



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

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

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

**TEMA: CARACTERIZACIÓN DE VIBRACIONES EN EL
SISTEMA DE ENCENDIDO DE UN MOTOR DE ENCENDIDO
PROVOCADO.**

AUTOR: Flores Jaramillo Steven Alexander

Ulloa Revelo Paúl Anderson

DIRECTOR: ING. CARLOS NOLASCO MAFLA YÉPEZ MSC.

Ibarra 2023

CERTIFICADO

ACEPTACIÓN DEL DIRECTOR

En mi calidad de director del plan de trabajo de grado, previo a la obtención del título de Ingeniería 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 **“CARACTERIZACIÓN DE VIBRACIONES EN EL SISTEMA DE ENCENDIDO DE UN MOTOR DE ENCENDIDO PROVOCADO”** presentado por los señores: Steven Alexander Flores Jaramillo con número de cédula 100421273-2, y Paúl Anderson Ulloa Revelo con número de cédula 0401956149 doy fe que dicho trabajo reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a presentación pública y evaluación por parte de los señores integrantes del jurado examinador que se designe.

En la ciudad de Ibarra, a los veinte y tres días del mes octubre del 2023.

Atentamente,



Ing. Carlos Mafía MSc.

Director del trabajo de grado



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

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

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

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

DATOS DE CONTACTO			
CÉDULA DE IDENTIDAD:	100421273-2		
APELLIDOS Y NOMBRES:	Flores Jaramillo Steven Alexander		
DIRECCIÓN:	Ibarra, Río Machinaza 3-76 y Río Quinindé		
EMAIL:	safloresj@utn.edu.ec		
TELÉFONO FIJO:	062-510-926	TELÉFONO MÓVIL:	0998824455

DATOS DE CONTACTO			
CÉDULA DE IDENTIDAD:	040195614-9		
APELLIDOS Y NOMBRES:	Ulloa Revelo Paúl Anderson		
DIRECCIÓN:	Loma de Maflas		
EMAIL:	paulloar@utn.edu.ec		
TELÉFONO FIJO:	062-280-937	TELÉFONO MÓVIL:	0961517600

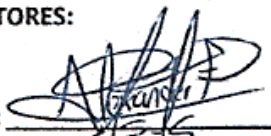
DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	Caracterización de vibraciones en el sistema de encendido de un motor de encendido provocado.
AUTOR (ES):	Flores Jaramillo Steven Alexander, Ulloa Revelo Paúl Anderson
FECHA: DD/MM/AAAA	23-10-2023
SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO	
PROGRAMA:	<input checked="" type="checkbox"/> PREGRADO <input type="checkbox"/> POSGRADO
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniero Automotriz
ASESOR /DIRECTOR:	Ing. Carlos Mafla MSc.


2. CONSTANCIAS

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

Ibarra, a los 23 días del mes de octubre de 2023

EL AUTORES:

Firma: 
Flores Jaramillo Steven Alexander

Firma: 
Ulloa Revelo Paúl Anderson

DEDICATORIA

A mis padres Luis Ulloa y Verónica Revelo, por haberme guiado y aconsejado para ser una mejor persona y lograr los objetivos que me llegara a plantear, todos mis logros se deben a su guía, ya que con el ejemplo me han enseñado a superarme y ser constante en la búsqueda de una meta.

A mis hermanos que comparto con ellos mis alegrías y tristezas, mi hermana mayor ejemplo de superación y responsabilidad; mis hermanos pequeños que siguen en la búsqueda de sus metas.

Paúl Anderson Ulloa Revelo

DEDICATORIA

Dedico esta tesis a mis padres Patricia Jaramillo y Víctor Flores ya que, con amor y comprensión me han formado como persona con buenos valores, que gracias a ellos he aprendido a no rendirme para alcanzar mis metas a pesar de cualquier problema que se pueda llegar a presentar.

A mis hermanos quienes, que con su apoyo incondicional me han sabido animar y empujar a continuar con este proceso de estudio.

A mis abuelitas, que han sido unos de los grandes pilares en mi vida ya que siempre me apoyaron incondicionalmente y que me han dado todo el amor que una persona puede necesitar.

A Lizz quien ha estado en momentos difíciles, que me ha sabido aconsejar y enseñar que no hay que rendirse ante nada para poder alcanzar los objetivos que uno se proponga.

Steven Alexander Flores Jaramillo

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mis padres que me dedicaron su tiempo y supieron ser parte del proceso en donde nunca me faltó su apoyo y consejos. Por darme la oportunidad de estudiar ya que por su sacrificio llegué a terminar mi carrera.

A la universidad Técnica del Norte, la carrera de ingeniería automotriz que permitió mediante sus docentes a adquirir los conocimientos y prepararme para el mundo profesional.

A mi tutor Msc. Carlos Mafla por la oportunidad de trabajar en este proyecto y que mediante su paciencia y dedicación me supo guiar para culminar con la tesis de grado.

Paúl Anderson Ulloa Revelo

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mis padres por todo el esfuerzo y sacrificio que realizaron para darme la oportunidad de estudiar una carrera universitaria y que a pesar de todas las circunstancias me han sabido empujar para cumplir mis objetivos.

A la Universidad Técnica del Norte, a la carrera de Ingeniería Automotriz y a cada una de las personas tanto maestros y compañeros que me inculcaron parte de su conocimiento.

Al Ing. Carlos Mafla Msc. que gracias a su dedicación como tutor y maestro supo guiarnos de la mejor manera para culminar con la tesis de grado.

Steven Alexander Flores Jaramillo

INDICE

CAPÍTULO I	1
1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	1
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	1
1.2. OBJETIVOS	1
1.2.1. Objetivo general	1
1.2.2. Objetivos específicos	1
1.3. ALCANCE.....	2
1.4. JUSTIFICACIÓN	2
1.5. MARCO TEÓRICO	3
1.5.1. Motores de encendido provocado.....	3
1.5.2. Características del motor de encendido provocado	4
1.5.3. Funcionamiento del motor de encendido provocado.....	4
1.5.4. Procesos de combustión	5
1.5.4.1. Primer tiempo: admisión	6
1.5.4.2. Segundo tiempo: compresión	6
1.5.4.3. Tercer tiempo: explosión.....	7
1.5.4.4. Cuarto tiempo: escape	7
1.5.5. Orden de encendido	8
1.5.6. Sistema de encendido	8
1.5.7. Tipos de sistema de encendido	9
1.5.7.1. Sistema de encendido convencional.....	9
1.5.7.2. Sistema de encendido transistorizado por contactos	10
1.5.7.3. Sistema de encendido directo (DIS).....	10
1.5.7.4. Sistema de encendido controlado por unidad control	11
1.5.8. Fallas comunes en un sistema de encendido	12
1.5.9. Tipos de mantenimientos.....	13
1.5.9.1. Mantenimiento correctivo	13
1.5.9.2. Mantenimiento preventivo	13
1.5.9.3. Mantenimiento predictivo	13
1.5.10. Vibraciones.....	15
1.5.10.1. Características de las vibraciones.....	15

1.5.10.2.	Tipos de vibraciones:	16
1.5.10.3.	Propiedades de las vibraciones.....	17
1.5.10.4.	Traductores de vibraciones.....	17
1.5.11.	Acelerómetros.....	18
1.5.12.	Transformada de Fourier	18
1.5.13.	Norma ISO 2372-1974.....	19
1.5.13.1.	Características	19
1.5.13.2.	Norma ISO 10816-1995.....	20
CAPÍTULO II	21
2. MATERIALES Y MÉTODOS	21
2.1	MATERIALES	22
2.1.1.	Defectología recurrente en vehículos	22
2.1.1	Vehículo de prueba.....	23
2.1.1.1.	Características técnicas del vehículo.....	24
2.1.2.	Sensor de vibraciones	24
2.1.3.	Tarjeta de adquisición DAQ NI 9250	25
2.1.4.	Bujías.....	26
2.1.5.	Inyectores	27
2.1.6.	Bomba de combustible	27
2.1.7.	Manómetro de presión TU-114.....	28
2.1.8	Software LabView.....	28
2.1.9.	Software MATLAB	29
2.2.	MÉTODOS	29
2.2.1.	Parámetros de medición.....	29
2.2.2.	Simulación de fallas	31
2.2.2.1.	Simulación de falla en bujía.....	31
2.2.2.2.	Simulación de falla en inyectores.....	31
2.2.2.3.	Simulación de falla en bomba de combustible.....	32
2.2.3.	Obtención de datos	33
2.2.4.	Uso de la interfaz de LabVIEW	33
2.2.5.	Zona de medición de vibraciones	36
2.2.5.1.	Bloque del motor	36
2.2.5.2.	Tapa válvulas	36
2.2.6.	Procedimiento de medición	37
2.2.7.	Pruebas en buen estado.....	39

2.2.8. Pruebas en mal estado.....	39
CAPÍTULO III	40
3 RESULTADOS	40
3.1. Análisis de datos en el sensor 0	40
3.1.1. Buen estado	40
2.2.10. Pruebas en mal estado.....	41
2.2.10.1. Falla en bujías.....	41
2.2.10.2. Falla en la bomba de combustible	42
2.2.10.3. Falla en inyectores.....	44
2.3. Análisis de datos sensor 1	45
2.3.1. Buen estado	45
3.2.2. Pruebas en mal estado.....	47
3.2.2.1. Falla bujías sensor 1	47
3.2.2.2. Falla bomba de combustible sensor 1	48
3.2.2.3. Falla inyectores	49
CAPÍTULO IV	52
4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	52
4.1 Conclusiones	52
4.2. Recomendaciones	55
4.3. Trabajos futuros	56
Bibliografía	57
ANEXOS	62
Anexo 1. Preparación de materiales a utilizar	62
Anexo 2.....	62
Anexo 3.....	63
Anexo 4.....	63
Anexo 5.....	64
Anexo 6.....	64

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. 1. Giros del cigüeñal en grados	8
Tabla 1. 2. Clasificación de equipos en ISO 2372	19
Tabla 2. 1. Toma de decisiones de fallas más comunes. 22	
Tabla 2. 2. Datos Volkswagen Gol.....	24
Tabla 2. 3. Sensor de vibraciones.....	25
Tabla 2. 4. Tarjeta de adquisición	26
Tabla 2. 5. Tabla de obtención de datos	33
Tabla 2. 6. Ubicación de sensores	36
Tabla 3. 1. Buen estado sensor 0	41
Tabla 3. 2. Falla Bujías sensor 0.....	42
Tabla 3. 3. Falla bomba de combustible sensor 0.....	44
Tabla 3. 4. Rango de funcionamiento del motor según el sensor 0.....	45
Tabla 3. 5. Buen falla inyectores sensor 0.....	45
Tabla 3. 6. Buen estado Sensor 1.....	46
Tabla 3. 7. Falla bujías Sensor 1.....	48
Tabla 3. 8. Falla bomba de combustible sensor 1.....	49
Tabla 3. 9. Falla inyectores sensor 1.....	50
Tabla 3. 10. Funcionamiento del motor según su falla en el sensor 1.....	51

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. 1. Compresión y Admisión	6
Figura 1. 2. Explosión	7
Figura 1. 3. Escape.....	7
Figura 1. 4. Sistema de encendido convencional	9
Figura 1. 5. Encendido de un encendido transistorizado.....	10
Figura 1. 6. Sistema de encendido DIS	11
Figura 1. 7. Sistema de encendido por unidad de control.	11
Figura 1. 8. Propiedades de la vibración	17
Figura 2. 1. Flujograma de desarrollo	21
Figura 2. 2. Volkswagen Gol 2005	24
Figura 2. 3. Sensor de vibraciones	25
Figura 2. 4. DAQ NI 9250	25
Figura 2. 5. Bujía.....	27
Figura 2. 6. Inyectores.....	27
Figura 2. 7. Bomba de combustible	28
Figura 2. 8. Manómetro de presión TU-114.....	28
Figura 2. 9. Software LabView	29
Figura 2. 10. Software Matlab.....	29
Figura 2. 11. Flujograma toma de datos.....	30
Figura 2. 12. Calibración bujía.....	31
Figura 2. 13. Filtro de inyectores taponado.....	32
Figura 2. 14. Variación de presión de bomba de combustible	32
Figura 2. 15. Interfaz del programa.....	33
Figura 2. 16. Límite de pruebas	34
Figura 2. 17. Tiempo de muestreo	34
Figura 2. 18. Tiempo muerto.....	34
Figura 2. 19. Indicadores de toma de datos.....	34
Figura 2. 20. Archivar datos.....	35
Figura 2. 21. Gráfica de aceleración de los sensores.	35
Figura 2. 22. Gráfica de la transformada de Fourier	35
Figura 2. 23. Posición del sensor en el Block	36
Figura 2. 24. Posición del sensor en el Block	37
Figura 2. 25. Flujograma procedimiento.....	38

Figura 3. 1. Sensor 0_Buen estado, Ciclo.....	40
Figura 3. 2. Señal sensor 0_Buen estado.....	41
Figura 3. 3. Vibraciones bujías_ Sensor 0.....	41
Figura 3. 4. Señal falla bujía_ Sensor 0	42
Figura 3. 5. Falla bomba de combustible_ Sensor 0	43
Figura 3. 6. Señal falla bomba de combustible_ Sensor 0	43
Figura 3. 7. Falla inyectores sensor 0.....	44
Figura 3. 8. Señal Falla inyectores sensor 0.....	45
Figura 3. 9. Sensor 1_ Buen estado.....	46
Figura 3. 10. Señal sensor 1_Buen estado.....	46
Figura 3. 12. Falla bujía_ Sensor 1	47
Figura 3. 13. Señal falla bujía_ Sensor 1	47
Figura 3. 14. Falla bomba de combustible_ Sensor 1	48
Figura 3. 15. Señal Falla bomba de combustible_ Sensor 1	49
Figura 3. 16. Falla inyectores sensor 1.....	49
Figura 3. 17. Señal falla inyectores sensor 1	50

RESUMEN

En el Ecuador es difícil encontrar talleres de mantenimiento que hagan análisis predictivos de los vehículos basado en vibraciones, ya sea por desconocimiento del tema o por falta de equipo debido a la dificultad de obtención de los mismos, es por eso que el presente trabajo de investigación se basa en el análisis de vibraciones en un motor de encendido provocado, el cual ayudará a prevenir fallos consecuentes en el motor, a través de una investigación bibliográfica que recopile información eficaz acerca del tema planteado. Para la simulación de falla de los componentes del motor se determina mediante la información obtenida que componentes sufren averías recurrentes, posteriormente se realiza la manipulación de los actuadores seleccionados con el fin de provocar una variación en su funcionamiento para la recopilación de datos. Durante la recopilación de datos se debe tomar en cuenta las condiciones de funcionamiento del motor, como: temperatura, nivel de combustible, entre otros aspectos. Una vez establecido los parámetros de funcionamiento del vehículo se procede a realizar la toma de datos variando uno de sus actuadores por cada prueba realizada, para simular una falla específica. Después de la recopilación de datos mediante el software LabVIEW, se continua con el procesamiento de datos con el programa Matlab para la obtención de gráficas, evidenciando de forma visual los cambios que se generan por la variación de funcionamiento de los actuadores. Para finalizar se realizan tablas comparativas donde se puede diferenciar la variación que presentan los armónicos generados en cada uno de los sensores dependiendo de las fallas que se simulan. Tomando como referencia el funcionamiento del motor en buen estado para poder evidenciar la existencia de una falla en los diferentes componentes del motor, pudiendo así predecir que componente podría presentar una avería total en el futuro. En base a los resultados obtenidos se puede decir que la variación de la frecuencia en el sensor cero (0) respecto a los datos en buen estado, la falla de bujías varía 2.74%, mientras que la falla de la bomba de combustible disminuye en 3.70% y la falla en inyectores disminuye en 2.09%. Por otro lado, la amplitud respecto a los datos obtenidos en buen estado, la falla de bujías varía un 80.94%, la falla en bomba de combustible es 8.61% menor respecto a buen estado y por último la falla en inyectores varía 48.83% por debajo del límite de buen estado. Por otro lado, en el sensor (1) los cambios producidos en la frecuencia para la falla de bujías respecto a buen estado dan una variación de 3.27% siendo inferior, en la bomba de combustible es menor en un 9.78% y para la falla en inyectores se presenta una disminución del 1.80%. Analizando la diferencia que se produce en la amplitud para el segundo armónico, respecto a buen

estado, al generarse una falla en bujías se presenta una disminución del 33.08 %, en otro caso como la falla en la bomba de combustible su diferencia es del 24.81% y en la falla de inyectores varia por 70.51% por debajo del límite de buen estado.

ABSTRACT

In Ecuador, it is difficult to find maintenance workshops that perform predictive analysis of vehicles based on vibrations, either due to a lack of knowledge on the subject or a lack of equipment due to the difficulty of obtaining them. That is why this research work is based on the analysis of vibrations in an ignition-induced engine, which will help prevent subsequent engine failures through a literature review that compiles effective information on the topic at hand. For simulating engine component failures, it is determined, based on the obtained information, which components experience recurrent breakdowns. Subsequently, the selected actuators are manipulated to induce variations in their functioning for data collection. During data collection, operating conditions of the engine, such as temperature, fuel level, among other aspects, must be taken into account. Once the vehicle's operating parameters are established, data is collected by varying one of the actuators for each test, simulating a specific failure. After data collection using LabVIEW software, data processing continues using Matlab to obtain graphs that visually demonstrate the changes resulting from variations in actuator performance. To conclude, comparative tables are created to differentiate the variation in harmonics generated by each of the sensors depending on the simulated failures. This is done by referencing the engine's performance in good condition to identify potential future component failures. Based on the obtained results, it can be stated that the frequency variation in sensor zero (0) concerning data in good condition shows a 2.74% change for spark plug failure, a 3.70% decrease for fuel pump failure, and a 2.09% decrease for injector failure. In contrast, the amplitude concerning data in good condition shows an 80.94% change for spark plug failure, an 8.61% decrease for fuel pump failure, and a 48.83% decrease for injector failure. On the other hand, for sensor (1), the frequency changes for spark plug failure show a 3.27% decrease, a 9.78% decrease for fuel pump failure, and a 1.80% decrease for injector failure compared to good condition. Analyzing the difference in amplitude for the second harmonic concerning good condition, spark plug failure results in a 33.08% decrease, fuel pump failure results in a 24.81% difference, and injector failure is 70.51% below the good condition limit.

INTRODUCCIÓN

Desde la invención del motor de encendido provocado se ha buscado optimizar el rendimiento y autonomía del vehículo, generando así avances tecnológicos con la implementación del sistema de inyección logrando obtener un mayor desempeño del motor con la menor cantidad de combustible, es por esa razón que se debe prestar mayor atención a los componentes que ayudan al funcionamiento del motor. El motor de combustión interna al ser una maquina térmica funciona mediante la explosión de la mezcla aire-combustible, lo que genera vibraciones por el movimiento de sus componentes móviles. Uno de los campos del mantenimiento predictivo es el análisis de vibraciones las cuales permiten reconocer la frecuencia y amplitud en la que un componente se desempeña siendo capaces de detectar la mínima variación en su funcionamiento, algo que mediante los sentidos humanos no es posible. Este método es de gran ayuda a la hora de analizar el funcionamiento del motor ya que este genera variación de vibraciones dependiendo en el estado en que se encuentre, esto puede ser en buen estado o mal estado, siendo el caso que se encuentre en mal estado será posible evidenciar cual es el componente que se encuentra fallando y así encontrar una solución al problema.

Teniendo en cuenta la problemática de fallos en los motores de inyección, es necesario el desarrollo de la investigación de un método de mantenimiento predictivo en donde se utilice un vehículo que cuente con un motor de encendido provocado, la utilización de sensores que por medio de una tarjeta de adquisición DAQ logre captar las vibraciones producidas por el mismo, por otro lado, una de las herramientas que puede ayudar a la obtención de datos es el programa de LabVIEW el cual agiliza el análisis de datos por medio de Matlab, en dicha investigación también se debe tomar en cuenta la existencia de pasos a seguir y los materiales necesarios para poder llegar al análisis de datos.

Gracias al desarrollo de la herramienta Matlab es posible analizar y comparar datos que mediante gráficas para diferenciar si existe una variación en el comportamiento del motor y poder descartar algún desperfecto en sus componentes.

Gracias al método de análisis de vibraciones se puede determinar el comportamiento que describe una falla específica para así logra ir directamente a la causa del problema que puede generar el o los componentes en el motor.

CAPÍTULO I

1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En el campo automotriz del Ecuador, la gestión del mantenimiento automotriz ha optado por utilizar el método correctivo y no el predictivo. Este está basado fundamentalmente en detectar una falla mediante el análisis periódico para detectar posibles fallas lo antes posible.

Generalmente cuando existen falencias en el mantenimiento predictivo de los motores, estos tienden a sufrir fallas especialmente en el sistema de encendido, las cuales pueden ser graves afectando a los componentes internos del motor y a su vez elevando costos en reparaciones dando como resultado que los automotores sufran paradas y pérdidas de tiempo.

El no lograr detectar las fallas antes de que estas se produzcan es un inconveniente para tratar en los últimos años ya que en el país la mayoría de los vehículos que tienen este tipo de motores son utilizados para trabajo, generando pérdidas económicas.

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. Objetivo general

Analizar vibraciones mecánicas en motores de encendido provocado simulando fallas electrónicas y mecánicas para proponer una metodología de mantenimiento preventivo contribuyendo a la detección temprana de desperfectos.

1.2.2. Objetivos específicos

- Definir fallas recurrentes en motores de encendido provocado.
- Identificar puntos específicos en el motor para sus respectivas medidas.

- Medir vibraciones en buen y mal estado del motor.
- Procesar los datos obtenidos mediante software.
- Caracterización de vibraciones entre un motor en buen y mal estado.
- Proponer metodología de mantenimiento predictivo a base de vibraciones.

1.3. ALCANCE

En el presente estudio se procederá a recolectar datos por medio del software (LabVIEW en la versión estudiantil), posteriormente se procesarán los datos por medio de Matlab en la versión estudiantil, para esto se utilizará un acelerómetro industrial el cual será ubicado en un motor de encendido provocado que generará los datos. Además, a través de diferentes pruebas de simulación de fallas en el sistema de encendido donde se obtendrá diferentes datos por el tipo de vibraciones que se genera en el motor, con el fin de proponer una metodología de mantenimiento predictivo.

1.4. JUSTIFICACIÓN

El análisis de vibraciones en un motor de encendido provocado tiene un fuerte interés en el Plan de creación de oportunidades 2021-2025, ya que este fomenta el desarrollo educativo innovador y superación profesional, generando conocimiento innovador y de investigación en las cuales se pueda implementar de manera activa el mantenimiento predictivo.

En el estudio del tema, caracterización de vibraciones producidas en el sistema de encendido en un motor de combustión interna de inyección directa busca contribuir en el plan de creación de oportunidades en el objetivo 7 que se enfoca en potenciar las capacidades de la ciudadanía y promover una educación innovadora, inclusiva y de calidad en todos los niveles, que señala en la política “7.2 Promover la modernización y eficiencia del modelo educativo por medio de la innovación y el uso de herramientas tecnológicas”. Por otro lado, en la política “7.4 Fortalecer el Sistema de Educación superior bajo los principios de libertad, autonomía responsable, igualdad de oportunidades, calidad y pertinencia; promoviendo la investigación de alto impacto” (SENPLADES, 2021).

Como se señala también en el objetivo 1; incrementar y fomentar, de manera inclusiva las oportunidades de empleo y las condiciones laborales. Indica: “Un componente importante de una economía libre es el sistema de precios. Los precios juegan un rol fundamental: coordinan las acciones de miles de personas, que persiguen sus propios objetivos, comunicando los cambios en el conocimiento particular que cada uno de ellos posee sobre la disponibilidad y sus potenciales recursos. Es decir, los precios transmiten información. Por tal motivo, cuando el gobierno pretende regular los precios de la economía termina causando distorsiones que afectan a los consumidores “ (SENPLADES, 2021).

En conclusión, el estudio del análisis predictivo puede contribuir en el mejoramiento y preservación de los motores así también genera puestos de trabajo enfocados en detectar fallas de modo que la frecuencia de mantenimiento sea lo más baja posible y la confiabilidad lo más alta posible, sin costes innecesarios (Ekon, 2021).

1.5. MARCO TEÓRICO

1.5.1. Motores de encendido provocado

El motor es una máquina térmica que transforma la energía química en este caso un líquido inflamable como es la gasolina en calor que a su vez produce el movimiento provocado por la explosión en la cámara de combustión, para el desarrollo del movimiento mecánico es necesario que ocurran cuatro fases donde el pistón efectúa movimientos lineales (Abad Padilla-Padilla et al., 2021).

Un motor de encendido provocado a gasolina está formado por piezas fijas y móviles que permite transformar mediante la combustión energía química en energía mecánica lo cual genera movimiento. Como característica principal en este tipo de motor es que la combustión se produce por mediante el aporte de energía externo como es la chispa que genera el inicio de la combustión, debiendo este ser en el momento preciso para conseguir que el proceso sea lo más eficiente posible (N. Rivera et al., 2017).

1.5.2. Características del motor de encendido provocado

El motor de combustión interna puede ser de dos o cuatro tiempos, los comúnmente utilizados son los motores de cuatro tiempos que funcionan con el ciclo Otto. De un motor a gasolina se puede considerar que tienen mejores características y mejor rendimiento gracias al poder energético que genera la combustión, este poder energético es determinado por el octanaje del combustible.

1.5.3. Funcionamiento del motor de encendido provocado

Los motores de combustión interna aprovechan el calor que se genera en la cámara de combustión al momento de la ignición de la mezcla de aire combustible. Al quemarse un combustible como la gasolina se producen gases de combustión y calor. Si esta acción se desarrolla dentro de una cámara cerrada, el calor producido hace que la temperatura y la presión de los gases aumente, causando una expansión de sus gases, esto puede transformarse en el movimiento de un mecanismo en un eje de salida giratorio y aprovecharse como fuente de energía capaz de producir movimiento. (Taípe-Defaz et al., 2021).

El correcto funcionamiento del motor de encendido provocado se debe al funcionamiento individual de sus componentes fijos y móviles los cuales son los encargados de producir el movimiento:

Pistón: Es una pieza fabricada de aleación de aluminio fundido o forjado que se encarga de transmitir el movimiento lineal producido por la combustión de la mezcla estequiométrica (Cabrera Erazo, 2019).

Biela: Es uno de los elementos móviles que permite transformar el movimiento lineal que describe el pistón en energía cinética, soporta la mayor tensión dentro del motor ya que se somete a esfuerzos de tracción, compresión y flexión. (Reyes Campaña et al., 2017).

Cigüeñal: Es el elemento rotativo del motor al que se integra la biela para producir el movimiento necesario de funcionamiento del motor, este elemento convierte el

desplazamiento lineal del pistón en rotativo. Este elemento se encuentra sometido a cargas durante la vida útil del motor (Morquecho Andrade, 2018).

Cilindro: Es por donde se desplaza el pistón describiendo el movimiento rectilíneo. Es el que determina la carrera del pistón, así como en donde se calcula la cilindrada. Se mueve entre dos cotas que son el punto muerto superior y el punto muerto inferior (Calleja Gonzales, 2018).

Cámara de combustión: Es donde se deposita la mezcla para que se desarrolle la combustión, al momento de que el pistón llega al punto muerto superior se produce la chispa que ocasiona el encendido de los gases.

Culata: Es la parte superior que constituye el cerramiento de los cilindros. Es en donde se alojan las válvulas que permiten el paso del combustible y la salida de los gases quemados. Este elemento también posee conductos para la refrigeración, árboles de levas y mecanismos para el control de válvulas (Pezda & Jezierski, 2020).

Bloque: Donde se encuentran dispuestos los cilindros, es fabricado en una sola pieza. Este posee canalizaciones para la lubricación y refrigeración del conjunto. Es el que determina la cilindrada del motor.

Cárter: Es el encargado de almacenar el aceite utilizado en la lubricación de las partes fijas y móviles del motor, tomando en cuenta que este elemento se encuentra en la parte inferior del motor. (Haro Mediavilla & Haro Vaca, 2017).

1.5.4. Procesos de combustión

Los procesos producidos durante el funcionamiento del motor que generan el movimiento de sus partes móviles se denomina ciclo Otto el cual comprende los siguientes:

- Admisión
- Compresión
- Explosión
- Escape

La combustión en un motor de encendido provocado inicia cuando el pistón está en el punto muerto superior (PMS) y empieza a descender hacia el punto muerto inferior y mientras descende las válvulas de admisión se abren dando paso a la mezcla aire-combustible. Cuando el pistón llega al punto muerto inferior (PMI) las válvulas tanto de admisión como las de escape están totalmente cerradas para que así el pistón empiece a ascender comprimiendo la mezcla, en esta etapa es cuando el pistón está por llegar al PMS y se genera una chispa por medio de una bujía dando lugar a la combustión. La fuerza de la explosión producida por la combustión hace que el pistón descienda con fuerza al PMI para luego ascender al PMS expulsando los gases de la combustión por medio de las válvulas de escape ya que éstas se abren, todo esto se da gracias a la sincronización del cigüeñal con el árbol de levas (Lamas Galdo et al., 2013).

1.5.4.1. Primer tiempo: admisión

En el tiempo de admisión la o las válvulas de admisión se abren antes de que el pistón llegue al punto muerto superior que oscila entre 10° a 15° y de igual manera se cierra cuando el pistón ya se encuentra descendiendo lo cual se puede observar en la figura 1.1 (Domínguez Soriano & Ferrer Ruiz, 2019).

1.5.4.2. Segundo tiempo: compresión

El tiempo de compresión empieza cuando la válvula de admisión se cierra y el pistón inicia su carrera hacia el punto muerto superior y antes de que este alcance dicho punto se produce la chispa en la bujía que enciende la mezcla, como se puede observar en la figura 1.1 la compresión empieza desde donde termina la admisión hasta el punto AAA (avance de encendido, AE). (Henao et al., 2019).

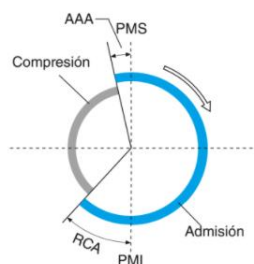


Figura 1. 1. Compresión y Admisión

(Domínguez Soriano & Ferrer Ruiz, 2019)

1.5.4.3. Tercer tiempo: explosión

Comienza antes de que el pistón llegue al punto muerto superior, en el momento en el que se produce la chispa que ocasiona la explosión de la mezcla (AE), las válvulas tanto de escape como de admisión se encuentran completamente cerradas permitiendo al pistón descender al punto muerto inferior produciendo una fuerza la cual se convierte en energía de trabajo mostrado en la figura 1.2 (Connor, 2020).

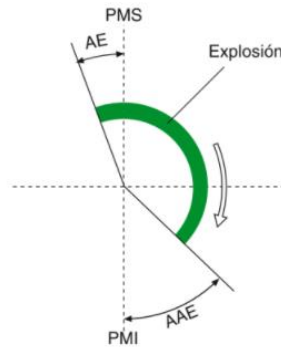


Figura 1. 2. Explosión

(Domínguez Soriano & Ferrer Ruiz, 2019)

1.5.4.4. Cuarto tiempo: escape

Este tiempo ocurre cuando los gases quemados son expulsados al tubo de escape para sacarlos al exterior aprovechando la apertura de la válvula de escape, figura 1.3 (Yaselga Loachamín, 2019). La válvula de escape se adelanta 40° a 50° para su apertura y así poder aprovechar la presión interna de los gases (Domínguez Soriano & Ferrer Ruiz, 2019).

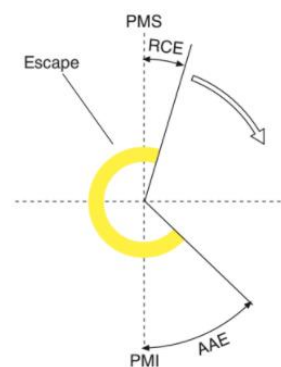


Figura 1. 3. Escape

(Domínguez Soriano & Ferrer Ruiz, 2019)

1.5.5. Orden de encendido

Determina el orden de funcionamiento o trabajo de cada cilindro, generalmente en los motores de cuatro cilindros el orden de encendido es: 1-3-4-2. Las explosiones son producidas en ese orden comienza en cada uno de los cilindros como ha sido mencionado anteriormente. El motor necesita dos vueltas completas para realizar un ciclo completo de trabajo (Domínguez Soriano & Ferrer Ruiz, 2019). En la tabla 1.1 se puede observar cómo se desarrolla el trabajo del motor.

Tabla 1. 1. Giros del cigüeñal en grados

Giros del cigüeñal en grados	Cilindro N ° 1	Cilindro N ° 2	Cilindro N ° 3	Cilindro N ° 4
0° - 180°	Explosión	Escape	Compresión	Admisión
180° - 360°	Escape	Admisión	Explosión	Compresión
360° - 540°	Admisión	Compresión	Escape	Explosión
540° - 720°	Compresión	Explosión	Admisión	Escape

Fuente: (Domínguez Soriano & Ferrer Ruiz, 2019)

1.5.6. Sistema de encendido

El sistema de encendido es llamado así a un conjunto de dispositivos que comprenden la calidad de la chispa producida y el tiempo de la chispa dentro de los cilindros ayudando a la combustión de la mezcla aire- combustible (Cevallos Galarza, 2016). La calidad de la chispa es muy importante ya que determinará la capacidad de esta de incendiar la mezcla.

La duración de la chispa es muy importante al momento de incendiar mezclas pobres. Cuanto más fuerte sea una chispa, menos será la posibilidad de una falla (Denton, 2016). Existen sistemas de encendido con inyección electrónica lo cual en todo motor de encendido provocado debe tener algunos componentes muy importantes para conformar el sistema de encendido. Debe poseer una energía necesaria para generar la chispa de la bujía y así poder tener la combustión, esto se da gracias a que puede tener una sola bobina o bobinas independientes por cada cilindro del motor.

1.5.7. Tipos de sistema de encendido

Existen sistemas de encendido que han implementado la electrónica, siendo capaces así de cumplir un sinnúmero de exigencias que mejoren el rendimiento, disminuyendo el consumo de combustible y reducir la emisión de gases contaminantes (Sánchez Torres, 2021). La evolución de los automóviles también se ha producido en el tipo de sistema de encendido que cada uno utiliza como los nombrados a continuación:

1.5.7.1. Sistema de encendido convencional

El funcionamiento del sistema de encendido convencional es de los más sencillos de entender su funcionamiento ya que este fue de los primeros sistemas de encendido, su funcionamiento se da desde que entra en contacto y pasa una tensión a una bobina la cual funcionaría como fuente de energía, por medio de un platino el circuito se abre y se cierra, en este sistema a medida que el árbol de levas va girando, la leva del distribuidor abre los platinos dando paso a la corriente para poder generar la chispa (Granda Aguilar, 2016).

El ángulo de encendido se da de forma mecánica, ya que el distribuidor generalmente está con contacto con el árbol de levas dando movimiento al distribuidor para la transmisión de la corriente eléctrica hacia la bujía para dar el chispazo a la cámara de combustión, generalmente la tensión de la bujía suele oscilar entre los 8000 y 15000 voltios, todo esto gracias a que este sistema de encendido está conformado por una batería, interruptor, bobina, ruptor, condensador, distribuidor, cables de alta tensión y las bujías de encendido, figura 1.4 (Camacho Caloma & Chancusi Pilataxi, 2021).

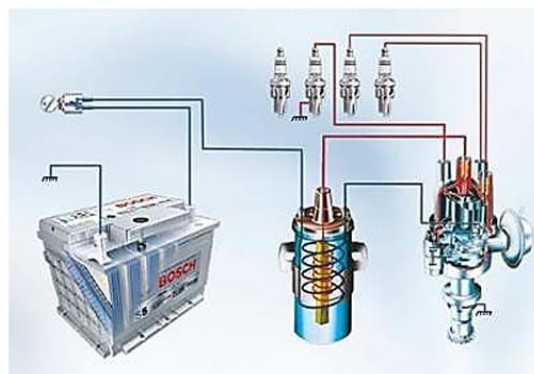


Figura 1. 4. Sistema de encendido convencional

(Quispe Mitma, 2018)

1.5.7.2. Sistema de encendido transistorizado por contactos

El sistema de encendido transistorizado es un sistema que conserva algunos componentes del sistema de encendido convencional, con la diferencia que en este sistema se ha integrado un generador de señales con la ayuda de levas y platinos en vez de un distribuidor generando así voltajes que activan los transistores para interrumpir la corriente en el circuito primario de la bobina, como se observa en la figura 1.5. La ventaja de este sistema es que se evita los desgastes que se producen por las piezas mecánicas evitando así las caídas de tensión en el circuito secundario de la bobina (Mamani Carrasco, 2016).

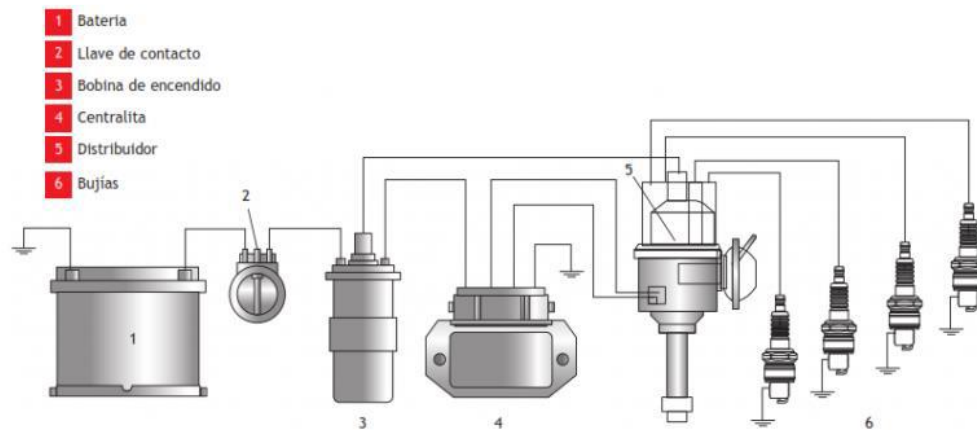


Figura 1. 5. Encendido de un encendido transistorizado.

(Camacho Caloma & Chancusi Pilataxi, 2021)

1.5.7.3. Sistema de encendido directo (DIS)

En este sistema de encendido en vez de un distribuidor se utilizan algunas bobinas de encendido las cuales suministrarán la alta tensión hacia las bujías para generar la chispa adecuada, esto se controlará mediante el avance electrónico que genera la ECU ya que consta de un sensor de posición y velocidad dando lugar al sistema más utilizado en los motores de encendido provocado, como se observa en la figura 1.6 (Palacios Mena, 2016).

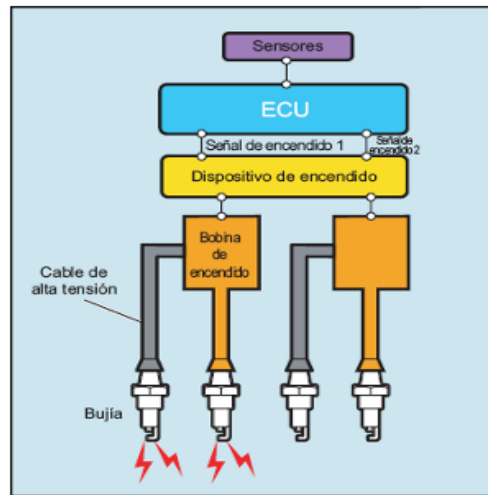


Figura 1. 6. Sistema de encendido DIS
(Palacios Mena, 2016)

1.5.7.4. Sistema de encendido controlado por unidad control

En este sistema de encendido se tiene una unidad de control electrónico (ECU) la cual agrupa las señales analógicas para convertirlas en digitales, el procesamiento de las CPU por medio de datos y tiempo que permiten la sincronía con el cigüeñal, esto se da gracias al cableado que es el encargado de alimentar a los sensores y actuadores para enviar la señal a la ECU, gracias a su gran eficiencia este sistema ha sido utilizado en los automotores en los últimos años, figura 1.7 (Juan Trujillo-Tello et al., 2020).

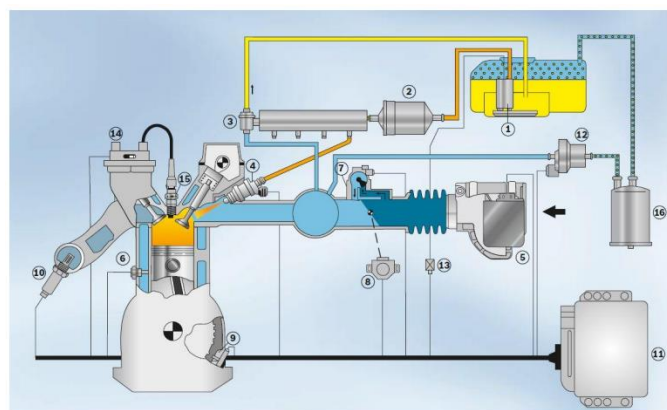


Figura 1. 7. Sistema de encendido por unidad de control.
(Ciro Palena, 2015)

1.5.8. Fallas comunes en un sistema de encendido

Generalmente en los motores de encendido provocado se suele tener problemas o fallas en los siguientes componentes:

- **Problemas con la o las bobinas de alta tensión.** – La bobina es uno de los elementos más esenciales ya que es el que eleva la tensión para poder enviarla a la bujía para generar una buena chispa, si se genera algún problema se puede dar gracias a una escasa alimentación en el tiempo de carga de la bobina, llevando a problemas de desgaste o sobrecarga en el módulo de encendido, dando fallos en el suministro de tensión (Quispe, 2018).
- **Bujías.** – Genera la chispa para inflamar la mezcla aire combustible, la tensión es obtenida gracias a los cables de alta tensión, cuenta con un electrodo central y una masa para generar dicha chispa (Pérez, 2021).
- **Bomba de combustible.** – Este elemento es el encargado de que el sistema de inyección reciba de manera constante el combustible, se centra en succionar el combustible del tanque para enviarlo hacia los inyectores (Arévalo Nugra et al., 2020).
- **Sensor MAP.** – Es elemento esencial es una parte fundamental en el módulo de control electrónico es decir la ECU, por lo general cuando existen fallas con este sensor se suele tener pérdidas de potencia, consumo de combustión y si existe una mezcla rica de combustible, habrá emisiones de humo negro (LEMA CHANDI & SÁNCHEZ MONTENEGRO, 2014).
- **Sensor MAF.** – Sensor el cual mide el ingreso y el flujo de aire que aspira el motor, arrojando una señal eléctrica a la unidad de control ubicado en el colector de admisión, la señal eléctrica será gracias a una resistencia y esto variará según la cantidad de flujo de aire que ingresa al motor (Rodríguez Alfonso & Castellanos, 2020).
- **Cables de alta tensión.** - Gracias a estos cables la corriente de alta tensión es conducida desde la bobina al distribuidor, de igual manera, desde el distribuidor hacia las bujías, estos cables tienen una gran capacidad de aislamiento vitando desperfecto (Pérez, 2021).

1.5.9. Tipos de mantenimientos

1.5.9.1. Mantenimiento correctivo

Se llama mantenimiento correctivo a la reparación de condiciones de fallas de algún o algunos equipos o elementos, buscando la causa que produjo la falla para eliminarla ya que estas averías sean consideradas generalmente una emergencia, es decir que debe ser de forma inmediata sin pérdidas de tiempo ya que esta no tiene un cronograma a seguir, las fallas incluso se pueden dar por factores externos como puede ser el clima, daños de terceros, es importante realizar el mantenimiento correctivo lo antes posible para evitar más averías y pérdidas de tiempo con los equipos, máquinas o elementos afectados (Pariona, 2021).

1.5.9.2. Mantenimiento preventivo

El mantenimiento preventivo es el procedimiento que se lleva a cabo para la conservación de equipos mediante una revisión y reparación que pueda garantizar un buen funcionamiento, seguridad y fiabilidad para alargar su vida útil, en algunos casos el mantenimiento preventivo puede incluir el cambio de piezas desgastadas, cambio de aceites y lubricantes (Rivera, 2019).

1.5.9.3. Mantenimiento predictivo

Considerado como un grupo de técnicas previamente seleccionadas que colaboran al seguimiento y comparación, de los parámetros especiales dentro de la máquina o equipo, con el cual se puede llegar a modificar el funcionamiento normal de la misma mediante mediciones o ensayos pudiendo con ello anticiparse a fallas a futuro, basándose en las condiciones de los equipos (Reina-Pérez et al., 2017).

De acuerdo con Guzmán et al. (2018) indica que el mantenimiento predictivo tiene como objetivos el monitoreo de máquinas, diagnóstico y estimación de vida útil. El mantenimiento predictivo consiste en tres pasos.

Detección: Reconocimiento del problema y se seleccionan las máquinas que están propensas a dañarse.

Análisis: Se procede con el análisis histórico de datos de la máquina en donde se incluye los parámetros de funcionamiento o bien de la propia magnitud de vibración de la máquina.

Corrección: Se busca la forma idónea para solucionar los problemas encontrados (p.2).

1.5.9.3.1. Técnicas de aplicación para el mantenimiento predictivo

De acuerdo con Loya (2020) las técnicas de mantenimiento predictivo se clasifican mediante:

a) Técnica de inspección visual

Mediante esta técnica se pueden detectar fallos físicos como desgastes, grietas, elementos de fijación sueltos, entre otros, siempre y cuando se encuentren en zonas donde se pueda observar directamente en la máquina, se realiza a través de la observación directa o con el uso de aparatos como microscopios o endoscopios.

b) Técnicas de ultrasonido

Esta técnica es detectada por ondas de frecuencia superiores a las que el oído humano puede detectar ya que se torna a os 20 kHz, gracias a este método se puede detectar grietas, rupturas por fatiga, entre otros defectos como defectos de fabrica o corrosión, es decir las ondas de sonido son reflejadas en la interfaz permitiendo encontrar los problemas

c) Técnicas de líquidos penetrantes

Gracias a esta técnica no destructiva se puede identificar fisuras o grietas superficiales, para conseguir esta técnica se tiene que aplicar una tinta especial sobre la superficie que se desea revisar, dicha superficie debe estar limpia, luego se procede a limpiar la tinta y se coloca un líquido absorbente el cual ayudará a

extraer la tinta que en las grietas superficiales y finalmente se podrá visualizar la presencia de las grietas y su forma.

d) *Técnica de termografía*

La técnica de termografía detecta fácilmente y de manera segura si en un componente si hay fallos sin interrumpir el funcionamiento del equipo o máquina, en esta técnica se suele usar una herramienta que detecta las variaciones de temperatura en donde puede detectar la falla ya que los problemas se reflejan con una elevada temperatura en la parte afectada (p.10-11).

1.5.10. Vibraciones

Las vibraciones se producen por las fuerzas o impulsos desequilibrados por componentes móviles en el motor, se toma en cuenta las variaciones de presión producidas en los cilindros, la calidad del combustible y la velocidad en la que gira el cigüeñal. Las vibraciones que se producen en un motor de combustión interna son indicadores de la estabilidad de este y su condición mecánica al desarrollar su trabajo, que se produce en el movimiento interno de los elementos móviles del motor (Gutiérrez & Marcos, 2019).

1.5.10.1. Características de las vibraciones

Las vibraciones se pueden ser causadas por varias condiciones tanto en conjunto como individuales, algunas de sus causas tienen estrecha relación con:

- a) Desequilibrio:** Si el peso en un elemento giratorio no se encuentra correctamente balanceado se produce vibraciones por la fuerza centrífuga generada. Cuanto mayor es la velocidad en el movimiento de los elementos, aumenta la vibración del motor lo que ocasiona desgaste y reduce su vida útil (Alonso - Miñón Delgado, 2021).

- b) Alineación incorrecta o descentramiento del eje:** Este tipo de problema puede ocasionarse por el montaje incorrecto de los elementos o el desgaste que se

produce con el tiempo. Otros factores que influyen son: la dilatación térmica y el desplazamiento de los elementos.

- c) **Desgaste:** El desgaste en los elementos como los rodillos hace que se produzcan vibraciones al momento de pasar por la zona afectada, también puede producirse el desgaste en los dientes de los engranajes o las correas giratorio cuando puede empezar a romperse.

- d) **Holgura:** Es un gran inconveniente si los elementos móviles del motor no están fijados de tal manera que no exista espacios entre ellos que, de paso a vibraciones, el desgaste de rodamiento y en los soportes pueden provocar holgura (Guzmán et al., 2018).

1.5.10.2. Tipos de vibraciones:

Las vibraciones, al ser un movimiento oscilatorio se las puede describir mediante ecuaciones matemáticas, es esta propiedad la que permite agruparlas en dos grandes grupos (GUEVARA GAIBOR & LANDA DÍAS, 2019) afirmó lo siguiente.

Vibraciones Estocásticas o Aleatorias

Son aquellas que no se pueden determinar de manera segura el comportamiento que se tendrá a futuro presentándose en ondas sinusoidales distorsionadas causadas por la resonancia de otras.

Vibraciones determinísticas

Permiten determinar que comportamiento desarrollaran a futuro ya que se puede calcular la amplitud de la onda y los ciclos de oscilación la cuál ayuda al análisis del comportamiento de las ondas sinusoidales generalmente utilizadas para un análisis predictivo (p.8).

1.5.10.3. Propiedades de las vibraciones

Jean Baptiste Joseph Fourier (1768, 1830) fue quien hizo posible el analizar una señal, mediante curvas sinusoidales en valores dados de; frecuencia y amplitud (Fernández & Tamaro, 2004).

- a) **Frecuencia:** Indica el número de veces por unidad de tiempo en el que una partícula pasa por el mismo punto, su unidad de medida es el hercio (Hz) (Redondo Gómez, 2021).
- b) **Amplitud:** Como se observa en la figura 1.8, la amplitud es el valor máximo que alcanza cualquiera de las magnitudes que definen el movimiento vibratorio, ya sea positivo o negativo a partir del valor cero en la onda que representa la vibración (Pérez González, 2021).

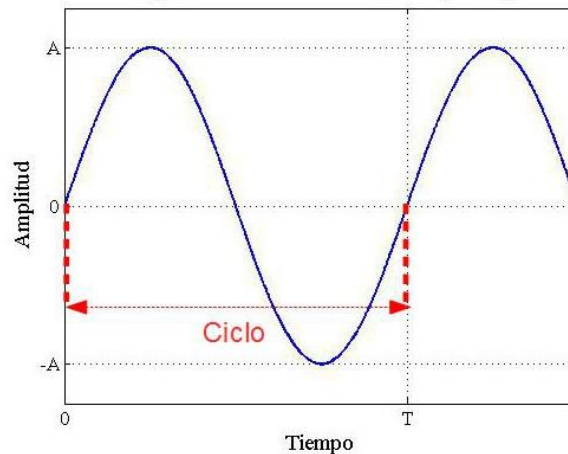


Figura 1. 8. Propiedades de la vibración
(Medina, 2013)

1.5.10.4. Traductores de vibraciones

Existen diferentes tipos de sensores con los cuales es posible realizar mediciones de vibraciones en los cuales se puede mencionar:

Transductores de medición de vibración

Su función principal es medir proximidad, desplazamiento y la velocidad lineal que produce un motor al momento de generar vibraciones, existen de diferentes tipos pensados para desarrollar trabajos en específico. Al momento de seleccionar

el tipo de sensor que se va a utilizar se debe tener en cuenta: el rango de medición, la frecuencia a la que trabaja, la precisión y el ambiente al cual se lo va a someter. (Huilca Á, 2019).

Sensor de proximidad

Este elemento se considera una unidad de montaje permanente, es necesario estar conectado a un amplificador que acoge la señal generando un voltaje de salida de manera proporcional a la distancia entre la flecha y el traductor. Es sensible a las anomalías magnéticas de la flecha ya que trabaja mediante un principio magnético, siendo necesario mantener la flecha magnetizada para evitar señales de salida contaminadas (Guevara Gaibor & Landa Días, 2019). Este sensor no mide en su totalidad el nivel de vibración por lo que es utilizado en grandes máquinas con rodamientos con ejes.

1.5.11. Acelerómetros

Son dispositivos usados comúnmente en análisis de vibraciones, este tipo de sensor permite medir la vibración y aceleración transformando la aceleración de gravedad en una señal eléctrica análoga. Este tipo de sensores son ubicados donde exista rodamientos en las máquinas, en la parte de la carcasa del motor (Huilca Álvarez, 2019).

1.5.12. Transformada de Fourier

La transformada de Fourier es una transformación matemática que tiene un gran aporte en el área de procesamiento de señales en donde busca representar mediante el espectro de frecuencia el contenido frecuencial de una señal. Permite reconocer las frecuencias presentes en una señal, cuando se realiza el diagnóstico basado en Fourier es posible encontrar espectros de una condición sana y una condición con daño, pudiendo así realizar un diagnóstico del daño (Rangel Rodríguez, 2020).

La transformada de Fourier también es conocida como (espectro de Fourier o espectro de frecuencias) es utilizada para el análisis de fenómenos lineales como no lineales, se utiliza

en diversos campos de estudio como redes eléctricas o sistemas de comunicación (Pérez Fernández, 2021).

$$F(\omega) = \int_{-\infty}^{+\infty} f(t)e^{-j\omega t} dt \quad [1]$$

1.5.13. Norma ISO 2372-1974

La norma ISO 2372-1974 detalla las mediciones de las vibraciones mecánicas las cuales se realizan en máquinas rotativas con rotores rígidos y con rotores flexibles en algunos elementos de las máquinas con un rango de frecuencia entre 10 y 1000 Hz para definir estándares para el mantenimiento predictivo (International Standard Organization, 1974).

1.5.13.1. Características

Según Garcia Sanchez et al., (2018) en su investigación menciona a las características más relevantes en referencia a la norma ISO 2372-1974 las cuales detallan lo siguiente:

- Se aplican a los equipos rotativos que tengan un rango de velocidad de giro entre 600 y 12000 RPM.
- Se requiere un nivel global de vibraciones en velocidad en RMS con rangos de frecuencia de 10 a 1000 Hz (p. 24-25).

Tabla 1. 2. Clasificación de equipos en ISO 2372

Clase	Descripción
Clase I	Equipos pequeños hasta 15 kW.
Clase II	Equipos medios, de 15 a 75 kW o hasta 300 kW con cimentación especial.
Clase III	Equipos grandes, por encima de 75 kW con cimentación rígida o de 300 kW con cimentación especial.
Clase IV	Turbo maquinaria (Equipos con RPM > velocidad crítica).

Fuente: (Garcia Sanchez et al., 2018)

1.5.13.2. Norma ISO 10816-1995

Mediante esta norma se evalúa las vibraciones en máquinas específicamente sobre partes no rotativas de las mismas, esto se basa en el monitoreo en pruebas de validación con el objetivo de garantizar un óptimo funcionamiento integro de la máquina con una larga vida útil, tomando en cuenta que el criterio de vibraciones se aplica en máquinas con potencias superiores a 15kW y con velocidades entre 120 RPM y 15000 RPM, sin evaluar las vibraciones causadas por fuentes externas (International Standard Organization, 1995).

De acuerdo con Zapana Flores, (2017) hace referencia a que existen distintas categorías en dependencia a diferentes parámetros descritos a continuación:

- **Grupo 1.-** Las maquinas rotatorias deben tener una potencia superior a 300kW y las maquinas eléctricas con una altura de eje superior a 315mm ($H > 315\text{mm}$).
- **Grupos 2.-** Maquinas rotativas medianas con potencias entre 15 kW y 300 kW mientras que las maquinas eléctricas deberán tener una altura de eje entre 160 mm y 315 mm.
- **Grupo 3.-** Se trata de bombas con impulsor de múltiples álabes y con un motor separado el cual tendrá una potencia superior a los 15 kW.
- **Grupo 4.-** Son bombas con impulsores de paletas con un motor integrado teniendo una potencia superior a 15kW (p. 37- 39).

CAPÍTULO II

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Para el desarrollo del trabajo de investigación es necesario tener en cuenta que tipo de herramientas se puede utilizar y la manera en que se procederá a simular las fallas en los respectivos componentes del automóvil que se ha seleccionado.

En la Figura 2.1 se observa el proceso que se realizará en la investigación, en donde se guiará los pasos como la selección del vehículo en el cual se realizarán las pruebas, la determinación de condiciones de funcionamiento del motor, entre estas la temperatura del motor, el nivel de combustible y rpm, la elección de los materiales a utilizar para realizar las pruebas, la simulación de las condiciones de funcionamiento como buen estado, falla de bujías, falla de la bomba de combustible falla de inyectores, la obtención de datos mediante el LabVIEW, el procesamiento de datos mediante Matlab y finalmente la obtención de resultados.

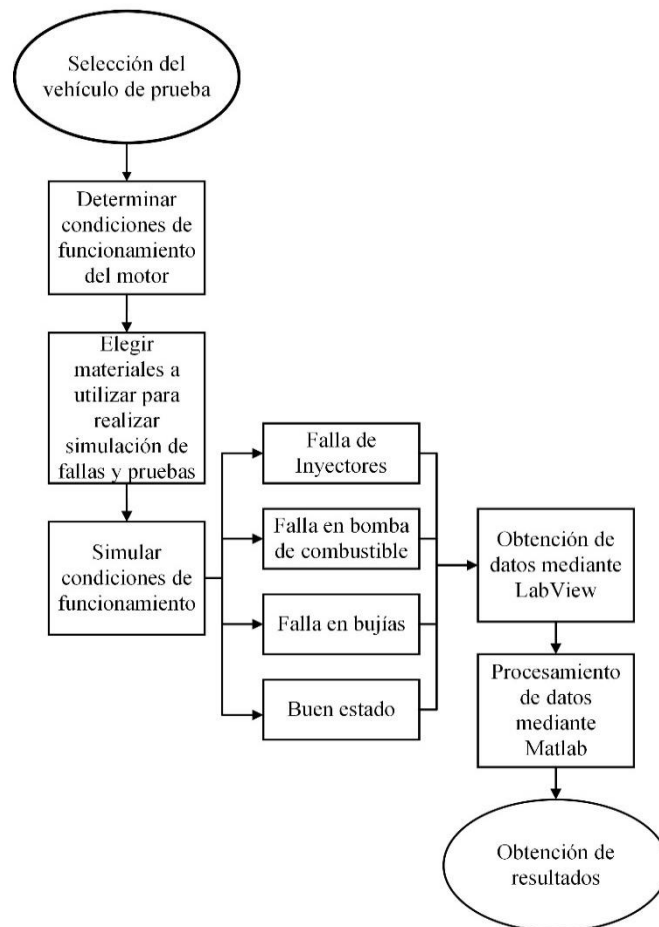


Figura 2. 1. Flujograma de desarrollo

2.1 MATERIALES

2.1.1. Defectología recurrente en vehículos

La simulación de una falla es de gran importancia ya que esta permitirá que las vibraciones se asemejen a fallos del motor en condiciones reales, a continuación, se detalla cada uno de los sensores y actuadores utilizados en la investigación.

Para seleccionar los sensores y actuadores que se utilizarán en la investigación se ha realizado una matriz de decisión tomando en cuenta los fallos más comunes que presenta el motor. Para ello se ha tomado un rango de clasificación que empieza desde 0 hasta 4 donde cada número representa:

- 0: Nunca
- 1: Casi nunca
- 2: Algunas veces
- 3: Casi siempre
- 4: Siempre

Tabla 2. 1. Toma de decisiones de fallas más comunes.

Componentes y sensores	Periodo de cambio	Variación de consumo	Pérdida de potencia	Dificultad de arranque	Ruido de golpeteo	Disponibilidad en motor	Puntaje
Inyectores	2	4	4	3	3	4	20
Bujías	3	3	3	3	2	4	18
Sensor MAF	1	4	2	3	3	0	13
Sensor MAP	1	3	3	3	2	4	16
Bobina	1	1	2	2	2	4	12
Bomba de combustible	2	3	4	3	3	4	19
Sensor CKP	1	1	2	3	1	4	12
Cables de bujías	2	2	3	2	2	4	15
Filtros	4	2	3	1	1	4	15

Para determinar los elementos que presentan mayores problemas en el sistema de encendido de un vehículo se toma en cuenta diferentes aspectos en los cuales estos interfieren haciendo que el motor pueda tener inconvenientes al momento de desarrollar un trabajo, entre estos se encuentran(SFI, 2021):

- Arranque difícil: Inyectores de combustible sucios, bujías deterioradas, bomba de combustible.
- Ralentí irregular: Inyectores de combustible sucios, bujías o cables de bujías defectuosos.
- Detención del motor: Inyectores de combustible sucios, bujías defectuosas.
- Cabeceo o golpeteo: Inyectores de combustible sucio, bomba de combustible débil.
- Pérdida de potencia: Inyectores de combustible sucios, bomba de combustible débil, bujías deterioradas, bobina en mal estado Sensor CKP.

También al momento de realizar la selección de los componentes para su análisis se toma en cuenta que estos se encuentren presentes y correcto funcionamiento en el vehículo, para ello fue pertinente realizar una inspección del motor.

En base a los diferentes puntajes obtenidos dependiendo de los problemas que presenta en el automóvil se procedió a seleccionar los 3 componentes del vehículo con un mayor puntaje. Entre estos se encuentran: Inyectores, Bujías, y Bomba de combustible.

2.1.1 Vehículo de prueba

Para la selección del vehículo se ha realizado una búsqueda de automóviles que tengan un motor de encendido provocado (MEP), con sistema de inyección indirecta y multipunto en el cual tenga los sensores y actuadores necesarios para la investigación, el vehículo seleccionado para realizar el estudio es un vehículo tipo hatchback de la marca Volkswagen Gol modelo 2005 el cual cuenta con un motor a inyección, de 1.8 L, posee transmisión manual de 5 marchas y una potencia de 76 CV, como se puede observar en la figura 2.2.



Figura 2. 2. Volkswagen Gol 2005

2.1.1.1. Características técnicas del vehículo

A continuación, en la tabla 2.1, se detallarán los datos con mayor importancia del vehículo “Volkswagen Gol” que se utilizará en la investigación:

Tabla 2. 2. Datos Volkswagen Gol

Potencia	76 CV
Transmisión	Manual
Consumo urbano	9.2 l/ 100 km
Marca	Volkswagen
Cambio de aceite	5.000 km
Cilindraje	1799
Año de fabricación	2005
Tipo de motor	Gasolina

Fuente: (Alfonso, 2022)

2.1.2. Sensor de vibraciones

Para medir las vibraciones el acelerómetro piezoeléctrico 603C01 es el que ayudará a monitorear las vibraciones en el motor con la toma de datos, figura 2.3. Este sensor trabaja en una frecuencia de 0.5 a 10 KHz, con una sensibilidad de 100 mV/g. la forma de montaje del sensor es superficial que se realiza mediante el uso de un imán.



Figura 2. 3. Sensor de vibraciones

Tabla 2. 3. Sensor de vibraciones

Frecuencia	0.5-10 kHz
Sensibilidad	100 mV/g
Diseño de montaje	Superficial
Encapsulado	Aislado
Capacidad para adquirir datos	8 horas

2.1.3. Tarjeta de adquisición DAQ NI 9250

La DAQ es una herramienta que mide señales desde los sensores piezoeléctricos IEPE y no IEPE como los acelerómetros o micrófonos, figura 2.4, esta herramienta es una de las adquisiciones de la UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE la cual facilitará el acceso para la toma de datos, el NI 9250 se debe utilizar con un software de National Instrument el cual permite el procesamiento de monitoreo en el análisis de frecuencia (National Instruments, 2023).



Figura 2. 4. DAQ NI 9250

Tabla 2. 4. Tarjeta de adquisición

Número de canales	2 canales de entrada analógica
Resolución ADC	24 bits
Modo de muestreo	Simultáneo
Frecuencia	13.1072 MHz
Exactitud	± 100 ppm máximo
Impedancia de entrada	AI+ al chasis $2M\Omega \parallel 280$ pF
Rango de voltaje de entrada	Típico ± 5.1 Vpk
Temperatura operativa	-40 °C a 70 °C

2.1.4. Bujías

Las bujías realizan su trabajo en la tercera fase en la que trabaja el motor (explosión), las veces que tiene que encender la mezcla es de 500 y 3500 veces, trabajando a una temperatura de 450 °C en baja velocidad y 850 °C en altas velocidades (Bravo Enrique et al., 2020).

La bujía es la que permite el funcionamiento del motor ya que tiene la función de encender el gas que se encuentra comprimido en la cámara de combustión. Cuando una bujía presenta fallas, estas pueden ser una chispa débil lo que hace que el motor no pueda encenderse o pueden hacerlo en la etapa equivocada (KIA, 2021). La bobina de encendido genera un voltaje que es receptado por la bujía para crear un arco eléctrico entre los electrodos con la suficiente intensidad y duración que permite la inflamación de la mezcla, figura 2.5 (Motorysa, 2021). Es por esto que las fallas que presenta en el automóvil si este componente se encuentra en mal estado son:

- Dificultad en el arranque del motor.
- Pérdida de potencia en el motor.
- Aumento de emisiones contaminantes.



Figura 2. 5. Bujía

2.1.5. Inyectores

Los inyectores son los encargados de suministrar el combustible en la cámara de combustión de tal manera que este se encienda para provocar el movimiento y por consiguiente el trabajo del motor en el automóvil. Una de las principales características de los inyectores es; reducir el consumo de combustible mejorando la potencia del motor. Según Paspuel Almeida (2021), los inyectores son electroválvulas que, comandadas por la ECU se abren y cierran millones de veces durante el funcionamiento del motor, pulverizando de forma precisa y homogénea teniendo en cuenta la cantidad de combustible necesaria en cada uno de los cilindros, en la figura 2.6 se puede observar los inyectores.



Figura 2. 6. Inyectores

2.1.6. Bomba de combustible

El funcionamiento de la bomba de combustible consiste en un diafragma que se contrae por la acción de la parte electrónica al tener un interruptor electromagnético el cual hala una varilla que está unida a un diafragma haciendo que se abra la cámara en donde ingresa el combustible, para luego mediante un resorte permitir que este diafragma retorne a su

estado original realizando la acción de bombeo de combustible, figura 2.7 (López Donaire, 2021). La presión que debe tener una bomba de combustible es como mínimo, 2 bares esto va aumentando, dependiendo de la velocidad, puede llegar hasta los 4 bares (Plaza, 2020).



Figura 2. 7. Bomba de combustible

(Gloria, 2022)

2.1.7. Manómetro de presión TU-114

Este elemento es de 90mm de diámetro, cuenta con dos escalas de medición las cuales son: PSI y BAR, lectura desde 0 Psi a 140 Psi y 0 Bar a 10 Bar. También tiene implementado una manguera que permite el drenaje de combustible, así como una válvula de liberación de presión, figura 2.8.



Figura 2. 8. Manómetro de presión TU-114

2.1.8 Software LabView

Este programa fue creado por National Instruments en 1976, saliendo para la plataforma de Windows en 1986, siendo la última versión la 2023, esta puede descargarse directamente de la página oficial.

La versión a utilizar para el trabajo es LabView 2020 estudiantil, este software LabView es un entorno donde la programación es gráfica, busca desarrollar sistemas para un control automatizado. Dicho software permite controlar los parámetros en los cuales se busca obtener la información mediante los sensores.



Figura 2. 9. Software LabView

2.1.9. Software MATLAB

MATLAB es un software de programación utilizado por estudiantes y profesionales de ingeniería para análisis y procesos de bases de datos creando programas que le permita automatizar su trabajo, ya que este software es amigable por lo que no es necesario volver a escribir el código, por otro lado, en la plataforma de MathWorks se puede encontrar una gran cantidad de información, tutoriales y ayuda para la facilidad de manejo de esta (MathWorks).

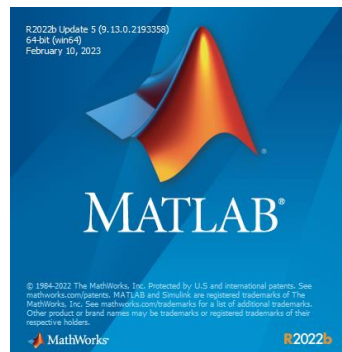


Figura 2. 10. Software Matlab

2.2. MÉTODOS

2.2.1. Parámetros de medición

Por otro lado, también se ha detallado un flujograma el cual se puede visualizar en la figura 11 en donde se puede visualizar el proceso a realizar en el estudio, detallando desde la selección del motor en el cual se va a realizar las mediciones de

vibraciones y el que posee los componentes y sensores necesarios para el estudio, también se hace una selección de herramientas el cual se va a utilizar para medir las vibraciones ya que el oído humano no puede percibir las variaciones de frecuencias de vibraciones que genera el motor y finalmente la importación de datos al software de LabView para el análisis de los mismos

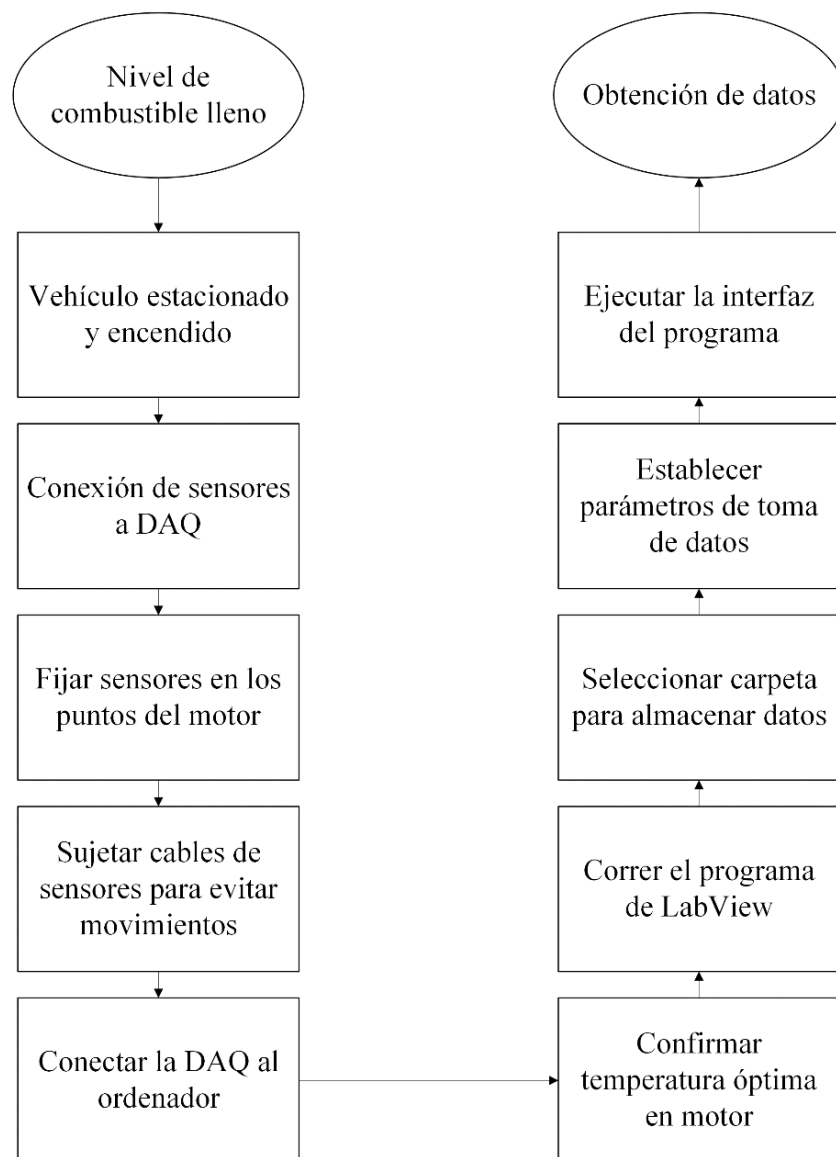


Figura 2. 11. Flujograma toma de datos

Este proceso debe seguirse a cada momento de cambiar los elementos para los cuales se realiza la simulación de falla.

2.2.2. Simulación de fallas

Para la simulación de fallas se toma en cuenta los problemas más recurrentes seleccionados en la tabla 2.1, en donde se selecciona las fallas mediante el análisis de los componentes.

2.2.2.1. Simulación de falla en bujía

Para la simulación de una falla en bujías calibramos a 1.6 mm cada bujía, después de realizar las pruebas en buen estado, se sustituyen las bujías que están calibradas correctamente por las que presentan fallas para luego realizar las mediciones.



Figura 2. 12. Calibración bujía

Continuando con la simulación de fallas se procede a intercambiar las bujías en buen estado por las anteriormente puestas en mal estado para proceder con las siguientes pruebas.

2.2.2.2. Simulación de falla en inyectores

Un inyector con taponamiento por suciedad es capaz de generar una falla por lo que, se opta por este método para generar una falla introduciendo partículas pequeñas de polvo y algodón.

Una vez reemplazado el componente de hacer variar la presión de combustible, se intercambia los sensores nuevos por unos que estén presentando falla, para esto se ha

procedido a taponarlos para así evitar el paso correcto de combustible, una vez conectados los inyectores con falla se procede a correr el programa.



Figura 2. 13.

Figura 2. 13. Filtro de inyectores taponado

2.2.2.3. Simulación de falla en bomba de combustible

Para simular esta falla se coloca una manguera antes del ingreso del combustible al riel y con una llave que permite cortar el paso de combustible se modificó teniendo en cuenta mediante el manómetro que el automóvil trabaja con 2.5 bares de presión. Una vez establecido la presión a la que se va a simular la falla se procede con la obtención de los datos.



Figura 2. 14. Variación de presión de bomba de combustible

2.2.3. Obtención de datos

Para la obtención de datos se realizaron un total de mil pruebas divididas en doscientas pruebas diarias siguiendo el mismo orden; buen estado, falla en bujía, falla en bomba de combustible, falla en inyectores; cada prueba consta de cincuenta y seis mil datos en un documento de Excel.

Tabla 2. 5. Tabla de obtención de datos

Pruebas en diferente estado	N° de pruebas	N° de datos en cada archivo en Excel	N° de pruebas por día
Buen estado	1000	56000	200
Falla Bujías	1000	56000	200
Falla Bomba de combustible	1000	56000	200
Falla de Inyectores	1000	56000	200
Total	4000	896000000	800

Para cada una de las pruebas se toma 20 pruebas aleatorias para proceder con el análisis en el software.

2.2.4. Uso de la interfaz de LabVIEW

Para realizar la obtención de datos en el software es necesario delimitar los parámetros en los cuales dicha herramienta debe trabajar, para ello detallamos cada uno de estos.

La interfaz en donde se controla la toma de datos lleva graficas como la gráfica de vibraciones, la gráfica de la trasformada rápida de Fourier la cual permite la verificación de toma de datos, por otro lado, también se puede delimitar los parámetros con los que se desea trabajar. En la figura 2.15 se puede observar la interfaz utilizada:

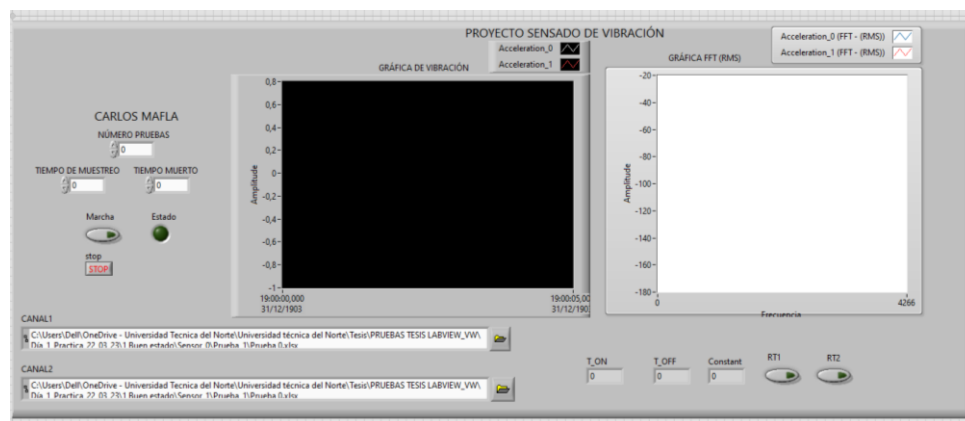


Figura 2. 15. Interfaz del programa

Para delimitar el número de pruebas que se realiza se escribe en la casilla de la figura 2.16, en donde se ha utilizado el número de 100 pruebas para cada uno de los análisis para cada una de las diferentes condiciones de funcionamiento del motor.

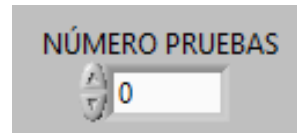


Figura 2. 16. Límite de pruebas

El tiempo de muestreo para la obtención de datos se delimita en la casilla de la figura 2.17 donde se tiene en cuenta el tiempo en el que los sensores registran datos, para ello se ha definido 8 segundos para cada prueba.

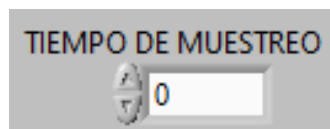


Figura 2. 17. Tiempo de muestreo

El tiempo se refiere a la cantidad de segundos en los que los sensores dejan de registrar datos después de cada prueba, en la cual se ha tomado 4 segundos de diferencia entre pruebas como se observa en la figura 2.18.

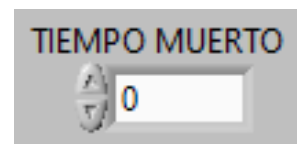


Figura 2. 18. Tiempo muerto

El botón marcha permite tomar datos con los sensores si su luz se encuentra encendida figura 2.19, el botón de "Estado" indica cuando el programa se encuentra tomando datos "luz encendida" y en tiempo muerto su luz se encuentra apagada.

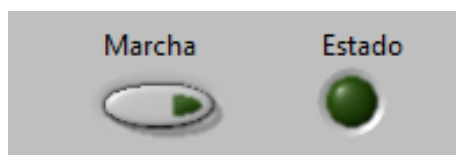


Figura 2. 19. Indicadores de toma de datos.

Para seleccionar la carpeta en donde se guardarán los datos de las pruebas se debe elegir desde el icono en la parte derecha, esto se realiza para cada uno de los sensores individualmente, como se puede ver en la figura 2.20.

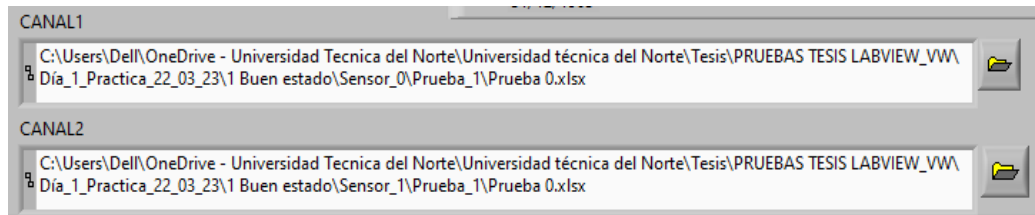


Figura 2. 20. Archivar datos.

En la figura 2.21, se muestra la gráfica de las vibraciones de los dos sensores.

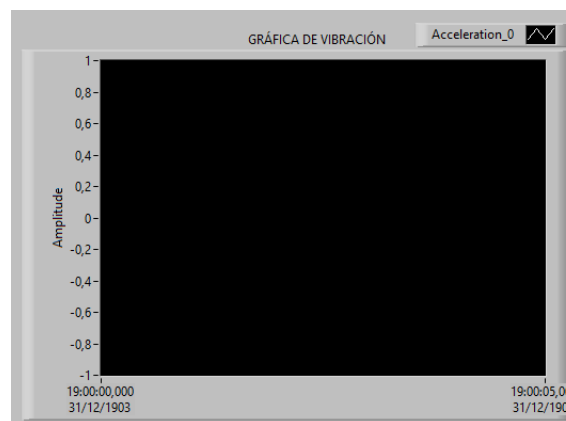


Figura 2. 21. Gráfica de aceleración de los sensores.

En la figura 2.22 se muestra la transformada de Fourier de los dos sensores:

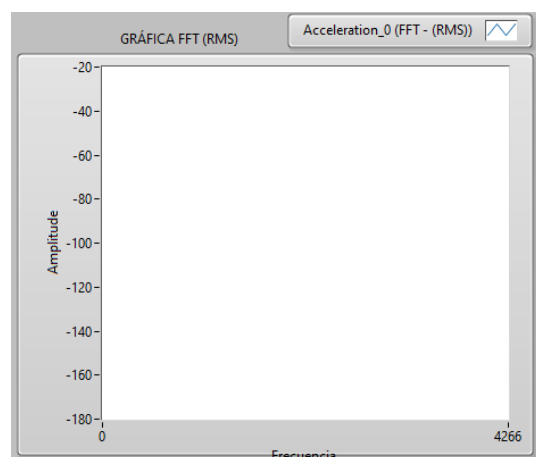


Figura 2. 22. Gráfica de la transformada de Fourier

2.2.5. Zona de medición de vibraciones

Se determino que las zonas en donde se realizarían las mediciones serían en el bloque del motor ubicando el sensor con el canal 0 y en la parte superior del motor, es decir en la tapa válvula se ubicó el sensor con el canal 1 considerando que en estos puntos son de fácil acceso con una zona plana para poder fijar los sensores, así como los lugares donde se producen más vibraciones.

Tabla 2. 6. Ubicación de sensores

Sensor	Canal en LabVIEW	Ubicación
Sensor 0	Canal 0	Bloque motor
Sensor 1	Canal 1	Tapa válvula

2.2.5.1. Bloque del motor

Considerando que el bloque del motor es el elemento en el cual se encuentran los cilindros en donde sucede la explosión ya que es el punto óptimo para la toma de datos, aquí es donde irá conectado en posición horizontal el sensor con el canal 0, como se muestra en la figura 2.23.

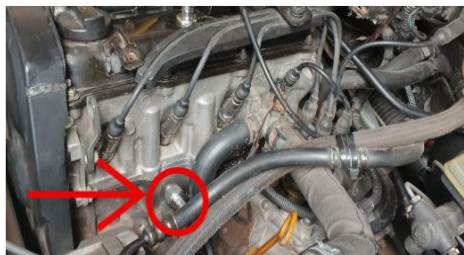


Figura 2. 23. Posición del sensor en el Block

2.2.5.2. Tapa válvulas

El otro sensor se coloca en un soporte que tiene el motor en la parte superior, es decir en la tapa válvulas teniendo en cuenta que esté colocado en un punto referente al otro sensor que se encuentra colocado en el bloque como se muestra en la figura 2.24. Este sensor irá conectado al canal.

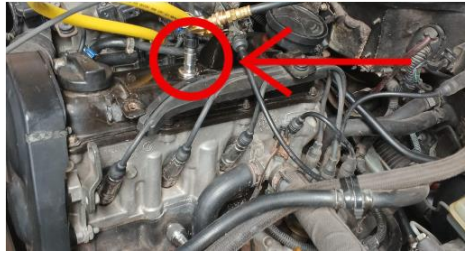


Figura 2. 24. Posición del sensor en el Block

2.2.6. Procedimiento de medición

Para obtener los datos se coloca los sensores en los puntos donde se puede presentar una falla, se sabe que las fallas provocadas en el motor se relacionan directamente con la explosión de la mezcla, se coloca en los puntos más cercanos a donde sucede esto.

Las mediciones se realizan con el automóvil estacionado para evitar obtener datos que puedan contaminar las señales que el sensor vaya a obtener. También al generar una falla tener un entorno más controlado.

Al momento de iniciar tanto las pruebas en buen como mal estado se debe tener en cuenta los factores climáticos y la latitud a la que se realizan las pruebas, así como tener el tanque lleno e intentar obtener el combustible de la misma gasolinera.

Los parámetros y proceso para obtener los datos en el vehículo son los datos detallados en la figura 2.11, este proceso debe seguirse a cada momento de cambiar los elementos para los cuales se realiza la simulación de falla.

Los sensores que se va a utilizar para la medición son, los sensores piezoeléctricos 603C01 estos poseen imanes que permiten la sujeción en superficies sin que se desprendan de estas.

El orden que se debe seguir para obtener correctamente los datos:

1. Obtención del vehículo o motor en donde se va a realizar las mediciones.
2. Realizar una inspección para determinar si cumple con los requerimientos y tiene los componentes necesarios para la simulación.
3. Colocar el vehículo en un lugar abierto para evitar la acumulación de gases de combustión en el proceso de medición.

4. Poner sobre una mesa los equipos como computador y tarjeta de adquisición y cerca del vehículo.
5. Proceder a conectar los cables a los sensores.
6. El otro extremo del cable debe ir conectado a la tarjeta de adquisición.
7. Con el capo del vehículo abierto colocar los sensores en los lugares determinados.
8. Los sensores se adhieren mediante imanes a la parte del vehículo en donde se coloca.
9. Los cables de los sensores deben estar sujetos y fijos para evitar contaminación en los datos obtenidos.
10. Cerciorarse de que el vehículo tenga el tanque de combustible lleno y la gasolina debe ser siempre de las mismas características.
11. Encender el vehículo y espera a que llegue a temperatura de funcionamiento.
12. Encender el computador y abrir el programa de mediciones de vibraciones.
13. Establecer los parámetros de medición que se requieren en la interfaz del programa.
14. Seleccionar la carpeta en donde se guardan los datos.
15. Proceder con la toma de datos de buen estado.

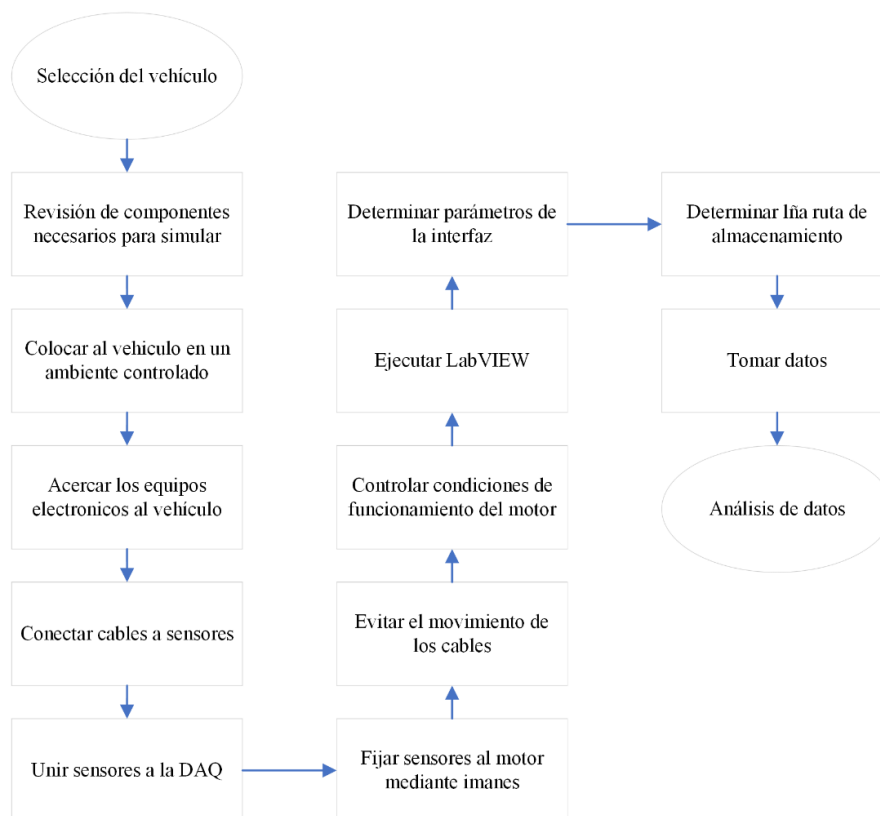


Figura 2. 25. Flujograma procedimiento

2.2.7. Pruebas en buen estado

Para la toma de datos en buen estado en el vehículo, no es necesario hacer modificaciones en el vehículo, para ello solamente se debe revisar que todo funcione correctamente antes de iniciar la toma de datos, tener en cuenta que el motor este en la temperatura optima de funcionamiento, con el tanque de combustible lleno y en un ambiente controlado.

2.2.8. Pruebas en mal estado

Para la medición de vibraciones en mal estado se debe reemplazar el componente en buen funcionamiento por el que se encuentra manipulado para simular una falla en el motor, para ello se debe esperar que el vehículo haya disminuido su temperatura después de las mediciones en buen estado. Una vez sustituido al componente con falla se debe volver a revisar que el motor vuelva a la temperatura óptima de funcionamiento para realizar la toma de datos.

CAPÍTULO III

3 RESULTADOS

Los datos obtenidos serán diferentes de los dos sensores ya que están ubicados en distintos lugares del motor. Una vez tomado en cuenta una prueba al azar se procede a graficar una parte de los datos obtenidos.

3.1. Análisis de datos en el sensor 0

3.1.1. Buen estado

En la figura 3.1 indica la medición obtenida por el sensor 0 el cual estaba ubicado a un costado del block del motor en donde se puede observar que la amplitud varía entre 0.5V y -0.4V.

Para asumir que un ciclo de funcionamiento del motor se tomará en cuenta una cantidad menor de datos, en la siguiente figura se puede observar de manera más detallada los ciclos en donde se podría decir que, el ciclo empieza desde el punto (141,-0.3) y termina en el punto (496, -0.29).

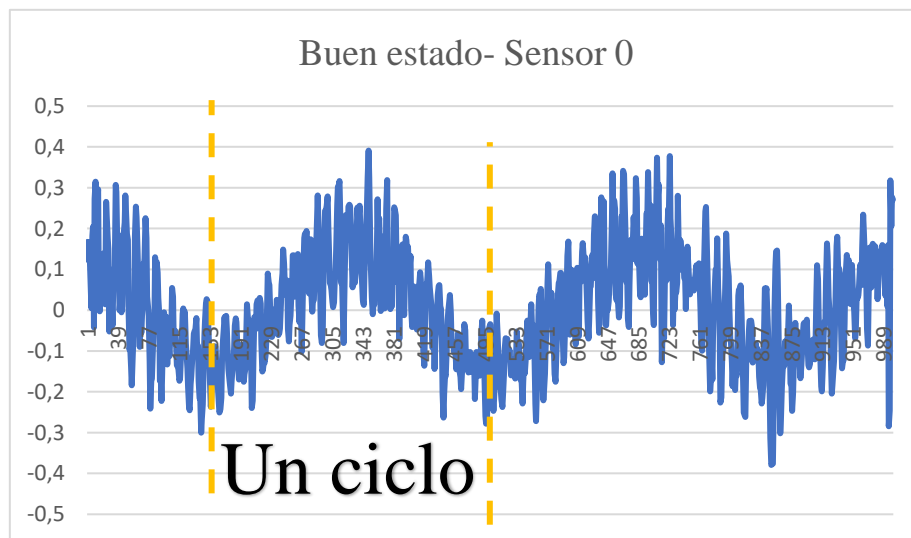


Figura 3. 1. Sensor 0_Buen estado, Ciclo.

Mediante el análisis en Matlab de las vibraciones obtenidas en el sensor 0 se puede evidenciar la amplitud y frecuencia que producen las pruebas en buen estado en la figura 3.2, teniendo como límites en frecuencia de 20.01 hasta 23.5 hercios y con una amplitud de 37.01 hasta 39.8, como se observa en la tabla 3.1, se analizó un total de 20 pruebas al azar para determinar el rango en el que se encuentra funcionando el motor en buen estado.

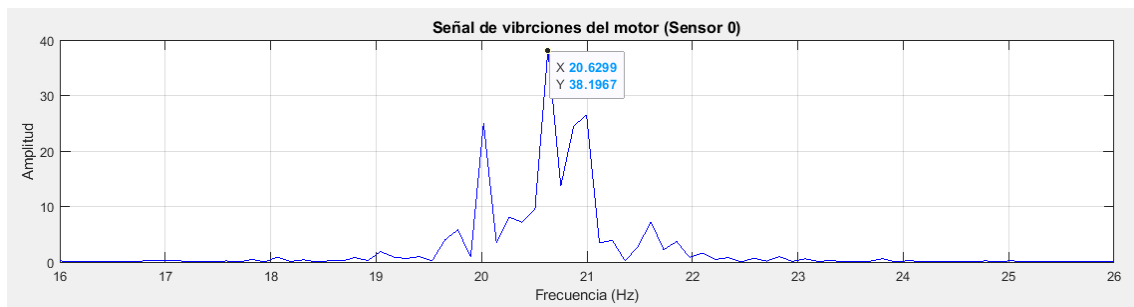


Figura 3. 2. Señal sensor 0_Buen estado

Tabla 3. 1. Buen estado sensor 0

Buen estado		
N° Armónico	Frecuencia	Amplitud
1	20,01 - 23,5	37,01 - 39,8

2.2.10. Pruebas en mal estado

2.2.10.1. Falla en bujías

En la figura 3.3 se puede observar que la amplitud general de las vibraciones se ha reducido en comparación a la figura 3.1, entonces se puede decir que la combustión es más débil y esto genera vibraciones más reducidas.

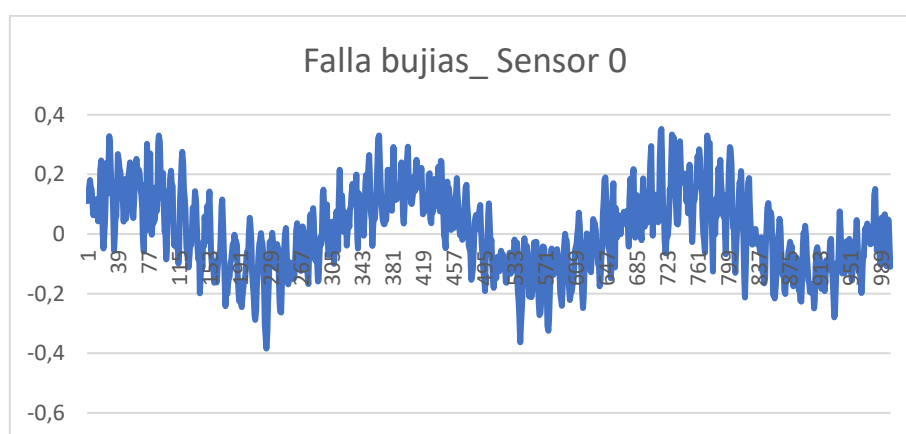


Figura 3. 3. Vibraciones bujías_ Sensor 0

En la figura 3.4 de falla de bujía se puede visualizar que el armónico se ha recorrido hacia la derecha en el eje de la frecuencia mientras que en la amplitud se ha elevado en

comparación a las gráficas generadas en buen estado como se puede ver en la figura 3.2, por lo que se puede verificar que el motor se encuentra en mal funcionamiento, estando en el límite de la frecuencia en donde se desarrolla las vibraciones de buen estado y sobrepasando la amplitud generada en las vibraciones de buen estado, comprobando que se debe sustituir bujías o verificar que se encuentren bien calibradas.

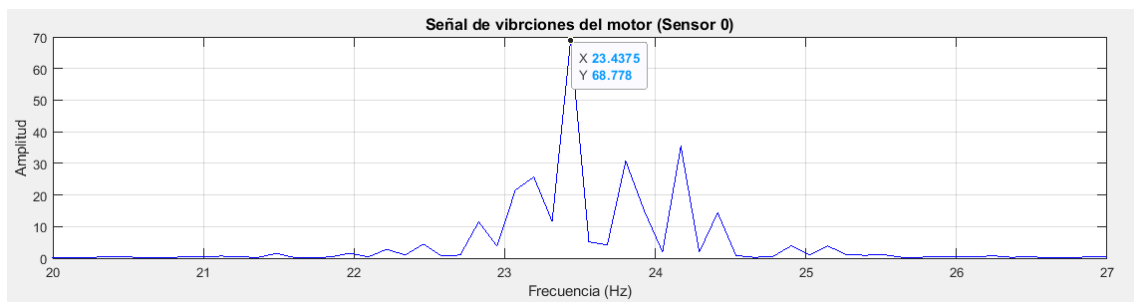


Figura 3. 4. Señal falla bujía_ Sensor 0

En la tabla 3.2 se puede evidenciar que la frecuencia está oscilando entre 20,9 Hz y 23,8 Hz mientras que la amplitud varía entre 67,08 y 71,9; notándose que se ha elevado la amplitud considerablemente a diferencia de los datos obtenidos en buen estado que se ven en la tabla 3.1.

Tabla 3. 2. Falla Bujías sensor 0

Falla bujía		
N° Armónico	Frecuencia	Amplitud
1	20,9 – 23,8	67,08 – 71,9

2.2.10.2. Falla en la bomba de combustible

Con la falla en la bomba de combustible se puede notar que la amplitud de vibraciones es más alta en el ciclo de trabajo, pero con la diferencia de que ha generado menor número de vibraciones en ese punto del motor, esto puede ser porque la explosión de la mezcla aire- combustible es más débil ya que la bujía hace más esfuerzo para generar la chispa.

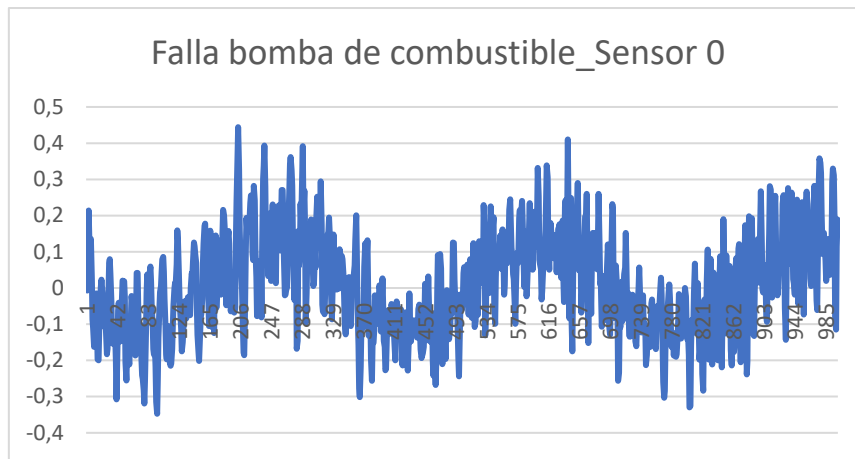


Figura 3. 5. Falla bomba de combustible_ Sensor 0

La amplitud generada en el sensor 0 por la falla de la bomba de combustible es ligeramente menor al límite mínimo de la amplitud en buen estado, y muy inferior a la amplitud de la falla de bujías, comprobando que no es falla de bujía, por otro lado, también se puede evidenciar en la figura 3.6 que se ha recorrido hacia la izquierda la frecuencia, es decir no llega al límite mínimo de funcionamiento de la misma, notándose así que se debe optar por reemplazar la bomba de combustible ya que en algún momento dejara de funcionar totalmente.

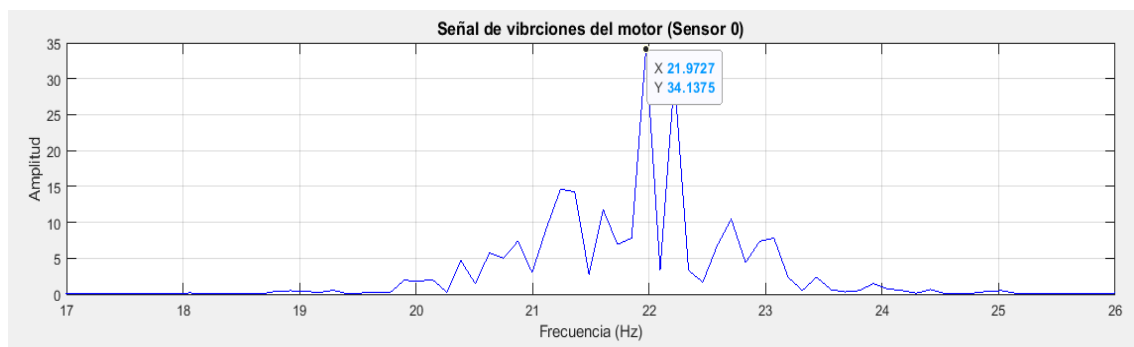


Figura 3. 6. Señal falla bomba de combustible_ Sensor 0

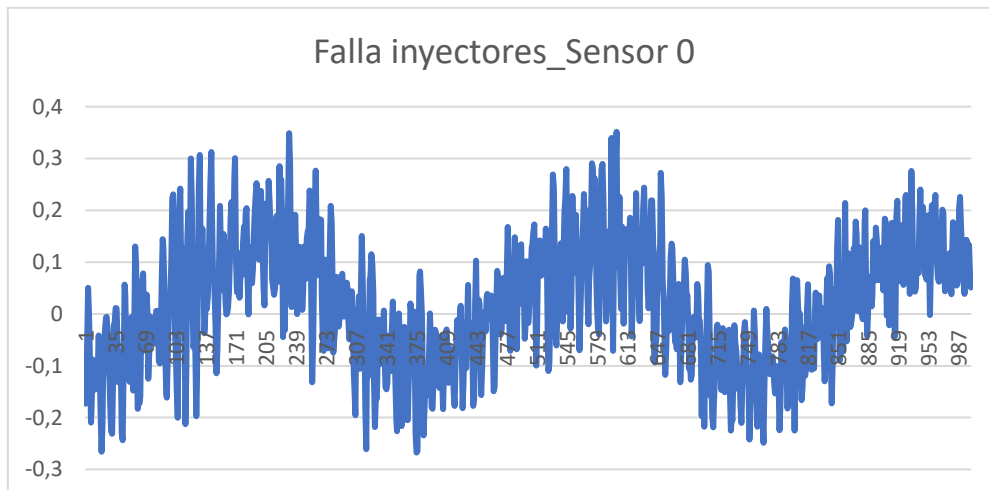
En la tabla 3.3 se especifica el rango en el que se desarrollan las vibraciones, es decir, especificando la amplitud y frecuencia en donde el armónico genera su pico más alto, y se verifica que la amplitud disminuyó en comparación a la amplitud de buen estado.

Tabla 3. 3. Falla bomba de combustible sensor 0

Bomba de combustible		
N° Armónico	Frecuencia	Amplitud
1	19,1 – 22,8	33,6 – 36,6

2.2.10.3. Falla en inyectores

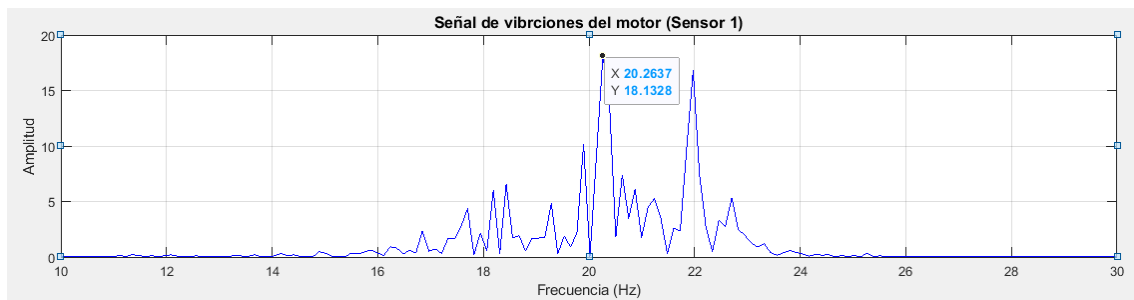
Las vibraciones obtenidas en el sensor 0, demuestran una variación de amplitud en general en la mayoría de las vibraciones generándose muchas vibraciones como se muestra en la figura 3.7 con una amplitud mayor a las generadas en la gráfica de buen estado.

**Figura 3. 7.** Falla inyectores sensor 0

En la figura 3.8 se demuestra que la gráfica generada para la falla en inyectores del sensor 0 trabaja con amplitud menor en donde no llega al límite mínimo en comparación a la gráfica de buen estado de la figura 3.2, por otro lado, en la frecuencia no se tiene cambios notables y se podría decir que ese es el distintivo de falla de inyectores, en este caso se puede optar por una revisión, lavado o cambios de inyectores.

Tabla 3. 4. Rango de funcionamiento del motor según el sensor 0

Rango de funcionamiento del motor según su falla en el sensor 0								
	Buen estado		Falla bujía		Falla Bomba de combustible		Falla inyectores	
N° Armónico	Frecuencia	Amplitud	Frecuencia	Amplitud	Frecuencia	Amplitud	Frecuencia	Amplitud
1	20,01-23,5	37,01 - 39,8	20,9 - 23,8	67,08 - 71,09	19,1 - 22,08	33,6 - 36,6	19,2 - 19,4	18,1 - 21,2

**Figura 3. 8.** Señal Falla inyectores sensor 0

El rango de funcionamiento tanto en frecuencia como amplitud que en el que se genera el armónico de la falla en inyectores se encuentra en el rango de 19.2 Hz hasta 23.4 Hz y con su amplitud de 18.1 hasta 21.2, tal como se muestra en la tabla 3.4.

Tabla 3. 5. Buen falla inyectores sensor 0

Falla inyectores		
N° Armónico	Frecuencia	Amplitud
1	19,2 – 23,4	18,1 – 21,2

2.3. Análisis de datos sensor 1

2.3.1. Buen estado

Se observa que en la figura 3.9 existe una diferencia de amplitud que varía entre 0.7 V - 0.7 V tomando en cuenta que, el sensor del canal 1 está ubicado en la parte superior de la tapa válvulas del motor.

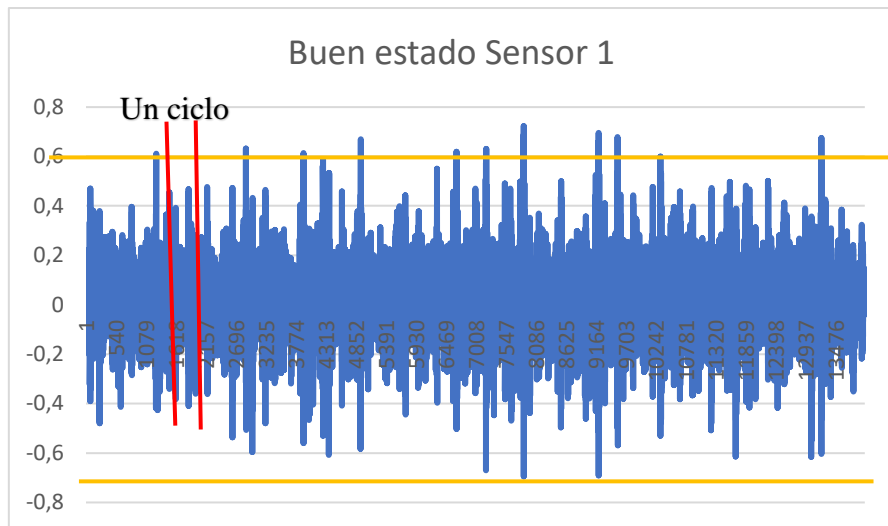


Figura 3. 9. Sensor 1_ Buen estado

La gráfica generada mediante Matlab para el sensor 1 con las pruebas en buen estado muestra 3 armónicos para los cuales se analiza pruebas al azar para poder determinar las amplitudes y frecuencias a las que trabaja el motor como se puede observar en la figura 3.10 teniendo como base 20 pruebas.

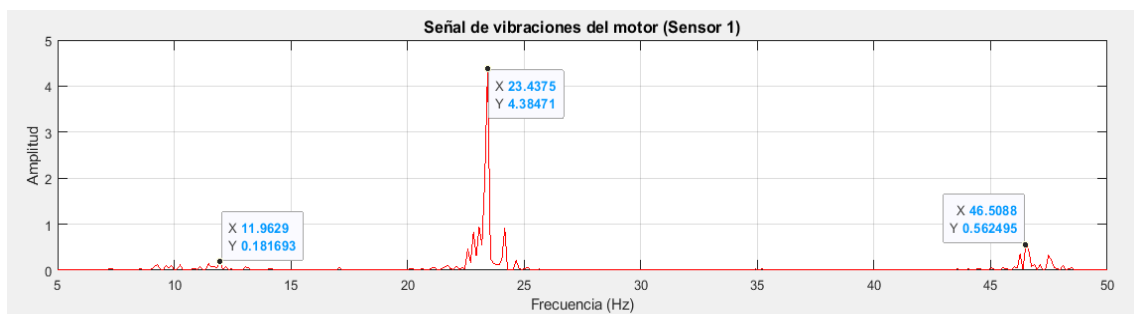


Figura 3. 10. Señal sensor 1_Buen estado

Por otro lado, se ha obtenido rangos en las gráficas en buen estado en el sensor 1 para cada armónico que se ha tomado en cuenta para el análisis de esta, se detalla los rangos de frecuencia y amplitud en la tabla 3.5.

Tabla 3. 6. Buen estado Sensor 1

Buen estado		
Nº Armónico	Frecuencia	Amplitud
1	10,64 - 12,69	0,13 - 0,8
2	22,09 - 24,04	4,02 - 5,17
3	44,06 - 47,48	0,31 - 0,95

3.2.2. Pruebas en mal estado

3.2.2.1. Falla bujías sensor 1

En la simulación de falla de bujías del sensor 1 se ha toma 2000 datos al azar en donde se evidencia que las vibraciones aumentan teniendo un número significativo de irregulares de picos altos como se observa en la figura 3.12, a diferencia de las gráficas generadas en el sensor_1 de las pruebas en buen estado que se evidencia en la figura 3.9.

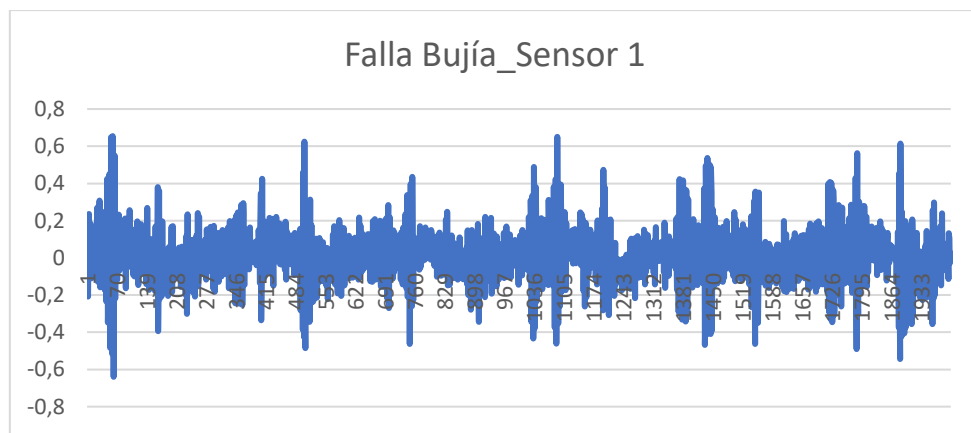


Figura 3. 11. Falla bujía_Sensor 1

En las pruebas con falla de bujías la amplitud se reduce en el armónico 2 mientras que los armónicos 1 y 2 se mantienen los límites en amplitud, pero se desplazan ligeramente a la derecha en la frecuencia sobrepasando el límite máximo como se en la figura 3.13 en comparación a la figura de buen estado 3.10, es decir, se debería revisar el estado de las bujías para según corresponda cambiar, recalibrar o limpiar las bujías.

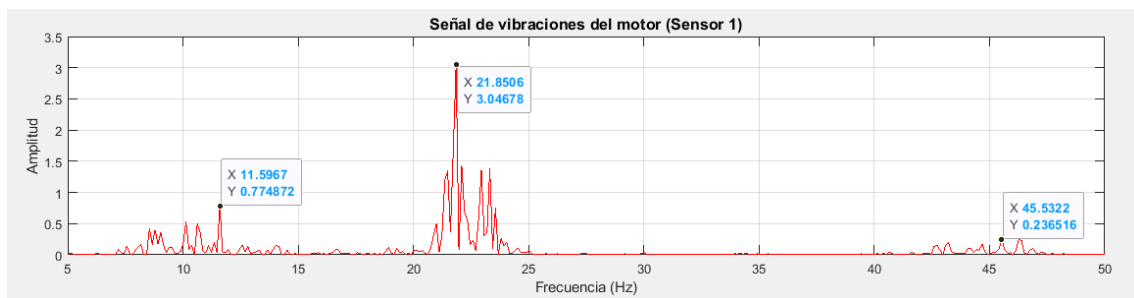


Figura 3. 12. Señal falla bujía_Sensor 1

Para la falla en bujías, en la tabla 3.6 se puede ver los rangos en los que varía la frecuencia y la reducción de la amplitud en el armónico 2 en comparación a los armónicos generados en buen estado.

Tabla 3. 7. Falla bujías Sensor 1

Falla bujía		
N° Armónico	Frecuencia	Amplitud
1	10,3 – 11,96	0,2 – 1,3
2	20,7 – 23,92	2,43 – 3,72
3	43,21 – 47,72	0,23 – 1,35

3.2.2.2. Falla bomba de combustible sensor 1

Por otro lado, en el sensor 1 ubicado en la tapa válvulas logra captar vibraciones más estables, es decir la amplitud no varía tanto en relación con otras fallas generadas, pero se obtiene mayor frecuencia de vibraciones, es decir, genera mayor ruido.

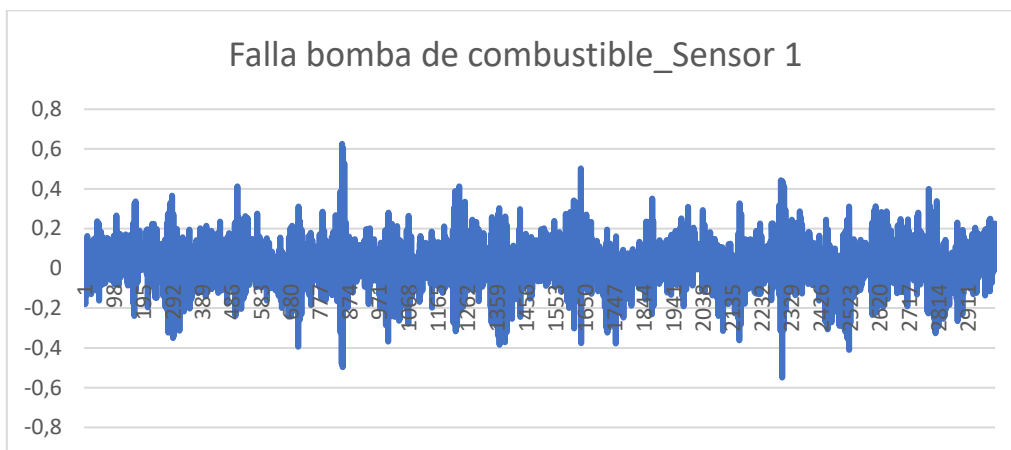


Figura 3. 13. Falla bomba de combustible_ Sensor 1

Según la figura 3.15 se logra observar la falla de la bomba de combustible donde los tres armónicos tomados en cuenta, su frecuencia ha disminuido levemente sin llegar al límite mínimo y su amplitud ha aumentado en comparación las pruebas en buen estado que se puede verificar en la figura 3.10, es decir sobrepasa el límite máximo, también diferenciando de las pruebas de fallas en bujías, por lo que se debería revisar la bomba para sustituirla.

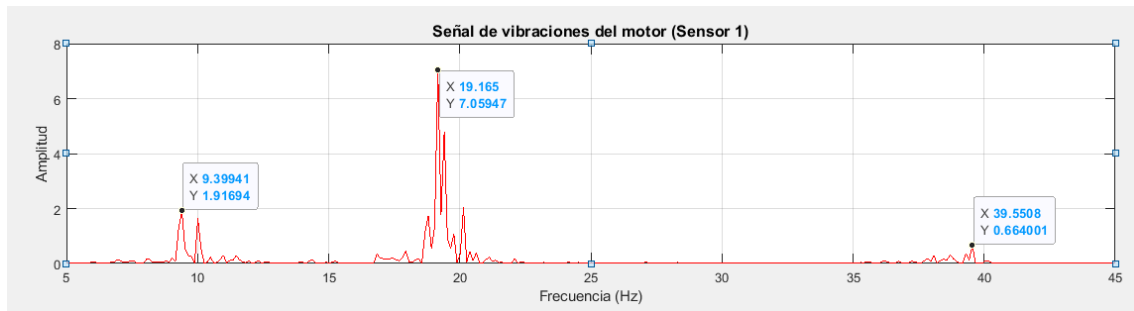


Figura 3. 14. Señal Falla bomba de combustible_ Sensor 1

La tabla 3.7 especifica los rangos de frecuencia y amplitud de las vibraciones obtenidas, en donde se puede observar que la frecuencia en el armónico 3 no es tan estable, teniendo un rango mínimo y máximo muy alejados en comparación a los otros armónicos y a la tabla 3.5 de buen estado.

Tabla 3. 8. Falla bomba de combustible sensor 1

Bomba de combustible		
Nº Armónico	Frecuencia	Amplitud
1	9,15 – 11,47	0,4 – 1,56
2	19 – 22,58	5,3 – 6,2
3	38,33 – 45,28	0,3 – 0,9

3.2.2.3. Falla inyectores

En el sensor 1 se encontraron vibraciones que, a diferencia de buen estado, estas no tienen muchos picos altos, esto se debería a que la dosificación de la mezcla y el trabajo que realiza el motor no está siendo el adecuado.

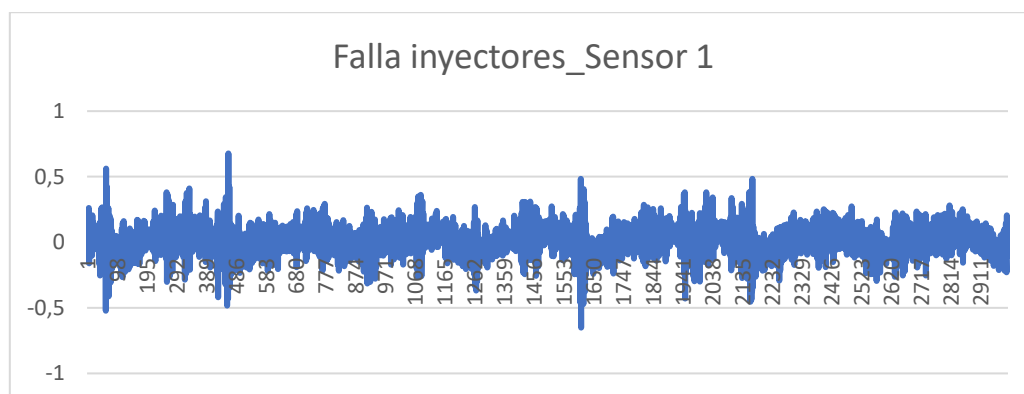


Figura 3. 15. Falla inyectores sensor 1

Observando la figura 3.17, se puede notar que la frecuencia se encuentra cerca del límite máximo lo cual también se puede corroborar con los datos obtenidos en el sensor 0 donde la frecuencia también se encuentra cerca de los límites, mientras que su amplitud en el armónico 2 su amplitud excede el límite máximo de los datos en buen estado. Por tanto, es necesario revisar los inyectores por si se debe lavar, o cambiar.

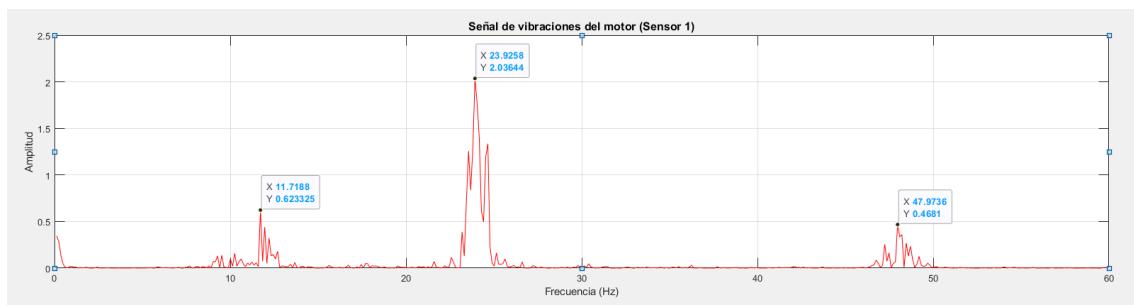


Figura 3. 16. Señal falla inyectores sensor 1

La tabla 3.8 muestra el rango de funcionamiento de cada armónico que se genera en el sensor 1 en donde se puede observar un cambio en el segundo armónico el cual varía siendo este menor que el segundo armónico generado en la tabla 3.5 de buen estado.

Tabla 3. 9. Falla inyectores sensor 1

Falla inyectores		
N° Armónico	Frecuencia	Amplitud
1	10 - 12,32	0,31 - 1,3
2	21,4 - 23,9	0,4 - 2,34
3	44,01 - 47,9	0,2 - 0,7

Por otro lado, en la tabla 3.9 se detalla los máximos de funcionamiento tanto en buen estado y mal estado del motor, en donde la frecuencia y la amplitud se refleja según el funcionamiento en el que se encuentra el motor, los datos siguientes son los obtenidos con el sensor 0 el cual está ubicado en el costado del block del motor.

También se puede observar en la tabla 3.10 el resumen de los datos obtenidos en el sensor 1 el mismo que está ubicado en la tapa válvulas, de esta manera se puede comparar la diferencia de rangos que se da en los diferentes armónicos del funcionamiento del motor, sea en buen estado o en mal estado.

Tabla 3. 10. Funcionamiento del motor según su falla en el sensor 1

Rango de funcionamiento del motor según su falla en el sensor 1					
	N° Armónico	Buen estado	Falla bujía	Falla bomba de combustible	Falla inyectores
Frecuencia	1	10,64 - 12,69	10,3 - 11,96	9,15 - 11,47	10 - 12,32
	2	22,09 - 24,04	20,7 - 23,92	19 - 22,58	21,4 - 23,9
	3	44,06 - 47,48	43,21 - 47,72	38,33 - 45,28	44,01 - 47,9
Amplitud	1	0,13 - 0,8	0,2 - 1,3	0,4 - 1,56	0,31 - 1,3
	2	4,02 - 5,17	2,04 - 3,72	5,3 - 6,2	0,4 - 2,34
	3	0,31 - 0,95	0,23 - 1,35	0,3 - 0,9	0,2 - 0,7

CAPÍTULO IV

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

- Se ha determinado que la posición óptima de los sensores es; el sensor denominado como (sensor 0) se ubicará horizontalmente en el bloque de motor al recto del tercer cilindro cerca de la región en donde se produce la combustión por tanto la parte donde generará la mayor cantidad de vibraciones; un sensor en la parte superior del motor o tapa válvulas, ya que el sensor logrará captar las vibraciones producidas por el movimiento de válvulas el cual se denomina (Sensor 1).
- Tras el análisis de los resultados obtenidos se puede deducir que en el sensor cero (0), cuando el motor se encuentra en buen estado con una calibración en la bujía de 1 mm el rango de la frecuencia es de 20.01 Hz a 23.5 Hz, por otro lado si existe una falla en la bujía con una calibración de 1.6 mm entre electrodos la frecuencia a la que el motor se desempeña es de 20.9 Hz a 23.8 Hz, presentando un cambio en la frecuencia donde se genera el armónico y notándose una leve disminución de su rango entre mínimo y máximo; también se toma en cuenta que el rango de la amplitud de la falla en bujía se desarrolla entre 67.08 a 71.9, en donde se aumenta considerablemente en comparación a buen estado que varía entre 37.01 a 39.8, también se pudo notar que el funcionamiento del motor en buen estado y falla de bujía fue normal a simple vista.
- Mediante los datos obtenidos de la falla de la bomba de combustible del sensor cero (0), funcionando con una falla en donde la presión es de 2.5 bares su frecuencia varía entre 19.1 Hz a 22.8 Hz, es decir disminuye en comparación a buen estado que funciona a 3 bares y su frecuencia oscila entre 20.01 Hz a 23.5 Hz, y la amplitud de la falla se presenta entre 33.6 a 36.6; a diferencia de la amplitud en buen estado que se encuentra de 37.01 a 39.8, siendo la amplitud de la falla menor que la generada en buen estado. Se puede concluir que se debe a la falta de presión en el riel, inyectando menor cantidad al cilindro afectando su

combustión, a simple vista el motor se ve afectado con cascabeleo, lo que no presenta cuando el motor se encuentra funcionando en buen estado.

- Al medir las vibraciones en el sensor cero (0) del motor efectuando una falla en inyectores generada por taponamiento se obtiene datos en donde la frecuencia se encuentra en un rango de 19.2 Hz a 23.4 Hz, se podrá notar una disminución en comparación a los datos obtenidos en buen estado que varían entre 20.01 Hz a 23.5 Hz, mientras que la amplitud en la falla disminuye desde el rango en buen estado de 37.01 a 39.8, hasta 18.1 a 21.2, en donde se puede concluir que al encontrarse los inyectores con impurezas la cantidad de combustible dosificado disminuye por tanto la combustión se ve afectada. Cuando el motor se encuentra en condiciones de falla en inyectores no se logra observar ni escuchar algún problema de funcionamiento en comparación al trabajo del motor en buen estado.
- Al analizar los datos de las vibraciones obtenidas por el sensor uno (1) genera tres armónicos, para los cuales el primero se lo toma como el accionamiento de la válvula de admisión, el segundo armónico es donde se genera la explosión encontrándose dentro del rango de frecuencia en donde se genera el armónico en el sensor cero (0), mientras que el tercero es el accionamiento de la válvula de escape.
- Para el análisis de los datos obtenidos para el sensor uno (1), con falla en bujías se toma en cuenta únicamente el segundo armónico puesto que el armónico uno y tres no presentan variación de vibraciones, por lo tanto se logra diferenciar una frecuencia de 20.7 a 23.92 Hz y en buen estado de 22.09 a 24.04 Hz encontrándose una disminución de la frecuencia cuando el motor se encuentra trabajando con esta falla, mientras que la amplitud producida por las vibraciones en la falla de bujías es 2.43 a 3.72, siendo esta ligeramente inferior a la amplitud generada en buen estado de 4.02 a 5.17, siendo esta la característica que diferencia a las otras fallas en el sensor (1).
- El rango de la frecuencia para el sensor (1), en donde el segundo armónico se desarrolla en la falla de la bomba de combustible se encuentra entre 19 Hz a 22.58

Hz y en buen estado está en 22.09 Hz a 24.04 Hz dando un aumento considerable rangos, la amplitud por otro lado, en la falla de bomba de combustible se encuentra dentro del rango 5.3 a 6.2, comparado con el rango de funcionamiento de buen estado; 4.02 a 5.17, presenta un cambio notable donde su amplitud se ve afectada aumentando en la falla de bomba de combustible, esto se presenta en forma de cabeceo en el motor.

- Tras el análisis de los resultados obtenidos en el sensor (1), para la falla de inyectores la frecuencia en el segundo armónico se encuentra en 21.4 Hz a 23.9 Hz, a diferencia de buen estado; 22.09 Hz a 24.04 Hz presentándose una disminución en la frecuencia producida por la falla en inyectores respecto a la de buen estado. Para su amplitud se toma en cuenta el armónico dos, el cual para la falla en inyectores se genera en; 0.4 a 2.34; siendo inferior respecto a la amplitud producida por el motor en buen estado la cual se encuentra dentro del rango, 4.02 a 5.17.
- En base a los resultados obtenidos se puede decir que la variación de la frecuencia en el sensor cero (0) respecto a los datos en buen estado, la falla de bujías varía 2.74%, mientras que la falla de la bomba de combustible disminuye en 3.70% y la falla en inyectores disminuye en 2.09%. Por otro lado, la amplitud respecto a los datos obtenidos en buen estado, la falla de bujías varía un 80.94%, la falla en bomba de combustible es 8.61% menor respecto a buen estado y por último la falla en inyectores varía 48.83% por debajo del límite de buen estado. Por otro lado, en el sensor (1) los cambios producidos en la frecuencia para la falla de bujías respecto a buen estado dan una variación de 3.27% siendo inferior, en la bomba de combustible es menor en un 9.78% y para la falla en inyectores se presenta una disminución del 1.80%. Analizando la diferencia que se produce en la amplitud para el segundo armónico, respecto a buen estado, al generarse una falla en bujías se presenta una disminución del 33.08 %, en otro caso como la falla en la bomba de combustible su diferencia es del 24.81% y en la falla de inyectores varía por 70.51% por debajo del límite de buen estado.

4.2. Recomendaciones

- Antes de realizar la medición de vibraciones se debe analizar el lugar donde se va a ubicar los sensores de vibraciones (acelerómetro) tomando en cuenta el lugar en donde se estima que se generan la mayor cantidad de vibraciones, en el caso de disponer de un solo sensor se debe analizar el lugar más cercano a la cámara de combustión, que es en donde se genera la mayor cantidad de vibraciones en el motor, por otro lado al disponer de dos sensores, el segundo sensor se lo debe ubicar en el tapa válvulas ya que dentro de la misma se encuentra en movimiento; balancines, válvulas, árbol de levas.
- Es necesario establecer las condiciones de funcionamiento del motor; revoluciones por minuto del motor (RPM), temperatura de funcionamiento y, nivel de combustible, en donde todas esas condiciones sean las mismas para la obtención de datos, por otro lado, también se debe tratar de tener un ambiente controlado en donde se va a manipular los equipos para evitar la contaminación de las señales captadas por los sensores.
- Al momento de procesar los datos obtenidos mediante el software (Matlab), se debe tener en cuenta el número de armónicos generados por cada sensor, ya que esto dependerá de la ubicación de estos, es por eso que se debe reconocer la causa por la cual se genera cada armónico en tal sentido que ayudará al análisis de vibraciones.
- Para el análisis de las vibraciones se debe tomar en cuenta el rango de funcionamiento del motor en buen estado, lo cual permitirá comparar los datos generados para cada una de las fallas, lo cual permitirá un diagnóstico más acertado ya que se puede reconocer las características que posee cada una.

4.3. Trabajos futuros

El análisis de vibraciones es un campo en desarrollo para el cual existen diferentes líneas de investigación posibles para seguir trabajando con nuevos proyectos, los siguientes son trabajos futuros que han surgido en el proceso de desarrollo de este trabajo de investigación:

- El implementar este proceso en un vehículo de concesionario para luego almacenar los datos y ser comparados con otro vehículo que presenten el mismo tipo de motor y características similares puede ser un área de investigación que beneficiaría a la detección de fallas teniendo como referencia un vehículo que no haya presentado ninguna imperfección.
- La medición de vibraciones con un vehículo en un determinado rango de RPM ya sea un banco de motor, así como también en un dinamómetro en donde se pueda tener un cierto nivel de control de las condiciones de funcionamiento.

Bibliografía

- Abad Padilla-Padilla, C. I., Fernando Buenaño-Moyano, L. I., Alejandro Cuaical-Angulo III, B., & Armando Tacle-Humanante, D. I. (2021). Análisis del torque y potencia de un motor de combustión interna con mezcla de etanol-gasolina en diferentes concentraciones y la influencia en el sistema de inyección. *Dominio de Las Ciencias*, 7(3), 1482–1499. <https://doi.org/10.23857/DC.V7I3.2070>
- Alfonso, M. (2022, May 1). *Volkswagen Gol 1.8 MT (99 cv) Hatchback 5-puertas (2000-2005). Ficha Técnica*. Guanterera.
- Alonso - Miñón Delgado, F. (2021). *Estudio y análisis de desequilibrios en máquinas industriales como medida de mantenimiento preventivo* [UNIVERSIDAD DE VALLADOLID]. <https://uvadoc.uva.es/handle/10324/48997>
- Arévalo Nugra, J. A., Arpi Méndez, M. N., Cárdenas Cárdenas, E. X., & Ortega García, Á. A. (2020). Diagnóstico del sistema de alimentación de combustible de un vehículo de inyección a gasolina. *JUVENTUD Y CIENCIA SOLIDARIA: En El Camino de La Investigación*.
- Bravo Enrique, N. W., Guevara Prado, B. E., & Requelme Bravo, F. L. (2020). FUNCIONAMIENTO DE LA BUJÍA. In *UNIDAD EDUCATIVA CIUDAD PORTOVIEJO*. UNIDAD EDUCATIVA CIUDAD DE PORTOVIEJO.
- Cabrera Erazo, M. F. (2019). Utilidad de un pistón estandar y un forjado en un Chevrolet Aveo 1.4 cc. 2008. *Polo Del Conocimiento*, 4(12), 67–86. <https://polodelconocimiento.com/ojs/index.php/es/article/view/1193>
- Calleja Gonzales, D. (2018). *Motores* (A. Cerviño Gonzales & P. Paz Otero, Eds.; 2nd ed.). Parainfo. <https://books.google.com.ec/books?id=HxJMDwAAQBAJ&lpg=PR1&ots=IOSi7J0wyb&dq=cilindro>
- Camacho Caloma, C. D., & Chancusi Pilataxi, D. W. (2021). CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA. In *ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL*.
- Ciro Palena, M. (2015). *UNIDAD DE CONTROL ELECTRÓNICO PARA MOTORES DE BAJA CILINDRADA* [Universidad Nacional de Mar del Plata]. <http://rinfi.fi.mdp.edu.ar/bitstream/handle/123456789/341/MCPalena-TFG-IEe-2015.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Connor, N. (2020). Qué es la teoría del ciclo de Otto - Motor de gasolina - Definición. In *Thermal Engineering*. <https://www.thermal-engineering.org/es/que-es-la-teoria-del-ciclo-de-otto-motor-de-gasolina-definicion/>
- Denton, T. (2016). *Sistemas eléctrico y electrónico del automóvil.: Tecnología automotriz* (Alfaomega grupo, Ed.; Cuarta). NARCOMBO. <https://books.google.com.ec/books?id=kExOEAAAQBAJ&pg=PA342&dq=fallas+comunes+del+sistema+de+encendido+motor&hl=es-419&sa=X&ved=2ahUKEwjLxsr2jrn1AhUGRDABHWLRAQwQ6AF6BAgHEAI#v=onepage&q=fallas+comunes+del+sistema+de+encendido+motor&f=false>

- Domínguez Soriano, E. J., & Ferrer Ruiz, J. (2019). *Mecánica del vehículo*. EDITEX.
[https://books.google.com.ec/books?id=q42XDwAAQBAJ&lpg=PA21&dq=orden de encendido en motor gasolina&pg=PA21#v=onepage&q=orden de encendido en motor gasolina&f=false](https://books.google.com.ec/books?id=q42XDwAAQBAJ&lpg=PA21&dq=orden+de+encendido+en+motor+gasolina&pg=PA21#v=onepage&q=orden+de+encendido+en+motor+gasolina&f=false)
- Ekon. (2021). *Mantenimiento predictivo y preventivo. Tipos, ejemplos e importancia*.
<https://www.ekon.es/mantenimiento-predictivo-y-preventivo-ejemplos/>
- Fernández, T., & Tamaro, E. (2004). *Biografía de Jean-Baptiste-Joseph Fourier*. Biografías y Vidas. <https://www.biografiasyvidas.com/biografia/f/fourier.htm>
- García Sánchez, A. I., Avila Gaonzalez, E., & Morales Alvarado, E. E. (2018a). *Diseño de un sistema de monitoreo de vibraciones en maquinas rotativas criticas en la linea de producción de lija*.
- García Sánchez, A. I., Avila Gaonzalez, E., & Morales Alvarado, E. E. (2018b). *Diseño de un sistema de monitoreo de vibraciones en maquinas rotativas criticas en la linea de producción de lija*. Escuela Superior de Ingeniería.
- Gloria. (2022). *10 fallas de la bomba de gasolina*. GossipVehiculos.
- Granda Aguilar, G. V. (2016). *ESTUDIO DE LA RELACIÓN EXISTENTE ENTRE EL SECUNDARIO DEL ENCENDIDO Y EL FACTOR LAMBDA DEL VEHÍCULO CHEVROLET GRAND VITARA 2.0* [UNIVERSIDAD INTERNACIONAL DEL ECUADOR].
<https://repositorio.uide.edu.ec/bitstream/37000/1548/1/T-UIDE-090.pdf>
- GUEVARA GAIBOR, M. C., & LANDA DÍAS, L. M. (2019). "ANÁLISIS DE VIBRACIONES EN EL MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA J20-A A TRAVÉS DE SIMULACIÓN DE MODOS DE FALLAS PARA CONTRIBUIR EL MANTENIMIENTO PREDICTIVO." 24–129.
<http://dSPACE.esoch.edu.ec/bitstream/123456789/11494/1/65T00302.pdf>
- Gutiérrez, M., & Marcos, G. (2019). Medición de las vibraciones del motor utilizando mezclas de combustible de aceite vegetal reciclado y diesel. Un análisis matemático y computacional. *Innova, 0(0)*, 2. <https://doi.org/10.33890/INNOVA.V4.N1.2019.795>
- Guzmán, G., García, J., Ramírez, J., Figueroa, R., & Torres, D. (2018a). Análisis predictivo de motores por medio de vibraciones. *IEEE*.
- Guzmán, G., García, J., Ramírez, J., Figueroa, R., & Torres, D. (2018b). Análisis predictivo de motores por medio de vibraciones. *IEEE*.
- Haro Mediavilla, K. G., & Haro Vaca, G. D. (2017). *UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE [UTN]*.
<http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/7869/1/04>
- Henao, E., Romero Piedrahita, C., Quintero, H., Piedrahita, C. R., & Quintero, H. (2019). Sistematización de los cálculos de prediseño de los motores de combustión interna. *UIS Ingenierías, 18(3)*, 47–58. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=553762534006>
- Huilca Álvarez, W. A. (2019). *Análisis de la influencia de la calidad del contacto de los sensores en el análisis de vibraciones*. 3, 20–30.
<https://doi.org/10.33262/cienciadigital.v3i3.2.1.779>
- Vibración mecánica.- Evaluación de la vibración en una máquina mediante medidas en partes no rotativas, ISO (1995). <https://qdoc.tips/norma-iso-10816-pdf-free.html>

- Vibración mecánica de máquinas con velocidades de operación entre 10 y 200 rev/s. Bases para la especificación de estándares de evaluación, (1974).
- Juan Trujillo-Tello, J. T.-T., Padilla-Padilla, C., Buenaño-Moyano, L., & Cuaical-Angulo, B. (2020). Evolución y Tendencia de los Sistemas de Control de Motores de Combustión Interna Alternativos, Una Revisión Bibliográfica. *INGENIO*, 3(2), 5–14. <https://doi.org/10.29166/INGENIO.V3I2.2718>
- KIA. (2021). *Descubre las 10 fallas más comunes en un motor*. KIA. <https://www.kia.com/pe/util/news/descubre-las-10-fallas-mas-comunes-en-un-motor.html>
- Lamas Galdo, M. I., Rodríguez Vidal, C. G., & Rodríguez García, J. D. (2013). Aplicación del método level set para modelar el proceso de combustión premezclada en un motor Otto de dos tiempos. *Revista Internacional de Métodos Numéricos Para Cálculo y Diseño En Ingeniería*, 29(4), 234–240. <https://doi.org/10.1016/J.RIMNI.2012.06.003>
- LEMA CHANDI, P. V., & SÁNCHEZ MONTENEGRO, F. X. (2014). *UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE FACULTAD DE EDUCACIÓN CIENCIA Y TECNOLOGÍA TRABAJO DE GRADO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO "SIMULADOR DE VARIACIÓN DE SEÑAL DEL SENSOR MAP PARA VARIAR LA EFICIENCIA Y LA POTENCIA DE UN MOTOR CHEVROLET CORSA WIND 1.4cc" " "*. <http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/4130/1/05%20FECYT%201982%20TESIS.pdf>
- López Donaire, D. (2021, June 11). *Bomba de gasolina eléctrica: para qué sirve y mantenimiento | Actualidad Motor*. <https://www.actualidadmotor.com/bomba-de-gasolina-electrica/>
- Loya Ñato, D. R. (2020). *DISEÑO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO PARA EL ÁREA DE ABASTECIMIENTO CORTE TÉRMICO DE LA EMPRESA SEDEMI*. Universidad Tecnológica Endoamérica.
- Mamani Carrasco, A. M. (2016). *CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UN EMULADOR DE SISTEMA DE ENCENDIDO ESTÁTICO E INYECCIÓN DE COMBUSTIBLE DEL MOTOR TOYOTA (3S-FE)*. UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS.
- MathWorks. (n.d.). *MATLAB - El lenguaje del cálculo técnico*. Retrieved May 9, 2023, from https://es.mathworks.com/products/matlab.html?s_tid=srchtitle_Matlab_1
- Medina, J. A. (2013). Teoría básica (I): frecuencia y amplitud. *Hispasonic*. <https://www.hispasonic.com/tutoriales/teoria-basica-i-frecuencia-amplitud/37991>
- Morquecho Andrade, F. L. (2018). Análisis Estructural del Cigüeñal de un Motor MWM Sprint 2.8 L en Autodesk Inventor. *INNOVA Research Journal*, 3(12), 1–16. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6828562>
- Motorisa. (2021, June 18). *Bujías y su importancia para el funcionamiento óptimo del motor*. <https://mitsubishi-motors.com.co/blog/bujias-como-funcionan/>
- National Instruments. (2023). *NI-9250 Specifications - NI*. <https://www.ni.com/docs/en-US/bundle/ni-9250-specs/page/specs.html>

- Palacios Mena, O. V. (2016). "EVALUACION Y OPERACIÓN DEL SIMULADOR DIDÁCTICO DE INYECCION ELECTRONICA CON SISTEMA DE ENCEDIDO DIRECTO (DIS) [UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS].
<https://repositorio.umsa.bo/bitstream/handle/123456789/11628/EG-1737-Palacios%20Mena%2C%20Osvaldo%20Victor.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Pariona Antonio, F. (2021). *Mantenimiento correctivo del alimentador A4028 de la Unidad Operativa San Francisco - Unidad de Negocio Ayacucho* [Universidad Continental].
https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/10448/1/IV_FIN_109_TE_Pariona_Antonio_2021.pdf
- Paspuel Almeida, E. R. (2021). *Conversión de un motor Chevrolet ZE-1 de carburador a inyección electrónica para mitigación de emisiones*. UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE.
- Pérez Belló, M. Á. (2021). *Sistemas Auxiliares del Motor* (Paraninfo S.A, Ed.; 3rd ed., Vol. 3). Paraninfo.
- Pérez Fernández, Á. (2021). *La transformada de Fourier como vehículo para comprender el fenómeno de la difracción y la formación de imágenes a través de dispositivos ópticos* [Universidad Politécnica de Madrid].
http://138.100.100.254/index/departamentos/matematicas/manchon/pman_archivos/TFG_Alvaro_Perez_Fernandez.pdf
- Pérez González, A. (2021). *Disponibilidad y eficiencia de equipos dinámicos mediante el análisis de vibraciones como parte del mantenimiento predictivo en la Empresa Termoeléctrica Cienfuegos*. Universidad de Cienfuegos.
- Pezda, J., & Jezierski, J. (2020). materials Non-Standard T6 Heat Treatment of the Casting of the Combustion Engine Cylinder Head. *Materials*, 1–13.
<https://doi.org/10.3390/ma13184114>
- Plaza, D. (2020). *¿Qué es la bomba de gasolina? Características, averías y consejos*.
<https://www.motor.es/que-es/bomba-gasolina>
- Quispe Mitma, P. C. (2018). *Sistema de encendido DIS (sin distribuidor), con bobina compacta e individual* [UNIVERSIDAD NACIONAL DE EDUCACIÓN]. chrome-extension://efaidnbmninnibpcjpcglclefindmkaj/viewer.html?pdfurl=https%3A%2F%2Frepositorio.une.edu.pe%2Fbitstream%2Fhandle%2FUNE%2F4721%2FSistema%2520de%2520encendido%2520DIS%2520%2528sin%2520distribuidor%2529%2520con%2520bobina%2520compacta%2520e%2520individual.pdf%3Fsequence%3D1%26isAllowed%3Dy&clen=3240754
- Rangel Rodríguez, Á. H. (2020). *Detección de desbalance en aerogeneradores de baja potencia usando vibraciones y transformada de Fourier* [Universidad Autónoma de Querétaro].
<http://ri-ng.uaq.mx/handle/123456789/2602>
- Redondo Gómez, E. (2021). *ANÁLISIS EXPERIMENTAL DE LA INFLUENCIA DE DAÑOS O DEFECTOS EN LOS PARÁMETROS MODALES DE SÓLIDOS*.
http://tauja.ujaen.es/bitstream/10953.1/15340/1/TFG_Eduardo_Redondo%20-%20Eduardo%20Redondo%20Gomez.pdf

- Reina-Pérez, F. C., Reina-Quiñónez, F. M., Valencia-Ortiz, N. P., Chere-Quiñónez, B. F., & Góngora-Ortiz, J. G. (2017). El mantenimiento predictivo, eficaz para sistemas eléctricos de potencia. *Polo Del Conocimiento*, 2(12), 134. <https://doi.org/10.23857/PC.V2I12.417>
- Reyes Campaña, G. G., Cañizares, F., & Villacres, A. (2017). Análisis mecánico del brazo de biela mediante norma ASTM e8. *INNOVA Research Journal*, 2(5), 190–204. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5994747>
- Rivera, M. F. (2019). *PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO EN EL ÁREA DE OPERACIONES AUTOMOTRICES PARA MEJORAR LA EFICIENCIA DE LOS PROCESOS DEL SERVICIO POSVENTA*. UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA.
- Rivera, N., Chica, J., Zambrano, I., & García, C. (2017). Study Of The Behavior Of An Otto Engine Of Electronic Injection In Relation To The Stoichiometry Of The Mixture And The Advance To The Ignition For Cuenca City. *Revista Politécnica-October*, 40(1).
- Rodríguez Alfonso, D. S., & Castellanos, J. U. (2020). SENSOR MAF EN VEHICULOS UTILITARIOS - POSIBLES FALLAS UN ESTADO DEL ARTE. *UNIVERSIDAD COOPERATIVA DE COLOMBIA*. https://repository.ucc.edu.co/bitstream/20.500.12494/28308/4/2020_Sensor_maf_vehiculos.pdf
- Sánchez Torres, J. (2021). *ANÁLISIS DEL IMPACTO DE LOS ASPECTOS GEOMÉTRICOS SOBRE LAS PRESTACIONES DE UN SISTEMA DE ENCENDIDO POR PRECÁMARA DE TIPO PASIVO PARA MOTORES DE ENCENDIDO PORVOCADO DE NUEVA GENERACIÓN* [UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA]. <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/174804/Torres%20-%20Análisis%20del%20impacto%20de%20los%20aspectos%20geometricos%20sobre%20las%20prestaciones%20de%20un%20sistema%20de....pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- SENPLADES. (2021). *PLAN DE CREACIÓN DE OPORTUNIDADES*.
- SFI. (2021, September 6). *Las 7 Fallas Más Comunes del Motor y Cómo Evitarlas - Sea Foam Mexico*. <https://seafoam.mx/las-7-fallas-mas-comunes-del-motor-y-como-evitarlas/>
- Taipe-Defaz, V. A., Llanes-Cedeño, E. A., Morales-Bayetero, C. F., & Checa-Ramírez, A. E. (2021). Evaluación experimental de un motor de encendido provocado bajo diferentes gasolinas. *Ingenius. Revista de Ciencia y Tecnología*, 26, 17–29. <https://doi.org/10.17163/INGS.N26.2021.02>
- Yaselga Loachamín, J. E. (2019). ESTUDIO DEL DESEMPEÑO MECÁNICO Y EMISIONES DE GASES CONTAMINANTES EN UN MOTOR DE ENCENDIDO POR COMPRESIÓN USANDO MEZCLAS DE DIÉSEL Y BIODIÉSEL OBTENIDO A CONDICIONES SUPERCRÍTICAS No Title. In *ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL*.
- Zapana Flores, B. A. (2017). *PROYECTO DE UN PROCEDIMIENTO DE DIAGNOSTICO DE FALLAS POR ANALISIS VIBRACIONAL EN BOMBAS Y VENTILADORES* [UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTIN DE AREQUIPA]. <http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/6355/MCzaflba.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

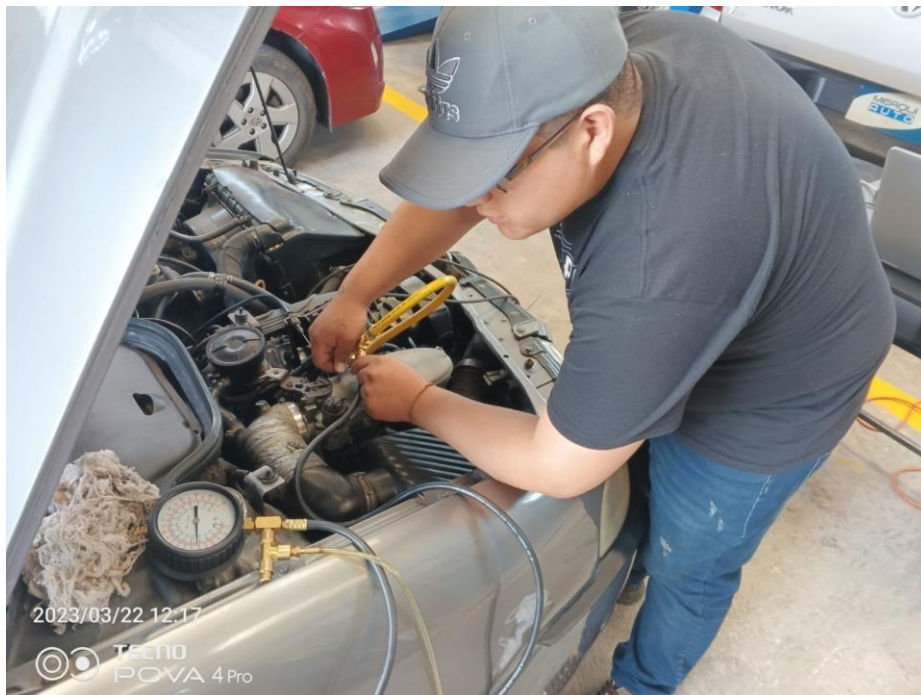
ANEXOS

Anexo 1. Preparación de materiales a utilizar



Anexo 2. Conexión de sensores al motor



Anexo 3. Cambio de bujías**Anexo 4.** Variación de presión de la bomba de combustible.

Anexo 5. Cambio de inyectores**Anexo 6.** Recolección de datos