



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECÁNICA
CARRERA INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

**“ANÁLISIS Y DIAGNÓSTICO AVANZADO DEL MOTOR DE
COMBUSTIÓN INTERNA POR MEDIO DE OSCIOGRAMAS
ELÉCTRICOS DE PRESIÓN Y ANÁLISIS DE EMISIONES”**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar el grado académico de:

INGENIERO AUTOMOTRIZ

AUTORES:

ANDRÉS PATRICIO CHÁVEZ MARTÍNEZ

WASHINGTON MESIAS QUISHPI PINTA

Riobamba – Ecuador

2021



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECÁNICA
CARRERA INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

**“ANÁLISIS Y DIAGNÓSTICO AVANZADO DEL MOTOR DE
COMBUSTIÓN INTERNA POR MEDIO DE OSCIOGRAMAS
ELÉCTRICOS DE PRESIÓN Y ANÁLISIS DE EMISIONES”**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar el grado académico de:

INGENIERO AUTOMOTRIZ

AUTORES: ANDRÉS PATRICIO CHÁVEZ MARTÍNEZ

WASHINGTON MESIAS QUISHPI PINTA

DIRECTOR: Ing. PAUL ALEJANDRO MONTÚFAR PAZ

Riobamba – Ecuador

2021

©2021, Andrés Patricio Chávez Martínez & Washington Mesías Quishpi Pinta

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

Nosotros, Andrés Patricio Chávez Martínez, Washington Mesias Quishpi Pinta, declaramos que el presente trabajo de titulación es de nuestra autoría y que los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autores asumimos la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación; El patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 07 de septiembre de 2021

A handwritten signature in blue ink, enclosed in a blue oval. The signature is stylized but clearly legible as 'ANDRÉS CHÁVEZ'.

Andrés Patricio Chávez Martínez
C.I.:180419038-5

A handwritten signature in blue ink, enclosed in a blue oval. The signature is stylized and appears to be 'Washington Mesias Quishpi Pinta'.

Washington Mesias Quishpi Pinta
C.I.: 060493590-8

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECÁNICA
CARRERA INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

El Tribunal del trabajo de titulación certifica que: El trabajo de titulación: Tipo: proyecto técnico, **ANÁLISIS Y DIAGNÓSTICO AVANZADO DEL MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA POR MEDIO DE OSCIOGRAMAS ELÉCTRICOS DE PRESIÓN Y ANÁLISIS DE EMISIONES**, realizado por los señores: **ANDRÉS PATRICIO CHÁVEZ MARTÍNEZ, WASHINGTON MESIAS QUISHPI PINTA**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del trabajo de titulación, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Ing. José Francisco Pérez Fiallos PRESIDENTE DEL TRIBUNAL	 Firmado digitalmente por JOSÉ FRANCISCO PÉREZ FIALLOS Fecha: 2022.03.19 14:56:16 -05'00'	2021-09-07
Ing. Paúl Alejandro Montúfar Paz MSc DIRECTOR DE TRABAJO DE TITULACIÓN	 Firmado digitalmente por PAUL ALEJANDRO MONTUFAR PAZ Fecha: 2022.03.17 19:01:29 -05'00'	2021-09-07
Ing. Fernando Mauricio Tello Oquendo PhD MIEMBRO DEL TRIBUNAL	 Firmado digitalmente por FERNANDO MAURICIO TELLO OQUENDO Nombre de reconocimiento (DN): cn=FERNANDO MAURICIO TELLO OQUENDO, serialNumber=290721114124, ou=ENTIDAD DE CERTIFICACION DE INFORMACION, o=SECURITY DATA S.A. 2, c=EC Fecha: 2022.03.17 20:04:55 -05'00'	2021-09-07

DEDICATORIA

El presente trabajo de titulación es dedicado en primer lugar a dios por guiarme en este gran escalón superado, a mi madre que gracias al esfuerzo y sacrificio junto con mi abuelita fueron el gran ejemplo de sacrificio y dedicación que fue necesario en cada momento de mi vida estudiantil, a mis hermanos por el apoyo incondicional tanto en lo personal como en lo profesional.

Con especial cariño a mi esposa y mi hijo que son el motor de mi vida para seguir creciendo tanto como persona y como profesional.

Andrés.

El presente trabajo de titulación lo dedico a mis padres quienes, con su amor, paciencia y apoyo incondicional durante mi carrera universitaria, me han permitido lograr una meta más en mí vida, gracias por confiar en mí e inculcarme valores y virtudes que me han permitido ser una persona de bien, a mis hermanos quienes, han sido un pilar fundamental durante todo este proceso, por estar conmigo en todo momento gracias.

Se lo dedico también a mi esposa quien a pesar de una infinidad de situaciones nunca dejó de apoyarme hasta alcanzar esta anhelada meta.

Finalmente quiero dedicar esta tesis a todos mis amigos, por apoyarme cuando los necesitaba, por extenderme su mano en momentos difíciles y por demostrarme que puedo contar con su apoyo incondicional.

Washington

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por ser quien ha guiado y llenado de bendiciones gratificantes a lo largo de mi vida. A mi madre Alba Chávez por darme la vida, brindarme el apoyo incondicional, y por los interminables consejos de vida que han logrado forjar mi carácter para ser cada día mejor.

A mi esposa Yomara Martínez por ser mi amiga incondicional, confidente y compañera de vida, a mi hijo Alan Chávez por ser mi motor y más grande bendición

A mi director del trabajo de titulación, Ing. Paul Montúfar, quien me brindó su apoyo a lo largo de este camino, gracias por compartir sus conocimientos, consejos y por ser una excelente docente que dirige sus puntos de vista a obtener profesionales competentes.

Andrés.

Quiero expresar mi gratitud a Dios por haberme permitido culminar una etapa más de mi vida con bendición y sabiduría, a mis padres por ser mi motivación y razón principal para nunca rendirme y llegar a ser un profesional, quienes me dieron su amor, apoyo y paciencia a lo largo de todos estos años, a mi esposa, hermanos y familia que con sus palabras me daban aliento y ánimos para no decaer cuando todo parecía complicado e imposible.

Un especial agradecimiento a los docentes de la carrera de Ingeniería Automotriz que son unos pilares en la educación superior, en especial, al ingeniero Paúl Montúfar, que con mucha responsabilidad y decisión decidió ayudarnos a realizar el trabajo de titulación.

De igual manera agradezco a mis maestros los cuales me han enseñado todo lo respecto a mecánica muchas, de igual manera a mis amigos que siempre estuvieron conmigo.

Washington

TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS	viii
ÍNDICE DE FIGURAS	ix
ÍNDICE DE GRÁFICOS	x
ÍNDICE DE ANEXOS	xi
RESUMEN	xii
SUMMARY	xiii
INTRODUCCIÓN	1

CAPÍTULO I

1	MARCO REFERENCIAL.....	2
1.1	Antecedentes	2
1.2	Problema	2
1.3	Justificación	3
1.4	Objetivo General	3
1.5	Objetivos Específicos.....	4

CAPÍTULO II

2	MARCO TEÓRICO.....	5
2.1	Motor de combustión interna (MCI).....	5
2.2	Ciclos de motor básicos	6
2.3	Emisiones del motor y contaminación del aire	7
2.4	Ciclo del motor en el acelerador parcial	9
2.5	Transductor de presión	10
2.5.1	<i>Ubicación</i>	10
2.5.2	<i>Tipos de transductores de presión</i>	11
2.5.3	<i>Transductor de presión delta</i>	12
2.5.4	<i>Aplicación de los transductores de presión</i>	12
2.5.5	<i>Pruebas que se puede realizar</i>	13
2.5.6	<i>Fallas que se pueden encontrar</i>	13
2.5.7	<i>Forma de onda de presión dentro del cilindro</i>	13
2.6	Osciloscopio automotriz	14
2.6.1	<i>Funciones de un osciloscopio</i>	15

2.6.2	<i>Ventajas del osciloscopio</i>	15
2.6.3	<i>Tipos de osciloscopio automotriz</i>	16
2.6.4	<i>Mediciones básicas con el osciloscopio</i>	17
2.7	Analizador de gases de escape	18
2.7.1	<i>Principales componentes</i>	19
2.7.2	<i>Principio de funcionamiento</i>	19
2.7.3	<i>Significado de la aparición de algunos gases</i>	20

CAPÍTULO III

3	MARCO METODOLÓGICO	22
3.1	Herramientas utilizadas:	22
3.2	Problemas al diagnosticar un motor de combustión interna	23
3.3	Forma de diagnosticar un motor de combustión interna	23
3.4	Procedimiento para diagnosticar un motor de combustión interna e instalación de equipos de medición	24
3.5	Evaluación del proyecto	25

CAPÍTULO IV

4	RESULTADOS	26
4.1	Análisis de oscilogramas eléctricos de presión dentro del cilindro	26
4.1.1	<i>Mediciones de presión dentro del cilindro de vehículo en buen estado</i>	26
4.1.2	<i>Mediciones de presión dentro del cilindro con problemas de distribución</i>	27
4.1.3	<i>Mediciones de presión dentro del cilindro con obstrucción en el escape</i>	30
4.1.4	<i>Mediciones de presión dentro del cilindro con mala sincronización del distribuidor</i>	32
4.2	Análisis de Gases de gases escape	34
4.2.1	<i>Análisis de gases de un vehículo en buen estado</i>	34
4.2.2	<i>Análisis de gases de vehículos con fallas de inyectores</i>	36
4.2.3	<i>Análisis de gases de vehículos con fallas de bobina de encendido</i>	37
4.2.4	<i>Análisis de gases de vehículos con fallas inyectores y de bobina de encendido</i>	39
	CONCLUSIONES	41
	RECOMENDACIONES	42
	GLOSARIO	
	BIBLIOGRAFÍA	
	ANEXOS	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-2: Ciclos del motor.....	6
Tabla 2-2: Componentes del analizador de gases	19

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-2:	Motor de combustión interna.....	5
Figura 2-2:	Ciclo de funcionamiento del motor de cuatro tiempos.	6
Figura 3-2:	Emisiones contaminantes del vehículo	8
Figura 4-2:	Ciclo Otto estándar con aceleración parcial.....	9
Figura 5-2:	Medición en el osciloscopio del sensor de presión	10
Figura 6-2:	Transductor de presión wps500x	12
Figura 7-2:	Osciloscopio automotriz.....	15
Figura 8-2:	Componentes de un osciloscopio analógico.	16
Figura 9-2:	Osciloscopio digital.....	17
Figura 10-2:	Analizador de gases.....	18
Figura 11-2:	Diagrama de un análisis de gases	20

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1-2:	Forma de onda de presión dentro del cilindro.	14
Gráfico 2-2:	Partes de la onda de presión dentro del cilindro.	14
Gráfico 1-3:	Diagrama de flujo metodología de proyecto técnico.	22
Gráfico 2-3:	Procedimientos para realizar las mediciones de presión dentro del cilindro.	24
Gráfico 3-3:	Procedimientos para realizar las mediciones de análisis de gases de escape.	24
Gráfico 1-4:	Oscilograma de presión dentro del cilindro de un motor Chevrolet Vitara 2010 en buen estado.	26
Gráfico 2-4:	Oscilograma de presión y salto de chispa de Chevrolet Virara 2008.	27
Gráfico 3-4:	Oscilograma de presión y ángulos de apertura y cierre de válvulas de escape de un Chevrolet Virara 2008.	28
Gráfico 4-4:	Oscilograma de presión dentro del cilindro de un Chevrolet Virara 2008.	28
Gráfico 5-4:	Oscilograma de presión dentro del cilindro de un Chevrolet Alto 2001.	29
Gráfico 6-4:	Oscilograma de presión dentro del cilindro de un Mazda BT-50 2001.	31
Gráfico 7-4:	Oscilograma de presión dentro del cilindro con aceleración progresiva de un Mazda BT-50 2001.	31
Gráfico 8-4:	Oscilograma de presión dentro del cilindro con aceleración progresiva de un Mazda BT-50 2001.	32
Gráfico 9-4:	Oscilograma de presión dentro del cilindro con aceleración progresiva de un Chevrolet Captiva 2010.	32
Gráfico 10-4:	Oscilograma de presión dentro del cilindro con salto de chispa y pulso de inyección de un cilindro mal sincronizado.	33
Gráfico 11-4:	Oscilograma de presión dentro del cilindro con salto de chispa y pulso de inyección de un cilindro sincronizado.	33
Gráfico 12-4:	Valores de CO de un vehículo en buen estado con su promedio.	34
Gráfico 13-4:	Valores de HC de un vehículo en buen estado con su promedio.	35
Gráfico 14-4:	Valores de O2 de un vehículo en buen estado con su promedio.	35
Gráfico 15-4:	Valores de CO de un vehículo al fallar un inyector.	36
Gráfico 16-4:	Valores de HC de un vehículo al fallar un inyector.	37
Gráfico 17-4:	Valores de CO de un vehículo al fallar un inyector.	37
Gráfico 18-4:	Valores de CO de un vehículo al fallar una bobina de encendido.	38
Gráfico 19-4:	Valores de HC de un vehículo al fallar una bobina de encendido.	38
Gráfico 20-4:	Valores de O2 de un vehículo al fallar una bobina de encendido.	39
Gráfico 21-4:	Valores de CO de un vehículo al fallar de inyector y bobina de encendido.	39
Gráfico 22-4:	Valores de HC de un vehículo al fallar de inyector y bobina de encendido.	40
Gráfico 23-4:	Valores de O2 de un vehículo al fallar de inyector y bobina de encendido.	40

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo A: Medición de presión dentro del cilindro y medición del secundario de la bobina de encendido

Anexo B: Medición del secundario de la bobina de encendido y conexión del chispometro

Anexo C: Análisis de emisiones

Anexo D: Valores de referencia de la onda de presión dentro del cilindro

Anexo E: Valores de referencia de análisis de emisiones

RESUMEN

Para el estudio del método de análisis y diagnóstico avanzado del motor de combustión interna se utilizó un osciloscopio PicoScope 4225 y un transductor de presión PicoScope WPS500X, mediante el cual se obtuvo oscilogramas específicos de cada vehículo que se comparó con señales ya establecidas en “Pressure Waveform Acquisition & Analysis”; complementando con el análisis de gases de escape, donde se midió los ángulos de apertura y cierre de válvula. Por el método de adquisición y análisis de datos arrojados por un solo instrumento de medida proporcionó datos en vivo de cada proceso, dio un ciclo completo de 4 tiempos que normalmente genera un motor. En Ecuador este método no es realizado, a pesar de ser de fácil acceso a equipos e información para ser aplicado; con el cual se efectuaría comprobaciones preliminares que admitan el correcto análisis de la función de alguna pieza específica que compone el motor. En conclusión el análisis y diagnóstico avanzado del motor de combustión interna por medio de oscilogramas eléctricos de presión y análisis de emisiones, determinó los patrones de comportamiento de señales eléctricas, se estandarizó los valores de referencia del análisis de los gases de escape de ciertas marcas, se verificó que los patrones de las señales eléctricas obtenidos de vehículos con fallas mecánicas concuerden con las reparaciones pertinentes y finalmente se estableció diagnósticos rápidos, seguros, confiables y sobre todo de calidad. Se recomienda que los talleres de automotriz en Ecuador se equipen de herramienta y equipos de tecnología y apliquen este método de análisis y diagnóstico avanzado del motor de combustión interna que es rápido, seguro y de calidad sobre el método de desmontaje; para entregar los autos en óptimas condiciones, mejorar la atención mediante el ahorro de tiempo y dinero y satisfaciendo de manera eficiente al cliente.

Palabras clave: <MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA> <OSCILOGRAMAS ELÉCTRICOS DE PRESIÓN> <ANÁLISIS DE EMISIONES> <TRANSDUCTOR DE PRESIÓN> <OSCILOSCOPIO>.



Firmado electrónicamente por:
**HOLGER GERMAN
RAMOS UVIDIA**

0449-DBRA-UPT-2022

2022-03-10

ABSTRACT

For the study of the method of analysis and advanced diagnosis of the internal combustion engine, a PicoScope 4225 oscilloscope and a PicoScope WPS500X pressure transducer were used, through which specific oscillograms of each vehicle were obtained to compare with signals already established in "Pressure Waveform". Acquisition & Analysis"; complementing with the exhaust gas analysis, where the valve opening and closing angles were measured. By the method of acquisition and analysis of data gotten by a single measuring instrument, it provided live data of each process, giving a complete 4-stroke cycle that an engine normally generates. In Ecuador this method is not carried out, despite the easy access to equipment and information to be applied; with which preliminary checks would be carried out that admit the correct analysis of the function of some specific part that makes up the engine. In conclusion, the analysis and advanced diagnosis of the internal combustion engine by means of electrical oscillograms of pressure and emissions analysis, determined the behavior patterns of electrical signals, the reference values of the exhaust gas analysis of certain brands were standardized, it was verified that the patterns of the electrical signals obtained from vehicles with mechanical failures agree with the pertinent repairs and finally fast, safe, reliable and, above all, quality diagnoses were established. It is recommended that automotive workshops in Ecuador equip themselves with technology tools and equipment and apply this method of analysis and advanced diagnosis of the internal combustion engine that is fast, safe and of quality over the disassembly method; to deliver the cars in optimal conditions, improve service by saving time and money and efficiently satisfying the customer.

Keywords: <INTERNAL COMBUSTION ENGINE> <ELECTRICAL PRESSURE OSCILLOGRAMS> <EMISSIONS ANALYSIS> <PRESSURE TRANSDUCER> <OSCILLOSCOPE>.

LUIS
FRANCISCO
MANTILLA
CABRERA



Firmado
digitalmente por
LUIS FRANCISCO
MANTILLA CABRERA
Fecha: 2022.03.17
00:00:55 -05'00'

INTRODUCCIÓN

El avance que tiene hoy en día el área automotriz le ha permitido al vehículo tener un gran desempeño en lo que respecta a alta eficiencia con un menor consumo de combustible analizando todos los sensores necesarios y realizando reajustes en los actuadores; como en el caso de la estructura compleja de los sistemas que componen el motor lo cual es fácilmente visible al levantar el capo de cualquier vehículo nuevo y se observe como la tecnología se vuelve más compleja, y por ende el acceso para la realización de pruebas de estado del motor tradicionales es cada vez más difícil por la cantidad de elementos electrónicos y eléctricos que se ubican sobre el motor para su correcto funcionamiento.

Los contratiempo para la realización de un análisis de un motor no se hacen esperar, ya que en vehículos de diferentes marcas muchas de las veces para poder acceder hacia un elemento que compone el motor es necesario desarmar una cantidad excesiva de elementos que se anteponen al elemento necesario, esto provoca una demora en cuanto a tiempo de trabajo, y en la mayoría de casos la falla no es el elemento desarmado, por lo cual esto causa un malestar al cliente, generando gastos innecesarios y tiempo perdido.

El conocimiento y uso del osciloscopio, el analizador de gases y la operación mecánica del motor son factores esenciales para aprovechar los beneficios que brindan los transductores de presión, como son: la forma de onda de presión del colector de admisión, la cámara de combustión y la corriente de escape, generan una gran cantidad de información que con el correcto análisis y la utilización de herramientas tecnológicas adecuadas se puede descubrir que hay formas más fáciles para diagnosticar un motor de combustión interna.

El presente proyecto técnico se desarrolla con la finalidad de determinar patrones en el comportamiento de señales eléctricas, obtenidos con un transductor de presión directamente del motor de combustión interna cuando este se encuentra en funcionamiento, además de realizar una comparación de los patrones obtenidos con un analizador de gases de escape verificando así el estado en el cual se encuentra el motor.

CAPÍTULO I

1 MARCO REFERENCIAL

1.1 Antecedentes

En lo que se refiere al sector automotriz se ha demostrado que existe un constante avance, en lo mecánico, eléctrico y electrónico, por ende, un ingeniero automotriz debe estar constantemente capacitándose para poder competir en el mercado automotriz. Para ello es necesario varias herramientas tales como un scanner automotriz, probadores de sensores, software con manuales de varios vehículos entre otros, todo esto sirve para facilitar el diagnóstico con mayor rapidez y hacer las correcciones necesarias (BURGOS & PACHECO, 2018, p. 1).

El poder determinar mediante pruebas mecánicas del motor si existe o no un problema mecánico, es importante y más si estas fallas son encontradas sin desmontar ningún elemento del motor, para una inspección visual, lo que lleva mucho tiempo y puede ceder, una situación en la que el propietario del automóvil pueda abandonar la reparación, pero ahora el vehículo ya no se puede operar a menos que se vuelva a ensamblar el motor, siendo este un camino que nadie quiere pasar en el trabajo (MANÁ, 2018).

El presente proyecto tiene como finalidad determinar y estandarizar valores de referencia de las ondas generadas por el transductor de presión los mismos que varían dependiendo de la presión y la carrera del pistón, esto permite analizar el estado en el que se encuentra el motor de un vehículo, relacionando estos valores con porcentajes de emisiones contaminantes, generando un diagnóstico y análisis de calidad el cual disminuirá costos de reparación innecesarios, tiempos, cumplimientos de fechas de entrega y trabajos con garantía beneficiando tanto al trabajador como al dueño del vehículo, el cual decidirá si desea o no realizar la reparación sin ningún inconveniente.

1.2 Problema

Las diferentes pruebas que se realizan a un motor de combustión interna para verificar su estado y posibles fallas no proporcionan datos suficientes y confiables para establecer un buen diagnóstico, entre las diferentes pruebas se encuentra la más usada que es la de compresión de la cámara de combustión, la cual está destinada a ser la primera comprobación que se realiza en un motor de combustión interna. La misma que si se encuentra dentro de los parámetros establecidos de presión, se procede a investigar otras posibles causas de daño en el motor de combustión interna, o si la prueba detecta una baja compresión en un cilindro se debe verificar el cilindro defectuoso. Otra prueba que se realiza también es la de compresión relativa la misma que

determina si los cilindros de un motor están en los mismos valores de compresión, se lo realiza rápidamente y sin desmontar bujías, para ello se utiliza una pinza amperimétrica, verificando en ella la cantidad de corriente requerida para hacer girar el motor, mientras un cilindro está en su carrera de compresión indicara cuanta corriente consume la fuerza necesaria para comprimir el aire dentro el cilindro, observando si uno es más débil que los demás, pero sin saber el problema existente dentro del motor ni el número de cilindro que proporciona esa señal errónea.

Considerando lo expuesto anteriormente las diferentes pruebas realizadas para un análisis de un motor de combustión interna no obtienen los mejores resultados, y sin saber las causas dentro del motor que generan el problema; como consecuencia se crean gastos innecesarios al cliente, y no da lugar al uso de herramientas con avances tecnológicos que pueden dar mejores resultados de lo esperado.

1.3 Justificación

Si bien tanto un manómetro mecánico como un transductor de presión ayudan a diagnosticar vehículos, definitivamente hay beneficios de seleccionar un transductor de presión sobre un manómetro. Los transductores de presión permiten un gráfico de la presión a lo largo del tiempo en un formato de gráfico utilizado junto con un osciloscopio de almacenamiento digital (DSSO). A diferencia de un manómetro mecánico, los transductores de presión muestran más que simplemente la presión máxima. Tienen la capacidad de trabajar con otras entradas y/o herramientas para proporcionar una correlación en el tiempo con el ciclo del motor de 720 grados. Los transductores de presión permiten una verificación rápida de la integridad mecánica del motor, incluso una precisión milimétrica con algo de práctica, así como un análisis preliminar del vehículo sin necesidad de un costoso desmontaje del vehículo.

El transductor de presión se ha convertido en la herramienta de diagnóstico esencial para ayudar con una multitud de tareas relacionadas con la presión desde -15 psi hasta 500 psi, reemplazando así la mayoría de los manómetros analógicos que se utilizan en la actualidad. Con la capacidad de medir la presión contra el tiempo, ahora se puede presenciar acontecimientos rápidos que no eran visibles fácilmente (PICOTECHNOLOGY, 2021).

1.4 Objetivo General

Determinar patrones de comportamiento de señales eléctricas dentro de los sistemas de un motor de combustión interna utilizando un transductor de presión y valores referenciales de análisis de gases de escape.

1.5 Objetivos Específicos

- Establecer diagnósticos rápidos y confiables mediante el uso de equipos como el osciloscopio y el analizador de gases
- Determinar valores referenciales de señales eléctricas proporcionadas por el transductor de presión de vehículos en buen estado
- Verificar que los patrones de las señales eléctricas obtenidos de vehículos con fallas mecánicas concuerden con las reparaciones pertinentes que se realice al vehículo.
- Obtener patrones de comportamiento de los valores obtenidos mediante el analizador de gases de escape de vehículos que presenten fallas.

CAPÍTULO II

2 MARCO TEÓRICO

2.1 Motor de combustión interna (MCI)

Este motor es un tipo de máquina que obtiene energía a partir de la energía química producida por un combustible que arde en una cámara de combustión del cual se obtiene energía mecánica, tal como se aprecia en la figura 1-2. (FREIRE & LOZA, 2013, p. 4).



Figura 1-2: Motor de combustión interna

Fuente: (SOLVERDCA, 2021).

Los motores se clasifican en ciclo Otto y diésel acorde a su funcionamiento. El motor ciclo Otto puede clasificarse en:

- Gasolina
- GLP (Gas licuado de petróleo)
- GNC (Gas natural comprimido)
- Etanol

El mecanismo de funcionamiento se basa en la interacción de los elementos que se aprecian en la figura 2-2. En la parte del bloque se encuentra el cilindro donde aloja un pistón que se ajusta a sus paredes mediante unos anillos o segmentos que evitan que los gases se introduzcan en la parte inferior del motor y contribuyan a la lubricación del motor (FREIRE & LOZA, 2013).

El pistón está unido a un brazo de biela, la cual transmite la fuerza de explosión al codo de un cigüeñal. Con esta interacción el movimiento rectilíneo del pistón se convierte en un movimiento de rotación mediante el eje del cigüeñal (FREIRE & LOZA, 2013).

En el cabezote, se alojan las válvulas que permiten el ingreso o salida de los gases del cilindro. El movimiento del cigüeñal es transmitido al eje del árbol de levas con una relación de 2:1 por medio de una banda o cadena (FREIRE & LOZA, 2013).

En la parte inferior del bloque de motor se sella con el cárter, donde se encuentra reposando el aceite, para que en funcionamiento del motor lubrique por los diferentes conductos (FREIRE & LOZA, 2013).

2.2 Ciclos de motor básicos

La mayoría de los motores de combustión interna, tanto de encendido por chispa como por compresión, funcionan en un ciclo de cuatro tiempos o en un ciclo de dos tiempos. Estos ciclos básicos son bastante estándar para todos los motores, con solo ligeras variaciones en los diseños individuales.

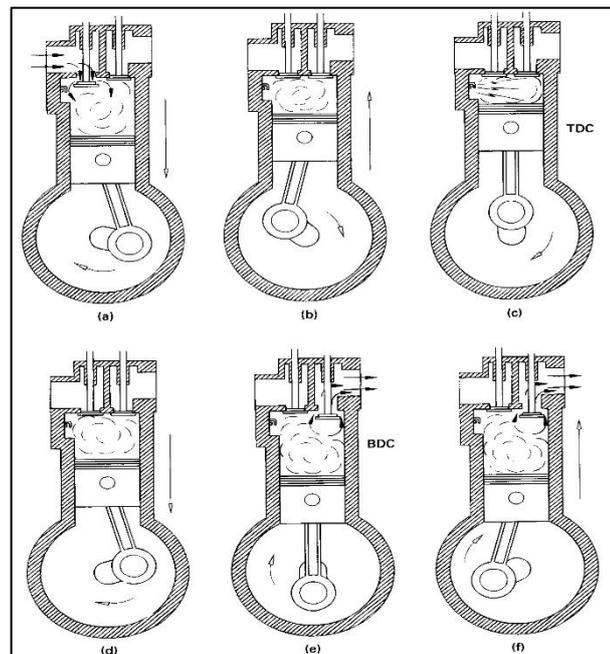


Figura 2-2: Ciclo de funcionamiento del motor de cuatro tiempos.

Fuente: (PULKRABEK, 2004).

Tabla 1-2: Ciclos del motor

a	Primera carrera	<ul style="list-style-type: none"> • Carrera de admisión de aire • El pistón se desplaza de PMS a PMI con las válvulas de admisión abiertas y las de escape cerradas • A medida que el aire ingresa se agrega combustible mediante la inyección
b	Segunda carrera	<ul style="list-style-type: none"> • Carrera de compresión

		<ul style="list-style-type: none"> • Al llegar el pistón al PMI se cierra la válvula de admisión y el pistón regresa al PMS con las válvulas cerradas • Se comprime la mezcla de aire y gasolina, elevando así la presión y la temperatura
c	Combustión	<ul style="list-style-type: none"> • Ocurre en un periodo corto pero finito. • La combustión cambia la composición de la mezcla de gases a la de los productos de escape y aumenta la temperatura en el cilindro a un valor alto como la de su presión.
d	Tercera carrera	<ul style="list-style-type: none"> • Carrera de potencia. • Con las válvulas cerradas, el pistón es empujado hacia el PMI por la presión creada en la combustión. • El volumen del cilindro aumenta, haciendo que la presión y temperatura descendan.
e	Purga de escape	<ul style="list-style-type: none"> • La válvula de escape se encuentra abierta para la evacuación o purga de los gases. • Al abrir la válvula antes del PMI reduce el trabajo obtenido durante la carrera de potencia, pero es necesario por el tiempo finito para la purga del escape.
f	Cuarta carrera	<ul style="list-style-type: none"> • Carrera de escape • Cuando el pistón alcanza el PMI, la purga de escape esta completa, pero el cilindro aun esta con gas de escape debido a la presión atmosférica • El pistón recorrerá del PMI al PMS con las válvulas de escape abierto, esto obliga a la evacuación de los gases restantes. • Antes que el pistón llegue al PMS se abre la válvula de admisión para comenzar otro nuevo ciclo • Cerca de PMS, la válvula de escape se cierra. “Este período en el que tanto la válvula de admisión como la válvula de escape están abiertas se denomina superposición de válvulas” (PULKRABEK, 2004).

Fuente: (PULKRABEK, 2004).

2.3 Emisiones del motor y contaminación del aire

La contaminación producida por los gases de escape de los automotores contribuye a uno de los principales problemas del mundo en contaminación al aire, por ende, se ha realizado investigaciones que han logrado la reducción en las emisiones de los motores, pero el problema

persistirá ya que existe un crecimiento poblacional y por ende mayor número de vehículos (PULKRABEK, 2004, p. 86).

Los vehículos generan tres tipos de emisiones que contaminan como son:

- Evaporativas
- Por el tubo de escape
- Por el desgaste del freno como de los neumáticos

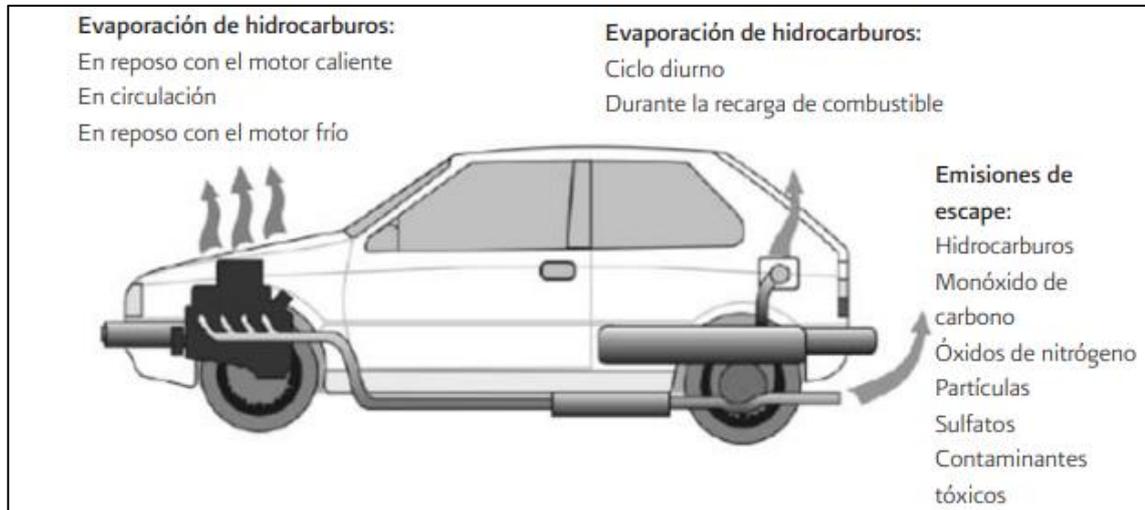


Figura 3-2: Emisiones contaminantes del vehículo

Fuente: (SIN AUTOR, 2021).

- **Emisiones evaporativas**

Son causadas por la evaporación del combustible ya sea cuando el vehículo esté en funcionamiento o no, su magnitud de contaminación depende de varios factores como las características del vehículo, la temperatura ambiente y la altura. Estas emisiones pueden ser:

- Emisiones diurnas
- Apagado reciente del vehículo
- Por circulación del vehículo
- Motor en frío con el vehículo en reposo
- Recarga de combustible

- **Emisiones por el tubo de escape**

Es el producto de la combustión del automóvil y desprenden contaminantes como los hidrocarburos, los óxidos de nitrógeno y material particulado

Se están utilizando dos métodos para reducir las emisiones nocivas del motor.

Uno es mejorar la tecnología de motores y combustibles para que se produzca una mejor combustión y se generen menos emisiones (PULKRABEK, 2004, p. 87).

El segundo método es el post tratamiento de los gases de escape. Esto se hace mediante el uso de convertidores térmicos o catalíticos que promueven reacciones químicas en el flujo de escape.

cuando se ingiere menos aire en los cilindros durante la admisión debido a esta presión más baja, la entrada de combustible por los inyectores o el carburador también se reduce proporcionalmente” (PULKRABEK,2004,p.84).

2.5 Transductor de presión

Son conocidos como sensores de presión en el cilindro, es un dispositivo que convierte la presión en una señal eléctrica, dicha señal se puede observar en un osciloscopio, en base a la frecuencia y amplitud, gracias a esto se puede dar algunas conclusiones sobre el funcionamiento del motor del vehículo sin la necesidad del desmontaje, se puede diagnosticar problemas de compresión, combustión, sincronización del encendido (MECHANIC.COM.AU, 2020).

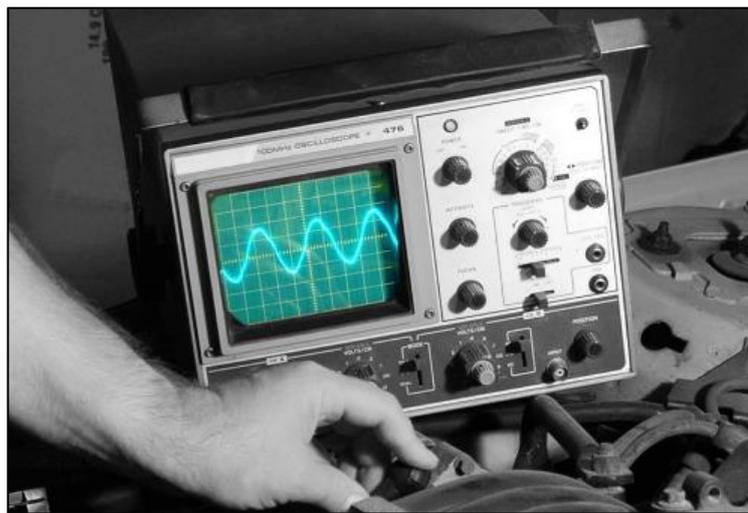


Figura 5-2: Medición en el osciloscopio del sensor de presión

Fuente: (MECHANIC.COM.AU, 2020).

La mayoría de los transductores de presión contienen discos u obleas piezoeléctricos que generan una corriente eléctrica cuando es sometida a una diferencia de presiones que se produce en el interior del cilindro, las corrientes son muy pequeñas y se usa un amplificador entre el transductor y el osciloscopio para observar con mayor detalle las ondas de la gráfica (MECHANIC.COM.AU, 2020).

Según MECHANIC.COM.AU, 2020 *“La mayoría de los transductores son sensibles como para registrar las fluctuaciones diminutas en las ondas de presión causadas por guías de válvulas desgastadas. o válvulas que no se cierran de forma segura debido a las oscilaciones del resorte de la válvula”.*

2.5.1 Ubicación

Es posible colocar transductores de presión de bujías, que nos permitirá conseguir datos en tiempo real en las condiciones exactas cuando el vehículo en funcionamiento. Las bujías están equipadas

con sensores de presión, son igual a las normales con respecto al tamaño de rosca, el grado de calor, la resistencia y la conductividad (MECHANIC.COM.AU, 2020).

Según MECHANIC.COM.AU, 2020 existe otro tipo de transductores de presión en el cilindro *“son aquellos que se pueden instalar directamente en una culata. Sin embargo, estos diseños requieren que los agujeros adecuados se mecanizar y aprovechar en la culata, y aunque esto es posible hacerlo en algunas culatas, la colocación de múltiples válvulas por cilindro a menudo no deja espacio para un transductor”*.

2.5.2 Tipos de transductores de presión

2.5.2.1 Transductor de presión absoluta

Es usado para observar la presión en sistemas hidráulicos, transmisiones automáticas, presiones del aceite y combustible, este tipo de transductor se enfoca en el análisis de fallas en el motor Su uso en lugar de un manómetro mecánico ofrece enormes ventajas a los técnicos, un manómetro normal no nos dirá si el cilindro tiene una pérdida de volumen debido a una fuga, o más bien una baja compresión debido a la imposibilidad de llenar la cámara de combustión (STECKLER, 2019.p.15).

Características de un transductor de presión absoluta

- Mide el valor de presión real
- La presión de referencia (positiva)
- A medida que la presión aumenta, también lo hace la salida del transductor
- Cuando la presión disminuye, también la salida del transductor
- La forma de onda sube con la presión de voltaje
- Requiere tierra para referencia

Funcionamiento de un transductor de presión absoluta

Miden un valor de presión real que hace referencia a la presión positiva. Las formas de onda suben con un aumento de presión. Los transductores de presión absoluta requieren voltaje y tierra como referencia (STECKLER, 2019.p. 15).

2.5.2.2 Transductor de presión Absoluta PicoScope

Es tremendamente preciso, se auto-cero y funciona de forma segura en entornos líquidos y gaseosos. El WPS500X posee una batería recargable mediante USB y proporciona su propio voltaje y referencias de tierra para la señal de presión. Una vez encendido, el dispositivo se calibra a la presión atmosférica como su punto cero y está listo para conectarse a ambos puntos de muestra, como el cilindro, el colector de admisión, el tubo de escape del motor y el por el otro extremo al osciloscopio (PICOTECHNOLOGY, 2021).



Figura 6-2: Transductor de presión wps500x

Fuente: (DITECOM DESIGN, 2021).

El transductor de presión WPS500X de Prens Pico Technology tiene tres rangos de presión seleccionables diferentes:

- -15 psi a +500 psi
- -15 psi a +50 psi
- -5 psi a +5 psi

Estos rangos de presión permiten la mejor resolución de conversión de presión a voltaje que puede mejorar una forma de onda para su análisis. El transductor de presión WPS500X también tiene la capacidad de tres niveles de zoom para mejorar la adquisición también (PICOTECHNOLOGY, 2021).

2.5.3 Transductor de presión delta

Los transductores de presión delta son dispositivos piezoeléctricos que producen voltaje cuando se estimulan. Su percutor cargado por resorte agita su cristal piezoeléctrico resultando en una chispa o voltaje. La importancia del funcionamiento de un transductor de presión delta es que responde a los cambios de presión y esto se refleja no solo en la dirección de la señal de salida del sensor, sino también en la amplitud de la señal de salida. A medida que los cambios de presión aumentan en una dirección positiva (aumento de presión), el sensor emite una salida positiva / norte. Cuanto mayor sea el cambio de presión, mayor será la amplitud de la señal. La misma característica es válida para las disminuciones de presión, pero en la dirección opuesta, los transductores de presión Delta se denominan: sensores FirstLook cuando los fabrica la tecnología SenX y los sensores de pulso de presión cuando los fabrica Autoditex (STECKLER, 2019.p17).

2.5.4 Aplicación de los transductores de presión

Los transductores de presión permiten obtener un gráfico de la presión a lo largo del tiempo en un formato de gráfico que se utiliza junto con un osciloscopio de almacenamiento digital (DSO).

A diferencia de un manómetro mecánico, los transductores de presión muestran más que simplemente la presión máxima. Tienen la capacidad de trabajar con otras entradas y/o herramientas para proporcionar una correlación en el tiempo con el ciclo del motor de 720 grados. Los transductores de presión permiten una verificación rápida de la integridad mecánica del motor, incluso una precisión milimétrica con algo de práctica, así como un análisis preliminar del vehículo sin la necesidad de un costoso desmontaje del vehículo (STECKLER, 2019.p25).

2.5.5 Pruebas que se puede realizar

Hay muchas formas de probar un vehículo usando transductores de presión, incluyendo:

- Prueba de presión en el cilindro
- Prueba de presión del colector de admisión
- Prueba de pulso del múltiple de escape
- Prueba de presión del cárter
- Prueba de presión del radiador

2.5.6 Fallas que se pueden encontrar

- Problemas de sellado de válvulas
- Paredes / anillos de pistón desgastados
- Sistema de distribución en malas condiciones
- Restricciones de múltiple de escape
- Existencia de carbonilla / restricciones de válvula
- Levas desgastadas
- Holguras de la válvula incorrectas
- Mala sincronización de encendido

2.5.7 Forma de onda de presión dentro del cilindro

La forma de onda de presión dentro del cilindro es algo indispensable para la realización de este estudio a continuación veremos las partes fundamentales de un oscilograma de presión.

- Compresión máxima
- Torres rectas
- Presión exterior
- Eventos de válvulas definidos
- Eventos de bolsillos

- IVO (intake valve open)
- IVC (intake valve closed)
- EVO (escape valve open)
- EVC (escape valve closed)

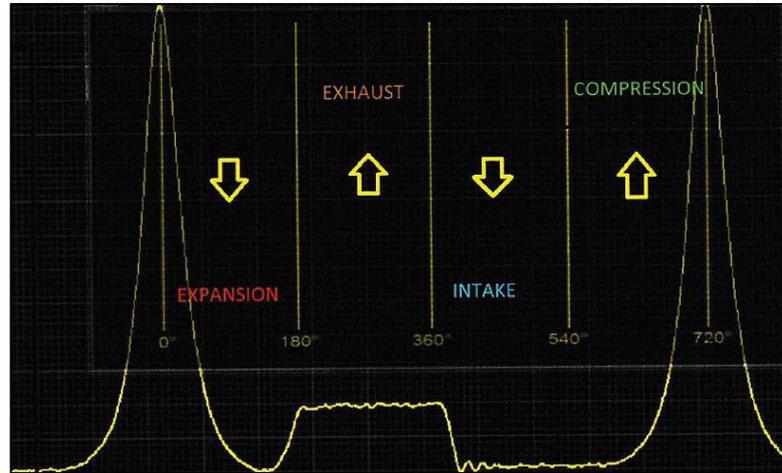


Gráfico 1-2: Forma de onda de presión dentro del cilindro.

Fuente: (STECKLER, 2019, p. 32)

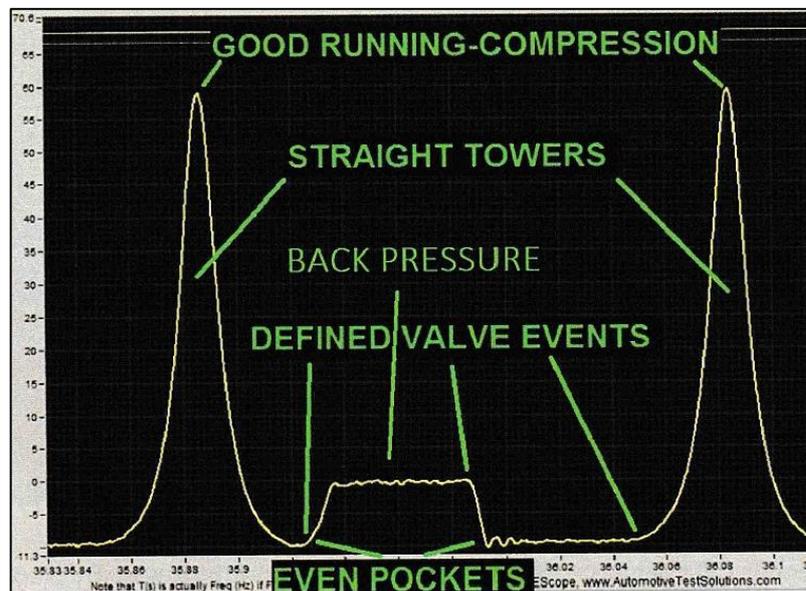


Gráfico 2-2: partes de la onda de presión dentro del cilindro.

Fuente: (STECKLER, 2019, p. 33).

2.6 Osciloscopio automotriz

Es un equipo de diagnóstico automotriz que nos permite visualizar las señales eléctricas que varía en un tiempo determinado mediante una gráfica, puede medir, mostrar fenómenos temporales e indicar formas de onda provenientes de los sensores y actuadores del vehículo a través de canales de entrada localizados en el osciloscopio. Se lo utiliza para verificar de una forma rápida el

funcionamiento de sensores, actuadores, corrientes del encendido de la bobina, presiones, etc.(NARVÁEZ & NARVÁEZ, 2019, p. 37).



Figura 7-2: Osciloscopio automotriz

Fuente: (AUTOAVANCE, 2019).

2.6.1 Funciones de un osciloscopio:

- Representar formas de onda.
- Analizar la forma de la onda emitida por los sensores.
- Delimitar el periodo y el voltaje de una señal de una forma directa.
- Determinar furtivamente la frecuencia emitida de una señal de forma indirecta.
- Definir en una señal eléctrica las partes que son AC o DC.
- Encontrar averías generadas en un circuito electrónico.
- Definir ruido generado en señales eléctricas, su variación y afectación.

2.6.2 Ventajas del osciloscopio:

- Permite detectar irregularidades en sistemas de inyección electrónicas, observado y analizando las señales emitidas por los sensores.
- Los osciloscopios automotrices tienen un tamaño portátil el cual permite usar dentro del vehículo además de poder realizar pruebas dinámicas durante la conducción.
- Se puede determinar amplitud, frecuencia, anchura de impulsos, etc. En una pantalla la cual muestra la forma de la señal procesada.

- Cuenta con un tiempo de respuesta muy corto el cual ayuda en el diagnóstico de fallas intermitentes.
- Cuenta con un almacenamiento en el cual se puede almacenar las formas de onda generadas en una memoria interna con el fin de estudiar posteriormente detalles de patrones y causas que forman dichas ondas.
- Permite una revisión de las fallas generadas una vez que se concluye con la reparación, para realizar una comparación de las formas de ondas generadas antes y después.

2.6.3 Tipos de osciloscopio automotriz

Según su funcionamiento y dependiendo de la forma en que produce el muestreo de señal, se dividen en dos tipos, los cuales son: analógicos y digitales. Los analógicos los que trabajan con variables continuas, y los digitales con variables discretas.

2.6.3.1 Osciloscopio analógico

Este tipo de osciloscopio trabajan directamente con la señal aplicada, la cual cuando se aplica esta desvía un haz de electrones en sentido vertical proporcional a su valor, esta atraviesa la sonda y se dirige a la sección vertical, y esta se atenúa o amplifica. Después la señal atraviesa la sección de disparo, y continua con un barrido horizontal de izquierda a derecha, y el de retrasado que es de derecha a izquierda, de una forma rápida. Por medio de esta acción combinada del trazado tanto horizontal como vertical se consigue trazar la gráfica de la señal en la pantalla del osciloscopio (UGR, 2021).

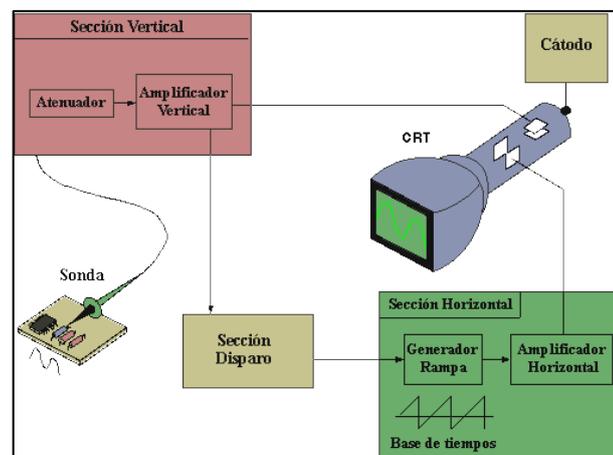


Figura 8-2: Componentes de un osciloscopio analógico.

Fuente: (UGR 2021).

2.6.3.2 Osciloscopio digital

La señal pasa por un convertor análogo-digital para que esta señal sea digital, las características y procedimientos son los mismos que en los osciloscopios analógicos pero además tiene el disparo anticipado (pre-triggering) para visualizar elementos de corta duración o la memorización de los datos para luego ser transferido a una Workstation, esto permite comparar medidas realizadas en el mismo punto de un circuito o elemento (FINALTEST, 2021).

Adicional añaden prestaciones y facilidades al usuario como:

- Medición de valores pico, entre ellos los máximos y mínimos de señal de una manera automática.
- Medición del valor eficaz verdadero
- Medición de flancos de una señal y otros intervalos.
- Medición y captura de transitorios.
- Mediciones avanzadas, como la FFT, que es útil para el cálculo espectral de la señal.



Figura 9-2: Osciloscopio digital.

Fuente: (FINALTEST, 2021).

2.6.4 Mediciones básicas con el osciloscopio

2.6.4.1 Medición de tensiones

Un uso muy común es el medir tensiones continuas y alternas, para ello se selecciona la posición de conmutador según el tipo de medición a realizar. Para poder medir tensión alterna se cuenta los cuadros de la retícula que ocupa la señal sobre la pantalla y esta cantidad obtenida se multiplica por un factor de conversión. En tensión continua se usa el desplazamiento vertical que la deflexión

experimenta a partir de una referencia, y si tiene un desplazamiento hacia la parte superior de la retícula la tensión es positiva, y si es hacia la parte inferior la tensión es negativa (UGR, 2021).

2.6.4.2 Medición de tiempos

La distancia con respecto al tiempo entre dos puntos determinados se calcula a partir de los centímetros que separan al uno del otro, y multiplicar por un factor indicado en el conmutador de la base de tiempos (UGR, 2021).

2.6.4.3 Medición de frecuencia

- Para esta medición se puede realizar de dos maneras
- Partiendo de la medición de un periodo de dicha señal
- Realizando una comparación de frecuencia conocida con una frecuencia que se desea analizar.

Por ello el osciloscopio funciona con entrada **X** y **Y**, aplicando cada una de las señales a estas entradas, al obtener una relación armónica completa entre ambas se puede observar el número de veces que una frecuencia contiene a la otra, pudiendo obtener una deducción de un valor de frecuencia (UGR, 2021).

2.7 Analizador de gases de escape

Es una máquina de diagnóstico automotriz que permite analizar la cantidad de emisiones que el motor está produciendo en el proceso de combustión, nos establece la proporción y concentración de cada gas, dando esto un control de los gases peligrosos para la prevención de fallas automotrices (MENDOZA, 2019).

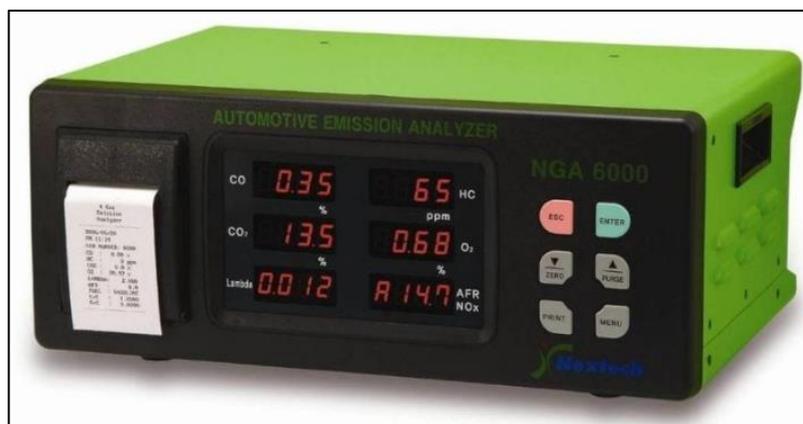


Figura 10-2: Analizador de gases

Fuente: (AUTOS&AUTOPARTES, 2017).

2.7.1 Principales componentes

Tabla 2-2: Componentes del analizador de gases

Fuente Infrarrojo (IR)	proporciona la luz y que produce un amplio rango de frecuencias que abarcan la totalidad de banda de luz y se extiende hacia ambas direcciones dentro de los rayos ultravioleta y el espectro visible.
Filtro infrarrojo (IR)	Se trata de un filtro óptico, con la función de limitar el paso de banda. Se utiliza primordialmente para seleccionar luz infrarroja centrada en una longitud de onda precisa; el centrado de la longitud de onda del filtro debe ser definido según el gas que se va a analizar. Ya que varios gases son los que componen las emisiones gaseosas es necesario de un instrumento de filtrado de luz infrarroja múltiple; este es el motivo de porque los analizadores de gases poseen tres filtros separados destinados cada uno para un tipo de gas específico: Hidrocarburos (HC), Monóxido de carbono (CO), Dióxido de carbono (CO ₂).
Celda de muestreo	La muestra del gas que va a ser medido es colocada en el interior de una celda simple o de un tubo de muestreo, cuyos extremos son ventanas que posibilitan que pase la luz infrarroja a través de los gases de la muestra. La celda de muestreo en la que se deposita el gas debe tener un alto y constante volumen.
Detector de luz infrarroja	Se define como un detector sensitivo a la anchura de la onda de luz infrarroja que transforma en voltaje a la luz.
Detector de porcentaje de oxígeno	El sensor de tipo generador de pulso es el que los analizadores de gases utilizan para poder medir el porcentaje de oxígeno (O ₂); la causa es que las concentraciones de aire contienen solo un 26% de oxígeno, y por tanto su espectro es pequeño.

Fuente: (ESCOBAR, 2015).

Para poder detectar de forma visual las señales reconocidas por los detectores, y además sea factible registrar los resultados de la medida en fracción de volumen de los componentes gaseosos, estas señales son tratadas deben ser traducidas de forma eléctrica.

2.7.2 Principio de funcionamiento

Está equipado con una bomba de vacío, que arrastra todos los gases de escape a través de una manguera que es insertada en el tubo de escape del vehículo, donde una muestra de gas entra al

analizador de gases y dicho gas es proyectada por una emisión de luz infrarroja (AUTOS&AUTOPARTES, 2017).

Según AUTOS&AUTOPARTES, 2017 “Diferentes partículas en el gas evitan que ciertas porciones de la luz emitida puedan alcanzar el receptor opuesto al emisor. De tal forma que los sensores determinan la cantidad de luz remanente y producen una alimentación para el procesador; éste determina la cantidad de los tres gases en el escape, el cuarto gas es medido por un sensor independiente (oxígeno), de aquí su nombre de cuatro gases”.

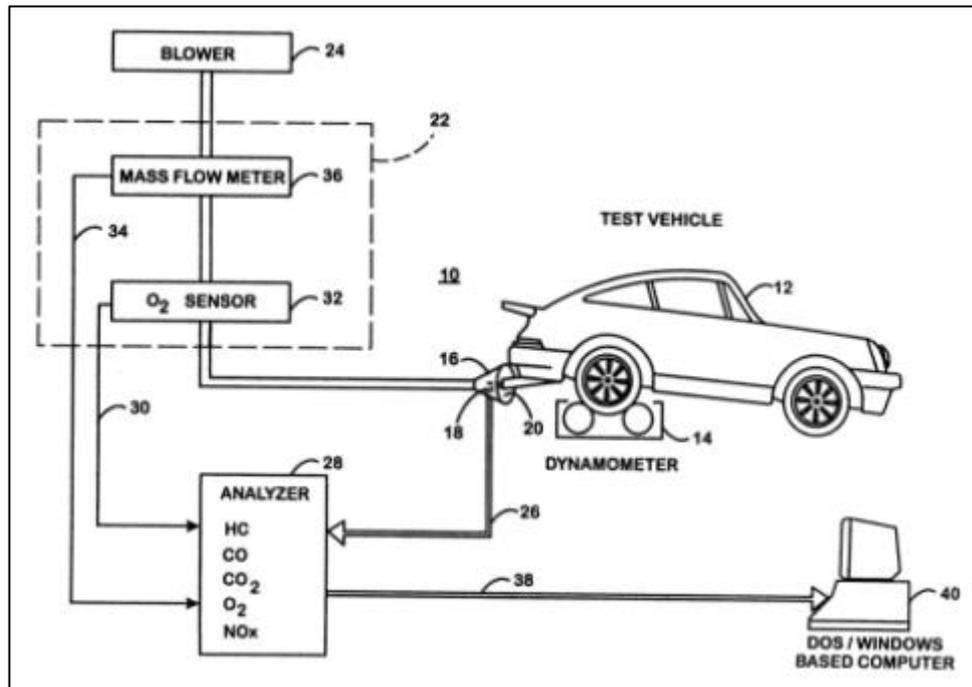


Figura 11-2: Diagrama de un análisis de gases

Fuente: (AUTOS&AUTOPARTES, 2017).

2.7.3 Significado de la aparición de algunos gases

2.7.3.1 Monóxido de carbono

- Se forma cuando el proceso de combustión es incompleto
- Si sus valores son altos, representa un peligro ya que es un gas tóxico para el ser humano

2.7.3.2 Dióxido de azufre

- Son impurezas en los combustibles
- Se encuentran en pequeñas cantidades en motores a gasolina y en mayor cantidad en motores Diesel

- Se combina con el vapor de agua y produce la lluvia acida

2.7.3.3 *Hidrocarburo*

- Se da por una mezcla pobre de oxigeno
- Si existe una concentración alta, indica exceso de combustible
- Si la concentración es alta existe una fuga de aceite hacia la cámara de combustión

CAPÍTULO III

3 MARCO METODOLÓGICO

Las fases para la realización de un proyecto técnico son:

- La percepción y definición del problema en sí.
- El diseño de las propuestas que pueden ejercer como alternativa para solucionar aquel.
- La organización y gestión del trabajo pertinente.
- La puesta en marcha de los distintos y necesarios modelos, tras la correspondiente planificación.
- La evaluación del proyecto en sí y, el perfeccionamiento de este cuando fuera necesario.

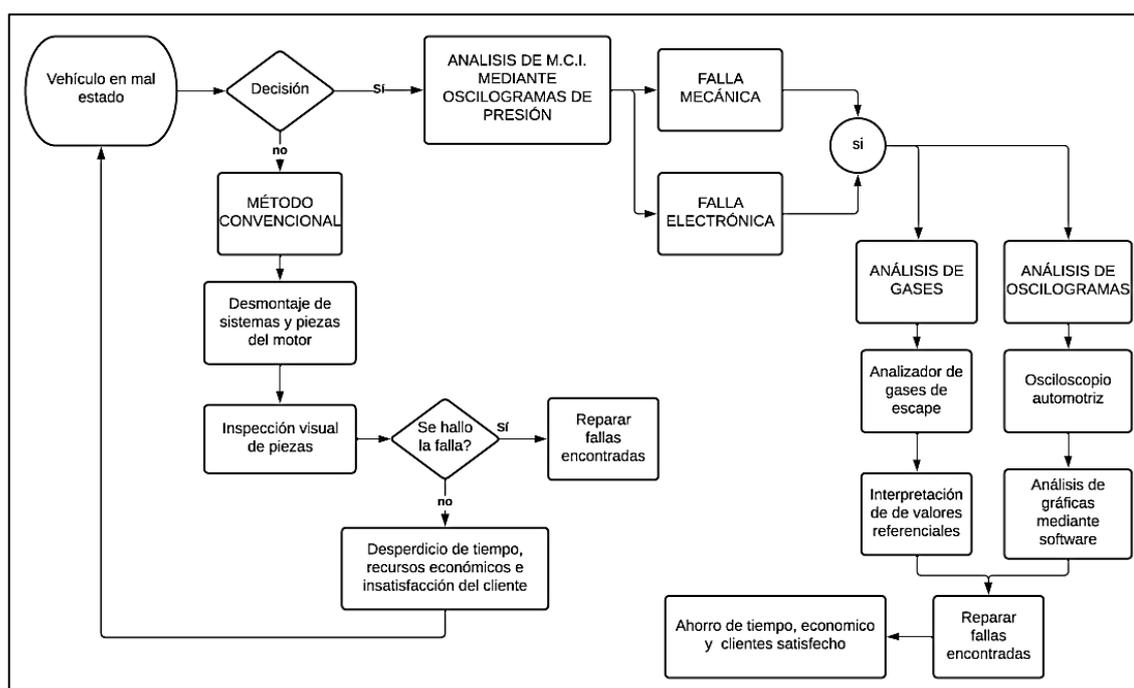


Gráfico 1-3: Diagrama de flujo metodología de proyecto técnico. -

Realizado por: Chávez, Andrés; Quishpi, Washington.2021.

3.1 Herramientas utilizadas:

- Transductor de presión WPS500X: Nos permite observar gráficamente lo que está sucediendo dentro del cilindro en las cuatro carreras del pistón como son Admisión Compresión Expansión y Escape para poder analizarlos punto por punto.
- Osciloscopio PicoScope 4225: Permite la medición, visualización y manipulación de oscilogramas eléctricos en una computadora.
- Chispometro: EL probador de chispa para bujías nos permite visualizar la chispa generada en el cilindro desconectado y verificar si el sistema de encendido trabaja adecuadamente.

- Acoples para distintos tipos de bujías: la mayoría de las marcas vienen con distintos tipos de bujías por lo cual es necesario poseer los acoples para cada tipo de bujía
- Software Pressure Waveform Overlays: es un software de superposiciones de forma de onda de presión con el cual analizaremos cada una de las gráficas.
- Analizador de gases de escape
- Software de adquisición de datos de análisis de gases de escape

3.2 Problemas al diagnosticar un motor de combustión interna

El principal problema del análisis de un motor de combustión interna es la falta de conocimiento y utilización de equipos de diagnóstico como es el osciloscopio automotriz, analizador de gases de escape y varios sensores que nos proporcionan gráficas o datos del estado y funcionamiento de motor que con el correcto análisis se puede llegar a un diagnóstico confiable y eficiente. Ya que en su mayoría las fallas se las puede diagnosticar visualmente y para llegar a esto es necesario desmontar algunas piezas del motor y esto genera costos innecesarios

3.3 Forma de diagnosticar un motor de combustión interna

La utilización de oscilogramas eléctricos proporcionados por un transductor de presión para analizar el estado y funcionamiento de un motor de combustión interna mediante la presión generada dentro del cilindro por el pistón en un ciclo completo de cuatro tiempos y de ser necesario complementar con un análisis en el múltiple de admisión determinando fallas que para poder ser encontradas tendríamos que hacer múltiples pruebas y en la mayoría de casos desarmar el vehículo para poder visualizar el problema

El análisis de gases nos permitirá determinar si algún elemento electrónico no está funcionando adecuadamente.

3.4 Procedimiento para diagnosticar un motor de combustión interna e instalación de equipos de medición

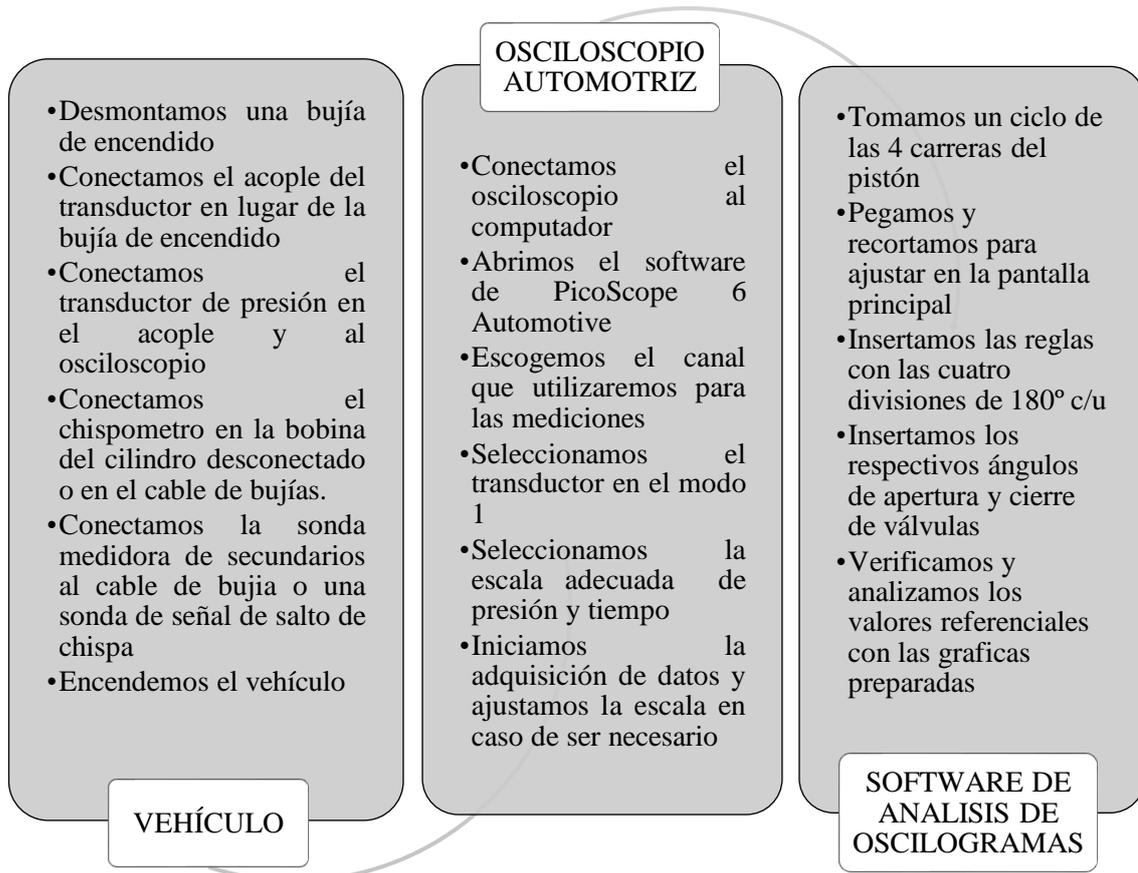


Gráfico 2-3: Procedimientos para realizar las mediciones de presión dentro del cilindro.

Realizado por: Chávez, Andrés; Quishpi, Washington.2021.

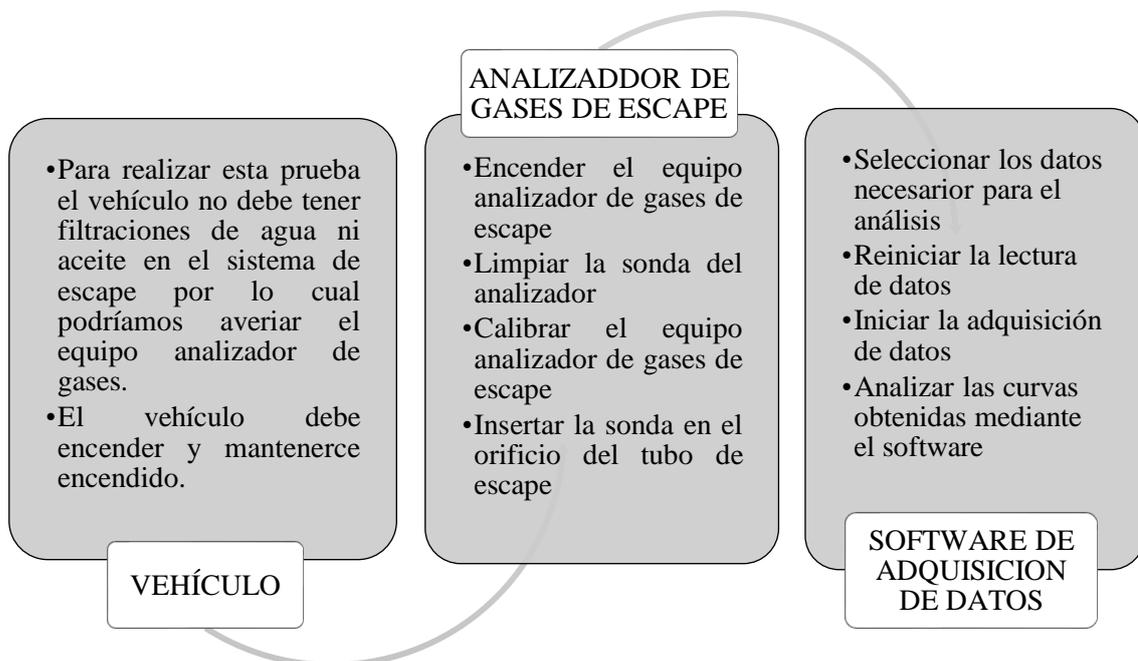


Gráfico 3-3: Procedimientos para realizar las mediciones de análisis de gases de escape.

Realizado por: Chávez, Andrés; Quishpi, Washington.2021.

3.5 Evaluación del proyecto

Con el diagnóstico realizado se procede al desmontaje del sistema que presente las fallas según el análisis realizado con lo cual comprobamos que las partes móviles del vehículo se encontraban desgastadas, descalibradas o en malas condiciones de funcionamiento para lo cual se procede a remplazarlo o calibrarlo y realizar nuevamente las mediciones de presión dentro del cilindro o análisis de gases para comprobar que se encuentre en óptimas condiciones.

CAPÍTULO IV

4 RESULTADOS

Se ha quitado la bujía y se ha colocado la manguera de compresión en el tapón de la bujía. En lugar de un medidor mecánico, hay un transductor de presión absoluta acoplado al osciloscopio de laboratorio y el motor está al ralentí. Evidentemente, no se produce ninguna combustión. La forma de onda se muestra verticalmente, la presión cambia. Muestra horizontalmente el tiempo transcurrido.

4.1 Análisis de oscilogramas eléctricos de presión dentro del cilindro

4.1.1 Mediciones de presión dentro del cilindro de vehículo en buen estado

En el gráfico 1-4 se puede observar la onda de un ciclo de trabajo de un motor de combustión interna de un Chevrolet Vitara 2010 en buen estado con la calibración adecuada, en la que se destacan las partes más importantes de la señal generada por el transductor de presión:

- Buena compresión máxima que varía con el diseño del motor.
- Las torres rectas infieren una cámara de combustión sellada mecánicamente.
- Eventos de válvulas definidos da lugar a una apertura y cierre de válvulas de manera rápida y correcta.
- Bolsillos alineados horizontalmente deducen una cámara de combustión que retiene todo su contenido.

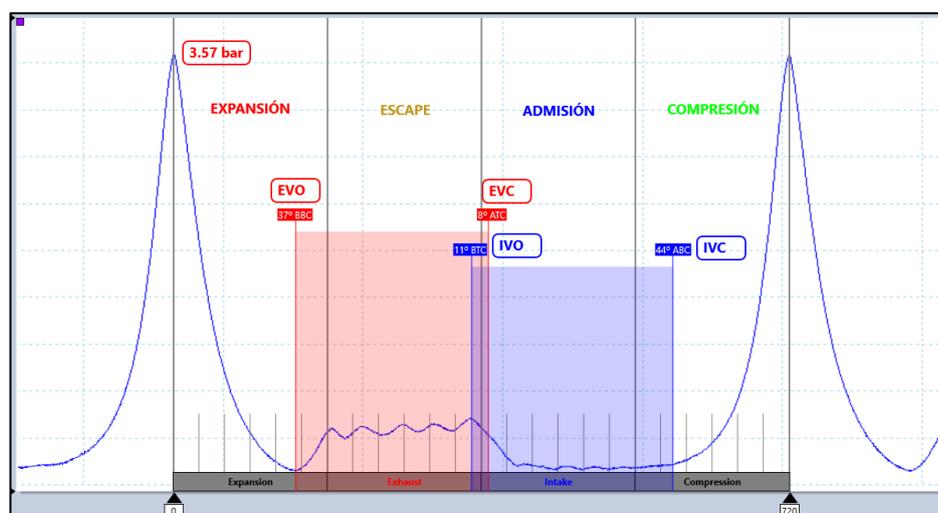


Gráfico 1-4: Oscilograma de presión dentro del cilindro de un motor Chevrolet Vitara 2010 en buen estado.

Realizado por: Chávez, Andrés; Quishpi, Washington.2021.

4.1.2 Mediciones de presión dentro del cilindro con problemas de distribución

En el gráfico 2-4, se puede observar un oscilograma de un Chevrolet Virara 2008. El color azul indica la presión dentro del cilindro y el color rojo el salto de la chispa; por lo cual se puede determinar que la chispa está saltando después del punto muerto superior. Esto indica que el sistema de distribución está mal sincronizado además de presentar fallas como pérdida de potencia e inestabilidad del motor.

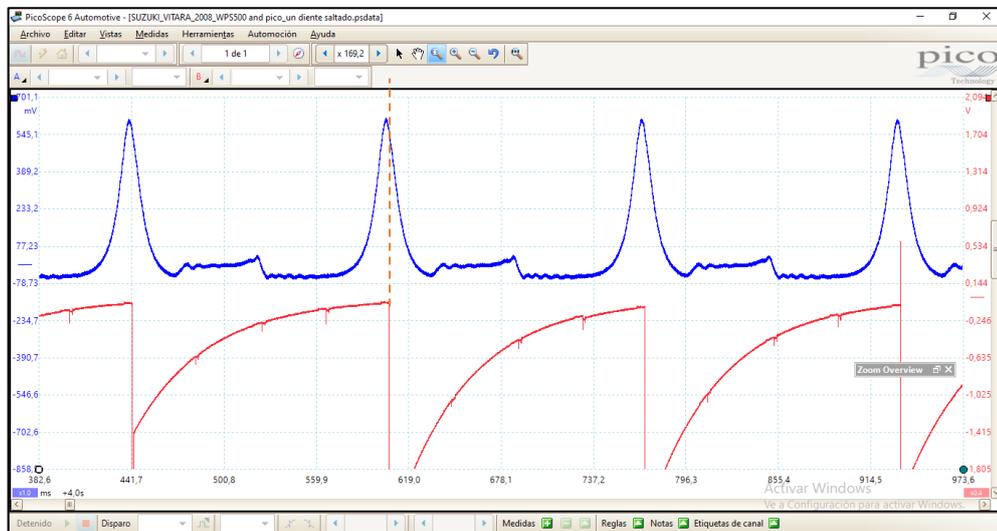


Gráfico 2-4: Oscilograma de presión y salto de chispa de Chevrolet Virara 2008.

Realizado por: Chávez, Andrés; Quishpi, Washington.2021.

En el gráfico 3-4 realizado al mismo vehículo Chevrolet Virara 2008 se puede observar que los eventos de apertura y cierre de válvulas de escape están desplazadas hacia la izquierda, el EVO es mayor a 45° y el EVC está antes del PMS, generándose un pequeño pico de presión al cerrarse con anterioridad la válvula de escape; indicando que en la leva de escape esta adelantada un diente en la distribución debido a que es un motor de doble árbol de levas. En el gráfico 3-4 se encuentra:

- Torres rectas
- Bolsillos Normales
- EVO Adelantado
- EVC Adelantado
- IVO Normal
- IVC Normal

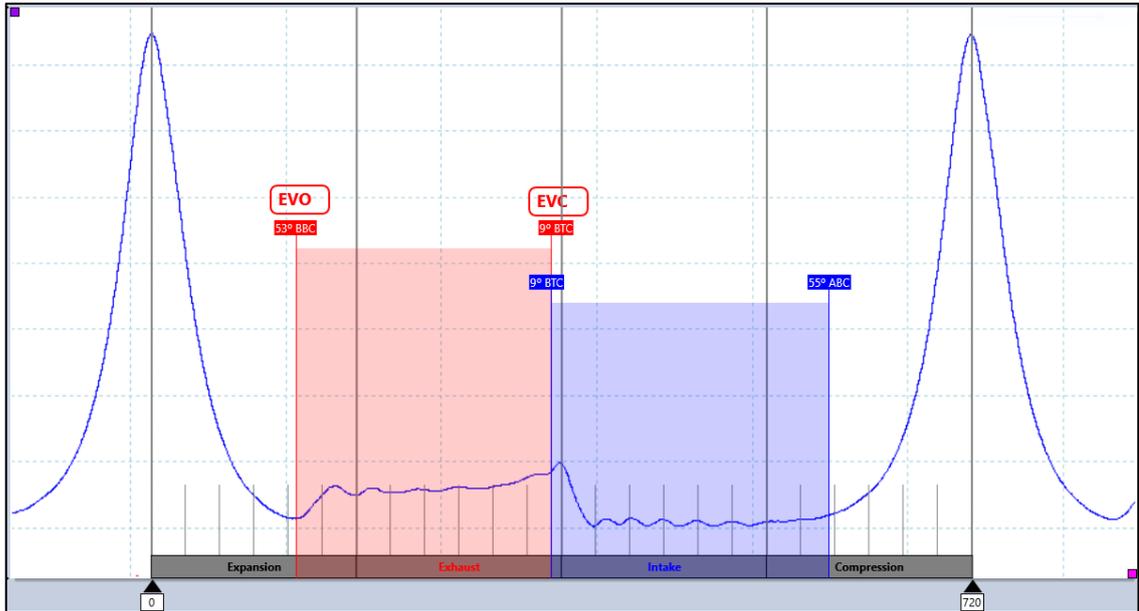


Gráfico 3-4: Oscilograma de presión y ángulos de apertura y cierre de válvulas de escape de un Chevrolet Virara 2008.

Realizado por: Chávez, Andrés; Quishpi, Washington.2021.

En el gráfico 4-4 se puede observar el oscilograma de un vehículo Chevrolet Vitara 2008, en el que sincronizado correctamente la distribución se obtiene:

- Torres rectas
- Bolsillos Definidos
- EVO Normal
- EVC Normal
- IVO Normal
- IVC Normal

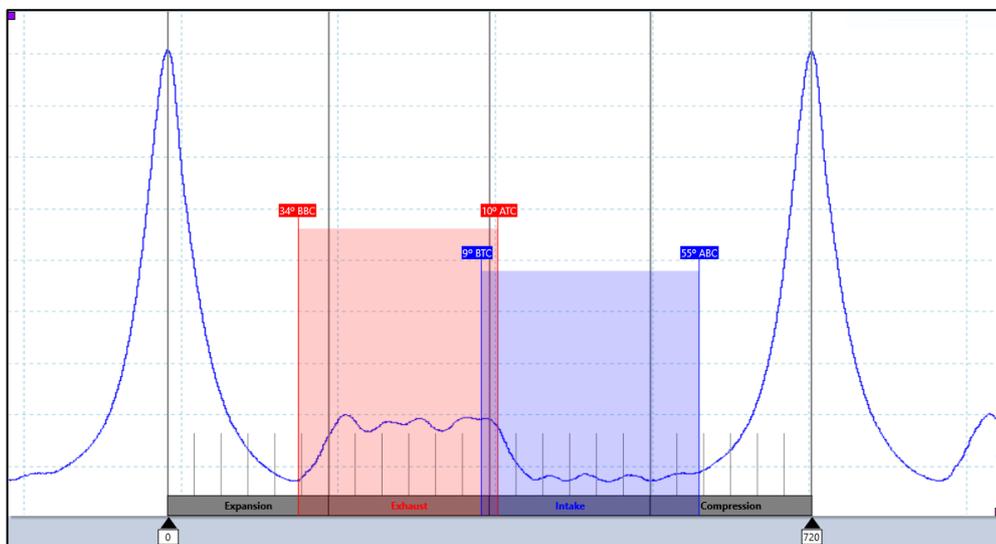


Gráfico 4-4: Oscilograma de presión dentro del cilindro de un Chevrolet Virara 2008.

Realizado por: Chávez, Andrés; Quishpi, Washington.2021.

En el gráfico 5-4 el EVO y EVC están fuera de rango, las válvulas accionadas por propulsores no se pueden calibrar, se tiene variación de levas centrifugas, por lo que se determina que la distribución está mal sincronizada; observando:

- Torres rectas
- Compresión alta
- Bolsillos Normales
- EVO Retrasado
- EVC Adelantado
- IVO Normal
- IVC Normal

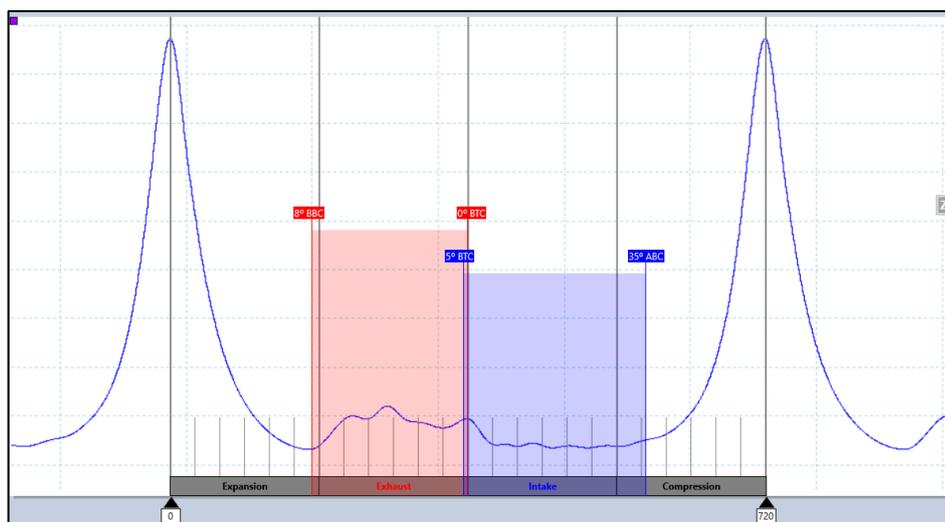


Gráfico 5-4: Oscilograma de presión dentro del cilindro de un Chevrolet Alto 2001.

Realizado por: Chávez, Andrés; Quishpi, Washington.2021.

Se desmontó completamente el sistema de distribución y se observa que el tensor de la cadena está completamente extendido y el variador centrifugo de apertura y cierre de levas está soldado como se muestra en la figura 1-4. La cadena de distribución permitió que el árbol de levas de escape no se abriera a tiempo. El reemplazo de los componentes de sincronización arregló esta falla detectada. Como siempre, el objetivo es completar cada prueba de diagnóstico para justificar el desmontaje, ganar tiempo y dirigirse al motor con confianza.

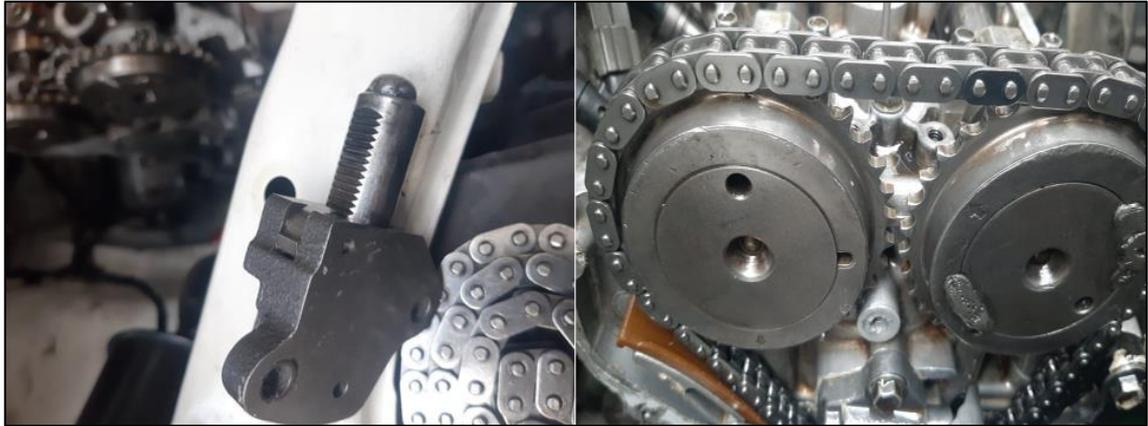


Figura 1-4: Falla encontradas en la distribución.

Realizado por: Chávez, Andrés; Quishpi, Washington.2021.

4.1.3 Mediciones de presión dentro del cilindro con obstrucción en el escape

En el gráfico 6-4 se puede observar que la curva cumple con los parámetros indicados a excepción de la parte encerrada en un círculo, la cual genera una variación de presión y para ello, se realiza una prueba de aceleración progresiva con el sensor de presión. En esta gráfica se ilustra los siguientes parámetros:

- Torres rectas
- Compresión Baja
- Bolsillos Normales
- EVO Normal
- EVC Normal
- IVO Normal
- IVC Normal
- Elevación de compresión en la carrera de escape

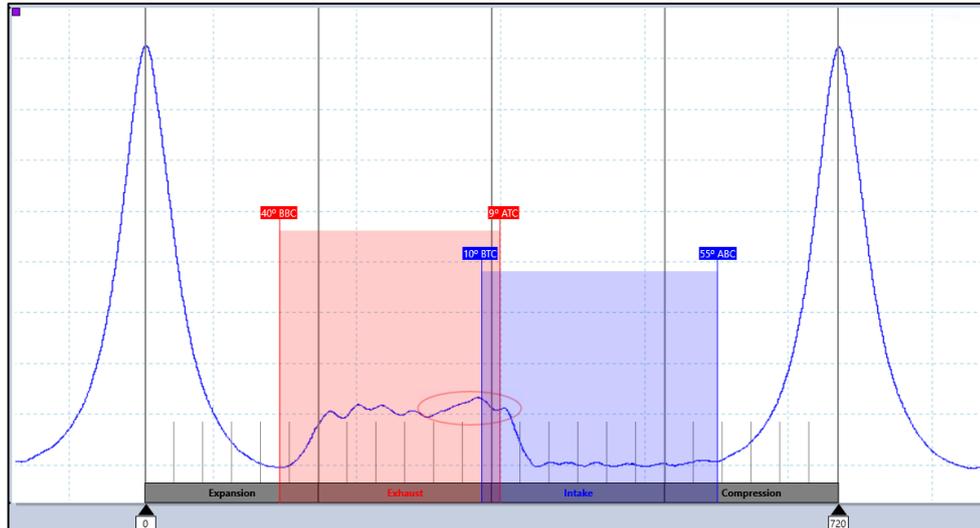


Gráfico 6-4: Oscilograma de presión dentro del cilindro de un Mazda BT-50 2001.

Realizado por: Chávez, Andrés; Quishpi, Washington.2021.

En el gráfico7-4 con aceleración progresiva, el volumen aumenta y la contrapresión de escape aumenta a casi 2 bares. Los gases quemados no tienen por donde escapar, por lo tanto, la contrapresión evita el llenado del cilindro y aumenta la presión de admisión teniendo una presión máxima de 2.76 bares en ralentí.

Esto generalmente se desarrolla por catalizadores tapados, pero este vehículo no cuenta con catalizador, por lo que el motor al estar consumiendo aceite, el múltiple de escape se obstruye parcialmente y existe dificultad en la salida de los gases de escape.

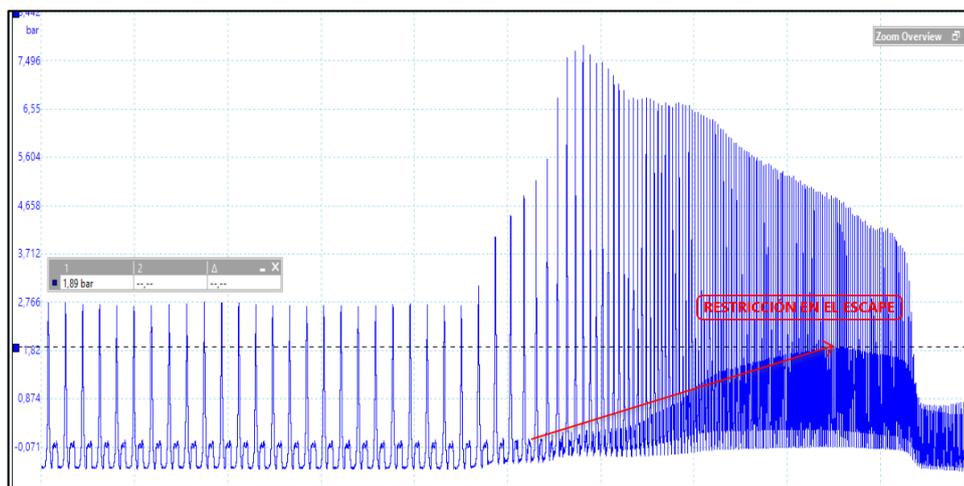


Gráfico 7-4: Oscilograma de presión dentro del cilindro con aceleración progresiva de un Mazda BT-50 2001.

Realizado por: Chávez, Andrés; Quishpi, Washington.2021.

Después de realizar una reparación íntegra en el motor y la limpieza del múltiple de escape se tomaron nuevamente los datos de presión dentro del cilindro; dando como resultado el gráfico 8-4 en el cual se observa que ya no existe obstrucción en el escape y la presión máxima dentro del

cilindro aumentó a 3.5 bares, al obtener un adecuado desfogue de los gases de escape y un apropiado llenado de cilindros.

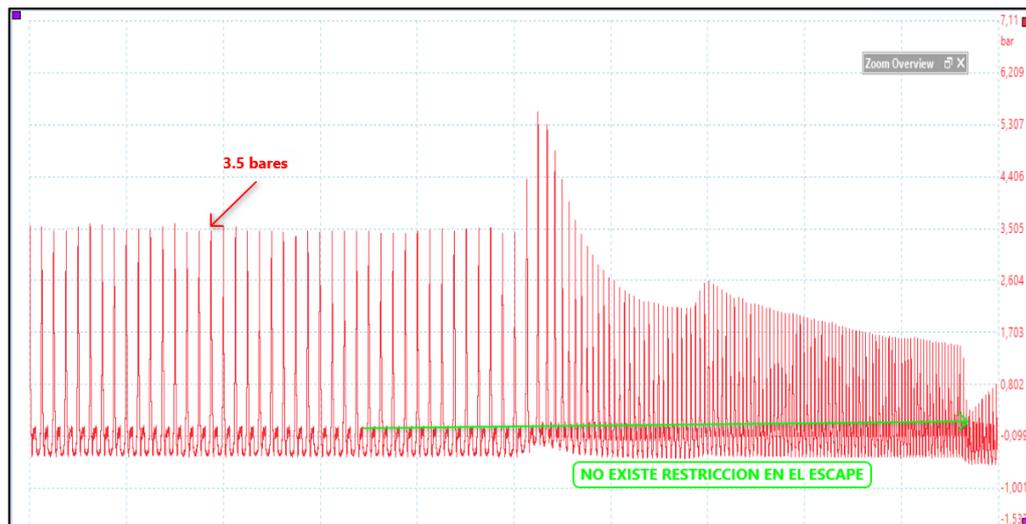


Gráfico 8-4: Oscilograma de presión dentro del cilindro con aceleración progresiva de un Mazda BT-50 2001.

Realizado por: Chávez, Andrés; Quishpi, Washington.2021.

En el gráfico 9-4 se puede observar que la onda de presión con aceleración progresiva y un aumento del volumen de gases de escape, indica una obstrucción en el mismo; además la presión generada dentro del múltiple de escape no permite el llenado óptimo de la mezcla aire-combustible al interior del cilindro por lo cual se recomienda cambiar el catalizador.

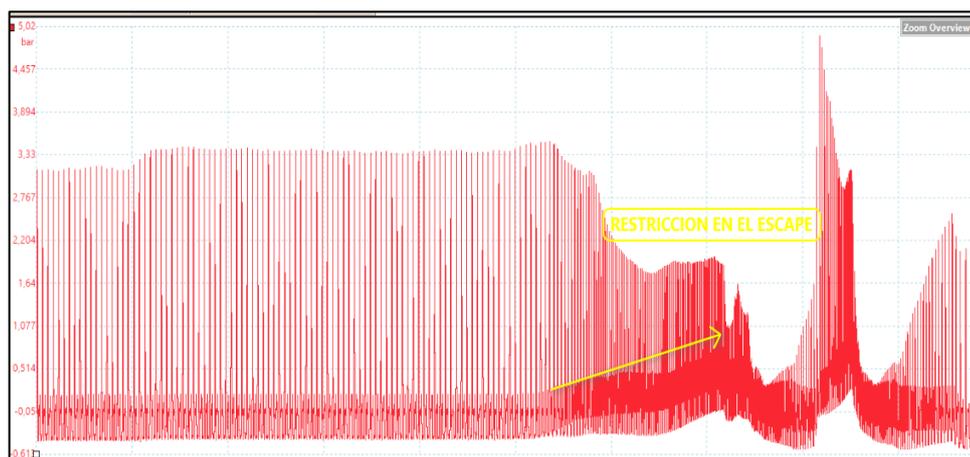


Gráfico 9-4: Oscilograma de presión dentro del cilindro con aceleración progresiva de un Chevrolet Captiva 2010.

Realizado por: Chávez, Andrés; Quishpi, Washington.2021.

4.1.4 Mediciones de presión dentro del cilindro con mala sincronización del distribuidor

En color azul está la curva de presión dentro del cilindro, en color amarillo, el salto de chispa y en color rojo, el pulso de inyección del cilindro uno. En el gráfico 10-4 se nota que la chispa está

saltando después del punto muerto superior, lo que da a entender que los cables de bujías están invertidos en el distribuidor y el pulso de inyección está saltando mucho antes de que comience la carrera de admisión.

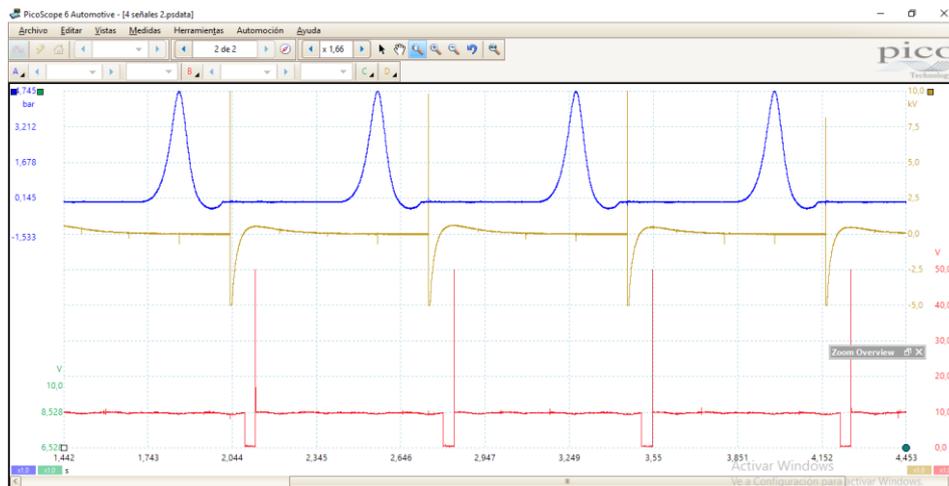


Gráfico 10-4: Oscilograma de presión dentro del cilindro con salto de chispa y pulso de inyección de un cilindro mal sincronizado.

Realizado por: Chávez, Andrés; Quishpi, Washington.2021.

En el gráfico 11-4 después de colocar los cables de encendido en correcta posición; es decir, poniendo el primer pistón en la carrera de compresión, en su punto muerto superior y la posición del rotor del distribuidor se determina cual es el cable de bujía correcto para el cilindro número uno.

Se realiza la misma prueba de señales de presión de cilindro, salto de chispa y pulso de inyección, en el cual se puede notar que cada señal está en el lugar correcto, dependiendo en la carrera que se encuentra el pistón. En color azul, la curva de presión dentro del cilindro; en color amarillo, el salto de chispa y en color rojo, el pulso de inyección del cilindro uno.

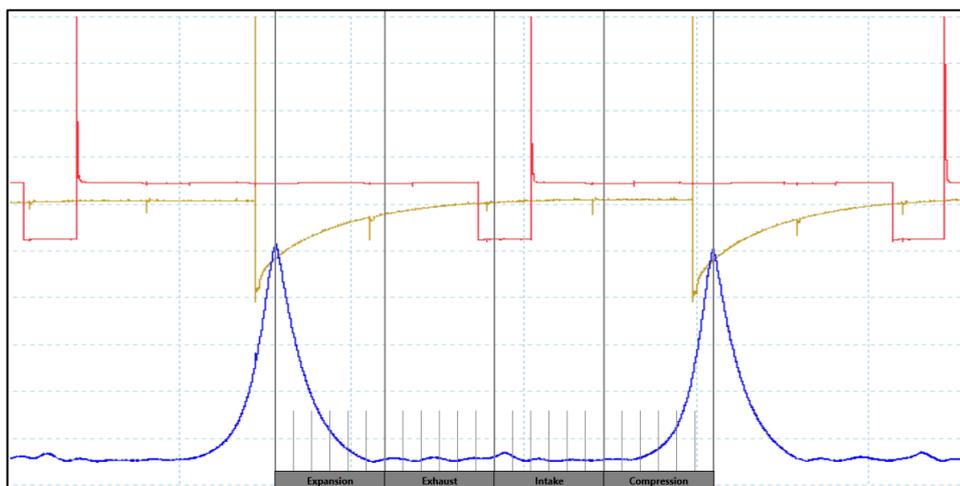


Gráfico 11-4: Oscilograma de presión dentro del cilindro con salto de chispa y pulso de inyección de un cilindro sincronizado.

Realizado por: Chávez, Andrés; Quishpi, Washington.2021.

4.2 Análisis de Gases de gases escape

4.2.1 Análisis de gases de un vehículo en buen estado

Del gráfico 12-4 al gráfico 14-4 se puede observar los valores del análisis de gases de un vehículo en buen estado, los cuales oscilan en los rangos ya establecidos de un vehículo de inyección indirecta multipunto sin catalizador, para lo cual trabajaremos con un promedio de los valores obtenidos:

- CO: 0.1 %
- CO₂: 12%
- HC: 84.52 ppm
- O₂: 1.56 %

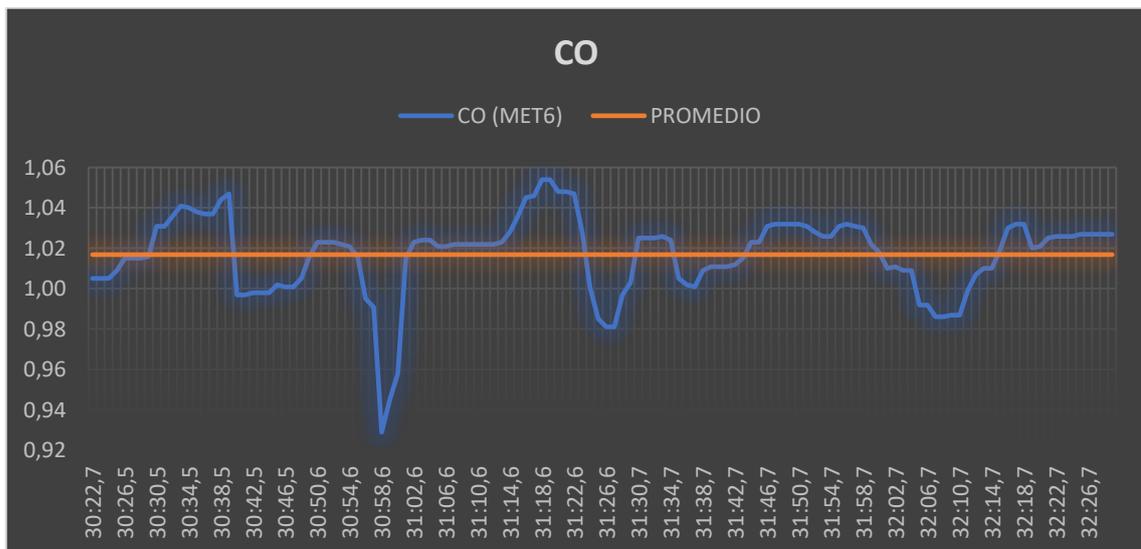


Gráfico 12-4: Valores de CO de un vehículo en buen estado con su promedio.

Realizado por: Chávez, Andrés; Quishpi, Washington.2021.

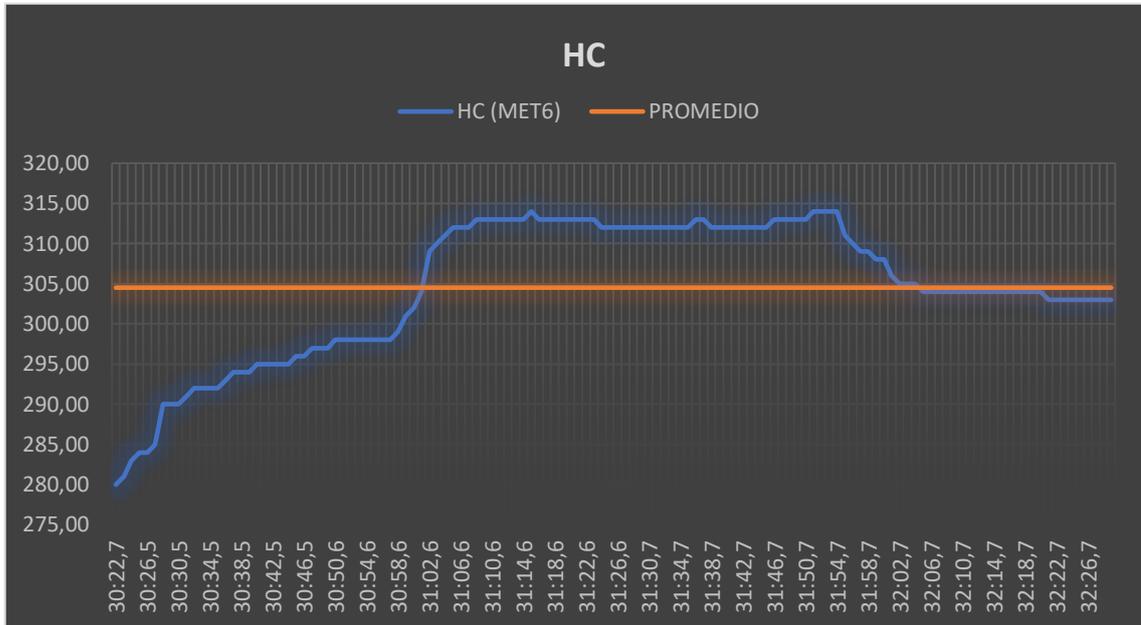


Gráfico 13-4: Valores de HC de un vehículo en buen estado con su promedio.

Realizado por: Chávez, Andrés; Quishpi, Washington.2021.

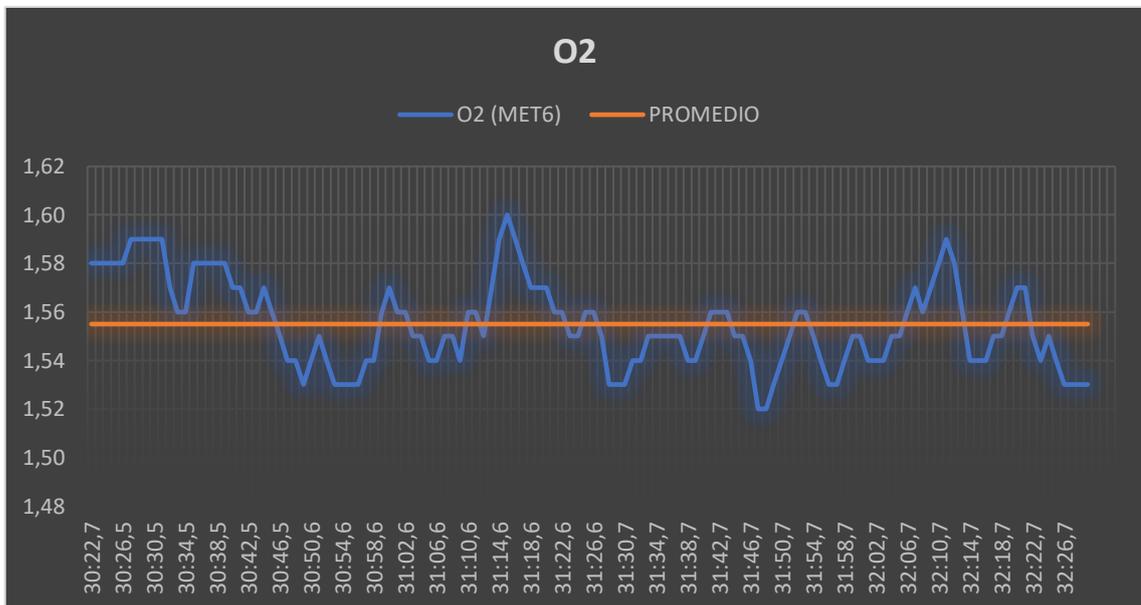


Gráfico 14-4: Valores de O2 de un vehículo en buen estado con su promedio.

Realizado por: Chávez, Andrés; Quishpi, Washington.2021.

4.2.2 Análisis de gases de vehículos con fallas de inyectores

4.2.2.1 CO (Monóxido de Carbono)

El monóxido de carbono se produce por combustiones incompletas; es decir que si el monóxido de carbono disminuye, es debido a que un inyector no está proporcionando combustible y el aire ingresado a ese cilindro será desalojado por el escape, donde el vehículo detecta que tiene una mezcla pobre; es ahí donde los demás inyectores proporcionan mayor cantidad de combustible, para compensar el cilindro que no está trabajando. En el gráfico 15-4 se muestra la variación que genera al dejar de trabajar un inyector.

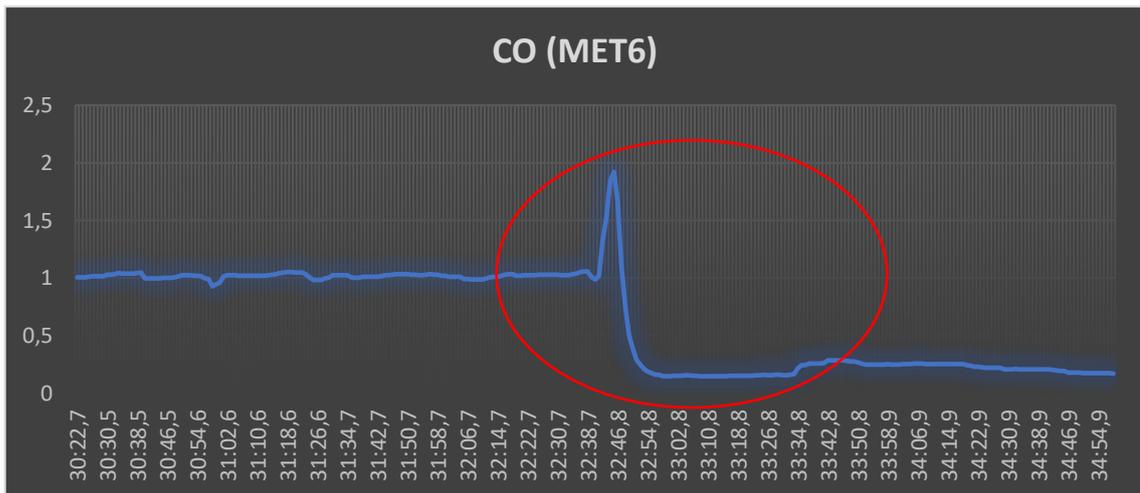


Gráfico 15-4: Valores de CO de un vehículo al fallar un inyector.

Realizado por: Chávez, Andrés; Quishpi, Washington.2021.

4.2.2.2 HC (Hidrocarburos)

En el gráfico 16-4 al fallar un inyector inmediatamente proporcionará a los demás inyectores más tiempo de inyección, hasta tratar de estabilizarse; y en el caso de uno de los cilindros al no inyectar combustible los hidrocarburos disminuyen; generando una mezcla pobre en el motor, lo que reducirá las partes por millón de hidrocarburos que saldrán por el escape.

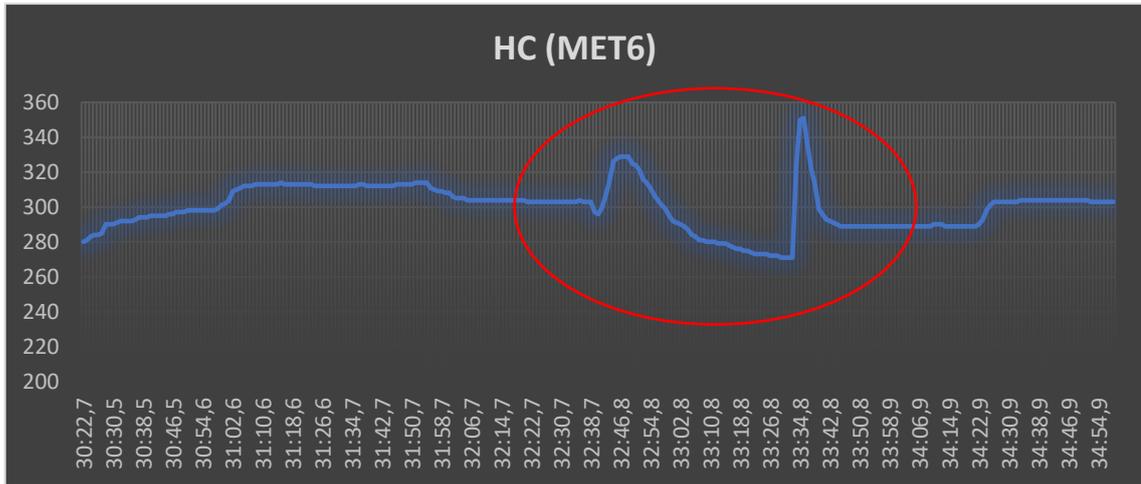


Gráfico 16-4: Valores de HC de un vehículo al fallar un inyector.

Realizado por: Chávez, Andrés; Quishpi, Washington.2021.

4.2.2.3 O₂ (Oxígeno)

El oxígeno en el escape es producido por entradas de aire no deseadas; al ingresar el aire al cilindro sin combustible no se produce ninguna combustión, debido a que el aire que ingresa al cilindro, saldrá por el escape generando un aumento brusco en los valores de oxígeno que se ven reflejados en el Gráfico 17-4; donde el oxígeno de 1.5% se eleva a casi 9% .

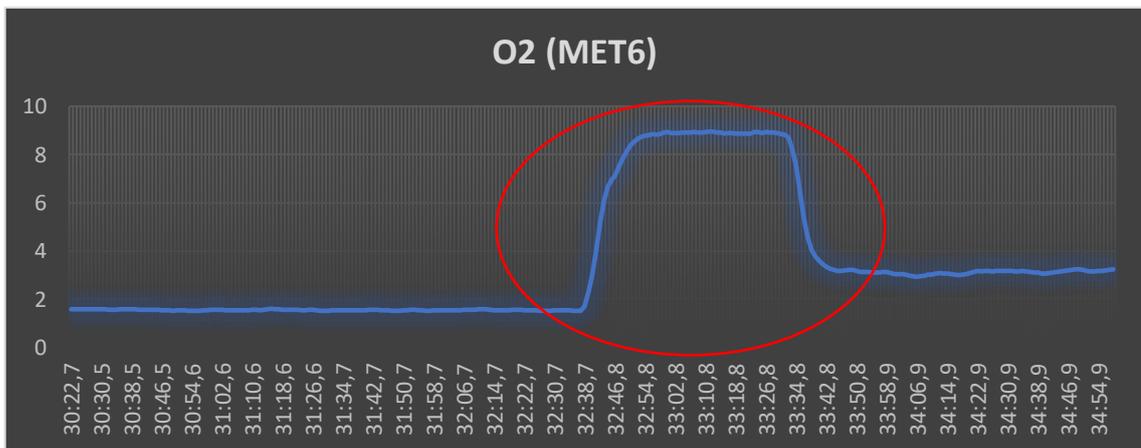


Gráfico 17-4: Valores de CO de un vehículo al fallar un inyector.

Realizado por: Chávez, Andrés; Quishpi, Washington.2021.

4.2.3 Análisis de gases de vehículos con fallas de bobina de encendido

4.2.3.1 CO (Monóxido de Carbono)

En el gráfico 18-4 el CO desciende debido a que una bobina no está trabajando correctamente, y no se realiza una adecuada combustión dentro del cilindro.

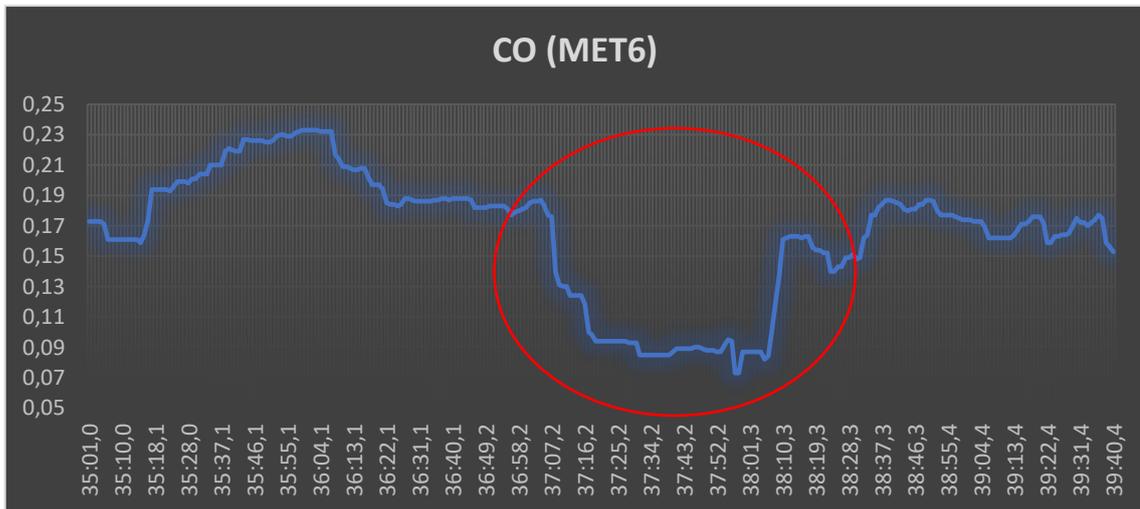


Gráfico 18-4: Valores de CO de un vehículo al fallar una bobina de encendido.

Realizado por: Chávez, Andrés; Quishpi, Washington.2021.

4.2.3.2 HC (Hidrocarburos)

Al tener una chispa ineficiente dentro del cilindro, la mezcla aire-combustible no se aprovecha adecuadamente, incrementando la cantidad de hidrocarburos que se observan en el gráfico 19-4 donde no se queman, salen por el escape y hace que la computadora del vehículo detecte una mezcla rica.

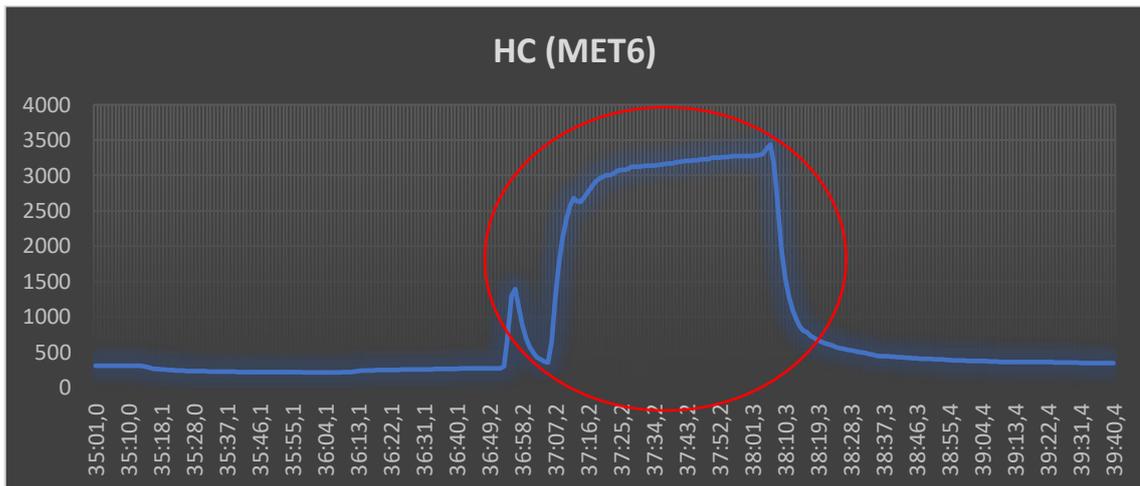


Gráfico 19-4: Valores de HC de un vehículo al fallar una bobina de encendido.

Realizado por: Chávez, Andrés; Quishpi, Washington.2021.

4.2.3.3 O2 (Oxígeno)

Al no combustionar la mezcla aire combustible el O2 de la gráfica 20-4 aumentará drásticamente debido a la gran cantidad de O2 que no se aprovecha para una combustión adecuada debido a la chispa ineficiente que se genera en la bujía.

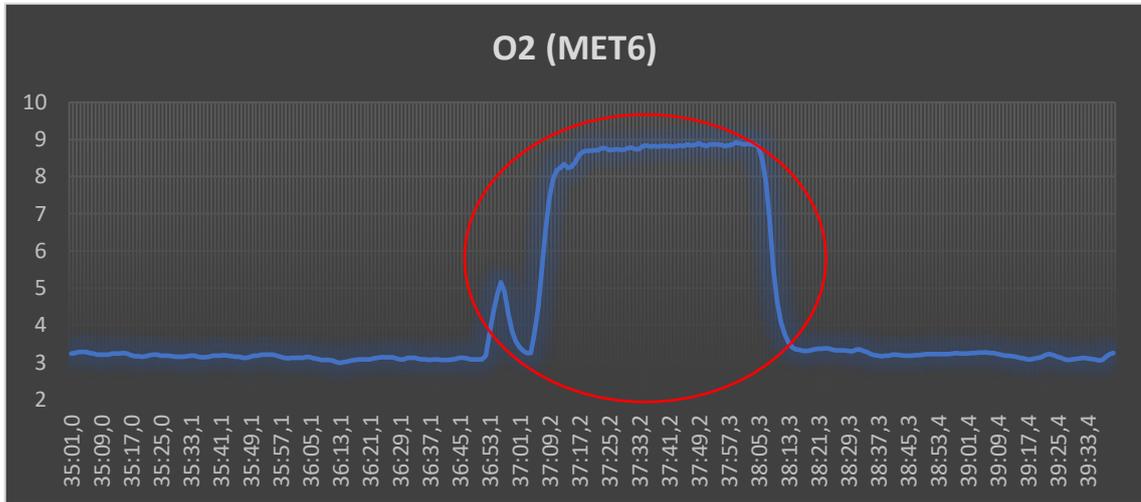


Gráfico 20-4: Valores de O2 de un vehículo al fallar una bobina de encendido.

Realizado por: Chávez, Andrés; Quishpi, Washington.2021.

4.2.4 *Análisis de gases de vehículos con fallas inyectoros y de bobina de encendido*

En el círculo de color rojo tenemos el instante en el cual deja de funcionar un inyector y en círculo amarillo el momento en el cual una bobina comienza a fallar.

En el gráfico 21-4 al fallar una bobina o un inyector los valores de CO aumentan drásticamente al no tener una buena combustión dentro del cilindro debido a que uno de ellos no funciona adecuadamente y el catalizador no realiza correctamente su trabajo.

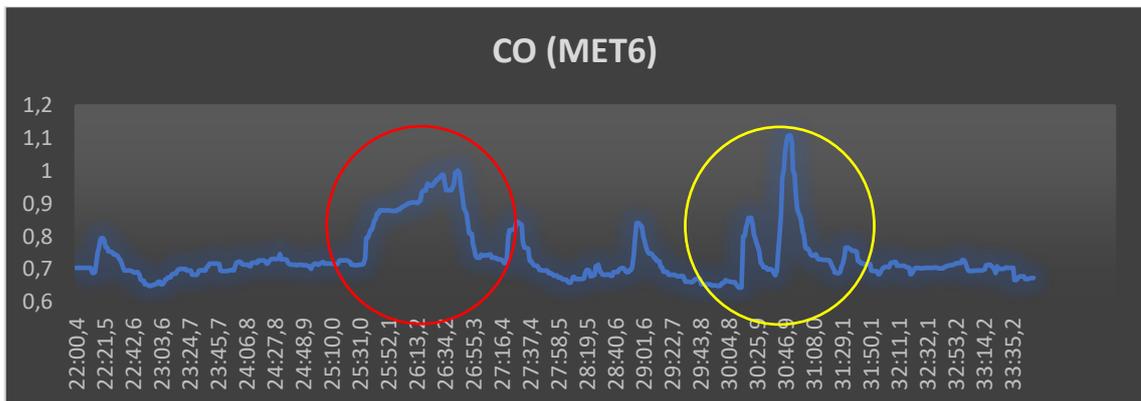


Gráfico 21-4: Valores de CO de un vehículo al fallar de inyector y bobina de encendido.

Realizado por: Chávez, Andrés; Quishpi, Washington.2021.

En el gráfico 22-4 los valores de HC se elevan al no quemarse la mezcla aire-combustible lo cual en el círculo amarillo al no provocarse la chispa, es indicativo que el combustible sale por el sistema de escape elevando los valores.

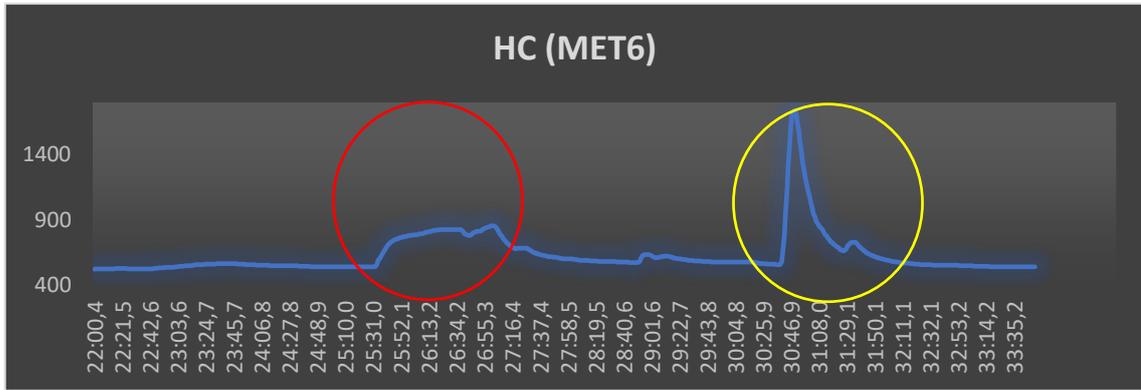


Gráfico 22-4: Valores de HC de un vehículo al fallar de inyector y bobina de encendido.

Realizado por: Chávez, Andrés; Quishpi, Washington.2021.

En el Grafico 23-4 en el círculo rojo se eleva la cantidad de O2 al no ingresar combustible la mezcla es muy pobre para poder quemarse por lo cual el O2 pasa hacia el sistema de escape.

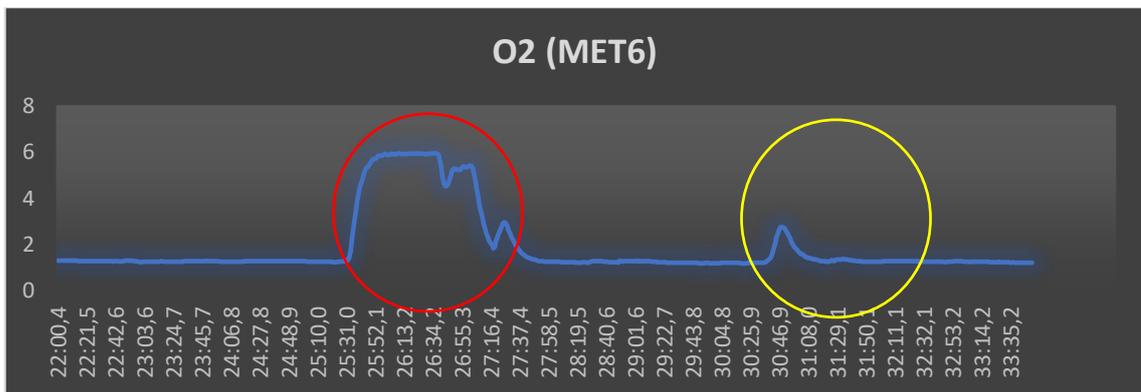


Gráfico 23-4: Valores de O2 de un vehículo al fallar de inyector y bobina de encendido.

Realizado por: Chávez, Andrés; Quishpi, Washington.2021.

CONCLUSIONES

En el análisis y diagnóstico avanzado del motor de combustión interna por medio de oscilogramas eléctricos de presión y análisis de emisiones, realizado en ECOAUTO de la provincia de Chimborazo, ciudad de Riobamba, en el periodo Septiembre 2020 - Febrero 2021 se determinó los patrones de comportamiento de señales eléctricas y estandarizó los valores de referencia del análisis de los gases de escape.

Al realizar el diagnóstico del motor de combustión interna mediante el uso de equipos como el oscilograma y el analizador de gases se establecieron diagnósticos rápidos, seguros, confiables y sobre todo de calidad, en los autos atendidos en ECOAUTO en la ciudad de Riobamba.

En el análisis y diagnóstico avanzado del motor de combustión interna por medio de oscilogramas eléctricos de presión, realizado en ECOAUTO se determinó los valores de referencia por la marca de auto Chevrolet, Mazda, Hyundai, Volkswagen. Al tener el mismo principio de funcionamiento en el sistema de distribución con respecto a la apertura y cierre de válvulas. (ver ANEXO D)
Los análisis y diagnósticos realizados en los autos atendidos en ECOAUTO de la provincia de Chimborazo, ciudad de Riobamba, se verificó que los patrones de las señales eléctricas obtenidos de vehículos con fallas mecánicas concuerden con las reparaciones pertinentes, con un intervalo de confianza del 95%.

En el análisis y diagnóstico avanzado del motor de combustión interna por medio de análisis de emisiones, realizado en ECOAUTO de la provincia de Chimborazo, ciudad de Riobamba, se logró obtener los patrones de comportamiento de vehículos que presenten fallas de actuadores como son los inyectores y bobinas de encendido. (ver ANEXO E)

RECOMENDACIONES

Se recomienda siempre aplicar el método avanzado de diagnóstico del motor de combustión interna que es rápido, seguro y de calidad sobre el método de desmontaje, para entregar los autos en óptimas condiciones, ahorrando tiempo y dinero para el cliente.

Motivar a los talleres de automotriz a equiparse de la herramienta y equipos de tecnología necesarios, para mejorar la atención, el análisis y diagnósticos de vehículos que se encuentren con fallas, satisfaciendo de manera eficiente y eficaz al cliente.

Hacer uso de los valores de referencia establecidos en el análisis de oscilogramas y gases de emisión, que brinda el taller ECOAUTO de la provincia de Chimborazo de la ciudad de Riobamba.

En otros talleres de automotriz donde existe el servicio de análisis de motor deben tener sus propios valores de referencia para lograr un mejor servicio.

GLOSARIO

Transductores de presión: Sensor de presión capaz de variar su escala y transmitir la señal adquirida hacia un osciloscopio.

Analizador de gases de escape: Equipo conformado por varios sensores que nos proporcionan datos y porcentaje de varios gases que se encuentran en la atmosfera o que expulsan el vehículo por el sistema de escape.

DSO (digital storage oscilloscope) Osciloscopio automotriz capaz de permitirnos visualizar señales físicas convertidas a través de un sensor en señales eléctricas.

IVO (intake valve open): Inicio de la apertura de la válvula de admisión en la carrera de admisión de un motor de cuatro tiempos.

IVC (intake valve closed): Final de la carrera de admisión en el cual se cierra la válvula de admisión.

EVO (escape valve open): Inicio de la apertura de la válvula de escape.

EVC (escape valve closed): Final de la carrera de escape en el cual se cierra la válvula de escape.

PMS (punto muerto superior): Punto máximo alcanzado por el pistón en el cilindro, final de la carrera de escape y de la carrera de compresión.

PMI (Punto muerto inferior): Punto mínimo alcanzado por el pistón en el cilindro, final de la carrera de admisión y explosión.

BIBLIOGRAFÍA

- AUTOAVANCE.** *Osciloscopio Automotriz El Trigger ó Disparador.* [blog]. [Consulta: 31 mayo 2021]. Disponible en: <https://www.autoavance.co/blog-tecnico-automotriz/197-osciloscopio-trigger-disparador/>.
- AUTOS&AUTOPARTES.** *Manejo de analizador de cuatro gases para verificación vehicular.* [blog]. [Consulta: 31 mayo 2021]. Disponible en: <https://www.autosyautopartes.com/manejo-del-analizador-de-cuatro-gases/>.
- BURGOS, N., & PACHECO, C.** Diseño y desarrollo de un banco de pruebas para diagnóstico automotriz (Trabajo de titulación) (Ingeniería). Universidad Politécnica Salesiana, Ingeniería Automotriz. Guayaquil - Ecuador. 2018. pp. 15-25.
- DITECOM DESIGN.** *Transductor de Presión. Analiza presiones en automoción.* [blog]. [Consulta: 30 mayo 2021]. Disponible en: <http://www.ditecom.com/automocion/transductor-presion.shtml>.
- ESCOBAR, A.** Diseño y construcción de un opacímetro para motores Diesel. (Trabajo de titulación) (Ingeniería). Universidad Central del Ecuador, Ingeniería Automotriz. Quito - Ecuador. 2019. pp. 30-45.
- FINALTEST.** *¿Que es un osciloscopio?.* [blog]. [Consulta: 31 mayo 2021]. Disponible en: <https://www.FinalTest.com.mx/product-p/art-9.htm>.
- FREIRE, D., & LOZA, J.** Comportamiento de un motor a gasolina utilizando alcohol anhidro como combustible de aporte. (Trabajo de titulación) (Ingeniería). Escuela Politécnica Nacional. Ingeniería Mecánica. Quito - Ecuador. 2013. pp. 22-40.
- MANÁ, S.** *Engine mechanical testing using an in-cylinder pressure transducer.* [blog]. [Consulta: 30 mayo 2021]. Disponible en: <https://www.vehicleservicepros.com/service-repair/underhood/article/21196317/engine-mechanical-testing-using-an-in-cylinder-pressure-transducer>.
- MECHANICAU.** *Por qué debería usar transductores de presión en cilindros.* [blog]. [Consulta: 30 mayo 2021]. Disponible en: <https://www.mechanic.com.au/news/why-you-should-be-using-in-cylinder-pressure-transducers2>.

MENDOZA. *El analizador de gases y la importancia de sus resultados / Escapes Mendoza.* [blog]. [Consulta: 31 mayo 2021]. Disponible en: <http://www.escapesmendoza.cl/blog/el-analizador-de-gases-y-la-importancia-de-sus-resultados/>.

NARVÁEZ, Jhonny., & NARVÁEZ, Jhonatan. Análisis de los sistemas eléctricos y electrónicos de un motor de combustión interna mediante la utilización del osciloscopio automotriz BOSCH FSA-500. (Trabajo de titulación) (Ingeniería). Universidad Técnica del Norte. Ingeniería Automotriz Ibarra - Ecuador. 2018. pp. 31-48.

PICOTECHNOLOGY. *Transductor de presión WPS500X: Arranque presión del colector de admisión de gasolina Sin turbo y si.* [blog]. [Consulta: 30 mayo 2021]. Disponible en: <https://www.picoauto.com/es/library/automotive-guided-tests/transductor-de-presion-wps500x-arranque-presion-del-colector-de-admision-de/>.

PICOTECHNOLOGY. *Unparalleled resolution and accurate diagnosis.* [blog]. [Consulta: 30 mayo 2021]. Disponible en: <https://www.picoauto.com/products/pressure-sensors/wps500x-overview>.

PULKRABEK, W. *Engineering fundamentals of the internal combustion engine.* 2ª ed. Upper Saddle River, N.J: Pearson Prentice Hall, 2003. ISBN 978-0-13-140570-7. TJ785 .P78

AUTOIN. *Los vehiculos automotores como fuente de emision.* [blog]. Disponible en: <http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones2/libros/618/vehiculos.pdf>.

SOLVERDCA. *Motor de combustión interna, partes que lo integran - Solver DCA.* [blog]. [Consulta: 1 junio 2021]. Disponible en: <http://www.solverdca.com.ar/motor-de-combustion-interna-partes-que-lo-integran/>.

STECKLER, B. *Pressure Waveform Acquisition and Analysis from the Inside Out by Brandon Steckler.* USA, 2019, pp. 3-181.

UGR. *EL OSCILOSCOPIO.* [blog]. [Consulta: 31 mayo 2021]. Disponible en: <https://www.ugr.es/~juanki/osciloscopio.htm>.

ANEXOS

Anexo A: Medición de presión dentro del cilindro y medición del secundario de la bobina de encendido



Anexo B: Medición del secundario de la bobina de encendido y conexión del chispometro



Anexo C: Análisis de emisiones



Anexo D: Valores de referencia de la onda de presión dentro del cilindro

PARAMENTROS	VALORES
EVO	$30^{\circ} \leq X \leq 45^{\circ}$ antes de PMI
EVC	$0^{\circ} \leq X \leq 10^{\circ}$ después del PMS
IVO	$0^{\circ} \leq X \leq 10^{\circ}$ antes del PMS
IVC	$45^{\circ} \leq X \leq 60^{\circ}$ después del PMI
Traslape	$0^{\circ} \leq X \leq 20^{\circ}$
Bolsillos definidos	-0.5 bar
Torres rectas	Ralentí: 2 a 4 bar

Anexo E: Valores de referencia de análisis de emisiones

AÑO	CO₂	CO	HC	O₂
>2000	11% A 13%	0.6% A 1%	160 A 200	0 A 5
1990 A 1999	9% A 12%	3.5% A 4.5%	650 A 700	3 A 5
<1989 Y CARB.	8% A 10%	6% A 7%	950 A 1200	3 A 5