



# **UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**

## **FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS CARRERA DE INGENIERÍA EN MANTENIMIENTO AUTOMOTRIZ**

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

**TEMA: DIAGNÓSTICO DE FALLOS EN LA COMBUSTIÓN DE  
MOTORES DE ENCENDIDO PROVOCADO MEDIANTE ANÁLISIS  
DE LA SONDA LAMBDA**

**AUTORES: MORENO GUERRA HUGO ANDRÉS**

**PORTILLA BERMEO WAGNER EDUARDO**

**DIRECTOR: ING. ERIK PAÚL HERNÁNDEZ RUEDA, MSc.**

**Ibarra, 2023**

## CERTIFICADO

### ACEPTACIÓN DEL DIRECTOR

En mi calidad de director del plan de trabajo 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 "DIAGNÓSTICO DE FALLOS EN LA COMBUSTIÓN DE MOTORES DE ENCENDIDO PROVOCADO MEDIANTE EL ANÁLISIS DE LA SONDA LAMBDA" presentado por el señor: Moreno Guerra Hugo Andrés con el número de cédula 100415653-3 doy fe que dicho trabajo reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a una presentación pública y evaluación por parte de los señores integrantes del jurado examinador que se designe.

En la ciudad de Ibarra, a los 9 días del mes de marzo del 2023.

Atentamente,



Ing. Erik Paúl Hernández Rueda

**DIRECTOR DEL TRABAJO DE GRADO**

## CERTIFICADO

### ACEPTACIÓN DEL DIRECTOR

En mi calidad de director del plan de trabajo 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 "DIAGNÓSTICO DE FALLOS EN LA COMBUSTIÓN DE MOTORES DE ENCENDIDO PROVOCADO MEDIANTE EL ANÁLISIS DE LA SONDA LAMBDA" presentado por el señor: Portilla Bermeo Wagner Eduardo con el número de cédula 100410945-8 doy fe que dicho trabajo reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a una presentación pública y evaluación por parte de los señores integrantes del jurado examinador que se designe.

En la ciudad de Ibarra, a los 9 días del mes de marzo del 2023.

Atentamente,



Ing. Erik Paúl Hernández Rueda

**DIRECTOR DEL TRABAJO DE GRADO**



# UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

## BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

### AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN

#### A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

#### 1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

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

DATOS DE CONTACTO			
CÉDULA DE IDENTIDAD:	100415653-3		
APELLIDOS Y NOMBRES:	Moreno Guerra Hugo Andrés		
DIRECCIÓN:	Ibarra, Caranqui		
EMAIL:	hamorenog@utn.edu.ec		
TELÉFONO FIJO:	062 546703	TELÉFONO MÓVIL:	0960244077
DATOS DE CONTACTO			
CÉDULA DE IDENTIDAD:	100410945-8		
APELLIDOS Y NOMBRES:	Portilla Bermeo Wagner Eduardo		
DIRECCIÓN:	Ibarra, San Francisco de la Candelaria		
EMAIL:	weportillab@utn.edu.ec		
TELÉFONO FIJO:	062512214	TELÉFONO MÓVIL:	0980517601

<b>DATOS DE LA OBRA</b>	
<b>TÍTULO:</b>	Diagnóstico de fallos en la combustión de motores de encendido provocado mediante el análisis de la sonda lambda
<b>AUTOR (ES):</b>	Moreno Guerra Hugo Andrés, Portilla Bermeo Wagner Eduardo
<b>FECHA:</b> <b>DD/MM/AAAA</b>	09/03/2023
<b>SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO</b>	
<b>PROGRAMA:</b>	<input checked="" type="checkbox"/> PREGRADO <input type="checkbox"/> POSGRADO
<b>TÍTULO POR EL QUE OPTA:</b>	INGENIERÍA EN MANTENIMIENTO AUTOMOTRIZ
<b>ASESOR/DIRECTOR:</b>	Ing. Erik Paúl Henández Rueda MSc.

## 2. CONSTANCIAS

Los autores manifiestan que la obra dentro de la presente autorización es original y se desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto, es original y que son los titulares de los derechos patrimoniales, por lo que asumen la responsabilidad sobre el contenido de esta y saldrán en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 21 días del mes de junio del 2023

### LOS AUTORES:



Moreno Guerra Hugo Andrés

100415653-3



Portilla Bermeo Wagner Eduardo

100410945-P8

## **DEDICATORIA**

Dedico el resultado de este trabajo a toda mi familia, principalmente a mi madre quien ha sido el pilar fundamental en mi crecimiento personal y académico, a mi hermana mayor que me apoyó en los buenos y de manera especial en los malos momentos incondicionalmente y sin pedir nada a cambio, y a mi hija fuente de mi inspiración para luchar y perseverar cada día hasta alcanzar mis metas.

**ANDRÉS MORENO**

Dedico este trabajo a mis padres que me dieron las bases para formarme como la persona que soy hoy en día y han hecho lo que se encuentra en sus manos para acompañarme durante este proceso, a mis hermanas que me dieron la fortaleza y su compañía, a mis amigos y compañeros con quienes compartí gratos momentos y enseñanzas.

**WAGNER PORTILLA**

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a mi madre por su paciencia y comprensión, gracias por enseñarme a afrontar los problemas sin perder la cabeza y acompañarme en el transcurso de mi carrera estudiantil, a mis hermanas por estar siempre presentes en los momentos más difíciles, a mi hija por ser el motor que impulsa mis sueños, a mis docentes quienes me han transmitido el conocimiento para realizar este trabajo y a mis compañeros, con los cuales nos superamos día a día y de los cuales aprendí el valor de la amistad.

**ANDRÉS MORENO**

Agradezco a mis padres por ayudarme a culminar una etapa más en mi vida, a mis hermanas por ser siempre ese apoyo incondicional, a mis docentes quienes han dado su tiempo para tener el conocimiento que poseo y a mis compañeros que se formaron junto a mí por ser buenos colegas de trabajo y demostrarme su lealtad.

**WAGNER PORTILLA**

# ÍNDICE DE CONTENIDOS

CAPÍTULO I.....	1
1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	1
1.1. ANTECEDENTES.....	1
1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	3
1.3. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	3
1.4. OBJETIVOS.....	4
1.4.1. OBJETIVO GENERAL.....	4
1.4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	4
1.5. ALCANCE.....	4
1.6. JUSTIFICACIÓN.....	5
1.7. CONTEXTO.....	5
1.8. MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA ALTERNATIVOS.....	6
1.8.1. MOTORES DE ENCENDIDO PROVOCADO.....	7
1.9. SISTEMA DE ALIMENTACIÓN DE COMBUSTIBLE.....	10
1.9.1. SISTEMA DE INYECCIÓN ELECTRÓNICA DE COMBUSTIBLE.....	11
1.9.2. MEZCLA AIRE-COMBUSTIBLE.....	12
1.9.3. AJUSTES DE COMBUSTIBLE.....	14
1.10. SENSOR DE OXÍGENO.....	15
1.10.1. TIPOS DE SENSOR DE OXÍGENO.....	16
1.10.2. FALLAS EN EL SENSOR DE OXÍGENO.....	18
1.10.3. MODOS DE FUNCIONAMIENTO.....	18
1.11. OBD II.....	19
1.12. EQUIPOS DE DIAGNÓSTICO AUTOMOTRIZ.....	20
1.12.1. FSA 740.....	21
1.13. PROPIEDADES DE LA GASOLINA.....	22

1.13.1.	LA GASOLINA EN EL ECUADOR .....	23
Capítulo II.....		25
2.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	25
2.1.	MATERIALES Y EQUIPOS.....	25
2.1.1.	Materiales .....	25
2.1.2.	Equipos .....	26
2.2.	PROCESOS METODOLÓGICOS .....	32
2.2.1.	RECOPIACIÓN BIBLIOGRÁFICA .....	35
2.2.3.	DETERMINACIÓN EL VEHÍCULO DE ESTUDIO .....	36
2.2.4.	CONDICIONES GENERALES DE MEDICIÓN.....	36
2.2.5.	PRUEBAS DE LA Sonda LAMBDA.....	37
2.2.5.1.	Procedimiento para realizar las pruebas.....	38
2.2.6.	PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO A DIFERENTE RÉGIMEN DE TRABAJO .....	40
2.2.6.1.	Pruebas a ralentí.....	40
2.2.6.2.	Pruebas a 2500 rpm.....	40
2.2.7.	OBTENCIÓN DE LAS CURVAS CARACTERÍSTICAS DE LOS SENSORES DE OXÍGENO, AJUSTES DE COMBUSTIBLE Y EMISIÓN DE GASES.41	
2.2.7.1.	Curvas características y ajustes de combustible .....	41
2.2.7.2.	Emisión de gases contaminantes.....	42
2.2.8.	PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO GENERANDO FALLOS EN LA COMBUSTIÓN.....	43
2.2.8.1.	Simulación fallo en el encendido.....	44
2.2.8.2.	Simulación fallo de inyección.....	45
2.2.8.3.	Simulación fallo en la alimentación de aire.....	46
CAPÍTULO iii .....		47

3.	RESULTADOS Y DISCUSIONES .....	47
3.1.	Estado preliminar del vehículo.....	47
3.1.1.	Curva característica del sensor de oxígeno.....	47
3.1.2.	Ajustes de combustible.....	49
3.2.	Pruebas con gasolina extra .....	50
3.2.1.	Curva característica del sensor de oxígeno y ajustes de combustible.....	50
3.2.2.	Emisión de gases contaminantes .....	56
3.3.	Pruebas con gasolina super .....	57
3.3.1.	Curva característica del sensor de oxígeno y ajustes de combustible.....	57
3.3.2.	Emisión de gases contaminantes .....	63
3.4.	Pruebas con fallos en la combustión .....	64
3.4.1.	Prueba 1: Fallo en el encendido.....	64
3.4.2.	Prueba 2: Fallo de inyección .....	68
3.4.3.	Prueba 3: Fallo en el sensor MAF .....	72
	CAPÍTULO iV .....	79
4.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	79
4.1.	CONCLUSIONES .....	79
4.2.	RECOMENDACIONES .....	80
	REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	82

## ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1.1</i> Motor de combustión interna alternativo .....	7
<b>Figura 1.2</b> Diagrama presión-volumen del ciclo Otto .....	9
<b>Figura 1.3</b> Sistema de alimentación de combustible .....	11
<b>Figura 1.4</b> Circuito de alimentación electrónica de combustible .....	12
<b>Figura 1.5</b> Diagrama factor lambda .....	14
<b>Figura 1.6</b> Sensor de oxígeno .....	16
<b>Figura 1.7</b> Conector OBD II .....	20
<b>Figura 1.8</b> Escáner automotriz .....	21
<b>Figura 1.9</b> Equipo Bosch FSA-740 .....	22
<b>Figura 2.1</b> Kia Picanto 2019 .....	25
<b>Figura 2.2</b> FSA-740 .....	28
<b>Figura 2.3</b> KTS 560 .....	29
<b>Figura 2.4</b> BEA 050 .....	31
<b>Figura 2.5</b> FSA-720 .....	31
<b>Figura 2.6</b> Interfaz de software ESI[tronic] .....	32
<b>Figura 2.7</b> Diagrama de proceso metodológico .....	34
<b>Figura 2.8</b> Identificación del vehículo en el programa de diagnóstico .....	36
<i>Figura 9</i> Curva característica del sensor de oxígeno .....	39
<i>Figura 10</i> Desconexión de bobina de encendido .....	45
<i>Figura 11</i> Socket de inyector desconectado .....	45
<i>Figura 12</i> Sensor MAF desconectado .....	46
<b>Figura 3.1</b> Forma de onda del sensor de oxígeno en ralentí .....	48
<b>Figura 3.2</b> Forma de onda del sensor de oxígeno a 2500 rpm .....	48
<b>Figura 3.3</b> forma de onda del sensor de oxígeno post catalizador .....	49
<b>Figura 3.4</b> Datos de la sonda lambda en ralentí .....	49
<i>Figura 3.5</i> Datos de la sonda lambda a 2500 rpm .....	50
<b>Figura 3.6</b> Oscilograma del sensor de oxígeno pre catalizador .....	51
<b>Figura 3.7</b> Oscilograma del sensor de oxígeno post catalizador .....	51
<b>Figura 3.8</b> Datos obtenidos en ESI tronic a 700 rpm .....	52
<b>Figura 3.9</b> Oscilograma sensor pre catalizador a 2500 rpm .....	54

<b>Figura 3.10</b>	Oscilograma sensor post catalizador a 2500 rpm.....	54
<b>Figura 3.11</b>	Datos obtenidos de ESI tronic a 2500 rpm.....	55
<b>Figura 3.12</b>	emisiones contaminantes en ralentí.....	56
<b>Figura 3.13</b>	emisiones contaminantes a 2500 rpm .....	57
<b>Figura 3.14</b>	Oscilograma del sensor de oxígeno pre catalizador .....	58
<b>Figura 3.15</b>	Oscilograma del sensor de oxígeno post catalizador .....	58
<b>Figura 3.16</b>	Datos obtenidos en ESI tronic.....	59
<b>Figura 3.17</b>	Oscilograma del sensor de oxígeno pre catalizador .....	61
<b>Figura 3.18</b>	Oscilograma del sensor de oxígeno post catalizador .....	61
<b>Figura 3.19</b>	Datos obtenidos de ESI tronic a 2500 rpm.....	62
<b>Figura 3.20</b>	emisiones contaminantes en ralentí.....	63
<b>Figura 3.21</b>	emisiones contaminantes a 2500 rpm .....	64
<b>Figura 3.22</b>	<i>Variación de tensiones en el fallo en el encendido</i> .....	66
<b>Figura 3.23</b>	Datos obtenidos en ESI tronic con gasolina extra a 700 rpm .....	67
<b>Figura 3.24</b>	Datos obtenidos en ESI tronic con gasolina super a 700 rpm.....	68
<b>Figura 3.25</b>	<i>Variación de tensiones en el fallo de inyección</i> .....	70
<b>Figura 3.26</b>	Datos obtenidos en ESI tronic con gasolina extra a 700 rpm .....	71
<b>Figura 3.27</b>	Datos obtenidos en ESI tronic con gasolina super a 700 rpm.....	71
<b>Figura 3.28</b>	<i>variación de tensiones en el fallo del sensor MAF</i> .....	74
<b>Figura 3.29</b>	Datos obtenidos en ESI tronic con gasolina extra a 2500 rpm .....	75
<b>Figura 3.30</b>	Datos obtenidos en ESI tronic con gasolina super a 2500 rpm.....	76

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.1</b> características físicas de la gasolina.....	22
<b>Tabla 1.2</b> características químicas de la gasolina .....	22
<b>Tabla 1.3</b> Propiedades de la gasolina Extra en el Ecuador .....	23
<b>Tabla 1.4</b> Propiedades de la gasolina Super en el Ecuador.....	24
<b>Tabla 2.1</b> Materiales .....	25
<b>Tabla 2.2</b> Ficha técnica del vehículo seleccionado.....	26
<b>Tabla 2.3</b> Características técnicas del hardware del equipo .....	27
<b>Tabla 2.4</b> Características técnicas del software .....	28
<b>Tabla 2.5</b> Características técnicas del KTS 560 .....	30
<b>Tabla 2.6</b> Fallas comunes de la sonda lambda.....	44
<b>Tabla 3.1</b> Resumen prueba a ralentí con gasolina extra.....	53
<b>Tabla 3.2</b> Resumen ajustes de combustible a ralentí extra .....	53
<b>Tabla 3.3</b> Resumen prueba a 2500 rpm con gasolina extra.....	55
<b>Tabla 3.4</b> Resumen ajuste de combustible 2500 rpm extra .....	55
<b>Tabla 3.5</b> Resumen prueba a ralentí con gasolina super .....	59
<b>Tabla 3.6</b> Resumen ajuste de combustible ralentí super .....	60
<b>Tabla 3.7</b> Resumen prueba a 2500 rpm con gasolina super.....	62
<b>Tabla 3.8</b> resumen ajuste de combustible 2500 rpm super .....	62
<b>Tabla 3.9</b> oscilogramas del sensor de oxígeno con falla de encendido .....	65
<b>Tabla 3.10</b> oscilogramas del sensor de oxígeno con falla de inyección .....	69
<b>Tabla 3.11</b> oscilogramas del sensor de oxígeno con falla en el sensor MAF .....	73

## RESUMEN

El sensor de oxígeno es el encargado de medir la cantidad de oxígeno existente en los gases de escape resultantes de la combustión de la mezcla aire combustible, verificando así que la mezcla sea estequiométrica y manteniendo un correcto manejo de la emisión de gases contaminantes. Asimismo, trabaja de manera conjunta con el sistema de alimentación, el sistema de ignición y la ECU. Trabajando en conjunto se genera un correcto funcionamiento en los motores de combustión interna de encendido provocado.

Al existir un fallo en el sistema en el que interviene la sonda lambda, se generan datos anormales, y, asimismo, se generan fallas en el motor, las cuales, dependiendo del grado de complejidad, afectan de manera notoria sobre el motor y en la percepción de potencia.

El uso de los tipos de combustible de tipo gasolina que se encuentran en la ciudad de Ibarra influye directamente en la percepción del sensor lambda y repercute en el funcionamiento del motor, siendo así que con la gasolina de mayor octanaje el motor tiene un mejor funcionamiento, tanto con el motor en buen estado como con el motor con fallos que influyen en la sonda lambda.

## **ABSTRACT**

The oxygen sensor is in charge to measure that is present in the scape gases resulting of the combustion of the gas-air mixture, verifying that the mixture is stoichiometric and handle correctly the emission of polluting gases. In addition, it works together with the fuel feeding system, the ignition system and the Electronic Control Unit. Working together, a correct operation is generated in internal combustion engines with spark ignition. When there is a failure in the system in which the lambda probe intervenes, abnormal data is generated, and, likewise, engine failures are generated, which, depending on the degree of complexity, significantly affect the engine and the power perception.

The use of the types of gasoline type fuel found in the city of Ibarra directly influences the perception of the lambda sensor and affects the operation of the engine, while with higher octane gasoline the engine has a better performance, both with the engine in good condition and with the engine with faults that influence the lambda probe.

## INTRODUCCIÓN

La presente tesis trata sobre el sensor de oxígeno, tanto pre catalizador como post catalizador, de un motor de combustión interna por encendido provocado. Los mencionados sensores son parte de la gestión electrónica del motor, los cuales permiten determinar con gran exactitud si la combustión de la mezcla es completa, es decir que la mezcla sea estequiométrica la mayor parte del tiempo en que el vehículo se encuentre en funcionamiento, garantizando que cumpla con la relación de mezcla de 14.7 partes de aire a 1 de combustible lo que en valores en función de lambda es igual a 1. Asimismo, al generarse fallos dentro de la combustión, el sensor deberá arrojar valores diferentes a los que se obtienen cuando el motor se encuentra en óptimas condiciones, dichos valores tendrán influencia en la inyección electrónica del automotor y a la vez se verá reflejado en los gases de escape.

Se trabajó en conjunto con el equipo de diagnóstico Bosch FSA – 740 el cual facilitó el diagnóstico de los sensores de oxígeno al momento de generar fallos en la combustión; con sus accesorios se observará numéricamente la modificación en la inyección electrónica, en cuanto a tiempo de inyección y cantidad de combustible inyectado; indicará códigos de avería o DTC los cuales indicarán el fallo existente según los fallos generados y en conjunto con los valores del sensor de oxígeno permitirán generar un diagnóstico rápido, eficaz, eficiente y sin necesidad de realizar una exploración invasiva al vehículo.

De igual manera las pruebas realizadas se las realizará con dos tipos de combustible de tipo gasolina que se encuentran en la ciudad de Ibarra, los cuales son Extra cuyo octanaje es de 87 octanos; y Súper que tiene 93 octanos, para a la vez determinar si existe algún cambio en la lectura de los sensores al momento de generarse los fallos.

# CAPÍTULO I

## 1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

### 1.1. ANTECEDENTES

El motor de un automóvil desprende a la atmosfera una importante cantidad de compuestos, tales como hidrocarburos no quemados y monóxido de carbono, que contribuyen a la formación de humos y neblinas peligrosos para la salud. Ello ha obligado a los fabricantes a adoptar medidas tendentes a reducir la polución, limitando el porcentaje de gases nocivos emitidos por el escape, introduciendo modificaciones en los sistemas de alimentación de combustible, encendido y escape (Cives, 2011).

“En la actualidad la mayoría de los vehículos contienen sistema de inyección electrónica de combustible la cual fue puesta en marcha en la década de los 90, sistemas que permite dosificar la mezcla aire combustible teniendo en cuenta varios factores externos como la temperatura y presión ambiente” (Bastidas, 2021a). “El tiempo de inyección y el flujo de combustible los determina el módulo de control electrónico del motor mediante un impulso eléctrico aplicado al inyector” (Ramirez Bravo & Rojas Ospina, 2011).

Un sistema de control electrónico mediante el análisis del tipo de conducción a largo plazo es capaz de aprender y compensar la inyección de combustible que resulta de los cambios de funcionamiento del motor. Este ajuste en la inyección se consigue mediante la recepción de una señal enviada desde el sensor de oxígeno “O<sub>2</sub>” o sonda lambda (Ramirez Bravo & Rojas Ospina, 2011).

El sensor de oxígeno es el encargado de cerrar el ciclo de control de emisiones ya que está colocado en el múltiple de escape del motor. Es un sensor que mediante reacciones químicas calcula la cantidad de oxígeno existente en los gases de escape para determinar la proporción de aire-combustible que ingresa en el motor (Correa, 2013).

El sensor lambda presenta varios problemas que se han ido solucionando con el pasar de los años, por ejemplo los sensores lambda de primera generación con un solo cable que presentan problemas debido a la temperatura de funcionamiento y el tiempo requerido para alcanzar este punto han sido sustituidos por sensores de 4 cables con calefactor, controlado por ancho de pulso modulado (Muñoz, 2018).

Existen sensores de oxígeno de titanio y circonita, no pueden ser intercambiados o utilizarse entre sí, sin embargo, pueden trabajar en cualquier tipo de vehículos, desde los más convencionales hasta los más modernos. Un sensor de oxígeno en buen estado puede mejorar las prestaciones del automotor ya que regula y evita una alta tasa de gases contaminantes, mejora el desempeño del vehículo y previene daños en el catalizador (Burgos & Pacheco, 2018).

Por otro lado, en caso de una sonda lambda defectuosa, que impida una correcta medición de los valores proporcionados por el sensor, la combustión pierde su eficacia y aumenta el consumo de combustible, pudiendo provocar daños irreparables en el catalizador. Esto ocasionaría que el vehículo incumpliera las normativas de emisiones de gases y, por lo tanto, que no supere la prueba de gases de escape en los centros de revisión técnica. Por todo ello, es aconsejable realizar un análisis y diagnóstico exhaustivo de la sonda lambda, sin embargo, a pesar de lo que dicen los expertos, el diagnóstico del sensor de oxígeno no es fácil. Los DTC y los datos suelen ser muy difíciles de interpretar y, a menudo, el sensor se cambia para eliminar información potencialmente incorrecta de un componente "dudoso"; sin embargo, esta no es la mejor práctica y es una injusticia repercutir el costo de un sensor cuando su reemplazo no tiene ningún efecto sobre el problema (Bastidas, 2021).

En vehículos con tecnología más actual se realizan diagnósticos conectando directamente el equipo al sensor o actuador, siendo un diagnóstico un tanto invasivo y de riesgo de daño a las partes o accidentes. Al momento de conectar un escáner automotriz suele ser necesario conectar otro dispositivo auxiliar como es el osciloscopio para realizar el diagnóstico correspondiente a los motores MEP, derivando en un mayor tiempo de diagnóstico.

Al referirse a los análisis de la sonda lambda, el diagnóstico es la conexión directa del osciloscopio hacia el sensor y comparando su funcionamiento con gráficas o DTC obtenidas en el escáner automotriz, siendo así que se aumenta el riesgo de accidente o daño puesto que el sensor se ubica generalmente cerca del electroventilador o bajo el vehículo, necesitando un elevador automotriz que facilite su acceso.

Con el proyecto se espera el determinar los efectos de los diferentes tipos de combustibles en el motor de vehículos similares al utilizado en la presente investigación, analizado desde el punto de vista del funcionamiento de la sonda lambda.

Facilitar el diagnóstico por medio del uso del equipo Bosch FSA – 750, permitiendo la detección de fallas en menor tiempo, de manera precisa, eficiente y eficaz. Además de establecer un precedente en cuanto al estudio de combustibles y sus efectos en la sonda lambda pre catalizador y post catalizador.

## **1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

En la actualidad el parque automotor es una de las industrias que más contribuyen al calentamiento global y la contaminación ambiental, esto debido a que los motores de combustión interna son propensos a emanar gases nocivos en su etapa de funcionamiento.

La emisión de gases contaminantes depende de varios factores externos e internos como el tipo de conducción, el kilometraje del automóvil, el estado de los elementos mecánicos, eléctricos, electromecánicos y electrónicos, y en especial de la calidad del combustible y de la combustión.

En el Ecuador el octanaje de los combustibles, no son los ideales para una buena combustión lo que deriva en daños en el sistema de control electrónico, fundamentalmente en los inyectores y la sonda lambda encargada de verificar que la mezcla de aire y combustible sea estequiométrica. Estos daños por lo general son diagnosticados en base a experiencias y careciendo de bases teóricas, los técnicos se sustentan en su expertiz y conocimiento empírico adquirido a través de los años, sin embargo, la falta de argumentos confiables y respaldado en la teoría es lo que conlleva al error y por consiguiente la pérdida de tiempo y de recursos por un mal diagnóstico.

Un mal diagnóstico para la determinación de fallos en la combustión de motores y la sonda lambda influye en el desempeño del automotor, consumo de combustible y emisión de gases.

## **1.3. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

Entonces ¿Cómo determinar la relación entre los parámetros de funcionamiento de la sonda lambda y los fallos en la combustión para obtener diagnósticos confiables?

¿Es posible mejorar la calidad de la combustión y reducir la emisión de gases de escape mediante el análisis de la sonda lambda y la variación de sus parámetros?

## **1.4. OBJETIVOS**

### **1.4.1. OBJETIVO GENERAL**

Determinar la relación entre el funcionamiento de la sonda lambda y los fallos en la combustión de un motor de encendido provocado mediante el análisis de señales y ondas eléctricas para realizar un diagnóstico confiable.

### **1.4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Realizar pruebas de funcionamiento para obtener las curvas características de las sondas lambda pre catalizador y post catalizador usando gasolinas de distinto octanaje.
- Establecer la relación entre la calidad de la combustión, los ajustes de combustible, el funcionamiento de la sonda lambda y la emisión de gases contaminantes.
- Modificar la inyección de gasolina en el motor funcionando en distintas condiciones de carga, para generar señales eléctricas anormales en las sondas lambda.
- Analizar los datos obtenidos para establecer soluciones acorde a los problemas generados determinando la relación entre una sonda lambda defectuosa, los ajustes de combustible y los fallos en el motor.

## **1.5. ALCANCE**

El análisis de los componentes eléctricos y electrónicos se realizará en las instalaciones del taller automotriz del campus de la Universidad Técnica del Norte que se encuentra ubicado geográficamente en la ciudad de Ibarra, provincia de Imbabura.

Se utilizará un vehículo marca KIA modelo Picanto EX AC con cilindraje de 1248 c/c del año 2019 basándose en el estudio y análisis de funcionamiento de la sonda lambda pre catalizador y post catalizador del mismo.

Se utilizará el equipo marca Bosch modelo FSA – 740 el mismo que permitirá simular y analizar los parámetros de funcionamiento que intervengan en el motor y sean relevantes para la investigación.

Se realizarán pruebas de funcionamiento con dos tipos de combustible de diferente octanaje con el fin de determinar sus efectos en las sondas pre catalizador y post catalizador.

Se manipulará sensores y actuadores que intervienen directamente en la combustión con el fin de generar fallos, simulando daños en los mismos y analizar los efectos en las sondas pre catalizador y post catalizador.

## **1.6. JUSTIFICACIÓN**

Ante la eminente contaminación ambiental, el crecimiento exponencial del parque automotor y las nuevas normativas que regulan la emisión de gases de escape de los automóviles resulta de especial interés determinar cómo mejorar la combustión para reducir emisiones y mejorar el rendimiento y consumo de combustible.

La presente investigación surge de la necesidad de analizar la relación entre el sensor de oxígeno y la calidad de la combustión con el propósito de diagnosticar fallos y mejorar la calidad de esta, mediante la variación de parámetros e la sonda lambda.

La investigación busca aportar en el estudio de sensores de oxígeno en motores MEP con sistema OBD II, brindando información sustentada teórica, practica y tecnológicamente del comportamiento de estos, cuando se usa combustibles de distinto octanaje, el cómo detectar fallas en los sensores pre y post catalizador y sus posibles soluciones.

Por otro lado, se realiza un aporte ambiental evitando o controlando la emanación de gases de escape por fallos en la combustión, determinando que combustible es el óptimo para este fin y sirve como fundamento teórico para futuras investigaciones de sondas lambda de alta tecnología trabajando en diferentes condiciones de altura respecto al nivel del mar, temperatura del aire y calidad de combustible.

## **1.7. CONTEXTO**

En la actualidad la sonda lambda es uno de los sensores más importantes en la gestión electrónica del motor, ya que es la encargada de informar al módulo de control electrónico del vehículo la calidad de la combustión, por lo que su correcto funcionamiento es analizado bajo distintas condiciones desde tiempo atrás.

En nuestro país, buscando reducir las emisiones de los automotores y mejorar su eficiencia se han realizado varios estudios con los distintos tipos de combustibles disponibles en nuestro territorio, llegando a conclusiones similares en los estudios realizados.

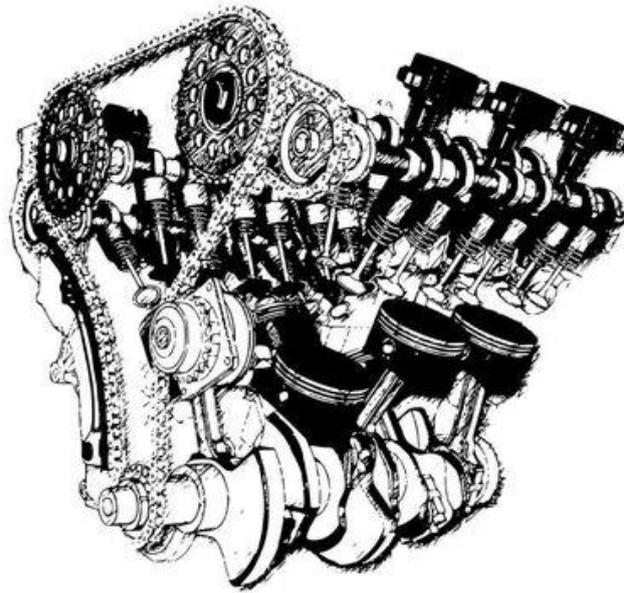
En un estudio realizado en la ciudad de Urcuquí, se determinó que “el tipo de mantenimiento del vehículo y la manera de conducción influyen directamente en la vida útil de la sonda lambda y de manera simultánea el estado del sensor influirá en el rendimiento del motor del vehículo” (Darwin et al., 2020).

Con la investigación se contribuirá a estudios posteriores dentro de la ciudad Ibarra, que permitan conocer el funcionamiento de la sonda lambda dentro del territorio, además aportar con herramientas que faciliten el diagnóstico del sensor en diferentes regímenes de funcionamiento y con los diferentes tipos de combustible que se encuentran dentro de la ciudad para mejorar la combustión y aprovechamiento de los carburantes.

### **1.8. MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA ALTERNATIVOS**

Los motores son máquinas capaces de transformar cualquier tipo de energía en trabajo mecánico, sin embargo, un motor térmico utiliza como fuente de energía un fluido compresible. Los motores de combustión interna realizan su trabajo dentro del fluido o fuente de energía, tienen un tipo de alimentación discontinua, en que el trabajo de combustión se da de manera intermitente o en otras palabras, el trabajo se genera por ciclos.

Es decir que un motor de combustión interna alternativo es una máquina capaz de transformar la energía química, almacenada en una fuente de energía combustible, en trabajo mecánico por efecto de la combustión. Trabajo que se da en un entorno cerrado y hermético cumpliendo ciclos de trabajo (Payri & Desantes, 2011).



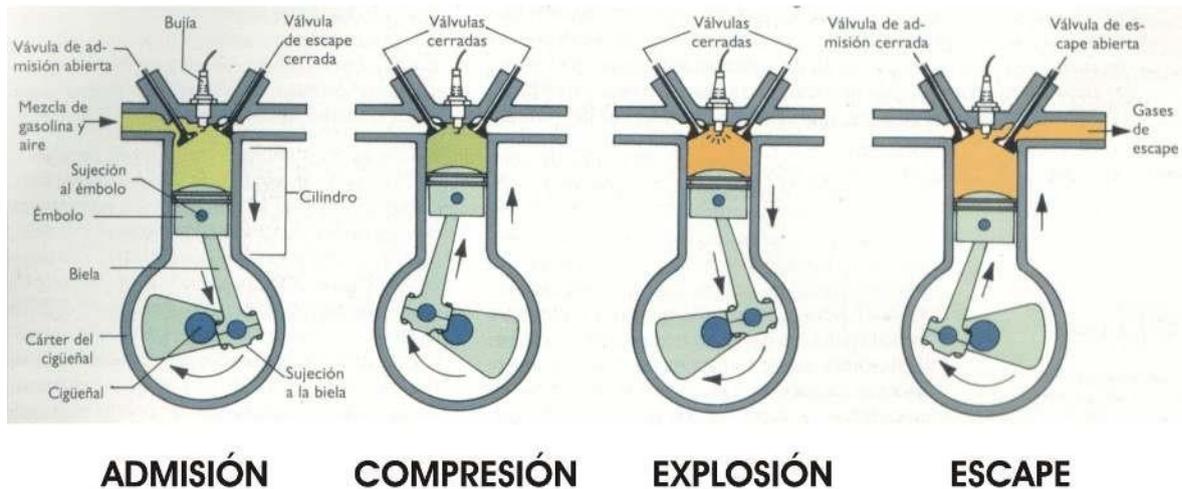
*Figura 1.1 Motor de combustión interna alternativo*

*(Plaza, 2020)*

### **1.8.1. MOTORES DE ENCENDIDO PROVOCADO**

Los motores de encendido provocado (MEP) son parte de los motores de combustión interna alternativos, máquinas térmicas capaces de obtener energía mecánica a partir de la energía química del combustible que es puesta en ignición y realiza efectos de expansión y compresión, provocando un movimiento ascendente y descendente del pistón dentro del cilindro.

Los motores MEP trabajan en base al ciclo termodinámico de 4 tiempo denominado ciclo Otto, detallado en la figura 1.2.



**Figura 1.2** Fases de un motor de 4 tiempos

(Cano, 2019)

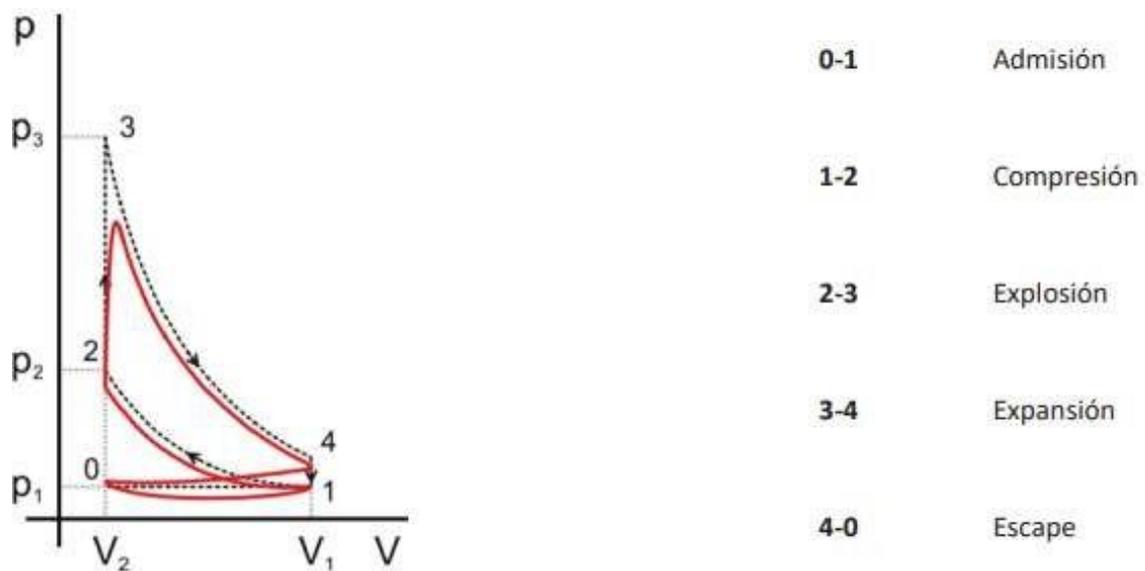
### 1.8.1.1. Proceso de la combustión

El ciclo termodinámico que se aprecia en la figura 1.3 comienza con el ciclo abierto (4-0-1) proceso denominado también como “lazo de bombeo” en donde el pistón expulsa los gases de escape y posteriormente succiona la mezcla de combustible. Para una maximización del rendimiento del ciclo es necesario minimizar el trabajo que realiza, asimismo maximizar la evacuación de los gases de escape y garantizar el correcto llenado de la mezcla. Por esto, existen ángulos de apertura y cierre de válvulas, que coinciden con el punto muerto superior (PMS) y el punto muerto inferior (PMI) para definir avances y retrasos con respecto al accionamiento teórico (Cano, 2019).

Las válvulas de escape se abren antes que el pistón llegue al PMI, al finalizar la carrera o ciclo de expansión; de esta forma los gases de escape inician antes de tiempo reduciendo en cierta manera trabajo efectivo, sin embargo, con este acto se garantiza una correcta expulsión de gases y asimismo un llenado efectivo, lo cual compensa la pérdida antes mencionada. (Cano, 2019).

De la misma manera, momentos antes que el pistón llegue al PMS, las válvulas de admisión se abren, generando que la mezcla de aire-combustible expulse a los gases de escape restantes en el cilindro, también denominado “cruce de válvulas”. El tiempo que transcurre en este trabajo sincronizado se toma desde el adelanto de apertura de las válvulas de admisión hasta el cierre del retraso de las válvulas de escape. (Cano, 2019).

Se debe procurar una mezcla estequiométrica al momento del llenado, puesto que una mezcla rica genera más potencia, pero se consume mayor carburante el cual no puede ser quemado en su totalidad, de este modo se expulsan hidrocarburos no combustionados (HC) y se generan monóxidos de carbono (CO); por el contrario, al ser una mezcla pobre, se siente una pérdida de potencia, un menor consumo de combustible, se aumenta la expulsión de óxidos de nitrógeno (NOx), los cuales son nocivos para la salud. Por esto se trata de garantizar una mezcla estequiométrica al momento de la inyección del combustible, además con ayuda de un catalizador es posible mitigar los efectos de las mezclas ricas o pobres (Cano, 2019).



**Figura 1.2** Diagrama presión-volumen del ciclo Otto

(Cano, 2019)

Después del cierre de la admisión, se trabaja en un ciclo cerrado (1-2-3-4). En el trayecto final de la compresión, al momento que tanto las válvulas de admisión como de escape se encuentran cerrados, se realiza un avance de encendido, el cual iniciará la combustión puesto que si se realiza la combustión al momento que el pistón se encuentra en el PMS, el combustible demorará en encenderse y quemarse, y la expansión de gases se dará al momento del descenso del pistón, desaprovechando la compresión en el cilindro. Sin embargo, un adelanto muy pronunciado en el encendido provocará también auto ignición de la mezcla, derivando en un frenado brusco del pistón antes que el mismo llegue al PMS, lo cual puede producir daños significativos en el motor. Para finalizar, la combustión finaliza

cuando el pistón se encuentra descendiendo, siendo así el único tiempo de todo el ciclo en el cual se realiza el trabajo.

El proceso de combustión es muy importante para la eficiencia del motor, asimismo para que se genere la misma es necesario el aporte externo de energía, proporcionado por una chispa capaz de dar ignición a la mezcla. Se distinguen tres fases al momento de la mencionada ignición (Cano, 2019).

- Fase Inicial: Comprende desde el momento en que se genera la chispa, hasta que la presión en la cámara de combustión excede a la presión en condiciones de no combustión. En esta fase la llama tiene una velocidad laminar y ocupa el espacio que existe entre los terminales de la bujía, de manera más precisa, ocupa el espacio existente entre los electrodos.
- Fase Principal.- la combustión se produce con un flujo turbulento y trata de combustionar la mayor cantidad de mezcla existente dentro del cilindro.
- Fase Final.- La combustión finaliza y la velocidad disminuye hasta un rango laminar.

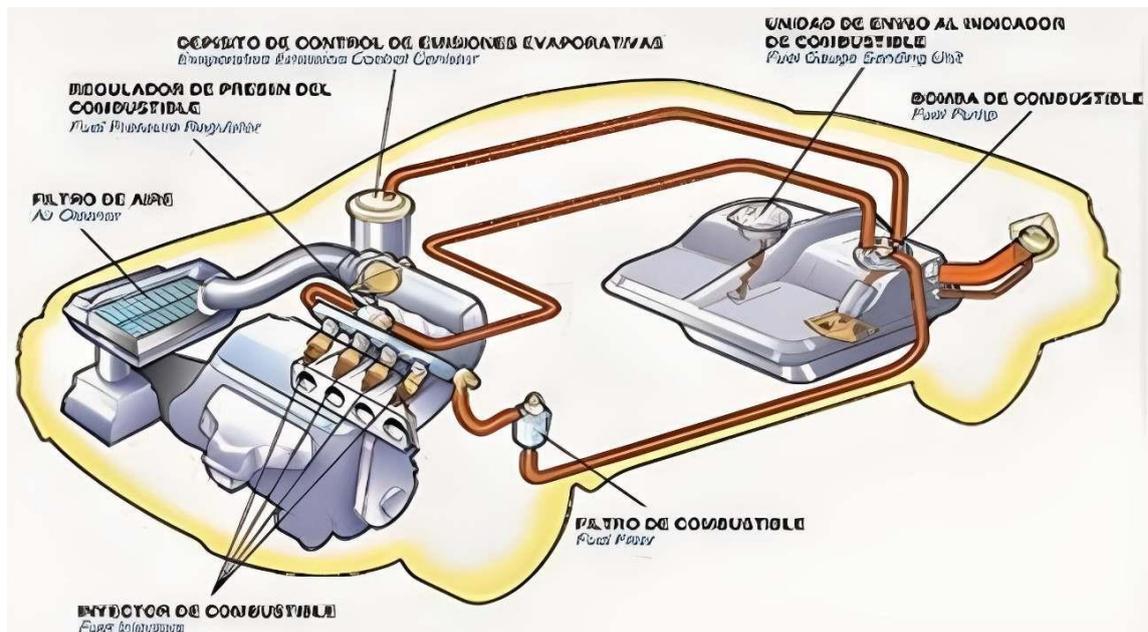
El encendido del combustible no siempre es el adecuado puesto que depende de la correcta lectura de los sensores que intervienen en el motor, el estado de estos, el régimen de conducción, el ciclo de conducción y la calidad del combustible (Cano, 2019).

### **1.9. SISTEMA DE ALIMENTACIÓN DE COMBUSTIBLE**

Este sistema es el encargado de alimentar de combustible al MEP, asegurando un continuo suministro en función de las necesidades del motor garantizando el correcto funcionamiento de este con el fin de cumplir con las demandas de torque y potencia del conductor.

En la figura 1.4 se puede apreciar los principales elementos del sistema de alimentación de combustible compuesto por: el tanque o depósito de combustible, bomba de combustible, filtro de combustible, inyectores o carburador y las cañerías por donde circula el combustible.

En la actualidad se utiliza la inyección de combustible puesto que tiene una mayor eficiencia en cuanto a maximización de potencia, menor consumo de combustible y reducción de la emisión de gases de escape contaminantes (De Las Pozas, 2012).



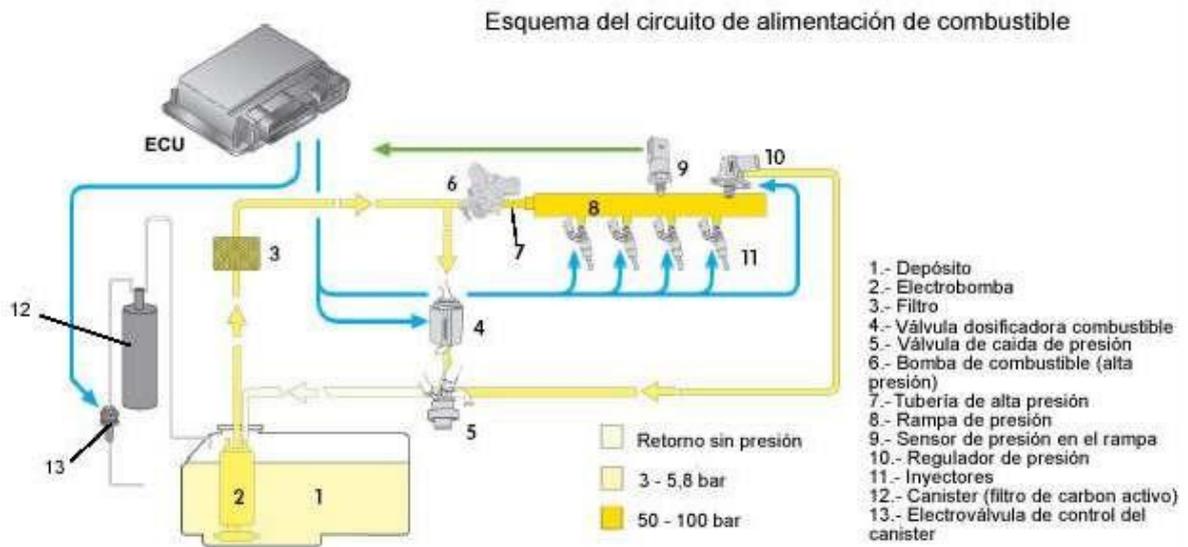
**Figura 1.3** Sistema de alimentación de combustible

(IsoPetrol, 2019)

### 1.9.1. SISTEMA DE INYECCIÓN ELECTRÓNICA DE COMBUSTIBLE

Parte del suministro de combustible y es el predecesor del carburador, este artefacto de accionamiento mecánico realiza la mezcla de aire-combustible por efecto de succión, sin embargo, la regulación de este se realiza de manera manual. La inyección de combustible electrónica en el automóvil se caracteriza por suministrar la cantidad necesaria de combustible al motor en función del régimen o carga. La inyección se da en el colector de admisión, momento en el cual se mezcla con el aire y se forma la mezcla estequiométrica de 14.7 partes de aire a 1 parte de gasolina (Sardiña, 2017).

La inyección electrónica inicia cuando el motor entra en acción, al momento de encenderlo el pistón baja generando vacío, absorbe aire del exterior que ingresa al colector de admisión, en conjunto con sensores de posición del pistón, se genera la inyección de combustible generando una mezcla capaz de garantizar el encendido del motor. La mezcla ingresa al cilindro para posteriormente ser comprimida y combustionada aprovechando la energía química resultante de la explosión de la mezcla generando el movimiento del motor (Sardiña, 2017).



**Figura 1.4** Circuito de alimentación electrónica de combustible

(Mena,2022)

### 1.9.1.1. Ventajas sobre la inyección electrónica

Tiene un consumo reducido puesto que dosifica el combustible necesario para cada cilindro, la mezcla se genera al final del colector dejando el mínimo de residuos de combustible, al contrario del carburador que se genera la mezcla dentro del colector de admisión y cada cilindro absorbe la mezcla, dando la posibilidad de generarse residuos dentro del colector.

Se genera mayor potencia, puesto que se aprovecha de mejor manera la geometría de los colectores de admisión, garantizando un mejor llenado en los cilindros mejorando el torque y la potencia del motor; también se reduce en la expulsión de gases de escape contaminantes, al generare una mezcla estequiométrica o lo más cercana a ella, se garantiza que los gases de escape expulsados al entorno son menos nocivos a comparación de un motor con alimentación por carburador. Asimismo, va de la mano con el sensor de oxígeno y el catalizador (Arellano, 2017).

### 1.9.2. MEZCLA AIRE-COMBUSTIBLE

La mezcla de aire-combustible es necesaria para el correcto funcionamiento del motor, asimismo, cuando la misma esta realizada correctamente produce el máximo

aprovechamiento de la energía química del combustible y reduce la expulsión de gases nocivos para la salud. Se clasifican en tres:

#### **1.9.2.1. Mezcla estequiométrica**

La mezcla estequiométrica se produce cuando existen 14.7 partes de aire a 1 de combustible, lo cual genera un aprovechamiento máximo de las propiedades del combustible, emana menos gases contaminantes de escape al ambiente. Esta mezcla es utilizada para vehículos de uso cotidiano. Se facilita el control de la mezcla al momento de mantener velocidades estables.

#### **1.9.2.2. Mezcla rica:**

La mezcla rica se genera cuando existe excedente de combustible en la misma. Se produce esta mezcla al momento de aceleraciones excesivas o abruptos cambios de velocidad, cuando se genera una carga al motor, cuando el vehículo se encuentra en pendientes pronunciadas

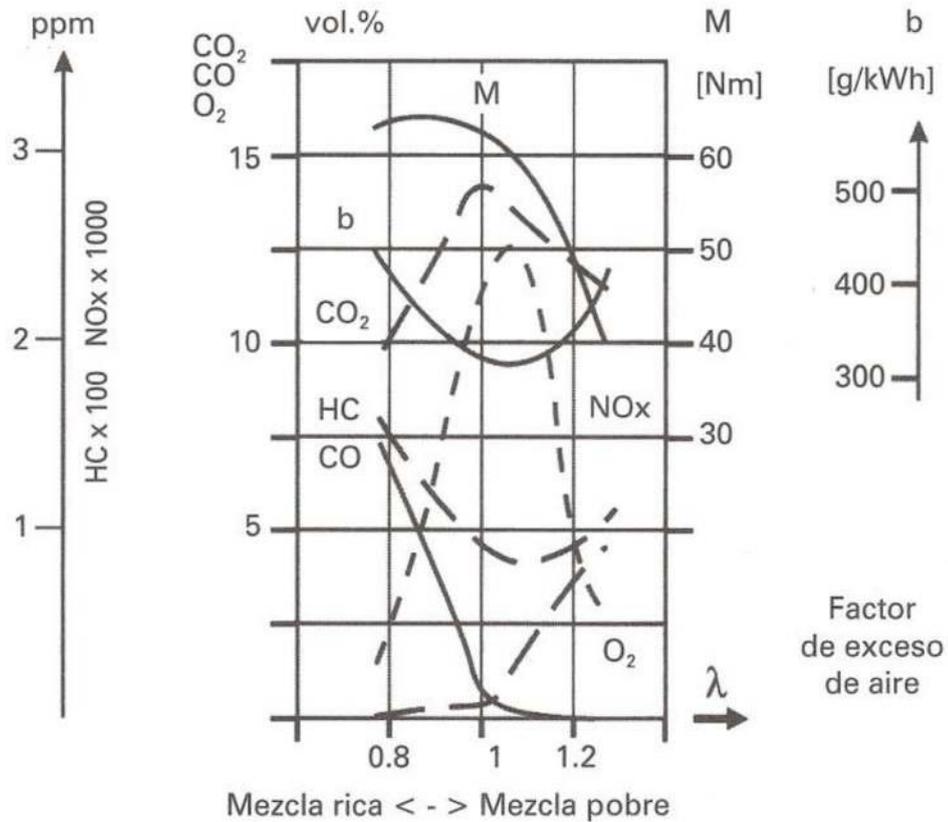
#### **1.9.2.3. Mezcla pobre:**

Se produce una mezcla pobre cuando existe una menor cantidad de combustible a mayor cantidad de aire. Se genera cuando se disminuye la velocidad del vehículo de manera brusca (Urresta & Andrango, 2012).

En los motores de gasolina, la relación de la mezcla puede variar entre 12 y 18:1 ( $\lambda=0,8$  y  $\lambda=1,2$ ), según las condiciones de funcionamiento del motor. Con valores de  $\lambda=0,8$  se consigue un dosificado llamado de potencia máxima y con las relaciones de mezcla asociadas a  $\lambda=1,2$  se logra el dosificado denominado de máximo rendimiento. En la siguiente figura puede verse que la concentración de CO crece con el valor de riqueza de mezcla de una manera sensiblemente lineal a partir de un valor de 1 riqueza. Con mezclas pobres el porcentaje de CO se mantiene por debajo del 0,5%. Los valores mínimos del monóxido de carbono se consiguen con coeficientes de aire superiores a 1,1. En la actualidad se entiende que la riqueza de la mezcla sea muy próxima a  $\lambda=1$ , pues es la más favorable para la emisión de sustancias nocivas. Una proporción excesiva de CO es siempre indicio de que el sistema de alimentación de combustible es defectuoso, aportando mezcla rica en exceso (Cives, 2011).

En la figura 1.6 se establece la relación entre el factor lambda, con la producción de gases contaminantes como monóxidos de carbono (CO), óxidos de nitrógeno (NOx) e

hidrocarburos no quemados (HC), el torque del motor en Newton metros (Nm) y el consumo de combustible.



**Figura 1.5** Diagrama factor lambda

(Cives, 2011)

### 1.9.3. AJUSTES DE COMBUSTIBLE

Una vez que el combustible es repartido y se lleva a cabo la combustión, el PCM chequea los resultados del cálculo de aire/combustible en el sensor de oxígeno. Si el valor obtenido indica una condición pobre, el procesador usará su estrategia de ajuste de combustible para activar por más tiempo los inyectores, en la misma condición. Si la condición existe, el procesador recontará la duración del pulso de los inyectores. Este proceso es muy usual y se lleva a cabo rápidamente. Debido a la velocidad y eficiencia de esta estrategia, se han establecido límites que indican cuanto el PCM tiene permitido recontar o compensar la proporción aire/combustible. Esto se hace para evitar que el PCM encubra otros temas relacionados dentro del motor base y el sistema de inyección (*Ajustes de Combustible – SFT y LFT – Complicaciones En Funcionamiento a GNC*, 2004).

Los ajustes de combustible en general trabajan en rangos de -25% hasta +25%, es decir, si el inyector tiene un ciclo de trabajo útil (tiempo que permanece abierto) de 10ms las correcciones estarán en el rango de 7,5 a 12,5 ms; sin embargo, existen excepciones donde los ajustes pueden extender hasta en un 8% el rango de corrección. Estas anomalías en los ajustes de combustible pueden producirse por distintas causas (*Ajustes de Combustible – SFT y LFT – Complicaciones En Funcionamiento a GNC, 2004*).

- Datos erróneos de la entrada de aire en el motor por mal estado de los sensores MAF y MAP o cantidad excesiva de aire que no es medida por conexiones de vacío o juntas en mal estado.
- Sensor de oxígeno defectuoso.
- Fallas en el sistema de alimentación de combustible: sobrepresiones o presiones bajas, inyectores en mal estado por taponamiento o desgaste de la tobera o regulador de presión defectuoso.

Se tiene dos valores, SFT o ajuste de combustible de corto alcance que varía de manera casi instantánea corrigiendo la mezcla rica o pobre modificando el tiempo en el que el inyector permanece abierto de acuerdo con pre ajustes programados en la PCM; y LFT o ajuste de combustible de largo alcance, que es un SFT alto que ha perdurado durante varios ciclos de conducción.

Estos valores pueden ser leídos mediante un scanner en automóviles equipados con sistema OBD II, para el análisis de datos se recomienda sumar los SFT y LFT, cuando el resultado de dicha suma supera el intervalo de ajustes antes mencionados la Luz Mill en el tablero permanecerá encendida y varios códigos de error aparecerán además de algunos específicos por “Fuel trim”

## **1.10. SENSOR DE OXÍGENO**

La sonda lambda es un sensor de medida del contenido de oxígeno de los gases de escape, que permite determinar con gran exactitud si la combustión de la mezcla es completa, circunstancia ésta que constituye el punto de partida ideal para las funciones de regulación de la proporción aire-combustible suministrada al motor. De esta manera, adecuando la riqueza de la mezcla al valor conveniente, se consiguen combustiones completas con las que se obtienen los mínimos contenidos de gases tóxicos (Cives, 2011).



**Figura 1.6** Sensor de oxígeno

(Cives, 2011)

El monitor del sensor de oxígeno permite que el PCM, de sus siglas en inglés Powertrain Control Module, que significa el Módulo de Control del Tren de Potencia, verifique que los sensores de O<sub>2</sub> estén correctamente calibrados y funcionando sin un deterioro notable en condiciones normales de funcionamiento del motor. Esto asegura que cuando el PCM está controlando la mezcla de combustible durante la operación de circuito cerrado, una relación aire-combustible real de 14.7: 1 se quema en los cilindros. Cuando la relación aire-combustible se aleja de este punto ideal, la eficiencia del convertidor catalítico disminuye y las emisiones aumentan (Bastidas, 2021).

Mientras el monitor está funcionando, el PCM ejecuta una rutina de control de combustible de frecuencia fija y observa el voltaje de salida de los sensores aguas arriba y la frecuencia de respuesta de conmutación. El PCM también apaga los inyectores de combustible durante un período de desaceleración y observa la respuesta de voltaje de los sensores aguas abajo a la condición pobre (Bastidas, 2021).

### **1.10.1. TIPOS DE SENSOR DE OXÍGENO**

Hay diferentes tipos de sensores de oxígeno, pero los tipos más comunes son:

- Sensor de oxígeno rango estrecho: El estilo más antiguo, llamado simplemente sensor de oxígeno.

- Sensor de Oxígeno de Rango Amplio: El nuevo estilo, llamado sensor de relación aire/combustible (A/F).

El sensor de oxígeno después del convertidor catalítico es utilizado por la ECM sobre todo para determinar la eficiencia del convertidor catalítico y es conocido como sensor 2. Los nuevos estándares NLEV (National Low Emission Vehicle) más California's LEV (Low Emission Vehicle), ULEV (Ultra Low Emission Vehicle) y estándares SULEV (Super Ultra Low Emission Vehicle) requieren un control muy preciso de la relación aire/combustible. La reciente generación de sensores de oxígeno ha sido llamada sensores Lambda de "banda ancha" o "sensores de relación aire/combustible" (Figura 4) debido a que ellos suministran una información precisa de la relación exacta de aire/combustible sobre un rango más amplio de mezclas, desde Lambda 0.7 (relación aire/combustible 11:1) a aire puro (Bastidas, 2021).

#### **1.10.1.1. Sonda lambda de dióxido de circonio**

Esta sonda lambda consta de un electrolito sólido de circonio. Este material es conductor iónico de oxígeno a partir de 300°C. El contenido de oxígeno en el gas de escape se mide mediante los electrodos situados en la parte interior (referencia/aire ambiental) y la parte del gas de escape (gas de medición). La señal de salida se crea con los iones de oxígeno que se mueven por el elemento e intentan compensar la diferencia de oxígeno (diferencia en la presión parcial de oxígeno) (Cives, 2011).

#### **1.10.1.2. Sonda lambda de dióxido de titanio**

La sonda lambda de dióxido de titanio también es una sonda binaria. El dióxido de titanio tiene una propiedad especial, y es que la resistencia eléctrica se modifica de forma proporcional a la cantidad de oxígeno en el gas de escape. En este caso, la resistencia medida informa sobre el estado de funcionamiento en el que se encuentra el motor (Cives, 2011).

#### **1.10.1.3. Sonda lambda de banda ancha**

Al monitorear los niveles de oxígeno y enviar esta información a la computadora de su motor, estos sensores le permiten a su automóvil saber si la mezcla de combustible es rica (no hay suficiente oxígeno) o pobre (demasiado oxígeno). La proporción adecuada de aire y

combustible es fundamental para que su automóvil funcione tan suavemente como debería (Bastidas, 2021a).

Estas sondas lambda lineales pueden emitir una señal proporcional a la cantidad de oxígeno residual contenida en el gas de escape. Esta señal está disponible en una amplia relación de aire y combustible. La señal de salida se corresponde con el flujo bombeado necesario para fijar un nivel de oxígeno constante en una cámara de medición ( $\text{Lambda} = 1$  se corresponde con 450 mV). Cuanto más se aleje de este valor el gas de escape que se introduce, mayor será el flujo bombeado y en consecuencia, la señal de salida de la sonda (Cives, 2011).

### **1.10.2. FALLAS EN EL SENSOR DE OXÍGENO**

Algunos de los fallos comunes pueden deberse a factores inevitables como el desgaste por el tiempo, cuando una sonda lambda se encuentra deteriorada la señal que este sensor emite es débil, se ve alterada por ruidos y la respuesta y comunicación con la ECU es demasiado lenta.

Cuando una sonda lambda se encuentra en mal estado la señal generada por este sensor es errónea, débil o lenta en la transmisión de la información, la ECU es incapaz de determinar la composición de la mezcla con exactitud por lo que entra en “modo emergencia” enriqueciendo la mezcla protegiendo al motor de sobrecalentamiento, independientemente del correcto funcionamiento del catalizador, de la emisión de gases contaminantes y el consumo de combustible que puede aumentar considerablemente (Bastidas, 2021).

### **1.10.3. MODOS DE FUNCIONAMIENTO**

El sistema de inyección a gasolina es capaz de funcionar con distintos tipos de adaptaciones de la mezcla, para brindar el par motor y potencia requerida por el usuario.

#### **1.10.3.1. Con carga estratificada**

En este modo, la mezcla es inyectada durante la carrera de compresión del pistón, es decir se produce un retardo en el encendido, con una distribución no uniforme en la cámara de combustión. Con carga estratificada la cantidad de aire es mayor en relación con las partes de combustible por lo que la mezcla es pobre y la emisión de gases NO<sub>x</sub> es relativamente alta, sin embargo, puede ser controlada mediante la EGR.

#### **1.10.3.2. Con mezcla homogénea**

Cuando el par motor y las revoluciones de funcionamiento requeridos son altos el modo de funcionamiento es homogéneo y la computadora intenta que la mezcla sea estequiométrica, con un factor lambda lo más cercano a 1. En este modo la mezcla es inyectada en la carrera de aspiración por lo que la distribución es homogénea en toda la cámara de combustión, y la emisión de gases contaminantes es relativamente baja.

#### **1.10.3.3. Con mezcla homogénea pobre**

Este modo se encuentra en la transición entre el funcionamiento con mezcla estratificada y mezcla homogénea, la mezcla es ligeramente pobre y el consumo de combustible es menor al consumo en mezcla homogénea.

#### **1.10.3.4. Con mezcla homogénea y carga estratificada**

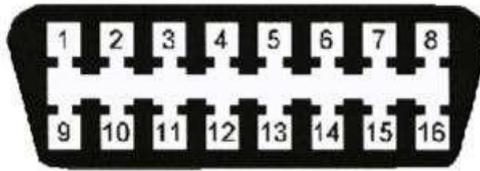
En este modo se produce una inyección doble, una inyección homogénea pobre en la carrera de aspiración del pistón y una segunda inyección con carga estratificada en la carrera de compresión con mezcla rica con distribución no uniforme, produciendo una mayor concentración de mezcla cerca de la bujía para un mejor encendido.

El consumo de combustible es menor al consumo en modo mezcla homogénea, ya que la inyección está repartida en relación 3:1 es decir 75% en la primera inyección y 25% en la segunda.

### **1.11. OBD II**

“El diagnóstico a bordo es un sistema computarizado integrado en los vehículos para monitorear el desempeño de componentes del motor, incluyendo aquellos que intervienen en el control de emisiones” (Martínez, 2017). En la figura 1.8 se puede observar el conector de 16 pines del sistema OBD II.

## Terminales del Conector OBDII



1 – Sin uso	9 – Sin uso
2 - J1850 Bus positivo	10 - J1850 Bus negativo
3 – Sin uso	11 – Sin uso
4 - Tierra del Vehículo	12 – Sin uso
5 – Tierra de la Señal	13 – Tierra de la señal
6 - CAN High	14 - CAN Low
7 - ISO 9141-2 - Línea K	15 - ISO 9141-2 - Línea L
8 – Sin uso	16 - Batería - positivo

*Figura 1.7 Conector OBD II*

*(Ocegueda, 2022)*

Es un conector de 16 pines que todos los vehículos a partir del año de 1996 se ven obligados a montar. Se accede por medio de un escáner automotriz que tenga el programa o paquete de datos que controlan la gestión del vehículo, todo acorde a la marca y modelo del automotor (Bastidas, 2021).

### **1.12. EQUIPOS DE DIAGNÓSTICO AUTOMOTRIZ**

Son equipos o dispositivos que facilitan el análisis de la gestión electrónica del motor en un automóvil. Existen varios tipos de dispositivos que permiten realizar un control directamente desde la ECU, y otros que deben conectarse directamente al sensor o actuador que se desea conocer su funcionamiento y compararse con la tabla de valores especificada por el fabricante. Asimismo, permiten determinar fallos en el motor o el vehículo puesto que, en caso de existir valores no correspondientes a los establecidos, se determina que el sensor o la zona que el sensor revisa no se encuentra en buen estado y por lo tanto se determina que existe un fallo (Donado, 2020).

Entre los diferentes equipos de diagnóstico automotriz se encuentran los siguientes:

- Escáner automotriz.
- Osciloscopio.





**Figura 1.9** Equipo Bosch FSA-740

(Bosch, 2022)

### 1.13. PROPIEDADES DE LA GASOLINA

En la tabla 1.1 y 1.2 se describe las características físicas y químicas más importantes de la gasolina como combustible:

**Tabla 1.1** características físicas de la gasolina

Características físicas	
<b>Volatilidad</b>	Altamente volátil.
<b>Peso específico</b>	6.669 N/m <sup>3</sup>
<b>Densidad</b>	720 a 775 kg/m <sup>3</sup>
<b>Contenido de azufre</b>	450 a 650 ppm

**Tabla 1.2** características químicas de la gasolina

Características químicas	
<b>Índice de octano</b>	85 a 92 octanos
<b>Presión de vapor</b>	0.7 kg/cm <sup>2</sup>
<b>Poder calorífico</b>	43.4 a 44.5 MJ/kg

### 1.13.1. LA GASOLINA EN EL ECUADOR

En Ecuador están disponibles tres tipos de gasolina según el nivel de octanaje:

- Extra de 85 octanos
- EcoPaís de 85 octanos y no disponible en todo el territorio nacional.
- Súper de 92 octanos a partir de septiembre de 2018
- Ecoplus de 89 octanos a partir de agosto del 2022

Además de los beneficios que ofrece el nuevo octanaje de la gasolina Súper a los motores de los vehículos, también se genera un beneficio ambiental; pues disminuye la emisión de gases de combustión no deseables; esto por cuanto genera una mejor combustión y mayor rendimiento del combustible (Bastidas, 2021).

A continuación, se presenta la cronología de las gasolinas en el Ecuador:

- 1980: Se creó la gasolina súper de 90 octanos, distinta de la regular de 70. Los autos de carburador no requerían un alto nivel de la calidad.
- 1993: Se lanza la gasolina eco 82 sin plomo. Este componente subía el octanaje, limpiaba y lubricaba el motor, pero era cancerígeno.
- 1998: Se retira definitivamente la gasolina con plomo. La gasolina súper quedó en 90 octanos y la extra en 81 octanos.
- 2012: El Gobierno decide elevar la gasolina súper a 92 octanos y la gasolina y la extra a 87 octanos. Baja el nivel de azufre. La situación energética actual del Ecuador muestra que el transporte sigue siendo el sector con mayor consumo de energía con el 46% de los 95 millones de BEP que consume el país anualmente. Considerando el consumo de energía por fuente, de estos 95 millones, el 31% corresponde a diésel y el 27% a gasolina.

**Tabla 1.3** Propiedades de la gasolina Extra en el Ecuador

<b>Gasolina Extra</b>				
<b>Parámetro/Norma</b>	<b>INEN Actual</b>	<b>INEN 2014</b>	<b>EURO 5</b>	<b>RDP</b>
Número de octano	Min 81	Min 91	Min 95	Min 95
Azufre (ppm)	Máx 750	Máx 10	Máx 10	Máx 10
Presión de vapor (kPa)	Máx 56	Máx 56	Min 50-Máx 60	Máx 55.1
Cantidad de aromáticos	Máx 30	Máx 35		Máx 30

**Tabla 1.4** Propiedades de la gasolina Super en el Ecuador

<b>Gasolina Super</b>				
<b>Parámetro/Norma</b>	<b>INEN Actual</b>	<b>INEN 2014</b>	<b>EURO 5</b>	<b>RDP</b>
Número de octano	Min 90	Min 95	Min 95	Min 95
Azufre (ppm)	Máx 1000	Máx 10	Máx 10	Máx 10
Presión de vapor (kPa)	Máx 56	Máx 56	Min 50-Máx 60	Máx 55.1
Cantidad de aromáticos	Máx 35	Máx 35	Máx 30	Máx 30

## CAPÍTULO II

### 2. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 2.1. MATERIALES Y EQUIPOS

##### 2.1.1. Materiales

Para llevar a cabo el presente proyecto y la ejecución de las diversas pruebas de funcionamiento; se utilizó dos tipos de combustible: la gasolina Extra con un octanaje de 85 octanos, y la gasolina Super con un octanaje de 92, para determinar la calidad de la combustión y analizar la emisión de gases de escape, materiales listados en la tabla 2.1.

**Tabla 2.1** Materiales

	Octanaje	Cantidad
Gasolina Extra	85	5 galones
Gasolina Super	92	5 galones
Vehículo	Kia Picanto 2019	1200 cc

El vehículo seleccionado para la investigación se aprecia en la figura 2.1 y es de la marca coreana Kia modelo Picanto del año 2019, cuyas características técnicas están detalladas en la tabla 2.2.



**Figura 2.1** Kia Picanto 2019

**Tabla 2.2** Ficha técnica del vehículo seleccionado

Motor	1.2 l DOHC CVVT 16 válvulas
Cilindraje	1248 cc
Nro. Cilindros	4 en línea
Disposición de motor	Transversal
Potencia máxima (hp/rpm)	83/6000
Torque máximo (Nm/rpm)	122/4000
Tipo de combustible	Gasolina
Sistema de alimentación de combustible	Inyección multipunto
Capacidad del tanque de combustible	35 litros
Dirección	Hidráulica con asistencia electrónica
Transmisión	Mecánica de 5 velocidades + reversa
Frenos delanteros	Disco ventilado 10"
Frenos traseros	Tambor
Rin	15"
Llantas	185/55R15

### **2.1.2. Equipos**

Para llevar a cabo el presente proyecto y la ejecución de las diversas pruebas; fue necesario el uso de un vehículo equipado con sistema OBD II, un escáner automotriz genérico y el equipo de diagnóstico de Bosch FSA 740.

#### **BOSCH FSA-740**

El equipo Bosch FSA-740 es una máquina que consta con diferentes herramientas capaces de generar un diagnóstico rápido, preciso y eficiente en motores de encendido provocado sin realizar pruebas invasivas en el motor, las características del hardware del equipo se detallan en la tabla 2.3 y sus características de software se detallan en la tabla 2.4.

**Tabla 2.3** Características técnicas del hardware del equipo

Osciloscopio de dos canales	Tasa de escaneado 50 MS/s
Generador de señales	10 a 12 V con 4 formas de señal, 1 Hz a 1 kHz
Rango de medición de voltaje	0 a 60 V
Rango de medición de corriente	0 a 1000 A
Rango de medición de resistencia	0 a 1 M $\Omega$
Rango de medición de voltaje de encendido	Hasta $\pm 50$ kV
Rango de medición de la velocidad de rotación	100 a 12000 1/min
Rango de medición de la temperatura de aceite	-20°C a 150°C
Rango de medición de la temperatura del aire	-20°C a 100°C
Rango de medición de la presión atmosférica	-800hPa a 1500hPa
Rango de medición de presión de líquido	0 a 1000 kPa
Número de pruebas de componentes	50 pre configuradas
Número de procedimientos de prueba guiados	18 con valores establecidos
Número de señales del sensor visibles simultáneamente	6
Almacenaje de frecuencia de señales	Si
Fuente de alimentación	220 V CC – 240 AC, 50/60 Hz, 700 W
Rango de temperatura de funcionamiento	5°C a 40°C
Dimensiones (ancho x alto x profundidad)	1740 x 860 x 760 mm
Peso	95 kg

**Tabla 2.4** Características técnicas del software

Sistema operativo	Windows 10 IoT Enterprise
Procesador	Intel® Pentium® G4560 @3.5 GHz (2 núcleos / 4 Hilos)
Memoria	8 GB DDR4, con opción a ampliar a 16 GB
Disco duro	256 GB SSD
Unidad de DVD	Integrada
Conexiones	6 x USB 3.0, 6 x USB 2.0, LAN 1000 Mbit, VGA, DVI-D, HDMI, Puerto gráfico
WiFi	IEEE 802.11 g,n; 2.4 GHz

Este equipo está formado por una interfaz de diagnóstico, un osciloscopio, un analizador de gases para pruebas en gasolina los cuales pueden observarse en la figura 2.2.



**Figura 2.2** FSA-740

A continuación, se detallan las características de cada uno de los elementos que componen el equipo de diagnóstico seleccionado para el trabajo.

**KTS 560.** Es un equipo móvil de análisis de sistemas vehiculares y de diagnóstico de la unidad de control electrónico del automóvil. Es una interfaz de diagnóstico provista del software ESI [tronic], propio de la reconocida marca automotriz BOSCH.



*Figura 2.3 KTS 560*

En la tabla 2.5 se detallan las especificaciones técnicas de este equipo que permite acceder a la memoria de fallos de la ECM, además da acceso a una amplia biblioteca de información electrónica sobre la mayoría de los vehículos a gasolina, diésel, híbridos y eléctricos, brindando información esencial como diagramas eléctricos, voltajes y corrientes de funcionamiento de sensores y actuadores, variación y lectura de parámetros de funcionamiento y flujos de datos en tiempo real, entre otros.

**Tabla 2.5** Características técnicas del KTS 560

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

**BEA 050.** El analizador de gases de escape sirve para realizar en forma sencilla el análisis de gases de escape en vehículos con motor a gasolina, este dispositivo funciona combinación con sistemas de comprobación Bosch y el programa de análisis de sistemas de emisiones.



*Figura 2.4 BEA 050*

**FSA 720 – Módulo de medición portátil.** Está compuesto por la unidad de medición y por distintos sensores que se aprecian en la figura 2.5 los cuales recopilan la información del funcionamiento del vehículo, una fuente de alimentación con cable de conexión a la red para alimentar la unidad de medición y un cable de conexión USB para la conexión a un PC.



*Figura 2.5 FSA-720*

Este módulo de medición cuenta con las siguientes características:

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

## ESI [tronic] 2.0 Online

El software de diagnóstico ESI[tronic] 2.0 Online permite realizar trabajos de mantenimiento, servicio y reparaciones de forma rápida, eficaz y profesional. El modelo flexible de licencias permite ampliar el software de diagnóstico en función de sus necesidades y proporciona acceso a los datos de vehículos de más de 150 marcas, así como a tareas de mantenimiento, diagramas de circuitos, manuales de reparación y soluciones de reparación de averías conocidas basadas en la experiencia de fabricantes y talleres.



*Figura 2.6 Interfaz de software ESI[tronic]*

## 2.2. PROCESOS METODOLÓGICOS

El flujograma expuesto en la figura 2.7 presenta el desarrollo de la presente investigación, resumiendo los procesos llevados a cabo para el diagnóstico en la combustión de motores de encendido provocado mediante el análisis de la sonda lambda.

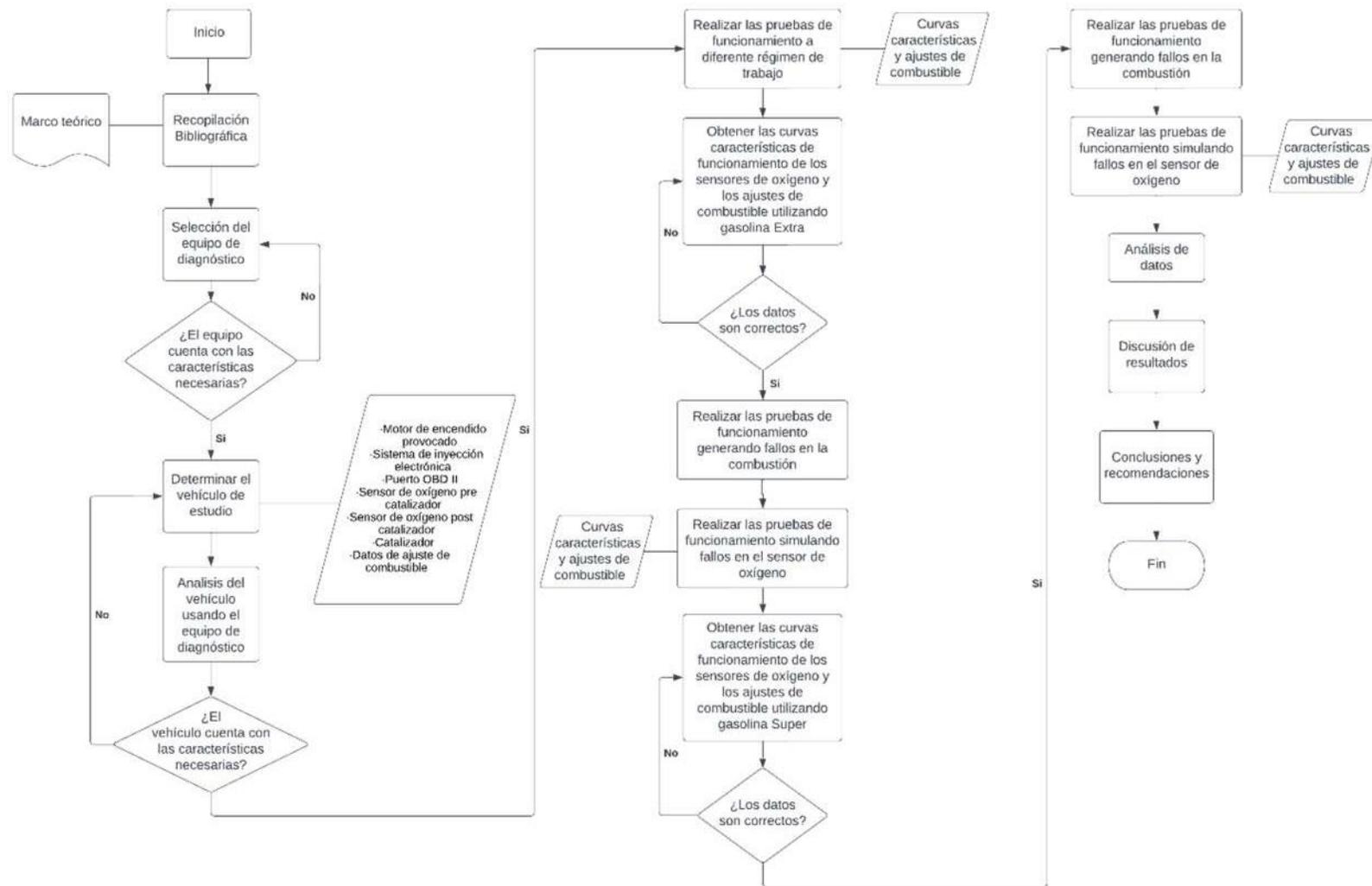
Inicia con la recopilación de datos bibliográficos, el cual genera el marco teórico, tomando en consideración temas y conceptos relevantes que forman parte del proceso de desarrollo del proyecto, posterior a esto, se hace la selección del equipo de diagnóstico necesario para el análisis de la sonda lambda.

Con ayuda del escáner automotriz se procede a seleccionar el vehículo apto para el proyecto, el automóvil debe tener las características expuestas con anterioridad. Una vez seleccionado un vehículo que cumpla con las necesidades para la investigación, se procede a realizar las pruebas de funcionamiento a diferente régimen y temperatura de trabajo, obteniendo curvas características de funcionamiento de los sensores de oxígeno y los ajustes de combustible.

Las pruebas de funcionamiento se realizarán usando combustibles de diferente calidad cuyo principal distintivo es el octanaje, además se generarán fallos en el sistema de alimentación y la señal de la sonda lambda, para determinar la relación de la forma de onda, la calidad de la combustión y los fallos generados, las pruebas se las realiza utilizando los dos tipos de combustible que son Extra y Súpera bajas y altas rpm de funcionamiento de motor, para ser capaces de analizar la información que el sensor está captando y enviando a la ECM del vehículo, para ello se utilizará como principal herramienta un osciloscopio automotriz capaz de captar las señales eléctricas de alta velocidad y baja tensión que el sensor envía a la computadora.

Todas las pruebas que se realiza al sensor de oxígeno utilizando la gasolina extra y súper, son para determinar cuál de las dos gasolinas es más perjudicial para el medio ambiente, además de determinar que gasolina genera un funcionamiento más eficiente del sensor de oxígeno, todas las pruebas se las realizar a diferentes cargas de motor.

Los datos obtenidos son analizados para la obtención de soluciones a los problemas del sensor de oxígeno con los dos tipos de gasolina existentes en la ciudad de Ibarra.



**Figura 2.7** Diagrama de proceso metodológico

### **2.2.1. RECOPIACIÓN BIBLIOGRÁFICA**

En un principio se comenzará con la recopilación bibliográfica, abordando temas relevantes para la realización de la presente investigación utilizando el internet como fuente de búsqueda, los temas que abarcan esta investigación son obtenidos de tesis, artículos científicos, libros digitales y páginas web, que nombran a diferentes autores.

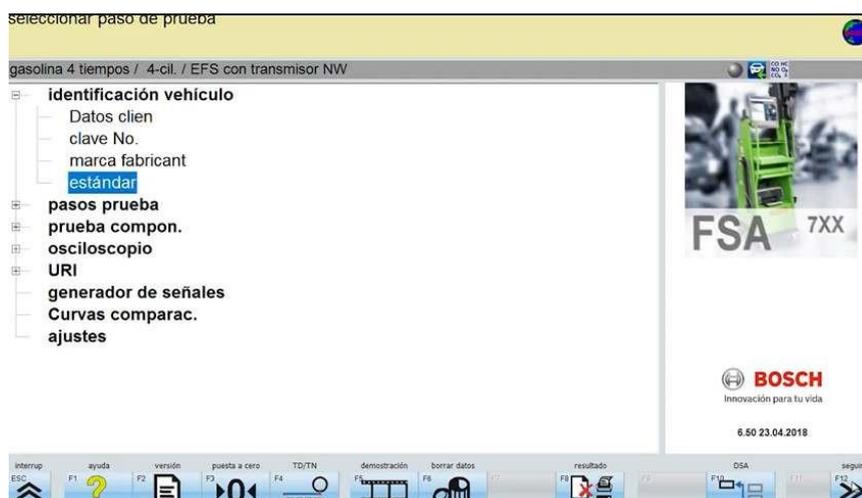
### **2.2.2. CONFIGURACIÓN DEL EQUIPO PREVIO A LAS PRUEBAS REALIZADAS**

Antes de comenzar a trabajar, una vez encendido el equipo de diagnóstico es necesario configurar los siguientes parámetros para realizar un diagnóstico acertado:

- No. de revoluciones.
- Unidades de medida.
- Frecuencia de red.
- Modo de conexión al ordenador.
- Equipos adicionales.

Terminada la configuración del equipo el siguiente paso a seguir es la identificación del vehículo, para esto se debe tomar en cuenta:

- Marca del fabricante.
- Modelo del vehículo.
- Tipo de motor.



*Figura 2.8 Identificación del vehículo en el programa de diagnosis*

Una vez seleccionado el vehículo es posible ejecutar los pasos de prueba que tiene el equipo, la cantidad de pasos de prueba que se pueda analizar dependerá exclusivamente del modelo de vehículo que se procederá a diagnosticar, en este proceso es posible ver la información específica del vehículo seleccionado.

Para realizar las pruebas y obtener las curvas características de la sonda lambda, se hace uso del osciloscopio universal.

### **2.2.3. DETERMINACIÓN EL VEHÍCULO DE ESTUDIO**

Para la selección del vehículo se consideraron varios aspectos importantes, siendo el principal que el vehículo disponga de un sensor de oxígeno de zirconio y un sistema de diagnóstico a bordo OBDII, primero comprobamos el estado de la red multiplexada CAN con un multímetro midiendo la resistencia de 60 ohmios entre los pines 6 y 14 del puerto DLC, posteriormente se conecta un escáner automotriz multimarca para determinar el tipo de sensor de oxígeno que el vehículo posee además de verificar que este permita la lectura de los ajustes de combustible STF y LTF.

### **2.2.4. CONDICIONES GENERALES DE MEDICIÓN**

Durante la conexión de los emisores, el motor debe estar apagado y el encendido desconectado, conectar los bornes negro y rojo del cable de conexión de la batería a la batería, el borne negro del cable de conexión de la batería debe permanecer conectado al borne B de la batería. Las indicaciones de conexión son para una secuencia de ensayo

aplicable en la mayoría de los casos. En caso dado, los sensores deben conectarse de otro modo en algunos pasos. Tener en cuenta las indicaciones de conexión de los pasos, cuando hay varias indicaciones al mismo puesto enchufe sensor, se debe re enchufar el sensor, según aplicación. Los reenchufes pueden minimizarse empleando el "conmutador entrada CH1 y CH2", con este conmutador pueden quedar enchufados, respectivamente, dos sensores en CH1 o CH2 (Narváez & Narváez, 2019).

Quitar la varilla original de medición de aceite para poder introducir el sensor de temperatura del aceite en el mango de la varilla de medición de aceite, adaptar la longitud de la sonda de temperatura de aceite a la longitud de la varilla, empujando el cono de goma fijable y hermetizar el punto de medición, si el mango de la varilla de aceite no es accesible para la sonda, la temperatura del motor puede registrarse también con el sensor infrarrojo (Narváez & Narváez, 2019).

### **2.2.5. PRUEBAS DE LA SONDA LAMBDA**

Se comprobó el estado del sensor de oxígeno y se realizó una limpieza de este para evitar falsas lecturas de funcionamiento, hay que tener en cuenta que existen varios factores que pueden provocar esto, los mayores enemigos de este sensor son:

- La contaminación por silicio genera una capa blanca en la punta del sensor, situación que se da por el tipo de combustible que se use, la concentración de dióxido de silicio es diferente en cada combustible y lo recomendable es usar el que menos lo contenga. En caso de que sea necesario limpiar el sensor, se recomienda hacerlo con productos que no contengan silicona como lo es el WD-40 y similares.
- La quema de aceite en la combustión puede producir contaminación por fosforo en el sensor, un aceite quemado contiene muchas impurezas y partículas muy pequeñas de metal del desgaste de los mecanismos móviles del motor que pueden llegar a dañar la capa de platino que posee el sensor de oxígeno. La quema de aceite puede generarse por empaques y sellos en mal estado, por lo que se recomienda inspeccionar si existen fugas de aceite, especialmente por la junta del tapa válvulas. Si el motor se encuentra trabajando en mezcla rica por malas lecturas del sensor de oxígeno se producirá un fenómeno conocido como "lavado de cilindro" en el que el

exceso de gasolina en la cámara de combustión elimina la película de aceite presente en el cilindro provocando un desgaste prematuro del mismo, para evitar esta situación es necesario realizar los cambios de aceite a tiempo como lo indica el fabricante con aceite de calidad.

- Fallos en el encendido de la mezcla provocan mala adaptación de los ajustes de combustible ordenados por la ECU, el exceso de oxígeno a la salida de gases de escape provoca que se enriquezca la mezcla innecesariamente y el consumo de combustible se eleve.
- La carbonilla generada por los gases de escape y el exceso de hidrocarburos no quemados se incrustan en la punta del sensor y se vuelve negro por el polvo provocando lecturas erróneas, cuando un vehículo trabaja a bajas revoluciones solo en la ciudad los depósitos de carbonilla aumentan en el múltiple de escape, se recomienda limpiarlo o realizar un viaje en autopista para reducir los depósitos de hollín.
- Siliconas usadas en empaques de motor que no son seguras para los sensores de oxígeno provocan daños en este, cuando se realice alguna reparación en el motor se recomienda usar un sellador de juntas que cumplan con las especificaciones necesarias para evitar estos daños.
- Fugas de refrigerante y aceite pueden provocar daños en la parte externa del sensor y generar lecturas erróneas de la concentración de oxígeno en la atmosfera que sirve de referencia para comparar la cantidad de oxígeno en los gases de escape.
- La mala instalación del sensor de oxígeno, las conexiones sulfatadas, y conexiones quebradizas por recalentamiento también pueden generar alteraciones en la lectura de datos y en el transporte de la información hacia la ECU.

#### **2.2.5.1. Procedimiento para realizar las pruebas**

- Identificar terminales: dependiendo del sistema que este diagnosticando, el sensor puede tener uno, dos, tres o cuatro cables, en este caso el sensor pre catalizador del

Kia Picanto es de banda estrecha calefactado por lo que encontramos cuatro cables: tierra o negativo del calentador del sensor (blanco), alimentación positiva del calentador del sensor (blanco), señal del sensor de oxígeno (cable negro); negativo del sensor (gris).

- Conectar el equipo de diagnóstico Bosch FSA.
- Introducir los datos técnicos del vehículo en la interfaz de diagnóstico
- En función de los datos técnicos del vehículo, conectar los cables del osciloscopio universal a la señal y masa del sensor respectivamente
- Arrancar el motor y mantenerlo estable a 3000 rpm hasta que el motor y el sensor de oxígeno alcance la temperatura de funcionamiento.
- Mantener el motor en un intervalo entre 2000 y 2600 rpm para evitar el que el señor de oxígeno se enfríe y se apague.
- Ajustar los parámetros del osciloscopio para capturar la forma de onda.

En la figura 2.9 se observa la curva característica de un sensor de oxígeno.



*Figura 9* Curva característica del sensor de oxígeno

## **2.2.6. PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO A DIFERENTE RÉGIMEN DE TRABAJO**

Una vez que se ha seleccionado el vehículo y se ha conectado el osciloscopio y los sensores de temperatura y revoluciones al automóvil se realiza una prueba de componentes y las primeras pruebas de funcionamiento a distinto régimen de trabajo: ralentí y a plena carga, para determinar el estado inicial en el que el automotor, los ajustes de combustible, la sonda lambda y la emisión de gases se encuentran para contrastarlos con los resultados de las pruebas con gasolina de distinto octanaje.

### **2.2.6.1. Pruebas a ralentí**

- Encendemos el vehículo hasta que alcance la temperatura de trabajo, el sensor de oxígeno comienza a trabajar y a generar una señal inmediatamente después de encender el vehículo, sin embargo, la computadora no toma en cuenta la señal de este y trabaja en modo de lazo abierto, para que la computadora comience a tomar en cuenta la señal del sensor de oxígeno y trabaje en lazo cerrado se espera alrededor de 5 min con el vehículo encendido a 2000 rpm.
- El tiempo de espera para que la computadora pase de un estado a otro depende de la rapidez con la que el vehículo alcance la temperatura ideal de trabajo, del tipo de sensor de oxígeno con el que se trabaje y del clima en la zona geográfica donde se realice la prueba.
- Haciendo uso del osciloscopio universal del equipo de diagnóstico obtuvimos las curvas características de las dos sondas lambda.
- Se recomienda realizar la medición inmediatamente después de que el sensor de oxígeno comience a trabajar, ya que, si se mantiene demasiado tiempo en ralentí, el sensor podría apagarse y no generar una señal válida para la ECU que afecte en la toma de decisión para el ajuste de combustible.

### **2.2.6.2. Pruebas a 2500 rpm**

- Mantener presionado el acelerador hasta alcanzar las 2500 rpm.
- Mantener las revoluciones durante un intervalo de tiempo considerable, para este caso de estudio, se presionó el acelerador durante 5 min.
- Se comprueba el comportamiento del sensor de oxígeno a 2500rpm
- Se realiza una prueba de aceleración en el intervalo de 700 a 2500 rpm y se analiza el comportamiento del sensor de oxígeno mediante su oscilograma, al mismo tiempo se

obtienen los datos de los ajustes de combustible hechos por la computadora en estas condiciones.

La conexión del osciloscopio se lo realiza como se indica en la figura 2.10.



*Figura 2.10 Conexión del osciloscopio al socket del sensor de oxígeno*

## **2.2.7. OBTENCIÓN DE LAS CURVAS CARACTERÍSTICAS DE LOS SENSORES DE OXÍGENO, AJUSTES DE COMBUSTIBLE Y EMISIÓN DE GASES.**

### **2.2.7.1. Curvas características y ajustes de combustible**

- *Con gasolina extra*

Una vez determinamos el estado inicial en el que el vehículo se encuentra procedemos a vaciar el tanque de combustible y llenarlo de gasolina extra, esperamos a que se cumplan varios ciclos de conducción en una semana de trabajo usando la gasolina de 85 octanos y procedemos a realizar pruebas de funcionamiento, analizamos la sonda lambda extrayendo las curvas características de funcionamiento conjuntamente con los ajustes de combustible realizados por la ECM en el intervalo de tiempo que el automóvil trabajó con este combustible.

- *Con gasolina super*

Una vez determinamos el funcionamiento del vehículo con gasolina extra y de la PCM ante el mal funcionamiento de los sensores, se procedió a vaciar el tanque de combustible y llenarlo de gasolina super, esperamos a que se cumplan varios ciclos de conducción en una semana de trabajo usando la gasolina de 92 octanos y procedemos a realizar pruebas de

funcionamiento, analizamos la sonda lambda extrayendo las curvas características de funcionamiento en conjunto con los ajustes de combustible realizados por la ECM en el intervalo de tiempo que el automóvil trabajó con este combustible.

En ambos casos para el análisis y la obtención de curvas características de la sonda lambda se hace uso del equipo FSA 740 siguiendo los pasos del apartado 2.2.5 y 2.2.6, en cuanto a los datos de los ajustes de combustible, los extraemos mediante el escáner automotriz multimarca con el que cuenta este equipo de diagnóstico, seleccionando los parámetros de interés en el flujo de datos del vehículo.

#### **2.2.7.2. Emisión de gases contaminantes**

Con la finalidad de comprobar la calidad de la combustión, con la herramienta de medición de gases del equipo Bosch FSA se realizó una prueba de emisiones y se comprobó el factor de aire-combustible también llamado AFR o factor lambda  $\lambda$ .

Para realizar la medición de gases se llevó a cabo el siguiente proceso:

- Se inserta la sonda de medición de temperatura del aceite por el orificio de la bayoneta de medición de aceite.
- Se conecta al cable positivo de la batería el amperímetro.
- Sobre una de las bobinas se coloca el sensor de revoluciones, de preferencia en la bobina que corresponde al primer cilindro.
- Se realiza la prueba de estanqueidad y vacío del equipo de medición.
- Una vez que el equipo ha terminado de calibrarse, se introduce la sonda de medición de gases por el tubo de escape.
- Se mantiene una marcha estable en el motor durante el tiempo que demore en realizar la medición, sea esta a ralentí o a 2500 rpm según sea el caso.
- Se recomienda que el motor este en la temperatura ideal de funcionamiento y se realicen al menos 3 mediciones, las cuales no deben tener variaciones considerables para que los datos sean tomados como válidos.
- En caso de tener variaciones considerables entre mediciones, comprobar las condiciones en las que se está realizando las pruebas y repetirlas.

## **2.2.8. PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO GENERANDO FALLOS EN LA COMBUSTIÓN**

Con la finalidad de establecer la relación entre los fallos en la combustión y el funcionamiento de la sonda lambda, se alteró el funcionamiento del sistema de alimentación de combustible y encendido generando códigos de fallo en la ECU.

La mayoría de los fallos en el sensor de oxígeno o de los componentes que intervienen en la decisión de la ECU para modificar el tiempo de inyección, genera códigos de fallos; si la computadora registra datos sin sentido que están fuera del rango normal de funcionamiento registrará un DTC.

Mediante el uso de una herramienta de diagnóstico como lo es un escáner y un osciloscopio es posible obtener el flujo de datos de la relación aire-combustible, además de los ajustes de combustible y la forma de onda del sensor de oxígeno; en nuestro caso el automóvil de prueba cuenta con un sensor de oxígeno de banda estrecha, el cual produce una forma de onda característica al abrir el acelerador de golpe, enriqueciendo la mezcla hasta que la ECU lo compense y reaccione a la carga producida en el motor.

Un sensor de oxígeno de banda estrecha puede tener lecturas erróneas y no funcionar de manera correcta por fugas de aire en el múltiple de escape, por lecturas erróneas del flujo de aire entrante al motor que pueden generarse por un MAF desconectado o mangueras de vacío rotas en la admisión, así como también por fallas en el encendido o inyectores defectuosos que provocan una alta concentración de oxígeno y gasolina no quemada en el escape. Cualquiera de estas situaciones hará que el sensor de oxígeno indique condiciones de mezcla falsas que la computadora interpretará como verdaderas, provocando un alto consumo de combustible, pérdida de potencia y cascabeleo. En la tabla 2.6 se resumen los fallos más comunes del sensor de oxígeno y las causas que pueden provocar los mismos.

**Tabla 2.6** Fallas comunes de la sonda lambda

<b>Fallos diagnosticados</b>	<b>Causa</b>
Obstrucción por aceite	El aceite quemado y no quemado entran al múltiple de escape por desgaste de rines de pistón, empaques en mal estado o sellos de válvulas defectuosos.
Lecturas erróneas del flujo de aire	Mala instalación del sensor de oxígeno, lo que provoca el ingreso de aire al múltiple de escape y modifique la lectura del sensor.
Daño por sobrecalentamiento	Gases de escape que sobrepasan los 950 °C debido a errores en la combustión o mal estado de válvulas.
Conexión en mal estado	Oxido y sulfatación de contactos, cables sobrecalentados y quebradizos
Mala conexión a masa (-)	Oxido y carbonilla en el múltiple de escape
Sonda rota	Par de apriete inadecuado
Depósito de plomo y silicio en la punta del sensor	Uso de combustible con alto contenido de plomo y silicio.

Para el análisis de los fallos en la combustión, se generó anomalías en el sistema de alimentación de combustible y en el sistema de encendido modificando la lectura del flujo de entrada de aire manipulando el sensor MAF y mangueras de vacío, alterando la continuidad del circuito de encendido desconectando bobinas, y suspendiendo el pulso de inyección en ciertos cilindros de manera controlada para determinar su influencia sobre el sensor de oxígeno y la combustión.

#### **2.2.8.1. Simulación fallo en el encendido**

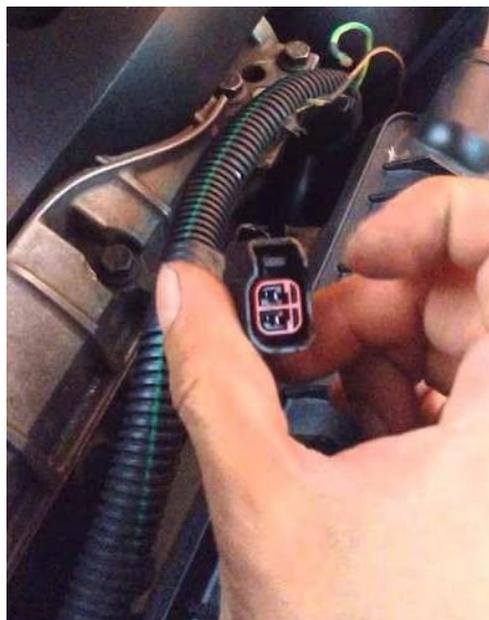
Para simular el fallo de encendido del motor se hizo funcionar al automóvil de manera normal hasta alcanzar la temperatura ideal de trabajo (90 °C), una vez que el sensor de oxígeno genera una señal válida y la ECU toma en cuenta la información de este para realizar los ajustes de combustible necesarios, se desconectó el socket de la bobina de encendido del cilindro número 1 generando un código de fallo. Como se muestra en la figura 2.12.



*Figura 10 Desconexión de bobina de encendido*

### **2.2.8.2. Simulación fallo de inyección**

Para simular el fallo en la inyección se hizo funcionar al automóvil de manera normal después de borrar el código de la falla generada en el apartado anterior, una vez que el sensor de oxígeno genera una señal válida y la ECU toma en cuenta la información de este para realizar los ajustes de combustible necesarios, se desconectó el socket de alimentación y señal del inyector de combustible del cilindro numero 1 generando un código de fallo. Como se muestra en la figura 2.13.



*Figura 11 Socket de inyector desconectado*

### 2.2.8.3. Simulación fallo en la alimentación de aire

Para la tercera prueba de fallos se borró los DTC creados con anterioridad y se hizo funcionar al automóvil de manera normal hasta que la ECU tome en cuenta de nuevo la señal del sensor de oxígeno para realizar los ajustes de combustible necesarios, se desconectó el socket del sensor de masa de flujo de aire (MAF) generando 2 códigos de fallo relacionados a la cantidad y temperatura de aire de entrada. Como se muestra en la figura 2.14.



*Figura 12 Sensor MAF desconectado*

## CAPÍTULO III

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIONES

#### 3.1. Estado preliminar del vehículo

Se realizó la selección del vehículo en función del tipo de sensor de oxígeno que este posee, en este caso se utilizó un automóvil Kia Picanto 2019 de uso particular que transita entre la ciudad de Ibarra y Atuntaqui, siendo esta última su ciudad de origen.

Para comprobar el funcionamiento del sensor de oxígeno de manera ideal, es necesario la combinación de varias herramientas de diagnóstico automotriz, mediante el uso del osciloscopio, el multímetro automotriz y el analizador de gases se obtuvo los parámetros iniciales de funcionamiento del sensor.

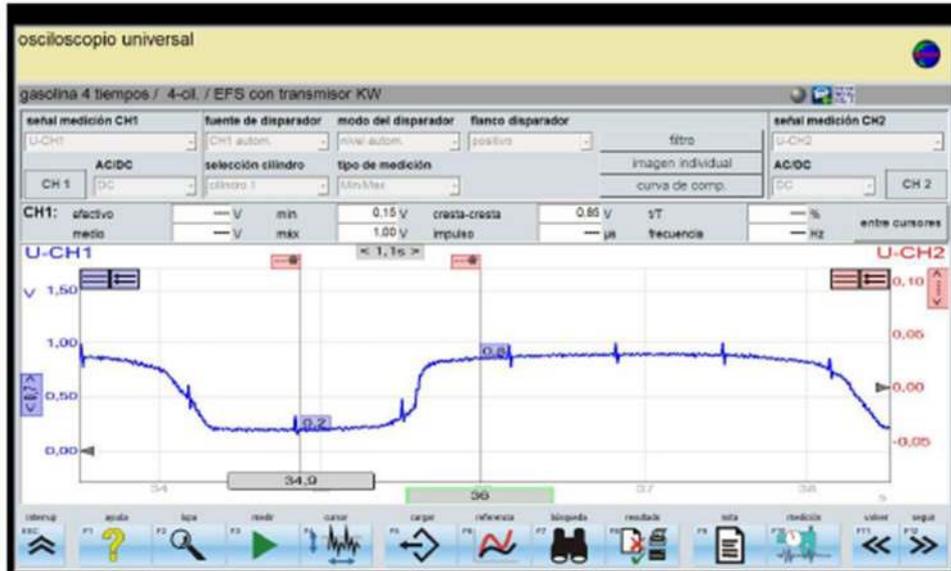
Cabe recalcar que se debe tener mucho cuidado cuando conectamos cualquier equipo de diagnóstico. Las herramientas de escaneo podrán detectar códigos de avería relacionados con los sensores y cableado asociado que se almacena en la memoria del vehículo. Además, no hay que olvidar que, para comprobar la señal de salida, el sensor debe haber alcanzado su temperatura de funcionamiento.

##### 3.1.1. Curva característica del sensor de oxígeno

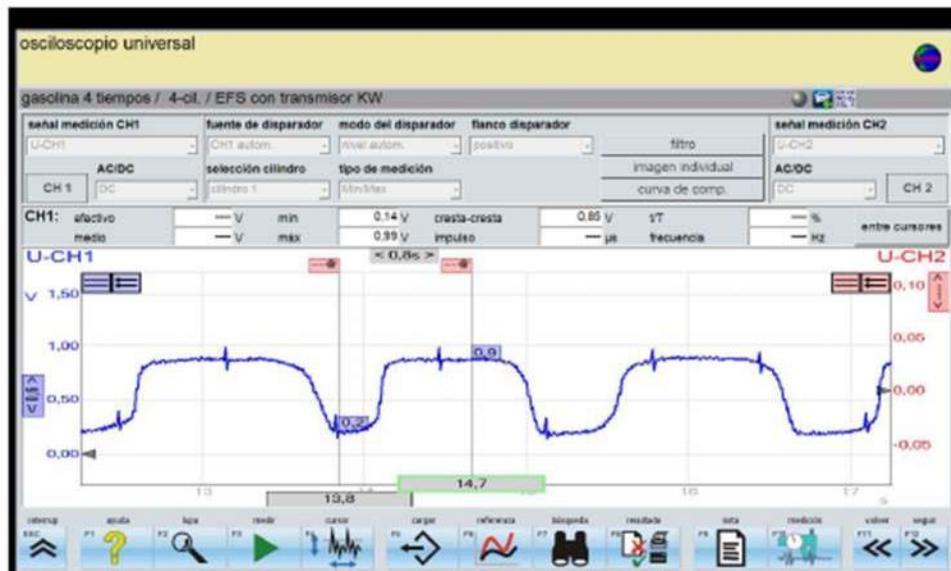
Para la obtención de la forma de onda del sensor O<sub>2</sub> se procedió de acuerdo con lo mencionado en el apartado 2.2.5 y 2.2.6.

Para el análisis del estado inicial del vehículo se realizó mediciones en 2 condiciones de trabajo: en la figura 3.1 se observa la forma de onda a ralentí del sensor de oxígeno pre catalizador y en la figura 3.2 la forma de onda del sensor a 2500 rpm.

En ambos casos se aprecia el mismo voltaje pico a pico que fluctúa entre 0,14 V hasta 1V por lo que la amplitud de onda es la misma, la diferencia entre el oscilograma que se aprecia en las figuras 3.1 y 3.2 radica en la frecuencia de la señal, la variación en la forma de onda es directamente proporcional a las rpm, en ralentí la cresta superior de la onda permanece por aproximadamente 2 segundos y tiene mayores fluctuaciones en voltajes cercanos a 1V en comparación a su similar a 2500 rpm, esto debido a que se enriquece la mezcla en cierta instancia para mantener la marcha mínima del motor.

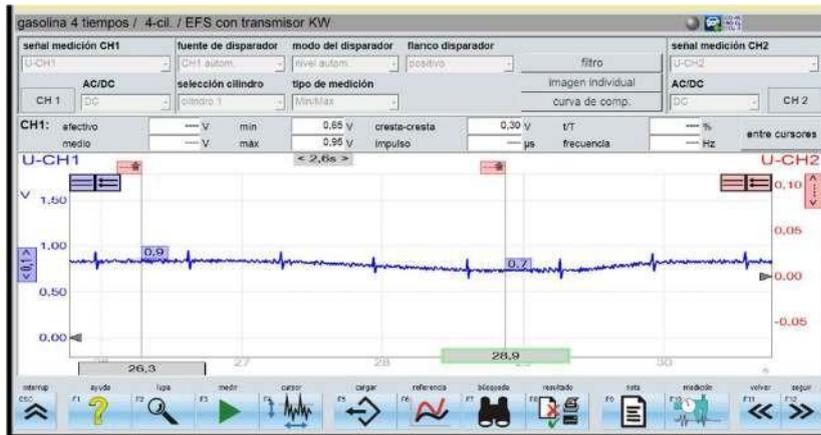


*Figura 3.1 Forma de onda del sensor de oxígeno en ralentí*



*Figura 3.2 Forma de onda del sensor de oxígeno a 2500 rpm*

En la figura 3.3 se observa el oscilograma de la sonda lambda post catalizador, la cual verifica el funcionamiento del sistema de tratamiento de gases de escape, en comparación a la forma de onda del sensor pre catalizador esta presenta una amplitud de 0.3 V que varía en el intervalo de 0.65 V y 0.95 V en un intervalo de tiempo de aproximadamente 2 segundos.



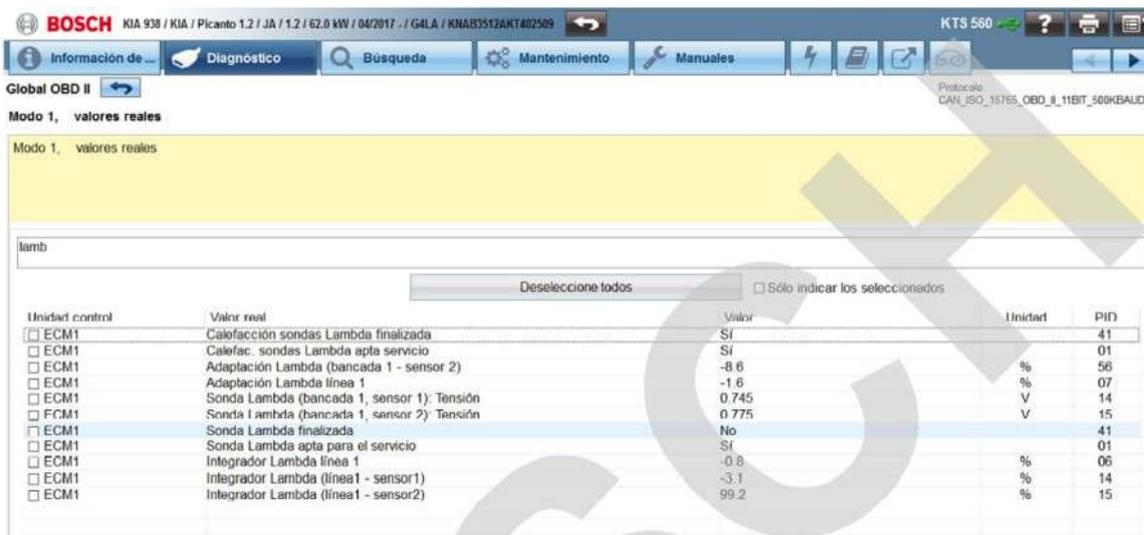
*Figura 3.3 forma de onda del sensor de oxígeno post catalizador*

### 3.1.2. Ajustes de combustible

Mediante el escáner automotriz integrado del equipo de diagnóstico Bosch FSA obtuvimos los PID de interés sobre los ajustes de combustible a corto y largo plazo, así como el factor integrador lambda, en la figura 3.5 y 3.6 se observa los datos obtenidos de los sensores pre y post catalizador en condiciones de ralentí y a 2500 rpm, existe una diferencia en el voltaje de funcionamiento del sensor de oxígeno lo que se traduce en una variación en la adaptación de combustible pasando de un enriquecimiento de la mezcla en ralentí para mantener la marcha mínima a un ajuste negativo a 2500 rpm, con una variación de 2.4% entre ambas condiciones en el integrador lambda.

Unidad control	Valor real	Unidad	PID
<input type="checkbox"/> ECM1	Calefacción sondas Lambda finalizada	SI	41
<input type="checkbox"/> ECM1	Calefac. sondas Lambda apta servicio	SI	01
<input type="checkbox"/> ECM1	Adaptación Lambda (bancada 1 - sensor 2)	-8.8	%
<input type="checkbox"/> ECM1	Adaptación Lambda línea 1	0.8	%
<input type="checkbox"/> ECM1	Sonda Lambda (bancada 1, sensor 1): Tensión	0.885	V
<input type="checkbox"/> ECM1	Sonda Lambda (bancada 1, sensor 2): Tensión	0.830	V
<input type="checkbox"/> ECM1	Sonda Lambda finalizada	No	41
<input type="checkbox"/> ECM1	Sonda Lambda apta para el servicio	SI	01
<input type="checkbox"/> ECM1	Integrador Lambda línea 1	-1.9	%
<input type="checkbox"/> ECM1	Integrador Lambda (línea1 - sensor1)	-0.8	%
<input type="checkbox"/> ECM1	Integrador Lambda (línea1 - sensor2)	99.2	%

*Figura 3.4 Datos de la sonda lambda en ralentí*



*Figura 3.5 Datos de la sonda lambda a 2500 rpm*

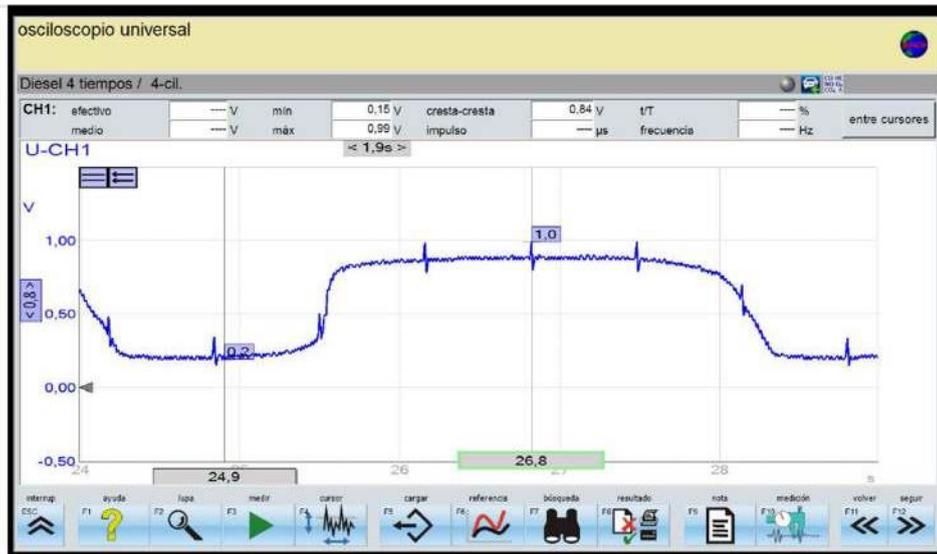
## 3.2. Pruebas con gasolina extra

### 3.2.1. Curva característica del sensor de oxígeno y ajustes de combustible

#### Prueba a ralentí

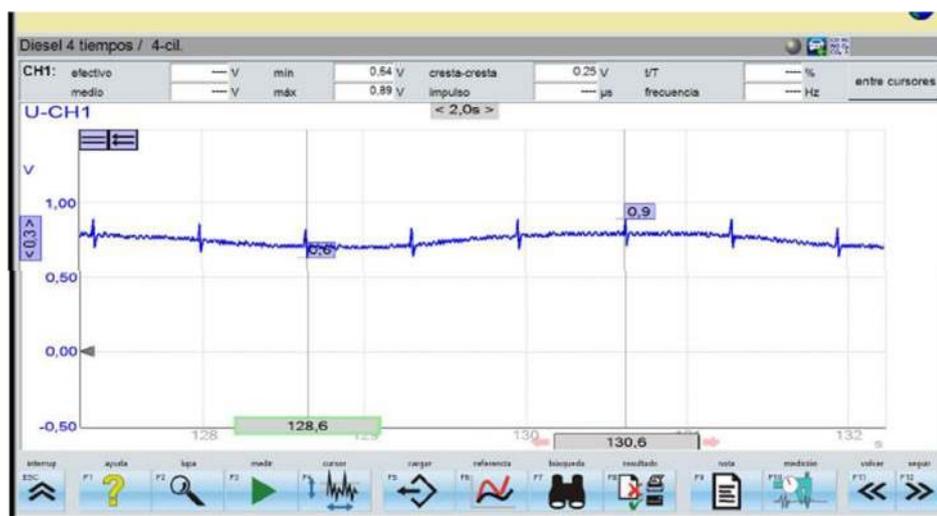
Realizando la prueba siguiendo los pasos del apartado 2.2.6.1 se obtienen los resultados expuestos en la figura 3.7 y 3.8 en donde se observa la forma de onda en ralentí del sensor de oxígeno pre y post catalizador respectivamente, usando gasolina extra.

- El sensor pre catalizador trabaja en un intervalo de 0.15 V a 0.99 V, manteniendo el voltaje del pico superior el doble de tiempo que el voltaje inferior, es decir, la mezcla aire combustible se mantiene por mayor tiempo cerca de la relación ideal, pasando a ser pobre en pequeños intervalos de tiempo de aproximadamente 1 segundo.



**Figura 3.6** Oscilograma del sensor de oxígeno pre catalizador

- El sensor post catalizador presenta menos variaciones en su forma de onda, la amplitud de onda se encuentra en el intervalo de 0.54 V a 0.99 V, las crestas y picos de onda permanecen por más tiempo en la parte alta con voltajes cercanos a 1 V, lo que se traduce a una combustión y tratamiento de gases eficaces, ya que la mezcla no refleja en ningún momento voltajes cercanos a 0 V que sugieren un exceso de combustible no quemado a la salida de los gases de escape.



**Figura 3.7** Oscilograma del sensor de oxígeno post catalizador

En la figura 3.9 se observa los datos obtenidos acerca del ajuste de combustible y el factor integrador lambda obtenidos juntamente con el oscilograma del sensor de oxígeno.

- Tenemos un factor de integrador lambda de 4.7%, lo que se traduce en un enriquecimiento de la mezcla para mantener el ralentí.
- La tensión de trabajo del sensor pre catalizador es de 0.890 V que indica una mezcla rica.

Unidad control	Valor real	Valor	Unidad	PID
<input checked="" type="checkbox"/> ECM1	Adaptación Lambda (bancada 1 - sensor 2)	-3.9	%	56
<input checked="" type="checkbox"/> ECM1	Califac. sondas Lambda apta servicio	Sí		01
<input checked="" type="checkbox"/> ECM1	Califacción sondas Lambda finalizada	Sí		41
<input checked="" type="checkbox"/> ECM1	Catalizador apto para el servicio	Sí		01
<input checked="" type="checkbox"/> ECM1	Catalizador finalizado	No		41
<input checked="" type="checkbox"/> ECM1	Integrador Lambda (línea1 - sensor 1)	4.7	%	14
<input checked="" type="checkbox"/> ECM1	Integrador Lambda (línea1 - sensor 2)	99.2	%	15
<input checked="" type="checkbox"/> ECM1	Integrador Lambda línea 1	0.0	%	00
<input checked="" type="checkbox"/> ECM1	Sonda Lambda (bancada 1, sensor 1): Tensión	0.890	V	14
<input checked="" type="checkbox"/> ECM1	Sonda Lambda (bancada 1, sensor 2): Tensión	0.890	V	15
<input checked="" type="checkbox"/> ECM1	Sonda Lambda apta para el servicio	Sí		01
<input checked="" type="checkbox"/> ECM1	Sonda Lambda finalizada	No		41
<input checked="" type="checkbox"/> ECM1	Temperatura catalizador (banco 1 - sensor 1)	444.5	°C	3C

**Figura 3.8** Datos obtenidos en ESI tronic a 700 rpm

En la tabla 3.1 se resume el oscilograma de los sensores pre catalizador y post catalizador en la prueba realizada con gasolina extra a ralentí, indicando que el sensor pre catalizador funciona en un rango de entre 0.15 V a 0.99 V indicando que se encuentra dentro de los parámetros de funcionamiento, asimismo en función del tiempo, se denota que existe un enriquecimiento de la mezcla puesto que la mayor parte del tiempo la onda se encuentra en la cresta superior. El rango de funcionamiento del sensor post catalizador es de entre 0.54 V a 0.99 V lo cual indica una menor diferencia entre sus crestas, lo que sugiere que el catalizador se encuentra funcionando correctamente, sin embargo, el rango de voltajes indica un mal tratamiento de los gases de escape por parte del convertidor catalítico, manteniendo una onda más cercana a una línea recta.

**Tabla 3.1** Resumen prueba a ralentí con gasolina extra

	Extra	
	Pre catalizador	Post catalizador
	Voltajes de onda	
Ralentí	0,15 V - 0,99 V	0,54 V - 0,99 V

En la tabla 3.2 se resume el ajuste de combustible con gasolina extra a ralentí, en la cual se encuentra el valor integrador lambda igual a 4.70% lo que indica un enriquecimiento de la mezcla para mantener una marcha estable. La tensión del sensor pre catalizador que indica un valor de 0.890 V lo que indica lo anteriormente mencionado, un enriquecimiento de la mezcla. El valor de tensión del sensor post catalizador es de 0.830 V.

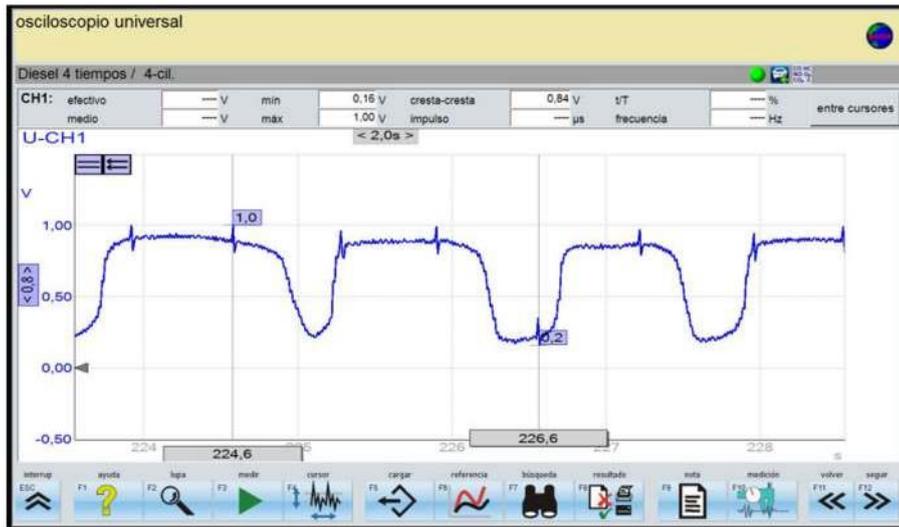
**Tabla 3.2** Resumen ajustes de combustible a ralentí extra

Extra	
Valor integrador lambda	4,70%
Tensión sensor pre catalizador	0,890 V
Tensión sensor post catalizador	0,830 V

### **Prueba a 2500 rpm**

Realizando la prueba siguiendo los pasos del apartado 2.2.6.2. se obtienen los resultados expuestos en las figuras 3.10 y 3.11 del sensor de oxígeno pre y post catalizador respectivamente a 2500 rpm.

En la figura 3.10 se observa que la amplitud de la onda se encuentra entre 0.16 V y 1.00 V, el voltaje se mantiene por aproximadamente 2 segundos en 1 V con mínimas variaciones, que se traducen en pequeños ajustes de combustible casi imperceptibles, por otro lado el voltaje de pico inferior se mantiene por un tiempo de aproximadamente 1 segundo, es decir, el sensor de oxígeno mide en la mayoría de tiempo una mezcla rica de combustible, esto debido a la carga de aceleración a la que el motor está sometido.



**Figura 3.9** Oscilograma sensor pre catalizador a 2500 rpm

En la figura 3.11 se aprecia que el sensor post catalizador se encuentra trabajando en un intervalo de 0.66 V a 0.94V, en este punto la diferencia de voltajes entre cresta y cresta se reduce y es de 0.28V, las variaciones comienzan a disminuir y la forma de onda tiende a aplanarse indicando una buena calidad en la combustión y tratamiento de gases de escape.



**Figura 3.10** Oscilograma sensor post catalizador a 2500 rpm

En la figura 3.12 se observa los datos obtenidos acerca del ajuste de combustible y el factor integrador lambda obtenidos juntamente con el oscilograma del sensor de oxígeno, se logró apreciar una adaptación de combustible de -0.8%, es decir, la ECU recomienda empobrecer la mezcla en función de los datos del sensor de oxígeno, además el integrador de la sonda

lambda post catalizador indica el complemento de la información proporcionada por la sonda pre catalizador para facilitar el tiempo de reacción en los ajustes de combustible.

Unidad control	Valor real	Valor	Unidad	PID
<input checked="" type="checkbox"/> ECM1	Adeptación Lambda (bancada 1 - sensor 2)	-3.9	%	56
<input checked="" type="checkbox"/> ECM1	Calefac. sondas Lambda apta servicio	Si		01
<input checked="" type="checkbox"/> ECM1	Calefacción sondas Lambda finalizada	Si		41
<input checked="" type="checkbox"/> ECM1	Catalizador apto para el servicio	Si		01
<input checked="" type="checkbox"/> ECM1	Catalizador finalizado	No		41
<input checked="" type="checkbox"/> ECM1	Integrador Lambda (linea1 - sensor1)	-0.8	%	14
<input checked="" type="checkbox"/> ECM1	Integrador Lambda (linea1 - sensor2)	99.2	%	15
<input checked="" type="checkbox"/> ECM1	Integrador Lambda linea 1	0.0	%	00
<input checked="" type="checkbox"/> ECM1	Número de revoluciones del motor	2534	1/min	0C
<input checked="" type="checkbox"/> ECM1	Sonda Lambda (bancada 1, sensor 1): Tensión	0.800	V	14
<input checked="" type="checkbox"/> ECM1	Sonda Lambda (bancada 1, sensor 2): Tensión	0.810	V	15
<input checked="" type="checkbox"/> ECM1	Sonda Lambda apta para el servicio	Si		01
<input checked="" type="checkbox"/> ECM1	Sonda Lambda finalizada	No		41
<input checked="" type="checkbox"/> ECM1	Temperatura catalizador (banco 1 - sensor 1)	485.5	°C	3C

**Figura 3.11** Datos obtenidos de ESI tronic a 2500 rpm

En la tabla 3.3 se muestra a manera de resumen los aspectos correspondientes al funcionamiento de los sensores pre catalizador y post catalizador, los cuales trabajan en un rango de 0.16 V a 1.00 V y de 0.66 V a 0.94 V respectivamente, el primer valor indicando una amplia diferencia de picos, sin embargo, se dan en un menor tiempo, es decir que aumenta la frecuencia de onda lo cual indica que censa en menor tiempo y realiza las correcciones correspondientes para mantener una mezcla ideal.

**Tabla 3.3** Resumen prueba a 2500 rpm con gasolina extra

	Extra	
	Pre catalizador	Post catalizador
	Voltajes de onda	
2500 rpm	0,16 V – 1,00 V	0,66 V – 0,94 V

La tabla 3.4 indica el resumen del ajuste de combustible de los sensores, indicando un ajuste de -0.8% en el valor integrador lambda, que se traduce en un empobrecimiento de mezcla para mantener al motor estable y con un voltaje de 0.800 V en el sensor pre catalizador lo cual se encuentra dentro de los parámetros e indica un relativo valor de tensión menor a la prueba en ralentí, indicando que se mantiene censando, pero necesita menos combustible

para mantener la marcha estable en el motor. Asimismo, la tensión del sensor pre catalizador es relativamente menor con un valor de 0.810 V.

**Tabla 3.4** Resumen ajuste de combustible 2500 rpm extra

Extra	
Valor integrador lambda	-0,80%
Tensión sensor pre catalizador	0,800 V
Tensión sensor post catalizador	0,810 V

### 3.2.2. Emisión de gases contaminantes

Se realiza una prueba de emisiones y se comprueba el factor de aire-combustible también llamado AFR o factor lambda  $\lambda$  de acuerdo con lo expuesto en el apartado 2.2.7.2.

En la figura 3.13 y 3.14 se observa los niveles de hidrocarburos, óxidos de carbono y nivel de oxígeno a la salida del tubo de escape a 700 rpm y 2500 rpm respectivamente, cabe recalcar que el motor se encuentra en temperatura ideal de funcionamiento de 90 °C.

A ralentí con temperatura de 90.1 °C se observa: un factor lambda de  $\lambda=0.997$  lo que representa una buena combustión y cercana a una ideal de  $\lambda=1$ , el monóxido de carbono presenta una concentración de 0.76%, el dióxido de carbono es de 14.2%, los hidrocarburos no quemados presentan 273 ppm y la concentración de oxígeno es de 0.73%.

Si contrastamos estos parámetros con los establecidos en la normativa INEN 2204 notamos que el nivel de HC son elevados y fuera de los límites establecidos a pesar de tener una buena combustión.

**Prueba: escape/gasolin**  
**escape/gasolin**  
**cilindro(s) 1**

Resultado	Unidad	Min.	Máx.	Medido
número revoluciones	1/min	----	----	350
temperatura aceite	°C	----	----	90.1
CO	%vol	----	----	0.76
CO2	%vol	----	----	14.2
HC	ppm vol	----	----	273
O2	%vol	----	----	0.73
Lambda		----	----	0.997
NO	ppm vol	----	----	----

**Figura 3.12** emisiones contaminantes en ralentí

A 2500 rpm la concentración de oxígeno se mantiene, los niveles de monóxido de carbono e hidrocarburos no quemados aumentan a 1.09 % y 318 partes por millón respectivamente, además el CO<sub>2</sub> se reduce a 14.11% y el factor lambda se aleja de la mezcla ideal siendo de 0.986, por lo tanto, al aumentar la carga del motor y acelerar las revoluciones el nivel de emisiones contaminantes aumenta siendo más perjudicial para el medio ambiente.

**Prueba: escape/gasolin**

**escape/gasolin**

**cilindro(s) 1**

Resultado	Unidad	Mín.	Máx.	Medido
número revoluciones	1/min	----	----	1280
temperatura aceite	°C	----	----	91
CO	%vol	----	----	1.09
CO <sub>2</sub>	%vol	----	----	14,11
HC	ppm vol	----	----	318
O <sub>2</sub>	%vol	----	----	0.73
Lambda		----	----	0.986
NO	ppm vol	----	----	----

*Figura 3.13 emisiones contaminantes a 2500 rpm*

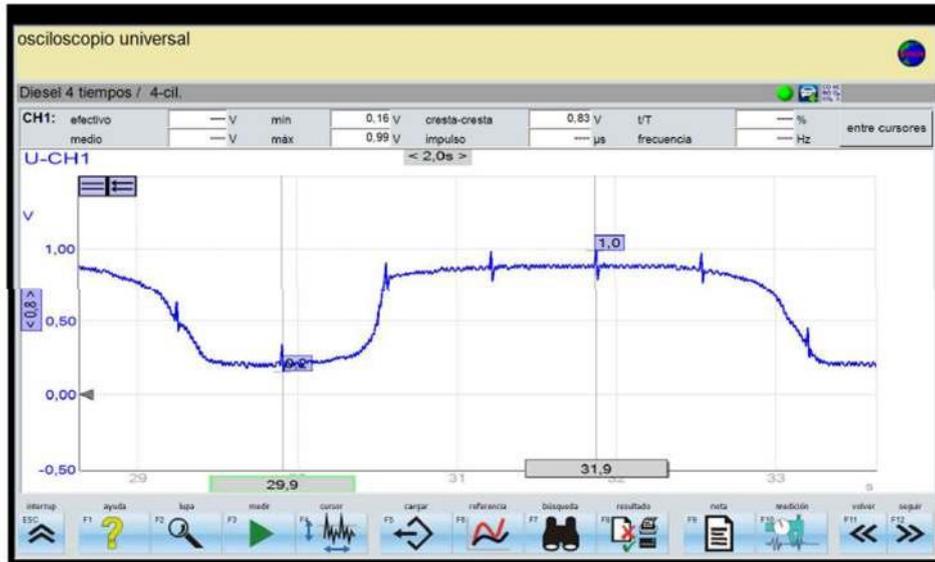
### 3.3. Pruebas con gasolina super

#### 3.3.1. Curva característica del sensor de oxígeno y ajustes de combustible

##### Prueba a ralentí

Realizando la prueba siguiendo los pasos del apartado 2.2.10.1. se obtienen los resultados expuestos en la figura 3.15 y 3.16 se observa la forma de onda en ralentí del sensor de oxígeno pre y post catalizador respectivamente, usando gasolina super.

El sensor pre catalizador trabaja en un intervalo de 0.16 V a 0.99 V, al mantenerse la onda en el pico superior de voltaje la mezcla es rica en la mayoría del tiempo, presentando varias fluctuaciones que representan enriquecimiento de la mezcla para mantener la marcha mínima.



*Figura 3.14 Oscilograma del sensor de oxígeno pre catalizador*

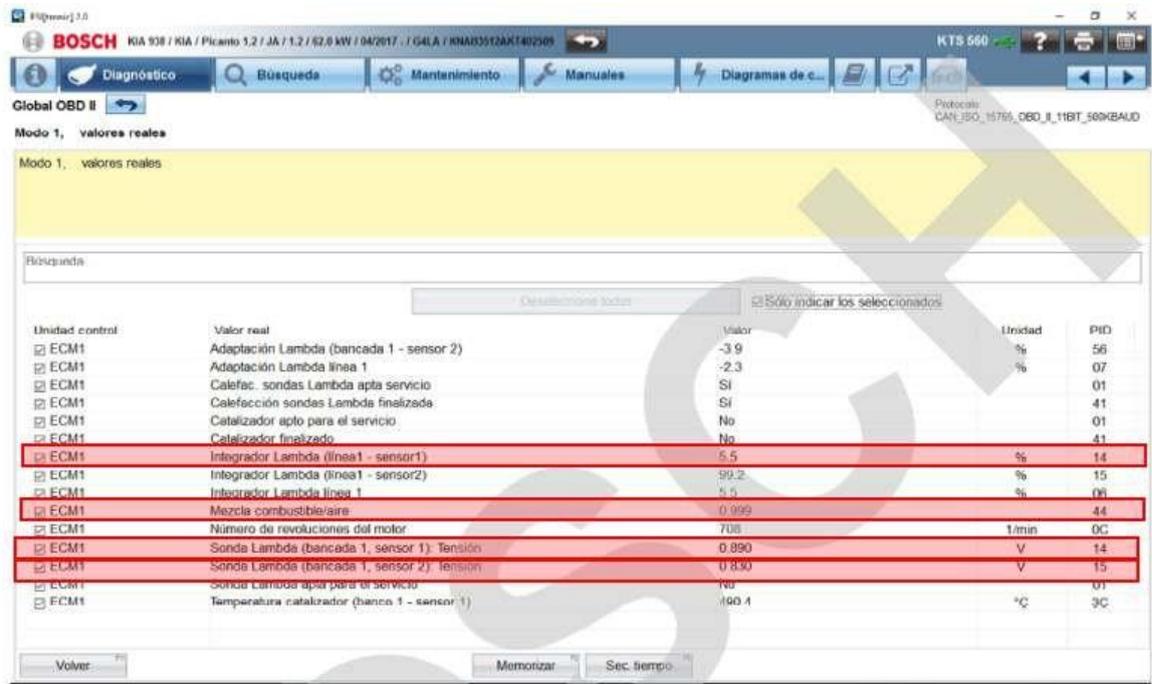
El sensor post catalizador presenta menos variaciones en su forma de onda, su voltaje de trabajo está en el intervalo de 0,56 V a 0,94 V, es decir, la combustión se está dando de manera eficaz, la tensión de trabajo no refleja en ningún momento voltajes cercanos a 0 V que sugieren un exceso de combustible no quemado a la salida de los gases de escape. Además, los picos y el voltaje referencial permanecen cercano a 1 V en la mayoría de tiempo.



*Figura 3.15 Oscilograma del sensor de oxígeno post catalizador*

En la figura 3.17 se observa los datos obtenidos acerca del ajuste de combustible y el factor integrador lambda obtenidos juntamente con el oscilograma del sensor de oxígeno.

- Se observa un factor de integrador lambda de 5.5%, lo que se traduce en un enriquecimiento de la mezcla para mantener el ralentí.
- Se observa un factor lambda de 0.999, en ese momento la combustión es casi ideal, información que es corroborada con el sensor pre catalizador que presenta una tensión de 0.890 V que indica una mezcla ligeramente rica.



**Figura 3.16** Datos obtenidos en ESI tronic

La tabla 3.5 muestra el resumen de la prueba a ralentí con gasolina super de los sensores pre catalizador, con un rango de valores de onda de 0.16 V a 0.99 V manteniéndose la mayor parte del ciclo en la cresta superior indicando un enriquecimiento de mezcla necesario para mantener el motor en una marcha constante; y post catalizador, con un rango de 0.56 V a 0.94 V indicando un correcto funcionamiento del catalizador puesto que la curva se asemeja a una línea recta.

**Tabla 3.5** Resumen prueba a ralentí con gasolina super

	Super	
	Pre catalizador	Post catalizador
	Voltajes de onda	
Ralentí	0,16 V - 0,99 V	0,56 V - 0,94 V

La tabla 3.6 muestra el resumen del ajuste de combustible a ralentí cuando se utiliza gasolina super, dando como dato de valor integrador lambda 5.50% indicando un enriquecimiento de mezcla para mantener una marcha estable y se percibe menor vibración en el motor. La tensión del sensor pre catalizador corresponde al valor de 0.890 V indicando el enriquecimiento de la mezcla y el valor de tensión del sensor post catalizador de 0.830 V indica un correcto funcionamiento del catalizador.

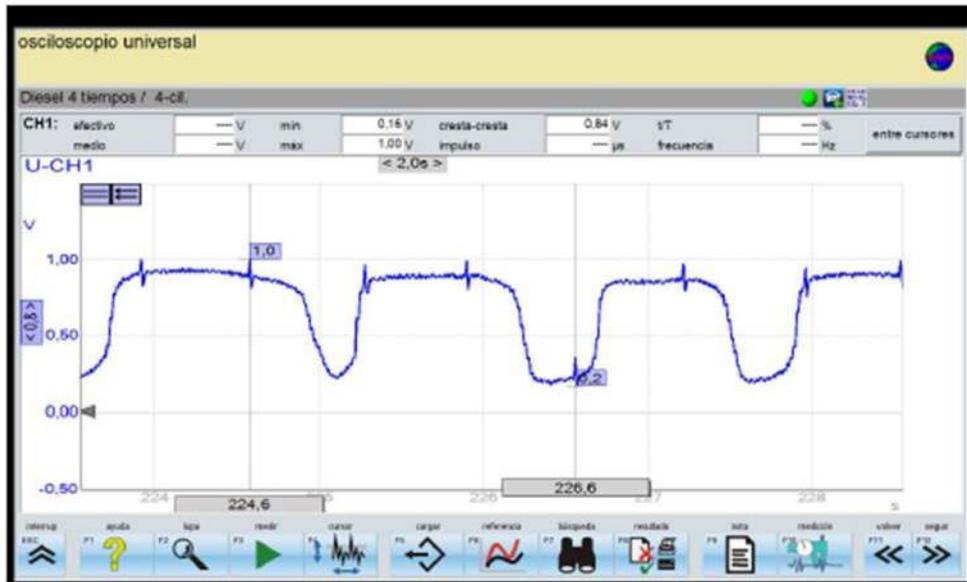
**Tabla 3.6** Resumen ajuste de combustible ralentí super

Super	
Valor integrador lambda	5,50%
Tensión sensor pre catalizador	0,890 V
Tensión sensor post catalizador	0,830 V

### **Prueba a 2500 rpm**

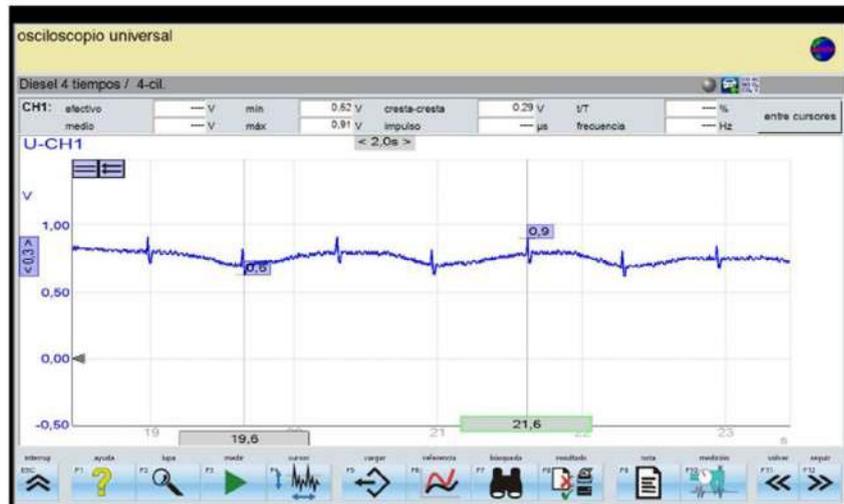
Realizando la prueba siguiendo los pasos del apartado 2.2.10.2. se obtienen los resultados expuestos en la figura 3.18 y 3.19 se observa el oscilograma de la sonda lambda pre y post catalizador respectivamente, en la figura 3.20 se encuentran los datos obtenidos de los ajustes de combustible y la adaptación de la sonda a 2500 rpm utilizando gasolina super.

El sensor pre catalizador se encuentra trabajando en intervalos de 0.16 V a 1 V aproximadamente en un periodo de aproximadamente 2.5 segundos de los cuales la mayor parte del tiempo: 2 segundos aproximadamente. La tensión permanece en el pico alto debido a la carga por aceleración que se está generando ya el motor necesita más combustible para cumplir con estos requerimientos.



**Figura 3.17** Oscilograma del sensor de oxígeno pre catalizador

El sensor post catalizador se encuentra trabajando en un intervalo de 0.62 V a 0.91V, en este punto la diferencia de voltajes entre cresta y cresta de la forma de onda se reduce y es de 0.29V, las variaciones comienzan a disminuir y la forma de onda tiende a aplanarse indicando una buena calidad en la combustión y tratamiento de gases de escape.



**Figura 3.18** Oscilograma del sensor de oxígeno post catalizador

En la figura 3.20 se verifica el correcto funcionamiento de la sonda lambda pre catalizador mediante la lectura del flujo de datos de esta, se logró apreciar una adaptación de combustible de -0.0%, en este momento la ECU no recomienda modificar la mezcla aire combustible en

función de los datos del sensor de oxígeno ya que el factor lambda de 0.999 representa una combustión lo más aproximada a la ideal. Además, se logra apreciar una reducción de la tensión de trabajo de la sonda al aumentar las revoluciones desde el ralentí, por lo que a 2500 rpm se necesita menos combustible para mantener la marcha.

Unidad control	Valor real	Valor	Unidad	PiF
ECM1	Adaptación Lambda (banca 1 - sensor 2)	-3.9	%	56
ECM1	Adaptación Lambda línea 1	0.0	%	07
ECM1	Calefac. sondas Lambda apta servicio	Si		01
ECM1	Calefacción sondas Lambda finalizada	Si		41
ECM1	Catalizador apto para el servicio	No		01
ECM1	Catalizador finalizado	No		41
ECM1	Integrador Lambda (línea1 - sensor1)	-0.8	%	14
ECM1	Integrador Lambda (línea1 - sensor2)	99.2	%	15
ECM1	Integrador Lambda línea 1	-0.8	%	06
ECM1	Mezcla combústionaria	0.999		44
ECM1	Número de revoluciones del motor	2563	1/min	0C
ECM1	Sonda Lambda (banca 1 - sensor 1) - tensión	0.755	V	14
ECM1	Sonda Lambda (banca 1 - sensor 2) - tensión	0.725	V	15
ECM1	Sonda Lambda apta para el servicio	No		01
ECM1	Temperatura catalizador (banco 1 - sensor 1)	508.0	°C	3C

**Figura 3.19** Datos obtenidos de ESI tronic a 2500 rpm

En la tabla 3.7 se encuentran los datos correspondientes a la prueba realizada con gasolina super a un régimen de 2500 rpm, indicando un rango de voltaje de onda en el sensor pre catalizador de entre 0.16 V y 1.00 V, sin embargo, la cresta superior e inferior se asemejan, lo cual traduce en que no existe un enriquecimiento ni empobrecimiento de mezcla. De igual manera el voltaje del sensor post catalizador tiene un rango de funcionamiento de 0.62 V a 0.91 V indicando un menor recorrido de la onda, pero con mayor frecuencia.

**Tabla 3.7** Resumen prueba a 2500 rpm con gasolina super

	Super	
	Pre catalizador	Post catalizador
	Voltajes de onda	
2500 rpm	0,16 V - 1,00 V	0,62 V - 0,91 V

La tabla 3.8 muestra el resumen del ajuste de combustible en la prueba realizada a 2500 rpm con gasolina super, mostrando lo anteriormente mencionado, el valor integrador lambda corresponde a 0.00% lo que dice que la mezcla es estequiométrica o ideal, la tensión del sensor pre catalizador tiene un valor de 0.755 V indicando una menor cantidad de consumo de combustible y el valor de tensión del sensor post catalizador indica un voltaje de 0.725 V que se traduce en un mejor tratamiento de gases por parte del convertidor catalítico.

**Tabla 3.8** resumen ajuste de combustible 2500 rpm super

Super	
Valor integrador lambda	0,00%
Tensión sensor pre catalizador	0,755 V
Tensión sensor post catalizador	0,725 V

### 3.3.2. Emisión de gases contaminantes

Se realiza una prueba de emisiones y se comprueba el factor de aire-combustible también llamado AFR o factor lambda  $\lambda$  de acuerdo con lo expuesto en el apartado 2.2.7.2.

En la figura 3.21 y 3.22 se observa los niveles de hidrocarburos, óxidos de carbono y nivel de oxígeno a la salida del tubo de escape a 700 rpm y 2500 rpm respectivamente, cabe recalcar que el motor se encuentra en temperatura ideal de funcionamiento de 90 °C.

En ralentí se observa: un factor lambda de 1.005 muy cercano a 1 al igual que con gasolina extra, sin embargo, es una mezcla ligeramente pobre con una concentración de oxígeno de 0,87%, niveles de monóxido de carbono de 0.71%, una concentración de hidrocarburos no quemados de 279 ppm y 14,12% de dióxido de carbono.

**Prueba: escape/gasolin**  
**escape/gasolin**  
**cilindro(s) 1**

Resultado	Unidad	Min.	Máx.	Medido
número revoluciones	1/min	----	----	350
temperatura aceite	°C	----	----	89,5
CO	%vol	----	----	0,71
CO2	%vol	----	----	14,12
HC	ppm vol	----	----	279
O2	%vol	----	----	0,87
Lambda		----	----	1,005
NO	ppm vol	----	----	----

**Figura 3.20** emisiones contaminantes en ralentí

A 2500 rpm en la figura 3.22 se observa un factor lambda de 0.991, el vehículo comienza a trabajar en mezcla rica y se aleja de tener una combustión ideal, por lo tanto, como se observa los niveles de hidrocarburos no quemados HC y la concentración de CO aumentan, mientras que los niveles de CO2 y la concentración de oxígeno se ve reducida considerablemente.

**Prueba: escape/gasolin**

**escape/gasolin**

cilindro(s) 1

Resultado	Unidad	Min.	Máx.	Medido
número revoluciones	1/min	----	----	1340
temperatura aceite	°C	----	----	91.4
CO	%vol	----	----	0.96
CO2	%vol	----	----	13.97
HC	ppm vol	----	----	206
O2	%vol	----	----	0.65
Lambda		----	----	0.991
NO	ppm vol	----	----	----

*Figura 3.21 emisiones contaminantes a 2500 rpm*

### 3.4. Pruebas con fallos en la combustión

Para el análisis de los fallos en la combustión, se generó anomalías en el sistema de alimentación de combustible y en el sistema de encendido modificando la lectura del flujo de entrada de aire manipulando el sensor MAF y mangueras de vacío, alterando la continuidad del circuito de encendido, desconectando bobinas, y suspendiendo el pulso de inyección en ciertos cilindros de manera controlada, a continuación, se muestra la forma de onda del sensor de oxígeno para cada caso.

#### 3.4.1. Prueba 1: Fallo en el encendido

Para la primera prueba de fallos se hizo funcionar al automóvil de acuerdo con lo expuesto en el apartado 2.2.8.1. se observó cascabeleo y pérdida de potencia en el motor y se analizó la forma de onda de los sensores pre y post catalizador a ralentí y 2500 rpm.

A continuación, en la tabla 3.9 se presentan las formas de onda y los datos obtenidos sobre la sonda lambda mientras el motor funciona con la falla de encendido, la prueba se realiza utilizando los 2 tipos de combustible (extra y super).

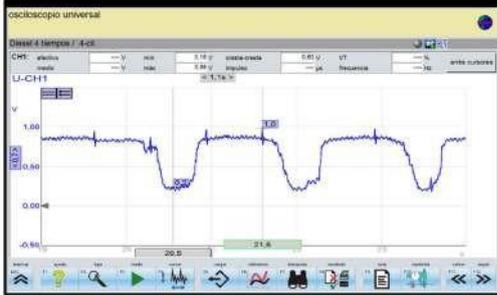
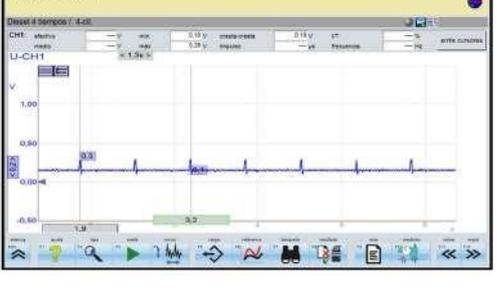
Con gasolina extra:

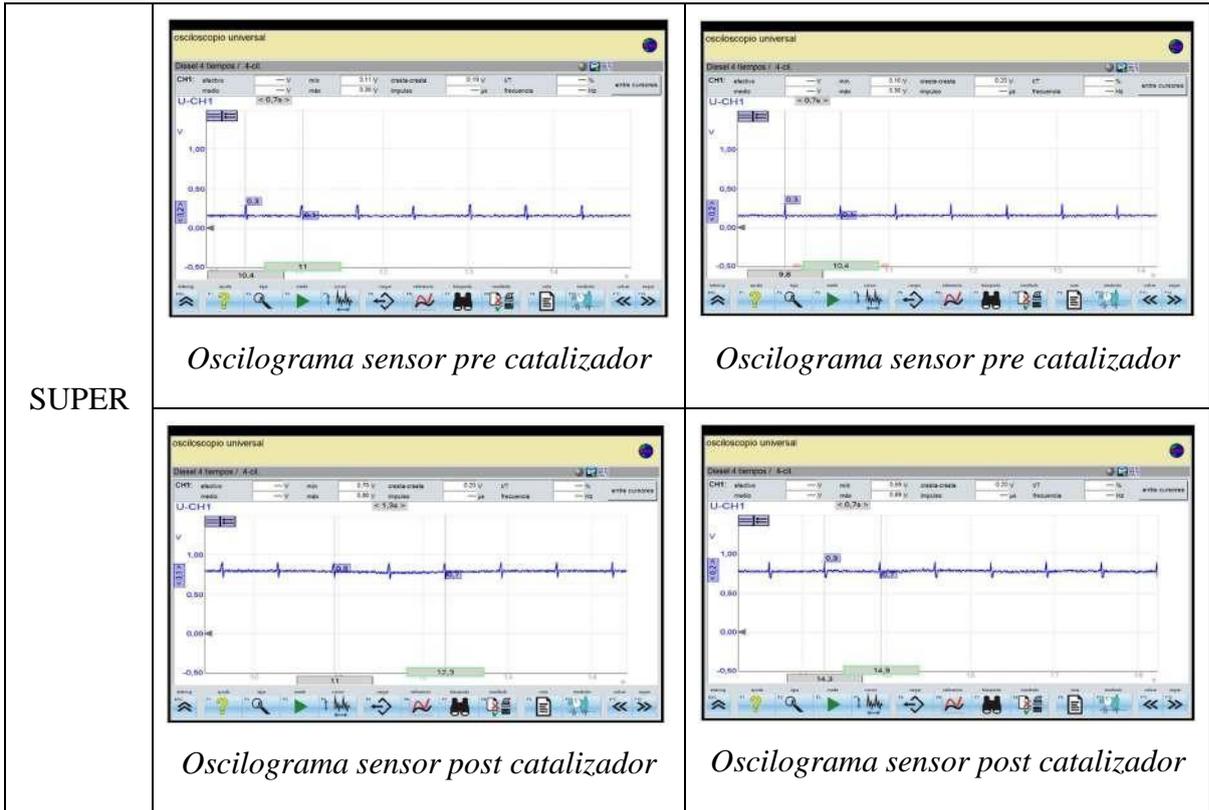
- El sensor pre catalizador sigue funcionando, la forma de onda tiene sus curvas características y varía en frecuencia y voltaje al acelerar a 2500 rpm desde el ralentí.
- El sensor post catalizador se encuentra trabajando con un voltaje promedio de 1V con fluctuaciones entre 0.82V y 1.02 V cuando el motor se encuentra a ralentí, al acelerar a 2500 rpm la forma de onda cambia su amplitud y la señal se encuentra en el intervalo de 0.1V a 0.3V.

Con gasolina super:

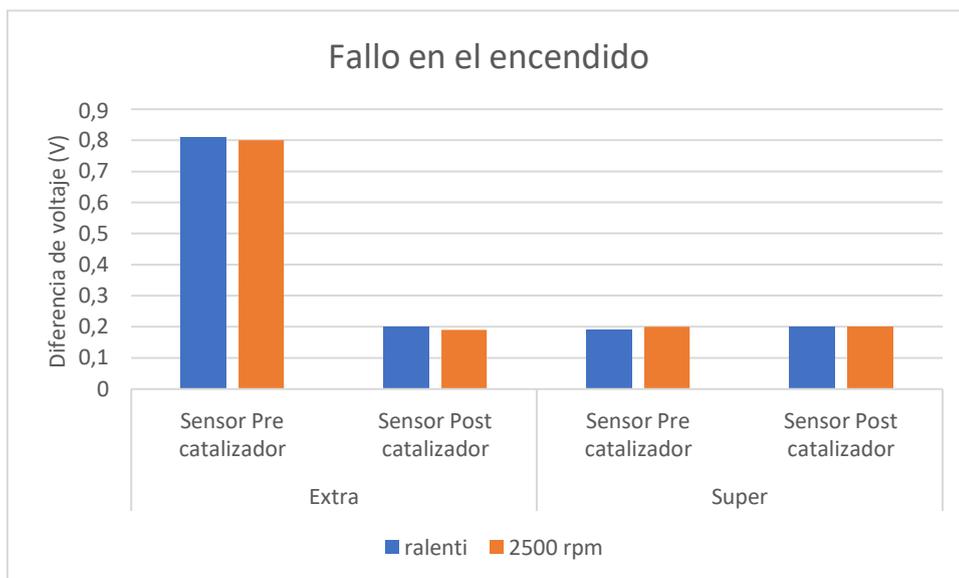
- El sensor pre catalizador no genera la forma de onda característica, el intervalo de voltaje se mantiene entre 0.10V a 0.30V, en una señal casi plana con pequeñas fluctuaciones a 700 y 2500 rpm, esto nos indica que el sensor lee mezcla pobre en el escape.
- El sensor post catalizador está funcionando casi de manera plana con un voltaje de 0.8V aproximadamente con fluctuaciones de +/- 0.1V a 700 y 2500 rpm.

**Tabla 3.9** oscilogramas del sensor de oxígeno con falla de encendido

DTC P0301	RALENTI 700 RPM	2500 RPM
EXTRA	 <p><i>Oscilograma sensor pre catalizador</i></p>	 <p><i>Oscilograma sensor pre catalizador</i></p>
	 <p><i>Oscilograma sensor post catalizador</i></p>	 <p><i>Oscilograma sensor post catalizador</i></p>



Se obtuvo el flujo de datos a ralenti ya que la ECU al detectar un fallo en el encendido de la mezcla entra en modo protección, intenta estabilizar la marcha a bajas revoluciones y la perdida de potencia no permite forzar el automóvil acelerando.



**Figura 3.22** Variación de tensiones en el fallo en el encendido

En la figura 3.24 y 3.25 se observa los voltajes de funcionamiento de las sondas pre y post catalizador a 700 rpm.

En el caso de la gasolina extra se aprecia un factor lambda de 1.402 lo que sugiere una mezcla extremadamente pobre, sin embargo, no existen ajustes de combustible comandados por la ECU. Con gasolina super el integrador lambda sugiere un enriquecimiento de la mezcla de 5.5%, sin embargo, la ECU no toma en cuenta estos ajustes.

Unidad control	Valor real	Valor	Unidad	PID
<input checked="" type="checkbox"/> ECM1	Adeptación Lambda (bancada 1 - sensor 2)	-3.9	%	56
<input checked="" type="checkbox"/> ECM1	Calefac. sondas Lambda apta servicio	Sí		01
<input checked="" type="checkbox"/> ECM1	Calefacción sondas Lambda finalizada	Sí		41
<input checked="" type="checkbox"/> ECM1	Catalizador apto para el servicio	Sí		01
<input checked="" type="checkbox"/> ECM1	Catalizador finalizado	No		41
<input checked="" type="checkbox"/> ECM1	Integrador Lambda (línea1 - sensor1)	3.1	%	14
<input checked="" type="checkbox"/> ECM1	Integrador Lambda (línea1 - sensor2)	99.2	%	15
<input checked="" type="checkbox"/> ECM1	Integrador Lambda línea 1	0.1	%	00
<input checked="" type="checkbox"/> ECM1	Número de revoluciones del motor	690	1/min	0C
<input checked="" type="checkbox"/> ECM1	Sonda Lambda (bancada 1, sensor 1): Tensión	0.850	V	14
<input checked="" type="checkbox"/> ECM1	Sonda Lambda (bancada 1, sensor 2): Tensión	0.835	V	15
<input checked="" type="checkbox"/> ECM1	Sonda Lambda apta para el servicio	Sí		01
<input checked="" type="checkbox"/> ECM1	Sonda Lambda finalizada	No		41
<input checked="" type="checkbox"/> ECM1	Temperatura catalizador (banco 1 - sensor: 1)	495.9	°C	3C

**Figura 3.23** Datos obtenidos en ESI tronic con gasolina extra a 700 rpm

Unidad control	Valor real	Unidad	PID
<input checked="" type="checkbox"/> ECM1	Adaptación Lambda (bancada 1 - sensor 2)	-3.9	% 56
<input checked="" type="checkbox"/> ECM1	Adaptación Lambda línea 1	0.0	% 07
<input checked="" type="checkbox"/> ECM1	Calefac. sondas Lambda apta servicio	SI	01
<input checked="" type="checkbox"/> ECM1	Calefacción sondas Lambda finalizada	SI	41
<input checked="" type="checkbox"/> ECM1	Catalizador apto para el servicio	No	01
<input checked="" type="checkbox"/> ECM1	Catalizador finalizado	No	41
<input checked="" type="checkbox"/> ECM1	Integrador Lambda (línea1 - sensor1)	1.6	% 14
<input checked="" type="checkbox"/> ECM1	Integrador Lambda (línea1 - sensor2)	99.2	% 15
<input checked="" type="checkbox"/> ECM1	Integrador Lambda línea 1	5.5	% 06
<input checked="" type="checkbox"/> ECM1	Mezcla combustible/aire	0.999	44
<input checked="" type="checkbox"/> ECM1	Número de revoluciones del motor	691	1/min 0C
<input checked="" type="checkbox"/> ECM1	Sonda Lambda (bancada 1, sensor 1): Tensión	0.260	V 14
<input checked="" type="checkbox"/> ECM1	Sonda Lambda (bancada 1, sensor 2): Tensión	0.800	V 15
<input checked="" type="checkbox"/> ECM1	Sonda Lambda apta para el servicio	No	01
<input checked="" type="checkbox"/> ECM1	Temperatura catalizador (banco 1 - sensor 1)	523.4	°C 3C

*Figura 3.24 Datos obtenidos en ESI tronic con gasolina super a 700 rpm*

### 3.4.2. Prueba 2: Fallo de inyección

Para la segunda prueba de fallos se hizo funcionar al automóvil de acuerdo con lo expuesto en el apartado 2.2.8.2, se observó cascabeleo y pérdida de potencia en el motor y se analizó la forma de onda de los sensores pre y post catalizador a ralentí y 2500 rpm.

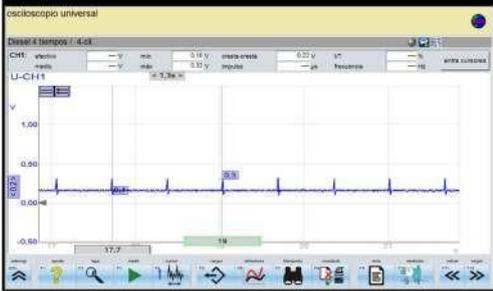
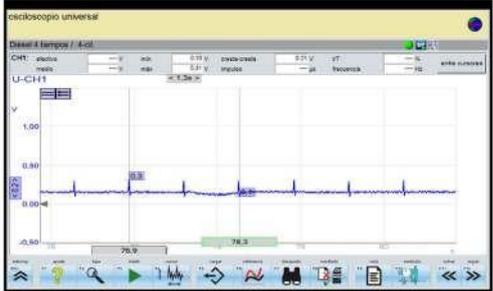
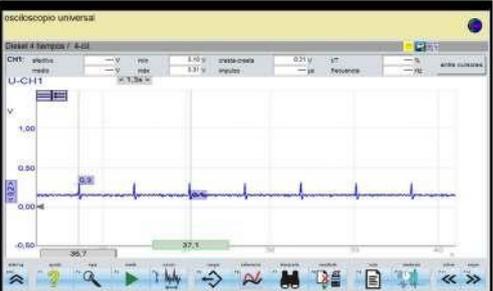
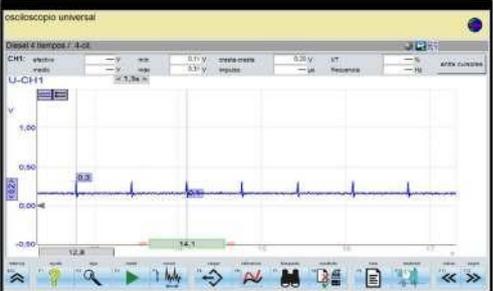
A continuación, en la tabla 3.10 se presentan las formas de onda y los datos obtenidos sobre la sonda lambda mientras el motor funciona con la falla de inyección de combustible, la prueba se realiza utilizando los 2 tipos de combustible (extra y super).

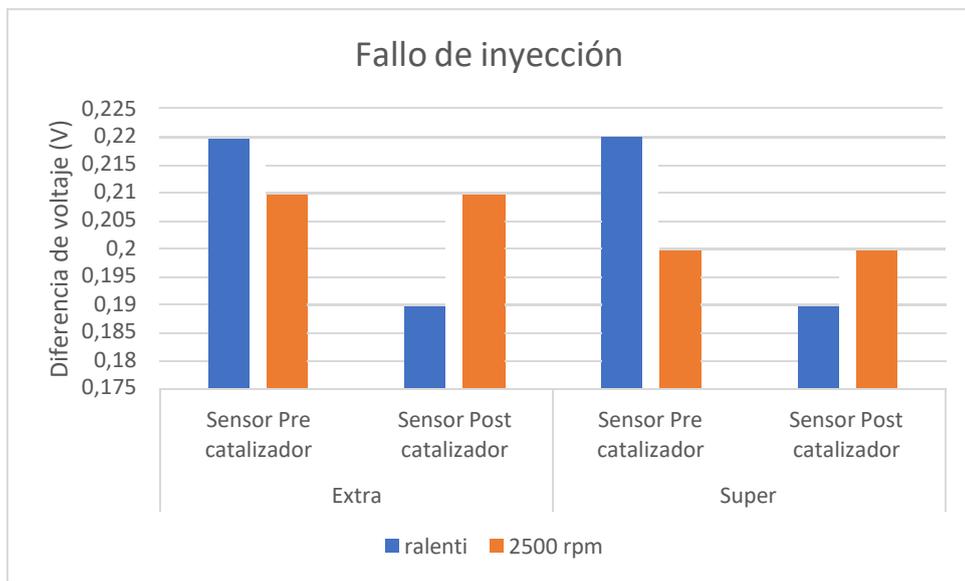
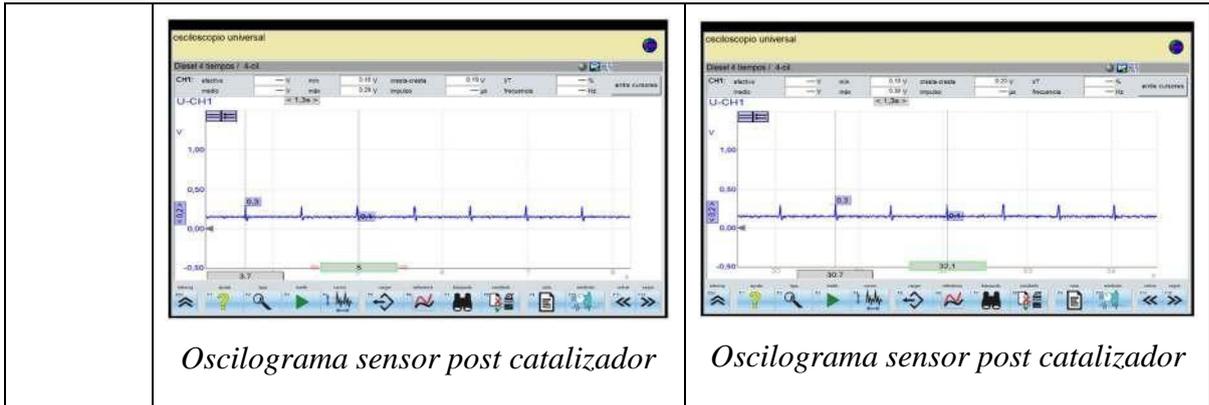
Con gasolina extra y gasolina super:

- La forma de onda a 700 y 2500 rpm es casi idéntica, el fallo producido por un inyector que no recibe pulso de inyección resulta en una señal de la sonda lambda de mezcla extremadamente pobre la cual presenta pequeñas fluctuaciones con un voltaje de funcionamiento entre 0.1V a 0.32V.
- La forma de onda del sensor post catalizador es similar a la anterior, presenta fluctuaciones de entre 0.1V a 0.29V aproximadamente, al tener señales idénticas a ralentí y 2500 rpm se asume que el sensor no se encuentra trabajando y la lectura no es tomada en cuenta por la ECU para realizar los ajustes de combustible.

Se obtuvo el flujo de datos a ralentí ya que la ECU al detectar un fallo en la inyección de la mezcla entra en modo protección, intenta estabilizar la marcha mínima modificando el tiempo de inyección sin tomar en cuenta la lectura hecha por la sonda lambda.

**Tabla 3.10** oscilogramas del sensor de oxígeno con falla de inyección

DTC P0201	RALENTI 700 RPM	2500 RPM
EXTRA	 <p><i>Oscilograma sensor pre catalizador</i></p>	 <p><i>Oscilograma sensor pre catalizador</i></p>
	 <p><i>Oscilograma sensor post catalizador</i></p>	 <p><i>Oscilograma sensor post catalizador</i></p>
SUPER	 <p><i>Oscilograma sensor pre catalizador</i></p>	 <p><i>Oscilograma sensor pre catalizador</i></p>



**Figura 3.25** Variación de tensiones en el fallo de inyección

En la figura 3.27 y 3.28 se observa los voltajes de funcionamiento de las sondas, en el caso de la gasolina extra se aprecia un factor lambda de 1.405 lo que sugiere una mezcla extremadamente pobre, sin embargo, no existen ajustes de combustible comandados por la ECU.

Con gasolina super la mezcla sigue siendo pobre, sin embargo, el factor lambda se reduce a 1.382, la tensión del sensor 1 es de 0.155V y del sensor 2 de 0.150 V; la ECU no recomienda ningún ajuste de combustible debido a que las sondas no están aptas para servicio.

Unidad control	Valor real	Unidad	PID
<input checked="" type="checkbox"/> ECM1	Adaptación Lambda (bancada 1 - sensor 2)	0.0	% 56
<input checked="" type="checkbox"/> ECM1	Adaptación Lambda línea 1	0.0	% 07
<input checked="" type="checkbox"/> ECM1	Calefac. sondas Lambda apta servicio	Sí	01
<input checked="" type="checkbox"/> ECM1	Calefacción sondas Lambda finalizada	Sí	41
<input checked="" type="checkbox"/> ECM1	Catalizador apto para el servicio	No	01
<input checked="" type="checkbox"/> ECM1	Catalizador finalizado	No	41
<input checked="" type="checkbox"/> ECM1	Integrador Lambda (línea1 - sensor1)	0.0	% 14
<input checked="" type="checkbox"/> ECM1	Integrador Lambda (línea1 - sensor2)	99.2	% 15
<input checked="" type="checkbox"/> ECM1	Integrador Lambda línea 1	0.0	% 06
<input checked="" type="checkbox"/> ECM1	Mezcla combustible/aire	1.405	44
<input checked="" type="checkbox"/> ECM1	Número de revoluciones del motor	711	1/min 0C
<input checked="" type="checkbox"/> ECM1	Sonda Lambda (bancada 1, sensor 1): Tensión	0.165	V 14
<input checked="" type="checkbox"/> ECM1	Sonda Lambda (bancada 1, sensor 2): Tensión	0.150	V 15
<input checked="" type="checkbox"/> ECM1	Sonda Lambda apta para el servicio	No	01
<input checked="" type="checkbox"/> FCM1	Sonda Lambda finalizada	No	41
<input checked="" type="checkbox"/> ECM1	Temperatura catalizador (banco 1 - sensor 1)	737.7	°C 3C

Figura 3.26 Datos obtenidos en ESI tronic con gasolina extra a 700 rpm

Unidad control	Valor real	Unidad	PID
<input checked="" type="checkbox"/> ECM1	Adaptación Lambda (bancada 1 - sensor 2)	0.0	% 56
<input checked="" type="checkbox"/> ECM1	Adaptación Lambda línea 1	0.0	% 07
<input checked="" type="checkbox"/> ECM1	Calefac. sondas Lambda apta servicio	Sí	01
<input checked="" type="checkbox"/> ECM1	Calefacción sondas Lambda finalizada	Sí	41
<input checked="" type="checkbox"/> ECM1	Catalizador apto para el servicio	No	01
<input checked="" type="checkbox"/> ECM1	Catalizador finalizado	No	41
<input checked="" type="checkbox"/> ECM1	Integrador Lambda (línea1 - sensor1)	0.0	% 14
<input checked="" type="checkbox"/> ECM1	Integrador Lambda (línea1 - sensor2)	99.2	% 15
<input checked="" type="checkbox"/> ECM1	Integrador Lambda línea 1	0.0	% 06
<input checked="" type="checkbox"/> ECM1	Mezcla combustible/aire	1.360	44
<input checked="" type="checkbox"/> ECM1	Número de revoluciones del motor	730	1/min 0C
<input checked="" type="checkbox"/> ECM1	Sonda Lambda (bancada 1, sensor 1): Tensión	0.155	V 14
<input checked="" type="checkbox"/> ECM1	Sonda Lambda (bancada 1, sensor 2): Tensión	0.150	V 15
<input checked="" type="checkbox"/> ECM1	Sonda Lambda apta para el servicio	No	01
<input checked="" type="checkbox"/> FCM1	Sonda Lambda finalizada	No	41
<input checked="" type="checkbox"/> ECM1	Temperatura catalizador (banco 1 - sensor 1)	432.4	°C 3C

Figura 3.27 Datos obtenidos en ESI tronic con gasolina super a 700 rpm

### 3.4.3. Prueba 3: Fallo en el sensor MAF

Para la tercera prueba de fallos se hizo funcionar al automóvil de acuerdo con lo expuesto en el apartado 2.2.8.3, se observa acelerones automáticos, una marcha mínima inestable y una pérdida de potencia considerable.

A continuación en la tabla 3.11 se presentan las formas de onda y los datos obtenidos sobre la sonda lambda mientras el motor funciona con el error creado sin la información acerca del flujo másico de aire, la prueba se realiza utilizando los 2 tipos de combustible (extra y super).

Con gasolina extra:

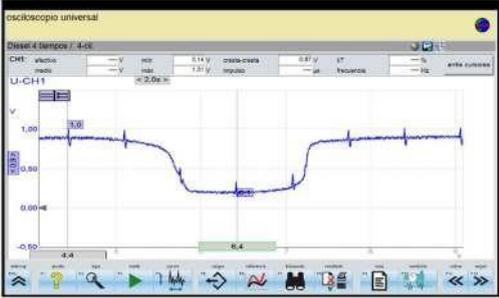
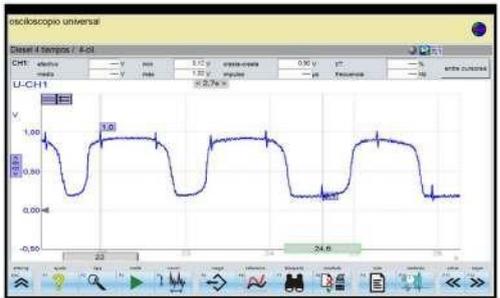
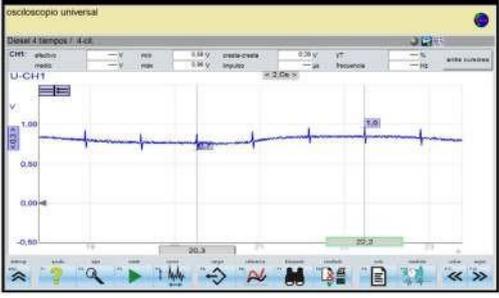
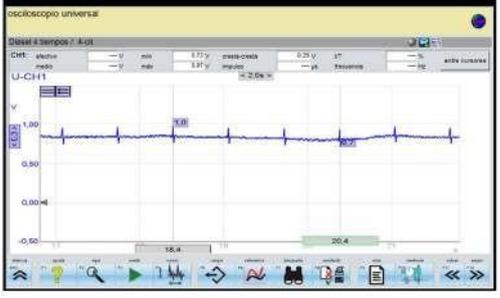
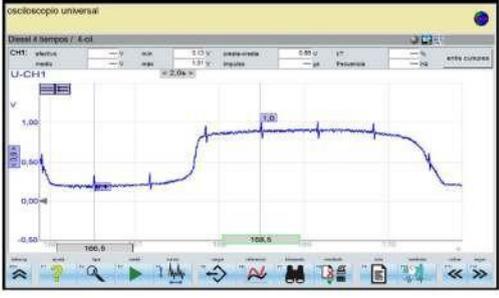
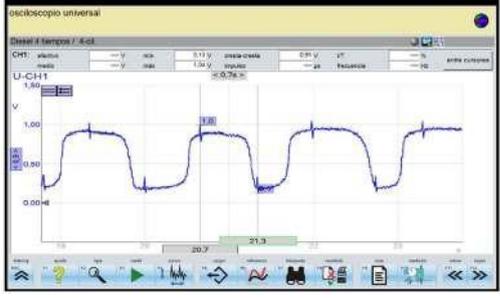
- La forma de onda del sensor de oxígeno pre catalizador a 700 y 2500 rpm varía solo en frecuencia, el voltaje de la señal de salida del sensor varía entre 0.12V a 1.01V aproximadamente, en ambos casos la señal se mantiene durante más tiempo en la parte superior de la gráfica con voltajes cercanos a 1V por lo que se asume que la calidad de combustión es buena, sin embargo, esta señal no puede tomarse como válida, ya que existe un fallo en el motor.
- En el sensor post catalizador se observa a ralenti una curva casi plana con ciertas fluctuaciones en picos de voltaje que van desde 0.68V a 0.96V, al acelerar y alcanzar las 2500 rpm la forma de onda continúa siendo casi plana y las fluctuaciones entre picos de voltaje se encuentran desde 0.72V a 0.97V. indicando que el convertidor catalítico está funcionando correctamente.

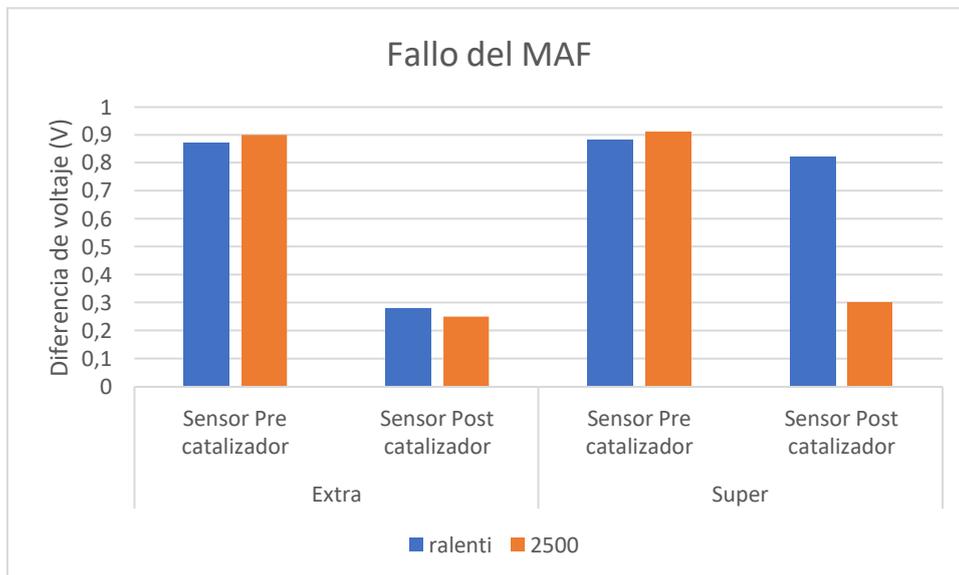
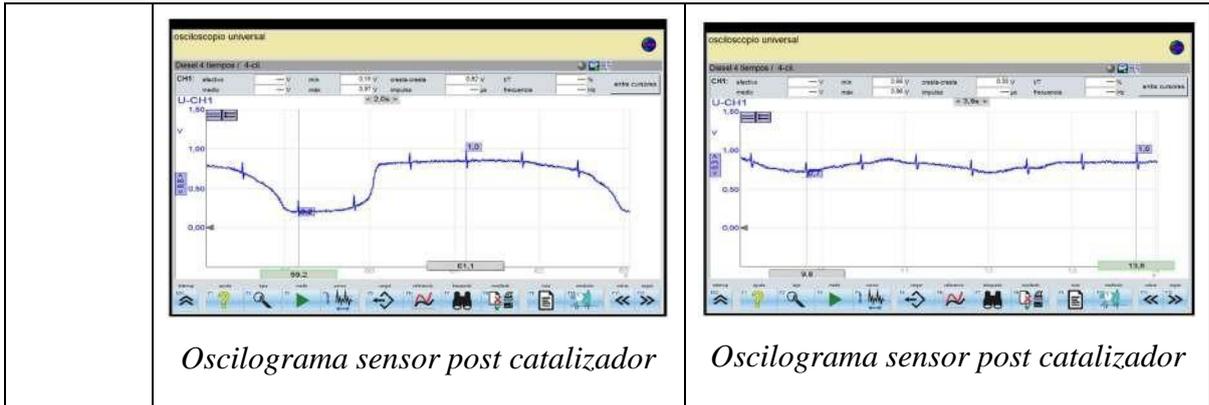
Con gasolina super:

- La forma de onda del sensor de oxígeno pre catalizador a 700 y 2500 rpm varía en frecuencia y en el pico alto de la señal, el voltaje de la señal de salida del sensor varía entre 0.13V a 1.04V aproximadamente, en ambos casos la señal del sensor parece ser normal, sin embargo al existir un fallo esta no puede ser tomada como válida ya que la ECU está siendo engañada recibiendo información falsa sobre el flujo de aire.
- En cuanto al sensor post catalizador la forma de onda a ralenti presenta variaciones considerables trabajando en un intervalo de 0.15V a 0.97V lo que podría interpretarse como un malfuncionamiento del catalizador, sin embargo al acelerar hasta alcanzar las 2500 rpm la forma de onda se estabiliza, el catalizador comienza a trabajar de

manera correcta y la sonda lambda presenta valores entre 0.66V a 0.96V manteniéndose estable la mayoría del tiempo.

**Tabla 3.11** oscilogramas del sensor de oxígeno con falla en el sensor MAF

<p>DTC P0108 P0113</p>	<p>RALENTI 700 RPM</p>	<p>2500 RPM</p>
<p>EXTRA</p>	 <p><i>Oscilograma sensor pre catalizador</i></p>	 <p><i>Oscilograma sensor pre catalizador</i></p>
	 <p><i>Oscilograma sensor post catalizador</i></p>	 <p><i>Oscilograma sensor post catalizador</i></p>
<p>SUPER</p>	 <p><i>Oscilograma sensor pre catalizador</i></p>	 <p><i>Oscilograma sensor pre catalizador</i></p>



**Figura 3.28** variación de tensiones en el fallo del sensor MAF

En la figura 3.30 y 3.31 se muestra el flujo de datos de las sondas lambda usando los 2 tipos de combustible a 2500 rpm, donde se puede observar que usando gasolina extra el factor lambda es de 0,999 sin embargo la ECU realizó un ajuste de combustible de -13.3%, esto debido a que el circuito del sensor MAF está abierto y la señal generada representa el mayor flujo de aire posible, es decir, con el MAF defectuoso la mezcla se enriquece y la ECU debe corregir los tiempos de inyección de acuerdo a la información de los demás sensores que intervienen en la mezcla aire combustible. Las sondas lambda pre y post catalizador se encuentran trabajando con voltajes cercanos a 0.85 V.

Unidad control	Valor real	Valor	Unidad	PID
<input checked="" type="checkbox"/> ECM1	Adaptación Lambda (bancada 1 - sensor 2)	-3.9	%	56
<input checked="" type="checkbox"/> ECM1	Adaptación Lambda línea 1	0.0	%	07
<input checked="" type="checkbox"/> ECM1	Calefac. sondas Lambda apta servicio	Si		01
<input checked="" type="checkbox"/> ECM1	Calefacción sondas Lambda finalizada	Si		41
<input checked="" type="checkbox"/> ECM1	Catalizador apto para el servicio	No		01
<input checked="" type="checkbox"/> ECM1	Catalizador finalizado	No		41
<input checked="" type="checkbox"/> ECM1	Integrador Lambda (línea1 - sensor1)	-13.3	%	14
<input checked="" type="checkbox"/> ECM1	Integrador Lambda (línea1 - sensor2)	99.2	%	15
<input checked="" type="checkbox"/> ECM1	Integrador Lambda línea 1	+3.3	%	08
<input checked="" type="checkbox"/> ECM1	Mixtura combustible/aire	0.999		44
<input checked="" type="checkbox"/> ECM1	Número de revoluciones del motor	2367	1/min	0C
<input checked="" type="checkbox"/> ECM1	Sonda Lambda (bancada 1, sensor 1): Tensión	0.855	V	14
<input checked="" type="checkbox"/> ECM1	Sonda Lambda (bancada 1, sensor 2): Tensión	0.830	V	15
<input checked="" type="checkbox"/> ECM1	Sonda Lambda apta para el servicio	No		01
<input checked="" type="checkbox"/> ECM1	Sonda Lambda finalizada	No		41
<input checked="" type="checkbox"/> ECM1	Temperatura catalizador (banco 1 - sensor 1)	508.7	°C	3C

*Figura 3.29 Datos obtenidos en ESI tronic con gasolina extra a 2500 rpm*

Con gasolina super al igual que con el anterior combustible, a 2500 rpm la ECU recomienda un ajuste de combustible de -25.0% un parámetro fuera de lo normal por mucho teniendo en cuenta que los ajustes a corto plazo que la computadora realiza están alrededor de un -10% a +10% como máximo. La tensión de trabajo de la sonda lambda pre catalizador es de 0.93 V y de la sonda post catalizador de 0.840 V; a pesar de estar trabajando con voltajes cercanos a 1V y teniendo un factor lambda de 0.999, los ajustes de combustible reflejan un claro error en el sistema de alimentación de combustible.

**BOSCH** KIA 938 / KIA / Picanto 1.2 / JA / 1.2 / 62.0 kW / 04/2017 - / GALA / KNAE3512AK1402509 KTS 560

Global OBD II

Modo 1, valores reales

Modo 1, valores reales

Búsqueda

Desseleccionar todos  Sólo indicar los seleccionados

Unidad control	Valor real	Unidad	PID
<input checked="" type="checkbox"/> ECM1	Adaptación Lambda (bancada 1 - sensor 2)	%	56
<input checked="" type="checkbox"/> ECM1	Adaptación Lambda línea 1	%	07
<input checked="" type="checkbox"/> ECM1	Calefacción sondas Lambda apta servicio	Si	01
<input checked="" type="checkbox"/> ECM1	Calefacción sondas Lambda finalizada	Si	41
<input checked="" type="checkbox"/> ECM1	Catalizador apto para el servicio	No	01
<input checked="" type="checkbox"/> ECM1	Catalizador finalizado	No	41
<input checked="" type="checkbox"/> ECM1	Integrador Lambda (línea1 - sensor1)	%	14
<input checked="" type="checkbox"/> ECM1	Integrador Lambda (línea1 - sensor2)	%	15
<input checked="" type="checkbox"/> ECM1	Integrador Lambda línea 1	%	06
<input checked="" type="checkbox"/> ECM1	Mezcla combustible/aire		44
<input checked="" type="checkbox"/> ECM1	Número de revoluciones del motor	1/min	0C
<input checked="" type="checkbox"/> ECM1	Sonda Lambda (bancada 1, sensor 1): Tensión	V	14
<input checked="" type="checkbox"/> ECM1	Sonda Lambda (bancada 1, sensor 2): Tensión	V	15
<input checked="" type="checkbox"/> ECM1	Sonda Lambda apta para el servicio	No	01
<input checked="" type="checkbox"/> ECM1	Sonda Lambda finalizada	No	41
<input checked="" type="checkbox"/> ECM1	Temperatura catalizador (banco 1 - sensor 1)	°C	3C

*Figura 3.30 Datos obtenidos en ESI tronic con gasolina super a 2500 rpm*

**Tabla 3.12** Análisis sensor pre catalizador

Sensor pre catalizador						
Ralentí						
	Extra			Super		
Voltaje de onda	0,15 V - 0,99 V			0,16 V - 0,99 V		
Valor integrador lambda	4,70%			5,50%		
Tensión sensor	0,890 V			0,890 V		
Factor Lambda	0,997			1,005		
Fallas	De encendido	De inyección	Sensor MAF	De encendido	De inyección	Sensor MAF
Voltaje de onda	0,15 V - 0,96 V	0,10 V - 0,32 V	0,14 V - 1,01 V	0,11 V - 0,30 V	0,10 V - 0,32 V	0,13 V - 1,01 V
Valor integrador lambda	3,10%	0,00%	-3,10%	5,50%	0,00%	13,30%
Tensión sensor	0,850 V	0,165 V	0,855 V	0,260 V	0,155 V	0,930 V
2500 rpm						
	Extra			Super		
Voltaje de onda	0,16 V - 1,00 V			0,16 V - 1,00 V		
Valor integrador lambda	-0,80%			0,00%		
Tensión sensor	0,800 V			0,755 V		
Factor Lambda	0,986			0,991		
Fallas	De encendido	De inyección	Sensor MAF	De encendido	De inyección	Sensor MAF
Voltaje de onda	0,18 V - 0,98 V	0,10 V - 0,31 V	0,12 V - 1,02 V	0,10 V - 0,30 V	0,11 V - 0,31 V	0,13 V - 1,04V
Valor integrador lambda	0,00%	0,00%	-13,30%	0,00%	0,00%	-25,00%
Tensión sensor	0,155 V	0,155 V	0,855 V	0,155 V	0,155 V	0,930 V

**Tabla 3.13** Análisis sensor post catalizador

Sensor post catalizador						
Ralentí						
	Extra			Super		
Voltaje de onda	0,54 V - 0,99 V			0,56 V - 0,94 V		
Valor integrador lambda	N/A			N/A		
Tensión sensor	0,830 V			0,830 V		
Niveles HC	273 ppm			279 ppm		
Fallas	De encendido	De inyección	Sensor MAF	De encendido	De inyección	Sensor MAF
Voltaje de onda	0,82 V - 1,02 V	0,10 V - 0,29 V	0,68 V - 0,96 V	0,70 V - 0,90 V	0,10 V - 0,29 V	0,15 V - 0,97 V
Tensión sensor	0,835 V	0,150 V	0,820 V	0,800 V	0,150 V	0,825 V
	2500 rpm					
	Extra			Super		
Voltaje de onda	0,66 V - 0,94 V			0,62 V - 0,91 V		
Valor integrador lambda	N/A			N/A		
Tensión sensor	0,810 V			0,725 V		
Niveles HC	318 ppm			206 ppm		
Fallas	De encendido	De inyección	Sensor MAF	De encendido	De inyección	Sensor MAF
Voltaje de onda	0,10 V - 0,29 V	0,10 V - 0,31 V	0,72 V - 0,97 V	0,69 V - 0,89 V	0,10 V - 0,30 V	0,66 V - 0,96 V
Tensión sensor	0,150 V	0,150 V	0,830 V	0,150 V	0,150 V	0,840 V

## CAPÍTULO IV

### 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 4.1. CONCLUSIONES

La revisión bibliográfica llevada a cabo, el análisis y las pruebas de funcionamiento realizado en los sensores de oxígeno permitió concluir que:

- A ralentí, la amplitud de onda de la sonda lambda pre catalizador varía en menos del 2% al usar combustibles de distinto octanaje, por otro lado, existe un incremento del 17% en el ajuste de combustible al usar gasolina super, puesto que trabaja en mezcla pobre con un factor lambda de 1.005.
- A 2500 rpm, con gasolina extra la tensión de 0.800 V y el factor lambda de 0.986 indican una mezcla rica en la combustión por lo que el ajuste de combustible es de -0.80%, en contraste, al usar gasolina super no se realiza ajuste de combustible puesto que con un factor lambda 0.991 y tensión del sensor de 0.755 V el motor trabaja dentro de los parámetros óptimos de funcionamiento.
- A ralentí, la amplitud de onda del sensor post catalizador se reduce en un 15%, y a 2500 rpm la tensión se reduce en un 10.5% indicando que el tratamiento de emisión de gases se da con mayor eficiencia al usar el combustible de mayor octanaje.
- En las pruebas realizadas a ralentí, el factor lambda varía de 0.997 a 1.005 entre combustible extra y super, pasando de una mezcla rica a pobre, en consecuencia, el CO disminuye en un 6.5%, la concentración de oxígeno aumenta un 19%, y el nivel de HC y CO<sub>2</sub> se asemejan con variaciones inferiores al 2% y 1 % respectivamente.
- A régimen de 2500 rpm, el factor lambda indica una mezcla rica en ambos casos, sin embargo, al usar gasolina de mayor octanaje la concentración de O<sub>2</sub>, HC y CO se reducen en un 10%, 35% y 12% respectivamente.
- Al simular la falla de encendido e inyección, el oscilograma del sensor pre catalizador fluctúa en el intervalo de 0.10 V a 0.32 V, indicando un exceso de oxígeno en la combustión, debido a esta señal atípica, la ECU trabaja en lazo abierto y no comanda ningún ajuste de combustible independientemente del régimen del motor.
- Las fallas producidas por el sensor MAF en mal estado afectan en menor medida la lectura de la sonda lambda, en comparación a los fallos producidos directamente en la combustión, el motor comienza a trabajar en mezcla rica al no saber el flujo masico

de aire y los ajustes de combustible son anormales variando desde -25.0% hasta 13.30%, alejados de los parámetros obtenidos antes de provocar las fallas.

- Las fallas más comunes del sensor de oxígeno se asocian al óxido, sulfatación o sobrecalentamiento, y a la suciedad en la punta de este debido al fosforo, plomo, aceite quemado, carbonilla y componentes químicos de la gasolina, sin embargo, los síntomas también pueden producirse por fallas en otros sensores y actuadores que intervienen en la mezcla de aire-combustible como bobinas de encendido o inyectores, que afectan directamente a la señal generada por el sensor provocando que los ajustes de combustible sean nulos o extremadamente altos para mantener la marcha del motor; en este punto la computadora deja de tomar en cuenta la lectura del sensor de oxígeno y enriquece o empobrece la mezcla en función de otros factores.

## **4.2. RECOMENDACIONES**

La presente investigación sirve de apoyo para estudios futuros acerca de la influencia de la gasolina en sondas lambda y en la calidad de la combustión en motores de encendido provocado.

Con la continua evolución de la industria automotriz y con la tendencia de reducir la emisión de gases contaminantes, la tecnología en los sensores de oxígeno está en constante desarrollo, por ello se da las siguientes recomendaciones para posibles investigaciones que puedan surgir del presente proyecto:

- Determinar el estado inicial del sensor verificando las conexiones eléctricas, el par de apriete en el múltiple de escape, la acumulación de carbonilla o plomo en la punta del sensor y verificar las fugas de aceite y mangueras de vacío en el motor.
- Comprobar que el vehículo se encuentra trabajando en lazo cerrado para que los datos del sensor de oxígeno sean válidos.
- Estudiar la influencia de la sonda lambda defectuosa en el catalizador.
- La solución a los fallos en la combustión, el excesivo consumo de combustible y la falta de potencia en el motor no se solucionan solo reemplazando el sensor de oxígeno, es necesario realizar un análisis de los sensores y actuadores que intervienen en el sistema de alimentación y encendido, la relación existente entre estos componentes que se complementan mutuamente para saber la cantidad de aire y

gasolina que ingresa, se quema y sale por el múltiple de escape hace que sea necesario que estos elementos sean analizados en conjunto para realizar un diagnóstico confiable.

- No cambiar el sensor de oxígeno a menos que el diagnóstico sea 100% confiable, verificar todos los sensores y actuadores que intervienen antes que reemplazar una sonda que podría o no podría ser la causante de la pérdida de potencia del motor.

## REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

- Ajustes de Combustible – SFT y LFT – Complicaciones en funcionamiento a GNC.* (2004).
- Arellano, C. (2017). *SISTEMA DE INYECCIÓN ELECTRÓNICA.*
- Bastidas, I. (2021). *Evaluación Técnica del Sensor de Oxígeno de un Motor Otto con Sistema OBD II a través de un Osciloscopio en Función del Uso de las Gasolinas Eco y Super.* Universidad Internacional del Ecuador.
- Bosch FSA - 740.* (2022). <https://www.boschaftermarket.com/es/es/equipos-y-diagnosis/analisis/analisis-de-sistemas-del-vehículo/fsa-740-sin-kts-560/>
- Burgos, N., & Pacheco, C. (2018). *Diseño y desarrollo de un banco de pruebas para diagnóstico automotriz.* Universidad Politécnica Salesiana.
- Cano, J. (2019). *ANÁLISIS DEL FUNCIONAMIENTO DE UN MOTOR DE ENCENDIDO PROVOCADO TJI MEDIANTE UNA HERRAMIENTA DE DIAGNÓSTICO DE LA COMBUSTIÓN.* Universidad Politécnica de Valencia.
- Cives, J. (2011). *La Sonda Lambda Como Elemento De Control De Emisiones.* Universidad Carlos III de Madrid.
- Correa, H. (2013). *Diseño de un simulador de señales básicas para un sistema de inyección electrónica de gasolina.* Universidad del Azuay.
- Darwin, Q., Luis, C., Santiago, O., & Jorge, F. (2020). *Estudio de la degradación de la sonda lambda en función al kilometraje del vehículo y su repercusión en la emisión de gases contaminantes.*
- De Las Pozas, C. (2012). *MANUAL DEL MANTENIMIENTO DEL SISTEMA DE ALIMENTACIÓN.*
- Donado, A. (2020). *Tipos de herramientas para el diagnóstico automotriz.* <https://autosoporte.com/tipos-de-herramientas-para-el-diagnostico-automotriz/>
- Martínez, D. (2017). *Comportamiento de un MEP de baja cilindrada bajo efecto de diferentes gasolinas.* Universidad Internacional SEK.
- Muñoz, J. L. (2018). *Instrumentación de un sensor de oxígeno para la industria automotriz.* Universidad Autónoma de la Ciudad de México.

- Narváez, J., & Narváez, J. (2019). *Análisis De Los Sistemas Eléctricos Y Electrónicos De Un Motor De Combustión Interna Mediante La Utilización Del Osciloscopio Autopotriz Bosch Fsa – 500*. Tecnica del Norte.
- Payri, F., & Desantes, J. (2011). *Motores De Combustión Interna Alternativos*. Editorial REVERTE S.A.
- Ramirez Bravo, S., & Rojas Ospina, H. (2011). *Análisis teórico-práctico de la inyección electrónica de gasolina en vehículos*.
- Sardiña, M. (2017). *Alimentación de Motores de combustión Interna*.
- Urresta, P., & Andrango, D. (2012). *Preparación de un motor 1.6 de un auto Chevrolet Corsa para competencias de raly*. Universidad Internacional del Ecuador.