



# **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: SIMULACIÓN DE SEÑALES PARA UN DIAGNÓSTICO EN  
LOS SENSORES Y ACTUADORES DE FLUJO DE AIRE Y  
COMBUSTIBLE DE UN MOTOR DIÉSEL.**

**AUTORES: FLORES BASANTES KEVIN ALEJANDRO  
QUINTANA SÁNCHEZ JHON ESTEBAN**

**DIRECTOR: ING. MAFLA YÉPEZ CARLOS NOLASCO MSc.**

**Ibarra, Octubre 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 " SIMULACIÓN DE SEÑALES PARA UN DIAGNÓSTICO EN LOS SENSORES Y ACTUADORES DE FLUJO DE AIRE Y COMBUSTIBLE DE UN MOTOR DIÉSEL" presentado por el señor: Flores Basantes Kevin Alejandro con número de cédula 1004107296 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 18 días del mes de octubre del 2022.

Atentamente,



Ing. MAFLA YÉPEZ CARLOS NOLASCO, 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 " SIMULACIÓN DE SEÑALES PARA UN DIAGNÓSTICO EN LOS SENSORES Y ACTUADORES DE FLUJO DE AIRE Y COMBUSTIBLE DE UN MOTOR DIÉSEL" presentado por el señor: Quintana Sánchez Jhon Esteban con número de cédula 1004338404 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 18 días del mes de octubre del 2022.

Atentamente,



Ing. MAFLA YÉPEZ CARLOS NOLASCO, 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			
<b>CÉDULA DE IDENTIDAD:</b>	100410729-6		
<b>APELLIDOS Y NOMBRES:</b>	Flores Basantes Kevin Alejandro		
<b>DIRECCIÓN:</b>	Ibarra, San Francisco de Azaya		
<b>EMAIL:</b>	kafloresb@utn.edu.ec		
<b>TELÉFONO FIJO:</b>	062 517 025	<b>TELÉFONO MÓVIL:</b>	0939430404
DATOS DE CONTACTO			
<b>CÉDULA DE IDENTIDAD:</b>	100433840-4		
<b>APELLIDOS Y NOMBRES:</b>	Quintana Sánchez Jhon Esteban		
<b>DIRECCIÓN:</b>	Ibarra, Ciudadela Municipal		
<b>EMAIL:</b>	jequintanas@utn.edu.ec		
<b>TELÉFONO FIJO:</b>	062 650 856	<b>TELÉFONO MÓVIL:</b>	0969261194

DATOS DE LA OBRA	
<b>TÍTULO:</b>	“Simulación de señales para un diagnóstico en los sensores y actuadores de flujo de aire y combustible de un motor diésel”
<b>AUTOR (ES):</b>	Flores Basantes Kevin Alejandro, Quintana Sánchez Jhon Esteban
<b>FECHA: DD/MM/AAAA</b>	18/10/2022
SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO	
<b>PROGRAMA:</b>	<input checked="" type="checkbox"/> <b>PREGRADO</b> <input type="checkbox"/> <b>POSGRADO</b>
<b>TÍTULO POR EL QUE OPTA:</b>	INGENIERÍA EN MANTENIMIENTO AUTOMOTRIZ
<b>ASESOR /DIRECTOR:</b>	Ing. Mafla Yépez Carlos Nolasco MSc.

## 2. CONSTANCIAS

Los autores manifiestan 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 son los titulares de los derechos patrimoniales, por lo que asumen la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrán en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 18 días del mes de octubre de 2022

### LOS AUTORES:



FLORES BASANTES KEVIN ALEJANDRO  
1004107296



QUINTANA SÁNCHEZ JHON ESTEBAN  
1004338404

## **DEDICATORIA**

A mis padres César Flores y Consuelo Basantes por haberme ayudado a lo largo de toda mi carrera universitaria, ellos fueron los principales artífices de todos mis logros que he conseguido y por ser un claro ejemplo de trabajo, superación y motivación en mi vida.

A mis hermanos, familiares y amigos porque siempre estuvieron en los problemas constantes que implica ser un gran profesional.

Y finalmente a mi hijo y su madre porque desde el primer momento que empecé mi carrera supe que iban a ser una pieza fundamental en mi éxito.

**Kevin Alejandro Flores Basantes**

## **DEDICATORIA**

El presente trabajo de grado se le dedico a mi madre Rocío Sánchez y a mi padre Hugo Quintana quienes me guiaron con sus enseñanzas y sus valores en este largo camino de mi carrera universitaria. Ustedes fueron mi apoyo incondicional en mis momentos bueno y malos, gracias a ustedes es que he logrado cumplir esta meta tan importante de ser un gran profesional, son mi gran ejemplo a seguir y me siento orgulloso de ser su hijo.

Le dedico a toda mi familia que con sus muestras de ánimo y sus grandes consejos de superación han hecho de mí una mejor persona.

Finalmente quiero dedicar a mis grandes amigos, por apoyarme y estar conmigo en esta gran etapa de mi vida.

**Jhon Esteban Quintana Sánchez**

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a mis padres por siempre creer en mí y fomentarme a seguir adelante en cada tropiezo que prepara la vida, gracias por demostrarme que a pesar de haber tomado malas decisiones en la vida aún siguen incondicionalmente apoyándome en todo momento.

Quiero agradecer a mis hermanos y mi familia que siempre me inculcaron una profesión a seguir, también quiero agradecer a mi hijo y su madre ya que muchas veces fueron el soporte necesario para no decaer y conseguir mis grandes metas.

Agradezco a la Universidad Técnica del Norte y sus autoridades por haberme brindado la oportunidad de recibir una educación de calidad que me ayudó a formarme como ingeniero.

Agradezco a la Carrera de Ingeniería en Mantenimiento Automotriz y sus docentes por compartir sus conocimientos y consejos en toda mi etapa universitaria para ser un profesional de calidad.

Un sincero agradecimiento al Ing. Carlos Mafla Msc. director de trabajo de grado, por ser un gran docente al dedicar su tiempo y paciencia en la culminación del presente proyecto, de igual manera al Ing. Ignacio Benavides Msc. como asesor y coordinador de carrera.

Finalmente quiero agradecer al Sr. Jhon Quintana como amigo y compañero de tesis, además a todos mis grandes amigos que forme a lo largo de toda la trayectoria universitaria compartida en las aulas de la facultad.

**Kevin Alejandro Flores Basantes**



## **AGRADECIMIENTO**

A Dios por ser mi guía y mi apoyo en esta gran etapa de mi vida, con su sabiduría me ayudo a sobresalir en momentos malos y culminar con éxito todas mis metas.

A mis padres que con su esfuerzo, amor y dedicación me ayudaron a lograr culminar mi etapa universitaria. Sus consejos fueron un pilar fundamental para convertirme en una gran persona.

A mi familia por brindarme su apoyo incondicional en el transcurso de toda mi carrera profesional.

A la Universidad Técnica del Norte institución que me abrió sus puertas y me formo como un gran profesional en sus excelentes aulas y ser sede de todo el conocimiento adquirido en todos estos años.

A los docentes de la carrera de Ingeniería en Mantenimiento Automotriz por compartir sus habilidades, experiencias y conocimientos a lo largo de mi formación como profesional.

A mi tutor de tesis el Ing. Carlos Mafla, Msc. por ser un excelente docente y por guiarme y compartir sus conocimientos en la realización de este presente trabajo de grado.

Al Ing. Ignacio Benavides, Msc por ser nuestro asesor y docente quien nos guio y compartió sus grandes experiencias para nuestra formación.

A mi compañero de tesis Alejandro Flores por todo el apoyo brindando a lo largo de estos años como compañero y amigo incondicional con quien compartimos muchas experiencias y conocimientos al largo de todos estos años. Y por brindarme sus grandes conocimientos en la realización de este trabajo de grado.

**Jhon Esteban Quintana Sánchez**

## RESUMEN

El presente estudio tuvo como objetivo realizar simulaciones de las señales de los sensores y actuadores del sistema de inyección diésel del banco motor BT-50 utilizando el equipo de diagnóstico Bosch FSA 740. Se realizó un estudio bibliográfico del funcionamiento y valores de referencia de los sensores MAF-IAT y de la bomba eléctrica de combustible, para posterior comparar con los datos obtenidos en las pruebas. Con ayuda del equipo FSA 740 se simuló las diferentes curvas características, dichas señales se las obtuvo en condiciones normales y con falla. Para las pruebas con un determinado fallo se obstruyó la entrada de aire en un 80% para verificar como varían los valores en el sensor de flujo total (MAF-IAT). De la misma forma se instaló un potenciómetro en el sensor IAT en el cual se bajó y se subió la temperatura. Para las pruebas en la bomba de combustible se acopló una bomba eléctrica de combustible y se trabajó solamente a ralentí. Se utilizó el equipo Analizador de Gases Portátil Kane Autoplus 54-2 para la medición de emisiones de gases de escape, estas pruebas se realizaron en condiciones normales y con fallo. Dentro de las condiciones con falla se limitó el aire de entrada en un 80% y se desconectó el sensor MAF, todas estas pruebas se realizaron con el motor trabajando en altas y bajas rpm. Como resultados se obtuvo que el sensor MAF en estado normal y trabajando a ralentí su tensión fue de 2.07V y masa de aire de 39 Kg/h. Mientras que con la limitación de aire su voltaje disminuye en un 57% y la masa de aire bajo un 77% con respecto a su estado normal. En la segunda prueba con el motor trabajando en altas rpm su tensión fue de 3.01 y una masa de aire de 138 Kg/h. Con la obstrucción del aire de un aproximado del 80% el voltaje bajo un 35.5% y la masa de aire disminuyó un 73.9% en comparación a los resultados obtenidos en estado normal del sensor.

## ABSTRACT

The objective of this study was to simulate the signals of the sensors and actuators of the diesel injection system of the BT-50 engine bench using Bosch FSA 740 diagnostic equipment. A bibliographic study of the operation and reference values of the MAF-IAT sensors and the electric fuel pump was carried out, for subsequent comparison with the data obtained in the tests. With the help of the FSA 740 equipment, the different characteristic curves were simulated; these signals were obtained under normal and fault conditions. For the tests with a certain failure, the air inlet was obstructed by 80% to verify how the values vary in the total flow sensor (MAF-IAT). In the same way a potentiometer was installed on the IAT sensor in which the temperature was lowered and raised. For the fuel pump tests, an electric fuel pump was attached and the engine was run at idle speed only. The Kane Autoplus 54-2 Portable Gas Analyser was used for the measurement of exhaust gas emissions and these tests were carried out under normal and fault conditions. In the fault conditions, the intake air was limited to 80% and the MAF sensor was disconnected, all these tests were carried out with the engine running at high and low rpm. The results showed that the MAF sensor in normal state and working at idle speed, its voltage was 2.07V and air mass was 39 Kg/h. While with the air limitation its voltage decreased by 57% and the air mass decreased by 77% with respect to its normal state. In the second test with the engine running at high rpm its voltage was 3.01 and an air mass of 138 kg/h. With the air clogging of approximately 80% the voltage decreased by 35.5% and the air mass decreased by 73.9% compared to the results obtained in the normal state of the sensor.

## INTRODUCCIÓN

El presente estudio muestra la simulación de los sensores y actuadores del flujo de aire y combustible de un motor diésel, para analizar esta problemática se encontró la necesidad de reducir el tiempo de diagnóstico y mantenimiento en los componentes antes mencionados, además de ocupar la menor cantidad de equipos para la detección de las curvas proporcionadas por los sensores y actuadores.

Ante esta problemática se realiza un estudio para la obtención de un equipo que contenga una mayor eficiencia y calidad en las señales dadas por los sensores y actuadores, por lo cual se optó por el equipo de prueba Bosch FSA 740 debido a que posee un software con la capacidad de simular las señales sin la necesidad del cambio constante de sensores.

Con el fin de recopilar datos se realiza un estudio de varias fuentes bibliográficas que permitan conocer acerca del funcionamiento de los sensores MAF, IAT y la bomba eléctrica de combustible, además de las características de funcionamiento de equipos de diagnóstico automotriz como el osciloscopio o el escáner.

Una vez recolectada la información necesaria se procede a la realización de un diagrama de flujo que abarque la metodología a seguir posteriormente, así como también la utilización de los materiales y equipos más importantes ocupados en el presente estudio.

Con el equipo FSA 740 se obtiene las diferentes curvas características, dichas señales se presentan en condiciones normales y con falla de funcionamiento. Para las pruebas con un determinado fallo se obstruye la entrada de aire en un 80% en el depurador para verificar como varían los valores en el sensor MAF. De la misma forma se instala un potenciómetro en el sensor IAT para variar los parámetros de temperatura. Para las pruebas en la bomba de combustible se acopla una bomba eléctrica de combustible y se trabaja solamente a ralentí. Además, el equipo Analizador de Gases Portátil Kane Autoplus 54-2 se utiliza para la medición de emisiones de gases de escape y con los resultados obtenidos por medio del equipo FSA 740 se elabora las conclusiones y recomendaciones para futuros estudios.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

RESUMEN .....	x
ABSTRACT .....	xi
INTRODUCCIÓN .....	xii
<b>1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>1</b>
1.1 OBJETIVOS .....	1
1.1.1 Objetivo General.....	1
1.1.2 Objetivos Específicos .....	1
1.2 ANTECEDENTES .....	1
1.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	3
1.4 JUSTIFICACIÓN .....	4
1.5 ALCANCE.....	5
1.6 MOTOR DIÉSEL .....	6
1.7 SISTEMA DE INYECCIÓN ELECTRÓNICA CRDi .....	7
1.7.1 Funcionamiento del Sistema Common Rail .....	8
1.7.2 Componentes del Sistema de Inyección CRDi.....	9
1.8 INYECTORES CON VÁLVULA ELECTROMAGNÉTICA .....	13
1.8.1 Partes del Inyector Electromagnético .....	14
1.8.2 Funcionamiento .....	15
1.9 ECU (ENGINE CONTROL UNIT).....	18
1.9.1 Funcionamiento de la ECU.....	19
1.10 SENSORES Y ACTUADORES .....	19
1.10.1 Sensor de Flujo de Aire (MAF).....	19
1.10.2 Sensor IAT (Intake Air Temperature) .....	22
1.10.3 Bomba de Combustible .....	23

1.11	DIAGNÓSTICO DE VEHÍCULOS DIÉSEL.....	27
1.11.1	Mantenimiento Preventivo .....	27
1.11.2	Mantenimiento Correctivo.....	28
1.11.3	Escaner Automotriz .....	28
1.11.4	Osciloscopio Automotriz.....	29
2.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	31
2.1	METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN .....	31
2.1.1	Enfoque Investigativo.....	31
2.2	MATERIALES Y EQUIPOS .....	31
2.2.1	Materiales .....	31
2.2.2	Equipos .....	32
2.3	PROCESO METODOLÓGICO .....	40
2.3.1	Análisis de los sensores y actuadores del sistema CRDi.....	41
2.3.2	Selección de sensores y actuadores a estudiar .....	42
2.3.3	Selección del banco de pruebas motor Diesel .....	43
2.3.4	Verificación del funcionamiento del banco de pruebas.....	44
2.3.5	Verificación de funcionamiento de los sensores y a actuadores a simular.....	44
2.3.6	Selección del equipo de diagnóstico para pruebas .....	44
2.3.7	Obtención de curvas en condiciones normales.....	45
2.3.8	Obtención de curvas en diferentes condiciones.....	47
2.3.9	Comparación de las curvas en diferentes condiciones y estado normal.....	48
2.3.10	Diagnóstico de señales obtenidas .....	48
3.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	49
3.1	ESTUDIO DE LOS SENSORES Y ACTUADORES QUE CONFORMAN LA ENTRADA DE AIRE E INICIO DEL SISTEMA DE ALIMENTACIÓN.....	49

3.1.1	Sensor MAF.....	49
3.1.2	Sensor IAT.....	49
3.1.3	Bomba eléctrica de combustible y Bomba de cebado .....	50
3.1.4	Inyector Electromagnético.....	50
3.2	VERIFICACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DE LOS SENSORES Y ACTUADORES CON LAS SEÑALES OBTENIDAS POR EL EQUIPO DE PRUEBA FSA 740.....	52
3.2.1	Valores reales de los sensores MAF-IAT.....	52
3.2.2	Curvas en funcionamiento normal de los sensores MAF-IAT.....	54
3.2.3	Curva de referencia del inyector para el sensor IAT y la bomba eléctrica de combustible en condiciones normales .....	57
3.3	DIAGNÓSTICO DE LAS SEÑALES DE LOS SENSORES Y ACTUADORES ANTE SUS PRESUNTAS FALLAS. ....	59
3.3.1	Pruebas con variaciones del sensor MAF.....	59
3.3.2	Pruebas de gases del sensor MAF .....	61
3.3.3	Pruebas de variaciones del sensor IAT.....	65
3.3.4	Pruebas de variaciones de la bomba eléctrica de combustible .....	71
3.4	ANÁLISIS DE LAS CURVAS EN SU CONDICIÓN NORMAL Y ESPECÍFICA PARA PROPORCIONAR UN MANTENIMIENTO PREVENTIVO Y CORRECTIVO A SU FUNCIONALIDAD. ....	74
3.4.1	Análisis del sensor MAF .....	74
3.4.2	Análisis del sensor IAT .....	78
3.4.3	Análisis de la bomba eléctrica de combustible.....	81
4.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	84
4.1	Conclusiones .....	84
4.2	Recomendaciones .....	87

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICA .....	89
ANEXOS .....	93



## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.1</b> Motor Diésel. ....	6
<b>Figura 1.2</b> Sistema Common Rail Motor Diesel. ....	8
<b>Figura 1.3</b> Configuración General del Sistema Common Rail.....	10
<b>Figura 1.4</b> Circuito de baja y alta presión de combustible .....	11
<b>Figura 1.5</b> Etapas de alta presión del sistema Common Rail. ....	12
<b>Figura 1.6</b> Inyector con válvula electromagnética .....	13
<b>Figura 1.7</b> Partes del Inyector Electromagnético .....	14
<b>Figura 1.8</b> Curva Inicio de la Inyección .....	16
<b>Figura 1.9</b> Curva Inyector Abierto .....	17
<b>Figura 1.10</b> Curva Final de la Inyección .....	17
<b>Figura 1.11</b> Diagrama de la Unidad de Control (ECU).....	18
<b>Figura 1.12</b> Diagrama Eléctrico Sensor MAF.....	21
<b>Figura 1.13</b> Ubicación y estructura del sensor IAT.....	22
<b>Figura 1.14</b> Etapa de Admisión.....	24
<b>Figura 1.15</b> Etapa Alimentación por presión.....	25
<b>Figura 1.16</b> Etapa Bomba de cebado parada .....	26
<b>Figura 1.17</b> Esquema de una Bomba de alta presión.....	27
<b>Figura 1.18</b> Escáner Automotriz BOSCH .....	29
<b>Figura 1.19</b> Osciloscopio Automotriz .....	30
<b>Figura 2.1</b> Potenciómetro B10K.....	32
<b>Figura 2.2</b> Equipo Bosch FSA 740.....	34
<b>Figura 2.3</b> Banco de Pruebas Mazda BT-50.....	35
<b>Figura 2.4</b> Analizador de Gases Kane .....	36
<b>Figura 2.5</b> Multímetro MMD 540 Bosch .....	37
<b>Figura 2.6</b> Fuente de Alimentación Regulada .....	39
<b>Figura 2.7</b> Flujograma de proceso metodológico .....	41
<b>Figura 2.8</b> Identificación del vehículo en el equipo FSA 740.....	45
<b>Figura 2.9</b> Selección del tipo de sensor .....	46
<b>Figura 2.10</b> Interfaz de la curva característica.....	47

<b>Figura 3.1</b> Funcionamiento del Inyector Electromagnético .....	51
<b>Figura 3.2</b> Valores en ralentí .....	52
<b>Figura 3.3</b> Valores con el motor a 2500rpm.....	53
<b>Figura 3.4</b> Curva del sensor MAF en ralentí .....	54
<b>Figura 3.5</b> Curva MAF a 2500 rpm .....	55
<b>Figura 3.6</b> Curva de voltaje del sensor IAT .....	56
<b>Figura 3.7</b> Curva de resistencia-temperatura del sensor IAT .....	56
<b>Figura 3.8</b> Curva del inyector a ralentí.....	58
<b>Figura 3.9</b> Curva del inyector a 2500rpm.....	59
<b>Figura 3.10</b> Limitación de aire con el motor en ralentí.....	60
<b>Figura 3.11</b> Limitación de aire con el motor a 2500rpm.....	61
<b>Figura 3.12</b> Curva de la resistencia del Sensor IAT con la variación de temperatura a 10°C .....	65
<b>Figura 3.13</b> Curva de voltaje del sensor IAT con la temperatura variada a 10°C en ralentí .....	66
<b>Figura 3.14</b> Curva del inyector respecto al sensor IAT con rangos de 0 a 12°C .....	67
<b>Figura 3.15</b> Curva de la resistencia del sensor IAT con la variación de temperatura a 100°C .....	68
<b>Figura 3.16</b> Curva de voltaje del sensor IAT con la temperatura variada a 100°C en ralentí .....	68
<b>Figura 3.17</b> Curva del inyector respecto al sensor IAT con rangos de 40 a 130°C .....	69
<b>Figura 3.18</b> Curva del inyector con respecto al sensor IAT a 2500rpm.....	70
<b>Figura 3.19</b> Curva del inyector con respecto a la bomba (13V - 8A) .....	71
<b>Figura 3.20</b> Curva del inyector con respecto a la bomba (8V - 4.9A) .....	72
<b>Figura 3.21</b> Curva del inyector con respecto a la bomba (5V - 3A) .....	73
<b>Figura 3.22</b> Emisiones de CO <sub>2</sub> .....	75
<b>Figura 3.23</b> Emisiones de CO.....	76
<b>Figura 3.24</b> Emisiones de NO <sub>x</sub> .....	77

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.1</b> Sensor MAF, IAT .....	20
<b>Tabla 1.2</b> Valores reales de voltaje sensor MAF .....	20
<b>Tabla 1.3</b> Valores de Trabajo Sensor IAT .....	23
<b>Tabla 2.1</b> Materiales .....	32
<b>Tabla 2.2</b> Equipos .....	33
<b>Tabla 2.3</b> Datos técnicos equipo Bosch FSA 740 .....	34
<b>Tabla 2.4</b> Ficha Técnica Mazda BT-50 .....	36
<b>Tabla 2.5</b> Rangos de Medición .....	37
<b>Tabla 2.6</b> Datos técnicos Multímetro MMD 540 Bosch.....	38
<b>Tabla 2.7</b> Datos Técnicos Fuente de Alimentación Regulada.....	39
<b>Tabla 2.8</b> Número de cables Sensor MAF.....	42
<b>Tabla 2.9</b> Número de cables Sensor IAT.....	43
<b>Tabla 2.10</b> Número de cables bomba de combustible .....	43
<b>Tabla 3.1</b> Valores reales de voltaje sensor MAF.....	49
<b>Tabla 3.2</b> Valores referenciales del Sensor IAT .....	50
<b>Tabla 3.3</b> Pruebas de Dióxido de carbono .....	62
<b>Tabla 3.4</b> Pruebas de monóxido de carbono .....	63
<b>Tabla 3.5</b> Pruebas de óxidos de nitrógeno .....	64
<b>Tabla 3.6</b> Valores Prueba de Limitación de Aire .....	74
<b>Tabla 3.7</b> Valores de la variación de temperatura, resistencia - voltaje .....	78
<b>Tabla 3.8</b> Valores de variación de temperatura .....	80
<b>Tabla 3.9</b> Valores de las pruebas bomba eléctrica de combustible .....	82

# **1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA**

## **1.1 OBJETIVOS**

### **1.1.1 Objetivo General**

Simular las señales de los sensores y actuadores del sistema de inyección Diésel mediante un equipo de prueba Bosch FSA 740, a tal punto de encontrar un óptimo diagnóstico preventivo.

### **1.1.2 Objetivos Específicos**

- a) Realizar un estudio de cada uno de los sensores y actuadores que conforman el sistema de inyección de un motor Diesel.
- b) Verificar el funcionamiento de los sensores y actuadores a través de las señales generadas por el equipo de prueba FSA 740.
- c) Diagnosticar las señales de los sensores y actuadores que intervienen en el sistema y sus presuntas fallas.
- d) Analizar las gráficas proporcionadas por el equipo de prueba FSA 740 dando un mantenimiento preventivo y correctivo a su funcionalidad.

## **1.2 ANTECEDENTES**

A través de los años los motores Diésel se han convertido en una parte fundamental de las aplicaciones automotrices, es por ello por lo que se evidencia un crecimiento en el control electrónico para la disminución de emisiones de gases contaminante (Martin, 2012).

Los sensores de inyección Diésel son cada vez más sofisticados, por lo tanto, la industria automotriz ha incorporado nuevos sistemas tales como la inyección directa. Esto junto con las innovaciones en los sistemas de sobrealimentación permiten una mejora respecto a los motores Diésel de los últimos años (Martin, 2012).

En el desarrollo de esta investigación, se analizará las diversas señales de los sensores de flujo de aire y combustible en un motor Diésel. Según (Guasumba-maila et al., 1906): “Las fallas más comunes del sensor principal de flujo de aire denominado MAF es la desvalorización de la eficiencia del motor, fallas en el encendido y fallas por suciedad”. Mientras que en los sensores y actuadores de combustible una de sus fallas más comunes en la bomba de combustible es una pérdida de energía mientras se está conduciendo esto es causado por una disminución en la presión en las líneas de combustible (Guasumba-maila et al., 1906).

Los diagnósticos que se daban anteriormente no tenían la suficiente eficacia ni la correcta optimización del tiempo, debido a que era necesario el empleo de varios dispositivos para lograrlo, como lo es el scanner, osciloscopio y multímetro. Uno de los mecanismos para realizar un diagnóstico en los vehículos es el multímetro automotriz, este equipo permite obtener determinadas pruebas en los sensores, actuadores y demás componentes del automóvil, comprende áreas de electricidad y electrónica como lo es la medición de voltajes, medición de amperaje y medición de resistencias (Guzmán et al., 2019).

El scanner automotriz ha sido durante varios años el principal elemento para monitorear los fallos existentes de los sensores en el automóvil, este artefacto tiene la capacidad de controlar las inyecciones, las revoluciones, el tiempo de apertura de los inyectores, a su vez envía señales a los actuadores para realizar una operación correcta de los mismos. Así como también tiene la capacidad de borrar códigos de error (Luz indicadora Check Engine), autodiagnóstico completo del vehículo, medición de valores y prueba de actuadores (Abramowicz, 2017).

Un osciloscopio automotriz es un instrumento muy útil que nos permite realizar diagnósticos rápidos y muy eficaces. Este equipo de prueba se lo utiliza para varias funciones como lo es las señales de sensores y actuadores. Según (Moreno & Clerque, 2019) menciona que: “El osciloscopio automotriz representa las señales eléctricas en donde se puede analizar varios puntos como: frecuencia, periodo, amplitud, los picos de voltaje altos y bajos. Para así poder realizar la relación existente entre la tensión y el tiempo”. Este instrumento es muy

importante para la realización de un buen diagnóstico y la verificación de fallas en las señales de sensores del vehículo.

En la industria automotriz hay instrumentos de diagnóstico que ayudan a detectar ruidos, fallas en los diferentes sistemas del motor, como es el Estetoscopio PCE-S que ofrece la posibilidad de realizar un mantenimiento preventivo de la bomba del sistema de inyección del motor Diesel, esta maquina ayuda a detectar posibles daños antes que se produzca averías mayores en el sistema (PCE, 2018).

En la actualidad existe una innumerable gama de equipos que se enfocan en la simulación de sensores del automóvil, como lo es el equipo de prueba MST-9001d el cual es una herramienta de pruebas de la ECU en motores Diesel, este cuenta con una actualización y funciones más estables en comparación a otros equipos de diagnóstico de sensores automotrices. En el transcurso de los años se han hecho investigaciones y desarrollos de equipos que cuenten con una tecnología avanzada para la implementación en talleres que ayuden al mantenimiento de los vehículos (Alibaba, 2018).

### **1.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

Uno de los problemas comunes en el diagnóstico de sensores es la falta de información proporcionada por los equipos electrónicos utilizados regularmente en los talleres automotrices, dado que se necesita dos o más dispositivos para proporcionar una señal correcta de los sensores del sistema.

La deficiencia de los equipos de diagnósticos al ser utilizados individualmente minimiza la calidad y tiempo en el análisis de las señales de dichos componentes electrónicos. Es por ello, que es de suma importancia un equipo que contenga varias funciones y parámetros a escoger para obtener una correcta verificación del funcionamiento de los sensores.

## 1.4 JUSTIFICACIÓN

La implementación de equipos de alta calidad es una alternativa para el diagnóstico de los sensores y actuadores, esto ha evolucionado con el pasar de los años ya que para realizar estas funciones normalmente utilizan un generador de señales y un osciloscopio. Esto ocasiona una deficiencia en cuanto al tiempo de prueba para la detección de fallos.

La presente investigación busca resolver esta problemática con equipos de prueba de mayor eficiencia que contengan la información necesaria para realizar un buen mantenimiento, como es el caso del sistema de inyección, el cual involucra los sensores de flujo de aire, combustible y así como también ciertos actuadores involucrados en este sistema.

El avance decisivo en la nueva generación de equipos de diagnóstico automotriz para talleres son las opciones de prueba para componentes eléctricos y electrónicos como sensores y actuadores. Una alternativa que se presenta en la investigación es la implementación del equipo de prueba Bosch FSA 740, ya que esta es una solución sencilla para el complejo diagnóstico vehicular. Este equipo posee varias funciones tales como ubicar los defectos de forma rápida y segura, a su vez tiene conectores de entrada para una variedad de sensores y uno libre para la expansión, hace posible un trabajo eficiente sin el cambio constante de sensores del vehículo.

El plan del Nacional de Desarrollo 2017-2021 “Toda una vida”, plantea que en el objetivo 5 busca impulsar la productividad y competitividad para el crecimiento económico sustentable de manera redistributiva y solidaria (Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo, 2017). En base a este objetivo este proyecto busca nuevos emprendimientos con la capacidad de tener un desarrollo tecnológico sustentable, con el fin de aumentar la productividad en los diferentes talleres mecánicos para así tener un crecimiento económico que ayudara a impulsar un cambio en la matriz productiva.

En la política 5.3 del Plan Nacional del Buen Vivir se enfoca en promover la investigación, el desarrollo tecnológico y la innovación en la articulación de las necesidades sociales para así impulsar el cambio de la matriz productiva (Consejo Nacional de Planificación, 2017). Es por ello por lo que el desarrollo de esta investigación está ligado a la innovación

tecnológica de equipos de prueba para un mantenimiento preventivo en los talleres mecánicos del sector automotriz. Además, la formación y la capacitación apoyan al desarrollo intelectual de técnicos que ayudaran a impulsar nuevos avances tecnológicos, de esta manera lograr aumentar la productividad y competitividad en este campo.

## **1.5 ALCANCE**

El desarrollo de este proyecto está enfocado en la utilización de un equipo de prueba Bosch FSA 740, el cual brinda la información necesaria para un óptimo diagnóstico de los sensores del sistema de inyección Diesel. Este dispositivo de análisis posee un generador de señales el cual ayuda a realizar una prueba de sensores sin la necesidad de retirarlos, de esta forma es posible verificar si existen fallas en la alimentación o en la ECU y así determinar si es necesario sustituir las piezas con defecto o en su caso eliminar las deficiencias existentes en los sensores involucrados, y así lograr un mantenimiento preventivo y correctivo eficaz en el automóvil.

Para lograr este proyecto es necesario realizar un estudio de los sensores que conforman el sistema de inyección diésel, específicamente los sensores de flujo de aire y combustible, con el fin de conocer su funcionamiento y sus diferentes fallas bajo circunstancias específicas en el vehículo. Al detectar los defectos en los sensores, el equipo de prueba genera señales que brinda una prueba de los componentes mediante señales donde se aprecia la información detallada como el voltaje, señal y alimentación de los sensores o actuadores del sistema de inyección. De esta manera ubicar los defectos de forma rápida y segura que es lo esencial en un taller automotriz.

Para llevar a cabo el diagnóstico de los sensores y actuadores se deberá interpretar las señales emitidas por el equipo de prueba Bosch FSA 740, estas señales se realizarán en un banco de pruebas de un motor diésel Mazda de la Universidad Técnica del Norte, en el cual se verificará el correcto funcionamiento de los sensores MAF, IAT y un actuador como la bomba de combustible. Además de lograr optimizar el tiempo de diagnóstico sin la necesidad del desmontaje de estos elementos electrónicos del vehículo mostrando un trabajo rápido y efectivo con respecto a otros equipos.



## 1.6 MOTOR DIÉSEL

El Motor Diesel es conocido como un motor térmico debido a que su encendido se da por altas temperaturas y por una compresión del aire que se encuentra en el interior del cilindro. La función del motor Diesel es por medio de una mezcla aire combustible, la combustión procede a iniciar cuando su presión es elevada y se da en el segundo tiempo motor que se llama compresión. En la parte superior de la cámara presión se inyecta el combustible de tal forma que se mezcla el aire con la presión y a una alta temperatura. En la figura 1.1 se muestra un motor diésel y su movimiento va desde la biela hacia el cigüeñal y se da por un giro lineal que es transformado en movimiento de rotación (Gordillo A., 2007).



**Figura 1.1** Motor Diésel.

(Álvarez, 2017)

Según (Escudero, 2011) dice: Una de las características más esenciales que prevalece en estos motores es su sistema de alimentación, tiene un alto régimen de rendimiento debido a que

puede trabajar a presiones muy elevadas. A su vez se obtiene un gran trabajo útil y se aprovecha de mejor forma el combustible.

Dentro de las fases de funcionamiento de los motores Diesel se habla de una diferencia con los motores Otto específicamente en la fase de admisión de aire, ya que en lugar de la mezcla aire-combustible se da solo la inyección de combustible. En lo motores Diesel incluyen algunas fases las cuales son las siguientes:

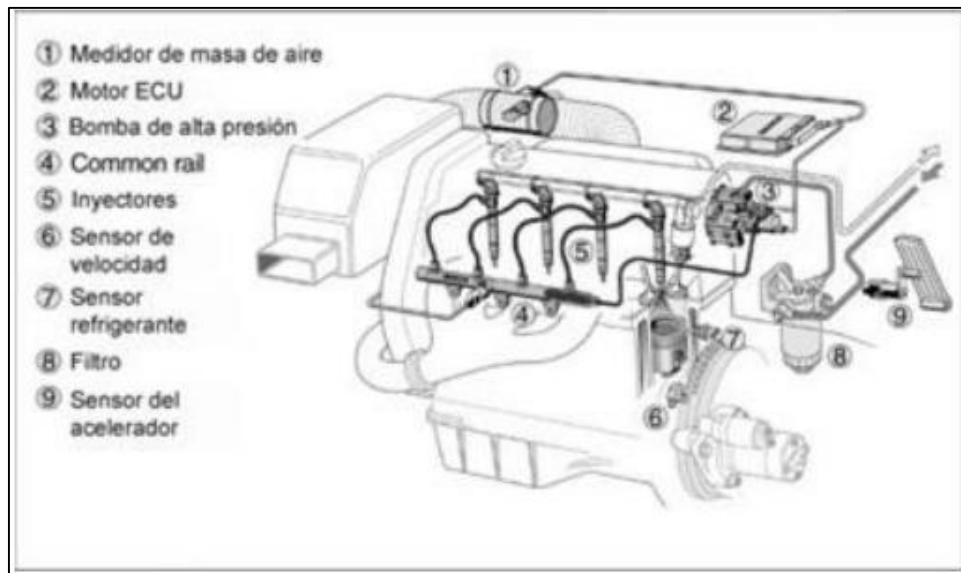
- Admisión
- Compresión
- Inyección de combustible
- Expansión de los gases
- Descarga
- Expulsión de los gases.

Todas estas fases del ciclo motor se cumplen en dos revoluciones del cigüeñal o como es lo mismo 4 carreras del pistón.

## **1.7 SISTEMA DE INYECCIÓN ELECTRÓNICA CRDi**

En la actualidad los motores Diesel poseen un sistema de inyección Common Rail, el cual es uno de los más usados puesto que su alto rendimiento se produce en el momento de la inyección de combustible debido a que su sistema de riel común trabaja con un control electrónico donde se consigue las tres fases de la inyección las cuales son: pre-inyección, inyección y post-inyección. Según (Redondo, 2020) afirma que este sistema CRDi es uno de los sistemas de inyección más usados hoy en día por los vehículos Diesel en específico su uso ronda el 70 %, y esto debido a que es un sistema muy eficiente con estándares muy altos en cuanto a rendimiento del vehículo.

En la figura 1.2 se encuentra un sistema de inyección electrónica donde se puede observar todos sus componentes como sensores, actuadores, conductos y filtros.



**Figura 1.2** Sistema Common Rail Motor Diesel.

(Castillejo, 2014)

En una comparación entre el sistema Common Rail y la inyección mecánica es que este sistema posee una tecnología de mejoramiento en la pulverización de combustible, esto se da entre un 25 y 35% con respecto a un motor Diesel con un sistema de inyección mecánica (Mediavilla & Salazar, 2015).

### 1.7.1 Funcionamiento del Sistema Common Rail

El principio de funcionamiento del sistema Common Rail o riel común se basa en el sistema de inyección multipunto de los motores a gasolina. Su principal diferencial se da en que este sistema CRDi trabaja con presiones muy altas en comparación con el sistema de inyección de los motores a gasolina. Los orificios de los inyectores son más pequeños, estos están radialmente dispuestos en la tobera del inyector para así tener una mayor presión (Castro Mediavilla & Gonzáles Torres, 2019).

Dentro de este sistema esta dividido en dos secciones las cuales son la sección de alta presión y baja presión. En el sistema de baja presión el combustible se trasmite desde el tanque hasta la bomba de alta presión, en ciertas ocasiones se hace uso de las bombas eléctricas que se suelen encontrar dentro del tanque de combustible. En este caso la inyección de combustible se a presiones muy altas que están entre los 300 bar y 2500 bar, y esto es lo que le diferencia del sistema de inyección a gasolina, debido a que estos sistemas trabajan con una presión menor que varía 3 a 5 bar.

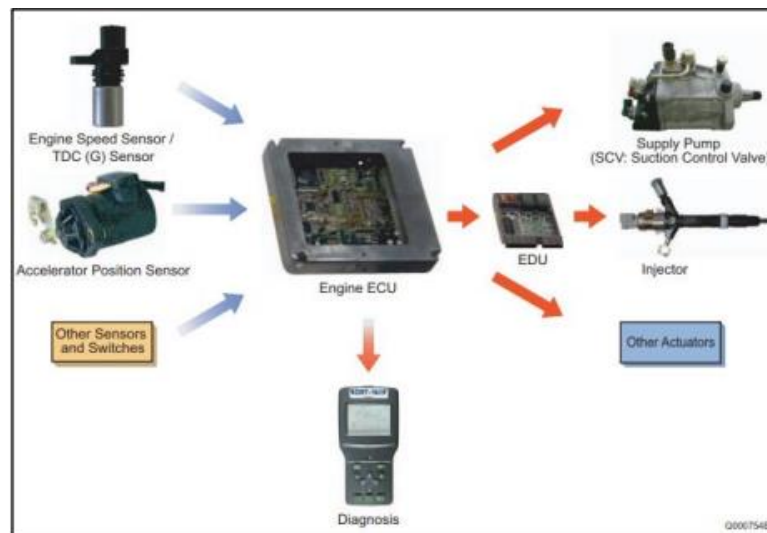
Luego de que el combustible pase a la bomba de alta presión esta se eleva a una presión alta y se transfiere a la línea de alimentación comúnmente llamada riel común y esto hace que se distribuya a los inyectores (Castro Mediavilla & Gonzáles Torres, 2019).

Una vez que se haya distribuido el gasoil a todos los inyectores, su apertura es controlada por la Unidad de Control del Motor (ECU), que a su vez mejora el funcionamiento y se da una reducción de gases.

### **1.7.2 Componentes del Sistema de Inyección CRDi**

Dentro de las partes principales del sistema Common Rail se dividen en tres: sistemas de alta y baja presión y la parte electrónica del sistema. El sistema de baja presión se conforma por: conducto de baja presión y bomba de combustible, mientras que en el sistema de alta presión tenemos: la bomba de alta presión, el riel común y los inyectores como principales componentes de dicho sistema. En cuanto a la parte electrónica del sistema tenemos a los sensores, actuadores y la Unidad de control del Motor (ECU).

En la figura 1.3 se muestra los contenidos de un sistema Common Rail en un motor Diesel



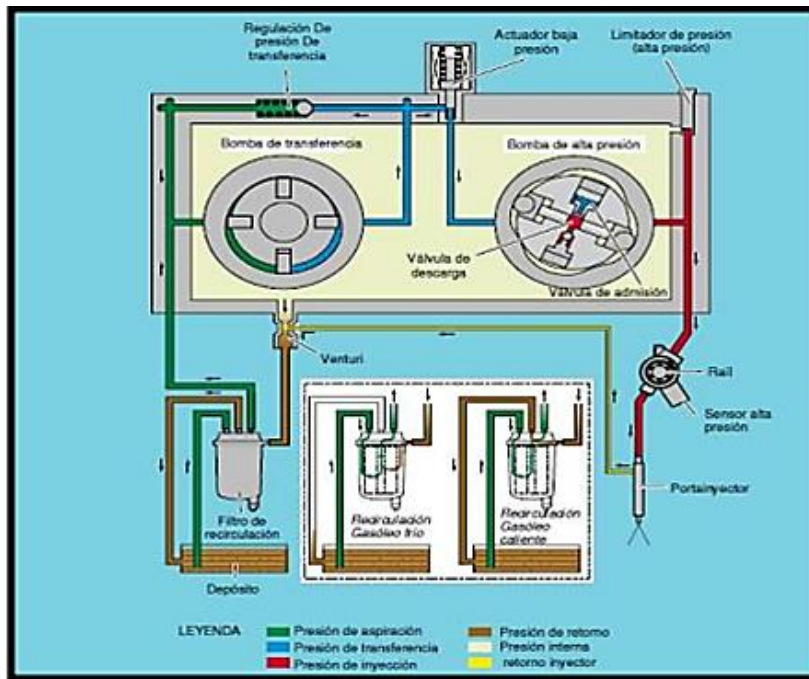
**Figura 1.3** Configuración General del Sistema Common Rail.  
(Molina, 2019)

### 1.7.2.1 Componentes del Sistema de Baja Presión

Los componentes son:

- Depósito de combustible
- Filtro de combustible
- Conductos de baja presión
- Bomba de alimentación de combustible (baja presión)
- ECU

En la figura 1.4 se muestran los componentes del sistema de baja presión los cuales son:



**Figura 1.4** Circuito de baja y alta presión de combustible  
(Andrango, 2017)

La función del sistema de baja presión es extraer el combustible del depósito, y después este pasa por un filtro de combustible, el cual se dirige hacia la bomba de alimentación donde recibe combustible para posterior enviar a un actuador de bajo presión para así poder vencer la presión del resorte que se dirige hacia la bomba de alta presión (Andrango, 2017).

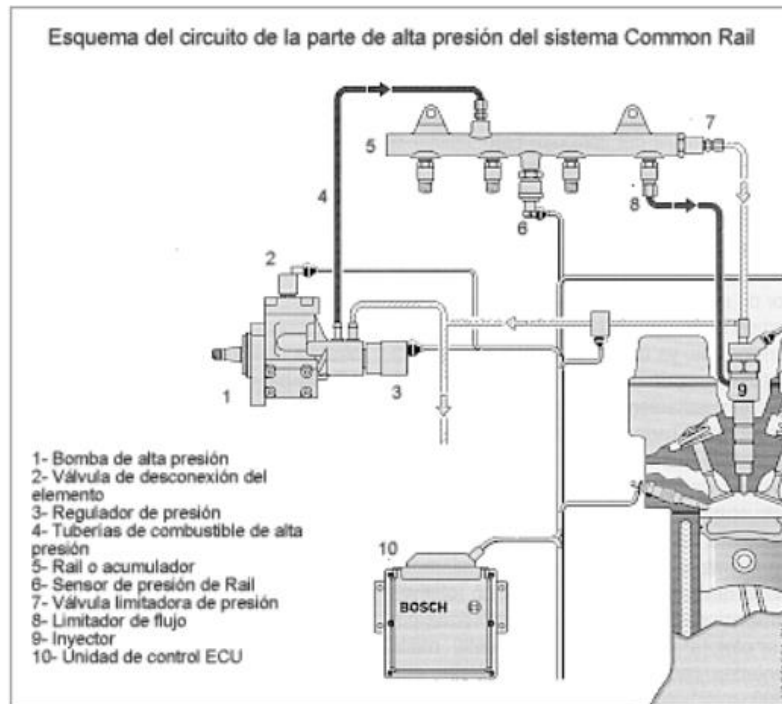
### 1.7.2.2 Componentes del circuito de Alta presión

Según (Castro Mediavilla & Gonzáles Torres, 2019) menciona: “En el circuito de alta presión, la bomba aumenta la presión del combustible que es enviado al riel común donde se almacena y distribuye a los inyectores” (p.62.).

En el esquema del circuito de alta presión se puede dividir en tres grupos donde se menciona el recorrido que hace el combustible hacia los inyectores. Estos grupos son: generador de presión, acumulador de presión y la dosificación de combustible (Castillejo, 2014).

En la bomba de alta presión se lleva a cabo la generación de presión, donde después pasa por los conductos de alta presión hasta llegar al riel común donde se acumula la presión para posterior dosificar el combustible en los inyectores. En la parte de acumulación de presión están los componentes de sensores de presión, válvula limitadora de presión.

En la figura 1.5 se puede observar todos los componentes del sistema de alta presión.



**Figura 1.5** Etapas de alta presión del sistema Common Rail.

(Castillejo, 2014)

Los componentes son:

- Bomba de alta presión
- Regulador de Presión
- Conductos del Alta presión
- Riel común
- Sensor de presión del riel

- Válvula limitadora de presión
- Inyectores
- ECU

## 1.8 INYECTORES CON VÁLVULA ELECTROMAGNÉTICA

Los sistemas de inyección diésel ha ido evolucionado de trabajar con bombas lineales y rotativas hasta llegar a un sistema electrónico llamado Common Rail. En la actualidad lo motores diésel solo vienen incorporado este sistema con sus diferentes componentes electrónicos y trabajando con inyectores de altas presiones como los electromagnéticos.

Los inyectores electromagnéticos son dispositivos utilizados en sistemas Common Rail su principal característica es que permiten controlar el tiempo y la cantidad de inyección de combustible. Este componente generalmente cuenta con 5 o 6 orificios con diámetro entre 0.15 y 0.17 mm.



**Figura 1.6** Inyector con válvula electromagnética

(Talleres Cuenca, 2018)



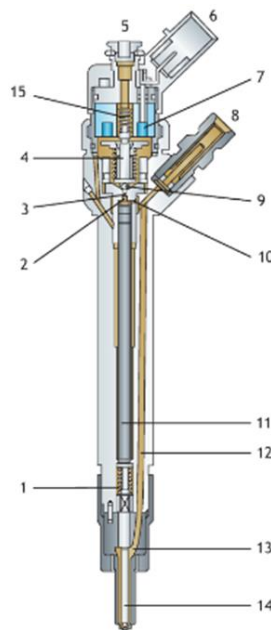
Existen varios parámetros que se toman en cuenta para la cantidad de combustible que se inyecta. Según (Sanchez, 2011): La cantidad de combustible depende de la duración de la excitación de la electroválvula, velocidad de apertura y cierre de la aguja del inyector y la presión de combustible en la rampa de inyección.

Este tipo de dispositivos electromagnéticos tiene varias ventajas con respecto a los inyectores convencionales la cuales se mencionan a continuación:

- Poseen inyecciones múltiples en lapsos cortos de tiempo
- Su dosificación tiene una gran exactitud
- El tiempo de conmutación son muy pequeños

### 1.8.1 Partes del Inyector Electromagnético

En la figura 1.7 se puede evidenciar como se compone un inyector piezoeléctrico dentro de las partes más importantes es que cuenta con una electroválvula de mando, la cámara de control del inyector la aguja del inyector y la cabeza del émbolo.



**Figura 1.7** Partes del Inyector Electromagnético

**Fuente:** (Sanchez, 2011)

### **Componentes de un inyector electromagnético**

1. Muelle de la tobera de inyección
2. Cámara de control del inyector
3. Estrangulador de salida
4. Inducción de electroválvula
5. Retorno de combustible al depósito
6. Terminal electrónico de la electroválvula
7. Electroválvula
8. Empalme de alimentación combustible alta presión del conducto común
9. Válvula de bola
10. Estrangulador de entrada
11. Embolo de control del inyector
12. Canal de entrada de la tobera
13. Cerda volumétrica
14. Aguja de la tobera de inyección
15. Muelle de la electroválvula

#### **1.8.2 Funcionamiento**

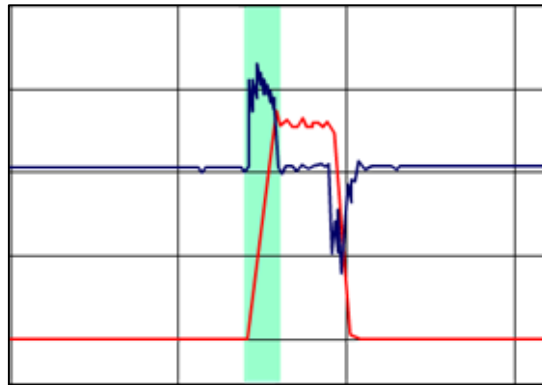
En este tipo de inyectores su principio de funcionamiento se basa en el efecto piezoeléctrico inverso. Este efecto consiste en la aplicación de una tensión eléctrica a un conjunto de placas cristalinas estas realizan un recorrido de 0.003 mm. El elemento piezoeléctrico es excitado por una unidad de mando a una tensión de 70 a 140 V para así iniciar el proceso hidráulico dentro del inyector.

El inyector piezoeléctrico trabaja en 3 fases: inyector cerrado, inyector abierto y cierre del inyector, a continuación, se explicará cada una de estas fases.

### 1.8.2.1 Inyector Cerrado

En esta primera fase el inyector permanece cerrado debido a que a la presión de la cámara de control de inyector y la celda volumétrica son iguales y esto es porque la bobina de la electroválvula no está alimentada y el inyector permanece en reposo (Sanchez, 2011).

En la figura 1.8 se muestra la curva de referencia cuando el inyector está cerrado.



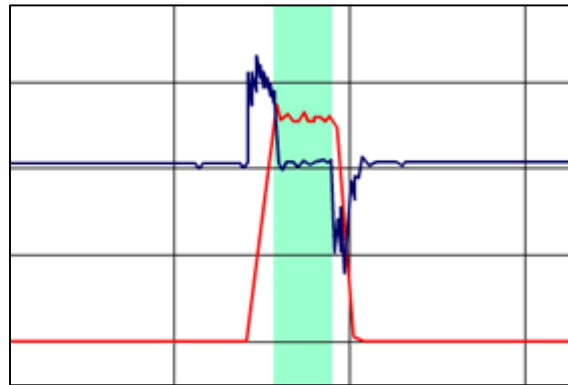
**Figura 1.8** Curva Inicio de la Inyección

**Fuente:** (Blog Mecanicos, 2015)

### 1.8.2.2 Inyector abierto

En esta fase el calculador de inyección al alimentar a la electroválvula crea una fuerza electromagnética en la bobina que hace accionar la aguja al máximo con un recorrido de 0.06 mm y esto hace que el estrangulador de salida se abra y pueda ingresar el combustible. El momento que se reduce la presión en la cámara de control de la válvula, disminuye la fuerza ejercida en el embolo y esto da lugar a la apertura de la aguja del inyector (Sanchez, 2011).

El paso de combustible persiste mientras sea alimentada la electroválvula del inyector. En la figura 1.9 se observa la curva de la fase 2 cuando el inyector permanece abierto.

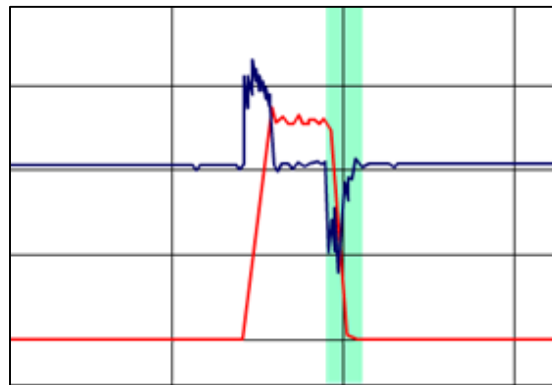


**Figura 1.9** Curva Inyector Abierto

**Fuente:** (Blog Mecanicos, 2015)

### 1.8.2.3 Inyector cerrado

La fase 3 es cuando el inyector se cierra debido a que ya la unidad de control ya no envía corriente a la electroválvula. El muelle de la electroválvula hace que la aguja permanezca en su asiento y el estrangulador de salida es cerrado. La fuerza de presión en la cámara es alta y esto hace que el embolo de control descienda y por ende se cierra el inyector (Sanchez, 2011). En la figura 1.10 se muestra la curva del inyector en su fase final.



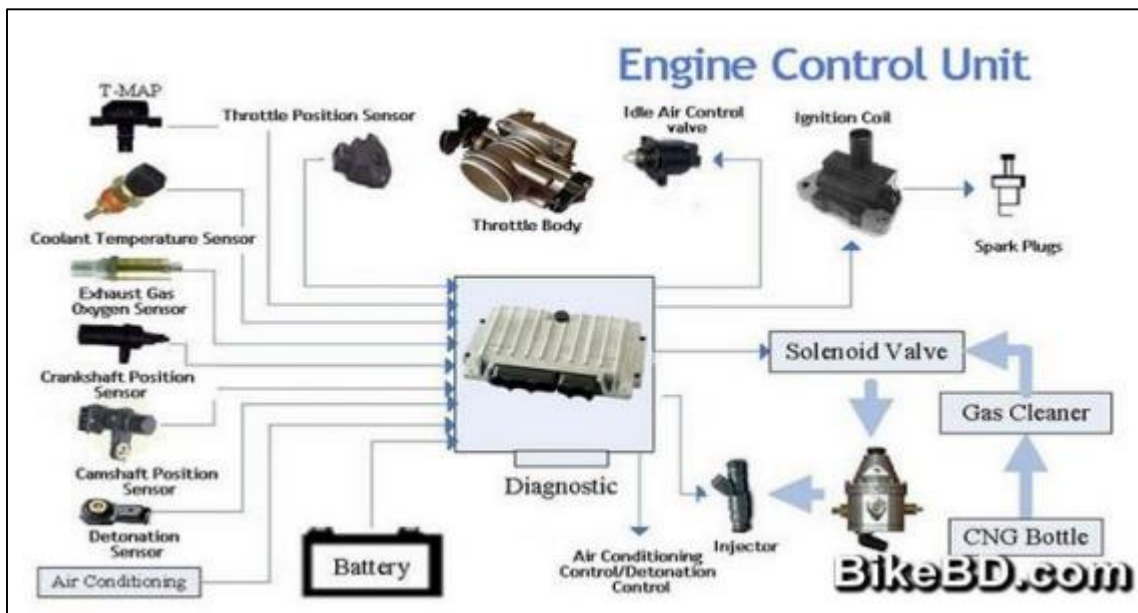
**Figura 1.10** Curva Final de la Inyección

**Fuente:** (Blog Mecanicos, 2015)

## 1.9 ECU (ENGINE CONTROL UNIT)

La ECU (sus siglas en inglés Engine Control Unit) o Unidad de Control del Motor es una de las partes más importantes del sistema electrónico de un vehículo, es aquí donde se regula algunos componentes del sistema de inyección del vehículo. A su vez la Ecu lee, procesa y comanda todos los componentes electrónicos que conforma el automóvil.

La Ecu es un dispositivo que tiene la finalidad de recibir información de dispositivos de entrada como lo son los diferentes sensores del vehículo como, por ejemplo: sensor MAF, MAP, CKP, entre otros. Para así poder interpretar mediante un sistema interno que procesa los datos y los envía a través de componentes de salida como los son los actuadores.



**Figura 1.11** Diagrama de la Unidad de Control (ECU)

(Moreno & Clerque, 2019)

Según (Moreno & Clerque, 2019): La Unidad de Control del motor se clasifican de dos formas en simples donde solo controlan la cantidad de combustible que es inyectado para cada cilindro del motor. Mientras que las avanzadas ya su control es en el punto de ignición controlando del tiempo de apertura y cierre de válvulas.

Para que exista un buen funcionamiento del motor la Ecu debe de tener grabado en su software todas las características de funcionamiento del motor en donde la unidad de control del motor controla todos los componentes del sistema de inyección.

### **1.9.1 Funcionamiento de la ECU**

El principal funcionamiento de la ECU es de captar las señales de los sensores y ser evaluados continuamente ante distintos fallos o que exista algún defecto en la señal de algunos de los sensores, lo que hace la Unidad de Control es de adoptar valores que pueda sustituir los datos con los que están predeterminados en el ECU para así poder seguir con el funcionamiento del vehículo (Moreno & Clerque, 2019).

Al ocurrir un daño detectado en algún sensor o actuador la ECU transmite la falla por medio del encendido de un testigo en el tablero del vehículo indicando la falla que existe en automóvil. Dentro de la grabación de datos la ECU tiene un almacenamiento entre 0.5 y 16 megabytes de capacidad para grabar datos, esto ayuda a conseguir la verificación de datos de algunos sensores en caso de que exista anomalías.

## **1.10 SENSORES Y ACTUADORES**

### **1.10.1 Sensor de Flujo de Aire (MAF)**

El sensor MAF o más conocido por sus siglas en ingles Mass Air Flow que significa sensor de flujo de masa de aire, tiene como función principal la medición de la cantidad de aire que debe de entrar en el motor. La computadora del vehículo necesita saber la cantidad de volumen de entrada de aire para así poder calcular la carga del motor. (Moreno & Clerque, 2019)

Este sensor frecuentemente se encuentra en el flujo de aire de conducto de admisión, en si está ubicado entre el filtro de aire y el cuerpo de aceleración para así poder medir el flujo de aire de entrada.

Según (Guacho & Rea, 2014) afirma: “El voltaje de ralentí del sensor MAF debe de ser de un 1V, y que al momento de que se produzca una aceleración esta tensión subirá hasta los 3V.”

En cuanto a su conexión eléctrica el sensor MAF nos proporciona tres alternativas de conexiones, la más común usada en los motores a Diesel es la que viene integrada el sensor IAT a esto se lo llama sensor de flujo total. Dentro de este sensor existen 5 pines. En la tabla 1.1 muestra la descripción de cada pin.

**Tabla 1.1** Sensor MAF, IAT

<b>Pines</b>	<b>Descripción</b>
1	Sensor MAF
2	GND
3	Alimentación
4	Sensor IAT
5	GND

En la tabla 1.2 se muestra los valores reales de un sensor MAF dependiendo de la condición de prueba en el que se le aplique.

**Tabla 1.2** Valores reales de voltaje sensor MAF

<b>Condición de Prueba</b>	<b>Voltaje</b>
Voltaje de referencia	0 - 5 V
Ralentí	0.8 - 1.2 V
Carga completa del Motor	4.5 – 5 V
Desaceleración fuerte	0.4 V

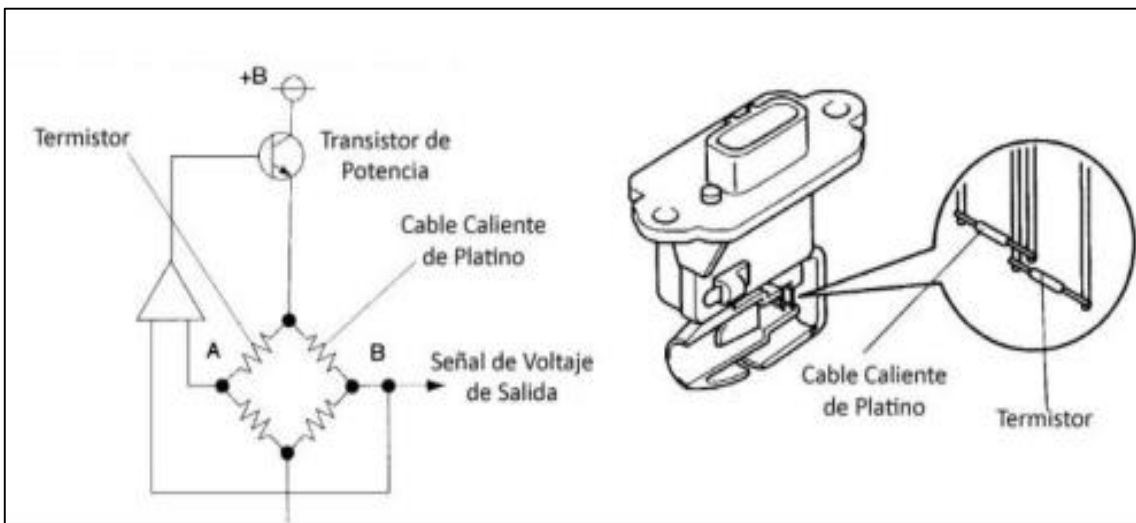
**Fuente:** (Auto Avance, 2019)

### 1.10.1.1 Funcionamiento Sensor MAF

En el momento de que el motor comienza a ponerse en marcha, el hilo del sensor se calienta llegando a una temperatura alrededor de los 200 °C. Esta temperatura va a comenzar a variar dependiendo de la cantidad de aire que ingresa al motor y esta temperatura va a comenzar a bajar de acuerdo con el enfriamiento que se da debido al flujo de aire que ingresa en el motor y esto va a depender de que entre más aire ingresa al motor mayor será la reducción de temperatura.

El cable de platino necesariamente debe mantener una óptima y constante temperatura por lo que siempre se requiere de una corriente eléctrica. Dicha corriente es emitida desde la ECU, para que así el sistema sepa cuándo debe de enfriar al hilo caliente. Para aumentar la corriente eléctrica y mantener el cable de platino caliente la ECU enviara a la PCM un aumento de voltaje para mantener la temperatura del cable en óptimas condiciones. Por lo tanto, entre más aire ingresa al motor la señal de voltaje será mayor al llegar a la PCM.

A continuación, se muestra la figura 1.12 dónde se observa cómo está conformado el diagrama eléctrico del sensor MAF.



**Figura 1.12** Diagrama Eléctrico Sensor MAF

(Moreno & Clerque, 2019)



### 1.10.2 Sensor IAT (Intake Air Temperature)

La temperatura es uno de los factores primordiales a ser medidos, por lo cual el sensor IAT es el encargado de medir la temperatura que ingresa en el motor, de esta manera junto al sensor MAF logran una óptima relación aire/combustible. La información proporcionada de acuerdo con la cantidad/temperatura dependerá de que la mezcla sea rica o pobre, ya que si el aire está demasiado frío se obtiene un exceso de este en la mezcla, mientras que si el aire está demasiado caliente se da como resultado una escasez de aire ocasionando una mezcla pobre (Calsin Heredia & Rodríguez Zinanyuca, 2015). En la figura 1.13 se muestra la ubicación y la estructura del sensor IAT en un vehículo.



**Figura 1.13** Ubicación y estructura del sensor IAT  
(Calsin Heredia & Rodríguez Zinanyuca, 2015)

El sensor IAT es un elemento que contiene resistencias dependientes de tipo NTC (coeficiente de temperatura negativo) lo cual significa que la resistencia tiende a disminuir conforme aumenta la temperatura. El rango de medición se encuentra entre los  $-40^{\circ}\text{C}$  hasta los

170°C. Esta resistencia de tipo NTC es alimentada con 5 voltios, de esta manera su señal dependerá de la variación existente dentro del sensor y acorde a la temperatura medida. Por lo general se encuentra ubicado en la entrada de aire principal a continuación del filtro de aire, junto al sensor MAF, de modo que se logre una rápida lectura por parte del sensor y posteriormente una respuesta de la ECU. El sensor IAT comúnmente este compuesto de dos cables: señal y masa (Calsin Heredia & Rodríguez Zinanyuca, 2015).

En la tabla 1.3 se evidencia los datos técnicos del sensor IAT a diferentes temperaturas de trabajo.

**Tabla 1.3** Valores de Trabajo Sensor IAT

<b>Temperatura (°C)</b>	<b>Resistencia (<math>\Omega</math>)</b>	<b>Voltaje (v)</b>
10	6000	3.51
20	3400	3.07
40	1700	2.13
60	600	1.33
80	350	0.78
100	180	0.46

**Fuente:** (Díaz Acuña & Suclupe Campos, 2014)

### **1.10.3 Bomba de Combustible**

#### **1.10.3.1 Bomba Eléctrica de Combustible**

Este componente es el encargado de distribuir el combustible a una presión que no excede los 5 bares por medio del circuito de baja presión hasta la bomba de alta presión. Estas bombas al ser eléctricas no dependen del régimen del motor, pero también existen las de mando mecánico que están compuestas por dos ruedas dentadas que se engranan mutuamente, estas

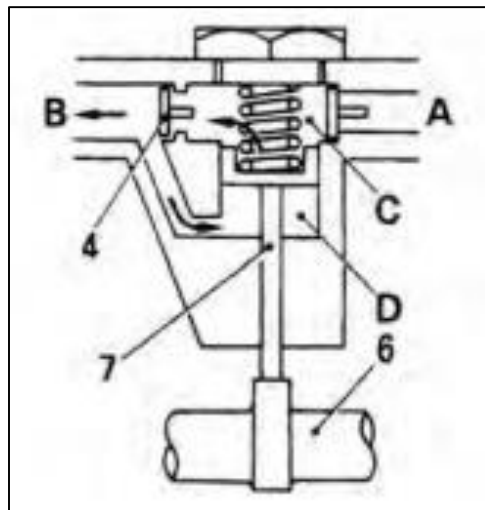
bombas si dependen de las rpm del motor. Por lo general van introducidas dentro del tanque de combustible (Garcia, 2019).

### 1.10.3.2 Bomba de Cebado

#### Funcionamiento de la bomba de cebado

La bomba de cebado comúnmente trabaja a una presión de 7 bares aproximadamente, además, no tiene un voltaje y amperaje ya que funciona de manera manual.

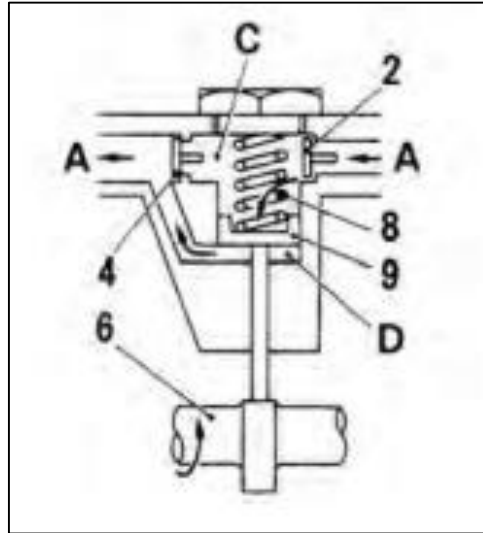
En la figura 1.14 se puede observar la primera etapa de admisión de la bomba de cebado en donde es accionada por el árbol de levas de la bomba de inyección, este desplaza la barra de empuje hacia arriba para que el combustible de la cámara de succión se comprima y abra la válvula de retención de salida. El combustible es empujado hacia la cámara de empuje que se encuentra en la parte inferior del embolo (Agencia de Cooperación Internacional del Japón, 2012).



**Figura 1.14** Etapa de Admisión

(Agencia de Cooperación Internacional del Japón, 2012)

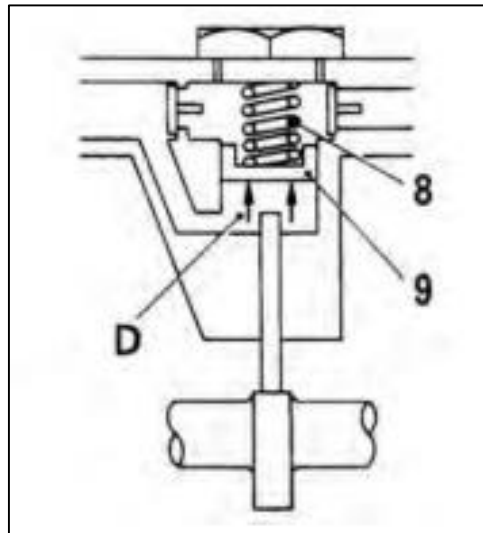
En la figura 1.15 se observa el funcionamiento de la segunda etapa cuando la bomba es alimentada por presión. El embolo al no existir un empuje del árbol de levas retorna desplazado por la fuerza del resorte del embolo y es alimentado por la presión de combustible que va desde la cámara de empuje de la bomba de cebado hacia un lado del filtro de combustible.



**Figura 1.15** Etapa Alimentación por presión

(Agencia de Cooperación Internacional del Japón, 2012)

En la última etapa al tener una presión muy alta en la cámara de presión, el embolo no puede regresar debido a la fuerza del resorte del émbolo y la circulación de combustible para. Esto ayuda a que se pueda ajustar la presión del combustible en el filtro para que no se exceda más de lo normal (Agencia de Cooperación Internacional del Japón, 2012). En la figura 1.16 se muestra como es el funcionamiento de la bomba cuando está parada.



**Figura 1.16** Etapa Bomba de cebado parada

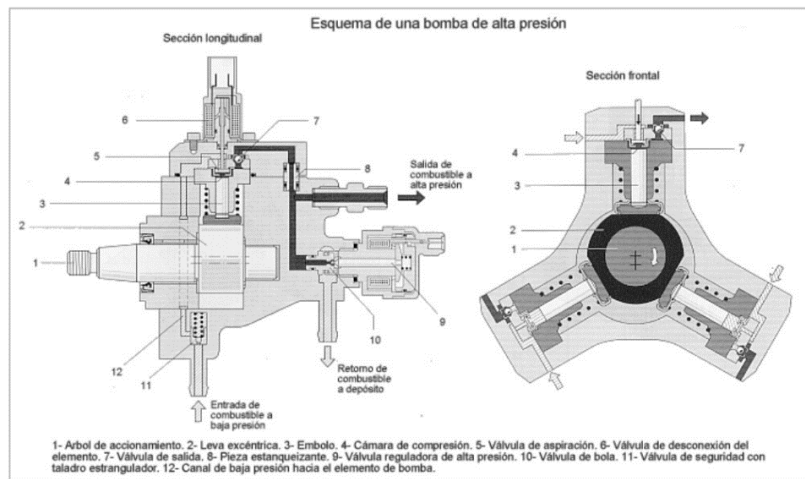
(Agencia de Cooperación Internacional del Japón, 2012)

### 1.10.3.3 Bomba de Alta Presión

Esta bomba tiene como función enviar la cantidad necesaria de combustible hacia el riel de los inyectores, por lo cual es considerado el elemento más importante en el sistema de alimentación. (Guevara & Becerra, 2022). En la actualidad existen bombas que sobrepasan los 1500 bares de presión, por consiguiente, se logra la dosificación necesaria del combustible para que salga en forma de partículas diminutas hacia el cilindro.

La bomba de alta presión es imprescindible ante equipos normales de diagnóstico, ya que trabaja con presiones demasiado altas, de tal manera que necesita equipos especiales, en específico electrónicos para obtener un óptimo mantenimiento (Reyes, 2018). Esta bomba se encuentra ubicada entre la zona de alta y baja presión, su accionamiento se basa en una rueda dentada o correa que se acopla directamente al motor y no es necesaria su lubricación ya que el propio combustible se encarga de realizar esta tarea. La bomba de alta presión está constituida por pistones en forma radial que comprimen el combustible para hacerlo llegar al riel (Jesus, 2020).

En la figura 1.17 se muestra las partes que conforman la bomba de alta presión.



**Figura 1.17** Esquema de una Bomba de alta presión

(Jesus, 2020)

## 1.11 DIAGNÓSTICO DE VEHÍCULOS DIÉSEL

El Diagnóstico en vehículos diésel CRDi es realizado con la ayuda de señales como voltaje, resistencia y corriente producidas por los sensores y actuadores del vehículo, de igual manera, la ECU es el elemento principal para la inyección electrónica del automóvil, ya que regula y comanda todos los componentes computarizados.

### 1.11.1 Mantenimiento Preventivo

El mantenimiento preventivo (MP) está enfocado en mejorar la confiabilidad del usuario, esto es posible mediante una revisión periódica de los equipos, además de estar relacionado con el cambio de elementos para alargar la vida del equipo y previniendo fallas prematuras.

El MP puede llegar a ser programado, es decir, se determina cada cierto periodo una revisión o sustitución ya sea de lubricantes o piezas defectuosas que producen fallos riesgosos en el equipo (Salgado Duarte et al., 2018).

### 1.11.2 Mantenimiento Correctivo

El mantenimiento correctivo (MC) es el encargado de enmendar el fallo del equipo, el MC siempre dependerá de una intervención para funcionar con normalidad, este tipo de mantenimiento no es programado por lo cual existe una alta probabilidad de la no existencia de un repuesto inmediato. Una manera de evitar llegar a este punto es con la ayuda del mantenimiento preventivo, de esta manera se elude la indisponibilidad del equipo o por consiguiente en el caso de una empresa acabar teniendo un impacto financiero (SUPER USER, 2020)

Ventajas del mantenimiento correctivo:

- Reducción de costo a corto plazo debido a que no es necesario una planificación previa.
- Después de que se suscite el problema debe ser solucionado inmediatamente ya que está relacionado con la acción/reacción.

### 1.11.3 Escaner Automotriz

El scanner automotriz es un equipo de suma importancia en el diagnostico de fallas en sensores y actuadores del vehículo, ya que tiene la opción de programación y adaptación de tal manera que controla inyecciones, revoluciones, tiempo de apertura de los inyectores.

En la actualidad este equipo es uno de los más usados en los talleres automotrices debido a su gran acierto en detectar fallas desarrolladas por la ECU. Todos los vehículos que tienen incorporado una computadora que controla la inyección electrónica del auto poseen una entrada denominada OBDII (Onboard Diagnostic), esta entrada usualmente es genérica para la gran parte de automotores del mercado, pero en caso de llegar a ser un escáner de marca específica, se obtendrá un diagnóstico más completo, esto es debido a que fue diseñado exclusivamente por el fabricante. El escáner es caracterizado por detectar fallas en forma de códigos únicos DTC (Diagnostic Trouble Codes) (Abramowicz, 2017).

Entre las funciones más importantes del escáner automotriz se encuentran:

- Medición de valores ya sea en sensores o actuadores

- Autodiagnóstico del automotor
- Borrar códigos de falla generados por la ECU
- Prueba de actuadores

En la figura 1.18 se puede apreciar un escáner automotriz BOSCH.



**Figura 1.18** Escáner Automotriz BOSCH

**Fuente:** (Abramowicz, 2017)

#### **1.11.4 Osciloscopio Automotriz**

Este elemento es capaz de evaluar frecuencias, periodos, amplitudes a partir de las señales eléctricas que se generan en los componentes del automóvil. Este equipo relaciona las señales con el tiempo, ya que cuenta con un eje vertical para el voltaje y un eje horizontal para el tiempo. El osciloscopio tiene un seguimiento de las señales, la cual es considerada de tipo análoga, además posee un segundo tipo con la función de capturar la señal y mostrarla como una imagen, este segundo es denominado como digital. La principal ventaja del osciloscopio automotriz es la cantidad de señales emitidas a partir del voltaje que se genera de la relación de cada eje (Voltaje/Tiempo).

En la figura 1.19 se observa un osciloscopio de dos entradas OTC, el cual posee las funciones antes mencionadas.





**Figura 1.19** Osciloscopio Automotriz

(Abramowicz, 2017)

El diagnóstico realizado en los talleres automotrices con la ayuda del osciloscopio siempre será una de las mejores opciones para una reparación, debido a que mientras mejor sea el uso, más acertada será la restauración de los elementos electrónicos del vehículo. Además de tener dos tipos de señales, este equipo puede modificar con precisión el tamaño y la forma de onda en tiempo real al momento de conectar el elemento a ser medido (Abramowicz, 2017).

## **CAPÍTULO II**

### **2. MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **2.1 METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN**

La metodología de la investigación para el presente proyecto es considerada una investigación analítica y documental como resultado de la información bibliográfica obtenida con anterioridad. En cuanto al método experimental se tomará en cuenta un diagrama de flujo para establecer los procedimientos secuenciales que se realizará en la práctica. Además, la interpretación de los valores obtenidos será a partir de un método explicativo, puesto que la identificación de las variables será cuantificada para obtener una respuesta a la interrogante de la problemática del presente proyecto.

##### **2.1.1 Enfoque Investigativo**

El enfoque investigativo para el presente proyecto se basa en la utilización de un equipo de mantenimiento preventivo y correctivo, esto se dará a partir del análisis y simulación de los sensores y actuadores de aire, temperatura y combustible que conforman el sistema CRDi. Además, la rápida respuesta del equipo ayuda con el factor tiempo que juega un papel fundamental en los talleres automotrices.

#### **2.2 MATERIALES Y EQUIPOS**

##### **2.2.1 Materiales**

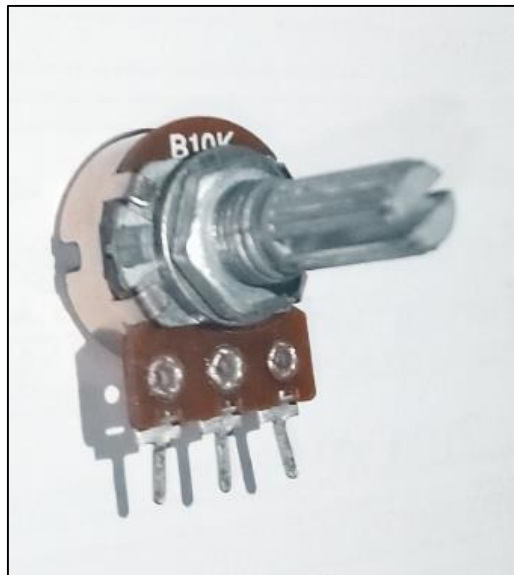
En la tabla 2.1 se muestran los materiales ocupados en el presenten estudio, estos fueron enfocados en la variación del sensor IAT.

**Tabla 2.1** Materiales

<b>Materiales</b>	<b>Cantidad</b>
Potenci6metro 10K	1
Cable #16	2 metros
Conector macho-hembra	10 c/u

### 2.2.1.1 Potenci6metro B10K

Un potenci6metro B10K es una resistencia variable de 0 Ohmios a 10kOhmios, la cual permite ajustar la intensidad de corriente con la ayuda de un dial. Este elemento fue utilizado en la variaci6n de los par6metros de temperatura del sensor IAT.

**Figura 2.1** Potenci6metro B10K

### 2.2.2 Equipos

Para realizar un diagn6stico asertivo y obtener una mejor soluci6n a las fallas de los diferentes sensores y actuadores ya sea en motores di6sel o gasolina es necesario utilizar varios equipos. Por consiguiente, en el presente proyecto se utilizaron los equipos que se muestran en la tabla 2.2.

**Tabla 2.2 Equipos**

<b>Equipos</b>	<b>Marca</b>	<b>Modelo</b>
Equipo de Diagnóstico	Bosch	FSA 740
Banco Motor	Mazda	BT-50
Multímetro	Bosch	MMD 540
Analizador de Gases Portátil	KANE	54-2
Fuente de alimentación regulada	Wanptek	KPS3010DF

### **2.2.2.1 Equipo Bosch FSA 740**

El equipo FSA 740, es un equipo de diagnóstico muy completo donde se puede comprobar y realizar simulaciones de los sistemas electrónicos del vehículo, a su vez posee un sistema de software donde está el 90% de las marcas de automóviles a nivel mundial con todas sus especificaciones.

Para este presente estudio se va a utilizar el osciloscopio y el generador de señales donde se obtendrán las curvas características y la simulación de las señales de los sensores y actuadores. En la figura 2.2 se visualiza el equipo Bosch FSA 740, el cual será utilizado para las pruebas en los diferentes sensores y actuadores del sistema CRDi de un banco de pruebas diésel.



**Figura 2.2** Equipo Bosch FSA 740

(Bosch, 2019)

En la tabla 2.3 se muestran algunos datos técnicos del osciloscopio y del generador de señales del equipo Bosch FSA 740:

**Tabla 2.3** Datos técnicos equipo Bosch FSA 740

<b>Función</b>	<b>Especificación</b>
Osciloscopio 2 canales	Tasa de escaneado 50 MS/s
Generador de señales	10 a 12 V con 4 formas de señales
Rango de medición de voltaje	0 a 60 V
Rango de medición de corriente	0 a 1000 A
Rango de medición de la temperatura del aire	-20 °C a 100 °C
Numero de señales del sensor visibles	6

**Fuente:** (Bosch, 2019)

### 2.2.2.2 Banco de pruebas motor Diesel Mazda BT-50

Para la realización de este proyecto se ha seleccionado el banco motor diésel Mazda BT-50, donde consta con un sistema de inyección Common Rail que ayudara a realizar varias pruebas en los sensores de flujo de aire y combustible.

En la figura 2.3 está el motor diésel Mazda BT-50 en el cual se realizará las diferentes pruebas al sensor MAF-IAT y a la bomba de combustible con ayuda del equipo FSA 740.



**Figura 2.3** Banco de Pruebas Mazda BT-50

A continuación, en la tabla 2.4, se muestra la ficha técnica del banco de pruebas:

**Tabla 2.4** Ficha Técnica Mazda BT-50

DATOS INFORMATIVOS	
Marca	Mazda
Modelo	BT-50
Numero de Cilindros	4 cilindros
Cilindrada	2499 $cm^3$
Tipo de Inyección	CRDi
Año	2012

### 2.2.2.3 Analizador de Gases Portátil Kane Autoplus 54-2

Este analizador es un equipo de diagnóstico de emisiones de gases, en el cual se puede medir los porcentajes de los diferentes compuestos químicos que emite el escape de un vehículo. Este equipo ayudará a detectar fallas de un componente del motor y a su vez poder detectar el origen de cualquier mal funcionamiento en la combustión.



**Figura 2.4** Analizador de Gases Kane  
(Global Tech, 2014)

En la tabla 2.5 se muestra los rangos de medición del analizador de gases Kane.

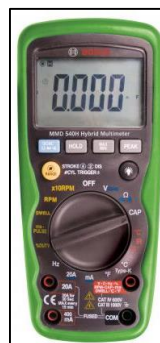
**Tabla 2.5** Rangos de Medición

Compuesto Químico	Medición
CO	0-10%
CO <sub>2</sub>	0-16%
HC	0-5000 PPM
O <sub>2</sub>	0-21%
NO <sub>x</sub>	0-5000 PPM
Lambda	0.8 – 0.12

**Fuente:** (Global Tech, 2014)

#### 2.2.2.4 Multímetro MMD 540 Bosch

El multímetro automotriz es uno de los elementos más importantes al momento de realizar una breve inspección de los sensores y actuadores, por lo cual, en el presente proyecto servirá para verificar el funcionamiento de los componentes a medir por medio de voltajes de señal, alimentación y masa. En la figura 2.5 se muestra el multímetro automotriz que se utilizó.



**Figura 2.5** Multímetro MMD 540 Bosch

(Bosch, 2010)



Las características más importantes del multímetro automotriz se muestran en tabla 2.6 donde se evidencia los datos técnicos más sobresalientes.

**Tabla 2.6** Datos técnicos Multímetro MMD 540 Bosch

<b>MULTÍMETRO AUTOMOTRIZ</b>	
<b>Datos técnicos</b>	
Medición de Resistencia	Medición de Revoluciones por Minuto
Medición de Tensiones alternas y continuas	DWELL
Medición de intensidad de corrientes alternas y continuas	%Duty
Pruebas de continuidad	Medición de temperaturas
Medición de frecuencia	Congelación de pantalla

#### **2.2.2.5 Fuente de Alimentación Regulada WANPTEK KPS3010DF**

Este variador de corriente o fuente de alimentación regulada es un equipo que ayudará a regular el valor en voltios (V) y en Amperios (A). Unas de las características principales de este equipo es que puede regular el voltaje de salida de la fuente hacia componentes electrónicos que estén conectados. Otra característica es que limita la corriente de salida, esto quiere decir que puede limitar el flujo máximo de corriente que saldrá de la fuente de regulación de corriente.



**Figura 2.6** Fuente de Alimentación Regulada

En la siguiente tabla 2.7 se muestran las características principales de la fuente de alimentación regulada:

**Tabla 2.7** Datos Técnicos Fuente de Alimentación Regulada

<b>Datos Técnicos Fuente de Alimentación Regulada</b>	
Voltaje de entrada	230V AC/115V
Valor de estabilización de voltaje de salida	0-30V
Valor de corriente constante de salida	0-10A
Voltaje de ondulación	VPP 1%

## 2.3 PROCESO METODOLÓGICO

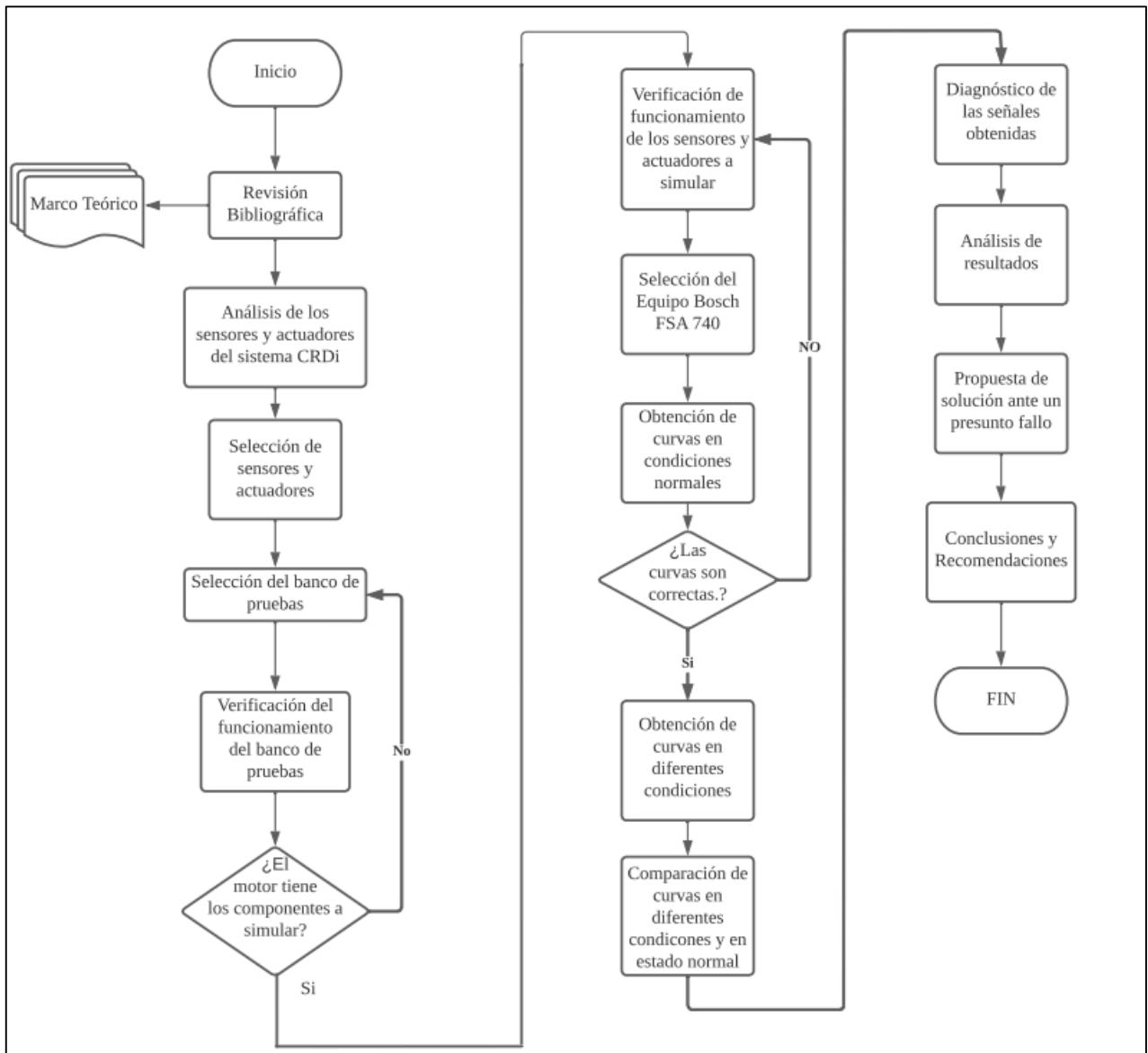
En la figura 2.7 se presenta un diagrama de flujo sobre el presente estudio, en donde se muestra todos los pasos que se van a llevar a cabo para el diagnóstico de los componentes electrónicos del sistema CRDi de un motor Diesel a través del equipo Bosch FSA 740, donde se va a obtener las diferentes graficas de los sensores y actuadores.

Para empezar en el flujograma se inicia con una revisión bibliográfica de todos los componentes necesarios para llevar a cabo esta investigación, con todos estos datos bibliográficos se obtiene el marco teórico. Luego de haber revisado toda la documentación se hace un análisis de los sensores y actuadores en este caso de flujo de aire-temperatura y combustible del sistema Common Rail, esto se da con la finalidad de entender su funcionamiento y las diferentes señales que se obtienen de estos sensores y actuadores

Posteriormente se procede a la selección del banco de pruebas en donde se va a realizar toda la simulación, al momento de seleccionar se debe de tomar en cuenta que tenga todos los parámetros y componentes necesarios a utilizar. A continuación, se procede a realizar una verificación del funcionamiento del banco de pruebas y ver si está en óptimas condiciones para su uso.

Cuando todo esté funcionando se hace una verificación de los sensores y actuadores del sistema CRDi del banco de pruebas con ayuda de un osciloscopio y un multímetro. Al momento de obtener un buen funcionamiento se procede con el equipo FSA 740 a realizar sus respectivas pruebas tanto en estado normal como en diferentes condiciones específicas.

Posterior a eso se hace una toma de datos donde se analizará y verificará como influye en cada una de las condiciones de prueba y dar un óptimo diagnóstico en caso de que existan fallas en los sensores y actuadores.



**Figura 2.7** Flujograma de proceso metodológico

### 2.3.1 Análisis de los sensores y actuadores del sistema CRDi

Una de las primeras razones para estudiar un sensor o actuador es saber la importancia que estos tienen en el funcionamiento del vehículo, puesto que en la actualidad todo se fundamenta en la inyección electrónica para reducir emisiones y aumentar la eficiencia del automotor.

El estudio de los sensores y actuadores que conforman el sistema CRDi, se basa en el funcionamiento de la inyección electrónica de los vehículos diésel, de esta manera es posible realizar un análisis del comportamiento de los componentes electrónicos, a su vez conocer los posibles fallos y consecuencias que ocasiona el daño de un sensor hacia los demás sensores.

### 2.3.2 Selección de sensores y actuadores a estudiar

En primer lugar, se encuentra el interés de interpretar los posibles fallos existentes en el sensor de flujo de aire en un motor diésel, a su vez la importancia de este sensor en la reducción de CO en las emisiones provocadas por el vehículo.

Para la selección de los sensores y actuadores a simular también se tomaron en cuenta varios aspectos como el funcionamiento de los sensores donde comienza a darse a cabo la inyección electrónica del vehículo como lo es el sensor MAF y el sensor IAT, de igual manera el principal encargado de trasladar el combustible desde el tanque hasta la bomba de alta presión comúnmente llamada bomba de combustible eléctrica o bomba de baja presión.

En cuanto a la selección de la bomba de combustible se priorizó la cantidad de voltaje y amperaje para lograr un óptimo desempeño del traslado del diésel hacia la bomba de alta presión.

En la tabla 2.8 se muestra el número de cables, color y especificación del sensor MAF:

**Tabla 2.8** Número de cables Sensor MAF

<b>SENSOR MAF</b>		
<b>NRO. CABLE</b>	<b>COLOR</b>	<b>ESPECIFICACIÓN</b>
Cable #1	Café-Blanco	Señal
Cable #2	Morado-Blanco	Masa
Cable #3	Azul-Negro	Alimentación

En la tabla 2.9 se muestra el número de cables, color y especificación del sensor IAT

**Tabla 2.9** Número de cables Sensor IAT

<b>SENSOR IAT</b>		
<b>NRO. CABLE</b>	<b>COLOR</b>	<b>ESPECIFICACIÓN</b>
Cable #1	Plomo	Señal
Cable #2	Negro-Amarillo	Masa

En la tabla 2.10 se muestra el número de cables, color y especificación de la bomba de combustible:

**Tabla 2.10** Número de cables bomba de combustible

<b>BOMBA DE COMBUSTIBLE</b>		
<b>NRO. CABLE</b>	<b>COLOR</b>	<b>ESPECIFICACIÓN</b>
Cable #1	Azul	Señal
Cable #2	Negro	Masa

### 2.3.3 Selección del banco de pruebas motor Diesel

Para la selección del banco de pruebas se hizo una búsqueda de automóviles que tengan un motor diésel CRDi, al no contar con un vehículo con tales características se procedió a realizar una revisión de los bancos de prueba de motores diésel que están disponibles en la Universidad Técnica del Norte, dado esto se concluyó contar con el motor diésel Mazda BT-50 CRDi, ya que se encontraba disponible para que los estudiantes puedan realizar estudios de su comportamiento.

#### **2.3.4 Verificación del funcionamiento del banco de pruebas**

Una vez seleccionado el banco de pruebas se procedió a verificar el correcto funcionamiento de este, además de la revisión de los sensores y actuadores a simular posteriormente, puesto que en caso de no existir algún componente de los antes mencionados se busca otro banco el cual su funcionamiento sea óptimo y contenga los elementos electrónicos necesarios. Dentro de este proceso se proporciona de combustible al motor y la colocación de una batería cargada para dar con el primer arranque.

#### **2.3.5 Verificación de funcionamiento de los sensores y a actuadores a simular**

La verificación de los sensores y actuadores seleccionados se realizó por medio de un Multímetro Automotriz, por lo cual se tiene en cuenta curvas y voltajes de referencia de los datos encontrados en la revisión bibliográfica, ya que gran parte de los sensores y actuadores trabajan a voltajes de alimentación, señal y masa similares.

Para verificar el funcionamiento se conectó el multímetro para obtener los valores de cada sensor y actuador como es el caso del MAF y el IAT que trabajan de manera simultánea compartiendo socket y es comúnmente denominado sensor de flujo total, consecuente a esto el elemento electrónico posee 5 cables entre los cuales están los voltajes de señal, masa y alimentación de los dos sensores. Estos sensores teóricamente trabajan con señales de 0.5 a 4.5 cuando se encuentran en buen estado. En cuanto a la bomba de combustible, al ser de baja presión solo tiene dos cables y puede ser diagnosticada por medio de presión o a su vez con la ayuda del multímetro.

#### **2.3.6 Selección del equipo de diagnóstico para pruebas**

Para la selección del equipo se consideraron varios aspectos importantes, para realizar una simulación óptima. Dentro de los puntos a tomar en cuenta se debe tener herramientas de diagnóstico como el multímetro, debido a que se realizará una simulación de sensores y actuadores del sistema CRDi, donde se verificará sus curvas y sus datos técnicos. El equipo de

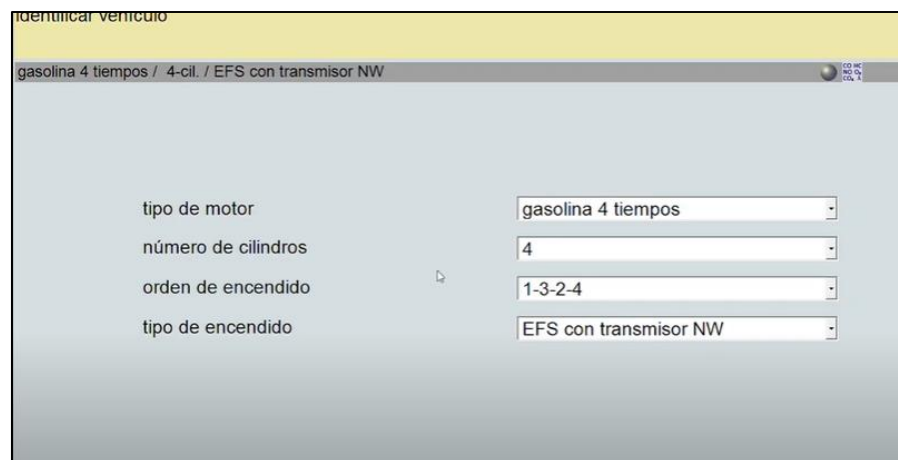
pruebas Bosch FSA 740 posee un osciloscopio con dos canales donde se detalla de forma óptima la simulación y posee curvas de alta precisión con un muestreo de 50 MS/s.

Este equipo tiene varias funciones tales como ubicar los defectos de forma rápida y segura, a su vez tiene conectores de entrada para una variedad de sensores y uno libre para la expansión y esto hace posible un trabajo eficiente sin el cambio constante de sensores del vehículo. Dentro de sus funciones esta un generador de señales que trabaja de 10 a 12 V con 4 diferentes formas de ondas que ayudara a verificar y analizar de mejor forma sus gráficas. Así como también existen diferentes rangos de funcionamiento de acuerdo con los sensores y actuadores.

### 2.3.7 Obtención de curvas en condiciones normales

En primer lugar, se preparó el equipo de diagnóstico para poder realizar la simulación de mejor manera. Además, se debe especificar el tipo de vehículo con la ayuda de la matrícula o en el caso de un banco de pruebas se digita en la interfaz de selección del equipo la serie del motor.

En la figura 2.8 se puede observar la interfaz donde se va a ingresar los datos del vehículo o en el caso de no tener una identificación específica de la marca del vehículo, se ingresa el tipo de motor, orden de encendido, el número de cilindros y el tipo de encendido.



Identificar vehículo	
gasolina 4 tiempos / 4-cil. / EFS con transmisor NW	
tipo de motor	gasolina 4 tiempos
número de cilindros	4
orden de encendido	1-3-2-4
tipo de encendido	EFS con transmisor NW

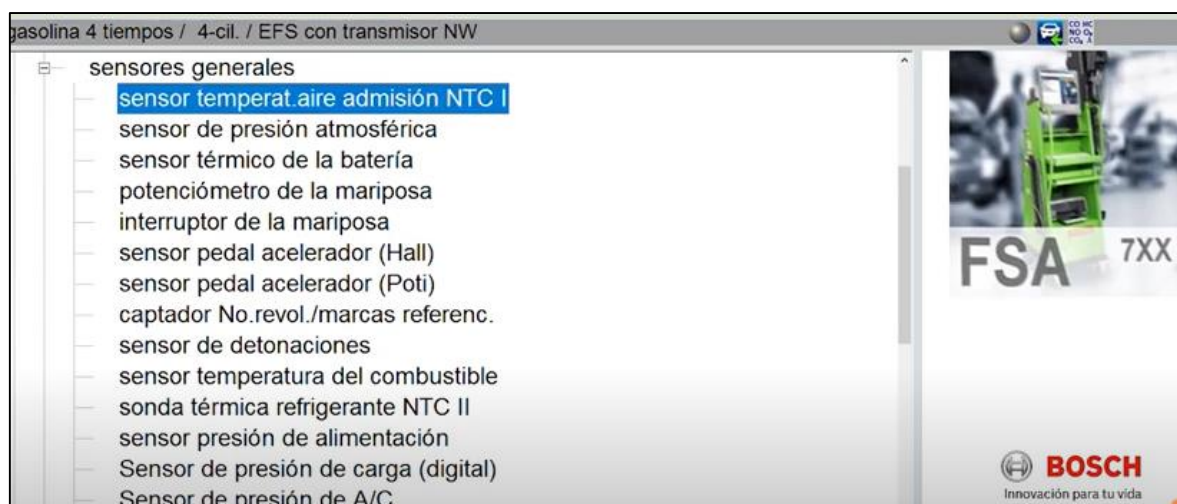
**Figura 2.8** Identificación del vehículo en el equipo FSA 740



Posteriormente realizada la identificación del motor o del vehículo, se desglosó las opciones del osciloscopio, generador de señales y curvas características. En este caso se seleccionó la opción de obtener curvas características de los sensores IAT – MAF y la bomba de combustible de baja presión.

En la figura 2.9 se observa varias opciones de sensores que se tiene al momento de realizar las mediciones para la obtención de las curvas características, en este caso se va a seleccionar el sensor de masa de aire (MAF) juntamente con el IAT.

Con la ayuda de un analizador de gases se verificó la cantidad de emisiones de CO, CO<sub>2</sub> y NOx bajo el funcionamiento en condiciones normales del banco de pruebas diésel.



**Figura 2.9** Selección del tipo de sensor

Para realizar la conexión con los sensores, se realizó una identificación de los cables para ver cuál es señal, alimentación y masa. Para posterior conectar los cables del osciloscopio del equipo FSA 740, se debe de usar pinzas para no afectar o dañar los cables del sensor.

En la figura 2.10 se muestra la interfaz donde se apreciará la curva una vez realizada la prueba a diferentes regímenes del motor, en esta ocasión se hizo con los sensores en su estado normal. Luego de que se realizó todo el procedimiento de prueba se guardó las curvas para posteriormente tener una simulación sin la necesidad de tener conectado al sensor, esto ayudará a la comparación y el diagnóstico con las otras pruebas a realizar.



**Figura 2.10** Interfaz de la curva característica

### 2.3.8 Obtención de curvas en diferentes condiciones

Para la obtención de estas curvas se tomó como principal elemento electrónico el IAT y MAF ya que son un sensor de flujo total, por consiguiente, el primer factor condicionante que se le hizo es la disminución de aire que pasa por el sensor, para esto se obstruyó la entrada aproximadamente un 80% de aire en el depurador del motor. A su vez con la ayuda de un analizador de gases portátil Kane se midió los porcentajes de los gases emitidos bajo el cambio de flujo masico.

El factor condicionante que se tomó en cuenta para el sensor IAT fue la variación de temperatura con la ayuda de un potenciómetro, esto afectó a la cantidad de preinyecciones dadas en los inyectores provocando un aumento de ruido del motor.

Una vez determinadas las diferentes condiciones se procedió a realizar la conexión del equipo FSA 740 teniendo en cuenta los pines de masa y señal del sensor IAT y MAF, posteriormente se realizó la obtención de la curva que nos brinda el equipo en cada prueba específica.

El banco motor trabaja con una bomba de cebado, por lo cual, se decidió acoplar una bomba eléctrica de combustible que posea voltaje y corriente. En esta bomba se utilizó un variador de corriente el cual limitó tanto la intensidad como el voltaje de salida de la bomba

eléctrica. Esto ayudó analizar la disminución de combustible en los inyectores y por ende el comportamiento del motor ante condiciones extremas.

### **2.3.9 Comparación de las curvas en diferentes condiciones y estado normal**

Una vez que se ha realizado todas las pruebas en condiciones específicas de funcionamiento como en estado normal de los sensores de flujo de aire – temperatura y la bomba de combustible del sistema CRDi, se procesó todos los datos obtenidos tanto en los sensores MAF e IAT como en la bomba de combustible. Se analizó cada una de las curvas características que se obtuvo en el equipo FSA 740, a su vez también los diferentes valores de funcionamiento para así poder observar las variaciones que existen y sus presuntas fallas en los sensores y actuadores.

### **2.3.10 Diagnóstico de señales obtenidas**

Con las curvas obtenidas en todas las pruebas realizadas en el equipo Bosch, se realizó su respectivo diagnóstico, en donde se observó cómo fue su comportamiento ante las posibles fallas en los sensores.

En las diferentes pruebas se examinó como varía el voltaje de cada sensor, la variación en su figura de acuerdo con las condiciones específicas en cada prueba. En la primera prueba se verificó que sucede cuando hay una disminución de aire que pasa por el sensor MAF y ver su comportamiento en el motor.

En cuanto al sensor IAT se analizó el cambio de parámetros por medio de la variación de temperatura con la ayuda de un potenciómetro, resaltando la desaparición de una preinyección en las curvas del inyector ante el aumento y disminución de los valores de la temperatura del aire de entorno.

Para la prueba de la bomba eléctrica de combustible se evidenció que ante una baja de voltaje y corriente produce cascabeleo en el motor y a su vez se mantiene en ralentí durante un corto lapso de tiempo para finalmente el motor apagarse.

Dados dichos casos se determinó como afectará estas fallas al motor para dar un diagnóstico y posteriormente brindar una solución a cada caso.

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.1 ESTUDIO DE LOS SENSORES Y ACTUADORES QUE CONFORMAN LA ENTRADA DE AIRE E INICIO DEL SISTEMA DE ALIMENTACIÓN.

##### 3.1.1 Sensor MAF

En la revisión bibliográfica del sensor MAF se encontró valores referenciales de los voltajes de acuerdo con la variación de su tensión a diferentes condiciones de prueba ya sea a ralentí o a una carga completa del motor. En base a estos datos reales del sensor se puede concluir si el componente se encuentra en óptimas condiciones para poder realizar las pruebas correspondientes. En la tabla 3.1 se muestra los valores reales del sensor MAF los cuales variarán de acuerdo con el estado del motor al trabajar a bajas o altas revoluciones del motor. Estos datos nos ayudaran en la comparación de las pruebas a realizar tanto en condiciones normales y específicas.

**Tabla 3.1** Valores reales de voltaje sensor MAF

Condición de Prueba	Voltaje
Voltaje de referencia	0 - 5 V
Ralentí	0.8 - 1.2 V
Carga completa del Motor	4.5 – 5 V
Desaceleración fuerte	0.4 V

**Fuente:** (Auto Avance, 2019)

##### 3.1.2 Sensor IAT

El estudio del sensor IAT toma como relevancia los valores de temperatura, resistencia y voltaje ya que de esta manera se puede concluir si el sensor se encuentra en buen estado para las posteriores pruebas. En la tabla 3.2 se muestra los valores de acuerdo con su respectiva temperatura, ya que serán tomados como referenciales para las pruebas realizadas tanto en

condiciones normales como en variación de temperatura y se puede concluir que el sensor IAT al ser de tipo NTC reduce su resistencia y voltaje al subir su temperatura.

**Tabla 3.2** Valores referenciales del Sensor IAT

<b>Temperatura (°C)</b>	<b>Resistencia (<math>\Omega</math>)</b>	<b>Voltaje (V)</b>
10	6000	3.51
20	3400	3.07
40	1700	2.13
60	600	1.33
80	350	0.78
100	180	0.46

**Fuente:** (Díaz Acuña & Suclupe Campos, 2014)

### 3.1.3 Bomba eléctrica de combustible y Bomba de cebado

La bomba del banco motor Mazda BT-50 trabaja explícitamente con una bomba de cebado, la cual permite que el motor se mantenga encendido con normalidad sin la necesidad de una bomba eléctrica de combustible. Asimismo, la bomba de cebado al funcionar de manera manual hace que trabaje únicamente con una presión de aproximadamente 7 bares y sin la presencia de voltaje y amperaje.

La bomba eléctrica de combustible por lo general trabaja en condiciones normales con presiones que no exceden los 5 bares a un voltaje de alimentación de 12V y una intensidad de corriente que fluctúa entre los 4 y 5A. Por lo tanto, se tomó como referencia estos valores para realizar una variación del voltaje y amperaje de funcionamiento.

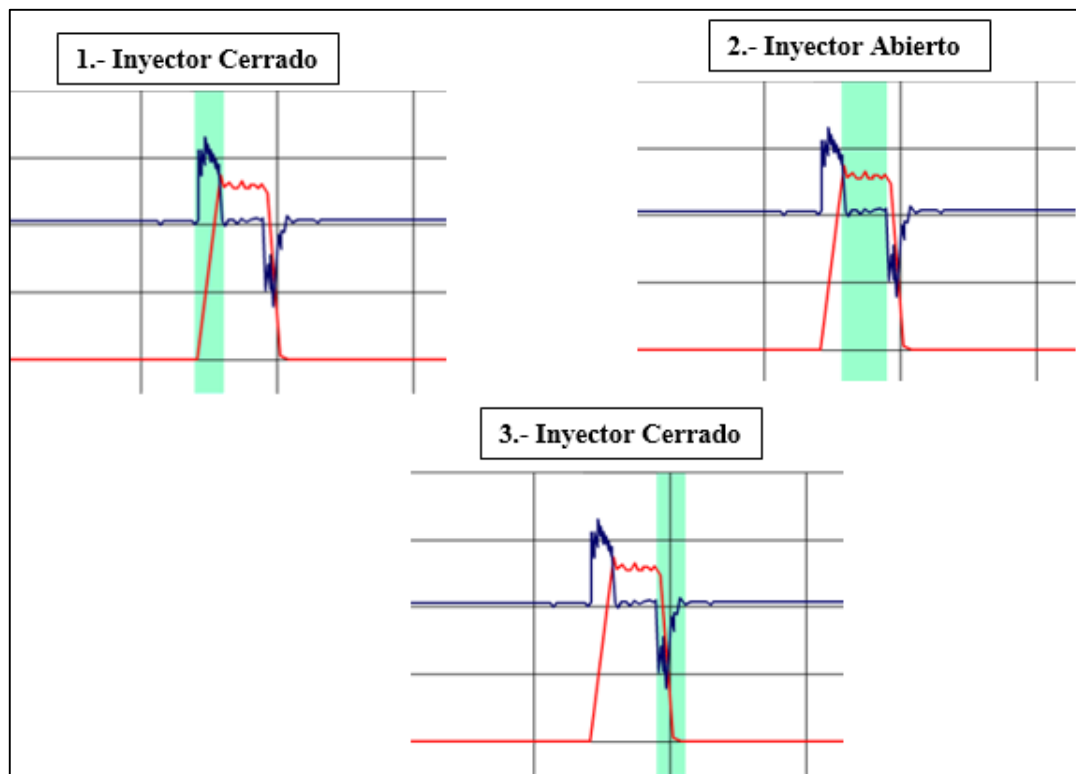
### 3.1.4 Inyector Electromagnético

Mediante el estudio del inyector electromagnético se encontraron curvas de funcionamiento al estar el actuador abierto y cerrado. En la figura 3.1 se puede observar que en

la primera fase se encuentra el inyector cerrado, esto es debido a que la presión de la cámara del inyector y la celda volumétrica son iguales, a su vez, la bobina de la electroválvula no está alimentada ocasionando que el actuador permanezca en reposo.

En cuanto a la segunda fase, se da por entendido que el inyector recibe una fuerza electromagnética en la bobina, provocando la apertura del estrangulador de salida y el ingreso del combustible. Además, la presión en la cámara de control tiende a reducir y causa una minoría de fuerza en el embolo lo cual produce la apertura de la aguja del inyector que persistirá en el paso de combustible mientras sea alimentada la electroválvula.

En la tercera fase el inyector se cierra debido a que la ECU ya no envía corriente a la electroválvula, por lo cual, el muelle hace que la aguja permanezca en su asiento y el estrangulador de salida sea cerrado. Esto provoca el aumento de presión en la cámara y el descenso del embolo de control.



**Figura 3.1** Funcionamiento del Inyector Electromagnético

(Blog Mecanicos, 2015)

## 3.2 VERIFICACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DE LOS SENSORES Y ACTUADORES CON LAS SEÑALES OBTENIDAS POR EL EQUIPO DE PRUEBA FSA 740.

### 3.2.1 Valores reales de los sensores MAF-IAT

#### 3.2.1.1 Valores en ralentí

En la figura 3.2 se muestra los valores reales obtenidos del software ESItronic con el motor en ralentí. Entre los cuales se puede observar la temperatura ambiente que por lo general ronda los 20-26 °C, además, el voltaje al cual trabaja el sensor IAT es de 1.70V a una temperatura de 37 °C. En cuanto al sensor MAF se estiman valores de tensión de 2.12V mientras que la masa de aire que corresponde al voltaje antes mencionado es de 39kg/h.

Estos valores fueron tomados como referenciales al estar el motor en ralentí, puesto que en el transcurso del presente estudio se hará variaciones tanto en el sensor MAF como el IAT para determinar fallas bajo diferentes circunstancias.

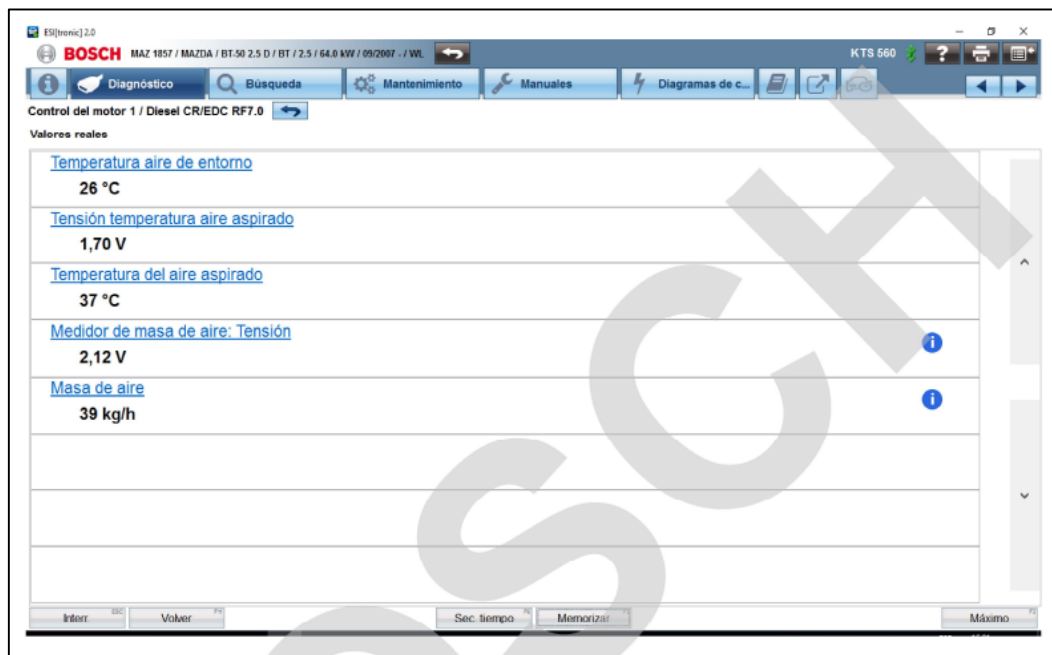
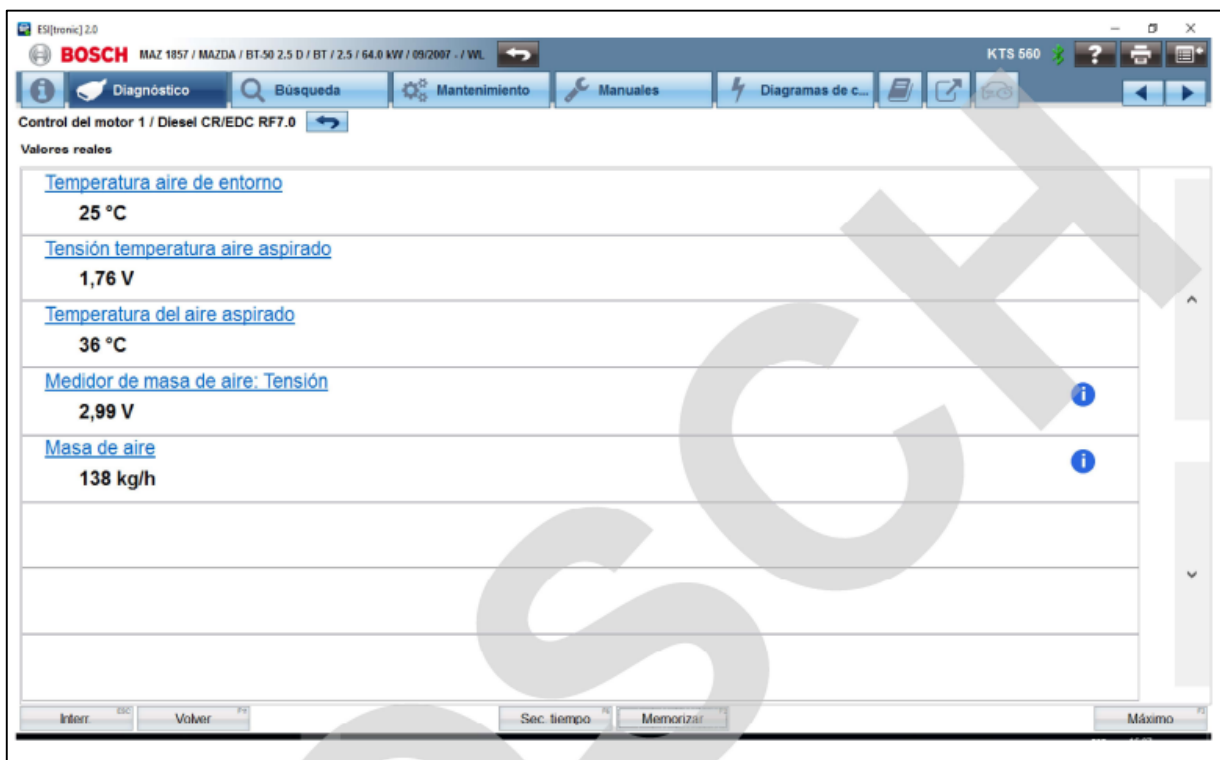


Figura 3.2 Valores en ralentí

### 3.2.1.2 Valores con el motor a 2500rpm

Los valores reales adquiridos por el software ESItronic al estar a 2500 revoluciones por minuto afectan principalmente al sensor MAF, puesto que, este sensor depende directamente del régimen y condiciones que trabaja el motor, por lo tanto, las estimaciones del sensor IAT no son afectadas en una gran proporción. En la figura 3.3 se muestra el valor de la temperatura del aire de entorno que ronda los 25°C, mientras que el voltaje es de 1.76V y la temperatura 36°C en el sensor IAT. Estos datos son similares a los valores dados con el motor en ralentí. En cambio, la tensión 2.99V y la masa de aire 138 kg/h del sensor MAF aumenta en un gran porcentaje en comparación a los valores de la figura 3.2.



**Figura 3.3** Valores con el motor a 2500rpm

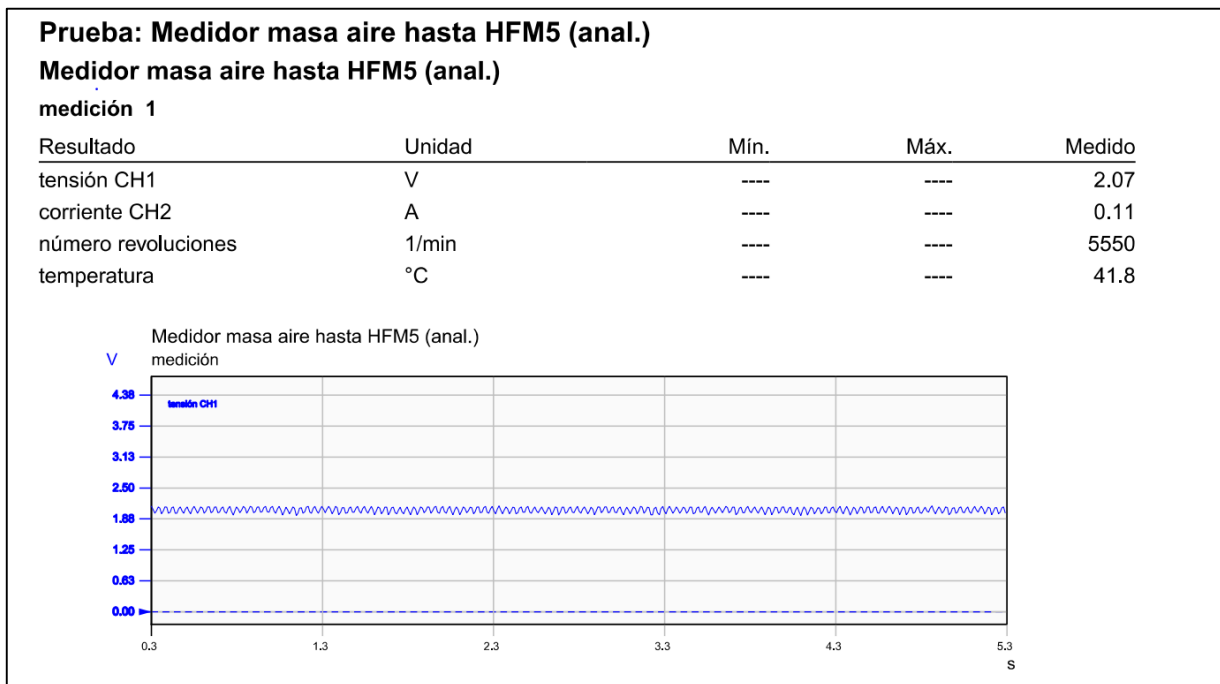


### 3.2.2 Curvas en funcionamiento normal de los sensores MAF-IAT

#### 3.2.2.1 Curva MAF en ralentí

La curva característica adquirida del equipo FSA 740 muestra que la tensión a la cual trabaja el sensor MAF en ralentí es de 2.07V y dependerá específicamente de las revoluciones por minuto del motor. Además, este valor es similar a los valores reales obtenidos con el software ESItronic y se puede considerar que tanto la ECU como el sensor se encuentran sincronizados. Estos valores de tensión al comparar con los valores reales de la tabla 3.1 muestran una pequeña diferencia en sus voltajes, esto debido al desgaste que ha sufrido el sensor MAF durante su tiempo de uso.

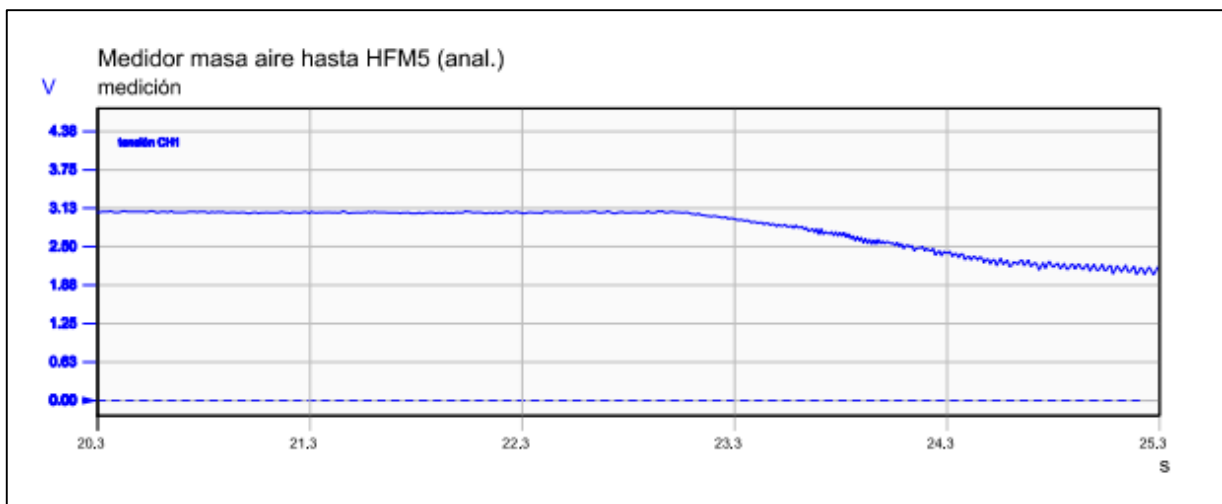
En la figura 3.4 se puede observar que la curva no posee frecuencia alguna, puesto que, no existe un cambio en la tensión del sensor, esto evidencia que se trabajó a una misma cantidad de rpm en el motor.



**Figura 3.4** Curva del sensor MAF en ralentí

### 3.2.2.2 Curva MAF a 2500 rpm

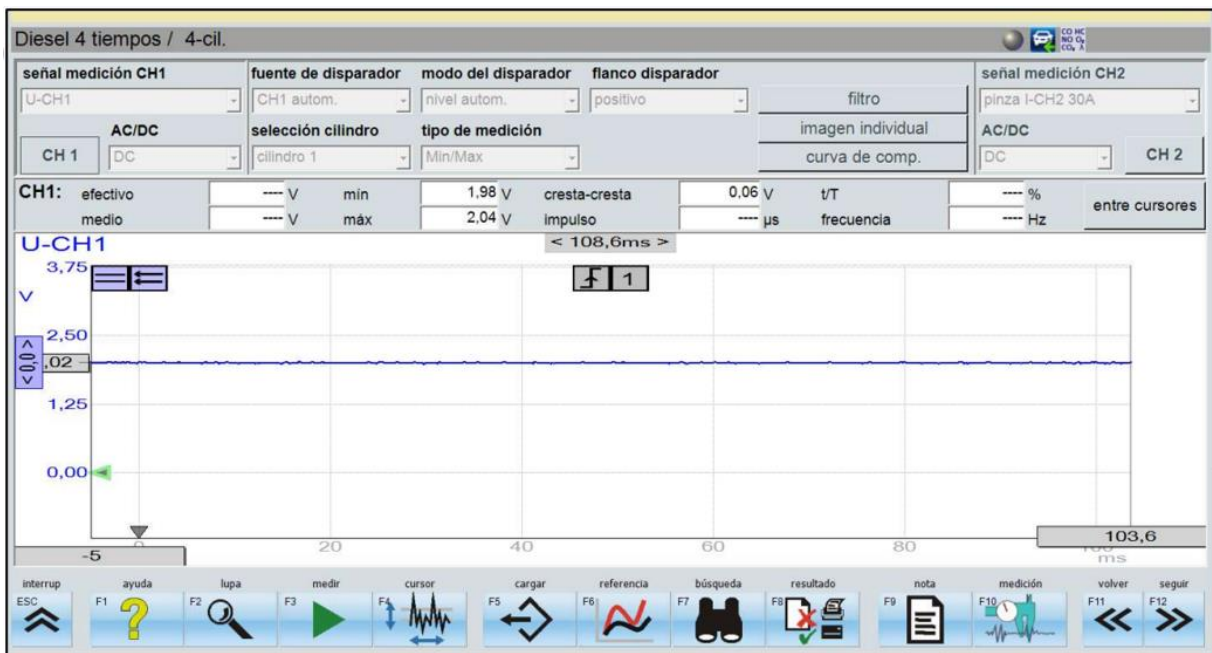
En la figura 3.5 se aprecia la curva del sensor MAF a 2500 rpm, al existir un cambio repentino en el régimen del motor, la frecuencia de la curva obtenida tiende a cambiar de valores en su voltaje alcanzando los 3.01V como el valor más alto. En comparación con los valores reales de funcionamiento del sensor MAF de la tabla 3.1, existe una disminución de su tensión al momento de estar a una carga completa del motor.



**Figura 3.5** Curva MAF a 2500 rpm

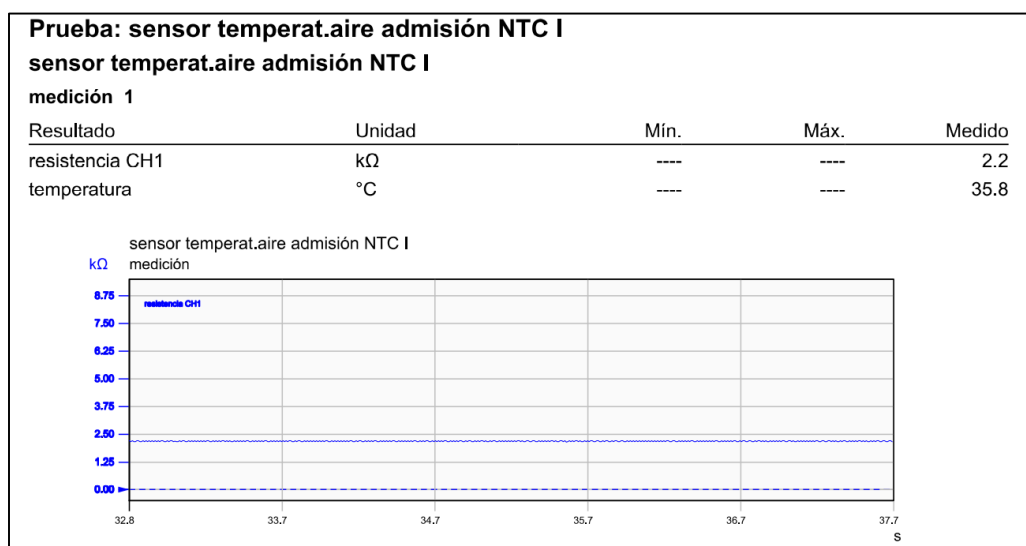
### 3.2.2.3 Curvas IAT voltaje-resistencia

La curva del sensor IAT en referencia al voltaje dependerá explícitamente de la variación de temperatura a la cual este expuesto el elemento electrónico, por lo cual en la figura 3.6 muestra que presenta cambios poco significativos en su mínimo y máximo voltaje 1.98V y 2.04V respectivamente.



**Figura 3.6** Curva de voltaje del sensor IAT

En la figura 3.7 se puede observar la curva del sensor IAT donde sobresalen los valores de la resistencia  $2.2 \text{ k}\Omega$  y temperatura  $35.8 \text{ }^\circ\text{C}$ , estas estimaciones en conjunto con las de la figura 3.5 son bastante cercanas a los valores referenciales de trabajo del sensor IAT mostrados en la tabla 3.2, por lo cual se puede considerar que el sensor se encuentra en buen estado para proceder hacer las respectivas variaciones.



**Figura 3.7** Curva de resistencia-temperatura del sensor IAT

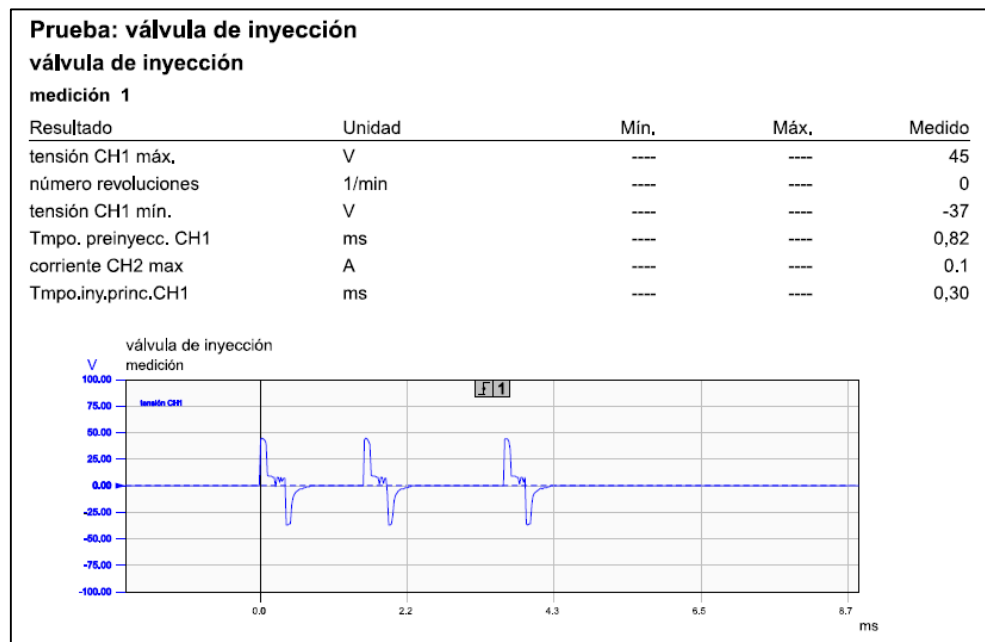
### **3.2.3 Curva de referencia del inyector para el sensor IAT y la bomba eléctrica de combustible en condiciones normales**

Las curvas tomadas como referencia para el sensor IAT y la bomba eléctrica de combustible fueron de los inyectores, puesto que, es el elemento que más resulta afectado en cuanto a las variaciones realizadas posteriormente. Además, las curvas fueron aplicadas a ralentí y 2500 revoluciones del motor.

Para realizar las pruebas en estado normal de los inyectores, no se contó con una bomba eléctrica de combustible en la alimentación de baja presión, es decir, solo estuvo presente la purga mediante la bomba de cebado y una presión de 7 bares para encender el motor.

#### **3.2.3.1 Curva del inyector a ralentí**

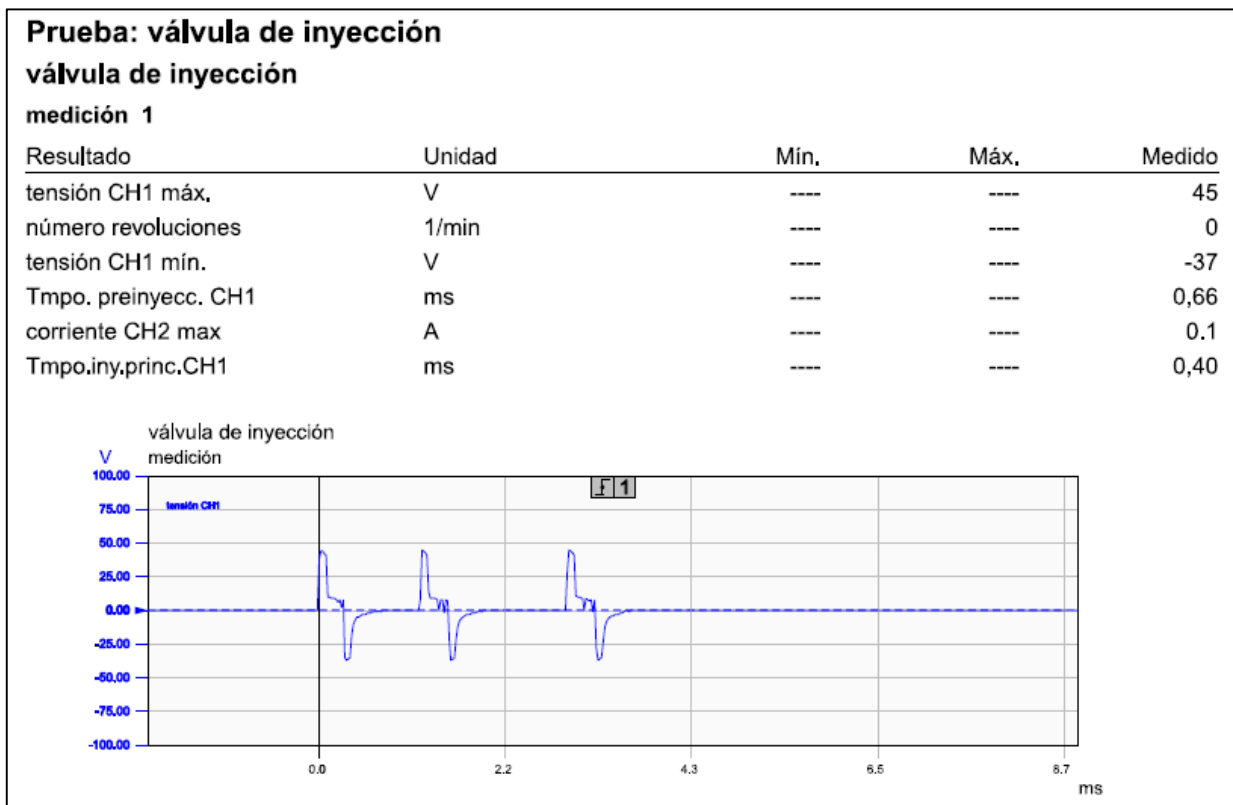
El inyector de combustible al trabajar en ralentí posee una tensión mínima de -37V y una tensión máxima de 45V siendo esta el pico más alto. En cuanto a las preinyecciones dadas del inyector son de 0.82ms, al tener dos preinyecciones se puede considerar que han sido sumadas para brindar un valor total y en relación con la inyección principal se observa un valor de 0.30ms el cual será el tiempo que el inyector este pulverizando el combustible en el interior del cilindro. En la figura 3.8 se muestra la curva donde se representa dos preinyecciones y una inyección principal.



**Figura 3.8** Curva del inyector a ralentí

### 3.2.3.2 Curva del inyector a 2500rpm

La curva del inyector al trabajar a 2500rpm no presenta cambios en cuanto a la tensión eléctrica máxima 45V y mínima -37V, sin embargo, el tiempo en el cual inyecta combustible en la preinyección 0,66ms se reduce significativamente, por otro lado, el tiempo de la inyección principal aumenta a 0,40ms evidenciando el incremento de revoluciones en el motor. En la figura 3.9 se puede observar la curva del inyector a 2500 revoluciones.



**Figura 3.9** Curva del inyector a 2500rpm

### **3.3 DIAGNÓSTICO DE LAS SEÑALES DE LOS SENSORES Y ACTUADORES ANTE SUS PRESUNTAS FALLAS.**

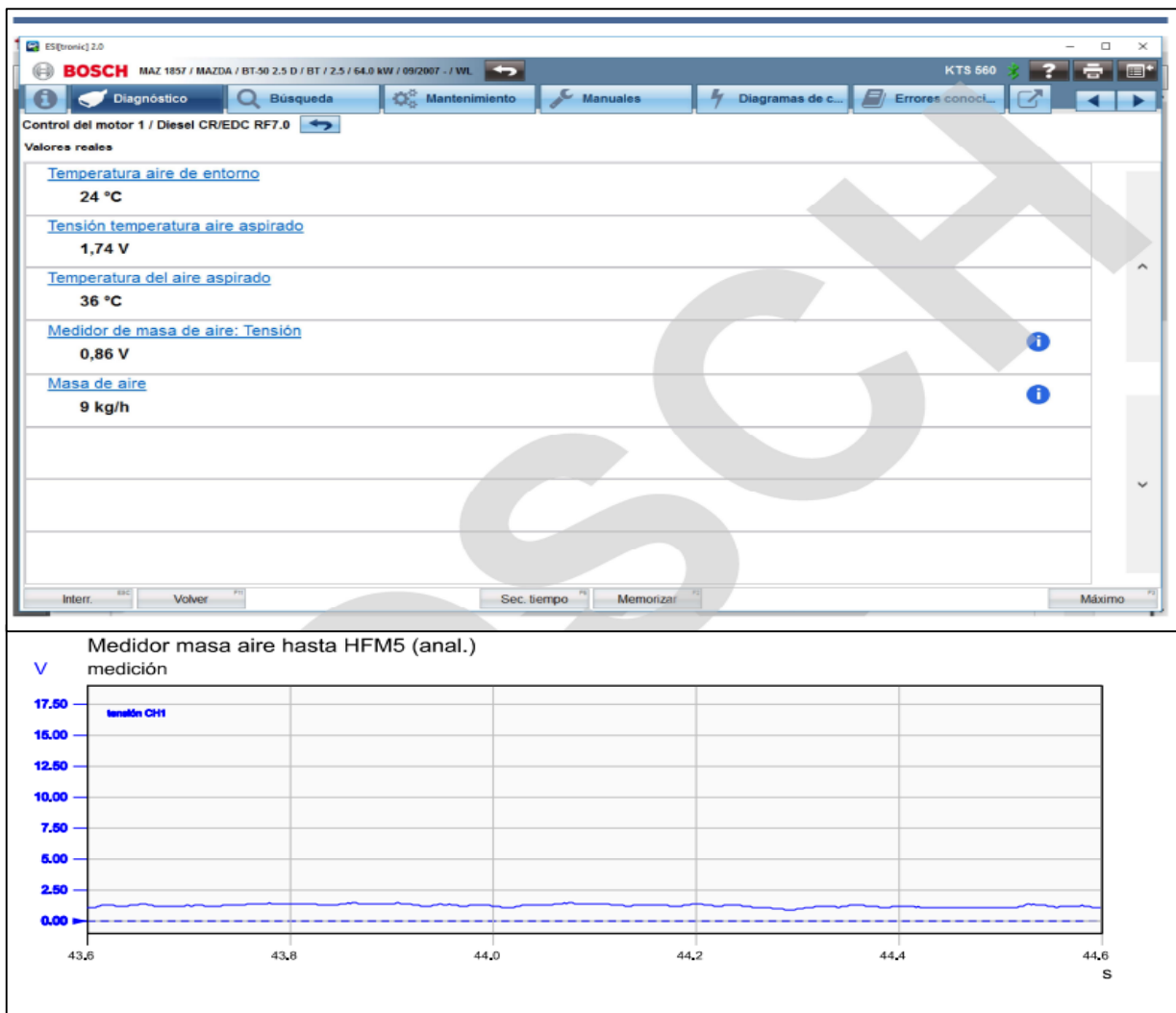
#### **3.3.1 Pruebas con variaciones del sensor MAF**

Las pruebas con variaciones realizadas en el sensor MAF se enfocaron a la limitación de aire en un 80% en el depurador a diferentes revoluciones por minuto dadas en el motor, de esta manera se demostró el efecto que causa un flujo de aire mínimo o a su vez una baja tensión en la entrada de aire del motor.

### 3.3.1.1 Limitación de aire con el motor en ralentí

La prueba de limitación de aire se basó en la obstrucción de un aproximado del 80% de aire en el depurador, de esta manera se buscó examinar los síntomas que tendrá el motor en bajas y en altas rpm.

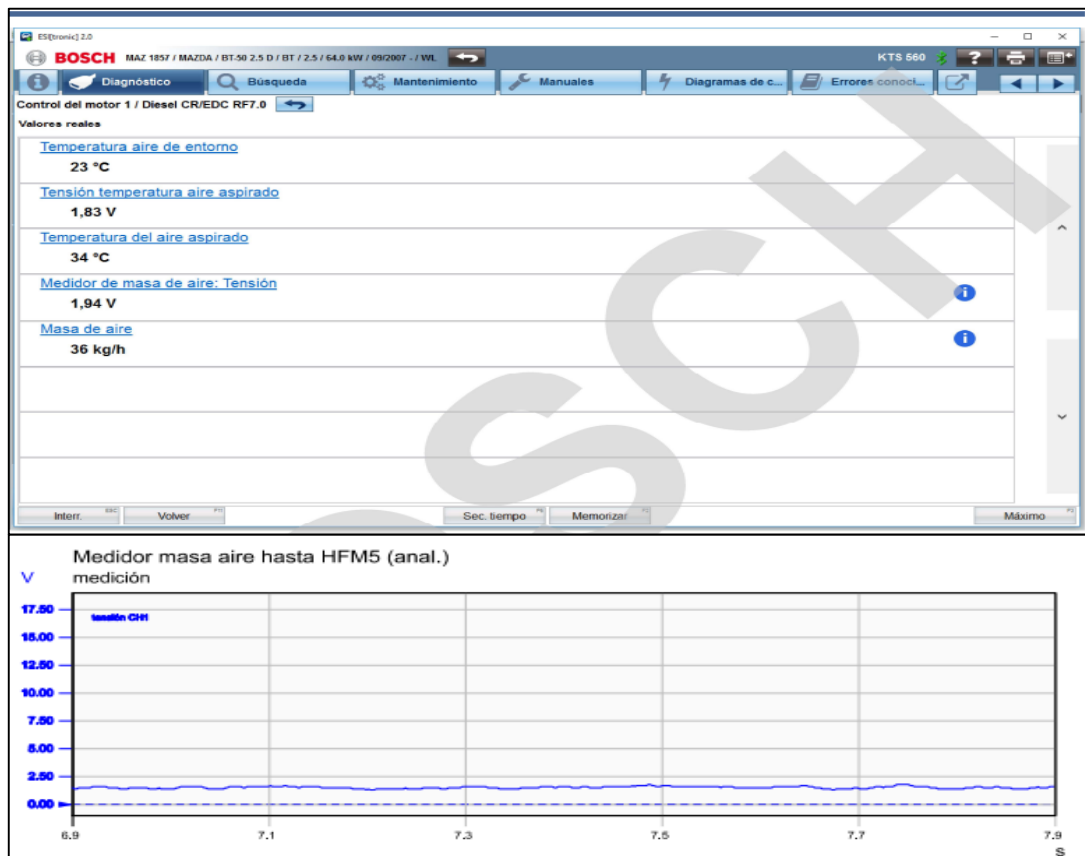
Los valores reales y la curva dada del sensor MAF evidencia la baja de tensión (0.89V) y masa de aire (9kg/h) ante la brusca limitación de aire en el depurador. Debido a esto el motor mostró un leve cascabeleo al estar en bajas rpm (ralentí). En la figura 3.10 se muestra tanto los valores como la curva característica en esta condición limitante.



**Figura 3.10** Limitación de aire con el motor en ralentí

### 3.3.1.2 Limitación de aire con el motor a 2500 rpm

Ante el aumento de rpm (2500), además de la limitación de aire en el depurador (80%), el sensor MAF presentó un aumento en su tensión eléctrica 1.94V y masa de aire 36kg/h. Dado esto, se evidenció que el motor tiende a humear en exceso debido a la mezcla rica que se produce en los cilindros. En la figura 3.11 se muestra los valores reales y la curva de la tensión dada por el sensor MAF a 2500 rpm.



**Figura 3.11** Limitación de aire con el motor a 2500rpm

### 3.3.2 Pruebas de gases del sensor MAF

Otro de los factores determinantes a partir de variaciones del sensor MAF fueron las pruebas de emisiones de gases tanto en ralentí como a 2500rpm, de esta manera se logró observar cómo cambia los valores de los gases dados en el escape del motor.



### 3.3.2.1 Pruebas de Dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>)

Los resultados obtenidos de la medición de gases de CO<sub>2</sub> se presentan en la tabla 3.3, donde primero se realizó las pruebas a ralentí en condiciones normales dando un valor promedio de 1.34% Vol. En condiciones de fallo como la limitación de un aproximado del 80% de aire en el depurador su valor fue de 1.4% Vol. en el cual existe una variación de 0.06% Vol. con respecto al valor en condiciones normales de funcionamiento. Con la desconexión del sensor MAF el valor promedio es de 1.6% Vol. evidenciando una diferencia de 0.26% Vol. con respecto al dato de la medición en condición normal del motor.

En la prueba de medición de gases que se realizó a 2500 revoluciones del motor dio como resultado los siguientes valores: en condiciones normales su valor promedio fue de 1.7% Vol., con limitación de aire además se obtuvo el valor de 3.36% Vol. demostrando un gran incremento del porcentaje de emisión con respecto al valor en condiciones normales. El valor promedio con el sensor MAF desconectado fue de 1.5% Vol., dando una variación de 0.2% Vol. en comparación con el dato en condiciones normales del sensor.

**Tabla 3.3** Pruebas de Dióxido de carbono

DIÓXIDO DE CARBONO CO <sub>2</sub> (% Volúmenes)							
Condición	Régimen	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 4	Prueba 5	Promedio
Normal	Ralentí	1.2	1.3	1.4	1.4	1.4	<b>1.34</b>
	2500	1.6	1.6	1.7	1.7	1.7	<b>1.7</b>
Limitación Aire	Ralentí	1.3	1.4	1.5	1.5	1.5	<b>1.4</b>
	2500	1.7	2.9	3.5	4.3	4.4	<b>3.36</b>
Desconexión MAF	Ralentí	1.7	1.6	1.6	1.6	1.5	<b>1.6</b>
	2500	1.6	1.6	1.5	1.5	1.5	<b>1.5</b>

### 3.3.2.2 Pruebas de monóxido de carbono (CO)

En la tabla 3.4 se presentan los resultados obtenidos en la medición de gases de CO, donde se realizó pruebas a ralentí y a 2500 revoluciones del motor. En las pruebas de emisiones a ralentí se obtuvo un promedio de 0.33% Vol. en condiciones normales del motor, en condiciones específicas como la limitación de aire su resultado fue de 0.30% resaltando una disminución de 0.03% Vol. con respecto al resultado en términos normales de CO. En la desconexión del sensor MAF el resultado promedio disminuye a 0.30% Vol. respectivamente.

En el régimen de 2500rpm las emisiones de CO en condiciones normales se obtuvo un valor de 0.11% Vol., con la limitación de aire el valor promedio es de 0.33% Vol. existiendo una gran diferencia con el valor de las emisiones en condiciones normales. Con el sensor MAF desconectado su resultado fue de 0.09% Vol. aquí se puede evidenciar una mayor disminución de CO con respecto al porcentaje de monóxido de carbono en estado normal.

Con la obstrucción del aire se evidenció un porcentaje elevado de emisiones de CO generando así una combustión incompleta por falta de aire y una mezcla rica.

**Tabla 3.4** Pruebas de monóxido de carbono

MONÓXIDO DE CARBONO CO (% Volúmenes)							
Condición	Régimen	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 4	Prueba 5	Promedio
Normal	Ralentí	0.23	0.34	0.35	0.34	0.41	<b>0.33</b>
	2500	0.07	0.07	0.08	0.16	0.16	<b>0.11</b>
Limitación Aire	Ralentí	0.07	0.22	0.41	0.42	0.36	<b>0.30</b>
	2500	0.21	0.12	0.33	0.41	0.56	<b>0.33</b>
Desconexión MAF	Ralentí	0.42	0.30	0.31	0.14	0.13	<b>0.24</b>
	2500	0.06	0.06	0.07	0.08	0.16	<b>0.09</b>

### 3.3.2.3 Pruebas de óxidos de nitrógeno (NOx)

En la tabla 3.5 se presentan los resultados obtenidos en la medición de gases de NOx, donde se realizó pruebas a ralentí y a 2500 revoluciones de motor. En las pruebas de emisiones a ralentí se obtuvo un promedio de 129 ppm en condiciones normales del motor, mientras que en condiciones específicas como la limitación de aire su resultado fue de 152 ppm, aquí se puede evidenciar un aumento de 23 ppm con respecto al resultado en términos normales de NOx. Con el sensor MAF desconectado el valor promedio es de 146 ppm, de la misma manera se observa un aumento de emisiones de NOx con respecto al valor promedio en condiciones normales.

En el régimen de 2500 rpm las emisiones de NOx en condiciones normales alcanzaron un valor de 83 ppm, con limitación de aire el valor promedio es de 68 ppm existiendo una gran disminución con el valor de las emisiones en condiciones normales. Con el sensor MAF desconectado su resultado fue de 160 ppm aquí se puede evidenciar un gran incremento de NOx con respecto promedio en condiciones normales. Las altas emisiones de este gas se deben a mezclas levemente pobres. Esto ocurre cuando se añade demasiado aire al combustible.

**Tabla 3.5** Pruebas de óxidos de nitrógeno

ÓXIDOS DE NITRÓGENO NOx (partículas por millón)							
Condición	Régimen	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 4	Prueba 5	Promedio
Normal	Ralentí	129	129	129	129	129	<b>129</b>
	2500	81	83	81	80	89	<b>83</b>
Limitación Aire	Ralentí	152	152	152	153	153	<b>152</b>
	2500	90	71	63	58	57	<b>68</b>
Desconexión MAF	Ralentí	147	147	146	146	146	<b>146</b>
	2500	139	154	165	171	173	<b>160</b>

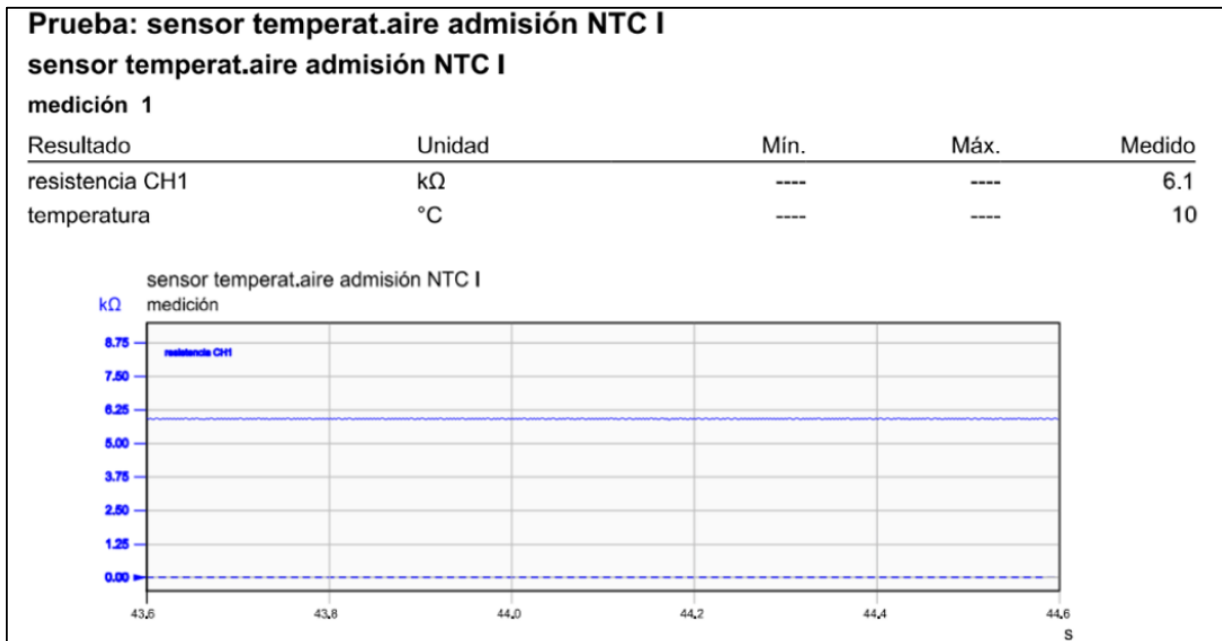
### 3.3.3 Pruebas de variaciones del sensor IAT

Las pruebas desarrolladas en el sensor IAT se basaron en el funcionamiento de los inyectores, puesto que al subir y bajar la temperatura fuera del rango de las condiciones normales, resultó evidente que una de las preinyecciones fue excluida en la curva del inyector.

La variación de los parámetros de temperatura se realizó con la ayuda de un potenciómetro, este elemento sustituyó al sensor ya que se dificultaba la alteración de temperatura de manera natural.

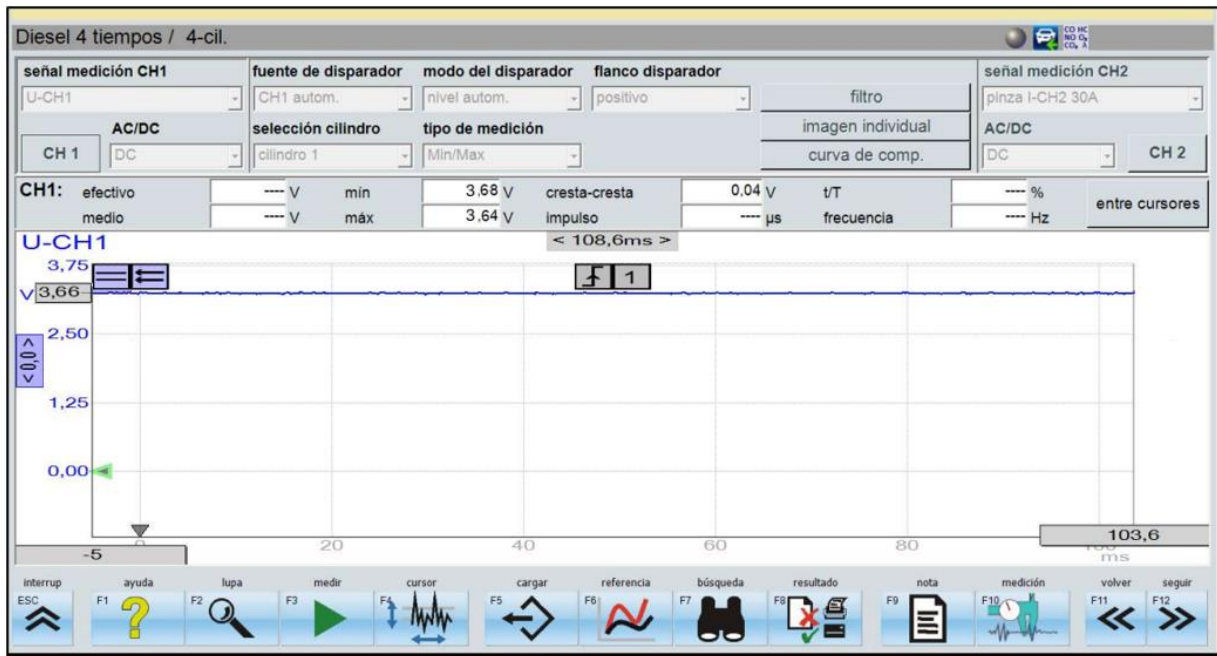
#### 3.3.3.1 Valores de voltaje y resistencia variando parámetros de temperatura (10°C) en ralentí

La figura 3.12 muestra la curva característica del sensor IAT y los valores obtenidos de la resistencia y temperatura. Estos datos del sensor se obtuvieron al variar la temperatura con un potenciómetro, específicamente a 10°C en bajas revoluciones del motor. De esta manera se alcanzó un valor de 6.1 kΩ en su resistencia.



**Figura 3.12** Curva de la resistencia del Sensor IAT con la variación de temperatura a 10°C

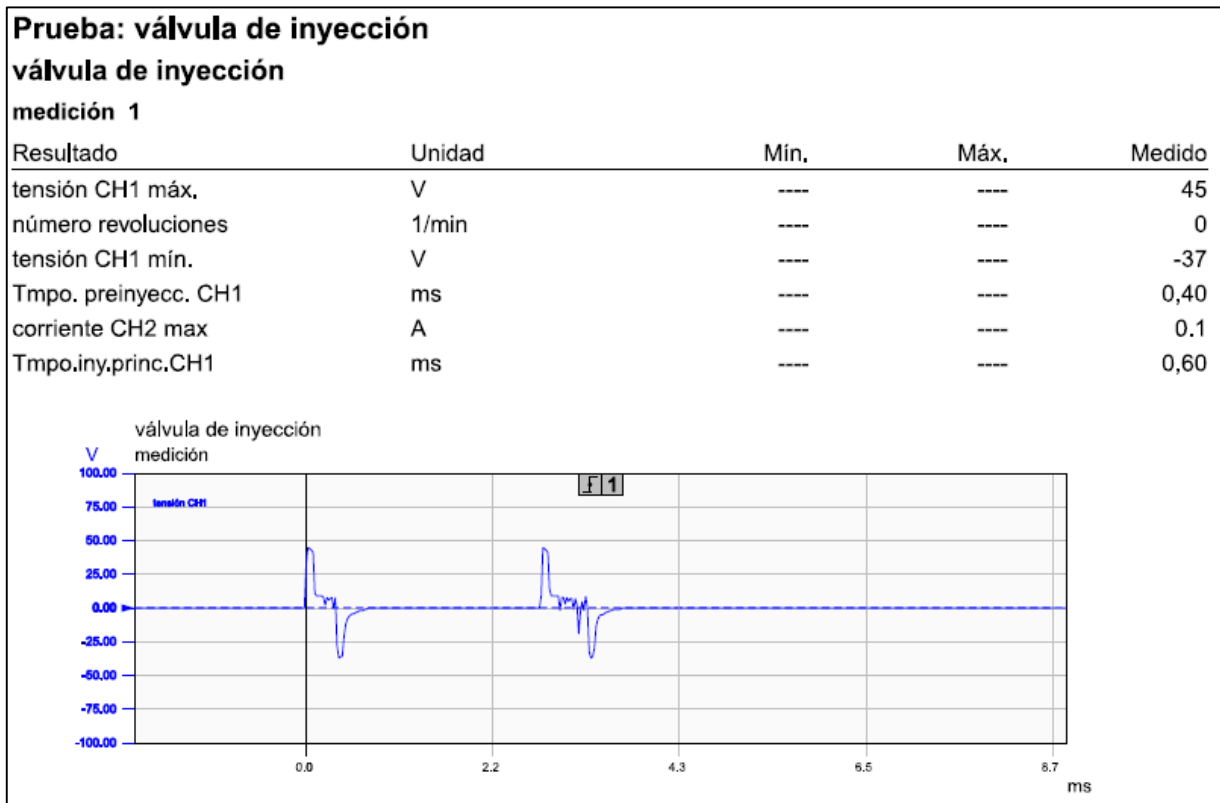
En la figura 3.13 se puede observar el voltaje obtenido en base a una cantidad mínima de la variación de temperatura resaltando los 3.66V a 10°C. Estos valores son cercanos a los referenciales mencionados en la tabla 3.2.



**Figura 3.13** Curva de voltaje del sensor IAT con la temperatura variada a 10°C en ralentí

### 3.3.3.2 Valores del inyector con respecto al sensor IAT en rangos modificados de 0 a 12°C

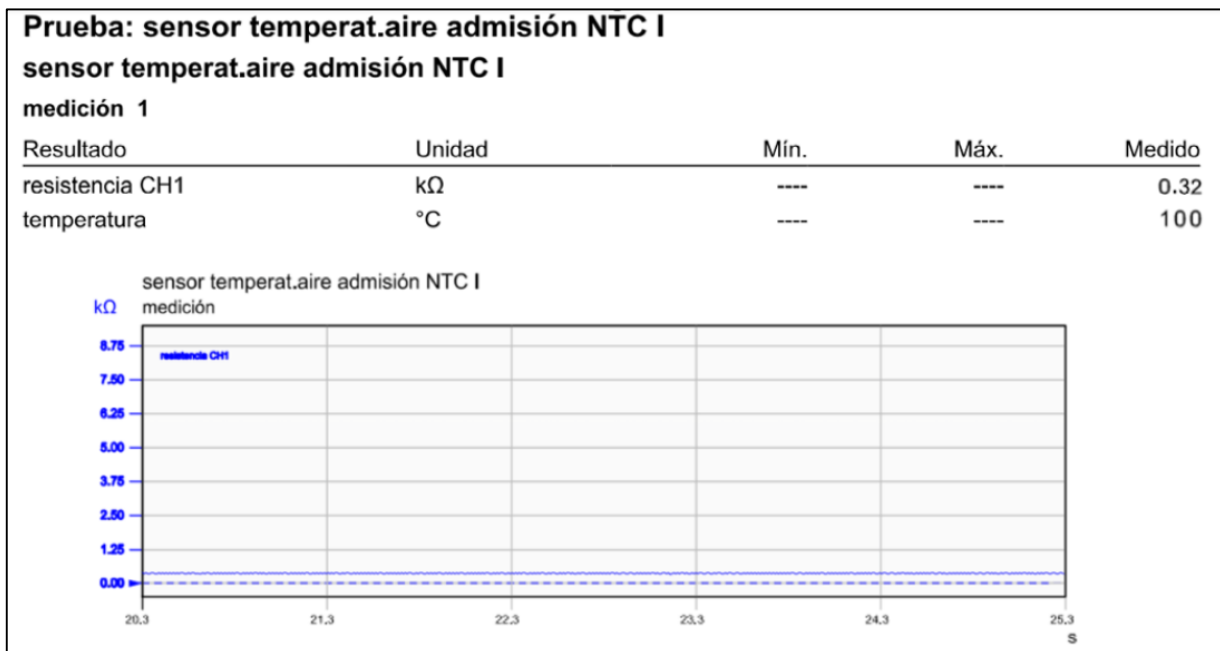
En la figura 3.14 se puede evidenciar los valores y la curva obtenida del inyector, dicha prueba fue realizada mediante la variación de los parámetros de temperatura en el sensor IAT con la ayuda de un potenciómetro. Dentro de los valores más sobresalientes se observa que su voltaje máximo es de 45V y su voltaje mínimo es de -37V, mientras que su tiempo de preinyección es de 0,40 ms y su inyección principal es de 0,60ms. Al comparar dichos valores del inyector en estado normal mostró una diferencia tanto en el tiempo de preinyección y la inyección principal. A su vez, en la curva del inyector se puede observar que una preinyección fue excluida y esto se debió a la disminución de temperatura de 25°C que es su estado normal a los 12°C, además del ruido y cascabeleo que mostró el motor.



**Figura 3.14** Curva del inyector respecto al sensor IAT con rangos de 0 a 12°C

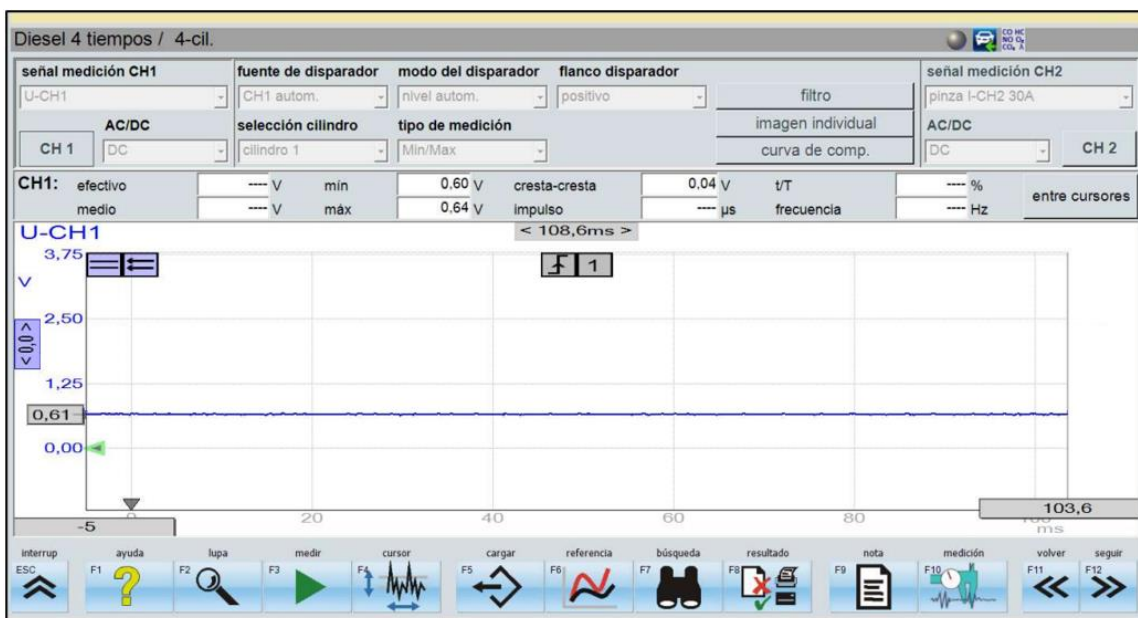
### 3.3.3.3 Valores de voltaje y resistencia variando parámetros de temperatura (100°C) en ralentí

El resultado de la prueba realizada en el sensor IAT con la variación de los parámetros de temperatura a 100°C está representada en la figura 3.15, donde resalta el dato de la resistencia cuyo valor es de 0.32 kΩ.



**Figura 3.15** Curva de la resistencia del sensor IAT con la variación de temperatura a 100 $^{\circ}\text{C}$

Al trabajar con una variación de temperatura de 100 $^{\circ}\text{C}$  la tensión disminuye su valor a 0.61V, por lo tanto, se encuentra evidenciado que el valor obtenido se encuentra en un rango aceptable en cuanto a la tabla 3.2. En la figura 3.16 sobresalen los valores tanto de mínima y máxima tensión alcanzada a la temperatura mencionada anteriormente.

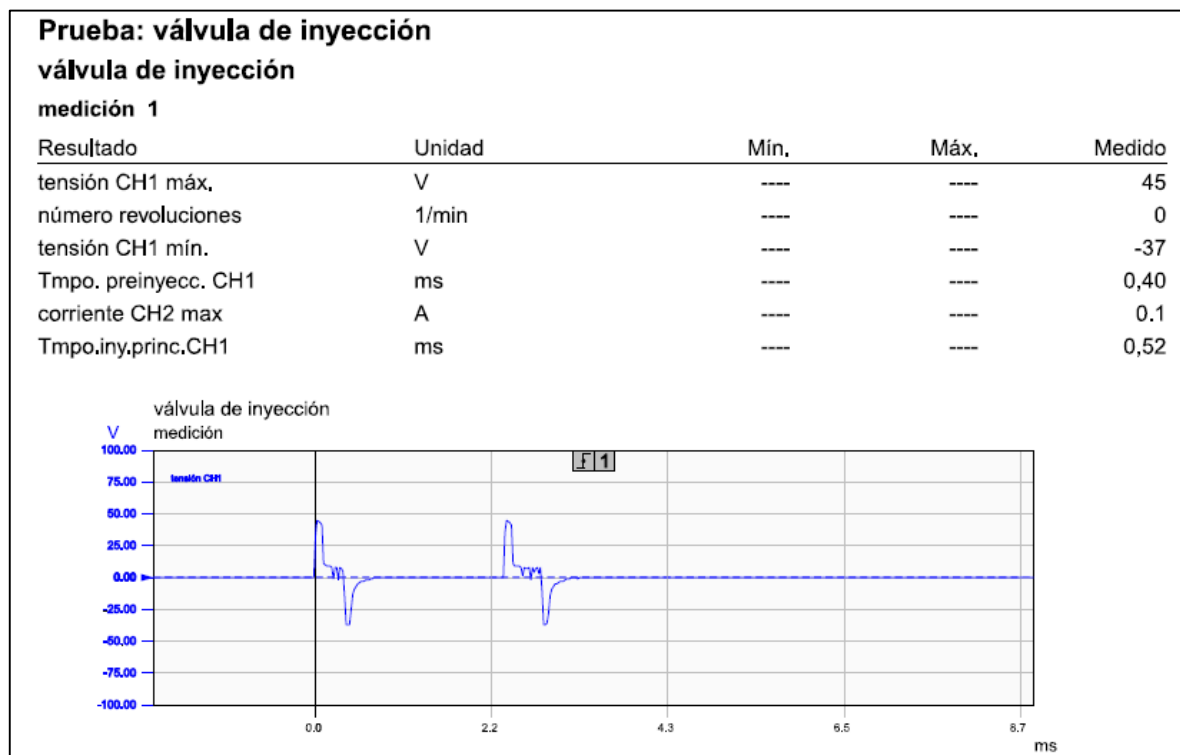


**Figura 3.16** Curva de voltaje del sensor IAT con la temperatura variada a 100 $^{\circ}\text{C}$  en ralentí

### 3.3.3.4 Valores del inyector con respecto al sensor IAT en rangos modificados de 40 a 130°C

En esta prueba realizada con el motor a bajas rpm, la temperatura del sensor IAT fue variada con un potenciómetro en un rango de 40 a 130°C. En la figura 3.17 se muestra los resultados obtenidos tanto de la tensión medidas en Voltios como el tiempo de preinyección e inyección principal medidas en milisegundos. El voltaje máximo en esta prueba es de 45V y su voltaje mínimo es de -37V, estas tensiones presentan variaciones en comparación con la prueba de bajas temperaturas. En cuanto a la inyección principal su tiempo bajo a 0,52 ms en relación con la anterior prueba; mientras que la preinyección su tiempo se mantuvo en los 40 ms.

Al subir al máximo la temperatura en el sensor IAT, la curva del inyector muestra una preinyección, por lo cual, existe una diferencia en la curva del inyector a temperaturas normales debido a que en ese estado la curva del inyector muestra dos preinyecciones.

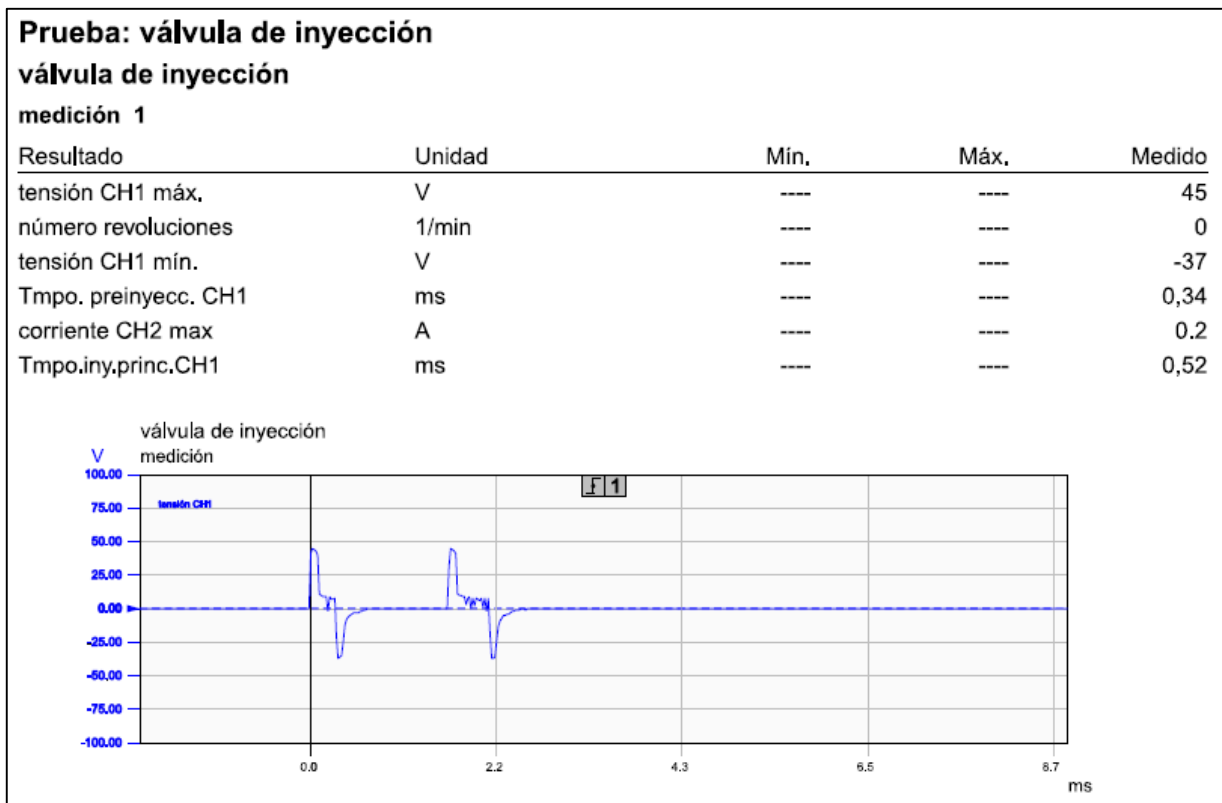


**Figura 3.17** Curva del inyector respecto al sensor IAT con rangos de 40 a 130°C



### 3.3.3.5 Valores del inyector con respecto al sensor IAT en su máxima y mínima temperatura variada

En esta prueba se realizó la variación de temperatura del sensor IAT a 2500rpm. En la figura 3.18 se muestra los resultados obtenidos, dentro de los valores que más sufrieron cambio al aumentar tanto la temperatura como las revoluciones del motor fue la preinyección donde su tiempo fue de 0,34 ms y la inyección principal tuvo un tiempo de 0,52ms. El valor de la tensión máxima fue de 45V y la tensión mínima fue de -37V.



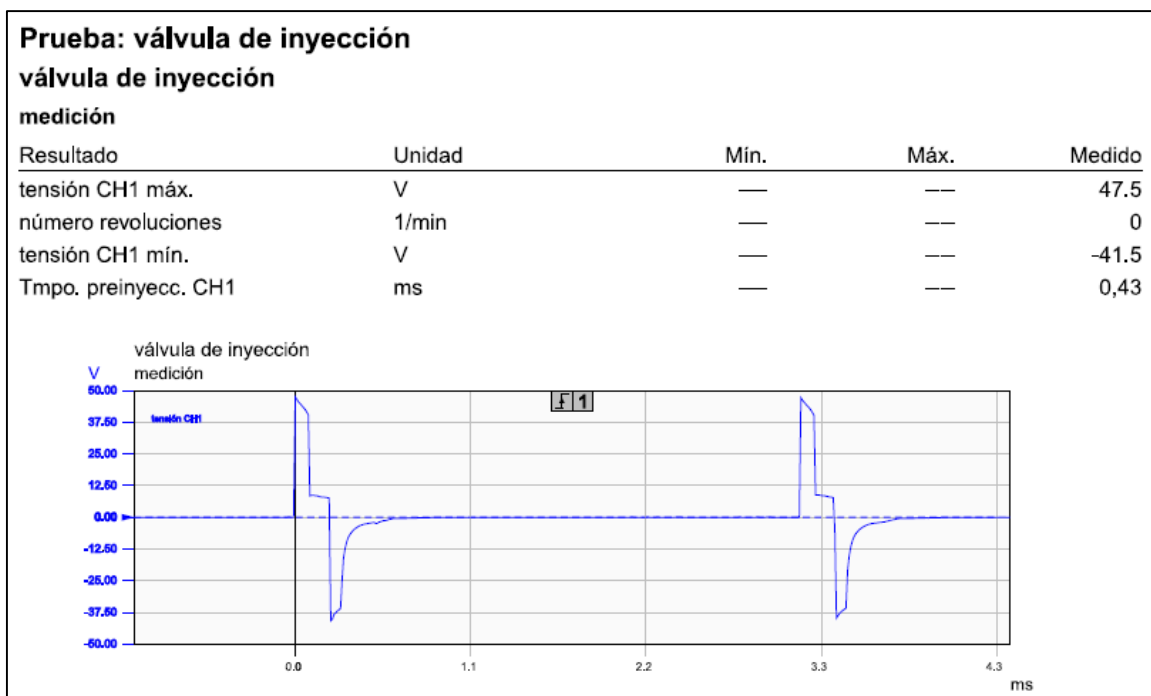
**Figura 3.18** Curva del inyector con respecto al sensor IAT a 2500rpm

### 3.3.4 Pruebas de variaciones de la bomba eléctrica de combustible

Para cambiar los parámetros de funcionamiento de la alimentación a baja presión, se acopló una bomba eléctrica de combustible que comúnmente trabaja a una presión que no excede los 5 bares de presión, así como también, con la ayuda de un variador de corriente se fluctuó el voltaje de 5 a 13V y su amperaje de 3 a 5A. Estas pruebas fueron basados directamente al comportamiento de los inyectores.

#### 3.3.4.1 Bomba eléctrica de combustible a 13V y 8A

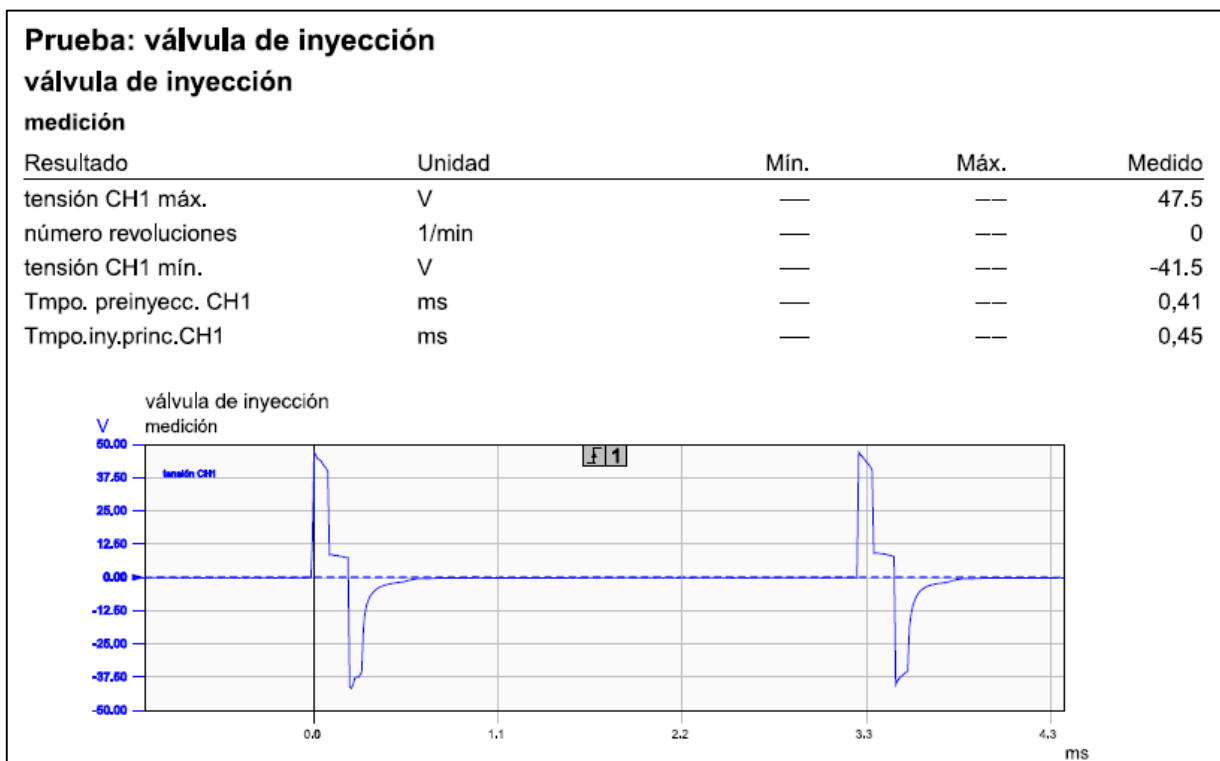
En la figura 3.19 de la prueba número uno se obtuvo los valores de la variación del voltaje y corriente en la bomba eléctrica de combustible, donde se muestra que la tensión máxima alcanzada es de 47.5V y la tensión mínima es de -41.5V dejando evidenciado que la excitación del inyector llegó a un pico apenas elevado en comparación a las condiciones normales de la figura 3.8, además se puede observar que en este caso solo resalta el tiempo de la inyección principal de 0.43ms, dejando totalmente eliminada la preinyección y demostrando un exceso de ruido y cascabeleo en el motor.



**Figura 3.19** Curva del inyector con respecto a la bomba (13V - 8A)

### 3.3.4.2 Bomba eléctrica de combustible a 8V a 4.9A

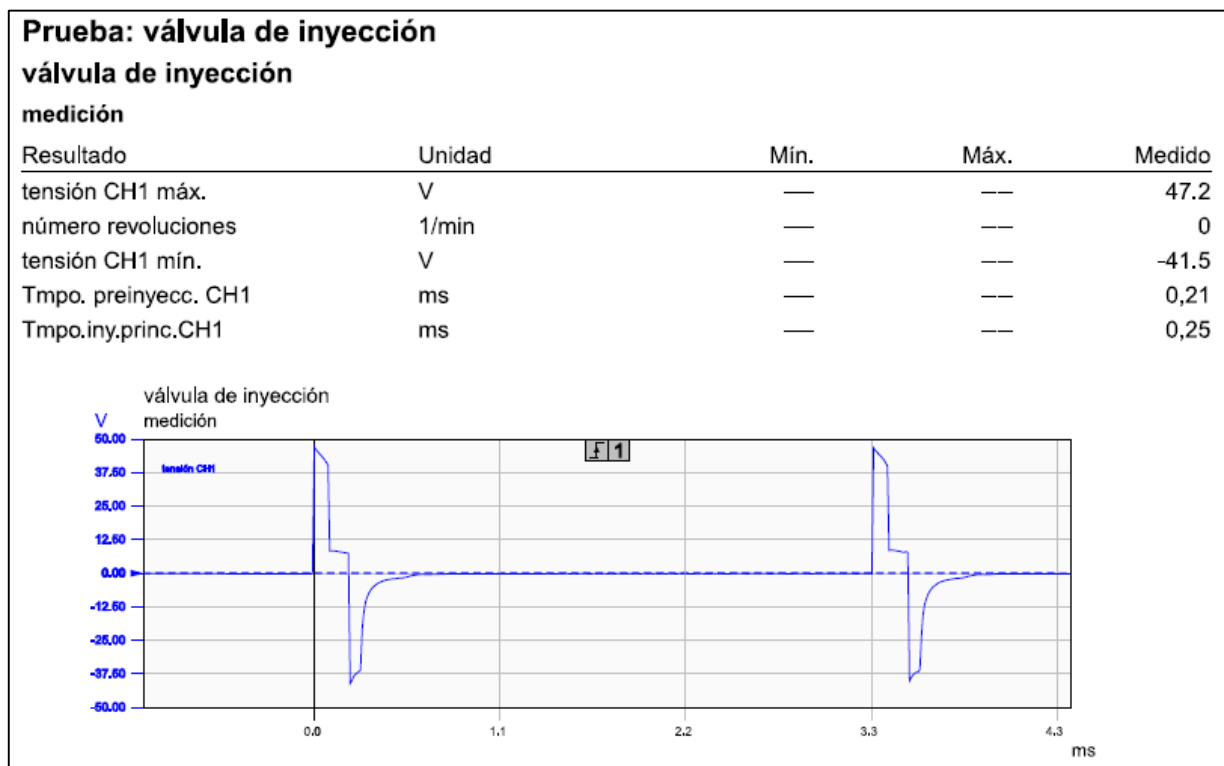
En la segunda prueba con ayuda del variador de frecuencia se pudo accionar la bomba eléctrica de combustible trabajando a un voltaje de 8V y una intensidad de 4.9A, el motor se mantuvo a ralentí. En la figura 3.20 se muestra los valores de tensión máxima 47.5V y una tensión mínima de -41.5V. El tiempo de preinyección fue de 0,41 ms y la inyección principal de 0,45 ms, en esta prueba se puede evidenciar la presencia de la inyección principal, al momento de realizar la respectiva medición el motor se mantuvo estable por un instante corto a diferencia de la prueba anterior.



**Figura 3.20** Curva del inyector con respecto a la bomba (8V - 4.9A)

### 3.3.4.3 Bomba eléctrica de combustible a 5V y 3A

En la tercera prueba la bomba de combustible trabajó a un voltaje de 5V y una corriente de 3A, con el motor a ralentí. En la figura 3.21 se presentan los resultados obtenidos, con una tensión máxima de 47.2V llegando a su pico más alto y una tensión mínima de -41.5V. El tiempo de la inyección principal es de 0.25 ms siendo un valor relativamente bajo, mientras que el valor de la preinyección es de 0.21 ms. Al tener los tiempos en un rango muy inferior de lo que se muestran en la figura 3.8, el motor tiende a apagarse de inmediato, una de las causas se da por qué el tiempo de inyección principal es menor con lo que la aguja del inyector no permanece lo suficientemente abierto para que el motor se mantenga encendido.



**Figura 3.21** Curva del inyector con respecto a la bomba (5V - 3A)

### 3.4 ANÁLISIS DE LAS CURVAS EN SU CONDICIÓN NORMAL Y ESPECÍFICA PARA PROPORCIONAR UN MANTENIMIENTO PREVENTIVO Y CORRECTIVO A SU FUNCIONALIDAD.

#### 3.4.1 Análisis del sensor MAF

##### 3.4.1.1 Limitación de aire

La limitación de un aproximado del 80% de aire en el depurador demostró una considerable baja de tensión y masa de aire en la medición realizada por el sensor MAF, puesto que al tener valores de 2.07V y 39kg/h paso a tener valores de 0.89V y 9kg/h causando un ralentí inestable en el motor, de igual forma, los valores a 2500 rpm también se vieron afectados reduciendo el 35.5% respecto a la tensión, mientras que la masa de aire bajo un 73.9% ocasionando una baja aceleración, cascabeleo, ruido y humo en exceso, además del problema de consumo a causa de la cantidad de aire que se mezcla con el gasoil en el cilindro. En la tabla 3.6 se puede observar las estimaciones obtenidas ante la limitación de aire.

**Tabla 3.6** Valores Prueba de Limitación de Aire

<b>Limitación de Aire</b>			
<b>Condición</b>	<b>Régimen</b>	<b>Tensión (V)</b>	<b>Masa de aire (Kg/h)</b>
Normal	Ralentí	2.07	39
	2500	3.01	138
Limitación de aire	Ralentí	0.89	9
	2500	1.94	36
Comparación condición normal y específica en porcentaje (%)	Ralentí	<b>-57%</b>	<b>-77%</b>
	2500	<b>-35.5%</b>	<b>-73.9%</b>

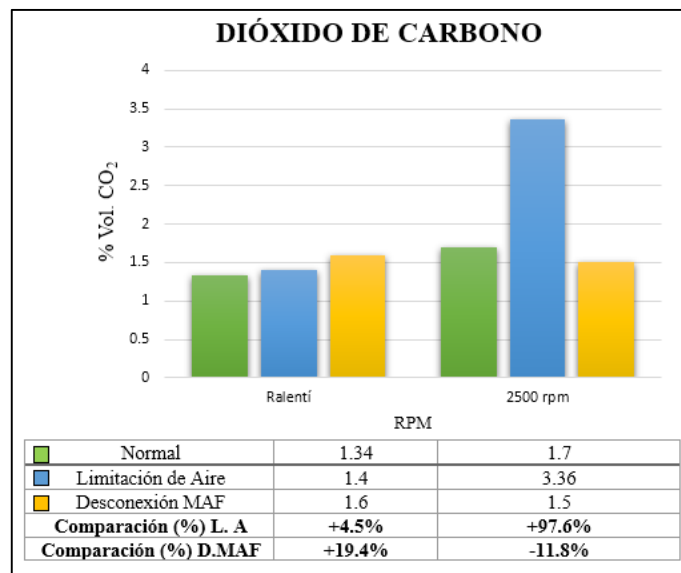
La limitación de aire en el depurador es un problema muy frecuente, puesto que, los propietarios de los automotores comúnmente exceden el tiempo de vida útil del filtro de aire,

ocasionando obstrucciones en la entrada de aire o a su vez la acumulación de suciedad que interfiere con la medición del sensor MAF, por lo cual, es recomendable revisar que el flujo de aire no sea interferido además de chequear o cambiar periódicamente el filtro, asimismo, limpiar de forma regular el sensor con la ayuda de alcohol isopropílico y de esta manera evitar gastos excesivos o paradas innecesarias a futuro por el cambio del sensor.

### 3.4.1.2 Variación de gases

#### Dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>)

En la figura 3.23 se muestra los resultados obtenidos en la medición de gases con respecto al CO<sub>2</sub>. El motor trabajando a ralentí produce una cantidad de CO<sub>2</sub> en estado normal de 1.34 % Vol. mientras que en condiciones específicas el porcentaje CO<sub>2</sub> aumenta un 4.5% con limitación de aire y con el sensor MAF su variación es 19.4%.



**Figura 3.22** Emisiones de CO<sub>2</sub>

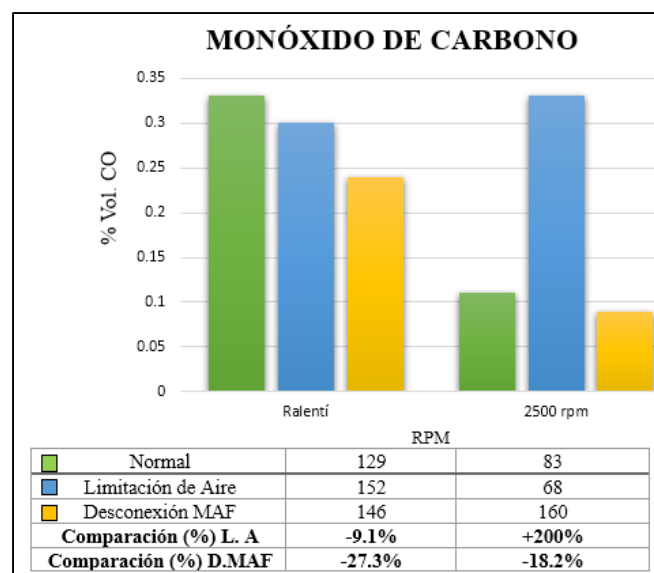
El dióxido de carbono se produce por la quema de combustible, al existir un CO<sub>2</sub> elevado hay una mayor eficiencia en la combustión. Cuando estos gases disminuyen esto se convierte en una mezcla pobre y por ende el CO tiende a subir. La cantidad de emisiones de CO<sub>2</sub> va a depender de la cantidad de energía necesaria y la potencia del motor, por lo tanto, al existir un

peso mayor y una alta potencia habrá un elevado consumo de combustible provocando mayores emisiones. Este tipo de gas en cantidades menores no es perjudicial para la salud, pero si ya existe una alta cantidad puede contribuir al efecto invernadero.

### Monóxido de Carbono (CO)

En la figura 3.24 se muestra los resultados obtenidos en la medición de gases del CO, para que exista un correcto funcionamiento en el motor el monóxido de carbono debe de estar en un rango de 0.3 a 2%. El motor trabajando a ralentí produce una cantidad de CO en estado normal de 0.33 % Vol. mientras que en condiciones específicas como la limitación de aire su valor desciende un 9.1% y con la desconexión del MAF disminuye un 27.3% con respecto a los datos en condiciones normales.

En la prueba de emisiones de monóxido de carbono trabajando a 2500 revoluciones la cantidad de CO es de 0.11% Vol. Al limitar el aire en un aproximado del 80% el CO aumenta un 200% obtenido así un incremento muy alto. El porcentaje de CO al desconectar el sensor MAF disminuye en un 18.2%, existiendo así una diferencia con el valor en estado normal. Con un incremento de CO en condiciones específicas se genera una combustión incompleta, falta de aire y una mezcla rica.



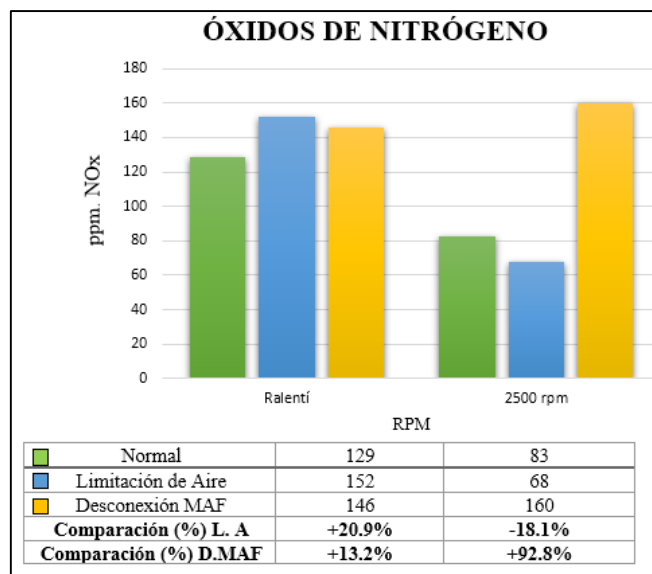
**Figura 3.23** Emisiones de CO

Una falla común cuando existe un aumento de CO es la combustión incompleta, la causa principal es que parte del combustible no reacciona completamente y esto se debe a que existe un volumen de aire insuficiente dando paso a una mezcla rica. Al ocurrir esto se debe verificar que el filtro de aire no este sucio y no exista ningún daño. Al estar sucio el filtro no permite el paso correcto de aire para la combustión y por ende existe un aumento considerable de combustible, es recomendable cambiar el filtro de aire cada 15 mil kilómetros o una vez al año.

### Óxido de Nitrógeno (NOx)

En la figura 3.25 se observa los resultados de la prueba de medición de NOx donde se trabajó a ralentí y 2500 revoluciones del motor. En condiciones normales se obtuvo un valor de 129 ppm de NOx, al realizar las mediciones en condiciones específicas se nota un incremento de óxidos de nitrógeno con limitación de un aproximado del 80% de aire el valor subió un 20.9% y desconectado el MAF un 13.2%.

Con el motor funcionando a 2500 rpm la medición de NOx fue de 83 ppm en condiciones normales. Al desconectar el sensor MAF se obtuvo un incremento de un 92.8% y con la obstrucción de un aproximado del 80% de aire el valor de NOx bajo un 18.1% con respecto al valor en un funcionamiento del motor. Las altas emisiones de este gas se deben a mezclas levemente pobres. Esto ocurre cuando se añade demasiado aire al combustible.



**Figura 3.24** Emisiones de NOx



Una de las causas principales del aumento de NOx en las emisiones es cuando existe una mezcla aire-combustible pobre y esto es debido porque existen fugas en el vacío y en el sistema de admisión de aire, lo cual envía demasiado aire a la mezcla. Un mal funcionamiento del sensor MAF es otro motivo por lo que se producen los óxidos de nitrógeno. Se recomienda realizar un mantenimiento al sistema de admisión de aire verificando que no exista fugas.

### 3.4.2 Análisis del sensor IAT

El sensor de temperatura al ser de tipo NTC arroja valores que ante un alza de temperatura reduce el valor de la resistencia y el voltaje. Por lo cual en la tabla 3.7 muestra las condiciones de temperatura con su respectiva tensión y resistencia. Estos valores se encuentran muy cercanos a los datos referenciales de la tabla 3.2, esto demuestra que el sensor trabaja en buenas condiciones a pesar de su variación de temperatura en circunstancias extremas.

**Tabla 3.7** Valores de la variación de temperatura, resistencia - voltaje

<b>Variación de Temperatura</b>			
<b>Condición</b>	<b>Temperatura (°C)</b>	<b>Resistencia (kΩ)</b>	<b>Voltaje (V)</b>
Normal	35.8	2.2	2.02
Variación de temperatura	10	6.1	3.66
	100	0.32	0.61

Las pruebas realizadas en el sensor IAT se basaron en el funcionamiento de los inyectores, en donde se analizó como es el funcionamiento del inyector bajo un cambio en los parámetros de temperatura en el sensor IAT. Al desarrollar esta prueba se evidenció un cambio en las preinyecciones ya que al trabajar con un menor y mayor rango de temperatura se excluyó una preinyección de la curva del inyector.

En condiciones normales el valor de temperatura estuvo entre los 13 a 39°C con una tensión máxima de 45 V y una tensión mínima de -37V. El tiempo de preinyección en ralentí es de 0.82 ms y su tiempo de inyección principal es de 0.30 ms.

En la primera prueba realizada con una variación de temperatura de 0 a 12°C, el principal cambio se da en la preinyección donde su tiempo disminuyó en un 51.3% con respecto al valor en estado normal, dejando en evidencia que solo está trabajando con una preinyección. La inyección principal su tiempo subió un 100% con respecto al valor en condiciones normales.

En la segunda prueba realizada la variación de temperatura fue de 40 a 130°C, lo cual sufrió un cambio en la preinyección donde su tiempo bajo en un 51.3% con respecto al valor en estado normal del inyector, dejando en evidencia que solo se está trabajando con una preinyección y es por ese motivo hay un exceso de consumo de combustible debido a la falla que está sufriendo el sensor IAT. En la inyección principal su tiempo subió un 73.3% con respecto al valor en condiciones normales.

Los resultados de la variación de temperatura a 2500 rpm ocasionaron que en condiciones normales su tiempo sea de 0.66 ms en la preinyección y el tiempo de inyección principal de 0.40 ms. Al incrementar la temperatura su tiempo de preinyección disminuye un 51.51% con respecto al valor obtenido en estado normal, la disminución de tiempo se ve afectada una preinyección al momento de realizar la prueba. Mientras que la inyección principal su tiempo aumento un 30% existiendo un ligero cambio en comparación con el valor en estado normal. En la tabla 3.8 se muestra los resultados de todas las pruebas realizadas al variar la temperatura del sensor IAT.

**Tabla 3.8** Valores de variación de temperatura

<b>Variación de Temperatura</b>						
<b>Condición</b>	<b>Régimen</b>	<b>Temperatura (°C)</b>	<b>Tensión máxima (V)</b>	<b>Tensión mínima (V)</b>	<b>Tiempo de preinyección (ms)</b>	<b>Tiempo inyección principal (ms)</b>
Normal	Ralentí	13 a 39	45	-37	0.82	0.30
	2500				0.66	0.40
Variación Temperatura	Ralentí	0 a 12	45	-37	0.40	0.60
	Ralentí	40 a 130			0.40	0.52
	2500	Min/Max			0.34	0.52
Comparación condición normal y específica en porcentaje (%)	Ralentí	0 a 12	-	-	<b>-51.3%</b>	<b>+100%</b>
	Ralentí	40 a 130	-	-		<b>+73.3%</b>
	2500	Min/Max	-	-	<b>-51.5%</b>	<b>+30%</b>

Cuando la temperatura del sensor IAT sufre un incremento o disminución conlleva a una serie de fallas que pueden afectar el funcionamiento del motor. Este tipo de sensor permite a la computadora controlar el tiempo de inyección basándose en la densidad de aire que ingresa a la cámara de combustión. El oxígeno se calcula a partir de la temperatura que tenga el aire para así la ECU pueda regular la cantidad de combustible que se debe inyectar. Una de las fallas más comunes es cuando se pierde potencia en el motor y existe un exceso consumo de combustible, al estar el motor sometido a elevadas temperaturas y el sensor emita un caudal inadecuado de aire.

Al momento de existir un consumo excesivo de combustible se debe verificar el funcionamiento del sensor de temperatura mediante una comprobación en su conector y observar que no exista un cortocircuito y que el componente este trabajando con una resistencia optima de acuerdo con su temperatura. Estas fallas del sensor IAT es debido a una falta de mantenimiento, es recomendable siempre hacer una verificación de sus componentes y realizar

una limpieza del sensor cada 45 mil kilómetros de recorrido para así poder alargar la vida del componente electrónico.

### **3.4.3 Análisis de la bomba eléctrica de combustible**

El banco motor trabaja sin una bomba eléctrica de combustible y bajo una presión de 7 bares al momento de ser encendido, esto ocasiona que el inyector de combustible common rail presente una tensión máxima de 45V y una tensión mínima de -37V evidenciando la presencia de dos preinyecciones que sumadas poseen un valor de 0.82ms y una inyección principal de 0.30ms estando el motor en bajas rpm.

La bomba eléctrica de combustible por lo general trabaja en condiciones normales con presiones que no exceden los 5 bares a un voltaje de alimentación de 12V y una intensidad de corriente que fluctúa entre los 4 y 5A. Por lo tanto, se tomó como referencia estos valores para realizar una variación del voltaje y amperaje de funcionamiento.

De acuerdo con las variaciones de voltaje e intensidad tanto la tensión máxima 47.5V como la tensión mínima -41.5V poseen el mismo valor, por lo cual presenta cambios de 2V y -4.5V en comparación a las condiciones normales a excepción de la tercera prueba ya que su tensión máxima alcanza los 47.2V. Sin embargo, el tiempo de preinyección e inyección principal cambian significativamente.

La bomba de combustible al trabajar a 13V y 4.5A reduce a una sola preinyección de 0.43ms mientras que la inyección principal se encuentra totalmente excluida dando por hecho la detención inmediata del motor a tan solo unos segundos de estar encendido.

Al ocupar valores de 8V y 4.9A la preinyección alcanza los 0.41ms y la inyección principal los 0.45ms resaltando la presencia de una preinyección y el aumento de 0.15ms en la inyección principal, este último demostrando un mayor tiempo de apertura del inyector dando por hecho la compensación de combustible para tener un funcionamiento más prolongado del motor en ralentí.

En cuanto a la variación de voltaje(5V) e intensidad (3A) los valores de la preinyección e inyección principal se reducen a 0.21ms y 0.25ms. Estos tiempos resultan ser ineficientes para mantener el motor encendido y demuestran que el voltaje e intensidad de corriente adecuado en

la bomba de combustible puede hacer funcionar el banco de pruebas al menos en ralentí. En la tabla 3.9 muestra los valores en cuanto a la variación de voltaje e intensidad.

**Tabla 3.9** Valores de las pruebas bomba eléctrica de combustible

<b>Pruebas Bomba eléctrica de combustible</b>						
<b>Condición</b>	<b>Voltaje (V)</b>	<b>Intensidad (A)</b>	<b>Tensión máxima (V)</b>	<b>Tensión mínima (V)</b>	<b>Tiempo de preinyección (ms)</b>	<b>Tiempo inyección principal (ms)</b>
Normal	-	-	45	-37	0.82	0.30
Variación Voltaje/Intensidad	13	8	47.5	-41.5	0.43	-
	8	4.9	47.5	-41.5	0.41	0.45
	5	3	47.2	-41.5	0.21	0.25
Comparación condición normal y específica en porcentaje (%)	13	8	+5.5%	+12.1%	-47.57%	-100%
	8	4.9			-50%	+50%
	5	3	+4.8%		-74.4%	-16.6%

La bomba eléctrica de combustible funciona bajo una cantidad específica de voltaje y amperaje, por lo cual se demostró que ante un voltaje con una intensidad de corriente incorrecta el motor no se mantiene encendido, además de ser evidente las bajas revoluciones y el cascabeleo excesivo. Una de las causas más comunes del fallo de una bomba eléctrica es la deficiencia de combustible en el tanque puesto que el diésel también actúa como refrigerante y lubricante del actuador, de esta manera se puede manifestar que el combustible debe mantener cubierta la bomba, es decir, con al menos un cuarto del tanque específicamente. Así mismo, al existir poca cantidad de gasoil la bomba tiende a inhalar aire provocando un desgaste prematuro en los componentes internos de la misma.

La cantidad mínima o máxima de voltaje en el actuador ocasiona el descenso de un gran porcentaje de volumen de combustible inyectado y por consiguiente la pérdida de presión enviada por los conductos hacia la bomba de alta presión. Por lo cual es recomendable cerciorarse que no exista malas tierras, alambres que produzcan contacto, o a su vez relés defectuosos. Dado esto, el propietario puede ahorrar tiempo y dinero por la no sustitución de la bomba.

El cambio o limpieza del filtro viene especificado por el fabricante que por lo general ronda los 60.000km, sin embargo, es recomendable una revisión exhaustiva a la mitad del kilometraje antes mencionado, esto evita pérdidas de presión las cuales no siempre son ocasionadas por la bomba de combustible, además de garantizar el plazo extendido del óptimo funcionamiento del sistema de alimentación.

## 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 4.1 Conclusiones

El motor al encontrarse bajo condiciones específicas de funcionamiento evidenció cambios en cuanto a los valores obtenidos con el equipo de prueba Bosch FSA 740, como lo es el sensor MAF con la obstrucción de un aproximado del 80% de entrada de aire. En pruebas a ralentí en estado normal su tensión fue de 2.07 V y masa de aire de 39 Kg/h. Con la limitación de aire su voltaje disminuye en un 57% y la masa de aire bajo un 77% con respecto a su estado normal. La variación de los valores de tensión y masa de aire con la obstrucción de aire ocasionó que el motor tenga un ralentí inestable.

El motor en condiciones normales y con un régimen de 2500 revoluciones registro un valor de tensión de 3.01V y una masa de aire de 138 Kg/h. Al realizar la prueba con la limitación de un aproximado del 80% de aire en el depurador, el voltaje bajo un 35.5% y la masa de aire disminuyo un 73.9% en comparación a los resultados obtenidos del sensor MAF en condición normal de funcionamiento. Esta disminución de voltaje y masa de aire hizo que el motor tenga cascabeleo.

En la prueba de emisiones de monóxido de carbono (CO) se realizaron 3 pruebas en condiciones normales y con simulación de fallos como la obstrucción de aire y la desconexión del sensor MAF, todas las mediciones se realizaron con el motor trabajando a 2500 revoluciones. En condiciones normales la cantidad CO fue de 0.11% Vol. En la prueba con limitación de un aproximado del 80% de aire fue donde se evidenció un elevado porcentaje de CO aumentando un 200% con respecto a la cantidad registrada en condiciones normales, con este incremento de CO se genera una mezcla rica debido a un alto nivel de hidrocarburos y un bajo consumo de oxígeno dando como resultado una combustión incompleta.

El sensor IAT trabajando en condiciones normales y bajo una temperatura de 13 a 39 °C provocó que los inyectores muestren un tiempo de 0.82ms en la preinyección y 0.30ms en la inyección principal. De acuerdo con la variación de los parámetros de temperatura en un rango de 0 a 12°C se mostró una disminución del 51.3% en los valores de preinyección y un aumento del 100% en la inyección principal, así mismo, en el rango de 40 a 130°C se redujo el 51.3% en la preinyección, mientras que la inyección principal se acrecentó un 73.3% en comparación de los datos en condiciones normales del actuador. Por lo tanto, el sensor IAT permitió establecer un diagnóstico del banco motor a partir de su comportamiento. Entre los cuales se resalta el problema de aceleración y cascabeleo.

En condiciones normales de funcionamiento del motor (sin bomba eléctrica) permite que el banco motor trabaje bajo una presión de 7 bares al momento de ser encendido, esto provoca un funcionamiento normal en cuanto a los inyectores, resaltando el tiempo de 0.82ms en la preinyección y 0.30ms en la inyección principal. Al incorporar una bomba eléctrica en el tanque de combustible se logró una variación de voltaje-intensidad, debido a esto el motor se limitó a trabajar en bajas revoluciones, además, repercute en la ineficiencia de combustible hacia la bomba de alta presión que posteriormente llegará a los inyectores. Dado el caso, se observó la exclusión de una preinyección en las curvas de funcionamiento de los inyectores. Al encontrarse con una variación de 13V y 8A se disminuyó un 47.5% de la preinyección y un 100% en la inyección principal. Así mismo, al estar con un voltaje de 8V y un amperaje de 4.9A se redujo la preinyección en un 50% aunque se compenso con un aumento del 50% en la inyección principal ocasionando que el motor trabaje en ralentí por un lapso más largo de tiempo. La bomba eléctrica con un voltaje de 5V y un amperaje de 3A bajó el 74.4% en la preinyección y el 16.6% en la inyección principal. Todas estas variaciones no permitieron que el banco motor trabaje pasado las 2500 rpm y produjeron cascabeleo.

En la prueba de medición de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) se realizó una prueba en condiciones normales y dos pruebas con simulación de fallos tales como: la obstrucción de aire y la desconexión del sensor MAF, todas las mediciones se realizaron con el motor trabajando a



ralentí y 2500rpm siendo notorio el cambio en los valores obtenidos a plena carga del motor. En condiciones normales con el motor a 2500rpm se obtuvo la cantidad de 1.7% Vol. en el CO<sub>2</sub>. En la prueba con una limitación de un aproximado del 80% de aire en el depurador fue donde se evidenció un elevado porcentaje de CO<sub>2</sub> aumentando un 97.6% con respecto a la cantidad registrada en condiciones normales, con este incremento de CO<sub>2</sub> se genera una mayor eficiencia en la combustión. Con la desconexión del sensor MAF la cantidad de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) disminuyó un 11.8% y esto género que exista una mezcla pobre debido a un exceso cantidad de aire en la combustión, y por consecuencia se produce una pérdida de potencia en el motor.

En la prueba de emisiones de óxidos de nitrógeno (NOx) se realizó una prueba en condiciones normales y dos pruebas con simulación de fallos tales como: la obstrucción de aire y la desconexión del sensor MAF, todas las mediciones se realizaron con el motor trabajando a ralentí y a 2500 revoluciones. En condiciones normales con el motor trabajando en revoluciones altas la cantidad NOx fue de 83 ppm. En la prueba con limitación de un aproximado del 80% de aire fue donde se evidenció un bajo porcentaje de NOx disminuyendo un 18.1% con respecto a la cantidad registrada en condiciones normales. Con el sensor MAF desconectado la cantidad de NOx se elevó un 92.8%, este incremento se debió a que existe mezclas levemente pobres por un exceso de aire en el combustible.

## 4.2 Recomendaciones

Cerciorarse que los conductos que van desde la bomba de combustible eléctrica hasta la bomba de alta presión estén debidamente cerrados, puesto que, si se escapa la presión, ocasiona una pérdida considerable de potencia que se evidencia en la exclusión de la inyección principal dada en los inyectores provocando que el motor se apague al estar tan solo unos segundos encendidos.

Uno de los problemas más comunes en un motor es la pérdida de potencia que usualmente se culpa al deterioro de la bomba eléctrica de combustible, sin embargo, al trabajar bajo un rango específico de voltaje y corriente se deja de lado las masas mal conectadas o a su vez la existencia de cables en mal estado. Esto conlleva a una reducción del volumen de combustible a inyectar y el descenso de la presión enviada por el actuador hasta la bomba de alta presión. Resultando evidente la disminución del tiempo en la preinyección e inyección principal de los inyectores. Por lo cual, es recomendable revisar el cableado y relees en mal funcionamiento, esto evita el cambio repentino de la bomba eléctrica de combustible.

El motor al no tener la cantidad suficiente de aire en el depurador tiende a disminuir su tensión y flujo másico, estos problemas se dan comúnmente por obstrucción en el depurador, filtro en mal estado o descuido de la limpieza del sensor MAF y se muestra visible mediante el humo en exceso en altas revoluciones, cascabeleo, baja aceleración y ruido, además del problema de consumo de combustible debido a la mezcla rica que se produce. Por lo cual, es recomendable revisar periódicamente el filtro de aire, evitar que la entrada de aire este obstruida y la limpieza del sensor MAF con la ayuda de alcohol isopropílico.

En las pruebas con el sensor IAT al momento de aumentar y disminuir su temperatura presentó fallas en el funcionamiento del motor, como la pérdida de potencia y el aumento de consumo de combustible, esto se pudo evidenciar en las curvas del inyector. Es por lo que se

recomienda una verificación del sensor IAT evitando que esté sucio y dañado, debido a que al momento de presentar fallas puede enviar lecturas incorrectas a la unidad de control ECU. Una limpieza y una comprobación de sus terminales ayudaran a conservar en buen estado el sensor y así impedir futuros daños en el motor.

En las pruebas de emisiones de gases se observó un aumento y disminución de los valores de gases de CO, CO<sub>2</sub> y NO<sub>x</sub>, esta variación fue de acuerdo con cada condición específica realizada en el sensor MAF. Una de las fallas que se logró evidenciar fue que a medida que el CO aumenta se produce una combustión incompleta o una mezcla pobre. Esta falla se debe a un filtro de aire obstruido o sucio lo cual no deja pasar el suficiente aire a la mezcla y por ende va a existir un aumento de consumo de combustible. Otra razón es cuando el sensor MAF no está enviando una lectura correcta a la ECU y esto debido a que el sensor puede estar en mal estado. Al ocurrir estas fallas es recomendable un mantenimiento y limpieza a los componentes electrónicos en este caso el sensor de flujo de aire y es importante cambiar cada 15 mil kilómetros el filtro de aire o una vez al año.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICA

- Abramowicz, H. (2017). *Estudio Para La Implementación De Equipos De Diagnóstico Electrónico En Un Taller Automotriz.* 52. <https://repositorio.uide.edu.ec/bitstream/37000/2371/1/T-UIDE-165.pdf>
- Agencia de Cooperación Internacional del Japón. (2012). *Manual del Mantenimiento del Sistema de Alimentacion.*
- Alibaba. (2018). *Automóvil De Señal De Sensor Herramienta De Simulación De Gasolina Y Diesel De Ecus Software De Reparación De Sensor Para Automoción Simulador Y De - Buy Automobile Sensor Signal Simulation Tool, Automotive Sensor Simulator And Tester, Ecu Tester Product on.* <https://spanish.alibaba.com/product-detail/automobile-sensor-signal-simulation-tool-diesel-and-petrol-ecu-repair-software-automotive-sensor-simulator-and-tester-62479010913.html>
- Álvarez, M. J. (2017, January 25). *Cómo funciona un motor diésel de coche .* <https://www.mundodeportivo.com/uncomo/motor/articulo/como-funciona-un-motor-diesel-de-coche-22445.html>
- Andrango, D. (2017). *CONSTRUCCIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA EL MOTOR J3 CRDI DE HYUNDAI TERRACAN GL EX.*
- Auto Avance. (2019, October 4). *Sensor Maf - Tabla de Valores del Voltaje Sensor Maf.* <https://www.autoavance.co/blog-tecnico-automotriz/148-sensor-maf-sensor-tps/>
- Blog Mecanicos. (2015, October 8). *Blog Mecánicos: ¿Cómo funciona un inyector piezoeléctrico?* <http://www.blogmecanicos.com/2015/10/como-funciona-un-inyector-piezoelctrico.html>
- Bosch. (2010). *MMD 540H Hybrid Multimeter Instruction Manual.*
- Bosch. (2019). *FSA 740 La solución sencilla para el complejo diagnóstico vehicular.*
- Calsin Heredia, A., & Rodríguez Zinanyuca, A. R. (2015). *Análisis y diseño de un módulo de control electrónico (ECM) para la optimización de la potenci de un motor de combustión*

*interna toyota 4afe.*

- Carrasco, M. (2018). Estudio de factibilidad técnica y económica de un Taller Electrónico Automotriz en la ciudad de Guayaquil. In *Paper Knowledge . Toward a Media History of Documents*.
- Castillejo, A. (2014). Sistema de Inyección en Motores Diesel. *Departamento de Ingeniería Energetica*, 127. <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/90174/fichero/TFG.+Alejandro+Castillejo+Calle.pdf>
- Castro Mediavilla, J. J., & Gonzáles Torres, M. E. (2019). Análisis Comparativo del Funcionamiento del Inyector de un Motor CRDI Bajo Diferentes Alturas Geográficas. *INNOVA Research Journal*, 4(1), 72–87. <https://doi.org/10.33890/innova.v4.n1.2019.906>
- Consejo Nacional de Planificación. (2017). Plan Nacional del Buen vivir 2017-2021. *Educational Research*, 1, 150. <http://www.planificacion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2017/07/Plan-Nacional-para-el-Buen-Vivir-2017-2021.pdf>
- Díaz Acuña, A., & Suclupe Campos, E. P. (2014). Diseño y construcción de prototipos para el mantenimiento preventivo y correctivo de sensores y actuadores de los vehículos. *Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo*. <http://repositorio.unprg.edu.pe/handle/UNPRG/202>
- Escudero, S. (2011). *Motores*. Macmillan Iberia. <https://elibro.net/es/ereader/utnorte/101844>
- García, A. (2019). *Mantenimiento de sistemas auxiliares del motor de ciclo diesel* (Elearning S.L. (ed.); 5.1). <https://books.google.com.ec/books?id=o31XDwAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=es#v=onepage&q&f=false>
- Global Tech. (2014). *Analizador de gases portátil Kane autoplus 4-2* . <https://globaltech-car.com/producto/analizador-de-gases-portatil-kane-autoplus-4-2/>
- Gordillo A., G. (2007). *Motores*. <http://hdl.handle.net/20.500.12324/19236>
- Guacho, M., & Rea, E. (2014). “Control Del Funcionamiento De Sensores Actuadores Y

*Verificación De La Ecu Mediante La Implementación De Un Motor Virtual Para La Escuela De Ingeniería Automotriz.”* 95.  
<http://dspace.espoch.edu.ec/handle/123456789/4690>

Guasumba-maila, J. E., Jima-matailo, J. C., Automotriz, I., & Investigador, D. (1906). *Análisis del sistema de inyección electrónica de combustible para motor de combustión interna respecto a sus fallas y mantenimiento Analysis of the electronic fuel injection system for internal combustion engine regarding its failures and maintenance* Anál. 6(1), 603–621.  
<https://doi.org/10.23857/pc.v6i1.2167>

Guevara, W., & Becerra, J. (2022). *EVALUACIÓN A BASE DE PRESIONES DE BOMBAS DE ALTA PRESIÓN EN SISTEMAS COMMON RAIL.*

Guzmán, E., Máter, A., Suficiencia, E. De, & Res, P. (2019). *Servicio de mantenimiento preventivo , predictivo y correctivo del sistema electrónico del automóvil Yauyos Rosales , Dante José Servicio de mantenimiento preventivo , predictivo y correctivo del sistema electrónico del automóvil.*

Jesus. (2020, April 16). *Las bombas common raíl: una pieza indispensable - Tecnodiesel Murcia.* <http://tecnodielmurcia.com/las-bombas-common-rail-una-pieza-indispensable/>

Martin, J. (2012). *Diagnóstico de la combustión en motores diesel de inyección directa - Jaime Martín - Google Libros.* Editorial Reverte, S.A.  
[https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=kl8OEAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PR1&dq=diagnostico+de+sensores+inyeccion+diesel&ots=xJg46eCP91&sig=t2cxYW2BnVtVB0z9IEuDtJazW28#v=onepage&q=diagnostico de sensores inyeccion diesel&f=true](https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=kl8OEAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PR1&dq=diagnostico+de+sensores+inyeccion+diesel&ots=xJg46eCP91&sig=t2cxYW2BnVtVB0z9IEuDtJazW28#v=onepage&q=diagnostico+de+sensores+inyeccion+diesel&f=true)

Mediavilla, J., & Salazar, M. (2015). *Análisis del desempeño de motores CRDi (Common Rail Direct Inyección) a través de formas de onda procesadas por osciloscopio.* Escuela Politecnica Nacional.

Molina, J. (2019). *Análisis De Los Parámetros Mecánicos Y Electrónicos De Funcionamiento Del Sistema De Alta Presión Del Conjunto Crdi Del Motor Diésel Kia 2.0L Tipo D4Ea.*  
<http://repositorio.espe.edu.ec/xmlui/bitstream/handle/21000/20716/T-ESPEL-MAI-0659.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- Moreno, J. J. N., & Clerque, J. I. N. (2019). *ANÁLISIS DE LOS SISTEMAS ELÉCTRICOS Y ELECTRÓNICOS DE UN MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA MEDIANTE LA UTILIZACIÓN DEL OSCILOSCOPIO AUTOMPOTRIZ BOSCH FSA – 500* Moreno, J. J. N., & Clerque, J. I. N. (2019). *ANÁLISIS DE LOS SISTEMAS ELÉCTRICOS Y ELECTRÓNICOS DE UN.*
- PCE. (2018). *Estetoscopio* / *PCE Instruments*. [https://www.pce-instruments.com/espanol/instrumento-medida/medidor/estetoscopio-kat\\_70055\\_1.htm](https://www.pce-instruments.com/espanol/instrumento-medida/medidor/estetoscopio-kat_70055_1.htm)
- Redondo, M. (2020, January 6). *Common Rail: todo lo que debes saber sobre esta tecnología*. <https://www.highmotor.com/common-rail-debes-saber-esta-tecnologia.html>
- Reyes, P. (2018). *DIAGNÓSTICO DE MOTORES DIÉSEL ELECTRÓNICOS, A BASE DE PRESIONES EN EL RIEL COMÚN (CRDI)*.
- Salgado Duarte, Y., Martínez del Castillo Serpa, A., & Santos Fuentefría, A. (2018). Programación óptima del mantenimiento preventivo de generadores de sistemas de potencia con presencia eólica. *Ingeniería Energética*, 39(3), 157–167.
- Sanchez, E. (2011). *Sistemas Auxiliares del Motor* (S. Macmillan Iberia (ed.)). <https://elibro.net/es/ereader/utnorte/52815>
- 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](http://www.planificacion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2017/10/PNBV-26-OCT-FINAL_0K.compressed1.pdf)
- SUPER USER. (2020, September 28). *¿Qué es el mantenimiento correctivo?* <https://www.aner.com/blog/mantenimiento-correctivo.html>
- Talleres Cuenca. (2018, February 15). *Inyectores Piezoelectricos*. <https://tallerescuenca.com/inyectores-piezoelectricos/>

## **ANEXOS**



## ANEXO 1. PRUEBA BOMBA ELÉCTRICA DE COMBUSTIBLE



**ANEXO 2. PUENTE DEL SENSOR MAF**



### ANEXO 3. OBTENCIÓN DE CURVAS DE LOS SENSORES IAT Y MAF EN EL EQUIPO BOSCH FSA 740

