automóviles que posean todos estos sensores en una gama media y baja. Esta búsqueda desembocó en un vehículo de marca Chevrolet de modelo Onix del año 2021 con un motor de 1000cc.

2.3.2 Determinación de sensores que intervienen en la mezcla aire- combustible

Después de una revisión bibliográfica y el conocimiento previo del vehículo seleccionado se conoció los sensores que intervienen de manera directa en la mezcla, siendo

estos: sensor de oxígeno (O₂), sensor de presión de aire de admisión (MAP), sensor de flujo de aire de admisión (MAF) y sensor de temperatura de aire de admisión (IAT), con los cuales cuenta el vehículo seleccionado.

Si bien cada sensor es de suma importancia en la gestión electrónica del vehículo, la revisión bibliográfica detalló la forma tipo estrategia que utilizan los motores turbo alimentados para la modificación de la mezcla, para la cual se basó para determinar los sensores más influyentes en la realización de la mezcla.

La investigación bibliográfica, así como las pruebas de tipo activación y desactivación de sensores permitieron la determinación de los sensores más influyentes en la mezcla, con lo que se continuó con su respectivo análisis.

Se procedió además a realizar pruebas de funcionamiento de tipo activación y desactivación de cada uno de estos sensores por lapsos, desactivando la función de estos sensores uno por uno con el objetivo de analizar las modificaciones que presenta la inyección de combustible sin la señal de dichos sensores, logrando determinar la jerarquía de los mismos en la gestión de inyección por medio del monitoreo del ajuste de combustible.

2.3.3 Recopilación de datos de sensores

En este punto, se realizó una investigación teórica y bibliográfica acerca del funcionamiento y rangos normales de cada sensor a analizar, se utilizó en gran parte la base de datos del mismo equipo FSA- 740 de Bosch. Mediante la interfaz KTS 560 implementada con el software ESI[tronic], la cual permitió un análisis del vehículo y un diagnóstico de la unidad de comando; así obteniendo información en tiempo real del funcionamiento de los sensores para luego ser comparada con los datos de funcionamiento real.

2.3.4 Pruebas iniciales de sensores

Para empezar las pruebas reales experimentales, se inició tomando datos naturales del vehículo, correspondencia del cableado, funcionamiento en ralentí, señales y revisión de flujos del vehículo en marcha. Todo esto con la ayuda del equipo FSA-740, utilizando sus funciones de osciloscopio, flujo de datos y prueba de sensores. Con estas pruebas iniciales se determinó en qué estado se encontraban los sensores seleccionados del vehículo y de esta manera iniciar con las pruebas para la obtención de datos necesarios para el proyecto en marcha.

2.3.5 Toma de datos en diferentes condiciones

Para este punto, se tomó datos reales experimentales realizando pruebas a distintos regímenes de funcionamiento, realizando pruebas a 1500 rpm, 2500 rpm y 3000 rpm, recopilando datos de tensiones y flujos de funcionamiento para posteriormente compararlos con la información bibliográfica investigada.

2.3.6 Análisis de gases de escape inicial

Utilizando el analizador de emisiones de escape BEA 050 implementado en el equipo FSA 740, el mismo que genera una guía del procedimiento de medición señalando las rpm a las cuales se debía mantener el vehículo y posteriormente mostrar los resultados. Se procedió a la toma inicial de datos de emisiones de escape en función de verificar el estado del vehículo, priorizando los gases y rangos establecidos en la normativa INNEN 2204 del año 2017, utilizada actualmente.

Para este punto, la referencia principal tomada para la realización de la medición inicial fue a partir de la normativa INNEN 2203, específicamente en el punto 5.4, el cual detalla el procedimiento de medición, sus condiciones iniciales que consisten en temperatura normal del vehículo, colocación del sistema de transmisión en neutro, revisión de perfectas condiciones del escape del vehículo, revisión del nivel de aceite de motor. Una vez cumplidas estas condiciones iniciales, se procede a la colocación de la sonda en el escape en marcha de ralentí, esperar cierto tiempo en la respuesta del equipo de medición y finalmente imprimir las lecturas.

2.3.7 Simulación de fallos de sensores

Se realizó una serie de simulaciones para cada sensor analizado, los mismos que permitieron analizar el funcionamiento y las estrategias que el vehículo utiliza al forzar condiciones distintas a las normales, así, estas desembocarán en una serie de variaciones en el factor lambda y por lo tanto en sus valores de emisiones de escape, los cuales serán estudiados y explicados.

Estas simulaciones realizadas permitirán observar y analizar las estrategias que el vehículo tomará al presentar condiciones no habituales, con lo que se espera documentar las reacciones del vehículo, sus variaciones en cuanto a voltajes y tiempos de activación, analizarlos y realizar un diagnóstico acerca de lo que ocurre en esos momentos a partir de sus emisiones de escape.

Los sensores, por lo general, presentan fallas o desperfectos tanto mecánico y eléctricos, es así como en base a las fallas existentes se seleccionó la falla a simular. De esta manera, en las siguientes tablas se indican las fallas mecánicas y eléctricas más comunes en los sensores seleccionados, se estableció las fallas que más afectan al ajuste de combustible.

Tabla 2.6 Averías Mecánicas sensor O2

Sensor O2				
Averías Mecánicas				
Avería	Descripción	Códigos Generados	Causas	Soluciones
Sonda lambda aceitosa (manchada de aceite)	Lecturas erróneas, voltajes mayores a 0.550V	P0132	Circuito del sensor O2 alto (B1, S1)	-Comprobar desgaste de anillos de cilindros, asientos de válvula. -Detectar y corregir fugas -Sustituir sonda
Sonda lambda mojada	Lecturas erróneas	P0130	Mal funcionamiento del circuito del sensor O2 (B1, S1)	Agua presente en la cámara de combustión -Comprobación de empaques. -Sustitución de sonda

En la tabla 2.6 se indica los fallos físicos más comunes para el sensor O2, además, muestra posibles soluciones y los códigos de error que normalmente emiten.

Tabla 2.7 Averías Eléctricas sensor O2

Sensor O2					
Averías Eléctricas					
Avería	Descripción	Códigos Generados	Causas	Soluciones	
Sensor en corto	Emite un voltaje entre 0.450 y 0.550 V	P0131	Bajo voltaje en el sensor de O2 (B1, S1)	-Sensor O2 se defectuoso. -Circuito abierto en la señal del sensor	- Limpiar sensor O2 -Verificar que la señal de voltios sea correcta -Remplazar sensor defectuoso
Falla de precalentador	No puede se emite una señal exacta a temperaturas bajas	P0141	Mal funcionamiento del circuito calentador del sensor de O2 (B1, S2)	-La resistencia del elemento calentador quizás es alta.	-Realizar inspección del sensor, en caso de encontrar inconsistencias
		P0155	Mal funcionamiento del circuito del calentador del sensor O2 (B1, S1)	-Cortocircuito interno en el elemento calentador.	elementos o cableado, repara o cambiar si es necesario.
		P0161	Circuito del sensor de oxígeno O2 bajo (B2, S2)	-Circuito de alimentación del elemento calentador en cortocircuito.	-Remplazar sensor -Comprobar resistencia del calentador de la sonda.
		P0167	Circuito del calentador del sensor de O2 (B2, S3)		
Problemas de cableado	Línea del sensor de oxígeno se encuentre interrumpida. No existe comunicación	P0140	Sensor O2 (S2, B1) actividad no detectada	-La señal del sensor de oxígeno puede estar en corto circuito.	Revisar el sistema de cables y sus conectores, en caso de que sea necesario reemplazar.

En la tabla 2.7 se indica una serie de posibles fallos eléctricos relacionados con el sensor O2, la misma que integra además una serie de posibles soluciones y los códigos de fallo normalmente generados.

Tabla 2.8 Averías Mecánicas Sensor MAF

Sensor MAF					
Averías Mecánicas					
Avería	Descripción	Códigos Generados	Causas	Soluciones	
Suciedad en sensor	Lecturas incorrectas causantes de mermas de potencia	P0103	Masa/ Volumen- aire entrada alta al circuito	-Adherencias de polvo. -Adherencias de aceite	-Mantenimiento y limpieza del sensor.
Sensor averiado	-Mermas de potencia en el motor. -Mayor consumo de combustible	P0103	Masa/ Volumen- aire entrada alta al circuito	-Término de vida útil del sensor. -Manipulación brusca	-Sustitución
Obstrucciones en la toma de aire	-Emisiones de humo negro. -Accionar de motor irregular	P0102	Entrada de baja tensión de circuito de flujo de masa	-Filtro de aire en mal estado -Fugas en la admisión	-Limpieza del sistema. -Cambio de filtro -Corrección de fugas

En la tabla 2.8 se muestra una serie de fallos físicos comunes que puede presentar el sensor MAF, además las posibles soluciones para cada fallo y los códigos de error que normalmente se generan por dichos fallos.

Tabla 2.9 Averías Eléctricas Sensor MAF

Sensor MAF					
Averías Eléctricas					
Avería	Descripción	Códigos Generados		Causas	Soluciones
Problemas con el circuito del sensor	La continuidad no está dentro de lo esperado y la corriente de aire enviada no es suficiente para el motor.	P0100	Mal funcionamiento del circuito del MAF	-Fugas de aire en la admisión -Cables y conectores desgastados -Sensor defectuoso	-Revisar cableado -Comprobar que el hilo caliente no tenga suciedad -Buscar fugas de aire en admisión -Reemplazar sensor
			Rendimiento incorrecto del sensor MAF	-Cables y conectores defectuosos -Errores en el sensor MAF	-Comprobar que no exista contaminación en el sistema de admisión
Señal de frecuencia defectuosa	Señal de frecuencia de este sensor no se encuentra dentro del rango necesario	P0101	Sensor MAF - entrada alta al circuito	-Cables desgastados o corroídos	-Verificar cableado -Comprobar que no exista fugas de vacío

La tabla 2.9 muestra los fallos eléctricos más comunes relacionados con el sensor MAF, la tabla expuesta además presenta una serie de soluciones posibles para cada fallo y sus respectivos códigos de error normalmente generados.

Tabla 2.10 Averías Mecánicas Sensor MAP

Sensor MAP					
Averías Mecánicas					
Avería	Descripción	Códigos Generados		Causas	Soluciones
Suciedad en el sensor	-Inestabilidad en ralentí. -Pérdidas de potencia	P0106	Rendimiento incorrecto de sensor de presión barométrica	-Adherencias de polvo -Adherencias de aceite -Corrosión	-Limpieza del sensor
Sensor roto	-Estancamiento de motor -Falta de respuesta al acelerar	P0107	Entrada baja en el circuito de presión absoluta	-Manipulación brusca. -Término de vida útil	-Sustitución
Fugas de vacío en múltiple de admisión	-Baja economía de combustible -Presencia de humo negro en emisiones. -Merms de potencia	P0108	Entrada de alta presión del circuito del MAP	-Mangueras sueltas. -Juntas defectuosas -Fisuras en el múltiple	-Comprobación de correcto uso de mangueras. -Sustitución de juntas defectuosas. -Corrección de fugas y fisuras

La tabla 2.10 muestra varios fallos físicos comunes que se relacionan con el sensor MAP, además muestra una serie de posibles soluciones y los códigos de error que se generan normalmente por dichos fallos.

Tabla 2.11 Averías Eléctricas Sensor MAP

Sensor MAP					
Averías Eléctricas					
Avería	Descripción	Códigos Generados	Causas	Soluciones	
Cable o conector defectuoso	-En ralentí el motor es inestable. -Expulsión de humo negro por el tubo de escape. -El motor puede perder velocidad.	P0106	Rendimiento incorrecto de sensor de presión barométrica	-Cable en cortocircuito interfiere la señal del sensor -Afectación de la tierra del sensor debido a corrosión	-Verificar que los parámetros del sensor se encuentren dentro de los rangos (Voltaje - Presión)
Cortocircuito en señal o referencia	-Dificultad al encender el motor. -En ralentí el motor es inestable. -La economía de combustible no es la adecuada.	P0107	Entrada baja en el circuito de presión absoluta	-los cables están presentando roce o desgaste, lo cual causa cortocircuito.	-Verificar voltaje de referencia -Revisar cables y conectores
Corto a tierra	-Inestabilidad al acelerar el vehículo. -Baja la economía de combustible.	P0108	Entrada de alta presión del circuito del MAP	-Cable de señal en corto circuito -Sensor defectuoso	-Verificar valores normales de voltaje a ralentí -Comprobar fugas de vacío

La tabla 2.11 muestra una serie de fallos eléctricos asociados al sensor MAP, muestra además las posibles soluciones para dichos fallos y los códigos de error generados.

Tabla 2.12 Averías Mecánicas Sensor IAT

Sensor IAT					
Averías Mecánicas					
Avería	Descripción	Códigos Generados	Causas	Soluciones	
IAT averiado	-Aumento en el consumo de combustible. -Inestabilidad en ralentí.	P0110	Mal funcionamiento del circuito del sensor IAT	-Sensor defectuoso. -Término de vida útil del sensor.	-Sustitución del sensor
Suciedad en el sensor	-Lecturas erróneas. -Aceleraciones excesivas. -Ralentí inestable	P0110	Mal funcionamiento del circuito del sensor IAT	-Adherencias de polvo	-Limpieza del sensor y conectores

La tabla 2.12 expone algunos fallos físicos asociados al sensor IAT, así como sus posibles soluciones y los códigos de error generados a partir de estos fallos.

Tabla 2.13 Averías Eléctricas Sensor IAT

Sensor IAT					
Averías Eléctricas					
Avería	Descripción	Códigos Generados	Causas	Soluciones	
Cortocircuito en el sensor IAT	-Luz Check Engine encendida. -Posiblemente el conductor no puede notar otros síntomas.	P0111	Mal funcionamiento del circuito del sensor IAT 1	Las conexiones entre el Sensor IAT y el PCM pueden ser deficientes.	-Medir resistencia -Revisar y verificar cables y conexiones
El circuito a tierra del sensor IAT puede estar en corto.	-Dificultad al encender el motor -El combustible dura menos. -Humo negro saliendo del escape.	P0112	Entrada del circuito del sensor IAT 1 baja	- No existe voltaje de referencia -Cortocircuito en cables y conexiones	-Verificar que el sensor se encuentre dentro de los rangos normales de funcionamiento -Verificar cableado

La tabla 2.13 indica varios fallos eléctricos comunes para el sensor IAT, además de sus posibles soluciones y los códigos de error generados a partir de los mismos.

2.3.8 Análisis de gases de escape tomando datos del sensor O₂

Con la sonda introducida en el tubo de escape y con regímenes de ralentí, 1500 y 2500 RPM, mediante el osciloscopio del equipo FSA 740, se realizó la revisión del flujo de datos de este sensor, analizando su rango de funcionamiento.

Seguidamente se desconectó la bobina del primer cilindro y se procedió a la realización de una nueva medición de gases de escapes, con el fin de simular un fallo relacionado al sensor de oxígeno y recopilación de nuevos datos.

Al desconectar una de las bobinas de encendido, se obtendrá una combustión incompleta, ya que la mezcla de aire y combustible que ingresa al primer cilindro no se combustionará, lo que desembocará en valores bastante diferentes a los iniciales en cuanto a gases de escape monitoreados por la sonda lambda.

Mediante esta simulación de fallo se espera captar y documentar los valores diferentes referentes a simular un fallo mecánico en este sensor; del mismo modo se acerca a fallos eléctricos relacionados con las conexiones propias del sensor, ya sea: un corto a masa, un corto a tierra o una falla en la alimentación. Por otro parte se observará los valores que son monitoreados por el sensor de oxígeno, además de las consecuencias de una combustión incompleta que se deben a las fallas descritas anteriormente. Se realizará la explicación de los valores obtenidos y un diagnóstico a partir de las emisiones contaminantes emitidas por el tubo de escape del vehículo seleccionado.

2.3.9 Análisis de gases de escape tomando datos de sensor MAP

Se realizó el análisis de los gases de escape mediante el equipo BEA 050 analizando además el comportamiento del sensor MAP mediante el osciloscopio del equipo a distintas RPM.

Como una simulación de fallo relacionado al sensor MAP, se procedió a quitar la tapa de ingreso de aceite ubicada en el tapa válvulas del motor del vehículo, reduciendo así el vacío existente en el múltiple de admisión y tomando estos datos a partir de esta simulación.

Al remover esta tapa mencionada, se evidenció una pérdida bastante significativa de presión en la admisión captada por el sensor MAP, la cual fue de 1,65KPa y se la apreció mediante el flujo de datos tomada con el escáner del equipo FSA 740 y siendo evidente en el comportamiento del vehículo.

Mediante esta simulación realizada se espera documentar los datos obtenidos y su diferencia a partir de las condiciones normales tomadas inicialmente, documentar además lo que produce una pérdida de vacío en la admisión y hasta qué punto los valores no cambian de manera tan significativa por una pérdida de vacío. Se espera, además analizar la diferencia existente entre la cantidad de cada gas de escape mencionado, explicándolo y realizando un diagnóstico a partir del mismo. Por otra parte, la intención de esta simulación es generar una aproximación a una falla mecánica real, ya sea esta un desperfecto en cuanto a una fuga de vacío dentro del sistema de admisión y también relacionado a cuestiones eléctricas, propias de un desperfecto en el sensor y sus conexiones; ya sea esto influencia de una mala alimentación, un circuito abierto o un corto a masa. Estas condiciones generalmente van a producir desperfectos en cuanto al ajuste de combustible.

2.3.10 Análisis de gases de escape tomando datos de sensor MAF

Con la sonda de medición del equipo BEA 050 introducida en el tubo de escape y con regímenes de ralentí, 1500 y 2500 RPM, se realizó el análisis de los gases de escape. Con la ayuda del osciloscopio que posee el equipo FSA 740, se realizó la revisión del flujo de datos de este sensor, analizando su rango de funcionamiento y sus gráficas de funcionamiento.

Para continuar con la toma de datos relacionados con el MAF, seguidamente se tomó una muestra de gases de escape aumentando el flujo normal de aire del ambiente con la ayuda de un secador de cabello en dirección del depurador, simulando una falla para el MAF, tomando nuevos valores que serán expuestos en la sección de resultados.

La simulación mencionada se la realizó mediante un secador de cabello industrial, el cual, accionándolo de manera directa a la toma de aire, aumentó el flujo de aire normal obtenido en condiciones estáticas del vehículo, aumentándolo en 0,20 g/s desde su medida normal.

Con esta prueba se espera tomar datos que asemejen condiciones externas al lugar realizado, o a su vez conducciones de hasta 15km/h, teniendo en cuenta que al aumentar el

flujo de aire se espera también un aumento de combustible inyectado, con lo que se monitoreará el ajuste lambda para este punto, seguidamente se analizarán valores con lo que se espera poder explicarlos y la realización de un diagnóstico por medio de su cambio en las emisiones de escape.

2.3.11 Análisis de gases de escape tomando datos de sensor IAT

Con la sonda de medición del equipo BEA 050 ubicada en el interior del tubo de escape se tomó las diferentes medidas de emisiones de escape a distintos regímenes. Mediante el escáner y osciloscopio del equipo FSA 740, se realizó la revisión del flujo de datos de este sensor, analizando su rango de funcionamiento y las ondas emitidas por este sensor.

Con la utilización de un secador de cabello, se simuló una temperatura mayor de aire de admisión, con lo que se tomó nuevos datos en los gases de escape, los mismos que serán expuestos a continuación.

Mediante esta simulación, al soplar aire ligeramente con mayor temperatura, se aumentó la temperatura del aire de admisión entre 3 y 5°C, con lo que se procedió a la documentación de una condición diferente a la normal obtenida previamente.

Con esta prueba se espera monitorear los cambios efectuados en cuanto al ajuste de combustible mediante el factor lambda, simulando días más calurosos o a su vez lugares diferentes hasta cierto punto, con lo que se procederá a la respectiva explicación de los datos obtenidos y un diagnóstico realizado a partir de los gases emitidos por el escape.

2.3.12 Recopilación de datos de pruebas

Una vez ejecutadas cada una de las pruebas en los sensores seleccionados se recopiló la información de estos, con el fin de analizar los valores tanto de las emisiones de gases de escape, como de los valores de funcionamiento de estos sensores. Realizando un análisis a cada una de las gráficas generadas por los sensores se evidenció los valores en los cuales funcionan.

2.3.13 Comparación con normativa INEN 2204

Todos los datos obtenidos luego de las pruebas de emisiones de gases de escape se compararon con la normativa de emisiones vigente en nuestro territorio. Además, de esta

manera se determinó si el vehículo que se está sometiendo a las pruebas cumple o no con la normativa mencionada.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Es importante mencionar que las pruebas prácticas mostradas a continuación fueron realizadas en su totalidad en el interior del taller principal de la carrera de Ingeniería Automotriz de la Universidad Técnica del Norte, campus El Olivo.

Se mostraron las siguientes condiciones:

- Altura: 2225 msnm
- Presión atmosférica: 70kPa
- Temperatura media: 25°C
- Ubicación: Universidad Técnica del Norte

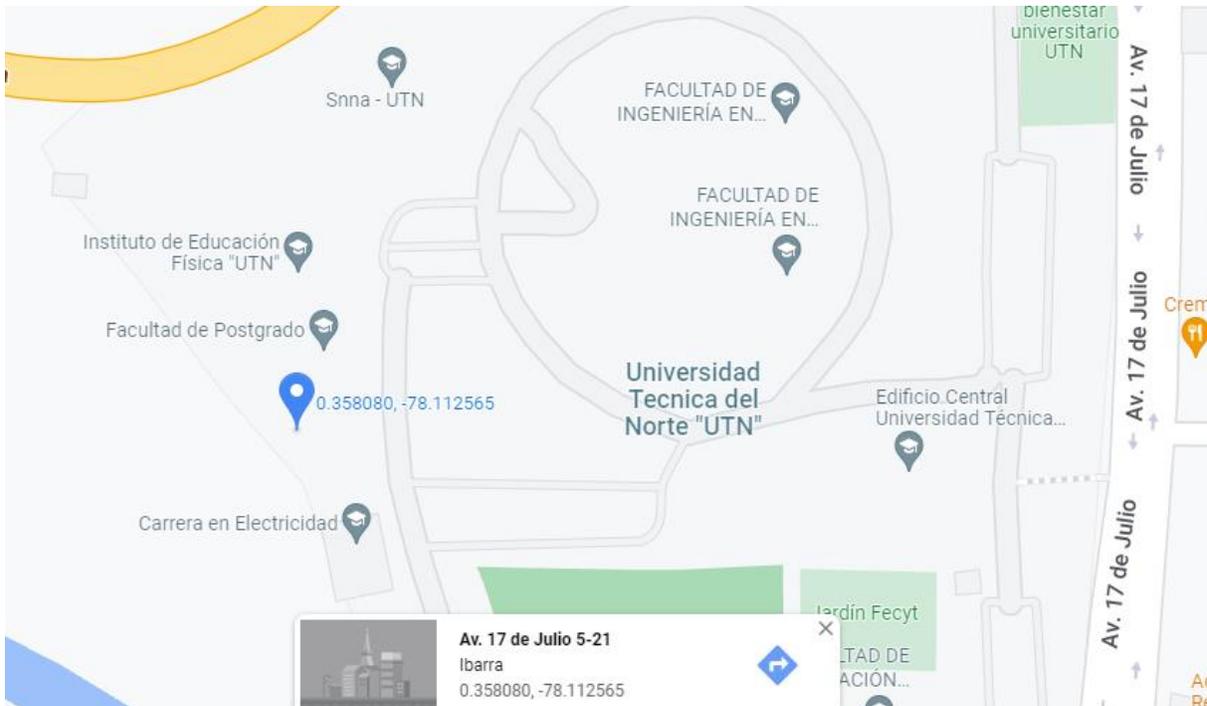
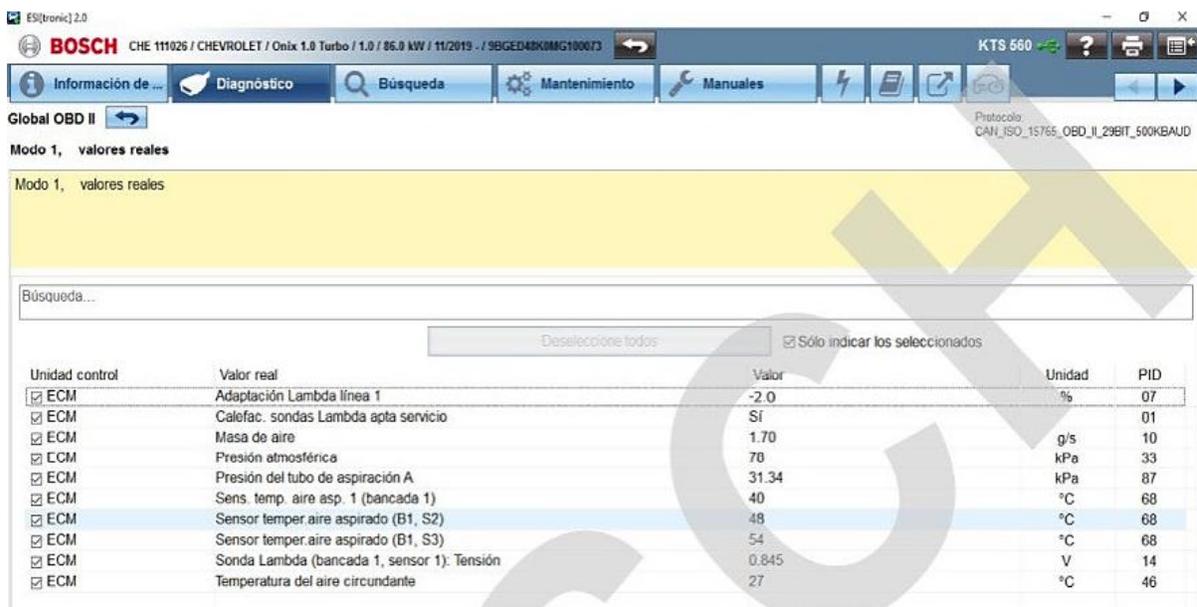


Figura 3.1 Ubicación del Taller de Ingeniería Automotriz

3.1 Resultado de determinación de sensores que intervienen en la mezcla aire- combustible

La determinación de los sensores que intervienen en la mezcla aire-combustible se la realizó mediante una prueba de comprobación y con la ayuda del equipo Bosch FSA 740, el cual posee la interfaz de diagnóstico a bordo denominada KTS 560. Esta interfaz cuenta con un conector DLC, de esta manera se procedió a conectar esta interfaz al vehículo para leer los datos de funcionamiento en tiempo real a través de la opción de Global OBD II.

Dentro de la opción de Global OBD II, a través del modo 1 se seleccionó los valores reales, tales como los valores de tensión de cada uno de los sensores, como los valores de corrección de la mezcla aire-combustible para visualizar la variación en cada uno de ellos.



Unidad control	Valor real	Valor	Unidad	PID
<input checked="" type="checkbox"/> ECM	Adaptación Lambda línea 1	-2.0	%	07
<input checked="" type="checkbox"/> ECM	Calefac. sondas Lambda apta servicio	Si		01
<input checked="" type="checkbox"/> ECM	Masa de aire	1.70	g/s	10
<input checked="" type="checkbox"/> ECM	Presión atmosférica	70	kPa	33
<input checked="" type="checkbox"/> ECM	Presión del tubo de aspiración A	31.34	kPa	87
<input checked="" type="checkbox"/> ECM	Sens. temp. aire asp. 1 (bancada 1)	40	°C	68
<input checked="" type="checkbox"/> ECM	Sensor temper. aire aspirado (B1, S2)	48	°C	68
<input checked="" type="checkbox"/> ECM	Sensor temper. aire aspirado (B1, S3)	54	°C	68
<input checked="" type="checkbox"/> ECM	Sonda Lambda (bancada 1, sensor 1): Tensión	0.845	V	14
<input checked="" type="checkbox"/> ECM	Temperatura del aire circundante	27	°C	46

Figura 3.2 Valores Reales con vehículo a ralentí

En la figura 3.2 se muestran los valores reales de los sensores y de la adaptación lambda, esta adaptación da a conocer la corrección de la mezcla aire-combustible. Se tomo

este valor como el dato más importante ya que en función de la adaptación lambda se genera la mezcla y por ende esto influye en la calidad de gases de escape que se generan.

Seguido de esto se procedió a desconectar el sensor de oxígeno mientras el vehículo se encontraba encendido y en ralentí. Y de esta manera se obtuvo los valores que se muestran en la figura 3.3.

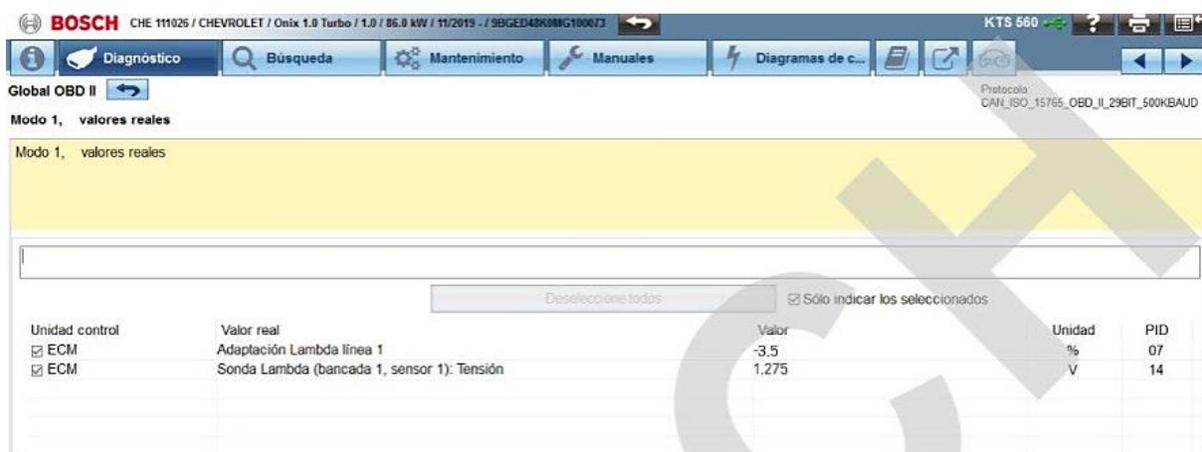


Figura 3.3 Valores Reales con sensor de oxígeno desconectado

En la figura 3.3 se observa los datos obtenidos mediante el modo 1 de Global OBD II, aquí se indica los valores que resultaron cuando se desconectó el sensor de oxígeno. En este punto se apreció un notable cambio en el rendimiento del motor, el cual luego de un momento empezó a estabilizarse. El valor más relevante que se logró observar es la adaptación lambda, la misma que se encontraba de igual manera en un porcentaje negativo, el cual corresponde a -3.5 %; dando a conocer así que el ajuste de combustible se encuentra dentro de una mezcla rica ya que la corrección elaborada, envía mayor cantidad de combustible en función de mantener el vehículo encendido al no contar con todos los datos censados normalmente. Luego de esta prueba se procedió a la desconexión del sensor MAF-IAT, en este caso estos dos sensores comparten el conector, esto debido a que los dos sensores se encuentran en el

mismo cuerpo. De esta manera, al realizar esta prueba, se obtuvo los datos que se indican en la figura 3.4.

Modo 1, valores reales

Modo 1, valores reales

Deseleccionar todos Sólo indicar los seleccionados

Unidad control	Valor real	Valor	Unidad	PID
<input checked="" type="checkbox"/> ECM	Adaptación Lambda línea 1	-5.5	%	07
<input checked="" type="checkbox"/> ECM	Masa de aire	0.00	g/s	10
<input checked="" type="checkbox"/> ECM	Mezcla combustible/aire	0.999		44
<input checked="" type="checkbox"/> ECM	Presión atmosférica	255	kPa	33
<input checked="" type="checkbox"/> ECM	Presión del tubo de aspiración A	32.34	kPa	87
<input checked="" type="checkbox"/> ECM	Sonda Lambda (bancada 1, sensor 1): Tensión	0.080	V	14
<input checked="" type="checkbox"/> ECM	Temperatura del aire aspirado	-40	°C	0F

Figura 3.4 Valores Reales con sensor MAF-IAT desconectado

En la figura 3.4 se indican los valores reales obtenidos luego de la desconexión del sensor. De igual manera el valor más relevante que se tomó en cuenta es la adaptación lambda, la misma que indica un valor de -5.5 %; de esta manera se entendió que la desconexión de este sensor generó un cambio notable en el ajuste de la mezcla, además de advertir una merma de rendimiento del vehículo. Además, se obtuvo reacciones adicionales, como el encendido del electroventilador y un aumento en el régimen de ralentí. Por otra parte, se generaron códigos de falla los cuales se indican en la figura 3.5.

Modo 3/7/A, lectura de memoria de averías

Modo 3/7/A, lectura de memoria de averías Estado MIL conectado Códigos de avería en total: 7

Código de error	Unidad control	Estado	Ruta	Tipo
P0102	ECM	Error almacenado	Medidor de masa de aire / Medidor de caudal de aire	Señal muy pequeña
U1346	ECM	Error almacenado		
P0102	ECM	Fallos pendientes	Medidor de masa de aire / Medidor de caudal de aire	Señal muy pequeña
U060F	ECM	Fallos pendientes		
U1346	ECM	Fallos pendientes		
P0102	ECM	Fallo estática	Medidor de masa de aire / Medidor de caudal de aire	Señal muy pequeña
U1346	ECM	Fallo estática		

Test Readiness

ECM	Identificación fallos disp. servicio	Sí	Identificación de fallos finalizada	Sí
ECM	Sistema de combustible apto servicio	Sí		
ECM	Otros componentes aptos p. servicio	Sí	Otros componentes finalizados	Sí
ECM	Catalizador apto para el servicio	No	Catalizador finalizado	No
ECM	Sonda Lambda apta para el servicio	No	Sonda Lambda finalizada	No
ECM	Calefac. sondas Lambda apta servicio	No	Calefacción sondas Lambda finalizada	No

Volver

Figura 3.5 Códigos de falla de sensor MAF-IAT

Una vez borrados los códigos de error que se generaron luego de esta prueba, se procedió a realizar la prueba de desconexión del sensor MAP. Regresando nuevamente al modo 1 de diagnóstico, se logró observar los valores reales que resultaron al realizar esta prueba. En la figura 3.6 se muestra los valores reales obtenidos.

Modo 1, valores reales

Búsqueda...

Sólo indicar los seleccionados

Unidad control	Valor real	Valor	Unidad	PID
<input checked="" type="checkbox"/> ECM	Adaptación Lambda línea 1	-8.6	%	07
<input checked="" type="checkbox"/> ECM	Masa de aire	1.51	g/s	10
<input checked="" type="checkbox"/> ECM	Presión atmosférica	78	kPa	33
<input checked="" type="checkbox"/> ECM	Presión del tubo de aspiración A	434.78	kPa	87
<input checked="" type="checkbox"/> ECM	Sonda Lambda (bancada 1, sensor 1): Tensión	0.865	V	14
<input checked="" type="checkbox"/> ECM	Temperatura del aire circundante	26	°C	46

Figura 3.6 Valores Reales con sensor MAP desconectado

En la figura 3.6 se indican los valores reales obtenidos luego de la desconexión del sensor. El valor más relevante que se tomó en cuenta es la adaptación lambda, la misma que indica un valor de -8.6 %. Con este valor se entendió que la desconexión de este sensor generaba un ajuste de combustible negativo, de esta manera obteniendo una mezcla bastante enriquecida dentro del sistema de inyección.

Al término de la realización de la desconexión de cada sensor descrito anteriormente, se mostraron resultados bastante lógicos, obteniendo, según la adaptación lambda la jerarquización de los sensores en cuanto a la variación que generaron en la misma. Obteniendo, de mayor a menor jerarquización, la siguiente lista.

1. Sensor de presión absoluta
2. Sensor de flujo de aire de admisión
3. Sensor de temperatura de aire de admisión
4. Sensor de oxígeno

En este caso, es evidente la mayor gestión realizada por el sensor MAP, ya que al ser un motor turbo alimentado, este sensor es el que recepta la mayor información acerca de la cantidad de aire que va a combustionares, lo cual fue evidente en su valor de -8.6% en la adaptación lambda, mostrando una mezcla rica generada a partir de su desconexión.

En segundo lugar, según la variación lambda, se encontró al sensor MAF, el cual resulta bastante influyente en la generación y modificación de la mezcla a partir de su gestión en la variación de los tiempos de inyección, evidenciándolo por su valor de -5.5% en la variación a partir de su desconexión.

Seguidamente se encontró la gestión del sensor IAT, el cual, a pesar de su limitada variación, presenta una autoridad capaz de modificar en bajos niveles la dosificación de combustible. Finalmente se encontró la gestión del sensor de oxígeno, el cual, al ser desconectado, presentó una modificación del -3,5%, mostrando una ligera variación orientada a enriquecer la mezcla.

En la tabla 3.1 se indica, a manera de resumen, la jerarquía de los sensores, la adaptación lambda y el tipo de mezcla que genera luego de la desconexión de cada uno de ellos.

Tabla 3.1 Jerarquía de Sensores seleccionados

Jerarquía	Sensor	Adaptación lambda	Mezcla
1	MAP	-8.6%	Rica
2	MAF	-5.5%	Rica
3	IAT	-5.5%	Rica
4	O2	-3.5%	Tendencia a la riqueza

Condiciones de Operación

- **Altura:** 2225msnm
- **P. Atm:** 70 kPa
- **Temperatura:** 25°C
- **Prueba:** Estática

La jerarquización mostrada pone en primer lugar al sensor MAP ya que muestra la mayor variación del ajuste de combustible en su desconexión, debido a ser un motor turbo alimentado, el sensor MAP comanda la inyección por medio de su gestión. El sensor de oxígeno muestra la menor gestión al momento de modificar la mezcla, obteniendo valores que tienden a la riqueza, pero en menor proporción, este sensor tiene la capacidad de una modificación bastante precisa, pero en muy pequeños rangos.

Cabe mencionar que los valores negativos en el ajuste de combustible hacen referencia a mezclas ricas, donde se obtienen valores lambda menores a 1.

3.2 Resultado de la recopilación de datos de sensores

Como se indicó anteriormente, con la ayuda del equipo Bosch FSA 740 se recopiló los datos de funcionamiento de los sensores que se seleccionaron previamente. Para conocer estos valores se utilizó la interfaz KTS 560, el cual es un escáner automotriz para analizar los sistemas del vehículo mediante OBD II.

Al tratarse de un vehículo nuevo, no fue posible acceder a los datos del fabricante para observar de manera más detallada toda la información de los sensores seleccionados y del funcionamiento del vehículo en sí. De esta manera se accedió a los valores reales mediante Global OBD II y utilizando el modo 1 de diagnóstico, en este modo se muestran los datos reales del vehículo, el cual se encontraba en ralentí. Es importante mencionar que el modo 1 del Global OBD II solo reflejó el valor de voltaje del sensor de oxígeno, es así como fue necesario investigar bibliográficamente los valores de voltaje de los demás sensores y el cableado de estos y así se logró conocer a que corresponde cada uno de los cables del conector de estos sensores.

3.2.1 Datos sensor MAF - IAT

En este caso, el sensor de flujo de aire de admisión (MAF) y el sensor de temperatura de aire de admisión (IAT), se encuentran en conjunto, es decir que comparten la misma masa y alimentación en el mismo conector, emitiendo sus señales de manera independiente hacia la ECU.

Cabe mencionar que la ubicación de este conjunto de sensores se encuentra bastante accesible y fácil de manipulación, ubicándose en la toma de aire como se muestra en la figura 3.7.

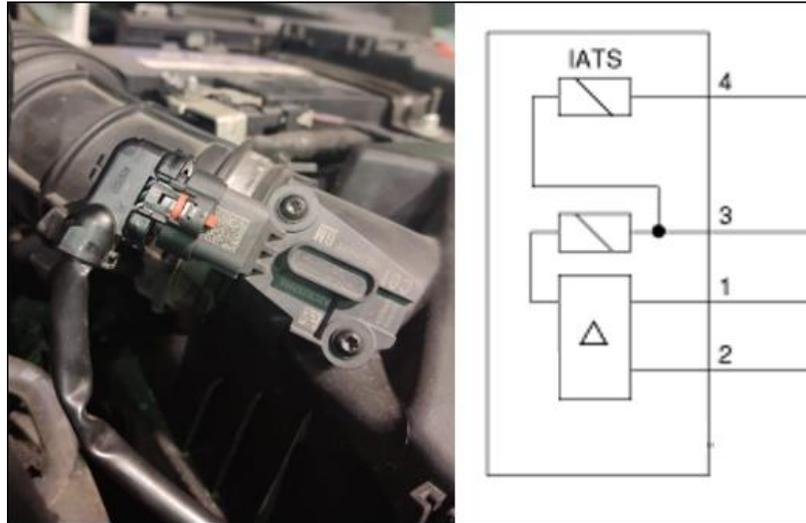


Figura 3.7 Ubicación sensor MAF-IAT

El conjunto MAF-IAT en este caso cuentan con cuatro cables, los cuales corresponden de la siguiente manera:

- Cable violeta- azul: alimentación de sensores, equivalente a 5V.
- Cable verde- Blanco: Señal del sensor MAF
- Cable blanco: Señal del sensor IAT
- Cable negro: Masa compartida

Es preciso mencionar que el reconocimiento del cableado se lo realizó únicamente de manera práctica debido a que la base de datos del FSA 740 no contaba con la información requerida del vehículo utilizado.

Sensor MAF. En primera instancia, con la gestión del escáner KTS 560 en modo 1, se conoció el flujo normal de este sensor en ralentí, obteniendo el dato de una entrada de 1.7 g/s de aire como muestra la figura 3.2.

Sensor IAT. De igual manera, se obtuvo el dato inicial por medio del escaneo del sistema, observando un valor de temperatura de 27°C en el aire de admisión como muestra la figura 3.2.

3.2.2 Datos sensor MAP

Para el sensor MAP, al igual que los sensores anteriormente analizados, se realizó el reconocimiento del cableado de manera práctica, este sensor cuenta con 4 cables, para lo cual se obtuvo las siguientes lecturas:

- Cable verde: Masa
- Cable Blanco: Señal
- Cable gris: Alimentación
- Cable naranja: Señal de temperatura

La ubicación del sensor de la presión absoluta de este vehículo se localizó sobre el múltiple de admisión, facilitando la manipulación de este, como se muestra en la figura 3.8.

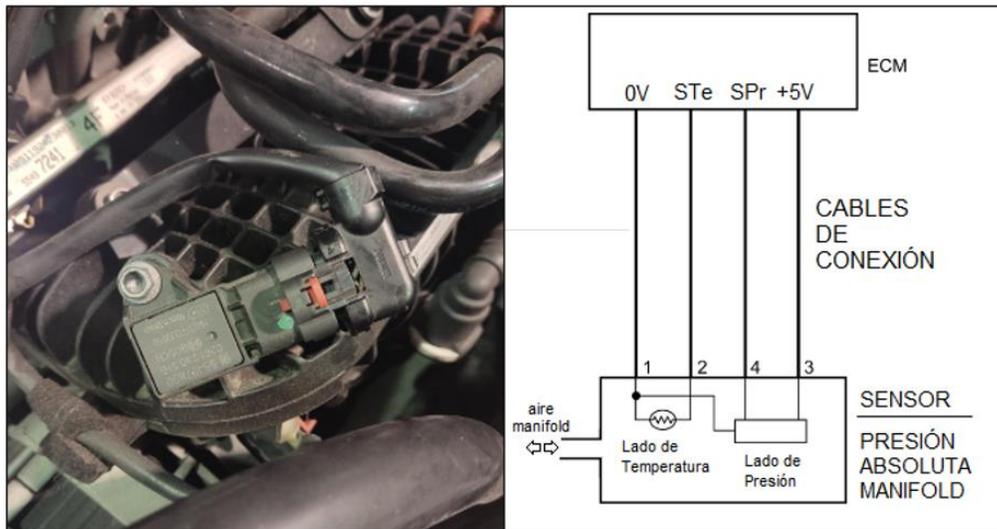


Figura 3.8 Sensor MAP

Mediante el KTS 560, se logró obtener el flujo normal de este sensor en ralentí, obteniendo valores de 31,34 kPa y una temperatura en el múltiple de 54°C, para posteriormente ser comprobado mediante el uso del osciloscopio.

3.2.3 Datos sensor O2

Como se indicó anteriormente el único dato que se logró visualizar mediante el equipo Bosch FSA 740, fue el voltaje el cual corresponde a 0.845 V. De esta manera se investigó bibliográficamente todo lo que tiene que ver con el cableado de este sensor. Inicialmente fue necesario ubicar el sensor y su respectivo conector, el cual se encontraba en el compartimiento del motor en un lugar muy accesible, en la figura 3.9 se indica el conector del sensor.

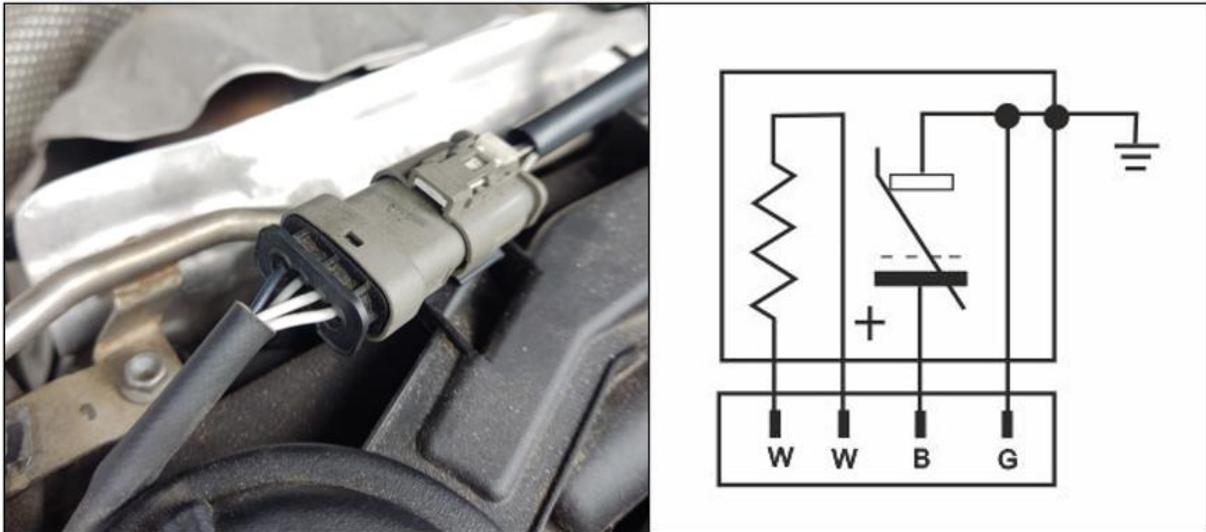


Figura 3.9 Sonda lambda (Sensor O2)

Como se indica en la figura 3.9 el conector de la sonda lambda posee 4 cables, esto debido a que se trata de una sonda de tipo calefactada. Es así como mediante información bibliográfica se determinó la correspondencia de cada uno de los cables, en la figura 3.10 se indica a que corresponde cada uno de los cables que fueron identificados.

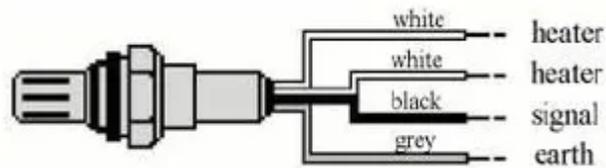


Figura 3.10 Correspondencia de cables sonda lambda (sensor O2)

(goweb, 2015)

Dentro de los datos importantes de este sensor, fue necesario conocer la gráfica que se genera al utilizar el osciloscopio. De la misma manera, fue necesaria una investigación

bibliográfica para conocer la gráfica estándar de este sensor. En la figura 3.11 se indica la gráfica de una sonda lambda de tipo calefactada.



Figura 3.11 Oscilograma de sonda lambda (sensor O2)

(Autoscope, 2018)

3.3 Resultado de las pruebas iniciales en sensores

Una vez conocidos todos los datos importantes y necesarios de los sensores seleccionados, se procedió a realizar las pruebas iniciales de cada uno de estos, esto con la finalidad de conocer su estado real de funcionamiento. Cabe mencionar que el vehículo con el que se trabajó es del año 2021 y un recorrido de 26000 km, de esta manera se entendió que los sensores se encontraban en buen estado, lo cual se corroboró luego de finalizar las pruebas.

Las pruebas iniciales que se realizaron consistían en la utilización del osciloscopio provisto en el equipo Bosch FSA 740 y de esta manera se obtuvo las gráficas de funcionamiento de cada uno de los sensores. Estas pruebas se realizaron con el vehículo en funcionamiento y en condición de ralentí, sin ninguna clase de aceleración o carga. En la

figura 3.12 se muestra el vehículo con el que se realizó las pruebas y el equipo Bosch FSA 740.



Figura 3.12 Vehículo y equipo Bosch FSA 740

3.3.1 Resultados sensor O₂

El osciloscopio del equipo Bosch FSA 740 proporcionó el oscilograma de funcionamiento del sensor de oxígeno. Para esto con los dos terminales del osciloscopio se procedió a conectar a los cables de señal y masa de el sensor ya mencionado. Una vez realizada la conexión en el conector del sensor, se obtuvo el oscilograma que se muestra en la figura 3.13.

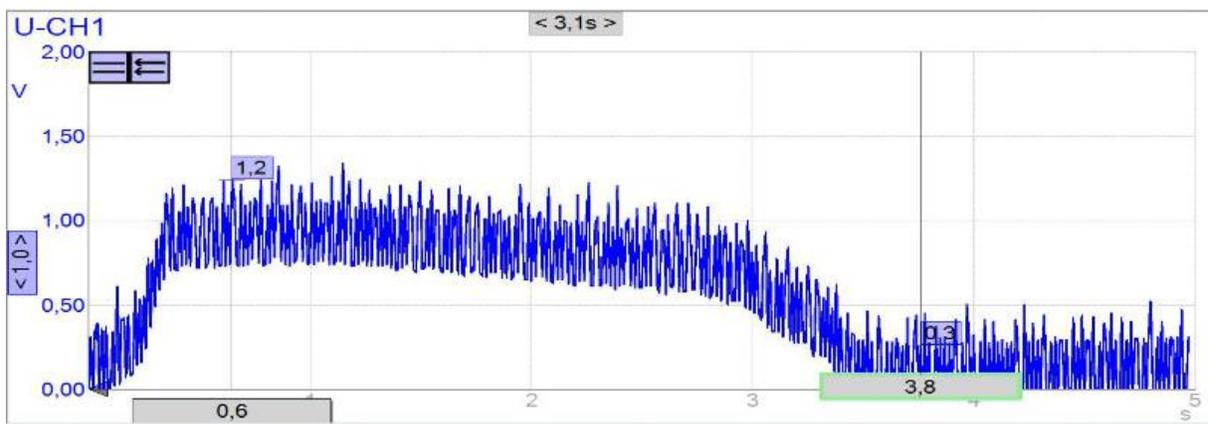


Figura 3.13 Oscilograma de sensor O2 con motor a ralentí

En el oscilograma presente en la figura 3.13 se logró observar el funcionamiento del sensor de oxígeno y el cual describe cuando el motor se encuentra en ralentí, sin ninguna clase de aceleración ni carga adicional. El osciloscopio que se utilizó contiene cursores los cuales permitieron conocer los rangos de voltaje en los cuales estaba trabajando este sensor; de esta manera se logró visualizar que el rango mínimo de funcionamiento de este sensor es de 0.3 V y su rango máximo es de 1.2 V, es importante mencionar que estos valores se encontraban dentro del el rango de funcionamiento que se investigó anteriormente.

3.3.2 Resultados sensor MAF

Una vez que se determinó la correspondencia de cables en el sensor MAF se procedió a la conexión de los terminales del osciloscopio en los cables del conector correspondientes a señal y masa, respectivamente, para obtener el oscilograma de funcionamiento, la mismo que se indica en la figura 3.14.



Figura 3.14 Oscilograma de sensor MAF con motor a ralentí

En el oscilograma que se muestra en la figura 3.14 detalla el funcionamiento del sensor MAF con el motor a ralentí. Se muestra una señal de tipo senoidal la cual describe un patrón, este patrón da a conocer un tiempo de activación y uno de desactivación; esto similar a una señal tipo PWM, el cual es un ancho de pulsos modulados. Por otra parte, los cursores que contiene el osciloscopio permitieron conocer los valores mínimos y máximos de voltaje, los cuales van desde los 0.6 V a 5.0 V; estos valores de tensión coinciden con los que se investigó anteriormente, es así como de esta manera se confirma que el sensor está en óptimas condiciones de funcionamiento.

3.3.3 Resultados sensor IAT

Seguidamente y con tan solo cambiar de posición la punta positiva del osciloscopio hasta el cable blanco del conector manipulado, se obtuvo el oscilograma mostrado en la figura 3.15.

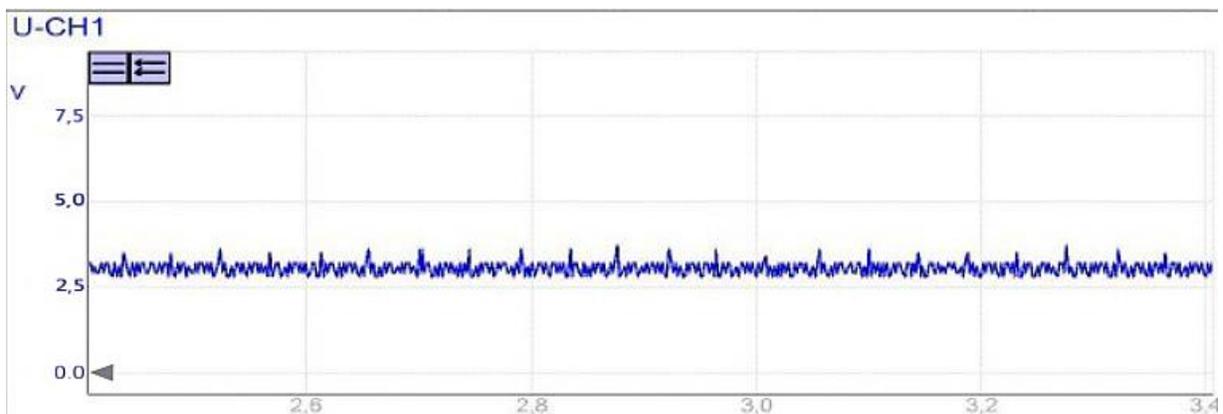


Figura 3.15 Oscilograma del sensor IAT con motor a ralentí

La figura 3.15 muestra el oscilograma del sensor IAT, el cual presenta una línea bastante uniforme debido a que la señal de este sensor se mantiene constante la mayoría de tiempo de su trabajo.

Es posible observar que el oscilograma presenta un valor cercano a los 3 V, el cual coincide con la bibliografía revisada con anterioridad, mostrando una gráfica característica para este sensor y por lo tanto un correcto funcionamiento de este.

3.3.4 Resultados sensor MAP

Una vez que se determinó la correspondencia de cables en el sensor MAP se procedió a la conexión de los terminales del osciloscopio en los cables del conector correspondientes a señal y masa, respectivamente, para obtener el oscilograma de funcionamiento que se indica en la figura 3.16.

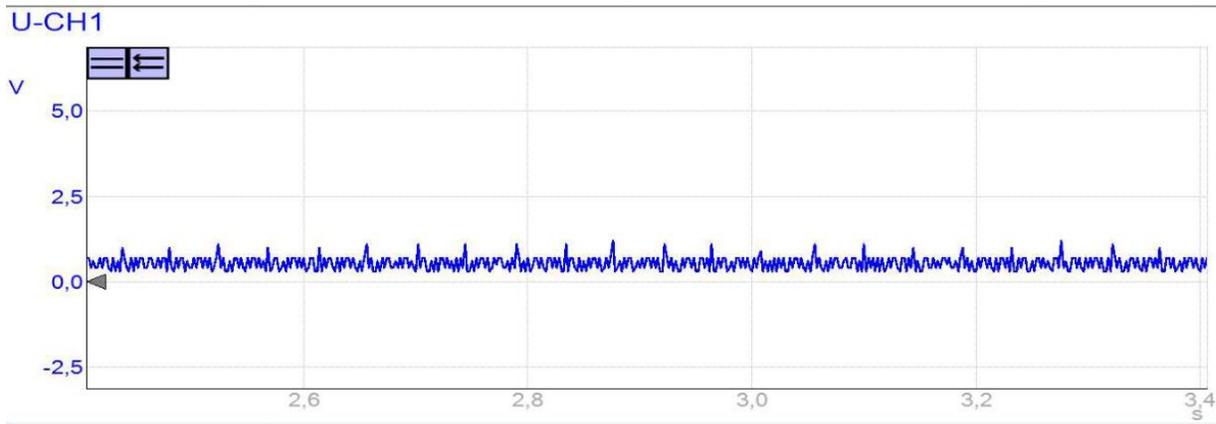


Figura 3.16 Oscilograma de sensor MAP con motor a ralentí

Con la ayuda del osciloscopio se logró obtener el oscilograma de funcionamiento del sensor MAP, esto en condición de ralentí, la mismas que se indica en la figura 3.16. Aquí se logra apreciar la curva característica que describe este sensor, se observa que no existe fluctuaciones en cuanto al valor de voltaje, esto se debe a que como el vehículo se encontraba en ralentí, la presión de vacío era el mismo en todo el tiempo en el cual se encontraba encendido el vehículo. El valor de voltaje que se describe corresponde a 1.0 V y refleja que existe 31 kPa de presión en el tubo de aspiración, este dato se logró visualizar en los datos reales proporcionados por el escáner del equipo Bosch FSA 740 mostrados en la figura 3.2.

3.3.5 Resumen de toma de datos iniciales

Los datos iniciales se los recopiló en régimen de ralentí, los cuales se detallan en la tabla 3.2:

Tabla 3.2 Valores de sensores en ralentí

Sensores	Voltaje de referencia (V)	Voltaje de funcionamiento (V)	Resistencia (Ω)	Tiempo de activación
670 rpm				670 rpm
MAF	0.6 – 5.0	-	-	0.28ms
IAT	0.5 – 5.0	2.7	340 - 0	-
MAP	0.2 – 4.8	1.0	-	-
O2	0.3 – 1.2	0.75	-	3.8s
Condiciones de Operación				
- <i>Altura:</i> 2225msnm				
- <i>P. Atm:</i> 70 kPa				
- <i>Temperatura:</i> 25°C				
- <i>Prueba:</i> Estática				

La tabla 3.2 expone los valores obtenidos en régimen de ralentí por medio del osciloscopio, las cuales serán comparadas y analizadas en los siguientes apartados.

Cabe mencionar que se tomó los valores variables para cada sensor, teniendo tiempos de activación para el sensor MAF y O2 ya que el voltaje para el sensor MAF se mantiene fluctuando normalmente entre 0,6 y 5V sin modificaciones y para el sensor O2 entre 0,2 y 1,1V. Mientras que para los sensores IAT y MAP sus variables resultan los valores de voltaje.

Es importante mencionar que los espacios de la tabla 3.2 que no poseen valores hacen referencia a datos que no han sido tomados en cuenta y que no tienen una relación directa con el análisis que se realizó.

3.4 Resultado de la toma de datos en diferentes condiciones

La recopilación de datos a diferentes condiciones se las realizo sometiendo al vehículo a diferentes revoluciones por minuto, a la vez se realizaba la toma de datos gráficos que proporcionaba el osciloscopio y los valores reales que generaba el escáner mediante el equipo Bosch FSA 740. Se realizó 3 pruebas las cuales fueron a 1500 rpm, 2500 rpm y 3000 rpm con la finalidad de conocer los rangos de funcionamiento de cada sensor en cuanto a voltajes y tiempos de activación respectivamente.

Para obtener los distintos regímenes de trabajo, se oprimió el pedal del acelerador hasta obtener cada una de estas rpm, lo cual podría presentar ciertos problemas en la precisión de las mediciones obtenidas, variando en pequeños rangos los resultados finales. Una vez realizada la recopilación de todos los datos en cada una de estas pruebas serán analizadas y comparadas más adelante.

3.4.1 Pruebas a 1500 rpm

Como se lo menciono anteriormente, para estas pruebas se sometió al vehículo a diferentes condiciones en función de las revoluciones del motor, en este caso a 1500 rpm se observó un cambio en el oscilograma, el cual describía una variación en los valores al compararlos con los datos a ralentí.

El sensor con el cual se inició las pruebas fue el sensor de oxígeno, del cual se obtuvo la gráfica que se muestra en la figura 3.17.

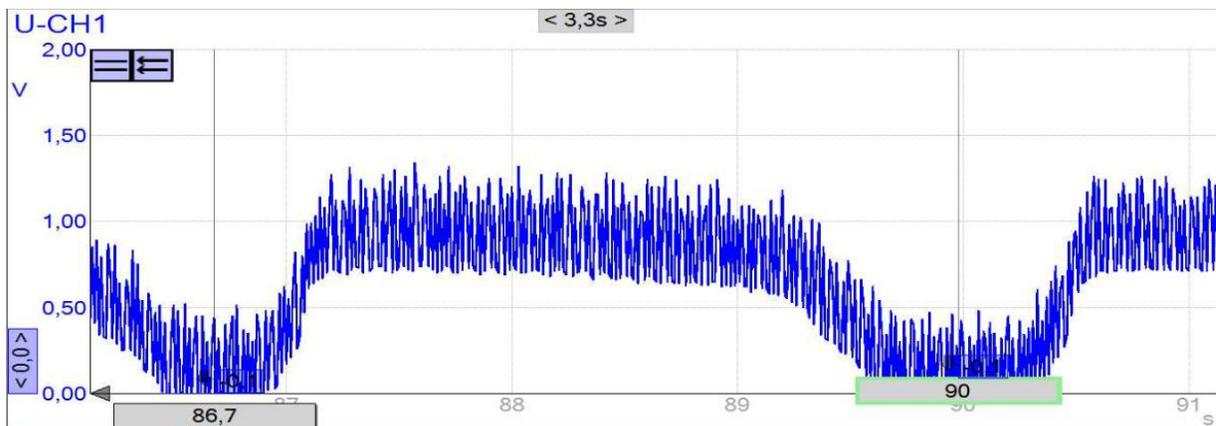


Figura 3.17 Oscilograma de sensor de oxígeno a 1500 rpm

En la figura 3.17 se observa la señal del sensor de oxígeno captada por el osciloscopio, en el desarrollo de la prueba se observó que cuando el vehículo se encontraba a 1500 rpm la señal de este sensor reducía su periodo, eso con la finalidad de adaptar su funcionamiento a la cantidad de gases que se expulsan por el tubo de escape. Por otra parte, este acoplamiento del sensor al funcionamiento del motor garantiza que se realice de la manera más óptima el ajuste de combustible, con la finalidad de mantener una marcha normal del vehículo a las condiciones en las cuales se encuentra.

Seguidamente se realizó la toma de datos mediante el osciloscopio en estas condiciones al sensor MAF, los resultados se indican en la figura 3.18.

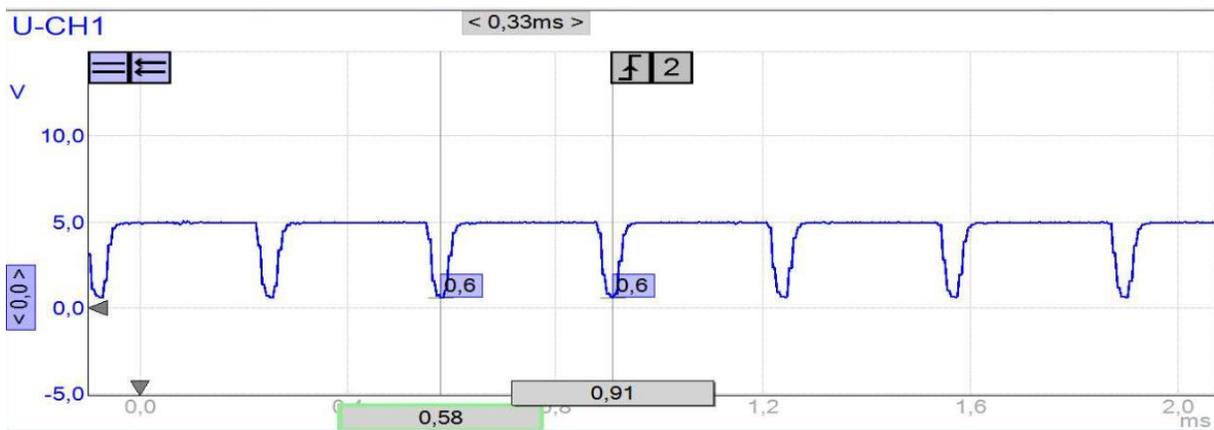


Figura 3.18 Oscilograma de sensor MAF a 1500 rpm

En la figura 3.18 se observa el oscilograma en el cual se logró apreciar que en estas condiciones el sensor MAF aumenta su periodo de medición y de esta manera se reduce la frecuencia, esto con la finalidad de realizar la medición de manera más rápida en función de las condiciones a las que se ha sometido el motor. En este caso se observa que su periodo está en 0,33 ms el cual difiere del tiempo en ralentí, el cual era 0,31 ms. De esta manera se determina que el sensor se encuentra en condiciones óptimas y está aportando con información para el ajuste de combustible.

En cuanto al sensor IAT, la figura 3.19 muestra el oscilograma obtenido, es importante mencionar que este sensor se encuentra en conjunto con el sensor MAF, de esta manera se realizó la conexión del osciloscopio en el mismo conector.

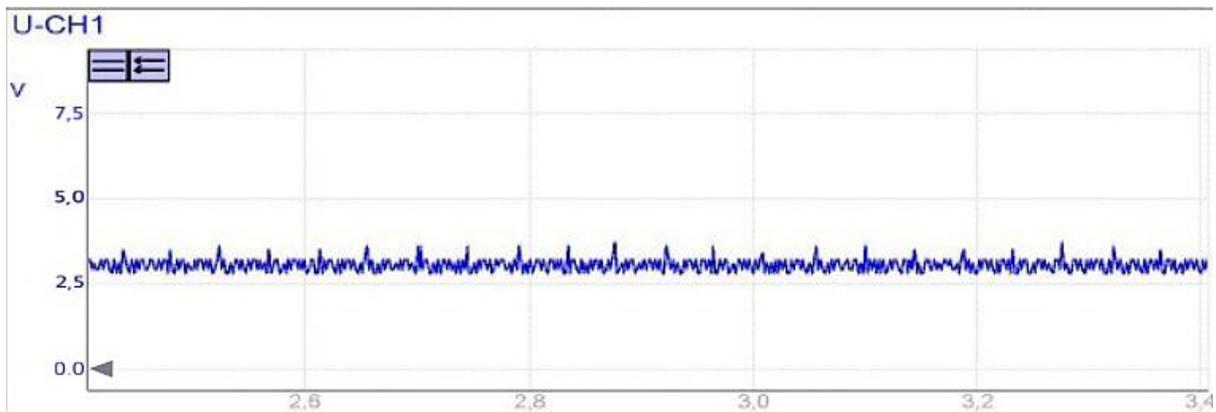


Figura 3.19 Oscilograma de sensor IAT a 1500 rpm

En la figura 3.19 se observa el oscilograma que se obtuvo luego de la prueba realizada a este sensor en una condición de 1500 rpm. Se aprecia una curva que describe un voltaje cercano a 2.7 V. es importante mencionar que este sensor genera un oscilograma que no varía tanto, debido a que la temperatura se mantendrá constante en cualquier condición; esto también se produce porque estas pruebas se realizaron de manera estática y en el mismo lugar.

Finalmente se realizó la toma de datos del sensor MAP en las condiciones ya mencionadas, es así como se obtuvo el oscilograma que se indica en la figura 3.20.

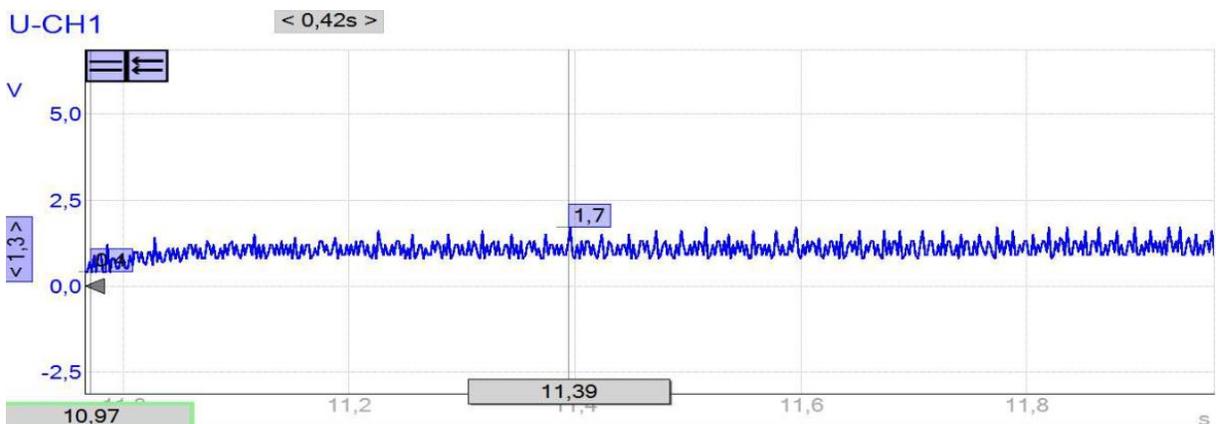


Figura 3.20 Oscilograma de sensor MAP a 1500 rpm

En la figura 3.20 se observa la curva descrita por el sensor MAP, es posible evidenciar un ligero aumento en el voltaje respecto a la medición en ralentí, esto de acuerdo a la disminución de vacío por la aceleración del vehículo, que provoca una curvatura en el plano vertical positivo ya que la mariposa del cuerpo de aceleración está abierta parcialmente y se genera una reducción de la presión.

Resumen de recopilación de datos a 1500rpm

Los datos obtenidos con el motor a 1500rpm se muestran a continuación.

Tabla 3.3 Datos obtenidos a 1500rpm

Sensores	Voltaje de referencia (V)	Voltaje de funcionamiento (V)	Resistencia (Ω)	Tiempo de activación
		1500rpm	1500rpm	
MAF	0.6 – 5.0	-	-	0.33ms
IAT	0.5 – 5.0	2.7	340 - 0	-
MAP	0.2 – 4.8	1.7	-	-
O2	0.3 – 1.2		-	3.3s
Condiciones de Operación				
- <i>Altura:</i> 2225msnm				
- <i>P. Atm:</i> 70 kPa				
- <i>Temperatura:</i> 25°C				
- <i>Prueba:</i> Estática				

La tabla 3.3 muestra ciertas diferencias de valores frente a la información obtenida en régimen de ralentí, siendo en su mayoría crecientes a excepción de las lecturas del IAT debido a que este sensor depende de condiciones externas al vehículo.

Es evidente una tendencia creciente en cuanto a tiempos de activación para el sensor MAF, mostrando una mayor aspiración conforme aumenta el régimen de giro de motor. Los valores de voltaje mostrados por el sensor MAP también crecen.

3.4.2 Pruebas a 2500 rpm

Para las pruebas realizadas a este régimen de revoluciones se siguió el mismo procedimiento en cada uno de los sensores, así como se los indicó en la anterior sección.

Es así como para el sensor de oxígeno se obtuvo la gráfica que se indica en la figura 3.21.

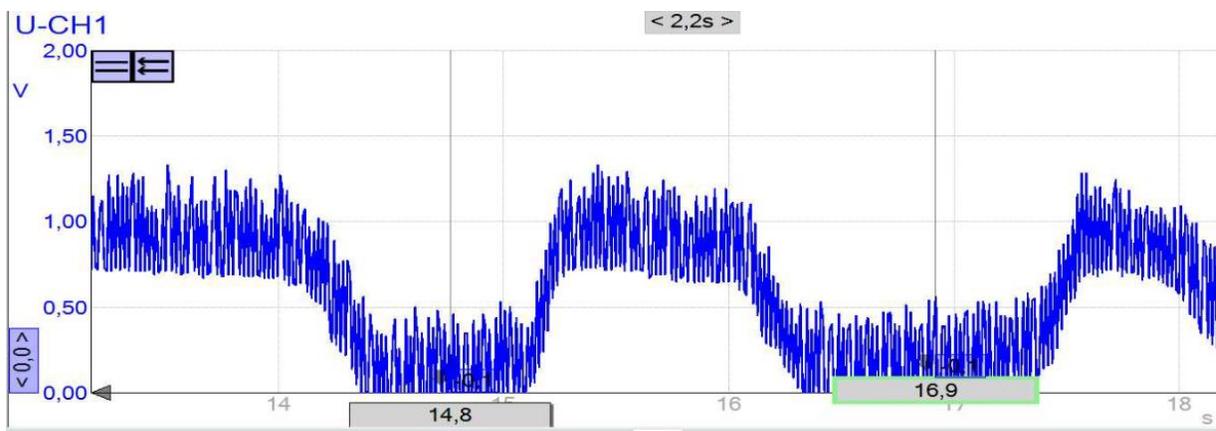


Figura 3.21 Oscilograma de sensor de oxígeno a 2500 rpm

En la figura 3.21 se observa el oscilograma de funcionamiento del sensor de oxígeno a un régimen de 2500 rpm tomada por medio del osciloscopio. Se evidenció la reducción de tiempo activo del sensor, mostrando 2,2s por cada período, haciendo notoria una merma de tiempo por período al compararlo con los resultados del tiempo del mismo sensor a 1500rpm, esto debido a la activación del turbo del vehículo el cual se enciende a partir de las 2500rpm ya que presentó un turbo de geometría fija.

Con lo que respecta al sensor MAF, luego de someter al vehículo a las condiciones mencionadas en esta sección, se obtuvo la figura 3.22.



Figura 3.22 Oscilograma de sensor MAF a 2500 rpm

La figura 3.22 muestra el funcionamiento del sensor MAF a un régimen de 2500 rpm, en este oscilograma se logró observar que el periodo de funcionamiento de este sensor aumentaba en comparación a las anteriores condiciones, esto debido a que, a mayores revoluciones del motor, existe un aumento en la cantidad de aire que pasa por el múltiple de admisión. Siendo así que los oscilogramas a 1500rpm y a 2500rpm presentaron una diferencia de 5ms respecto a su período de trabajo.

En cuanto al sensor IAT, dentro de las pruebas realizadas, en este punto, se obtuvo la gráfica que se indica en la figura 3.23.

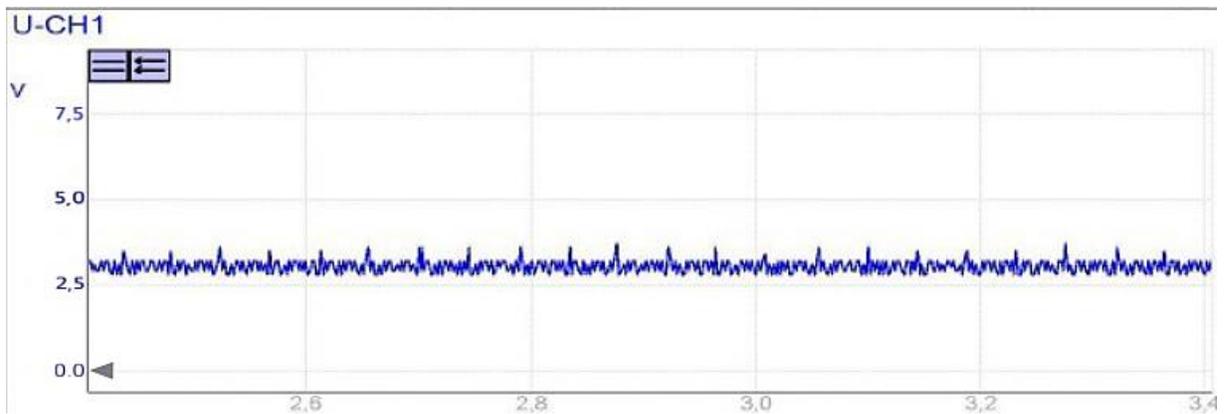


Figura 3.23 Oscilograma de sensor IAT a 2500 rpm

En la figura 3.23 se observa el oscilograma que se obtuvo luego de la prueba realizada a 2500 rpm. Se aprecia una curva que describe un voltaje cercano a 2.8 V. No se evidencia una diferencia notable en esta curva, así como se indicó en la anterior prueba, esto debido a que la temperatura se mantendrá constante en cualquier condición.

Finalmente, la prueba realizada al sensor MAP generó la gráfica que se indica en la figura 3.24.

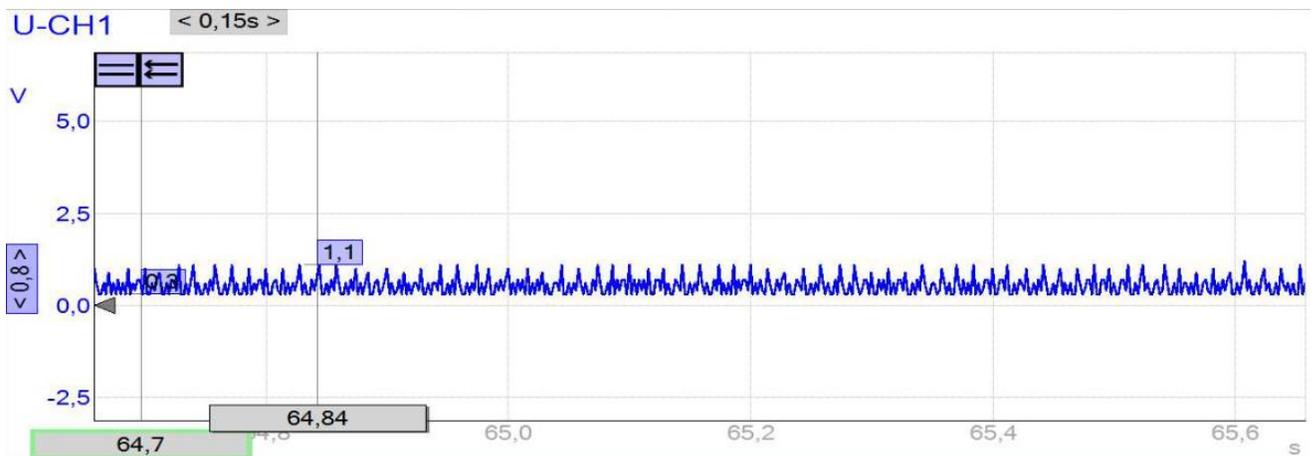


Figura 3.24 Oscilograma de sensor MAP a 2500 rpm

En la figura 3.24 se detalla la curva de funcionamiento generada por el sensor MAP, en la cual se observó una reducción del voltaje respecto a la medición a 1500 rpm, esto debido a que al vehículo encontrarse en la condición de 2500 rpm la mariposa del cuerpo de aceleración está abierta parcialmente y se genera una reducción de la presión de vacío, pero, vale recordar que el turbo de este vehículo enciende a las 2500rpm, por lo que el vacío será compensado por el aire turbo cargado.

Resumen de recopilación de datos a 2500rpm

Los datos obtenidos con el motor a 2500rpm se muestran a continuación.

Tabla 3.4 Datos obtenidos a 2500rpm

Sensores	Voltaje de referencia (V)	Voltaje de funcionamiento (V)	Resistencia (Ω)	Tiempo de activación
2500rpm				2500rpm
MAF	0.6 – 5.0	-	-	0.38ms
IAT	0.5 – 5.0	2.8	340 - 0	-
MAP	0.2 – 4.8	1.1	-	-
O2	0.3 – 1.2		-	2.2s

Condiciones de Operación

- *Altura:* 2225msnm
- *P. Atm:* 70 kPa
- *Temperatura:* 25°C
- *Prueba:* Estática

La tabla 3.4 muestra diferencias de valores frente a la información obtenida en régimen de ralentí y a 1500rpm. En cuanto al sensor IAT no existe variación, esto debido a que no se cambiaron las condiciones externas en las que se encuentra el vehículo.

La tendencia ascendente para el sensor MAF continúa, mientras que los valores para el sensor MAP y O2 empiezan a mermar.

3.4.3 Pruebas a 3000 rpm

Como última prueba, se realizó la toma de datos a un régimen de 3000 rpm. Es se obtuvo la gráfica de funcionamiento del sensor de oxígeno, la cual se indica en la figura 3.25.

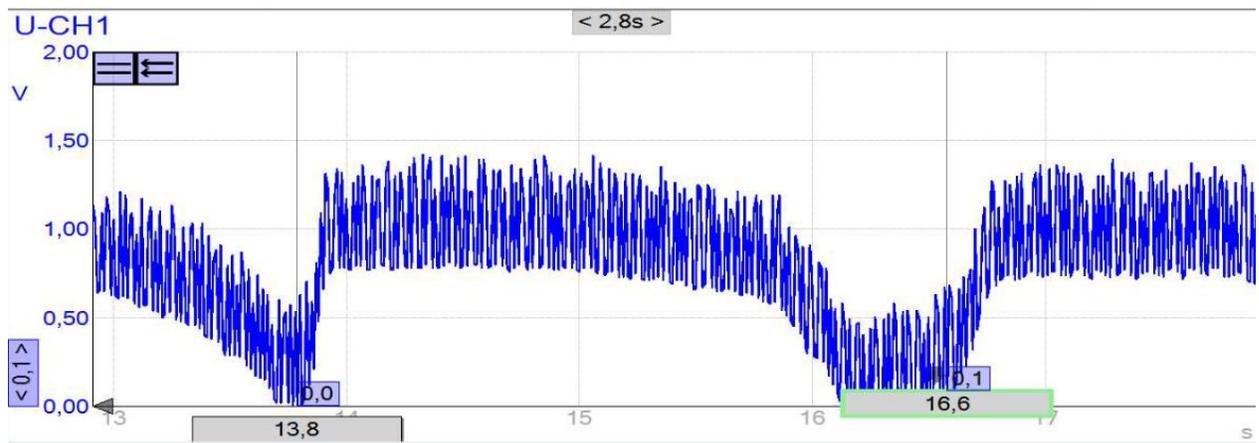


Figura 3.25 Oscilograma de sensor de oxígeno a 3000 rpm

En la figura 3.25 se indica el oscilograma de funcionamiento del sensor de oxígeno, esto luego de poner el vehículo a un régimen de 3000 rpm. Es importante mencionar que, en comparación a la gráfica obtenida al 2500 rpm, existe una diferencia mínima, esto debido a que no se da un alto rango de diferencia en los regímenes. Además, como en la anterior prueba, se apreció un aumento del período de funcionamiento de este sensor, esto causado por el aumento de la salida de gases de escape; esto también influye directamente en la activación del turbo, aumentando el flujo de aire, ocasionando así una mezcla pobre. De esta manera se genera la adaptación lambda para que el motor funcione en un estado optimo.

Seguidamente se realizó la prueba al sensor MAF, la gráfica obtenida se indica en la figura 3.26.

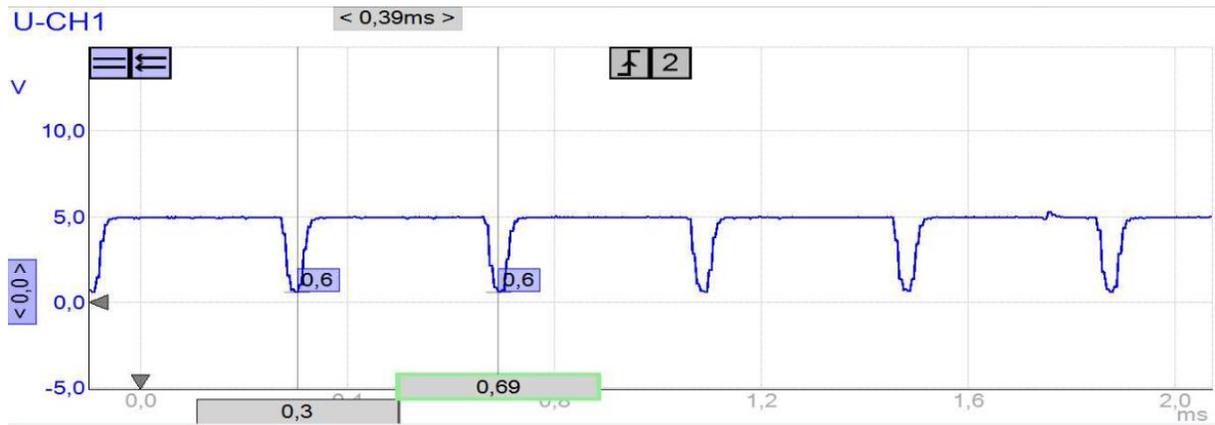


Figura 3.26 Oscilograma de sensor MAF a 3000 rpm

La figura 3.26 muestra el funcionamiento del sensor MAF a 3000 rpm, en el oscilograma se logró observar que el periodo de funcionamiento de este sensor aumentaba en comparación a las anteriores condiciones, esto se debe a que en estas condiciones existe un aumento en la cantidad de aire que pasa por el múltiple de admisión, por acción del turbo que ya se encuentra activado.

Con lo que respecta al sensor IAT, se obtuvo la figura 3.27.

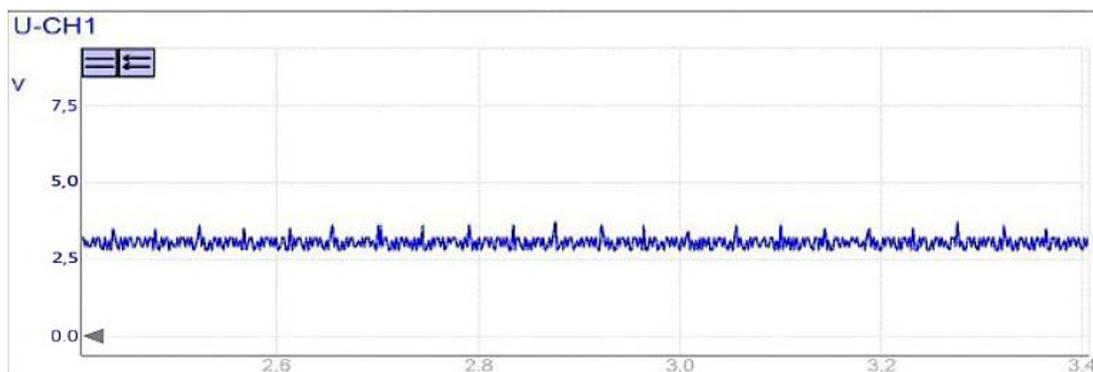


Figura 3.27 Oscilograma de sensor IAT a 3000 rpm

En la figura 3.27 se observa el oscilograma que se obtuvo luego de la prueba realizada a 3000 rpm. Se aprecia una curva que describe un voltaje cercano a 2.7 V. Es importante mencionar que este sensor no genera una variación en su gráfica, así como se indicó en la anterior prueba, esto debido a que la temperatura se mantuvo constante, ya que no se cambió la condición ni el lugar en el que se hizo esta prueba.

Como última prueba, se realizó la toma de datos del sensor MAP, el cual se detalla en la figura 3.28.

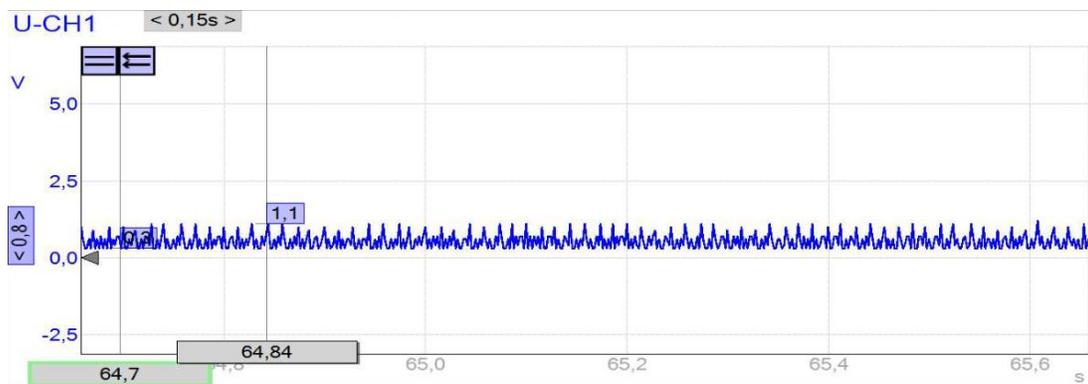


Figura 3.28 Oscilograma de sensor MAP a 3000 rpm

En la figura 3.28 se detalla la curva de funcionamiento generada por el sensor MAP. En esta prueba no se notó un cambio importante en la gráfica, en comparación a la anterior prueba realizada, ya que los regímenes no tienen una diferencia muy amplia. De esta manera, se obtuvo una gráfica similar.

Resumen de recopilación de datos a 3000rpm

Los datos obtenidos con el motor a 2500rpm se muestran a continuación:

Tabla 3.5 Datos obtenidos a 3000rpm

Sensores	Voltaje de referencia (V)	Voltaje de funcionamiento (V)	Resistencia (Ω)	Tiempo de activación
3000rpm				3000rpm
MAF	0.6 – 5.0	-	-	0.39ms
IAT	0.5 – 5.0	2.7	340 - 0	-
MAP	0.2 – 4.8	0.9	-	-
O2	0.3 – 1.2		-	2.8s

Condiciones de Operación

- *Altura:* 2225msnm
- *P. Atm:* 70 kPa
- *Temperatura:* 25°C
- *Prueba:* Estática

La tabla 3.5 muestra diferencias de valores frente a la información obtenida en las pruebas anteriores. En cuanto al sensor IAT no existe variación, esto debido a que no se cambiaron las condiciones externas en las que se encuentra el vehículo.

Los valores para el sensor MAF siguen en aumento, mientras que los valores para los sensores MAP y O2 siguen mermando conforme aumenta el régimen de giro.

3.4.4 Síntesis de resultados

La tabla expuesta a continuación detalla la síntesis de resultados obtenidos de cada sensor a distintos regímenes de trabajo tomados a partir del osciloscopio del equipo FSA 740.

Tabla 3.6 Resultados de sensores a distintos regímenes

Sensores	Voltaje de referencia (V)	Voltaje de funcionamiento (V)				Resistencia (Ω)	Tiempo de activación			
		670 rpm	1500 rpm	2500 rpm	3000 rpm		670 rpm	1500 rpm	2500 rpm	3000 rpm
MAF	0.6 – 5.0	-	-	-	-	-	0.28 ms	0.33 ms	0.38 ms	0.39 ms
IAT	0.5 – 5.0	2.7	2.7	2.8	2.7	340 - 0	-	-	-	-
MAP	0.2 – 4.8	1.0	1.7	1.1	0.9	-	-	-	-	-
O2	0.3 – 1.2	0.75				-	3.8s	3.3s	2.2s	2.8s

Culminadas las pruebas a distintos regímenes se obtienen valores distintos para cada sensor, los cuales detallan el accionar del vehículo, estas tendencias y valores son mostradas a continuación detallando cada sensor.

Sensor MAF

El comportamiento del sensor de flujo de aire detalla la aspiración de aire al pasar en dirección hacia el múltiple de admisión, siendo creciente en cuanto al tiempo de activación, conforme aumentan el régimen, es decir que los períodos se vuelven más extensos de manera directamente proporcional a las revoluciones por minuto del vehículo, obteniendo tiempos de activación de 0,28ms con el vehículo en ralentí y valores de entre 0,38 y 0,39 en altas revoluciones lo que muestra una estabilización en altas RPM.

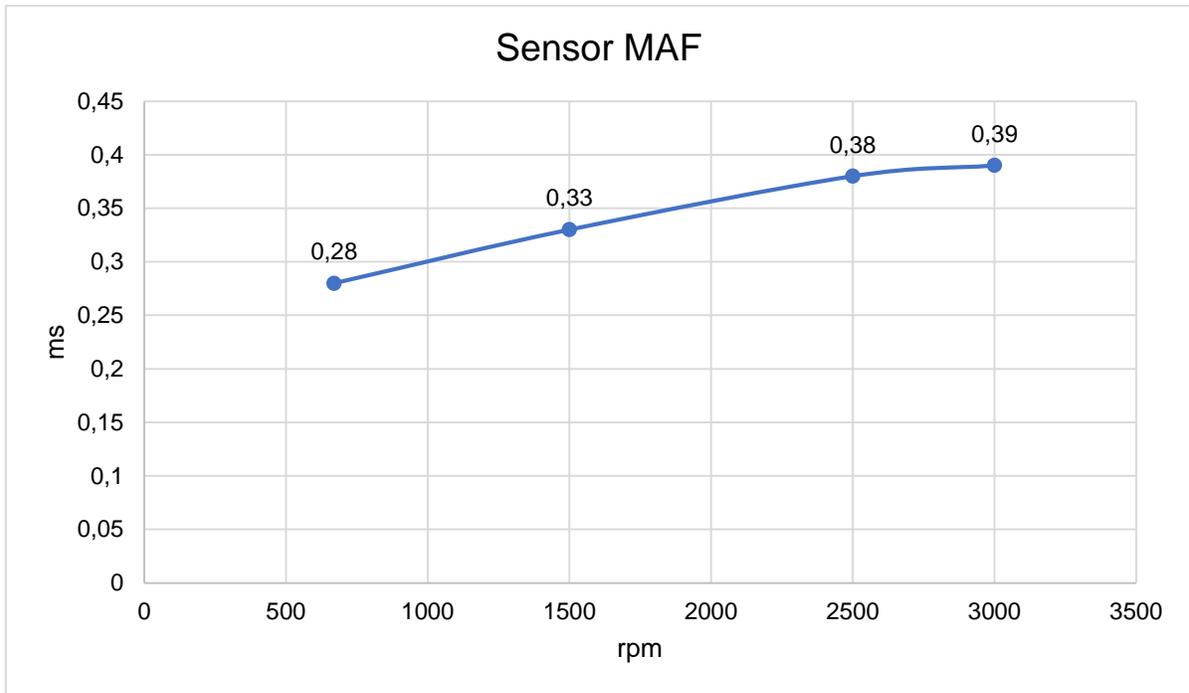


Figura 23.29 Tendencia de valores de sensor MAF

Sensor IAT

Debido a que las pruebas realizadas se las llevó a cabo en un lugar cerrado y fueron en su totalidad de manera estática, el sensor de temperatura de aire de admisión permaneció censando de una manera bastante regular y sin mayor cambio, mostrando un voltaje de 2.7V evidenciando que no existió mayor cambio en la temperatura de aire de admisión y permaneciendo entre 40 y 41°C.

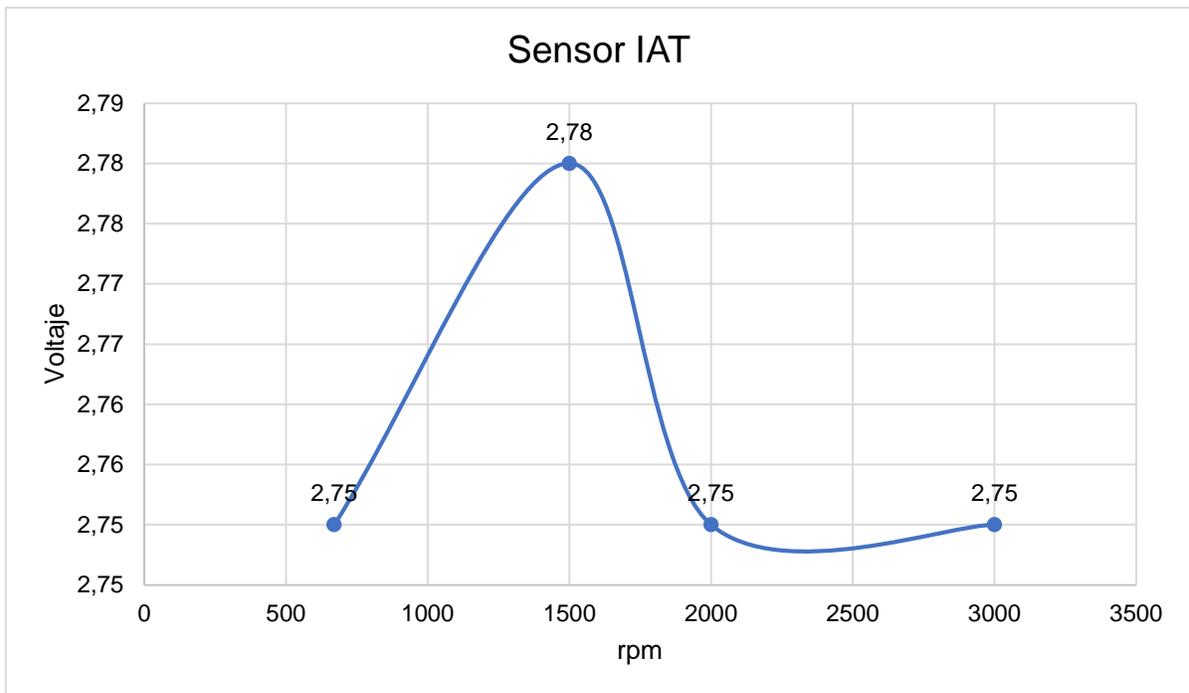


Figura 3.30 Tendencia de valores de sensor IAT

Sensor MAP

El sensor de presión absoluta detalla en principio un voltaje de 1V en ralentí, el cual aumenta en cuanto al voltaje al acelerar el vehículo hasta obtener las 1500rpm, detallando que el vacío disminuye, mientras que al obtener las 2500rpm, el voltaje disminuye hasta 1.1V, esto debido a que el turbo del vehículo enciende a las 2500rpm, aumentando el vacío en el colector y mostrando una mayor eficiencia volumétrica conforme el régimen aumenta.

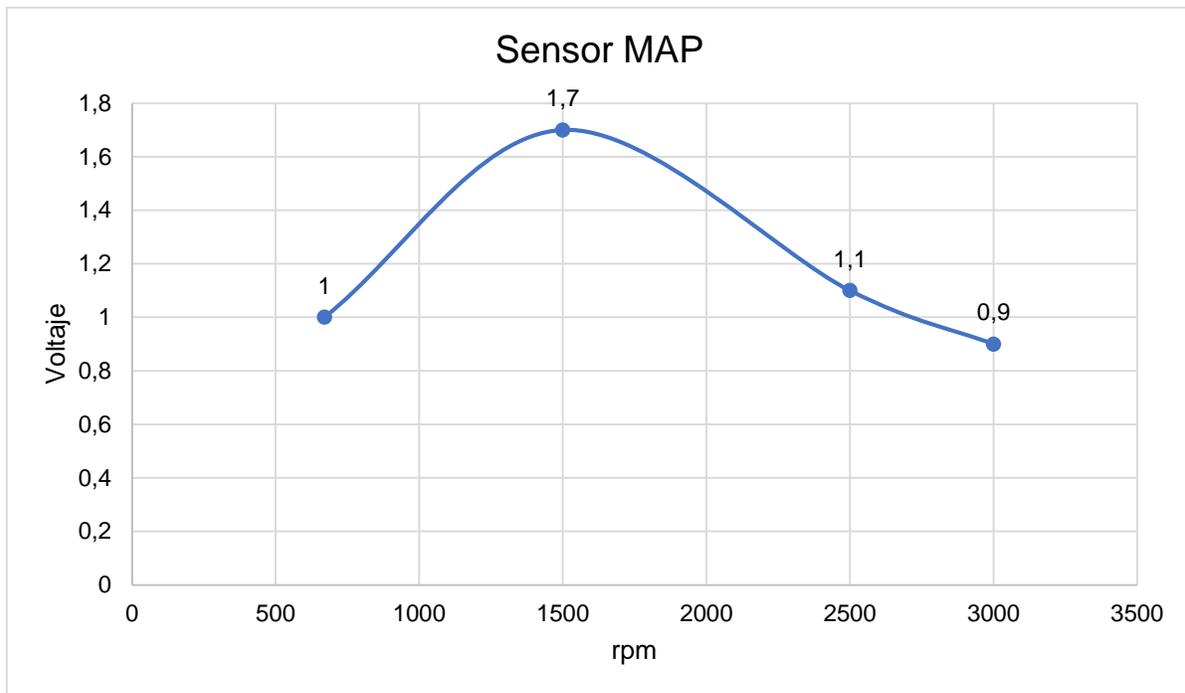


Figura 3.31 Tendencia de valores de sensor MAP

Sensor O2

Para empezar, con el vehículo en ralentí, el sensor O2 mostró un período de trabajo de 3.8s, el cual va disminuyendo conforme el régimen de giro del motor crece, evidenciando un período de trabajo decreciente lo que desemboca en una frecuencia ascendente hasta las 2500 rpm para el cual se obtuvo un período de 2.2s y a las 3000rpm se evidencia la tendencia creciente nuevamente, esta tendencia creciente también refleja la gestión del turbo del vehículo, el cual enciende a partir de las 2500rpm.

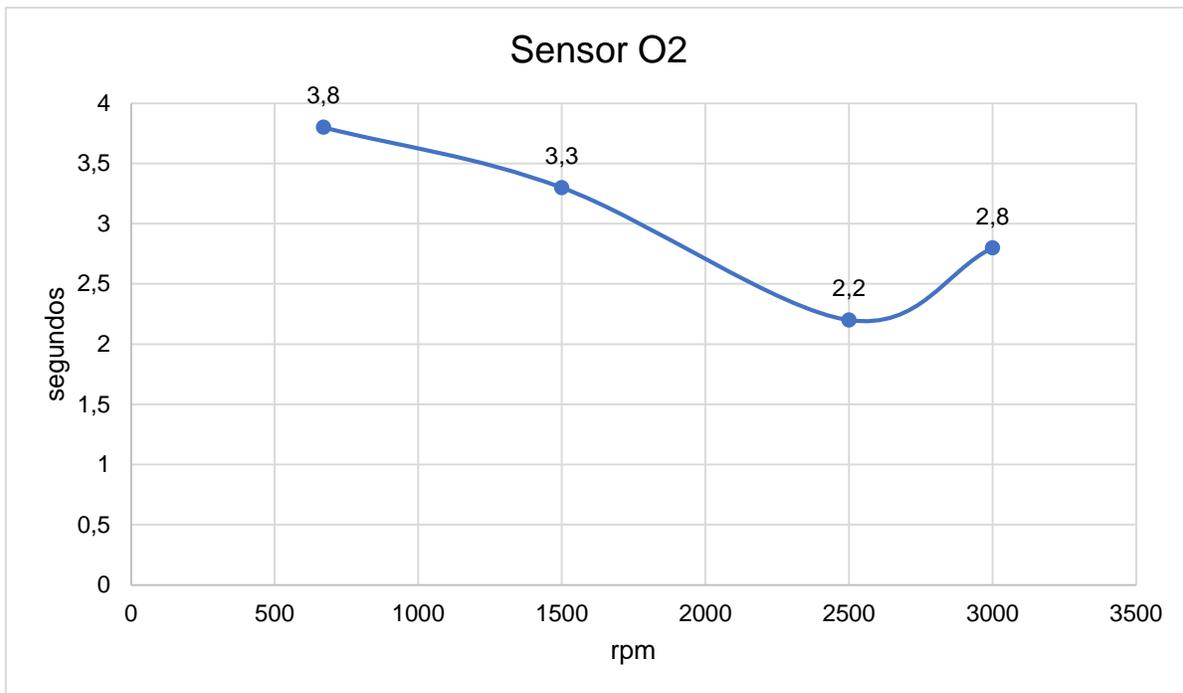


Figura 3.32 Tendencia de valores de sensor O2

3.5 Análisis inicial de gases de escape

3.5.1 Análisis de gases de escape en ralentí

Con el vehículo encendido y en régimen de ralentí, se procedió a la realización inicial de análisis de gases de escape, para lo cual, se debió cumplir con el respectivo protocolo para la utilización del analizador de gases del FSA 740, según indicó el mismo equipo, el cual consistía en:

- Conectar las pinzas a la batería para determinar los rpm con las que está trabajando el vehículo.
- Colocar la bayoneta del equipo, para por medio del aceite referenciar la temperatura de trabajo del motor.
- Comprobar la inexistencia de fugas en el escape.

- Encerado del sistema, para el cual se removió la manguera del filtro del analizador por un período aproximado de 30 segundos.
- Colocación de la sonda en el escape del vehículo.
- Esperar hasta que el sistema concluya la medición, la cual se notifica en la pantalla del sistema, como muestra la figura 3.33.

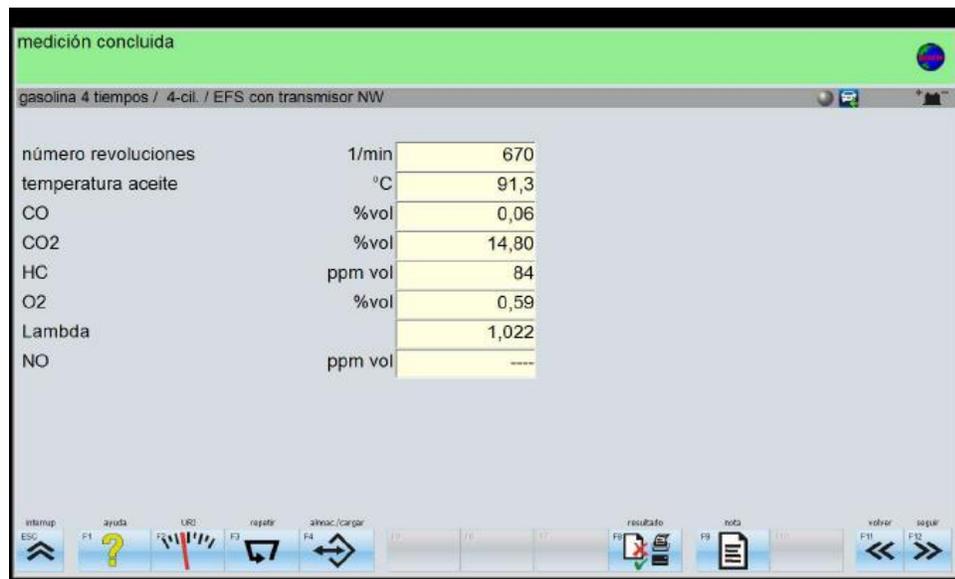


Figura 3.33 Medición Inicial de gases de escape

El vehículo a ralentí mostró un régimen de 670rpm y una temperatura de 91,3°C según información del FSA 740.

El analizador de gases del equipo es capaz de medir el porcentaje de monóxido de carbono, el porcentaje de dióxido de carbono, los hidrocarburos no combustionados en partes por millón, el porcentaje de oxígeno y el factor lambda.

Debido al estado del vehículo, así como a su kilometraje y su año de fabricación, se esperaba resultados bastante positivos, para lo cual, estos se dieron sin ningún inconveniente, obteniendo los valores indicados en la figura y corroborando un estado óptimo del sistema

electrónico de gestión de la mezcla de aire combustible y también se evidenció superficialmente un excelente estado mecánico del vehículo.

Es posible evidenciar la calidad óptima de la mezcla, ya que se obtuvo un factor lambda de 1,022, la cual muestra una mezcla estequiométrica muy apegada a la teórica perfecta pero orientada ligeramente a una mezcla pobre, lo cual resulta entendible al tener un motor con tres cilindros y un régimen de ralentí de 670rpm.

3.5.2 Análisis de gases de escape a 1500 rpm

A continuación, se realizó la medición de gases a 1500rpm, obteniendo los resultados mostrados en la figura 3.34.

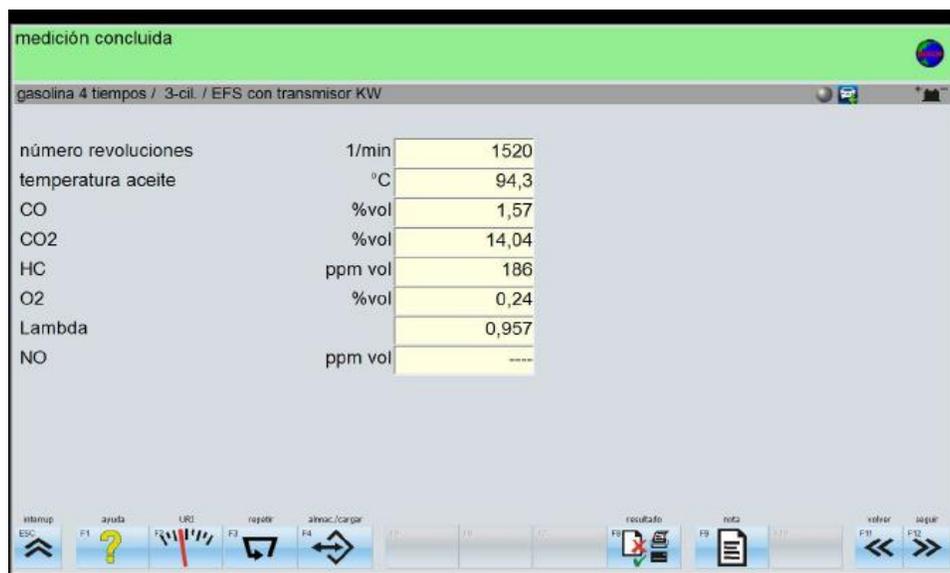


Figura 3.34 Medición de gases de escape a 1500rpm.

En este caso, se obtuvo un valor lambda de 0,957, el cual muestra una ligera tendencia orientada a una mezcla rica, pero muy cercana al valor ideal de mezcla estequiométrica

perfecta. Este ligero cambio, desemboca en el aumento de hidrocarburos no combustionados y al porcentaje de monóxido de carbono como se muestra en la figura 3.34.

3.5.3 Análisis de gases de escape a 2500rpm

De igual manera, se procedió a medir los gases de escape a 2500rpm, obteniendo los datos mostrados en la figura 3.35.

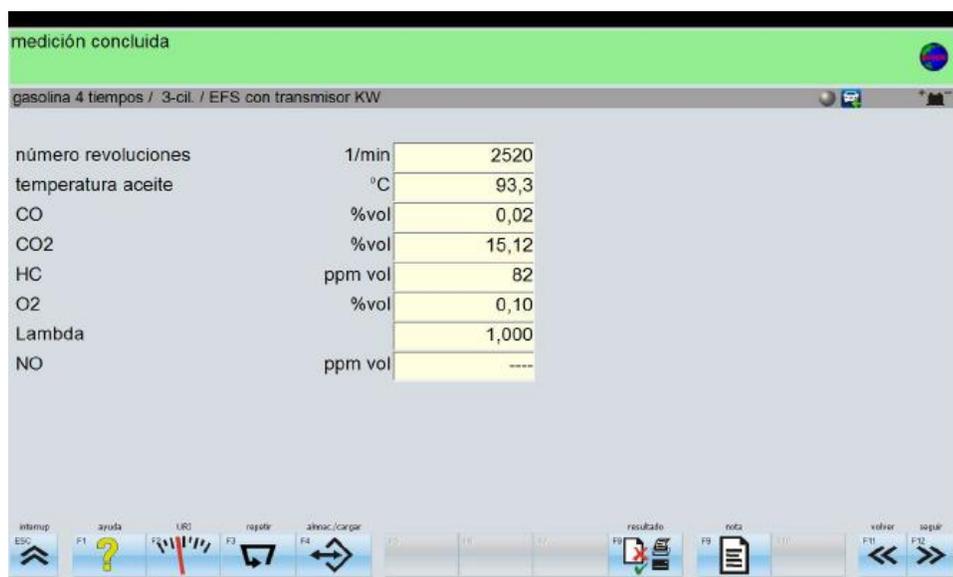


Figura 3.35 Análisis de gases de escape a 2500rpm.

Para esta medición, se obtuvo un resultado perfecto en cuanto al factor lambda, el cual se evidencia en los valores de emisiones de escape, obteniendo valores sumamente bajos para monóxido de carbono e hidrocarburos no combustionados, como se muestra en la figura 3.35.

3.5.4 Resultado final de análisis de gases de escape en condiciones normales

Tomando en cuenta los diferentes regímenes en los que se realizó los diferentes análisis de gases de escape, se realizó la siguiente tabla con los valores de cada gas medido por el equipo.

Tabla 3.7 Resultados de análisis de gases de escape

Emisiones	Régimen		
	Ralentí (670rpm)	1500rpm	2500rpm
CO (%)	0,06	1,57	0,02
CO2(%)	14,80	14,04	15,12
HC (ppm)	84	186	82
O2(%)	0,59	0,24	0,10
Factor lambda	1,022	0,957	1

Condiciones de Operación

- *Altura: 2225msnm*
- *P. Atm: 70 kPa*
- *Temperatura: 25°C*
- *Prueba: Estática*

La tabla 3.7 muestra los resultados de las tres mediciones realizadas, esta evidencia un funcionamiento óptimo de la gestión electrónica del vehículo y unos valores muy precisos del factor lambda que desembocan en valores bastante aceptables en cuanto a emisiones de escape y superficialmente un correcto desempeño del motor del vehículo analizado.

Los resultados obtenidos evidencian una gestión ideal en un régimen de 2500rpm, obteniendo un valor perfecto en cuanto a factor lambda, el cual hace evidente su correcta gestión en los valores de emisiones de escape, obteniendo valores sumamente bajos en cuanto a CO, lo que hace posible un valor creciente de CO2, mostrando una correcta combustión y

valores bastante bajos de hidrocarburos sin combustionar. El accionar del turbo del vehículo permite lograr valores ideales en lambda y por lo tanto en sus emisiones contaminantes.

3.6 Análisis de gases de escape con simulación de falla en sensor O2

Con el fin de simular una falla en el sensor de oxígeno, se procedió a desconectar una bobina de encendido, esto con la finalidad de provocar que el combustible inyectado en un cilindro no se combustione, generando un ajuste de combustible comandado por el sensor de oxígeno, que será evidenciado en las emisiones de gases.

La simulación mencionada fue llevada a cabo mientras se analizaba los gases de escape, obteniendo los siguientes resultados a partir del analizador del equipo.

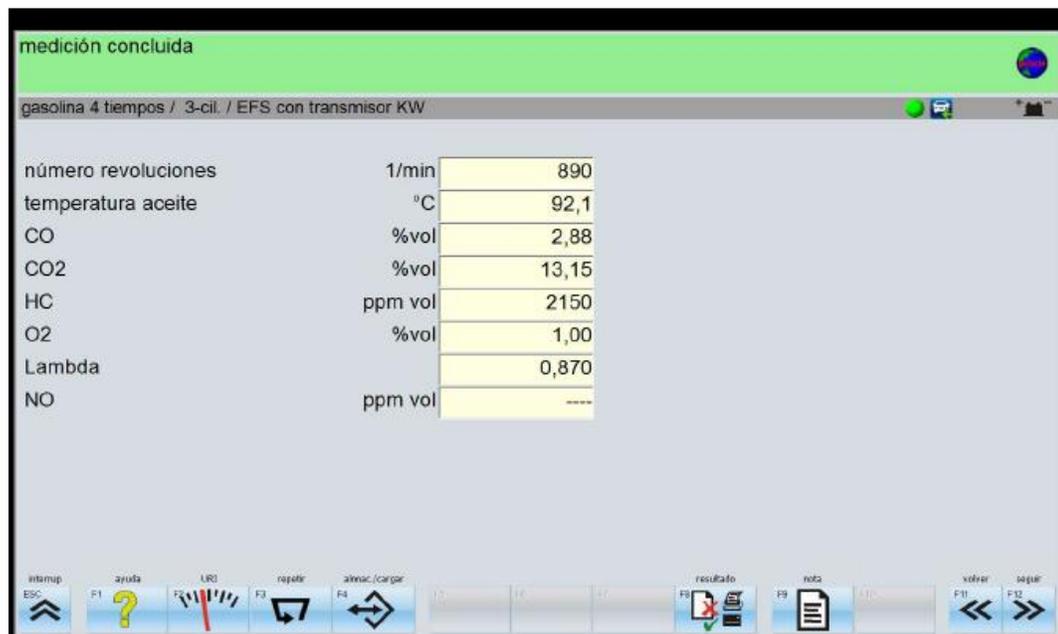


Figura 3.36 Análisis de gases de escape con simulación de falla en el sensor O2

La figura 3.36 muestra la medición de gases de escape realizada con una bobina desconectada. Como se mencionó anteriormente, esta simulación afectará de manera directa al factor lambda, lo cual es evidente, ya que se obtuvo un valor de 0,870, evidenciando la realización de una mezcla demasiado rica como compensación para mantener la estabilidad en el mismo y mantenerlo encendido, cabe mencionar que el vehículo analizado cuenta tan solo con tres cilindros, lo que también desemboca en el aumento del régimen de ralentí.

Es evidente el aumento brusco en cuanto a HC y CO, los cuales serán detallados más adelante.

De manera simultánea al análisis de gases de escape, por medio del escáner del equipo se monitoreó el sensor de oxígeno, obteniendo los resultados mostrados en la figura 3.37.

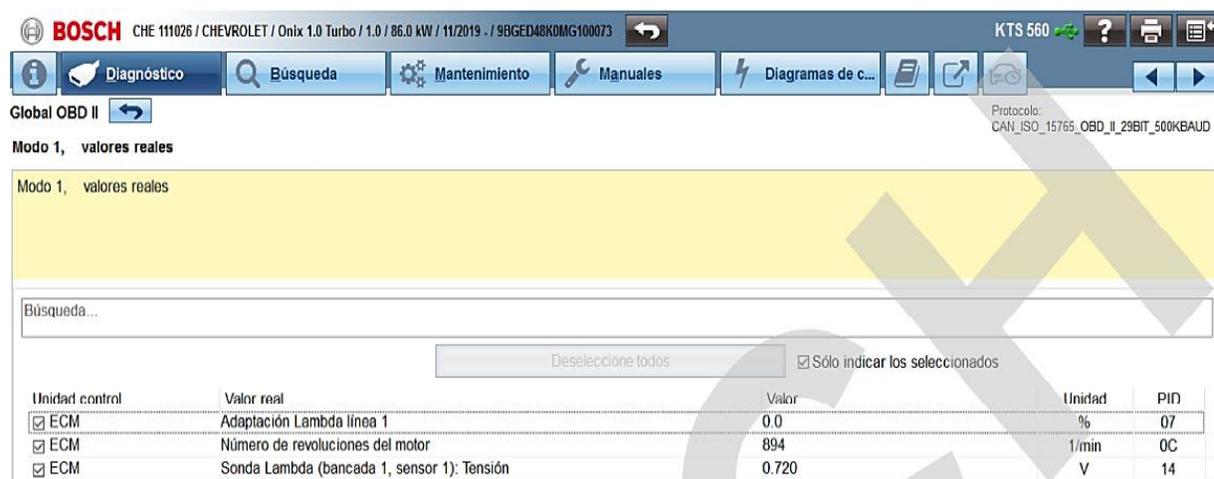


Figura 3.37 Valores reales con simulación de falla en sensor O2

La figura 3.37 evidencia un voltaje mayor al ideal teórico de 0,450V, obteniendo en este caso un valor de 0,720V, el cual muestra la razón de la modificación del factor lambda y el aumento de los diferentes gases de escape.

Es preciso mencionar que al desconectar una bobina de encendido se generaron varios códigos de error para el vehículo, estos se muestran en la figura 3.38.

Global OBD II 

Protocolo:
CAN_ISO_15765_OBD_II_29BIT_500KBAUD

Modo 3/7/A, lectura de memoria de averías

Modo 3/7/A, lectura de memoria de averías Estado MIL conectado Códigos de avería en total: 6

Código de error	Unidad control	Estado	Ruta	Tipo
P0351	ECM	Error almacenado	Bobina de enc. A primario/secundario	
P0301	ECM	Fallos pendientes	Cilindro 1	Detectado fallo en el encendido
P0351	ECM	Fallos pendientes	Bobina de enc. A primario/secundario	
P0102	ECM	Fallo estática	Medidor de masa de aire / Medidor de caudal de aire	Señal muy pequeña
U1346	ECM	Fallo estática		
P0351	ECM	Fallo estática	Bobina de enc. A primario/secundario	

Test Readiness

ECM	Identificación fallos disp. servicio	SI	Identificación de fallos finalizada	SI
ECM	Sistema de combustible apto servicio	SI	Sistema de combustible finalizado	SI
ECM	Otros componentes aptos p. servicio	SI	Otros componentes finalizados	SI
ECM	Catalizador apto para el servicio	No		
ECM	Sonda Lambda apta para el servicio	No		
ECM	Calefac. sondas Lambda apta servicio	No	Calefacción sondas Lambda finalizada	No

Volver  Memorizar  Actualización  Borrar 

Figura 3.38 Códigos generados por desconexión de bobina

La figura 3.38 muestra los códigos generados por la desconexión de una bobina de encendido, uno de ellos resulta ser debido a la señal muy pequeña del caudal de aire. Analizando esta falla, aunque se pensaría que es una falla de lectura del sensor de flujo de aire de admisión, se determinó que resulta debido a la escasa lectura de oxígeno en el sensor O2, obteniendo un flujo de admisión insuficiente para los residuos de combustible sin combustionar.

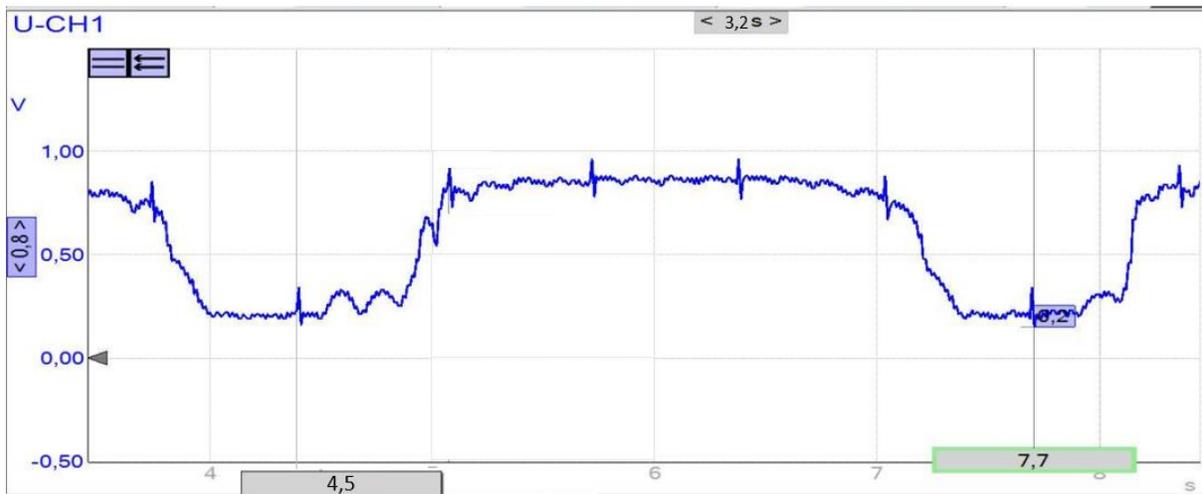


Figura 3.39 Oscilograma con bobina desconectada

La figura 3.39 muestra el oscilograma del sensor de oxígeno al desconectar la primera bobina de encendido, obteniendo valores de voltaje similares a los obtenidos en pruebas anteriores, pero difiere en su tiempo de activación, es decir, es evidente como su período disminuye desde el ralenti de 3.8s hasta los 3.2s, los cuales son proporcionales al aumento de régimen, subiendo desde los 670rpm hasta los 900rpm. Este sensor mostró una disminución de los tiempos de activación conforme aumentaron los rpm.

3.6.1 Resultados de simulación de fallo de sensor O2

Las reacciones desencadenadas por la desconexión de una de las bobinas de encendido se muestran a continuación.

Tabla 3.8 Toma de datos con simulación de sensor O2

Sensor	Prueba	Ralentí	Tiempos	CO	CO2	HC	O2	Lambda
O2	Sin fallo	670rpm	3.8s	0.06%	14,80%	84ppm	0,59%	1.022
O2	Desconexión de bobina	890rpm	3.2s	2.88%	13.15%	2150ppm	1%	0.870
Tendencia		Aumento	Disminución 15%	Aumento 97%	Disminución 11%	Aumento 96%	Aumento 40%	Mezcla rica
Condiciones de Operación								
- <i>Altura:</i> 2225msnm								
- <i>P. Atm:</i> 70 kPa								
- <i>Temperatura:</i> 25°C								
- <i>Prueba:</i> Estática								

La tabla 3.8 muestra las variaciones de los valores tomados con la simulación de falla frente a los valores normales de gases de escape en ralentí, donde destacan ciertos puntos, empezando desde el aumento del régimen de giro y el factor lambda. El fallo simulado provoca un evidente crecimiento bastante grande en las emisiones de hidrocarburos no combustionados, obteniendo una lectura de 2150 ppm cuando anteriormente y en condiciones normales se obtuvo un valor de 84ppm en ralentí, siendo equivalente a un aumento del 96% de este gas, lo que muestra un ajuste de combustible bastante claro que provoca este crecimiento de HC, lo que consecuentemente genera un aumento bastante grande de CO, el cual llega hasta el 97%.

Otro punto importante que analizar es el aumento del porcentaje de monóxido de carbono, ya que anteriormente y en condiciones normales se obtuvo un valor de 0,06% de CO en ralentí, pero con la simulación del fallo este valor creció hasta llegar a 2,88%. Este aumento

se debe al exceso de combustible inyectado, provocando falta de oxígeno para una combustión ideal y que los mismos se conviertan en CO₂.

El oxígeno emitido se mantiene muy cercano a los valores normales en ralentí. Esta prueba resultó muy fructífera al analizarse, ya que normalmente se esperaría obtener un ajuste de combustible orientada a la mezcla pobre, ya que el sensor de oxígeno capta la señal de exceso de combustible al no estar combustionando un cilindro, pero la gestión electrónica del mismo prioriza el mantener encendido el vehículo, para lo cual aumenta la cantidad de combustible, elaborando una mezcla rica la cual se evidencia en sus emisiones.

3.7 Análisis de gases de escape con simulación de falla en sensor MAP

En este caso, para obtener una simulación de fallo para el sensor de presión absoluta, se removió la tapa de ingreso del aceite del motor, con la finalidad de disminuir el vacío existente en el múltiple de admisión.

Esta prueba se la realizó mientras se medía las emisiones de escape, obteniendo las lecturas que se muestran en la figura 3.40.

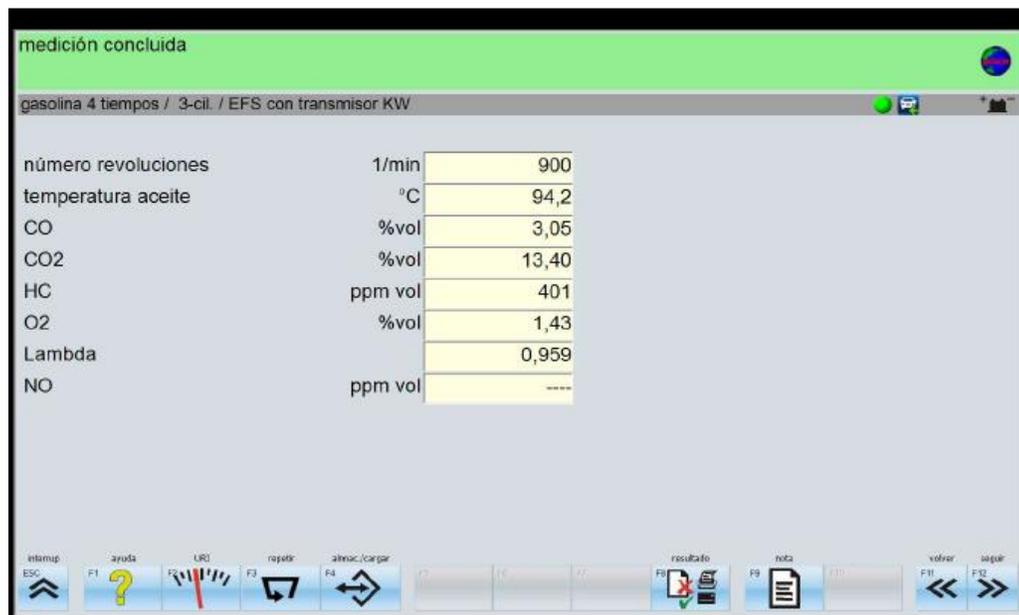


Figura 3.40 Análisis de emisiones de escape con simulación de fallo en MAP

Consecuentemente de la disminución de vacío en el múltiple de admisión, se obtiene un aumento en el régimen de ralentí, como se muestra en la figura 3.40, provocando además una serie de desestabilizaciones en cuanto a los valores normales en ralentí tomados con anterioridad.

El remover de esta tapa, provoca que el aire ingresado desde la admisión no consiga llegar en su totalidad a la cámara de combustión, lo que explica el aumento de monóxido de carbono, teniendo un valor inicial y en condiciones normales de ralentí de 0,06%, el cual aumentó de manera considerable hasta el valor de 3,05%. Este valor evidencia la falta de oxígeno en las emisiones de escape, las cuales, en este caso no lograron convertirse en dióxido de carbono, generando este gas contaminante y nocivo.

El aumento de hidrocarburos no combustionados es consecuente a la falta de aire en la cámara de combustión, lo cual evita un correcto quemado del combustible inyectado.

Simultáneamente al análisis de gases de escape, se realizó el monitoreo del sensor MAP por medio del KTS 560, obteniendo los resultados mostrados en la figura 3.41.

Unidad control	Valor real	Valor	Unidad	PID
<input checked="" type="checkbox"/> ECM	Número de revoluciones del motor	894	1/min	0C
<input checked="" type="checkbox"/> ECM	Presión atmosférica	78	kPa	33
<input checked="" type="checkbox"/> ECM	Presión del tubo de aspiración A	29,69	kPa	87

Figura 3.41 Valores reales con simulación de fallo en MAP

La figura 3.41 muestra una merma de presión en el tubo de aspiración, corroborando que existió una disminución considerable de vacío en comparación a las condiciones normales, ya que la figura 3.2 muestra una presión de 31,34 kPa en el tubo de aspiración, mientras que, al remover la tapa indicada del motor, esta presión cae hasta 29,69 kPa.

Fue evidente que el motor del vehículo, a pesar de que tuvo una pérdida de vacío bastante grande de 1,65 kPa consiguió mantenerse encendido, pero con síntomas evidentes que hicieron desestabilizarlo y el encendido de la luz MIL, lo que mostró además que el vehículo podría soportar fugas menos significativas por mangueras. Los síntomas mencionados fueron:

- Encendido de la luz MIL
- Aumento del régimen de ralentí
- Desestabilización en cuanto a gases de escape
- Mayor ruido de funcionamiento de motor

De acuerdo con la investigación realizada se puede afirmar que las pérdidas pequeñas mediante mangueras de vacío sueltas representan aproximadamente una pérdida de 0.3 kPa,

resultando así en cambios no tan grandes y perceptibles en cuanto al ajuste de combustible; es así que no se evidenciaron los síntomas de falla que se mencionaron con anterioridad.

Los valores obtenidos por este sensor en condiciones normales reflejaron una proporcionalidad directa al aumento de régimen de giro de motor, para lo cual, la figura 3.42 muestra el oscilograma de la simulación realizada al remover la tapa de ingreso de aceite al motor.

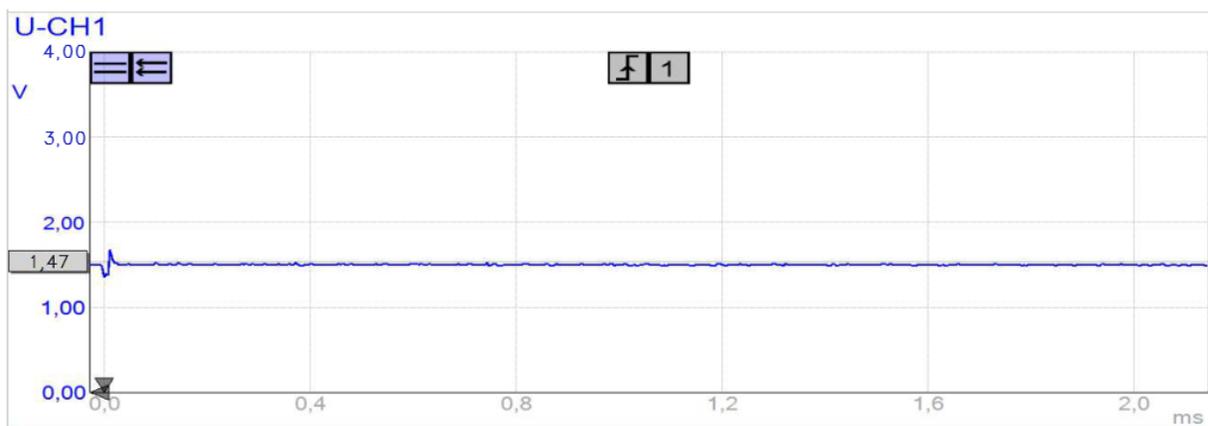


Figura 3.42 Oscilograma del sensor MAP con simulación de fallo.

El oscilograma que se indica en la figura 3.42 muestra un voltaje de 1.47V, el cual refleja la pérdida de vacío en el múltiple de admisión, evidenciando la tendencia normal del aumento de tensión conforme el vacío disminuye.

3.7.1 Resultados de simulación de fallo del sensor MAP

La síntesis de resultados se expone en la siguiente tabla.

Tabla 3.9 Toma de datos con simulación en sensor MAP

Sensor	Prueba	Ralentí	Volta je	CO	CO2	HC	O2	Lambda
MAP	Sin fallo	670rpm	1V	0.06 %	14,80%	84ppm	0,59%	1.022
MAP	Remoción de tapa de aceite de motor	900rpm	1.47V	3,05 %	13.40%	401ppm	1,43%	0.959
Tendenci a		Aument o	Aume nto	Aume nto	Dismin ución	Aumento 21%	Aumen to58%	Mezcla rica
			31%	98%	10%			
Condiciones de Operación								
- <i>Altura:</i> 2225msnm								
- <i>P. Atm:</i> 70 kPa								
- <i>Temperatura:</i> 25°C								
- <i>Prueba:</i> Estática								

La tabla 3.9 muestra las diferencias encontradas entre la toma de datos con simulación de falla en el sensor MAP frente a los datos normales en ralentí, obteniendo ciertas variaciones que empiezan por el aumento del régimen, aumento considerable de monóxido de carbono, teniendo un valor inicial de ralentí de 0,06%, el cual aumentó hasta el valor de 3,05%, representando la mayor diferencia de datos obtenidos y recalcando la mayoritaria gestión de este sensor en cuanto al ajuste de combustible, obteniendo valores sumamente grandes que representan un 98% de crecimiento en este gas, lo que consecuentemente desemboca en un crecimiento además de HC. Es posible también observar una disminución de CO2, aumento en cuanto a oxígeno y una evidente mezcla rica.

3.8 Análisis de gases de escape con simulación de falla en sensor MAF

En este caso, con la ayuda de un secador de cabello industrial, se aumentó el flujo de aire de ingreso, activando el secador en la toma de aire del vehículo y en ese momento se realizó el respectivo análisis de gases de escape, obteniendo los valores mostrados en la figura 3.43.

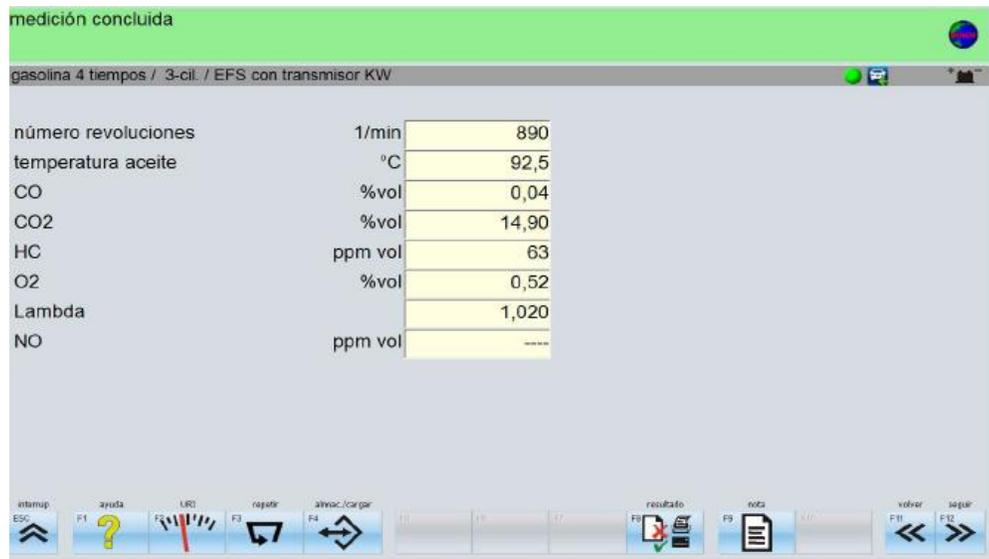


Figura 3.43 Análisis de gases de escape con simulación de fallo en MAF-IAT

La figura 3.43 muestra los resultados de la medición al simular condiciones distintas en cuanto a la admisión de aire, obteniendo, en comparación, valores poco apreciables de diferencia a la medición inicial de gases de escape.

Simultáneamente a la medición de gases, se monitoreó el sistema mediante el escáner del equipo, obteniendo los resultados mostrados en la figura 3.44.

		Deselecciona todos		<input checked="" type="checkbox"/> Sólo indicar los seleccionados	
Unidad control	Valor real	Valor	Unidad	PID	
<input checked="" type="checkbox"/> ECM	Adaptación Lambda línea 1	-6.4	%	07	
<input checked="" type="checkbox"/> ECM	Calefac. sondas Lambda apta servicio	51		01	
<input checked="" type="checkbox"/> ECM	Masa de aire	1.90	g/s	10	
<input checked="" type="checkbox"/> ECM	Presión atmosférica	78	kPa	33	
<input checked="" type="checkbox"/> ECM	Presión del tubo de aspiración A	31.29	kPa	87	
<input checked="" type="checkbox"/> ECM	Sens. temp. aire asp. 1 (bancada 1)	45	°C	68	
<input checked="" type="checkbox"/> ECM	Sensor temper. aire aspirado (B1, S2)	51	°C	68	
<input checked="" type="checkbox"/> ECM	Sensor temper. aire aspirado (B1, S3)	55	°C	68	
<input checked="" type="checkbox"/> ECM	Sonda Lambda (bancada 1, sensor 1): Tensión	0.655	V	14	
<input checked="" type="checkbox"/> ECM	Temperatura del aire circundante	27	°C	46	

Figura 3.44 Flujo de datos con simulación MAF-IAT

La figura 3.44 muestra la lectura del sensor MAF ante estas nuevas condiciones, percibiendo en este caso un flujo de aire de 1,90 g/s de ingreso, mientras que anteriormente en condiciones naturales, se obtuvo un valor de 1,70 g/s de aire de ingreso, haciendo notable la simulación requerida y consecuentemente la gestión electrónica elabora una ligera mezcla con tendencia hacia la riqueza.

Los valores obtenidos en pruebas anteriores a distintos regímenes de giro evidenciaron una tendencia ascendente en cuanto a períodos de trabajo para el sensor MAF, para lo cual en condiciones de simulación se realizó el oscilograma presentado a continuación.



Figura 3.45 Oscilograma sensor MAF con simulación de fallo

La figura 3.45 muestra una condición similar a los datos tomados con anterioridad en cuanto a voltaje, fluctuando entre los 0,5V hasta los 5V, pero la diferencia se encuentra en los períodos de trabajo, los cuales aumentaron desde los 0,28ms mostrados en ralentí normal hasta los 0,30ms mostrados al simular un mayor flujo de aire en la admisión, reflejando la tendencia de aumento de tiempo de trabajo.

Finalizando esta prueba, se analiza una fructífera simulación, evidenciando nuevos valores percibidos por el sensor de flujo de aire de admisión, los cuales desembocan en una ligera alteración en los valores de gases de escape.

3.8.1 Resultado de simulación de fallo de sensor MAF

Los resultados obtenidos a partir del aumento de flujo de aire de admisión por medio de una secadora industrial de cabello se sintetizan en la tabla siguiente.

Tabla 3.10 Toma de datos con simulación en sensor MAF

Sensor	Prueba	Ralentí	Tiempo	CO	CO2	HC	O2	Lambda
MAF	Sin fallo	670 rpm	0,28ms	0.06%	14,80%	84ppm	0,59%	1.022
MAF	Aumento de flujo de aire de admisión con secador	890rpm	0,30ms	0,04%	14,90%	63ppm	0,52%	1.020
Tendencia		Aumento	Aumento 7%	Disminución 33%	Aumento 1 %	Disminución 25%	Disminución 11%	Mezcla pobre
Condiciones de Operación								
- <i>Altura:</i> 2225msnm								
- <i>P. Atm:</i> 70 kPa								
- <i>Temperatura:</i> 25°C								
- <i>Prueba:</i> Estática								

La tabla 3.10 muestra los valores que difieren de los normales en ralentí a partir del aumento de flujo de aire de admisión, obteniendo valores bastante semejantes a los iniciales. Es posible apreciar una disminución de hidrocarburos no combustionados de hasta un 25%, lo cual resulta debido a la mayor cantidad de oxígeno en la cámara de combustión, la cual permite un mejor quemado del combustible inyectado. Consecuentemente, los valores de CO2 también aumentan ligeramente, evidenciando una mejor combustión la cual disminuye de manera bastante reducida la producción de monóxido de carbono.

3.9 Análisis de gases de escape con simulación de falla en sensor IAT

La utilización del secador de cabello también simula una condición diferente en cuanto a la temperatura del aire de admisión, con lo que los valores en cuanto a emisiones de escape resultan las mismas a las mostradas en la figura 3.43.

La temperatura del aire de admisión aumentó hasta 45°C, como muestra la figura 3.44, considerando que el valor inicial fue de 41°C, lo que evidencia una disminución de la cantidad de oxígeno en el aire, provocando un minúsculo empobrecimiento de la mezcla como muestra la figura 3.44, debido a los datos obtenidos por el sensor de oxígeno, el cual al percibir una cantidad menor de oxígeno, mediante la gestión de la ECU, envía menor cantidad de combustible para la misma cantidad de aire, lo que permite un correcto quemado del combustible inyectado que fue evidente al disminuir la cantidad de oxígeno al analizar los gases de escape. Consecuentemente de la disminución de combustible por gestión electrónica, disminuyen además los hidrocarburos no combustionados

La toma de datos a distintos rpm no mostró cambios de tensión para este sensor, debido a que las pruebas se las realizó en un ambiente cerrado y con una temperatura ambiental de 27°C, por lo que los valores censados por el sensor IAT permanecieron constantes durante la toma de datos. La figura 3.46 muestra el oscilograma del IAT con simulación de un alza de temperatura forzada.

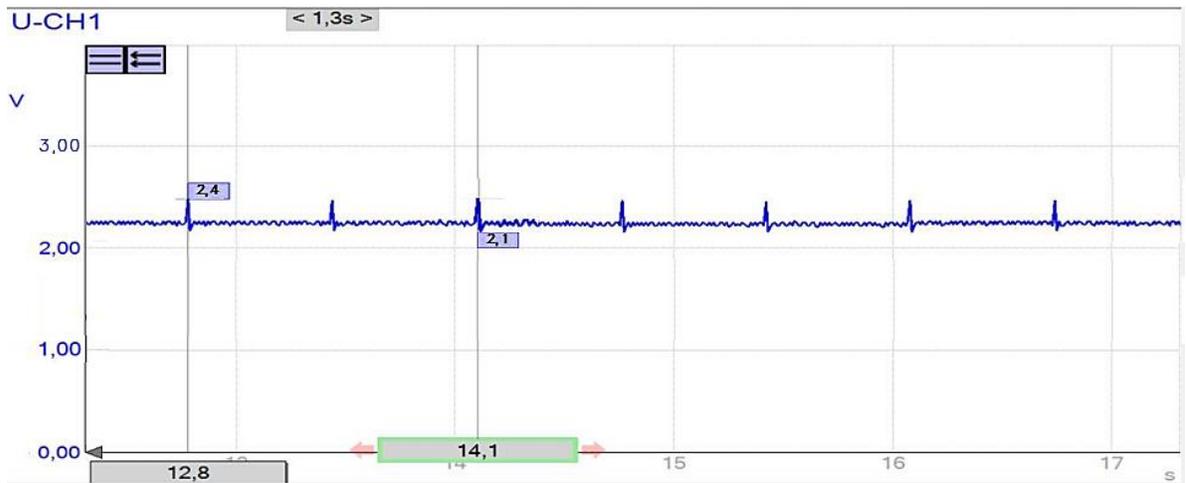


Figura 3.46 Oscilograma sensor IAT con simulación

La figura 3.46 muestra un cambio significativo para los valores tomados con anterioridad para este sensor, evidenciando la diferencia de temperatura de 4°C, para lo cual la tensión disminuyó en aproximadamente en 0,3V considerando que el sensor IAT del presente vehículo resulta un termistor de coeficiente negativo con lo que un aumento de temperatura es reflejado en una merma de tensión.

3.9.1 Resultado de simulación de fallo de sensor IAT

En este caso se simuló un aumento de temperatura del aire de admisión, obtenido los resultados de manera sintetizada en la siguiente tabla.

Tabla 3.11 Toma de datos con simulación en sensor IAT

Sensor	Prueba	Ralentí	Voltaje	CO	CO2	HC	O2	Lambda
IAT	Sin fallo	670rpm	2.7V	0.06%	14,80%	84ppm	0,59%	1.022
IAT	Aumento de temperatura de aire de admisión con secador	890rpm	2.3V	0,04%	14,90%	63ppm	0,52%	1.020
Tendencia		Aumento	Disminución 15%	Disminución 33%	Aumento 1%	Disminución 25%	Disminución 11%	Mezcla pobre
Condiciones de Operación								
- <i>Altura:</i> 2225msnm								
- <i>P. Atm:</i> 70 kPa								
- <i>Temperatura:</i> 25°C								
- <i>Prueba:</i> Estática								

La tabla 3.11 muestra los valores que difieren de los valores normales en ralentí, a partir de la simulación, cabe mencionar que las simulaciones tanto de MAF como de IAT fueron realizadas de manera simultánea por lo que se evidencian los mismos valores que el apartado anterior.

3.10 Resultados de toma de datos con simulación de fallos

La simulación de fallos para cada sensor dejó una serie de reacciones y variaciones en cuanto a datos útiles de cada sensor, siendo detallados en la siguiente tabla.

Tabla 3.12 Síntesis de simulaciones de fallo

Sensor	Prueba	Ralentí	Tiempo / Voltaje	CO	CO2	HC	O2	Lambda
Valores normales	Sin fallo	670rpm	-	0.06%	14,80%	84ppm	0,59%	1.022
O2	Desconexión de bobina	890rpm	3.2s	2.88%	13.15%	2150ppm	1%	0.870
MAP	Remoción de tapa de aceite de motor	900rpm	1.47V	3,05%	13.40%	401ppm	1,43%	0.959
MAF	Aumento de flujo de aire de admisión con secador	890rpm	0,30ms	0,04%	14,90%	63ppm	0,52%	1.020
IAT	Aumento de temperatura de aire de admisión con secador	890rpm	2.3V	0,04%	14,90%	63ppm	0,52%	1.020

La tabla 3.12 muestra los valores obtenidos a partir de cada simulación de fallo, evidenciando como cada sensor y cada condición externa desemboca en una desestabilización de las emisiones contaminantes por el tubo de escape, siendo comparadas con el ralentí en condiciones normales y detalladas en cada uno de los apartados por sensor anteriormente.

En base a la tabla 3.12 se generaron curvas de tendencia en función de los valores mostradas en la misma. Es así como en las figuras que se muestran a continuación se evidencia la variación de los datos obtenidos en cuanto a emisiones de gases se trata.

En la figura 3.47 se indica la tendencia de valores de los CO, esto partiendo de los valores normales e indicando cada una de las fallas generadas en los sensores que se seleccionaron.

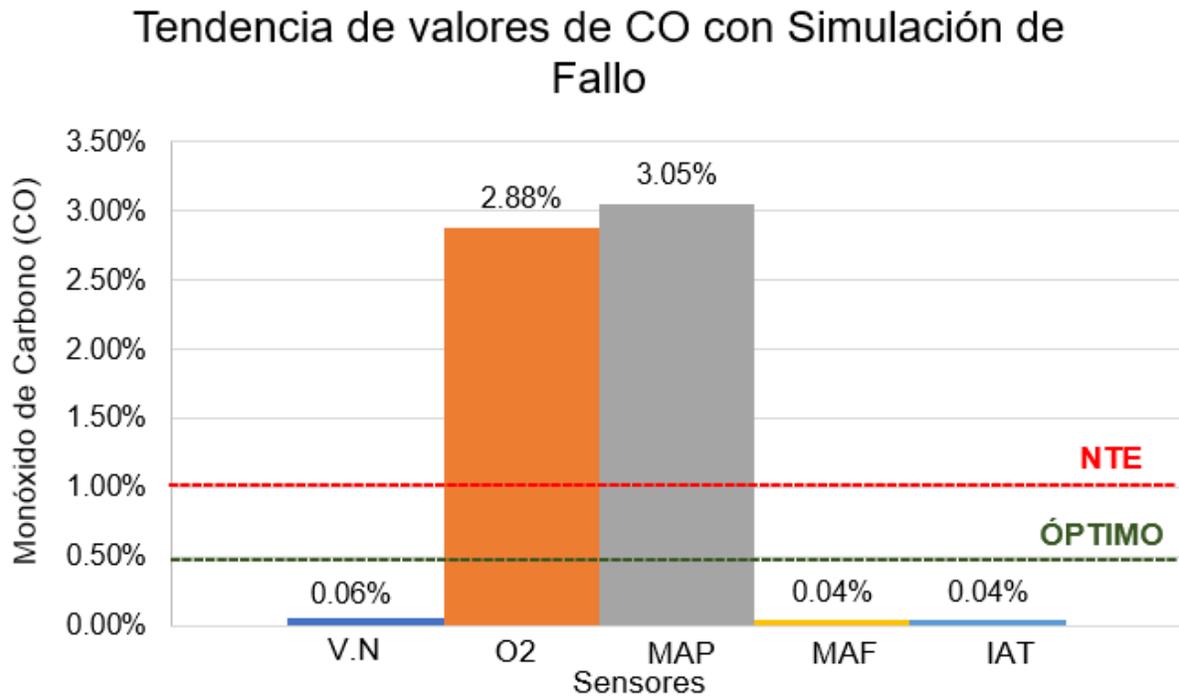


Figura 33.47 Tendencia de valores de CO con simulación de fallo

La figura 3.47 muestra cada uno de los valores de monóxido de carbono obtenidos a partir de simulaciones de fallo para cada sensor especificado. La figura evidencia una mayor emisión de este gas en el momento de remover la tapa de ingreso de aceite de motor, siendo una simulación para el sensor MAP, la cual, al perderse gran parte del vacío de la admisión, produce un déficit de oxígeno en la combustión, la cual impide el correcto quemado de combustible y una combustión incompleta.

Seguidamente se evidencia un aumento bastante considerable en CO al momento de desconectar una bobina de encendido, esto debido a la compensación de la gestión electrónica al momento de inyectar el combustible, la cual aumenta con el fin de mantener encendido el vehículo.

La simulación para MAF e IAT no mostró cambios fuertes en cuanto a estos valores. Seguidamente se analiza los valores de dióxido de carbono con simulaciones de fallo.

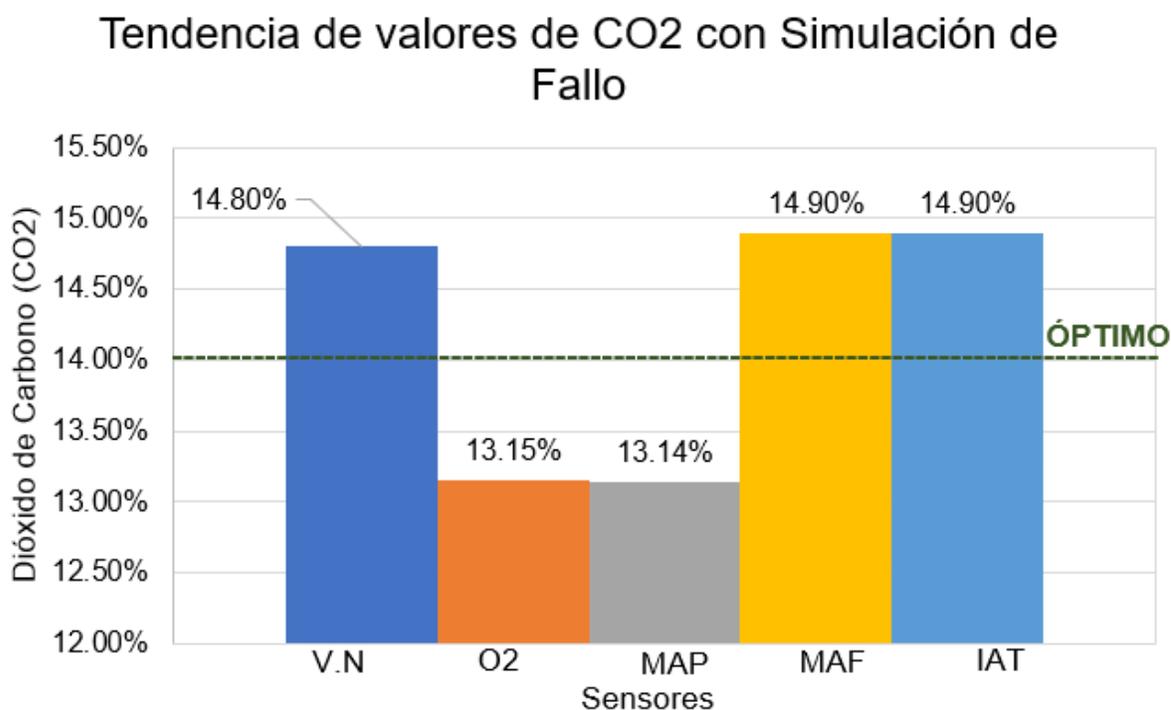


Figura 3.48 Tendencia de valores de CO2 con simulación de fallo

La figura 3.48 detalla una caída de dióxido de carbono en los momentos de simulaciones de fallo para sensores MAP y O2, mostrando evidencias de combustiones incompletas que desembocan en aumento de otros gases como CO y HC, cabe mencionar que los valores tomados en simulación de MAF e IAT no difieren excesivamente los valores normales tomados de manera previa a las simulaciones de fallos. Es importante mencionar que

en la gráfica se detalla una línea límite color verde, la cual muestra el valor óptimo en cuanto al porcentaje de dióxido de carbono. Este 14% evidencia una combustión adecuada, refiriéndose así a cumplir con la mezcla estequiométrica ideal, la cual posee un valor de 14.7, haciendo referencia a la teoría que plantea que al ingresar al motor 14.7 partes de aire por 1 parte de combustible, se obtendría 14.7 partes de dióxido de carbono, juntamente con el vapor de agua; esto hablando de una mezcla teórica ideal.

Tendencia de valores de HC con Simulación de Fallo

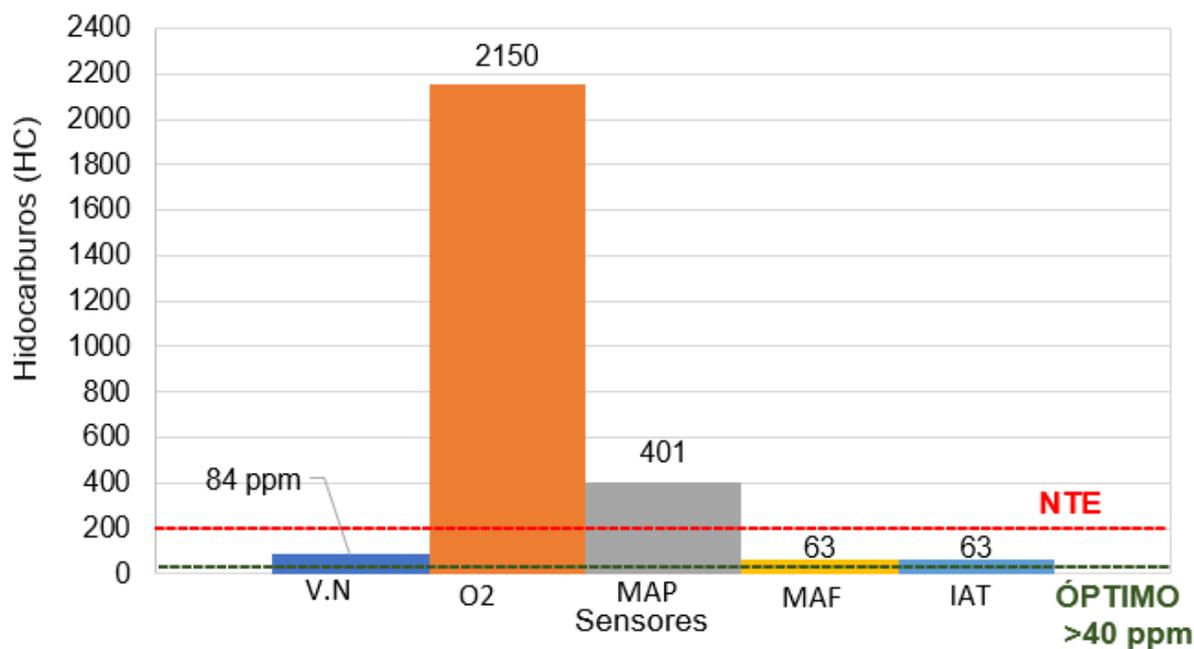


Figura 3.49 Tendencia de valores de HC con simulación de fallo

La figura 3.49 muestra los valores obtenidos en cuanto a hidrocarburos en las respectivas simulaciones para cada sensor, obteniendo valores sumamente representativos al momento de desconectar una bobina de encendido, lo que provoca un aumento bastante considerable de hidrocarburos no combustionados, mostrando evidente mezcla rica

combustionada a partir de la gestión del sistema electrónico encargado de la mezcla de aire-combustible ya que se obtiene una compensación con la finalidad de mantener al vehículo encendido.

Resulta bastante considerable además el aumento de HC al momento de la simulación en el sensor MAP, el cual eleva hasta 401ppm debido a la pérdida de vacío en el múltiple de admisión, demostrando combustiones incompletas que se evidencian además en los valores de CO2 obtenidos en la misma simulación.

A continuación, la figura 3.50 detalla el cambio del valor de oxígenos en los gases de escape con cada una de las simulaciones de fallas.

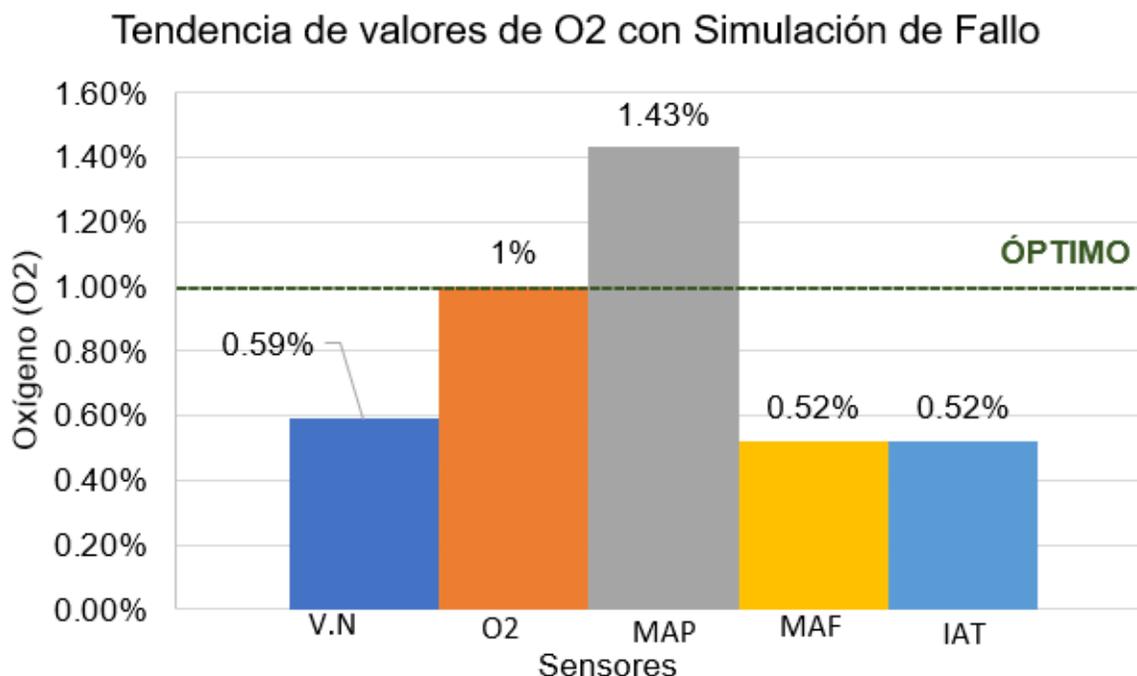


Figura 3.50 Tendencia de valores de O2 con simulación de fallo

La figura 3.50 muestra las diferencias obtenidas en cada simulación a los sensores detallados frente a los valores normales obtenidos previo a cada simulación, para lo cual, se

evidencia una mayor diferencia para la simulación del sensor MAP, el cual crece desde 0.59% hasta el valor de 1.43%, evidenciando valores en oxígeno superiores al límite establecido por las diferentes revisiones vehiculares en el país, estos valores altos en oxígeno se obtienen consecuentemente del aumento de CO y HC. Por otra parte, al no existir una correlación de los valores entre el sensor MAF y MAP, sobre el paso del aire que se está dando, sucede que el sensor MAP establece que se ha reducido el vacío, interpretando que se ha aumentado el paso del aire, lo cual no se ha dado porque el sensor MAF no ha generado esta lectura.

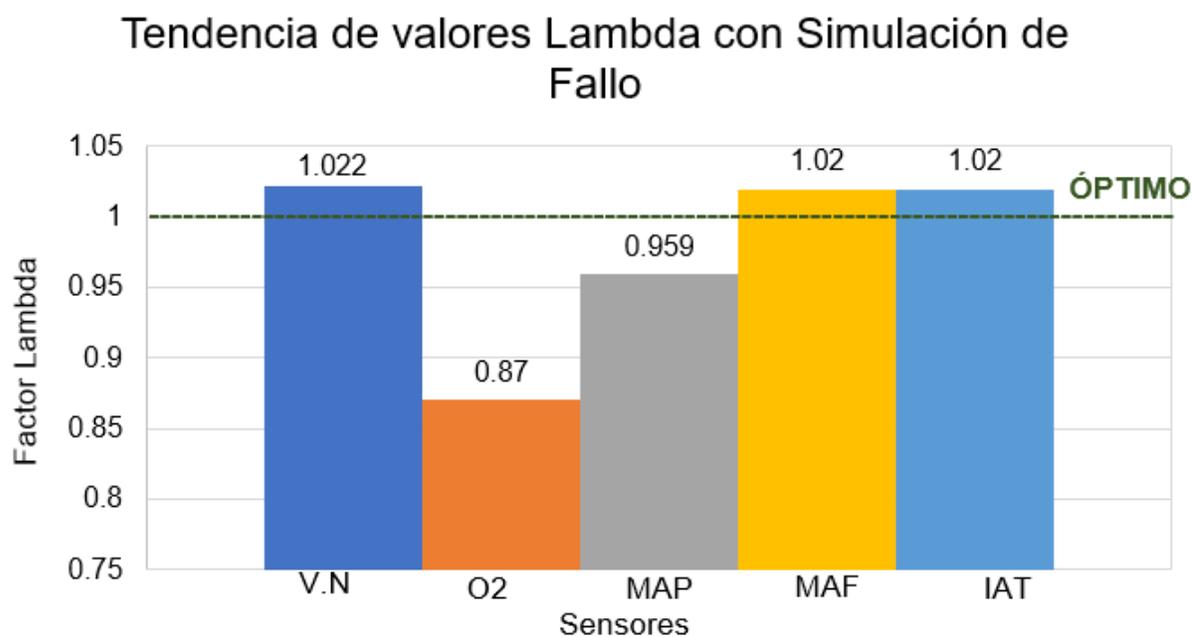


Figura 3.51 Tendencia de valores de factor lambda con simulación de fallo

La figura 3.51 muestra las variaciones del factor lambda en las distintas simulaciones de fallos, lo cuales, en síntesis, desembocan en mezclas ricas en comparación con el valor inicial libre de simulaciones, esto debido a que para cada simulación la gestión electrónica opta por enviar mayor cantidad de combustible como compensación a los distintos fallos. Para esta comparación, es evidente una mezcla más rica en la simulación para el sensor de oxígeno,

el cual, al desconectar una bobina de encendido se evidenció un aumento del régimen de ralentí, así como una inestabilidad apreciable dentro del vehículo, lo que desemboca en un aumento considerable de inyección de combustible. Seguidamente, se pueden observar valores de mezcla rica para la simulación del sensor MAP, y menos evidente para los sensores MAF e IAT. Además, dentro de la imagen se encuentra una línea entrecortada verde, la cual hace referencia a los valores óptimos en cuanto a el valor lambda, esto debido a que teóricamente un valor 1 de lambda significa una combustión adecuada y completa y es lo que se busca en todos los motores de combustión interna.

3.11 Consolidación de resultados

Tabla 3.13 Consolidación de resultados de sensores, emisiones y simulación de fallas

Sensores	Voltaje de referencia (V)	Voltaje de funcionamiento (V)				Resistencia (Ω)	Tiempo de activación				Análisis de gases Inicial		Análisis de gases con simulación							
		670 rpm	1500rpm	2500rpm	3000rpm		670 rpm	1500rpm	2500rpm	3000rpm	Emisiones	670 rpm	Prueba	rpm	Tiempo/Voltaje	CO (%)	CO2 (%)	HC (ppm)	O2 (%)	Lambda
MAF	0.6 – 5.0	-	-	-	-	-	0.28 ms	0.33 ms	0.38 ms	0.39 ms	CO (%)	0.06	#3	890	0.30 ms	0.04	14,90	63	0,52	1.022
IAT	0.5 – 5.0	2.7	2.7	2.8	2.7	340 - 0	-	-	-	-	CO2 (%)	14.80	#3	890	2.3 V	0.04	14.90	63	0.52	1.020
MAP	0.2 – 4.8	1.0	1.7	1.1	0.9	-	-	-	-	-	HC (ppm)	84	#2	900	1.47 V	3.05	13.40	401	1,43	0.959
O2	0.3 – 1.2	0.85	-	-	-	-	3.8s	3.3s	2.2s	2.8s	O2 (%)	0.59	#1	890	3.2 s	2.88	13.15	2150	1.0	0.87
											Factor lambda	1.022								

La tabla 3.13 unifica y relaciona las medidas tomadas en condiciones normales a distintos regímenes con los datos recolectados de emisiones de escape y con los gases a partir de simulaciones de fallo, además muestra los voltajes y tiempos de activación respectivamente de los sensores analizados, mostrando relaciones directas entre los voltajes y tiempos de activación con las emisiones de escape, además que se evidencia el accionar del turbo y la estabilización de los gases a partir de su activación.

Es evidente una muestra estable de gases de escape en ralentí, los cuales aumentan conforme crece el régimen de giro del motor en 1500rpm cuando el sensor MAP muestra su mayor valor en voltaje, llegando hasta 1,7V y la diferencia de tiempo de activación más grande para el sensor O₂, cabe recalcar que las pruebas realizadas de jerarquía de sensores en la mezcla, mostró una gestión principal realizada por el sensor MAP.

Los valores de gases contaminantes de escape llegan a su nivel más bajo en el régimen de 2500rpm, en este régimen se activa el turbo, evidenciando una mayor eficiencia volumétrica al mostrar una combustión más efectiva a partir de sus emisiones contaminantes. En cuanto a voltajes y tiempos de activación, es posible observar una estabilización de valores entre 2500 y 3000rpm, mostrando la misma eficiencia volumétrica antes mencionada.

Las simulaciones de fallo corroboraron con las pruebas de jerarquización de los sensores analizados, mostrando un incremento sumamente considerable al remover la tapa de ingreso de aceite de motor, siendo esta, una simulación para el sensor MAP.

3.12 Cumplimiento de normativa INEN 2204

Para el cumplimiento de esta normativa, se evidenció que el vehículo seleccionado utiliza gasolina como combustible, clasificado como tipo M ya que fue diseñado para el transporte de personas.

En cuanto a requisitos, la normativa INEN 2204 especifica límites para los gases de hidrocarburos no combustionados y monóxido de carbono, siendo estos los mostrados en la tabla 1.2.

Como se observó en la tabla 1.2, los requisitos muestran restricciones en cuanto a monóxido de carbono e hidrocarburos no combustionados, para lo cual se realizó una serie de pruebas estáticas a diferentes rpm en el vehículo seleccionado y con la ayuda del equipo BEA 050 del FSA 740.

Las pruebas realizadas en el vehículo seleccionado dieron como resultado las mostradas en la tabla, las cuales se tomaron a partir de distintos regímenes de operación. Estos resultados muestran un funcionamiento óptimo del sistema electrónico del vehículo encargado de la realización de la mezcla de aire combustible, además de un buen estado del motor, evaluado de manera superficial.

Cabe mencionar que, para la aprobación de la revisión técnica vehicular en la mancomunidad del norte, esta establece límites en cuanto a HC, CO y O₂, siendo estos límites los mostrados en la tabla 3.14.

Tabla 3.14 Límites máximos de emisiones contaminantes

Régimen	Emisiones		
	CO (%)	O2 (%)	HC (ppm)
Bajas (ralentí)	1	3	250
Altas (2500 rpm)	1	3	250

(MEP, 2021)

La tabla 3.14 muestra los valores máximos de emisiones contaminantes evaluados en la revisión técnica vehicular de la mancomunidad del norte de la empresa pública de movilidad. Esta muestra las pruebas estáticas realizadas para la aprobación de libre circulación del vehículo, se puede observar que se realiza las pruebas en dos fases, una en ralentí y la otra a 2500rpm, donde se muestran los límites para cada uno de los gases analizados.

Estas pruebas están basadas de manera directa a la normativa INEN 2204, para lo cual cada cantón o mancomunidad respectivamente tienen la autorización de variar hasta cierto punto y de manera mínima los valores máximos de cada gas contaminante.

En este caso, para el vehículo analizado, se obtuvo resultados bastante positivos, donde el vehículo cumple con facilidad cada uno de estos límites, tanto para la normativa como para los límites establecidos por la mancomunidad del norte.

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

- Las pruebas de comprobación de los sensores descritos, así como la simulación de fallos realizados, dejó en evidencia que la gestión más representativa en cuanto al ajuste de combustible se obtuvo al desconectar el sensor MAP, obteniendo un ajuste de -8,6%, lo que representa una mezcla rica, con lo que se ubican en el primer lugar de la jerarquización de los sensores mencionados, seguido del sensor MAF, el cual presentó un ajuste de -5,5% en su desconexión, representando una mezcla rica, pero en menor proporción, el IAT presentó un ajuste de -5,5% y finalmente el sensor O2 que marcó un ajuste de -3,5% que muestra una tendencia hacia la riqueza de la mezcla, los cuales fueron detallados en la sección de resultados y discusión.
- Sometiendo al vehículo seleccionado a distintos regímenes de giro de motor, se estableció los rangos de funcionamiento de los sensores: MAF, IAT, MAP y sensor O2 a ralentí, 1500, 2500 y 3000rpm, simulando distintas cargas para el vehículo, con lo que se obtuvo los distintos voltajes y tiempos de accionamiento de cada sensor mencionado, obteniendo valores de entre 0,28 y 0,39ms de activación para el sensor MAF, teniendo en cuenta que sus valores de voltaje fluctuaban de manera normal entre 0,6 y 5V. Además, se obtuvo valores de entre 0,9 y 1,07V para el sensor MAP según su régimen de giro, tiempos de activación de entre 2,8 y 3,8 para el sensor O2 y un valor casi constante de 2,7V para el sensor IAT, lo que sirvió para el análisis de los mismos y establecimientos de los límites máximos y mínimos de cada uno, lo mismo que fue detallado en la tabla 3.6 de la sección de resultados y discusión.

- Las simulaciones de fallo realizadas a cada sensor mencionado dieron como resultado una serie de variaciones al ajuste de inyección cercanas al 6,4%, además de variaciones significativas en cuanto a los valores lambda que mostraron un comportamiento de entre 0,870 en la desconexión de una bobina de encendido hasta 1,020, (cabe mencionar que este valor es adimensional), en el aumento de flujo y temperatura de aire de admisión. En cuanto emisiones contaminantes, se evidenció en su mayoría un aumento en hidrocarburos sin combustionar que llegaron hasta los 2150ppm en la desconexión de bobina, un aumento muy significativo de monóxido de carbono de hasta 2,9% referente a su valor en condiciones normales al remover la tapa de ingreso de aceite de motor, para lo que consecuentemente se evidenció una merma en cuanto a dióxido de carbono que llegó hasta 13,5% mostrando una combustión defectuosa y en su mayoría una mezcla rica que diferenció de sus valor en condiciones normales hasta en un 14,8% en la simulación del sensor O₂.
- Mediante el uso del analizador de gases del equipo FSA 740, se procedió a la realización de la medición de gases de escape, evaluándolos a ralentí y a 1500 y 2500 rpm, teniendo en cuenta las fluctuaciones de los valores de voltaje de los sensores de oxígeno, MAF, MAP e IAT en cada uno de los regímenes mencionados anteriormente, obteniendo valores menores al 1% en monóxido de carbono en bajas y altas rpm, valores cercanos al 15% de dióxido de carbono, valores cercanos a 83ppm en cuanto a hidrocarburos sin combustionar en bajas y altas rpm y finalmente valores menores al 1% en cuanto a oxígeno, obteniendo datos que evidenciaron el correcto accionar del sistema electrónico del vehículo encargado de la mezcla de aire combustible, además

de un correcto funcionamiento del motor, haciendo evidente el año de fabricación del vehículo y su corto recorrido desde su fabricación .

- Al término de cada una de las mediciones de gases de escape, se realizó la comparación respectiva de cada gas contaminante establecido en la normativa INEN 2204, la cual menciona límites en cuanto al CO de hasta 1% en vehículos fabricados en el año 2000 y posteriores y límites en cuanto a HC de hasta 200ppm emitidos por el tubo de escape de cada vehículo de fabricación posterior al año 2000, para lo cual se evaluó el mismo en ralentí y 2500 RPM según establece la reglamentación local, obteniendo resultados positivos que fluctuaron entre 0,02 y 0,06% para CO y valores de entre 82 y 84ppm para HC, los mismos que permitirían la libre circulación del vehículo, aprobando de manera correcta los requisitos establecidos por la normativa en cuanto a emisiones de escape.

4.2 Recomendaciones

- Es de suma importancia las capacitaciones previas a la utilización del equipo FSA 740, así como la investigación y conocimiento de cada herramienta incluida en el mismo.
- Para estudios posteriores es recomendable utilizar las distintas variaciones de gasolina existentes en el país, con el fin de obtener lecturas diferentes en cuanto a emisiones contaminantes.
- Debido a las condiciones de los vehículos comerciales en el país, sería de interés las comparaciones futuras entre vehículos que cuenten tan solo con un sensor de flujo de aire de admisión versus un vehículo que tan solo cuente con un sensor de presión absoluta, en cuanto a emisiones contaminantes.

- Se recomienda inicialmente la utilización de otros equipos de diagnóstico de manera individual con el fin de corroborar la información obtenida con el equipo FSA 740 con el fin de aumentar la seguridad al momento de realizar las tomas de los diferentes datos analizados.
- Una de las dificultades presentadas en este trabajo de grado fue la escasa información encontrada para este vehículo, el cual, debido a su actualidad, no es común encontrar bases de datos para el mismo, por lo que se recomienda utilizar autos comerciales y equipados con sistema electrónico BOSCH con el fin de optimizar la gestión del equipo FSA-740.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bosch. (n.d.). *FSA 740 La solución sencilla para el complejo diagnóstico vehicular*.
- Bosch. (2003). *Técnica de gases de escape para motores de gasolina* (Serie Amar).
[https://books.google.es/books?id=zYyWO0lXQOAC&lpg=PA4&ots=kxOeJKWmM_&dq=gases de escape motor&lr&hl=es&pg=PA42#v=onepage&q&f=false](https://books.google.es/books?id=zYyWO0lXQOAC&lpg=PA4&ots=kxOeJKWmM_&dq=gases+de+escape+motor&lr&hl=es&pg=PA42#v=onepage&q&f=false)
- Bosch. (2010). *Sistemas de Inyección Electrónica*.
<https://repositorio.uide.edu.ec/handle/37000/954>
- Bosch. (2017). Inyección directa de gasolina. *Bosch*, 75.
<http://www.edu.xunta.gal/centros/cifpsomeso/system/files/INYECCION+DIRECTA+DE+GASOLINA.pdf>
- Centro Zaragoza. (2014). *Sistemas de Inyección de gasolina*. <https://web.centro-zaragoza.com/es>
- CEPSA. (2015). El Cambio Climático y los Gases de Efecto Invernadero (GEI) en Cepsa. *Cepsa*, 14. https://www.cepsa.com/stfls/CepsaCom/Coorp_Comp/MedioAmbiente_Seguridad_Calidad/Articulos/Dossier-Cambio-Climatico-y-GEI.pdf
- Coello Salcedo, B. M., & Cordero Peralta, G. J. (2011). Diseño y construcción de un banco para diagnóstico de componentes del sistema de inyección de gasolina [Universidad de Azuay]. In *Universidad del Azuay*.
<http://dspace.uazuay.edu.ec/bitstream/datos/6819/1/07260.pdf>
- CONUEE. (2017). *Diagnóstico a Bordo*.
- Denso. (2018). *Caudalímetros*. <https://www.denso-am.es/productos/automotive-aftermarket/sistemas-de-gestion-de-motor/caudalímetros/funcionamiento/>
- García, R. (2001). Combustión y combustibles. *Materiales de Construcción*, 11(102), 9–50.
<https://doi.org/10.3989/mc.1961.v11.i102.1890>

- GCE. (n.d.). *Quema de Combustibles*. <https://unfccc.int/sites/default/files/7-bis-handbook-on-energy-sector-fuel-combustion.pdf>
- Guevara Hidalgo, M. G. (2010). *METODOLOGIA DE PRUEBAS PARA LA EVALUACION DE CONVERTIDORES CATALITICOS EN MOTORES A GASOLINA* [Escuela Politécnica Nacional]. <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/2255/1/CD-2998.pdf>
- Heredia, & Jiménez. (2013). *Implementación de un dispositivo mejorador del sensor de oxígeno de zirconio común, para que trabaje en banda ancha y opere con un monitoreo continuo del catalizador*.
- INEN. (2017). *NTE INEN 2204*. https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/nte_inen_2204-2.pdf
- Kilicarslan, A., & Qatu, M. (2017). Exhaust Gas Analysis of an Eight Cylinder Gasoline Engine Based on Engine Speed. *Energy Procedia*, 110(December 2016), 459–464. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.03.169>
- Lara, C., Mendoza, J. F., Mart, W., Elia, M., & Alonso, M. (2009). *Propuesta metodológica para la estimación de emisiones vehiculares en ciudades de la República Mexicana* (Issue 322). <https://www.imt.mx/archivos/publicaciones/publicaciontecnica/pt322.pdf>
- Leguisamo Milla, J. C. (2016). *Estudio del funcionamiento de un motor de inyección electrónica directa a gasolina de diferentes alturas con respecto a nivel del mar* [Escuela Politécnica Nacional]. <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/16475>
- MAVAINSA. (2011). *Combustión*. https://www.mavainsa.com/pdfs/3_combustion.pdf
- Obando, R. (2010). *Los gases efecto invernadero. En contaminación atmosférica por bióxido de carbono emitido por vehículos automotores en la ciudad de Torreón*.
- Obando Rosero, A. F. (2014). *“PROPUESTA DE IMPLEMENTACIÓN DE UN CENTRO DE REVISIÓN VEHÍCULAR EN LA CIUDAD DE IBARRA”* [PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR - MATRIZ].

[http://repositorio.puce.edu.ec/bitstream/handle/22000/11281/TESIS-PUCE-Rosero
Obando Fredy.pdf?sequence=1](http://repositorio.puce.edu.ec/bitstream/handle/22000/11281/TESIS-PUCE-RoseroObando%20Fredy.pdf?sequence=1)

Paida Puente, M. L. (2007). Análisis De Los Sensores Map Y Maf En Un Motor a Gasolina. In *Universidad del Azuay. Facultad de Ciencia y Tecnología*.
<http://dspace.uazuay.edu.ec/bitstream/datos/6819/1/07260.pdf>

Paredes Echeverría, F. X. (2011). *Implementación de un Banco Simulador de Fallas de un Sistema de Inyección Electrónica de Combustible (gasolina) en un Motor Corsa de Cuatro Cilindros 1.6L MPF* [Universidad Internacional del Ecuador].
<https://repositorio.uide.edu.ec/handle/37000/954>

Rodríguez Rojas, C. A., Serrano Coveña, G. A., & Vela Alquina, P. D. (2018). *Estudio de los gases contaminantes modificando la relación de compresión en un vehículo*.
<https://repositorio.uide.edu.ec/bitstream/37000/2495/1/T-UIDE-1787.pdf>

Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo. (2017). *Plan Nacional de Desarrollo 2017-2021-Toda una Vida*. 84. http://www.planificacion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2017/10/PNBV-26-OCT-FINAL_0K.compressed1.pdf

Tim Dallmann. (2018). *Uso del sensor remoto para monitoreo y control de emisiones vehiculares*. 5. https://theicct.org/sites/default/files/publications/ICCT_remote-sensing_brief_jan2021.pdf

Universidad Nacional De La Plata. (n.d.). *Funcionamiento del sistema de inyección electrónica*.
<https://unlp.edu.ar/frontend/media/98/27498/62e06ec1017260f88ab2f5b3bf9e5436.pdf>

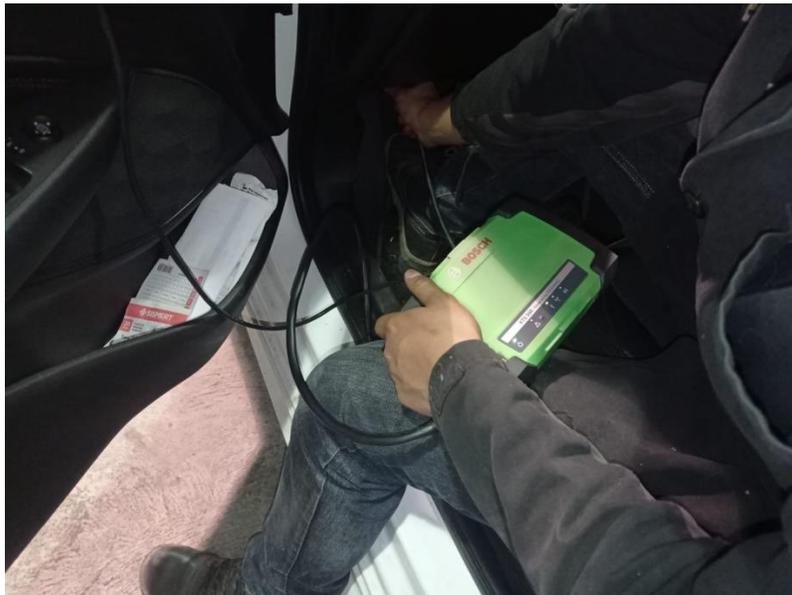
Vazquez, D. (2015). ANALISIS DEL SISTEMA DE CONTROL DE EMISIONES DEL CHEVROLET SAIL 1,4L 2012 [UNIVERSIDAD INTERNACIONAL DEL ECUADOR]. In *Sistemas gestión de bibliotecas*. <http://biblioteca.uide.edu.ec/cgi-bin/koha/opac-search.pl>

ANEXOS



Anexo 1 Utilización del equipo Bosch FSA 740

(Autores, 2022)



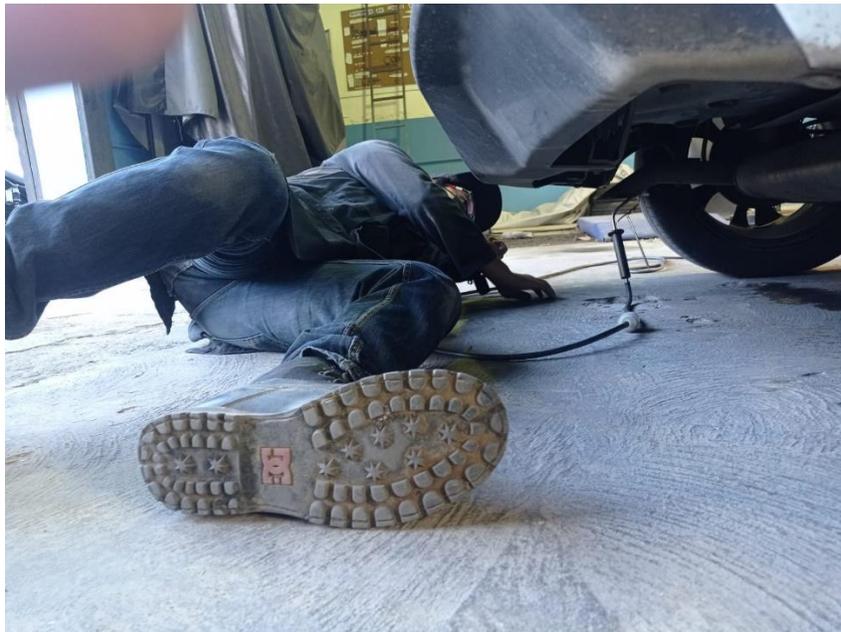
Anexo 2 Conexión de interfaz KTS 560

(Autores, 2022)



Anexo 3 Conexión de osciloscopio a sensores del vehículo

(Autores, 2022)



Anexo 4 Proceso de medición de gases de escape

(Autores, 2022)