



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

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

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

**TEMA: DISEÑO DE UN SISTEMA DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO
AUTOMOTRIZ BASADO EN LA INDUSTRIA 4.0.**

AUTORES:

**CACUANGO CARANQUI JULIO ANDRES
ULCUANGO ULCUANGO JEFFERSON STALYN**

DIRECTOR: ING. CARLOS NOLASCO MAFLA YÉPEZ . MSC.

Ibarra, 2021

CERTIFICADO

ACEPTACIÓN DEL TUTOR

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

CERTIFICO:

Que una vez analizado el plan de grado cuyo título es “Diseño de un sistema de mantenimiento predictivo automotriz basado en la industria 4.0” presentado por los señores: **Cacuango Caranqui Julio Andres** con número de cédula **0106861974** y **Ulcuango Ulcuango Jefferson Stalyn** con número de cédula **1726105545**, 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 02 días del mes diciembre del 2021.

Atentamente



CARLOS
MOLASCO MAFLA
YEPEZ

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	
CEDULA DE IDENTIDAD:	010686197-4
APELLIDOS Y NOMBRES:	Cacuango Caranqui Julio Andres
DIRECCIÓN:	Ibarra, calle Río Quinindé y Cenepa
EMAIL:	jacacuangoc@utn.edu.ec
TELÉFONO MÓVIL	0968661994

DATOS DE CONTACTO	
CEDULA DE IDENTIDAD:	172610554-5
APELLIDOS Y NOMBRES:	Ulcuango Ulcuango Jefferson Stalyn
DIRECCIÓN:	Cayambe, Av. 23 de Julio y calle el bosque
EMAIL:	jsulcuangou@utn.edu.ec
TELÉFONO MÓVIL	0992371839

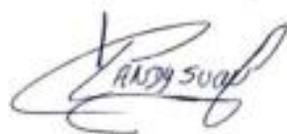
DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	TEMA: DISEÑO DE UN SISTEMA DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO AUTOMOTRIZ BASADO EN LA INDUSTRIA 4.0.
AUTORES:	Cacuango Caranqui Julio Andres Ulcuango Ulcuango Jefferson Stalyn
FECHA:	02/12/2021
SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO	
PROGRAMA:	PREGRADO
TITULO POR EL QUE OPTA	INGENIERÍA EN MANTENIMIENTO AUTOMOTRIZ
ASESOR/DIRECTOR	Ing. Carlos Nolasco Mafla Yépez MSc

2. CONSTANCIAS

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

Ibarra, a los 07 días del mes de diciembre del 2021

AUTORES:



Cacuango Caranqui Julio Andres

0106861974



Ulcuango Ulcuango Jefferson Stalyn

1726105545

DEDICATORIA

Este trabajo de grado es dedicado a Dios y a mis padres por apoyarme en los momentos más difíciles de mi vida, por todos los valores que me inculcaron desde niño y que me han servido para poder cumplir mis metas, por ayudarme a cumplir unos de los sueños más importantes en mi vida que es ser ingeniero, a pesar de las dificultades que pasaron para apoyarme.

Cacuango Caranqui Julio Andres

Este trabajo es dedicado a Dios y a mi Madre que siempre me ha apoyado durante todas las etapas de mi vida, por inculcarme valores que hacen que una persona pueda lograr sus metas con humildad y respeto hacia la sociedad, por brindarme la oportunidad de formarme como profesional y lograr cumplir una de mis metas que es ser ingeniero.

Ulcuango Ulcuango Jefferson Stalyn

AGRADECIMIENTOS

Agradezco primero a mi Dios, por darme los mejores padres del mundo, por ayudarme a ser valiente en los momentos más difíciles de mi vida, por su amor y bondad durante todos los años de mi vida, por ayudarme a diferenciar que es lo bueno y lo malo, por cuidarme en los momentos más duros, por permitirme estar muy bien de salud.

A mi madre, Magdalena Caranqui que durante mis años de vida me lleno de cariño y amor, por ayudarme siempre económicamente a pesar de las dificultades que paso en algunos años, por ser una mujer muy fuerte y demostrar que aun en los momentos más difíciles se puede salir adelante, por llorar conmigo y apoyarme en todo momento a pesar de los errores que he cometido.

A mi padre, Julio Cacuango que siempre me enseñó a ser una persona fuerte y que en la vida es muy importante aprender hacer de todo sin importar nuestra condición, por ser un padre muy comprensivo, por apoyarme económica y emocionalmente, por estar conmigo en los momentos más tristes y felices de mi vida, por enseñarme a valorar la vida y alcanzar las metas que nos propusimos.

A mis hermano y hermanas por siempre apoyarme en mi carrera universitaria, por sus consejos, por ayudarme a superar mis miedos cuando más lo necesite.

A mi pareja Lilibeth Páez por apoyarme durante mi carrera universitaria, por su apoyo emocional y por estar conmigo en los momentos más difíciles de mi vida.

A mi compañero Jefferson Ulcuango por comprenderme y soportarme durante el transcurso del presente trabajo de tesis.

A la Gloriosa Universidad Técnica del Norte por abrirme sus puertas, por cumplir una de mis metas, por permitirme adquirir conocimientos de calidad y llegar a ser un excelente profesional.

Al Ing. Carlos Mafla, por su apoyo incondicional durante el transcurso del trabajo de grado, además a mis opositores Ing. Paul Hernández e Ing. Fausto Tapia, por ayudarme a culminar el trabajo de grado siendo unos excelentes asesores.

Cacuango Caranqui Julio Andres

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por permitirme culminar una etapa muy satisfactoria para mí, por darme su bendición, salud y vida, por siempre guiar mi camino en el transcurso de mi vida y nunca dejarme caer ante las adversidades que se me han presentado, por darme paz y sabiduría para tomar decisiones importantes.

A mi querida Madre, Rogelia Ulcuango que con su apoyo y confianza incondicional he cumplido una de las tantas metas que me he propuesto en la vida, y que me ha enseñado que con mucho esfuerzo y dedicación se puede lograr hacer grandes cosas.

A mi tío, Jorge Ulcuango que me ha dado su confianza y consejos de vida, que han sido fundamentales para lograr cumplir este éxito en mi vida, por darme la oportunidad de sustentarme económicamente por medio del trabajo que realiza.

A mis familiares, amigos y compañeros que me ayudaron y aportaron conocimiento durante mi vida universitaria.

Mi agradecimiento a la Universidad Técnica del Norte que ha permitido formarme como profesional y como persona, permitiendo conocer mi capacidad para hacer grandes cosas.

De igual manera a todos los docentes que conforman la carrera, permitiendo formar mi carácter profesional en estos años de estudios, de manera especial al Ing. Carlos Mafla quien ha sido la persona que nos ha ayudado durante este trabajo de grado, así también a mis asesores al Ing. Fausto Tapia y al Ing. Paul Hernández quienes han contribuido para culminar este trabajo.

Ulcuango Ulcuango Jefferson Stalyn

ÍNDICE DE CONTENIDO

	PÁGINA
RESUMEN	xv
ABSTRACT	xvi
CAPÍTULO I	1
1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	1
1.1. Objetivo general.....	1
1.2. Objetivos específicos	1
1.3. Justificación	1
1.4. Alcance	2
1.5. Antecedentes.....	2
1.6. Mantenimiento automotriz.....	3
1.7. Evolución del mantenimiento	4
1.8. Tipos de mantenimiento.....	5
1.8.1. Mantenimiento correctivo	5
1.8.2. Mantenimiento predictivo	5
1.8.2.1. Análisis del mantenimiento predictivo.....	6
1.8.3. Mantenimiento preventivo.....	6
1.9. Mantenimiento predictivo.....	7
1.9.1. Técnicas de mantenimiento predictivo.....	8
1.9.1.1. Inspección visual.....	8
1.9.1.2. Análisis por ultrasonido	9
1.9.1.3. Análisis de aceite.....	10
1.9.1.3.1. Puntos importantes en un análisis de lubricantes	11
1.9.1.4. Análisis de vibraciones	11

1.9.1.5. Termografía.....	12
1.10. Industria 4.0	13
1.11. Parámetros de funcionamiento del motor diésel.....	14
1.11.1. Combustión.....	14
1.11.2. Proceso de combustión	15
1.11.3. Sensores de temperatura	16
1.11.4. Sensor de presión.....	17
1.11.5. Temperaturas de trabajo	17
1.11.6. Presiones de trabajo.....	18
1.12. Ley de gases de boyle	19
CAPÍTULO II.....	21
2. MATERIALES Y MÉTODOS	21
2.1. Materiales.....	21
2.2. Datos y especificaciones del motor.....	21
2.2.1. Bujía incandescente	22
2.2.2. Sistema disipador de calor.....	23
2.2.3. Cámara termográfica	24
2.3. Equipos de obtención de datos.....	25
2.3.1. Sensor de presión.....	25
2.3.2. Sensor de temperatura (termocupla).....	26
2.3.3. Arduino.....	28
2.3.4. Raspberry pi.....	29
2.3.5. Python.....	31
2.3.6. Labview	31
2.4. Programas de soporte.....	32

2.4.1. Remote.it	32
2.4.2. Vnc viewer.....	33
2.5. Métodos	34
2.5.1. Software.....	34
2.5.1.1. Interfaz labview.....	35
2.5.1.2. Interfaz arduino	39
2.5.1.3. Interfaz python	39
2.5.2. Puntos de medición.....	40
2.5.2.1. Cámara de compresión.....	40
2.5.2.2. Punto de calor.....	41
2.5.3. Adaptación de materiales y componentes	41
CAPÍTULO III	50
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	50
3.1. Condiciones iniciales de la prueba.....	50
3.2. Análisis de señales	51
3.2.1. Sensor ckp	51
3.2.2. Sensor de presión.....	52
3.2.2.1. Análisis de la señal de presión	53
3.2.3. Sensor de temperatura	56
3.3. Pruebas y mediciones.....	57
3.3.1. Prueba # 1	57
3.3.2. Prueba # 2	58
3.3.3. Prueba # 3	60
3.4. Análisis de pruebas	61
3.5. Plan de mantenimiento predictivo por análisis de presión	62

CAPÍTULO IV	64
4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	64
4.1. Conclusiones	64
4.2. Recomendaciones	66
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	67
ANEXOS	73

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA NUM.	PÁGINA
Tabla 1.1 Propiedades termodinámicas para el proceso real del ciclo diésel	18
Tabla 2. 1 Especificaciones y características del motor diésel “Mazda BT 50”	21
Tabla 2. 2 Características del sensor de presión	26
Tabla 3. 1 Valores referenciales del sensor de presión.....	52
Tabla 3. 2 Plan de mantenimiento Mazda BT 50 2.5 CRDi	62

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA NÚM.	PÁGINA
Figura 1. 1 Mantenimiento predictivo	8
Figura 1. 2 Análisis de ultrasonido.....	10
Figura 1. 3 Análisis Termográfico.....	13
Figura 1. 4 Proceso de combustión del motor diésel.....	15
Figura 1. 5 Cambio de presiones en los ciclos de trabajo	18
Figura 1. 6 Comportamiento de la presión según Boyle	20
Figura 2. 1 Bujía incandescente.....	23
Figura 2. 2 Sistema disipador de calor	24
Figura 2. 3 Cámara Termográfica	24
Figura 2. 4 Sensor de presión y modo de conexión.....	25
Figura 2. 5 Termocuplas.....	27
Figura 2. 6 Termocupla utilizada.....	27
Figura 2. 7 Modo de conexión de la termocupla.....	28
Figura 2. 8 Arduino	29
Figura 2. 9 Tarjeta Raspberry Pi.....	29
Figura 2. 10 Mapa de Conexiones de la Raspberry Pi	30
Figura 2. 11 Python.	31
Figura 2. 12 Interfaz de datos en LabVIEW.....	32
Figura 2. 13 Adquisición de datos con remote.it.....	33
Figura 2. 14 Pantalla de VNC Viewer.....	34
Figura 2. 15 Panel frontal de obtención de datos gráficos	35
Figura 2. 16 Medidor de temperatura.....	36
Figura 2. 17 Lector de valores.....	36
Figura 2. 18 Botón Stop	36
Figura 2. 19 Comando de almacenamiento	37
Figura 2. 20 Indicador de lectura.....	37
Figura 2. 21 Manómetro de presión	37

Figura 2. 22 Bloque de diagramas de LabVIEW	38
Figura 2. 23 Programación de Arduino	39
Figura 2. 24 Programación de Python	40
Figura 2. 25 Análisis del punto caliente	41
Figura 2. 26 Bujía de Pre calentamiento perforada	42
Figura 2. 27 Sistema de refrigeración.....	42
Figura 2. 28 Sensor de presión en funcionamiento	43
Figura 2. 29 Placa con borneras para conexión.....	43
Figura 2. 30 Termocupla tipo tornillo	44
Figura 2. 31 Interfaz física de datos	44
Figura 2. 32 Elementos de sistema de mantenimiento	45
Figura 2. 33 Conexión del sistema de mantenimiento	46
Figura 2. 34 Modo de uso del sistema de mantenimiento	46
Figura 2. 35 Funcionamiento con remote.it a través de internet	47
Figura 2. 36 Funcionamiento con red local de forma directa.....	48
Figura 2. 37 Interfaz LabVIEW obteniendo datos	48
Figura 3. 1 Señal del sensor CKP.....	51
Figura 3. 2 Señal de la presión en LabVIEW	52
Figura 3. 3 Señal referencial de presión	53
Figura 3. 4 Datos para analizar.....	54
Figura 3. 5 Análisis de señal de referencia de presión	54
Figura 3. 6 Señal de temperatura en LabVIEW	56
Figura 3. 7 Comportamiento de la señal del sensor de temperatura.....	56
Figura 3. 8 Datos de presión para prueba 1	57
Figura 3. 9 Datos de temperatura para prueba 1.....	58
Figura 3. 10 Datos de presión para prueba 2.....	59
Figura 3. 11 Datos de temperatura para prueba 2.....	59
Figura 3. 12 Datos de presión para prueba 3	60
Figura 3. 13 Datos de temperatura para prueba 3.....	61

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO NÚM.	DESCRIPCIÓN	PAG.
1.	Ficha tecnica de un motor Mazda BT-50	753
2.	Interfaz Gráfica del programa LabVIEW	744
3.	Datos de presión y temperatura en el programa LabVIEW	735

RESUMEN

El objetivo principal de este trabajo fue desarrollar un sistema de mantenimiento predictivo basado en la industria 4.0, investigando e identificando que parámetros de un motor diésel permiten conocer el estado general de este, utilizando sensores y tarjetas electrónicas, obteniendo señales claras y específicas que indiquen el comportamiento del motor durante la etapa de toma de datos con este en funcionamiento a 750 revoluciones por minuto (ralentí), se tomó en cuenta la temperatura de trabajo a la salida de la bujía de precalentamiento y se desarrolló un sistema de enfriamiento que permite que la presión del cilindro sea transmitida al sensor sin que esté sobrepase su temperatura de trabajo (85 °C), mediante un sensor de temperatura se recepta la señal del motor y cuando esta sobre los 65 °C se procede a obtener la señal de presión del cilindro numero 4 mediante un sensor que trabaja en un rango de 0 a 50 (Bar), las tarjetas electrónicas permiten la comunicación de los sensores con el software LabVIEW en donde se observa las señales receptadas que posteriormente fueron analizadas para determinar que el motor Mazda BT 50 no se encuentra en buen estado. Como resultado de la toma de datos se obtuvo un valor de presión de 13,42 (Bar) con el motor a temperatura (66 °C), estos datos son mucho menores, un motor Mazda diésel trabaja en condiciones normales 30 (Bar).

A partir de los parámetros obtenidos se elaboró un plan de mantenimiento para evitar que el motor tenga daños irreparables debido a no realizar reparaciones tempranas.

ABSTRACT

The main objective of this work was to develop a predictive maintenance system based on Industry 4.0, investigating and identifying which parameters of a diesel engine allow to know the general state of this, using sensors and electronic cards, obtaining clear and specific signals that indicate the behavior of the engine during the data collection stage with this in operation at 750 revolutions per minute (idle), the working temperature at the outlet of the glow plug was taken into account and a cooling system was developed that allows the cylinder pressure is transmitted to the sensor without exceeding its working temperature (85 °C), by means of a temperature sensor, the engine signal is received and when it is above 65 °C, the pressure signal of cylinder number 4 is obtained by means of a sensor that works in a range of 0 to 50 (Bar), the electronic cards allow the communication of the sensors with the LabVIEW software where the signals received are observed and later analyzed to determine that the Mazda BT 50 engine isn't good condition. As a result of the data collection a pressure value of 13.42 (Bar) was obtained with the engine at temperature (66 °C), these data are much lower, a Mazda diesel engine works in normal conditions 30 (Bar).

Based on the parameters obtained, a maintenance plan was drawn up to prevent irreparable damage to the engine due to failure to carry out early repairs.

INTRODUCCIÓN

La industria 4.0 es uno de los aspectos más importantes hoy en día, ayuda a reducir costos de mantenimiento, mejora la producción de una empresa, debido a que los equipos están siempre en monitoreo y se puede predecir una falla y posteriormente repararla antes de que esta suceda.

Dentro del mantenimiento automatizado la industria 4.0 se encarga de la automatización en los sistemas de mantenimiento, mediante la obtención de datos, un software los interpreta y posteriormente almacena toda esa información en la nube basados en modelos de inteligencia artificial y simulación avanzada, generando varias condiciones de operación con la realidad aumentada.

Conociendo estos aspectos se usará un software (LabVIEW) que se encargara de obtener los datos de un motor diésel, temperatura y presión, que permitirán conocer el estado actual del vehículo, permitiendo diseñar un plan de mantenimiento predictivo el cual puede reducir los costos de reparación y puede alargar el tiempo de vida de un motor.

CAPÍTULO I

1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

1.1.OBJETIVO GENERAL

Diseñar un sistema de mantenimiento predictivo automotriz que permita conocer los parámetros de un vehículo con motor diésel en tiempo real, con el fin de prevenir fallos futuros basado en condiciones de funcionamiento evitando así paradas no programadas que conlleva a que los vehículos permanezcan sin operar por largos periodos de tiempo.

1.2.OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Investigar los parámetros más adecuados para conocer el estado de un motor Diésel.
- Establecer los equipos idóneos para las respectivas medidas.
- Evaluar los puntos de medición.
- Programar en LabVIEW para la obtención de datos de un motor.
- Medir los parámetros de un motor en tiempo real.
- Proponer planes de mantenimiento predictivo a base de los datos obtenidos.

1.3.JUSTIFICACIÓN

En la actualidad con todos los avances tecnológicos dentro de la industria automotriz, la necesidad de crear nuevos sistemas automatizados para un mantenimiento del vehículo. Se conoce que en el Ecuador los vehículos de transporte se han convertido en una necesidad para la población ecuatoriana.

Lo que se quiere hacer dentro de este tema también va asociado a los objetivos del plan nacional del buen vivir, impulsar la productividad y competitividad para el crecimiento económico sostenible de manera redistributiva y solidaria e impulsar el cambio de la matriz productiva, ya que de esto depende su economía social (SENPLADES, 2009, pág. 96). Por tal motivo el sistema de mantenimiento predictivo automotriz por realizar tiene como objeto evitar las paradas no

programadas basado en las condiciones de un vehículo de transporte, así como, todo esto relacionado con los costos realizados en inversión, operación, mantenimiento y combustible (Castro, 2011).

En cuanto al cambio de la matriz productiva nos enfocaremos al artículo 284 donde se “genera el conocimiento científico y tecnológico, al aplicar innovaciones como el manteniendo predictivo basado en la industria 4.0 (SENPLADES, 2009, pág. 114).

1.4.ALCANCE

El mantenimiento predictivo automotriz en los vehículos a diésel es primordial para alargar la vida útil, en este trabajo de investigación nos enfocaremos en realizar un sistema de mantenimiento automotriz basado en la utilización de componentes de monitoreo que van a estar situados en el motor, los vehículos a analizar son aquellos que utilizan el diésel como principal fuente de combustión.

Estos vehículos necesitan de un mantenimiento y análisis exhaustivo. Para el desarrollo de esta investigación analizaremos las presiones a las que trabaja la cámara de combustión y la temperatura que alcanza cuando el motor se encuentra en funcionamiento, todo esto para evaluar el estado del motor, con elementos de medición (sensor de temperatura y presión) se podrá obtener datos y mediante un software se analizara y determinara el estado en el que se encuentra el motor, realizando mediciones en ralentí, se trabajara a la cantidad de revoluciones por minuto que es considerado el motor a ralentí, esto con el fin de analizar el funcionamiento y sus parámetros en tiempo real.

1.5.ANTECEDENTES

La industria 4.0 está estrechamente relacionada con el mantenimiento predictivo que hace varios años ha existido y se está tratando de aplicar en diferentes sectores, con el único fin de predecir fallas en el componente de una maquinaria, para posteriormente reemplazarlo (Paucar & Sigüenza, 2016, pág. 5). Las paradas de las máquinas implicaban costes elevados y pérdidas en

producción, y buscando soluciones se dieron los primeros pasos en el desarrollo de lo que hoy se conoce como mantenimiento predictivo (Idrovo & Pugo, 2017, pág. 15).

La investigación parte del análisis del mantenimiento predictivo en el área automotriz, que se centra en identificar las averías que se pueden originar en un vehículo, en donde: se realizan “análisis de vibraciones que viene aplicándose hace más de 30 años para supervisar y diagnosticar fallas mecánicas” (Jácome Ortiz, 2016, pág. 1), generadas por el desgaste de partes mecánicas.

Para realizar estos análisis se debe tener un previo conocimiento sobre como diagnosticar correctamente, para encontrar fallas y soluciones en los motores diésel por medio de un análisis termográfico y de presión, para así obtener datos validados y así dar en si la aceptación para contar con los equipos necesarios y precisos, que serán implementados dentro de labores predictivos en el campo automotriz, contribuyendo así a la mejora del ciclo de vida de un vehículo (Guevara & Landa, 2019, pág. 1).

La tecnología automotriz en la actualidad pretende implementar solo componentes electrónicos (sensores, actuadores, motores eléctricos, etc.) en los vehículos, incluso se enfocan en disminuir la contaminación global, por lo que se están fabricando solo vehículos eléctricos, estos avances a futuro suplantarán completamente a todos los componentes mecánicos existentes en un vehículo (Oliva, 2018, pág. 2).

1.6.MANTENIMIENTO AUTOMOTRIZ

El mantenimiento automotriz surge de la idea de conservación de un objeto tratando de conservar su esencia, intentando dar un correcto funcionamiento, bien sea de una maquinaria industrial, agrícola, artesanal, o automotriz. Se le considera un conjunto de actividades enfocadas a detectar, corregir y prevenir fallos ocasionados por el funcionamiento (Cansino & Lucero, 2015, pág. 26).

A partir del desarrollo de las máquinas y equipos, el hombre siempre ha sentido la necesidad de mantener el equipo en óptimas condiciones, aún más desde las más antiguas y rudimentarias herramientas hasta maquinaria de gran capacidad (Pruna, 2015, pág. 6).

El mantenimiento nació de observar el funcionamiento que todo equipo sufre por una gran diversidad de causas; deterioro o desgaste que es fundamentalmente de tres tipos: normal que se debe a causas como la presión, movimiento o velocidad de operación, corrosión, fatiga, temperatura, vibraciones, anormal se debe a descuido, golpes, sobrecarga de trabajo o mala operación y accidental que se debe a causas incontrolables, naturales o meteorológicas u otras (Uptc, 2006, pág. 1).

1.7.EVOLUCIÓN DEL MANTENIMIENTO

Hasta mediados del siglo veinte, la producción de autos en masa se realizaba en unos pocos países industrializados como Estados Unidos, Inglaterra, Francia, Alemania e Italia. En estos países, la industria automotriz abastecía sus mercados internos, y exportaba parte de su producción al resto del mundo (Villegas, 2013).

El concepto de mantenimiento para muchas personas se basa en solo tener un buen producto o maquinaria, el cual va a ser suficiente para que las máquinas trabajen adecuadamente y se mantengan en perfectas condiciones. Esta idea es el motivo por el que nuestra industria continúa en fase de desarrollo.

Desde 1950 donde fue la tercera Revolución Industrial, la máquina sólo constituye el medio para obtener un fin, el cual es su razón de ser, por lo cual debemos considerar que una instalación industrial está constituida por el sistema equipo y la satisfacción de las personas (Rivera, 2011, pág. 11).

En 1960 surge el mantenimiento productivo, el cual fue una nueva alternativa al mantenimiento tradicional, necesitaba de hombres más especializados en las tareas de conservación de vehículos, la responsabilidad que ello conllevaba era muy exigente, ya que ellos debían tener un alto conocimiento de la confiabilidad de los repuestos que les instalaba a los automóviles (Pruna, 2015, pág. 2).

1.8. TIPOS DE MANTENIMIENTO

Existen diferentes tipos de mantenimiento los cuales consisten en realizar tareas de reparación en un motor o equipo.

1.8.1. MANTENIMIENTO CORRECTIVO

En este tipo de mantenimiento, también llamado mantenimiento a rotura sólo interviene en los equipos cuando el fallo ya se ha producido. Se trata, por tanto, de una actitud pasiva, frente a la evolución del estado de los equipos, a la espera de la avería o fallo.

Las averías se producen generalmente de forma imprevista, lo que puede ocasionar trastornos en la producción, que pueden ir desde ligeras pérdidas de tiempo, por reposición de equipo o cambio de tarea, hasta la parada de la producción, en tanto no se repare o sustituya el equipo averiado en un tiempo adecuado o prudencial.

Las averías, al ser imprevistas, suelen ser graves para el equipo, con lo que su reparación puede ser costosa. Las averías son siempre en mayor o menor medida inoportunas, por lo que la reparación de los equipos averiados puede llevar más tiempo del previsto, ya sea por ausencia del personal necesario para su reparación, o ya sea por la falta de los repuestos necesarios.

Por tratarse de averías inesperadas, el fallo podría venir acompañado de algún siniestro, lo que obviamente puede tener consecuencias muy negativas para la seguridad del personal o de las instalaciones (Barrera, 2015, pág. 16).

1.8.2. MANTENIMIENTO PREDICTIVO

El mantenimiento predictivo está creciendo con el objetivo de extender el ciclo de vida de los equipos. El uso limitado de variables de control para inferir el estado del sistema ha restringido el rango de resultados. Otras variables no son comunes debido a los análisis de complejidad, aunque se reconoce su potencial para aumentar los intervalos de mantenimiento y ayudar a garantizar la confiabilidad del equipo (Simoes, Viegas, Torres, & Fonseca, 2017, pág. 5).

El mantenimiento en general y la monitorización del estado en particular tienen como objetivo combinar una mayor fiabilidad (y, por tanto, disponibilidad) con los costes más bajos posibles, ya sean directos o indirectos; hoy en día, el monitoreo se realiza mediante sensores con lecturas en línea y los tiempos de intervención se basan en predicciones de fallas (Raposo, Torres, Fonseca, & Galar, 2018, pág. 68).

1.8.2.1. ANÁLISIS DEL MANTENIMIENTO PREDICTIVO

Para un mantenimiento predictivo se utiliza varias técnicas de monitoreo, utilizando las nuevas tecnologías que se tiene a disposición-

- Análisis de vibraciones
- Termografía
- Análisis de parámetros de desempeño
- Inspección visual
- Medidas ultrasónicas
- Análisis de lubricantes de servicio
- Parámetros eléctricos

1.8.3. MANTENIMIENTO PREVENTIVO

Este mantenimiento también es denominado mantenimiento planificado ", tiene lugar antes de que ocurra una falla o avería, se efectúa bajo condiciones controladas sin la existencia de algún error en el sistema del vehículo. El mantenimiento se ejecuta cuando el fabricante del vehículo recomienda basado en momento en el que el vehículo ha cumplido el kilometraje de recorrido, también se lo realiza en base la experiencia y pericia del personal técnico del taller, los cuales son los encargados de determinar el momento necesario para llevar a cabo un cabo dicho procedimiento (Franco, 2017, pág. 9).

Este mantenimiento presenta las siguientes características:

- Se planifica en un momento en que se aprovecha las horas ociosas del vehículo
- Se lleva a cabo siguiendo un programa elaborado previamente donde se detalla el procedimiento a seguir, y las actividades a realizar, a fin de tener las herramientas y repuestos necesarios a la mano.
- Cuenta con una fecha programada, además de un tiempo de inicio y de terminación preestablecido y aprobado por el dueño del vehículo.
- Está destinado a ciertos componentes específicamente. Aunque también se puede llevar a cabo un cabo un mantenimiento generalizado.
- Permite contar con un historial del vehículo.
- Permite contar con un presupuesto aprobado por el dueño del vehículo.

1.9.MANTENIMIENTO PREDICTIVO

En los últimos años se ha incrementado en la industria en general, la aplicación del Mantenimiento Predictivo se le considera como un complemento de los otros tipos de mantenimiento, el desarrollo tecnológico ha sido uno de los puntos a favor para la aplicación de este tipo de mantenimiento reduciendo las paradas y costos de las intervenciones (Albarado, 2017, pág. 119).

Según (Jaramillo & Bouhmala, 2020), el objetivo principal del mantenimiento es reducir al mínimo el número de fallas en los equipos y evitar averías que puedan provocar paros. El mantenimiento predictivo tiene por objetivo realizar un servicio especializado, donde se realizará tareas de monitoreo utilizando diferentes técnicas de diagnóstico, medición y control (Pruna, 2015, pág. 8).



Figura 1. 1 Mantenimiento predictivo

En la **Figura 1.1** muestra la tecnología de la industria 4.0. Las fallas que se encuentran relacionadas con la edad de los componentes se atribuyen a la degradación continua por corrosión cuando el equipo está en un ambiente salino, sin embargo, los fallos que se producen se deben en su mayoría a fallas aleatorias, que solo pueden ser abordados detectándolos antes de que ocurran, es decir, siguiendo un enfoque de mantenimiento predictivo (Jaramillo & Bouhmala, 2020).

1.9.1. TÉCNICAS DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO

Las técnicas de mantenimiento predictivo se utilizan como técnicas de monitoreo de un equipo o sistema para prevenir fallos futuros y paradas no programadas reduciendo costos de mantenimiento.

1.9.1.1. INSPECCIÓN VISUAL

La inspección visual tiende a facilitar una evaluación rápida de todos los componentes visibles de un motor diésel, además permite conocer el estado de cada uno de ellos y así tomar las medidas antes de llegar a una falla irreparable.

Los puntos más importantes durante una inspección visual son:

- Revisar los sistemas eléctricos que pueden influir en el funcionamiento del motor.
- Revisar el nivel y viscosidad del aceite.
- Verificar en qué condiciones se reporta el problema del motor, esto generalmente se le pregunta al usuario.
- Se debe tener en cuenta factores como las RPM del motor, temperatura de trabajo, tiempo de precalentamiento del motor entre otros factores (Córdova, 2019, pág. 4).

1.9.1.2. ANÁLISIS POR ULTRASONIDO

Esta tecnología se basa en las ondas de sonido de alta frecuencia (ultrasonidos) que producen las variaciones microscópicas de las fuerzas de rozamiento en una máquina, permitiendo una detección mucho más temprana que la esperada en un análisis de vibraciones debido a un aumento de las vibraciones o en la termografía en un aumento de la temperatura. Esto permite un margen más amplio de actuación para realizar un plan de mantenimiento sin consecuencias graves en el sistema (Asensio, 2019, pág. 21).

Esta técnica está muy difundida por su gran versatilidad, pues tiene gran variedad de aplicaciones, el único costo que conlleva es la adquisición del material pues no hay que implantarlo en ninguna máquina, y no se necesita personal experto para el uso de esta tecnología, pues suelen venir de fábrica con un software muy intuitivo y fácil de interpretar (Asensio, 2019, pág. 21).

El ultrasonido está considerado como uno de los medios para predecir defectos en los automóviles; generalmente se asocia al ultrasonido en el campo de la medicina como se ve en el diagnóstico y reparación de tejidos blandos. Por otro lado, se ha usado este método para determinar frisaduras internas o tipos de materiales usados en la industria, como por ejemplo en el área de la soldadura.



Figura 1. 2 Análisis de ultrasonido
(Asensio, 2019, pág. 1)

En la **Figura 1.2** demuestra la tecnología que se puede aplicar en el sector automotriz, este tipo de tecnología permite detectar fallos prematuros o fugas presurizadas y no presurizadas antes de que el vehículo se averíe, lo que permite disminuir los tiempos de reparación y los costos. La inspección de partes móviles en el auto con ultrasonidos detecta los fallos en etapas tempranas del problema, antes de que sean detectados por otros métodos tradicionales basados en la temperatura, sonidos fuertes o mal funcionamiento de las partes, ya que la advertencia ultrasónica aparece antes de que se produzca un aumento de temperatura o un incremento en los niveles de vibración de baja frecuencia (Cárdenas, Cevallos, & Moyano, 2017, pág. 2).

1.9.1.3. ANÁLISIS DE ACEITE

El análisis de aceite usado en los motores de combustión interna es una herramienta de diagnóstico para conocer el estado del motor, es una técnica de mantenimiento predictivo, este mantenimiento es realizado en base al deterioro significativo del aceite por la variación de un parámetro el cual representa una valoración cualitativa del estado técnico del fluido (Bonet & Martinez, 2016, pág. 16).

Además, sirve para controlar las propiedades físicas y químicas del lubricante, como son la viscosidad, acidez, contaminantes como agua, hollín, lodos, punto de inflamación, dilución por combustible en el caso de motores. Estos datos permiten conocer si el producto utilizado

mantiene las propiedades mínimas y es apto para continuar en servicio. Al mismo tiempo, mediante análisis espectro gráfico del aceite se puede determinar metales de desgaste, los cuales permiten determinar cuál componente mecánico se están desgastando de una manera anormal, permitiendo encontrar la raíz del problema (Buchelli & García, 2015, pág. 86).

Las grasas y los fluidos hidráulicos ofrecen una imagen rápida y precisa de lo que está ocurriendo en el interior de generadores, cajas de cambios, compresores, sistemas hidráulicos y otras máquinas importantes. También facilita información vital acerca del estado del propio aceite. La supervisión efectiva del aceite lubricante permite la programación eficiente de las tareas de mantenimiento, minimizando el riesgo de daños a plantas caras y evitando periodos de inactividad imprevistos (Carmona, 2015, pág. 5).

El éxito de los análisis de lubricantes usados se debe en primera instancia a la correcta toma de muestra en el proceso del análisis de aceite. De esta actividad depende prácticamente todo el éxito o el fracaso de nuestro programa. Si la muestra de aceite es tomada correctamente, la información contenida en la botella podrá ser analizada y convertida en una buena decisión de mantenimiento (Carmona, 2015, pág. 5).

1.9.1.3.1. PUNTOS IMPORTANTES EN UN ANÁLISIS DE LUBRICANTES

En un análisis de lubricantes es importante verificar estas características

- **Análisis de Viscosidad:** Mide la resistencia del lubricante al flujo a una temperatura específica.
- **Análisis FTIR:** Mide la composición química de un lubricante.

1.9.1.4. ANÁLISIS DE VIBRACIONES

El estudio técnico-científico de las vibraciones mecánicas está directamente relacionado con el mantenimiento predictivo, pues suministran alertas al ser indicativo de fallos presentes o posibles en el medio plazo.

Las vibraciones pueden ser producidas por:

- **Vibraciones libres:** Estas son producidas por un sistema que vibra a causa de una fuerza que ya no actúa sobre él.
- **Vibraciones forzadas:** Son vibraciones que se producen por un medio del exterior, estas vibraciones suelen estar relacionadas con las máquinas rotativas o con otras que presenten movimientos alternos sujeto a alguna regla de periodicidad (Fernández & Calvo, 2019, pág. 10).

En el análisis de vibraciones se puede detectar el aumento de esfuerzos y tensiones que sufren los elementos, las deformaciones superiores al margen elástico, fatiga en los materiales, el desgaste que presentan y se puede detectar por donde ocurre una pérdida de energía y por ende mayor consumo energético.

Las vibraciones son consideradas como una de las mejores formas de evaluar las condiciones mecánicas de un equipo o maquinaria, la vibración es un síntoma de una falla potencial, cuyo origen se puede determinar mediante el análisis espectral de la frecuencia de vibración.

Los elementos que caracterizan una señal de vibración son: su frecuencia, su ángulo de fase y su amplitud, debido a que cada equipo o maquina funcionan dentro de unos parámetros ya establecidos de funcionamiento en condiciones normales, un cambio en estos parámetros se puede interpretar que necesita una intervención (Albarado, 2017, pág. 46).

1.9.1.5. TERMOGRAFÍA

Se le considera como una herramienta esencial que se utiliza en el mantenimiento predictivo, tratando de evitar grandes pérdidas económicas en las empresas, esto debido a las paradas inesperadas de un equipo y por ende esto conlleva una pérdida en la producción. La termografía permite la toma de decisiones, pudiendo ser estas de reparación o cambio de elementos, esto sucede debido a algo anormal que se esté presentando en la operación de un equipo (Olarte & Botero, 2011, pág 1).



Figura 1.3 Análisis Termográfico

El análisis termográfico de la **Figura 1.3** es una prueba no invasiva para la supervisión y el diagnóstico del estado de componentes mecánicos. Para el análisis se utiliza una cámara termográfica que permite identificar problemas en una fase temprana, de forma que se pueden documentar y corregir antes de que se agraven y resulten más costosos de reparar (FLIR Systems AB., 2011, pág. 12).

1.10. INDUSTRIA 4.0

El referente del concepto Industria 4.0 surge en Alemania durante el año 2011, cuando el Gobierno y el sector empresarial, encabezado por Bosch, conforman un grupo de investigación para encontrar un marco común que permitiera la aplicación de las nuevas tecnologías, entregando su primer informe en el 2012, que luego fue presentado en público durante la Feria de Hannover en 2013. Así inicia el paradigma de lo que hoy se conoce como la cuarta revolución industrial, referenciada bajo diferentes términos de acuerdo con el país en donde se desarrollen iniciativas para su investigación (Sittón, Rodríguez, & Muñoz, 2018, pág. 26).

“En la industria, se estima que la identificación temprana y la solución de problemas antes de que ocurran pueden ahorrar un 40% en costes de mantenimiento” (Fujitsu, 2019, pág. 12).

La industria 4.0 se refiere a un nuevo modelo de organización y de control de la cadena de producción, permitiendo incrementar el ciclo de vida del motor o de la maquina apoyado por las nuevas tecnologías de la información. La globalización ha permitido que la industria

aumente su competitividad reduciendo al mínimo los costos, es por eso por lo que la aplicación de estas tecnologías es un aspecto esencial para aumentar los niveles de producción.

Varios países disponen de estrategias para situar sus industrias en un nivel que les permita competir globalmente. Entre los países más destacados tenemos Alemania, existen otros países que también buscan sobresalir como; Dinamarca, Estados Unidos, Reino Unido y Corea del Sur (Del Val Román, 2017, pág. 4).

Entre los aspectos principales para apostar por la industria 4.0 son:

- El tiempo dedicado al mantenimiento se reduce hasta en un 50%.
- Aplicación de técnicas sofisticadas de monitoreo.
- La aplicación de sensores es una manera segura de llevar control de los equipos.
- Incremental la rentabilidad en corto plazo

La aplicación de esta industria permite la reducción de gran parte de costos de mantenimiento o reparación, permitiendo mejorar la gestión de las líneas de producción (Fujitsu, 2019, pág. 27).

La Industria 4.0 se encuentra centrada en abordar el análisis de datos y los métodos de aprendizaje automático para cambiar los procedimientos y técnicas de producción comunes, una de las ciencias que más está involucrada dentro de esta industria es la informática, incluida la inteligencia artificial y los campos de la computación (Einabadi & Baboli, 2019, pág. 2).

1.11. PARÁMETROS DE FUNCIONAMIENTO DEL MOTOR DIÉSEL

Los parámetros de funcionamiento de un motor diésel son primordiales en cuanto a su funcionamiento y a la manera en que se comporta el motor.

1.11.1. COMBUSTIÓN

“El proceso de combustión es el aspecto más importante de un motor de combustión interna” (Peiró, 2015, pág. 8). Por lo que se entiende por combustión a toda reacción química que va

acompañada de gran desprendimiento de calor. Los siguientes aspectos son señalados como los que determinan el crecimiento adecuado de la presión durante la combustión: razón de inyección de combustible, penetración del chorro, tamaño de la gota, razón de evaporación, intercambio de calor, relación de mezclado, reacciones químicas y efectos de dilución (Criollo & Matute, 2016, pág. 22).

1.11.2. PROCESO DE COMBUSTIÓN

En este proceso existe un primer intervalo de tiempo tras el inicio del proceso de inyección durante el cual aparentemente no hay liberación de calor importante. Para que la combustión se produzca y genere una reacción química debe estar formado por el oxígeno del aire y el combustible, en donde el combustible debe ser inyectado en estado gaseoso formando una nube llamada spray para su correcta combinación y respectivo proceso.

En el interior de la cámara de combustión se encuentra una cantidad de oxígeno suficiente para que se pueda producir la mezcla aire-combustible a la que se le considera que no es estable, es por ello que va a darse pequeñas reacciones químicas produciéndose el autoencendido de la mezcla en partes muy pequeñas, la duración de la fase de retraso es de unos 0.5 ms, valor que depende de las condiciones operativas del motor (Gálvez & Paucar, 2020, pág. 15).



Figura 1. 4 Proceso de combustión del motor diésel
(Ferrer, 2021, pág. 1)

En la **Figura 1.4** una vez que comienza la liberación de calor, se distingue la fase donde el combustible es quemado en su totalidad encontrándose dentro de los límites de inflamación, la combustión de toda esta mezcla acumulada hace que la energía se libere con una tasa bastante elevada, cuando la cantidad de volumen mezclado durante la fase de retraso se quema completamente, la liberación de calor prosigue a la llamada fase de combustión por difusión, en esta fase de difusión se suele admitir que el calor se libera en la medida en que se va produciendo la mezcla entre aire y combustible

En el momento en que el proceso de inyección llega al final ocurre una caída de la tasa de liberación de calor, la estructura de la llama toma una forma bastante más aleatoria, y la combustión va perdiendo intensidad hasta que termina normalmente durante la carrera de expansión del pistón (Gálvez & Paucar, 2020, pág. 5).

1.11.3. SENSORES DE TEMPERATURA

Normalmente, los sensores de temperatura son transductores que transforman la temperatura de la cantidad física en una señal eléctrica. En general los sensores de temperatura se pueden clasificar en tres tipos: resistivos, infrarrojos y termoelectricos.

- Los sensores resistivos (RTD) son resistencias que cambian con la temperatura.
- Los sensores infrarrojos miden la radiación electromagnética en la longitud de onda infrarroja.
- Sensores termoelectricos, también conocidos como termopares, son los sensores que, dependiendo de la variación de temperatura, se genera una señal de fuerza electromotriz.

Incluidos los procesos industriales, alrededor del 60% de todas las mediciones de temperatura se realizan con aplicaciones de termopar, 30% por sensores en base del plazo de resistencia al platino y el porcentaje restante de los otros tipos de sensores (termistores, pirómetros y otros). En la mayoría de las medidas industriales donde el rango de medición de temperatura es de 200° C a 400 ° C, tanto RTD como los termopares tienen un rendimiento excelente. Los termopares pueden tener aplicaciones en mediciones de temperatura que superan los 3000 °C con altas incertidumbres (Mezzadri, 2015, pág. 16).

Los sensores de temperatura en un motor diésel típicamente son cuatro: de refrigeración, de aceite, de combustible y de aire. Los sensores de temperatura de agua de refrigeración y de aceite son para evitar daños al motor. El de combustible es para controlar la inyección de mejor manera y el de aire es ocupado para mantener la relación aire-combustible (Braun, Pumarino, & Tolvet, 2017).

1.11.4. SENSOR DE PRESIÓN

Típicamente hay tres: turbo boost, de aceite y sensor barométrico. El primero es usado para medir la presión del aire a la entrada para que el ECM mantenga la relación aire combustible. El sensor de presión de aceite es para evitar algún daño al motor y el barométrico se utiliza para el caso en que el motor trabaje a mucha altitud (Braun, Pumarino, & Tolvet, 2017).

El sensor de presión trabaja con una resistencia eléctrica la cual es aplicada en capas sobre la membrana del sensor, esta resistencia varia si cambia su forma. Este cambio de forma (aprox. 0 a 50 bar) que se establece por la presión del sistema, originando una variación de voltaje de 0,5 a 4,5 voltios (Arízaga, 2014, pág. 16).

1.11.5. TEMPERATURAS DE TRABAJO

Dentro de la temperatura de trabajo del motor diésel hay que considerar el ciclo de trabajo real que cambia mucho con respecto al ideal en lo que es las presiones de admisión y escape que pueden estar en un valor cercano a la presión atmosférica del exterior. En cuanto a la combustión es difícil mantener una presión constante, depende mucho de la velocidad de la inyección (Morales Balladares & Ribadeneira Orti, 2007, pág. 55).

En la **Tabla 1.1** se puede observar que la temperatura de expansión en un motor diésel puede llegar hasta los 1562 °C (1836 °K), este valor de temperatura es bastante considerable y solo dura una cantidad mínima de tiempo, esta cantidad de calor se produce en el interior de la cámara de combustión.

Tabla 1.1 Propiedades termodinámicas para el proceso real del ciclo diésel

Estado	1	2	3	4
T (k)	290	921,52	1 836	761,22
P (KPa)	77,55	4 435,71	4 435,71	203,56
V (cm ³)	2 360	131,11	261,22	2 360
H (Kg/KJ)	290,16	957,09	2 071,63	790,10
U (KJ/Kg)	206,91	-----	-----	708,8

Fuente: (Ramirez, 2018, pág. 63)

1.11.6. PRESIONES DE TRABAJO

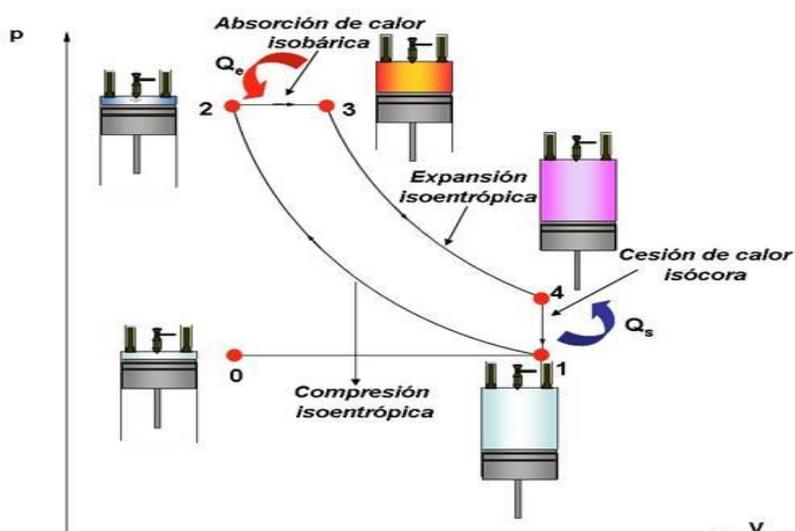


Figura 1.5 Cambio de presiones en los ciclos de trabajo
(Navarro, 2012, pág. 1)

En la **Figura 1.5** se observa cual es el ciclo de trabajo de un pistón, la utilizamos para analizar como varia su presión dependiendo en que tiempo se encuentra.

Primer tiempo (0 - 1): En este tiempo ingresa aire por la válvula de admisión. Durante esta etapa la presión en la cámara es reducida debido a que existe un vacío por la apertura de las válvulas de admisión.

Segundo tiempo (1 - 2): Cuando las válvulas se encuentran cerradas el aire se comprime adiabáticamente alcanzando unos 800°C. La presión en este punto empieza a elevarse, el pistón empieza su carrera ascendente.

Tercer tiempo (2 - 4): Aquí es cuando comienza la inyección del combustible líquido que es finamente pulverizado por los inyectores, produciéndose la combustión. Cuando se produce la inyección la presión sufre una leve caída causada por el aumento que existe en el volumen de la mezcla.

(2 - 3): Por efecto de la elevada temperatura a la que se encuentra el aire. Este proceso se efectúa a presión constante por la liberación de la energía química del combustible durante la combustión. La presión en este punto es la máxima debido a que existe una liberación de calor (Malaver, 2008).

(3 - 4): Aquí ocurre la expansión adiabática de los productos de la combustión, realizando el sistema un trabajo a expensas de su energía interna, hasta que el pistón llega al punto muerto inferior. Debido a que el pistón empieza a descender la presión también desciende produciendo la transformación de energía química en trabajo.

Cuarto tiempo (4 - 0): Se abre la válvula de escape y se produce un descenso de presión.

(4 → 1): Sigue el enfriamiento isocórico en el cual se cede calor que posteriormente sale (Malaver, 2008).

1.12. Ley de Gases de Boyle

Esta ley fue formulada por Robert Boyle y describe el comportamiento del gas cuando este mantiene su temperatura constante (isotérmica), en términos de volumen el volumen de una masa fija de un gas es inversamente proporcional a la presión. Cuando Boyle duplicó la presión en una cierta cantidad de gas manteniendo la temperatura constante, el volumen se redujo a la

mitad del original, cuando triplicó la presión del sistema el nuevo volumen era un tercio del original y así sucesivamente (Cortés, 2016, pág. 18).

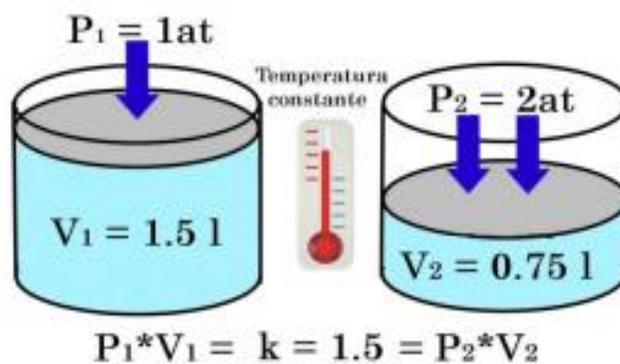


Figura 1. 6 Comportamiento de la presión según Boyle
(Pérez, 2018, pág. 8)

En la **Figura 1.6** se observa el comportamiento de los gases a temperatura constante donde en la imagen izquierda se duplica el volumen y la presión disminuye, y en la siguiente imagen se aumenta la presión y el volumen disminuye.

CAPÍTULO II

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1.MATERIALES

En este punto se da a conocer los diferentes elementos y materiales que ayudaran a obtener los datos necesarios en tiempo real de un motor diésel.

2.2.DATOS Y ESPECIFICACIONES DEL MOTOR

En este trabajo se utilizó el motor “MAZDA BT 50 CRDi” perteneciente a la carrera de Ingeniería Automotriz de la Universidad Técnica del Norte, en el cual se realizará las pruebas para la elaboración del sistema de mantenimiento predictivo. En la **Tabla 2.1** se da a conocer las características generales del motor diésel.

Tabla 2. 1 Especificaciones y características del motor diésel “Mazda BT 50”

Marca	MAZDA
Motor Tipo	BT50
Numero de cilindros	4 en línea, DOHC
Diámetro interior cilindro	93 mm
Carrera	92 mm
Cilindrada	2 499 cm ³
Relación de compresión	18a1
Aspiración	Turbo- Intercooler
Inyección	Electrónica de riel común CRDI
Potencia máxima	140,9 KW a 3 500 rpm (157,30 HP)
Torque máximo	363 Nm a 1 800 rpm
Orden de encendido	1-3-4-2

Revoluciones máximas	2 850
Ralentí	750 – 790 rpm
Tipo de recubrimiento del cilindro	Tipo seco, cilindro de acero inoxidable cromado
Sistema de distribución	Por banda
Compresión del motor	441 psi (3 040,59 KPa)
Lubricación	Aceite 15W40 SAE con grado API
Método de lubricación	Circulación a presión
Filtro de aceite	Cartucho desechable con componente de papel filtrante.
Filtro de combustible	Cartucho desechable con componente de papel filtrante y separador de agua.
Filtro de aire	Elemento desechable con componente de papel seco.
Voltaje nominal	12 V

Fuente: (Ramirez, 2018, pág. 28)

Los motores diésel se les conoce como motores MEC motor encendido por compresión, es decir el carburante inyectado se enciende sin que se necesite una chispa de encendido. La gran diferencia los motores MEP es que los motores de autoencendido requieren unos sistemas de inyección y unos diseños de motor más costosos y sofisticados que aumentan la presión de combustible hasta los 2000 bares si es necesario (Motorparts, 2018, pág. 3).

2.2.1. BUJÍA INCANDESCENTE

Los calentadores tienen que proporcionar en un tiempo lo más breve posible una temperatura elevada para ayudar al encendido y mantener esta temperatura independientemente de las condiciones marginales o incluso adaptarla en función de estas.

El tiempo de precalentamiento es más rápido y genera mayor confiabilidad de un arranque en frío, está elaborada de diferentes materiales uno de ellos es el zinc que evita la corrosión, su cuerpo en contacto con el cabezote del motor genera masa y en su parte superior va conectado la corriente necesaria para su funcionamiento (Denso, 2019, pág. 3).



Figura 2. 1 Bujía incandescente

Esta bujía incandescente que se muestra en la **Figura 2.1** servirá para medir la presión dentro de la cámara de combustión, se retirará el componente interno para que quede hueco y se convierta en una vía de obtención de datos.

2.2.2. SISTEMA DISIPADOR DE CALOR

Al disipador de calor se le conoce como un elemento de enfriamiento que evacua el calor por medio de un líquido de enfriamiento sea este glicol o cualquier otro tipo de líquido, esto debido al calor por conducción que se va a producir en el sistema al poner en contacto dos cuerpos con temperaturas diferentes, el objeto de mayor temperatura transmite calor al de menor temperatura (Méndez, 2016, pág. 2).

Por las elevadas temperaturas a las que está sujeto el sensor de temperatura es necesario disponer de un sistema de refrigeración para prevenir daños al efectuar los distintos ensayos experimentales.



Figura 2. 2 Sistema disipador de calor

En la **Figura 2.2** se muestra como está compuesto el sistema de enfriamiento por una bomba de agua de plumas que se encuentra colocada en un recipiente donde alberga el líquido refrigerante y posterior por medio de tuberías de caucho hace que circule por medio del sistema enfriador, donde el tubo de cobre va en el interior de un tubo formando un cilindro donde el líquido refrigerante hace contacto con el tubo caliente disipando el calor.

2.2.3. CÁMARA TERMOGRÁFICA

La cámara termográfica se le conoce como una técnica no destructiva y sin contacto con la superficie, que se basa en la lectura de la radiación térmica o energía infrarroja que emiten los cuerpos cuando están calientes, esta señal es emitida en forma de ondas electromagnéticas que viajan a la velocidad de la luz (Neita & Peña, 2011. pág. 42).



Figura 2. 3 Cámara Termográfica

La cámara termográfica **Figura 2.3** se usó para conocer los puntos más calientes del motor y a que temperatura se encuentran trabajando, esto sirve para conocer donde se colocará la termocupla, y así poder relacionar la variable de temperatura con el de la presión.

2.3.EQUIPOS DE OBTENCIÓN DE DATOS

Se muestra cuales son los equipos utilizados para la obtención de datos, características y especificaciones generales.

2.3.1. SENSOR DE PRESIÓN

Los sensores de presión son elementos que transforman la magnitud física de presión o fuerza por unidad de superficie en otra magnitud eléctrica que son los que se emplean en los equipos de automatización o adquisición estándar. Los rangos de medida son muy amplios, desde unas milésimas de bar hasta los miles de bar (Luiggi & Maurera, 2016, pág. 3).



Figura 2. 4 Sensor de presión y modo de conexión

El sensor que se muestra en la **Figura 2.4** está compuesto de tres cables principales, uno de alimentación (5 V), un cable de masa y un cable de señal, para que esta señal sea interpretada por el Arduino uno. El sensor de presión a utilizar debe cumplir los siguientes parámetros.

En la **Tabla 2.2** se detalla las especificaciones a las que trabaja el sensor de presión que se utilizara en las respectivas mediciones.

Tabla 2. 2 Características del sensor de presión

Parámetros	Valores
Presión	50 bares (5 Mpa)
Temperatura	85 °C
Material	Acero inoxidable
Voltaje de trabajo	5 V DC
Voltaje de salida	0,5 – 4,5 VDC
Error de medición	(+ -) 1,5 % FS

Este sensor nos permitirá medir la presión dentro de la cámara de combustión, para así determinar a qué presiones trabaja un motor dependiendo del estado de este, y así determinar el estado y vida útil de un motor.

2.3.2. SENSOR DE TEMPERATURA (TERMOCUPLA)

Las termocuplas que se observa en la **Figura 2.3** se conoce como el sensor de temperatura más común utilizado industrialmente. Una termocupla se hace con dos alambres de distinto material unidos en un extremo. Al aplicar temperatura en la unión de los metales se genera un voltaje muy pequeño en milivoltios el cual aumenta con la temperatura (Arian, 2019, pág. 2).

Las termocuplas industriales se pueden encontrar encapsuladas dentro de un tubo de acero inoxidable o de otro tipo de material, en un extremo está la unión y en el otro el terminal eléctrico de los cables, con una protección que tiene forma de una caja redonda de aluminio (Keifer & Effenberger, 2018, pág. 2).

Calibración	Elemento Positivo	Elemento Negativo	Rango de temperatura habitual	Línea de error estándar (elija la más grande)	Línea de error especial (elija la más grande)
Tipo T	Cobre	Constantan	-200°C-0°C	+/-1°C ou +/-1,5%	--/--
Tipo T	Cobre	Constantan	0°C-370°C	+/-1°C ou +/-0,75%	+/-0,5°C ou +/-0,4%
Tipo J	Hierro	Constantan	0°C-760°C	+/-2,2°C ou +/-0,75%	+/-1,1°C ou +/-0,4%
Tipo E	Cromel	Constantan	0°C-870°C	+/-1,7°C ou +/- 0,5%	+/-1,0°C ou +/-0,4%
Tipo K	Cromel	Alumel	0°C-1260°C	+/-2,2°C ou +/- 0,75%	+/-1,1°C ou +/-0,4%
Tipo N	Nicrosil	Nisil	0°C-1260°C	+/-2,2°C ou +/- 0,75%	+/-1,1°C ou +/-0,4%
Tipo S	90% Platino / 10% Rhinate	Pt 100%	0°C-1480°C	+/-1,5°C ou +/- 0,25%	+/-0,6°C ou +/-0,1%
Tipo R	87% Platino / 13% Rhinate	Pt 100%	0°C-1480°C	+/- 1,5°C ou +/- 0,25%	+/-0,6°C ou +/-0,1%
Tipo B	70% Platino / 30% Rhinate	94% Platino / 06% Rhinate	870°C-1700°C	+/- 0,5%	+/-0,25%

Figura 2. 5 Termocuplas
(Alutal, 2021, pág. 1)

La termocupla que se utilizará será una de tipo K que trabaja con temperaturas de hasta 400 °C tipo tornillo, su material es de acero inoxidable, esta termocupla nos servirá para poder obtener la temperatura de trabajo del motor la cual se muestra en la **Figura 2.5**.



Figura 2. 6 Termocupla utilizada

La termocupla está conformada de 5 cables como se muestra en la **Figura 2.6**, los cuales se utilizan para la comunicación con el Arduino, la termocupla funciona con una tarjeta que contiene un chip interno y debido a que el Arduino contiene también otro chip, consta de 3 cables que hacen que actúe la termocupla recibiendo la señal e interactuando con el Arduino, y tiene 1 cable de alimentación (5 V) y otro de masa.

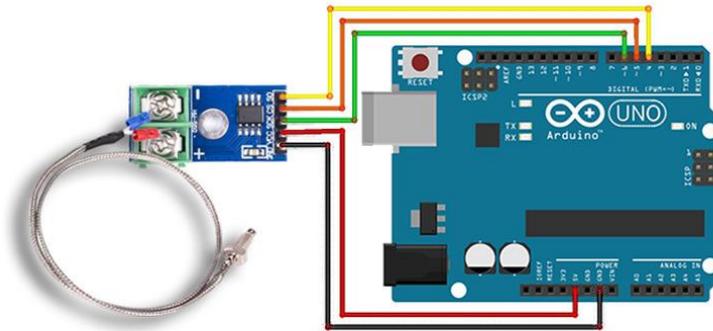


Figura 2. 7 Modo de conexión de la termocupla
(Figuroa, 2018, pág. 2).

En la **Figura 2.7** se observa de cuantos cables está formado la termocupla y como se realiza la conexión para la obtención de datos.

2.3.3. ARDUINO

El Arduino es un dispositivo que nos permite utilizar la estructura básica del lenguaje de la programación de Arduino, se compone de al menos dos partes o funciones que encierran bloques que contienen declaraciones, estamentos o instrucciones permitiendo realizar diferentes programaciones (Ruiz Guti, 2007, pág. 6).

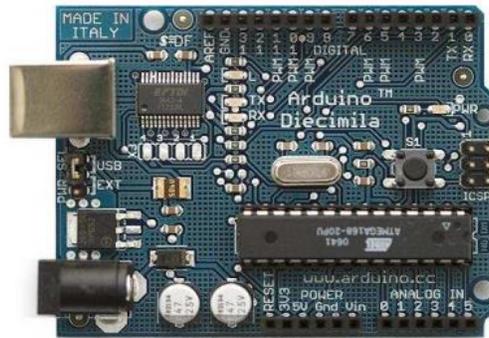


Figura 2. 8 Arduino
(Ruiz Guti, 2007, pág. 1).

El Arduino se utilizará para obtener los datos que van a obtener los sensores, el Arduino nos servirá como un puente de comunicación para evitar que la tarjeta principal pueda sufrir algún daño. El Arduino trabaja con un cable USB permitiendo conectarse para obtener los datos como se muestra en la **Figura 2.8**.

2.3.4. RASPBERRY PI

La tarjeta Raspberry Pi es una minicomputadora que tiene una tarjeta de memoria, puertos de entrada y salida, contiene un sistema Linux que permite adquirir datos (Halcafree, 2016, pág. 16).



Figura 2. 9 Tarjeta Raspberry Pi
(Halcafree, 2016, pág. 1).

Una Raspberry Pi **Figura 2.9**, es una especie de ordenador pequeño, con el cual se pueden hacer infinidad de cosas a un coste realmente bajo. Únicamente habría que conectarla a una fuente de alimentación, además de a un monitor, ratón y teclado para poder utilizarla. El disco duro es una tarjeta microSD, donde se almacena el sistema operativo y los demás ficheros, y las conexiones a internet pueden ser bien por cable, o en las últimas versiones realizadas del dispositivo las cuales son inalámbricas (García, 2018).

Esta tarjeta permitirá obtener los datos de los sensores pasando por el Arduino, esto con el fin de evitar cualquier tipo de inconveniente durante la etapa de medición, este tipo de tarjeta permite instalar programas y enviar datos al internet de manera inalámbrica sin la necesidad de cables externos.

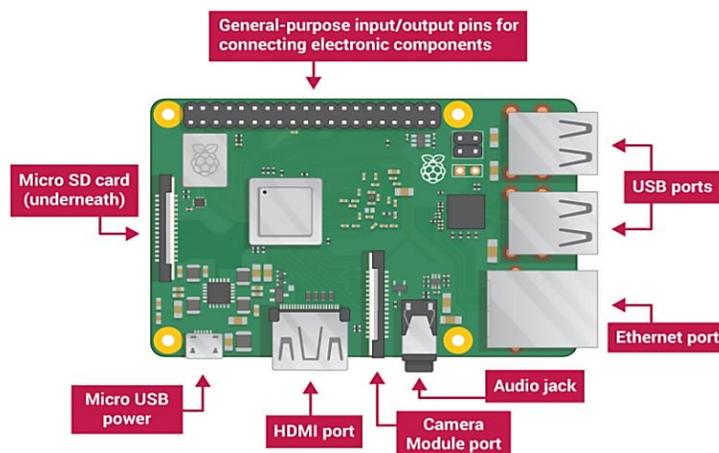


Figura 2. 10 Mapa de Conexiones de la Raspberry Pi
(García, 2018, pág. 1).

En la **Figura 2.10** se observa los puertos que dispone la tarjeta Raspberry P, para sus respectivas conexiones

Sus características principales son:

La tarjeta Raspberry Pi 3 es un micrordenador que tiene 1 GB de memoria RAM, con un procesador BCM2837 ARMv8, de 4 núcleos, que funciona a 1.2 GHz. Esta versión es la primera

en utilizar instrucciones de 64 bits. Incluye en esta versión señal Wi-Fi y Bluetooth 4.1 de base, sin necesidad de adaptadores, ampliando los horizontes de uso mucho más allá (García, 2018).

2.3.5. Python

Este programa se le considera una herramienta en el contexto de software libre que permite a los creadores de programas expresar el modo en que la conversación supuestamente debe fluir. Python es un lenguaje de nivel elevado y expresivo, generado para ser sencillo de leer y escribir para las personas, y fácil de leer y procesar para las máquinas, dentro de este software existen herramientas para el desarrollo de aplicaciones y páginas web (Severance, 2020, pág. 151).



```
#!/usr/bin/env python
import socket # importa librería para empaquetar datos
import serial # Importa librería para usar el puerto serial

serial_Arduino = serial.Serial('/dev/ttyUSB0', 9600) # Configura el puerto
ACMS de Arduino a 9600 bps
serial_Arduino.flushInput()
socket_s = socket.socket()
host = '192.168.1.100' # Configura el IP de la computadora que se conectará
port = 9999 # Configura el puerto de comunicación
backlog = 5
socket_s.bind((host, port))
socket_s.listen(backlog)

print "ESPERANDO UNA CONEXION" # Esperando a una conexión
socket_s, (host,port) = socket_s.accept() # Esperando a una conexión
print "CONEXION ESTABLECIDA" # Esperando a una conexión
# Mientras exista comunicación se reciben los datos del Arduino
while True:
    try:
        if(serial_Arduino.inWaiting() > 0):
            datos = serial_Arduino.readline()
            datos = datos.rstrip('\n')
            socket_s.send(datos)
    except:
        print "DESCONECTADO ... :(("
        socket_s.close()
        break
```

Figura 2. 11 Python.

En la **Figura 2.11** se muestran las líneas de programación utilizada en el software Python los cuales ayudan a la obtención y envío de datos hacia el programa de análisis de señales.

2.3.6. LABVIEW

LabVIEW (Laboratory Virtual Instrumentation Engineering Workbench) es un entorno de desarrollo y diseño de sistemas con un lenguaje visual gráfico. LabVIEW utiliza el lenguaje G (lenguaje gráfico) que acelera la productividad o desarrollo de programas para una mejor eficiencia en el desarrollo de sistemas (Masterhacks, 2013, pág. 4).

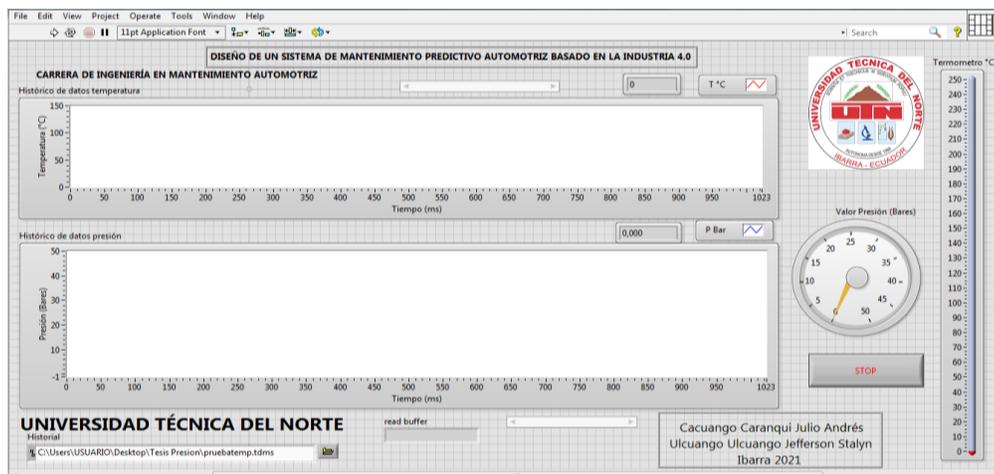


Figura 2. 12 Interfaz de datos en LabVIEW.

En la **Figura 2.12** la interfaz de LabVIEW nos permitirá analizar los datos obtenidos por los sensores para así determinar la vida útil del motor por medio de señales que se obtienen en el proceso de mediciones.

2.4.PROGRAMAS DE SOPORTE

Los programas de soporte servirán de ayuda en la activación y transporte de datos, que son de utilidad para que funcione de mejor manera el programa principal, para su posterior análisis de datos.

2.4.1. REMOTE.IT

Los datos que se almacenan en unidades de disco duro tradicionales tienen amplias capacidades de almacenamiento, el punto negativo en esto es el limitado acceso, por esta es necesario innovar y utilizar espacios de almacenamiento digital (Salvador, 2015, pág. 1).



Figura 2. 13 Adquisición de datos con remote.it
(High touch technologies, 2018, pág. 2)

En la **Figura 2.13** se muestra cómo se comunica la remote.it durante la adquisición de datos.

El software de control remoto es un tipo especial de software que hace posible compartir información a otros servidores a través de una conexión de red. La posibilidad de usar la computadora remota es útil no solo para computadoras administradores de red que instalan, por ejemplo, nuevos parches o software, pero también para usuarios que quieran resolver problemas con sus colegas distantes (Radoslaw, 2010).

La nube en el internet sirve para almacenar y captar una gran cantidad de datos informáticos de diferente tipo, sin la necesidad de que haya un equipo o computador con una gran cantidad de memoria para almacenar estos datos. En este trabajo nos ayudara a enviar los datos que se obtengan en las mediciones hacia la nube para no utilizar discos externos de almacenamiento.

El remote.it servirá como un puente de conexión entre el sistema de mantenimiento y los diferentes servidores que estén interesados en analizar los datos que se podrían obtener en la evaluación y diagnóstico de un motor diésel que se encuentre en un taller para realizar tareas de mantenimiento.

2.4.2. VNC VIEWER

VNC ofrece un servicio simple: le permite ver y controlar un sistema remoto de donde quiera que esté. VNC y sus programas familiares son el control remoto gratuito más popular software

que permite a los usuarios compartir sus escritorios con otros, e puede ver e interactuar con otra computadora en cualquier lugar de Internet, este servidor permite que el cliente controle, observe e interactúe con el servidor (Radoslaw, 2010).

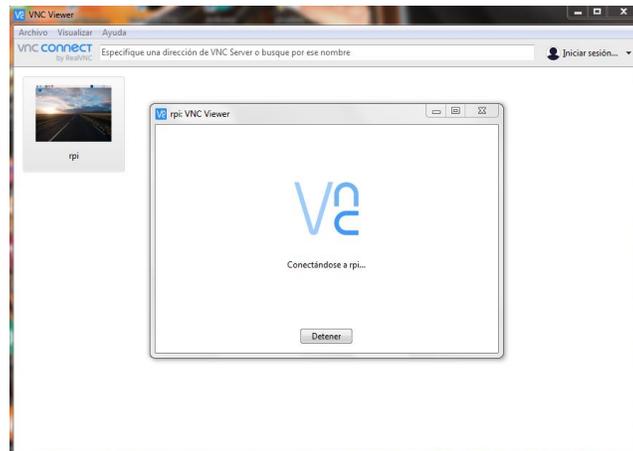


Figura 2. 14 Pantalla de VNC Viewer

Este programa **Figura 2.14** nos permite ingresar de manera remota a la tarjeta raspberry por medio de una dirección IP sin la necesidad de cables, el VNC Viewer nos permite ingresar a la raspberry y activarla para iniciar con la toma de datos.

2.5.MÉTODOS

Los métodos que se aplican en la caracterización de este sistema de mantenimiento varía dependiendo la fase en la que se encuentra.

2.5.1. SOFTWARE

Son los programas que ayudan en la obtención y análisis de los datos provenientes de los sensores.

2.5.1.1. INTERFAZ LABVIEW

El software que se va a utilizar para la interpretación de datos es el “LabVIEW “, captara las señales enviadas por los sensores de presión y de temperatura que estarán ubicados estratégicamente en los puntos más críticos del motor, obtendremos datos primordiales que nos dará diferentes datos como gráficas y valores del estado de trabajo del motor diésel.

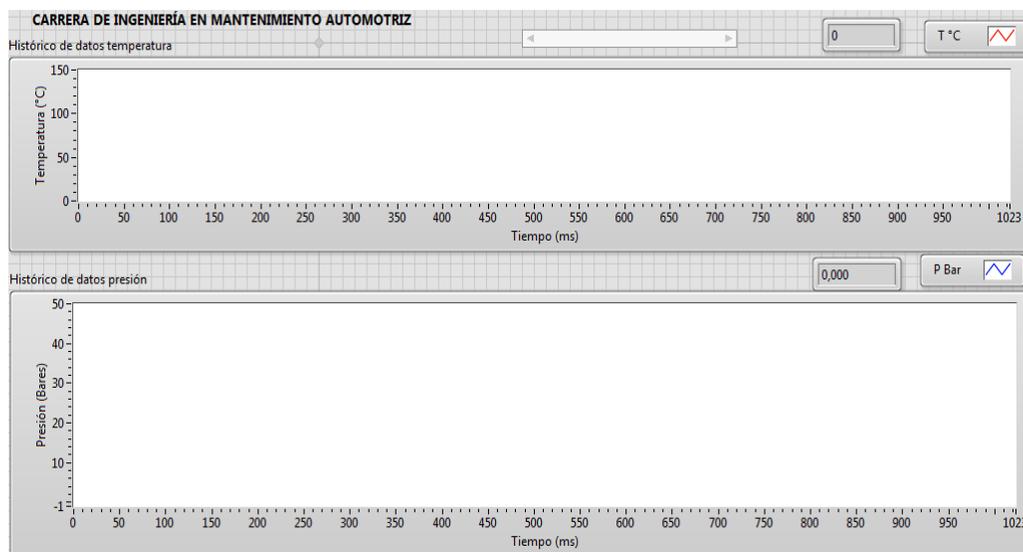


Figura 2. 15 Panel frontal de obtención de datos gráficos

En esta parte de la pantalla **Figura 2.15** se visualiza las características esenciales que interesan para analizar los datos obtenidos, en el eje x se tiene la variable tiempo la cual va a estar trabajando en milisegundos (ms) para obtener datos más reales, en el eje Y esta la amplitud que va a estar el valor de la variable que estamos midiendo sean estas temperatura o presión, que es la señal que los sensores envían.

Cada indicador y manómetro tienen una función en concreto que indica el funcionamiento del programa LabVIEW.

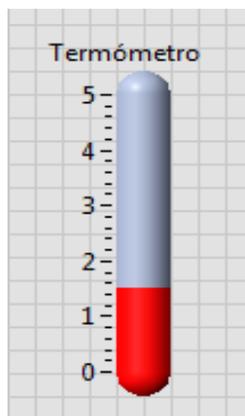


Figura 2. 16 Medidor de temperatura

El indicador de la **Figura 2.16** nos dará a conocer los valores de medición de temperatura que se vaya obteniendo en el transcurso de la etapa de pruebas y mediciones.



Figura 2. 17 Lector de valores

En la **Figura 2.17** se observa una pantalla donde se podrá apreciar el valor de la presión y temperatura que se obtiene durante la medición, variara dependiendo de los valores que obtengan los sensores de presión y temperatura respectivamente.



Figura 2. 18 Botón Stop

El botón “Stop” de la **Figura 2.18** permite detener la grabación de los datos que provienen de los sensores de presión y temperatura. Este botón va a permitir que tengamos el control del programa permitiéndonos grabar la cantidad de datos que consideremos necesarios.

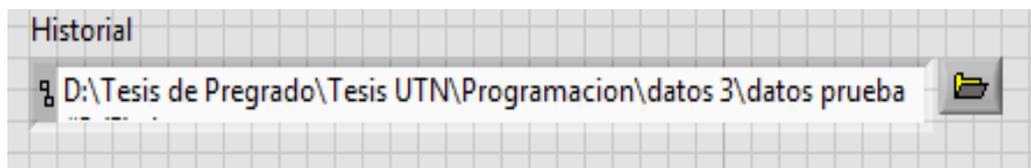


Figura 2. 19 Comando de almacenamiento

El comando historial de la **Figura 2.19** nos da la opción de escoger el lugar adecuada donde se va a guardar los datos obtenidos durante la etapa de mediciones, para un posterior análisis.

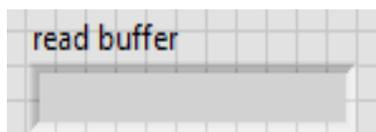


Figura 2. 20 Indicador de lectura

La **Figura 2.20** indicada el “Read Buffer” el cual permite que se pueda observar cuando la interfaz está trabajando correctamente, ya que cuando el programa empieza a ejecutarse para la toma de datos en este indicador se ven reflejados los valores que provienen de los sensores en variables de voltaje y temperatura, que corresponden a cada uno de los sensores, de presión y temperatura respectivamente.



Figura 2. 21 Manómetro de presión

El manómetro que se encuentra en la **Figura 2.21** de la interfaz nos indica cómo se comporta la variable presión durante la obtención de datos.

La interfaz LabVIEW está conformada de diferentes elementos y comandos que sirven para que el programa trabaje de forma adecuada y acorde a las necesidades que se requiere, este programa consta de dos partes principales y una de ellas es el diagrama de bloques donde se observa todo lo que se necesita en su constitución para que se vea simplificado en el panel frontal.

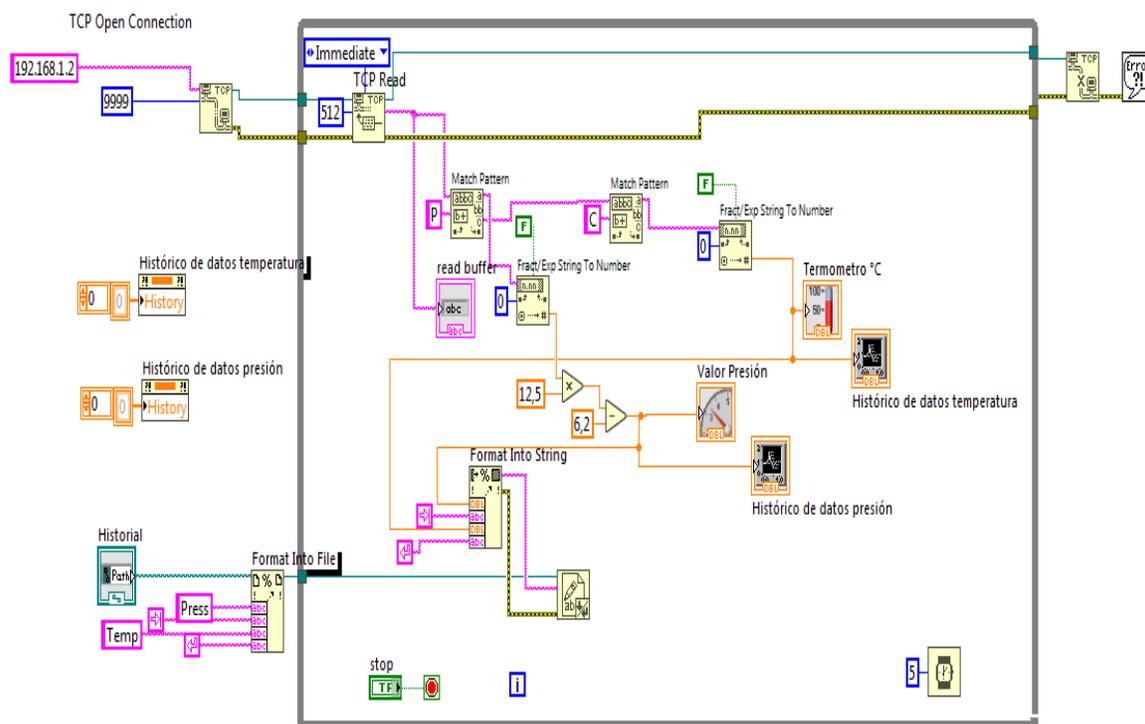
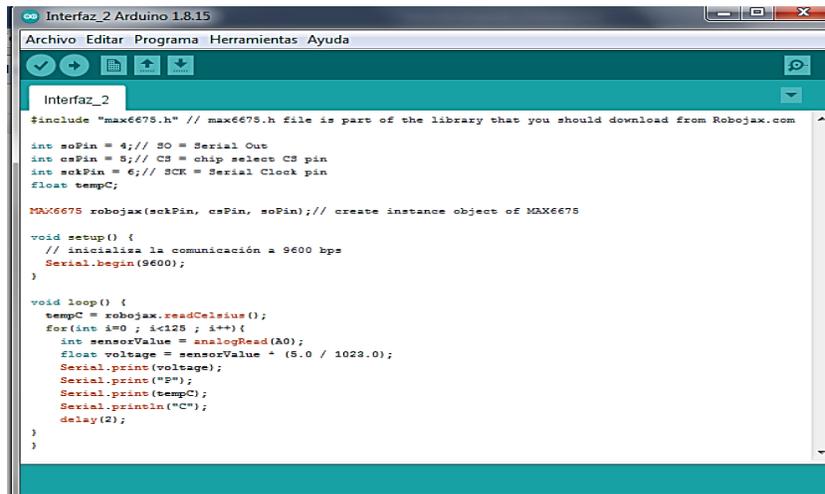


Figura 2.22 Bloque de diagramas de LabVIEW

Cada comando que se encuentra reflejado en la **Figura 2.22** cumple una función esencial y fundamental, que hace que el programa o la interfaz trabaje de forma idónea y se pueda tener una señal correcta del funcionamiento del motor en valores de presión y temperatura.

2.5.1.2. INTERFAZ ARDUINO

La interfaz del Arduino sirve para interpretar los datos que se adquiere por medio de los sensores respectivamente, las líneas de programación son fáciles de entender ya que es un software de fácil interpretación.



```

Interfaz_2 Arduino 1.8.15
Archivo Editar Programa Herramientas Ayuda

Interfaz_2
#include "max6675.h" // max6675.h file is part of the library that you should download from Robojax.com

int soPin = 4; // SO = Serial Out
int csPin = 5; // CS = chip select CS pin
int sckPin = 6; // SCK = Serial Clock pin
float tempC;

MAX6675 robojax(sckPin, csPin, soPin); // create instance object of MAX6675

void setup() {
  // inicializa la comunicación a 9600 bps
  Serial.begin(9600);
}

void loop() {
  tempC = robojax.readCelsius();
  for(int i=0; i<128; i++){
    int sensorValue = analogRead(A0);
    float voltage = sensorValue * (5.0 / 1023.0);
    Serial.print(voltage);
    Serial.print(" ");
    Serial.print(tempC);
    Serial.println("C");
    delay(2);
  }
}

```

Figura 2. 23 Programación de Arduino

El programa Arduino de la **Figura 2.23** es un dispositivo que permite el paso de datos hacia la tarjeta raspberry, se utiliza como un puente de comunicación.

2.5.1.3. INTERFAZ PYTHON

A este software se le considera un lenguaje de programación de código abierto, que es simple y fácil de entender. El cual no necesita de muchas líneas de programación para la obtención de datos que los sensores generan.

```

#!/usr/bin/env python
import socket # Importa libreria para empaquetar datos
import serial # Importa libreria para usar el puerto serial

serial_Arduino = serial.Serial('/dev/ttyACM0',9600) # Configura el puerto
ACM0 de Arduino a 9600 bps
serial_Arduino.flushInput()
socket_s = socket.socket()
host = "" # Configura el nombre de la máquina a conectarse
port = 9999 # Configura el puerto ethernet de comunicación
backlog = 5
socket_s.bind ((host,port))
socket_s.listen(backlog)

print "ESPERANDO UNA CONEXION ... :|" # Se espera una conexión
socket_s, (host,port) = socket_s.accept()
print "CONEXION ESTABLECIDA ..:|" # Mensaje mostrado al establecer
comunicación

# Mientras exista comunicación, se enviarán los datos del Arduino
while True:
    try:
        if(serial_Arduino.inWaiting() > 0):
            sArduino = serial_Arduino.readline()
            datos = sArduino.rstrip('\n')
            socket_s.send(datos)

# Si la comunicación se cae se desconecta y se deja de enviar datos
    except:
        print "DESCONECTADO .. :("
        socket_s.close()
        break

```

Figura 2. 24 Programación de Python

Las líneas de la **Figura 2.24** de programación Python, se utiliza como un lazo de comunicación entre los componentes hardware y la tarjeta raspberry pi, este programa se encuentra instalado en la memoria de las raspberry permitiendo la circulación de datos.

2.5.2. PUNTOS DE MEDICIÓN

Para encontrar los puntos de medición es necesario saber dónde son los puntos más críticos del motor diésel, en donde se puede obtener valores para analizar el funcionamiento.

2.5.2.1. CÁMARA DE COMPRESIÓN

Uno de los puntos es la cámara de compresión donde se pondrá un sensor de presión para medir como se encuentra trabajando el motor, se analizará cuando sube o baja la presión dentro de la cámara de compresión mientras este se encuentre en funcionamiento.

En la Tabla 1.1 se tiene el valor referencial de presión máxima que puede alcanzar el motor diésel, el valor de presión es de 45 (Bares) aproximadamente cuando el motor esta en condiciones de trabajo muy buenas.

Se le considero un punto de medición estratégico por el motivo de que cuando un motor diésel aumenta o baja la presión en la cámara se debe a diferentes daños mecánicos o de funcionamiento y podremos anticiparlos y dar su debido mantenimiento al motor de combustión.

2.5.2.2. PUNTO DE CALOR

Se le considero un punto de medición necesario debido a que, con los datos de la temperatura, el motor regula la inyección y por ende cuando hay una variación en la cantidad de combustible la temperatura también varia.

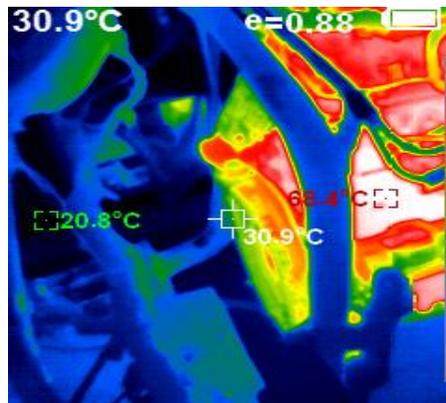


Figura 2. 25 Análisis del punto caliente

En la **Figura 2.25** muestra el análisis del punto de calor donde se va a ubicar el sensor de temperatura, el punto de calor se utiliza para saber cuándo el motor se encuentra en óptimas condiciones para empezar con la toma de datos, esto debido a que el motor trabaja de mejor manera cuando está caliente y se puede obtener los datos de presión de mejor manera.

2.5.3. ADAPTACIÓN DE MATERIALES Y COMPONENTES

Después de ver analizado los puntos de medición procedemos a realizar las adaptaciones necesarias para que los materiales y equipos funcionen correctamente.

Como primera adaptación a una bujía de precalentamiento le vamos a perforar para posterior ponerle soldando con suelda amarilla un tubo de cobre que nos permite adaptarle en la parte superior el sensor de presión para obtener los datos.



Figura 2. 26 Bujía de Precalentamiento perforada

La **Figura 2.26** muestra la bujía de precalentamiento que va a cumplir la función de un tubo que permitirá que llegue la presión de la cámara hacia el sensor. Este tubo debido al calor generado por el cilindro necesita de un sistema de enfriamiento el cual disipara el calor necesario para que el sensor no sufra daños debido a la alta temperatura.



Figura 2. 27 Sistema de refrigeración

El sistema de enfriamiento de la **Figura 2.27** consta de un depósito de líquido, una bomba pequeña que impulse el líquido desde el recipiente por las cañerías que conducen el fluido hacia el tubo refrigerante donde está en contacto directo con el calor para enfriarlo. Este dispositivo de enfriamiento tiene una longitud de 35 cm, desde la parte superior de la bujía de precalentamiento.



Figura 2. 28 Sensor de presión en funcionamiento

El sensor de presión como se muestra en la **Figura 2.28** se encuentra acoplado en la parte superior del tubo del sistema de enfriamiento para la obtención de datos. Esto con el fin de que la presión que se genera en la cámara de compresión llegue de forma directa hacia el sensor.

La señal del sensor va a ir adaptada hacia un pin de entrada del Arduino, este servirá como una protección extra para proteger la tarjeta Raspberry Pi. Para que no exista ningún inconveniente con la obtención de datos se realizó una placa con borneras para que los cables de los sensores se mantengan sujetos.

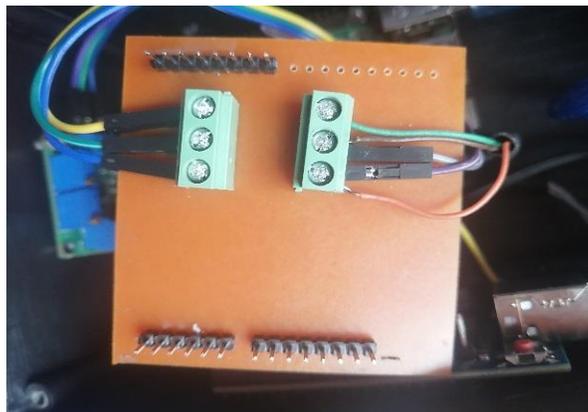


Figura 2. 29 Placa con borneras para conexión

La **Figura 2.29** muestra la conexión de el sensor de presión que tiene tres cables los cuales van conectados hacia el Arduino que sirve como medio de transporte de datos.

Para proceder a instalar el sensor de temperatura (termocupla) con la ayuda de la cámara termográfica analizaremos el punto más caliente del motor para así poder obtener ese valor. Se

procede a instalar la termocupla en algún punto del motor que tenga mayor propagación de calor, posterior se procederá a enviar los datos del sensor hacia el Arduino.

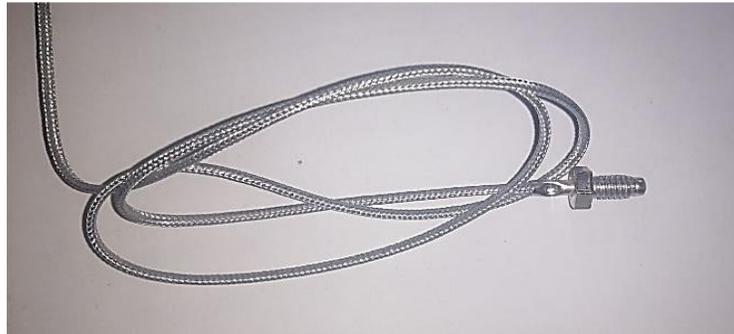


Figura 2. 30 Termocupla tipo tornillo

En la **Figura 2.30** se observa el sensor de temperatura. El punto en el cual se ubicó el sensor de temperatura es en el múltiple de escape a la salida del cilindro número 4, el cual fue el punto más caliente que se encontró para su posterior ubicación, su fijación es fácil debido a que es un tipo tornillo.

Los datos que llegan al Arduino pasaran posteriormente a la tarjeta Raspberry Pi 3 que es una tarjeta que posee una memoria propia y donde se encuentra instalado el programa Python.

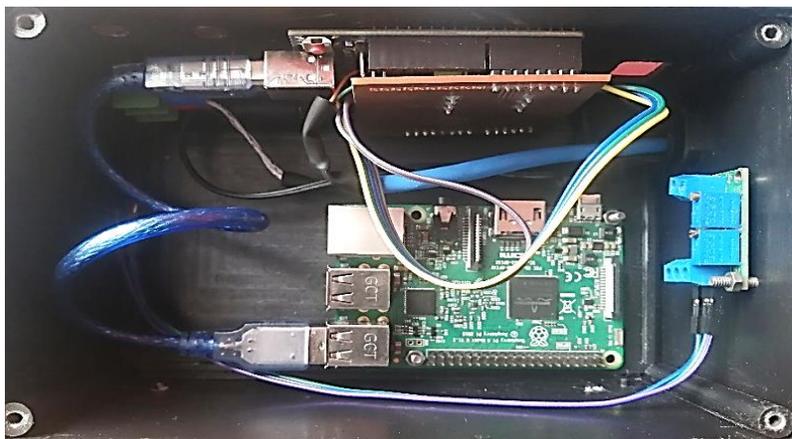


Figura 2. 31 Interfaz física de datos

La **Figura 2.31** de interfaz física de datos consta de diferentes elementos esenciales para que el sistema de mantenimiento trabaje adecuadamente. Este dispositivo está conformado de un sensor de presión y un sensor de temperatura el cual trabaja con una tarjeta que interpreta la entrada y salida de señal, una placa para que permita una correcta conexión, un Arduino para la captación de datos y una tarjeta raspberry pi 3 que envía los datos por medio de una red inalámbrica.

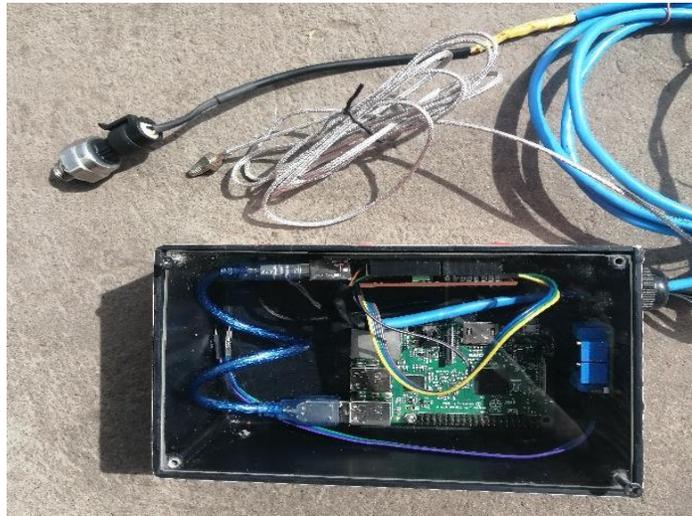


Figura 2. 32 Elementos de sistema de mantenimiento

El sistema de mantenimiento de la **Figura 2.32** trabaja físicamente conectado todo entre sí por medio de cables, desde los sensores pasando por el Arduino y por la tarjeta raspberry.

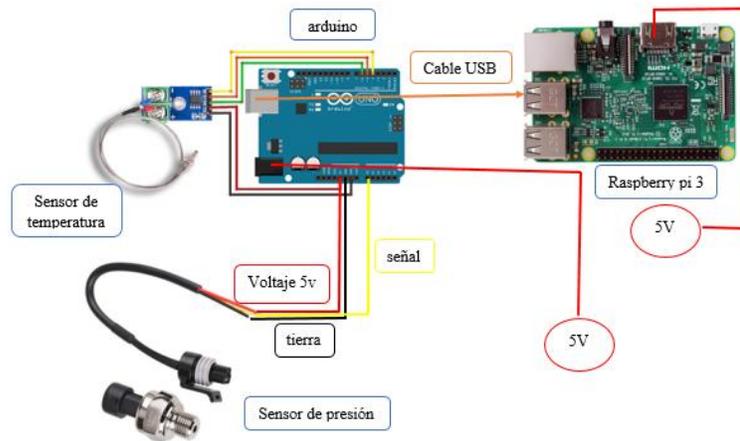


Figura 2. 33 Conexión del sistema de mantenimiento

La conexión de la **Figura 2.33** da a conocer cómo se encuentra conformado el sistema de mantenimiento predictivo el cual no necesita de un software de soporte para su funcionamiento.

es un diagrama de conexión en donde los datos que serán medidos y obtenido se enviaran directamente a la nube en internet “Remote.it”, este servirá como un medio de transporte de los datos obtenidos para que llegue a los servidores para su posterior análisis. La ventaja de este medio de transporte es que esos datos se pueden ver en cualquier parte del mundo sin la necesidad de estar presentes físicamente durante la etapa de obtención de datos.

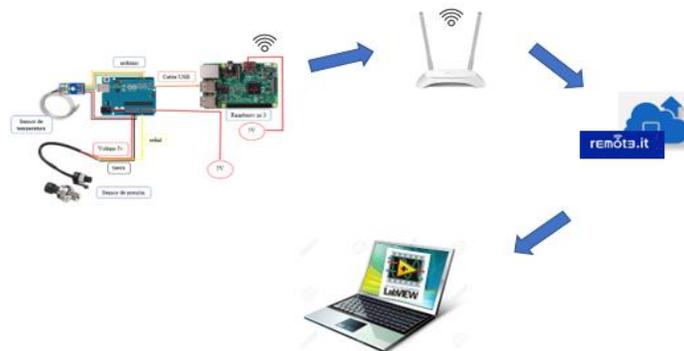


Figura 2. 34 Modo de uso del sistema de mantenimiento

Cuando los datos obtenidos de la **Figura 2.34** se encuentran en la nube de internet se procede a la transferencia de datos por medio de la utilización de una dirección IP y un canal que nos brinda el remote.it para poder ponerlos en el programa de LabVIEW, para su posterior análisis de variables tomadas.

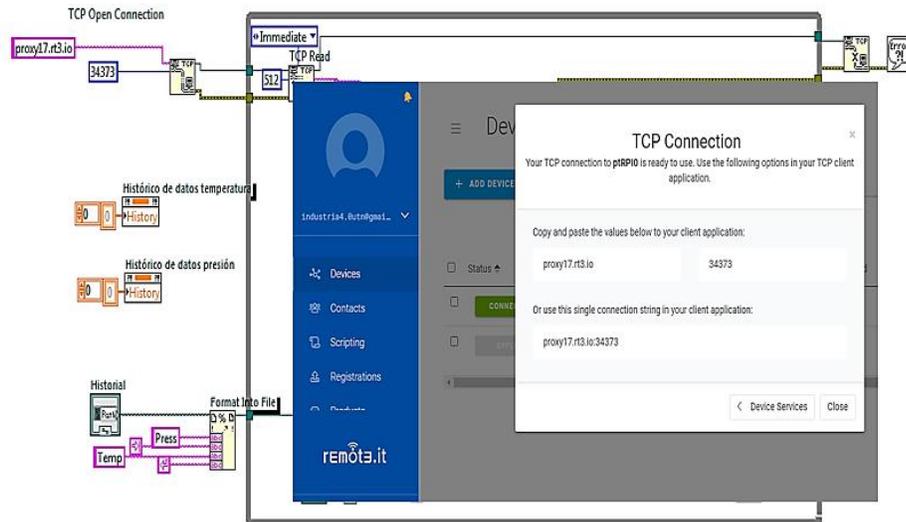


Figura 2. 35 Funcionamiento con remote.it a través de internet

En la **Figura 2.35** se observa que tipo de dirección IP y canal de entrada nos el programa remote.it para poder ingresar en nuestro programa de análisis de datos.

Otro modo de comunicación que no necesita de internet, pero debe existir una red wifi como modo de comunicación con la computadora de trabajo, este modo de trabajo es solo cuando se quiere trabajar en un solo lugar. La única diferencia es que se debe cambiar los canales de entrada por los que asigna el router de trabajo, por lo general la tarjeta raspberry se conecta a la red inalámbrica y a esta le asigna una dirección IP y un canal de entrada.

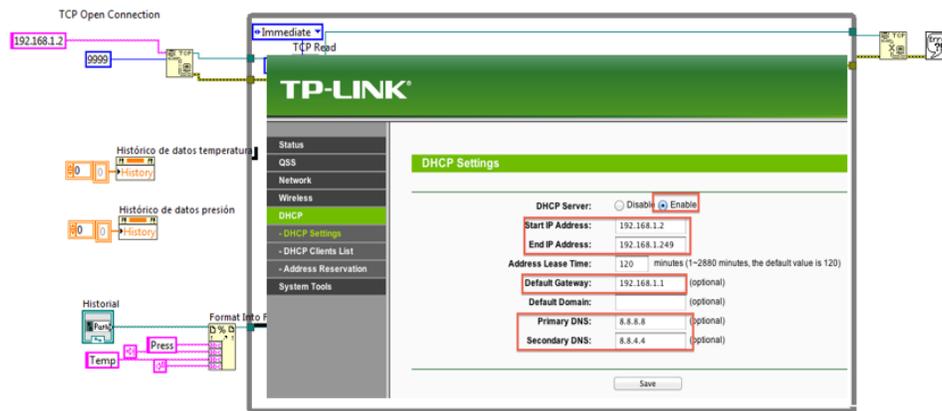


Figura 2. 36 Funcionamiento con red local de forma directa

La dirección IP de la **Figura 2.36** es la entrada IP que variara dependiendo de cuál sea la dirección que le asigne el router a la tarjeta raspberry, el canal de entrada por lo general es 9999, se le considera un numero en general cuando se desea comunicar directamente la raspberry con la red inalámbrica.

Los datos que lo sensores obtienen durante las mediciones con el motor encendido llegan al servidor con el que se analiza los datos, y se evalúa si el motor se encuentra trabajando en óptimas condiciones. En el análisis de datos que se debe tomar en cuenta el año de fabricación del motor, las condiciones en las cuales se encuentra trabajando y sobre todo el tiempo de funcionamiento de este.

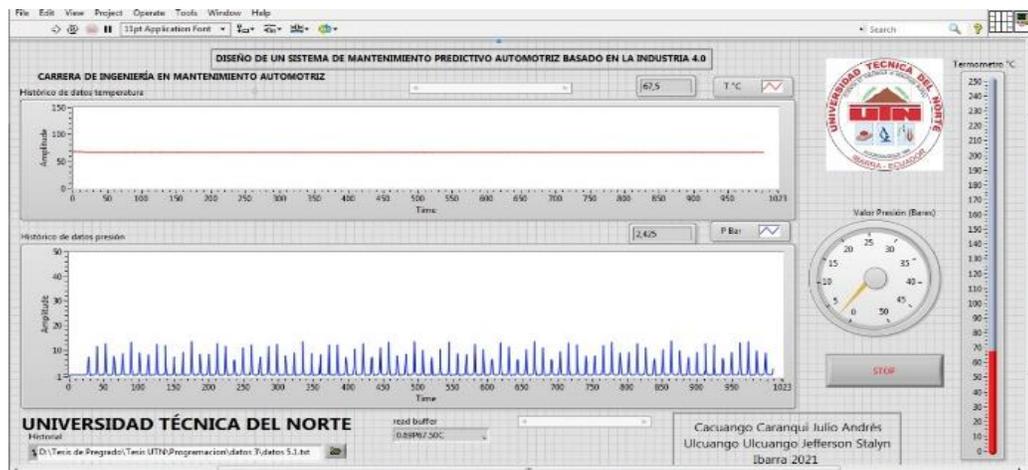


Figura 2. 37 Interfaz LabVIEW obteniendo datos

Este programa de la **Figura 2.37** tiene una gran ventaja ya que podemos interpretar esos datos en graficas e indicadores que nos darán a conocer cómo se encuentra trabajando el motor.

Con los resultados ya procesados en el software LabVIEW se procederá a elaborar un plan de mantenimiento predictivo que ayude a mejorar la vida útil del motor. Esto con el fin de mejorar lo que la utilidad del motor en su funcionamiento.

CAPÍTULO III

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este capítulo se detallan los resultados que se obtuvieron durante las mediciones que se hicieron en campo, se analiza e interpreta las señales y graficas obtenidas.

Para la obtención de datos se utilizó un sensor de presión de aproximadamente 50 bares (5 Mpa) que es el encargado de obtener la variación de presión que puede generarse en el interior del cilindro y un sensor de temperatura con rango de trabajo hasta los 400 °C que obtendrá la temperatura de trabajo en el que se encuentra el motor, estos sensores enviaran los datos a un Arduino el cual interpretara y procesara los datos que se obtengan y con la ayuda de una tarjeta raspberry se enviaran al computador de forma inalámbrica para interpretarlas y por medio del software LabVIEW se obtendrá y graficara las señales que se puedan obtener en parámetros de presión vs tiempo y temperatura vs tiempo.

Para realizar las respectivas mediciones se utilizó un motor Mazda 2.5 CRDi a diésel que se encuentra disponible en el laboratorio de la carrera de ingeniería en mantenimiento automotriz de la UTN, en donde se obtuvo los datos en el cilindro numero 4 por un tiempo estimado de un minuto como máximo debido a la gran cantidad de datos que pueden generarse, estos datos se pueden analizar también por medio de Excel y reflejaran la misma grafica que se genera en el software LabVIEW.

Para realizar las mediciones y obtener los datos respectivos se trabajó con el motor a 750 rpm (ralentí) y se analizó respectivamente el tiempo en que se demora el pistón número 4 en completar un ciclo completo de trabajo.

3.1.CONDICIONES INICIALES DE LA PRUEBA

Para iniciar con la toma de datos del motor es necesario determinar el estado de este, realizando una inspección visual analizando el estado de todos los componentes y accesorios del motor para que este funcione correctamente, posterior al análisis visual del motor se procede con la

preparación. Uno de los aspectos que se debe tomar en cuenta es que para realizar las mediciones de presión el motor debe encontrarse encendido.

Para realizar las respectivas mediciones se debe tener en cuenta que el motor debe estar preparado, lo cual implica que debe cumplir con ciertas características; el motor debe encontrarse en una temperatura de funcionamiento estable (no debe estar frío) y el comportamiento de operación debe ser lo más normal posible con un ralentí estable. El motor se encuentra trabajando a 750 rpm ralentí estable. Se procede a realizar las mediciones.

Si el motor presentara fallas en su funcionamiento como el ralentí inestable se deben corregir antes de realizar la toma de datos, esto con la finalidad de tener un número de revoluciones de referencia.

3.2. ANÁLISIS DE SEÑALES

El análisis de señales se hizo utilizando equipos automotrices que miden variables primordiales como el tiempo, cantidad de gráficas, permitiendo conocer cómo trabaja el motor diésel.

3.2.1. SENSOR CKP

La señal del sensor de posición del cigüeñal servirá para poder determinar el tiempo que se demora el cigüeñal en cumplir un ciclo completo en el pistón, es decir el tiempo que se demora en dar 2 vueltas el cigüeñal para que se cumplan los cuatro tiempos.



Figura 3. 1 Señal del sensor CKP

Con la señal que se muestra en la **Figura 3.1** se puede determinar que el cigüeñal se demora 160 ms en dar 2 revoluciones para que se cumpla un ciclo completo en el pistón, con este tiempo se puede hacer referencia a la gráfica que muestre el software LabVIEW para proceder a realizar un análisis.

3.2.2. SENSOR DE PRESIÓN

La señal del sensor de presión sirve para determinar el estado en el que se encuentra el motor, el sensor toma los datos de presión y los envía por medio de un Arduino y una tarjeta raspberry hacia la computadora.

El sensor de presión tiene un voltaje de salida y cambia sus valores dependiendo a la presión en la que se encuentre sometido, en la **Tabla 3.1** se observa los valores referenciales dados por el distribuidor.

Tabla 3. 1 Valores referenciales del sensor de presión

Voltaje	Presión
0.5 V	0 bares
2.2 V	24.44 bares (354.47 psi)
4.5 V	50 bares (725.189 psi)

Esta es la señal que se obtuvo de la medición de la presión en el cilindro número 4.

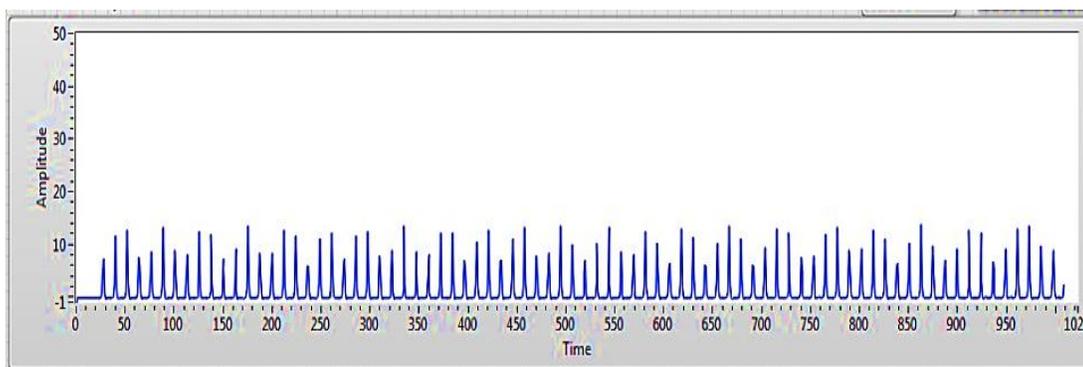


Figura 3. 2 Señal de la presión en LabVIEW

La **Figura 3.2** muestra la variación dentro del cilindro durante los cuatro tiempos que cumple el pistón número 4, en el eje Y se encuentra el valor de la amplitud que es el valor de presión en (bares) y en el eje X representa el valor del tiempo en (ms).

En la gráfica se puede observar que la presión dentro del cilindro no es superior a los 15 bares, esto quizás se debe a las condiciones de trabajo del motor, el cual no está sometido a cargas ni a elementos accesorios propios que posee un vehículo que se encuentre sirviendo al usuario. También se debe a que el motor no realiza una combustión completa en el cilindro a analizar.

3.2.2.1. ANÁLISIS DE LA SEÑAL DE PRESIÓN

Para la interpretación de la señal se utilizó el tiempo de la señal del sensor CKP que son los 160 ms, en este lapso en la gráfica de presión se forman diferentes picos de presión los cuales forman una señal referencial.

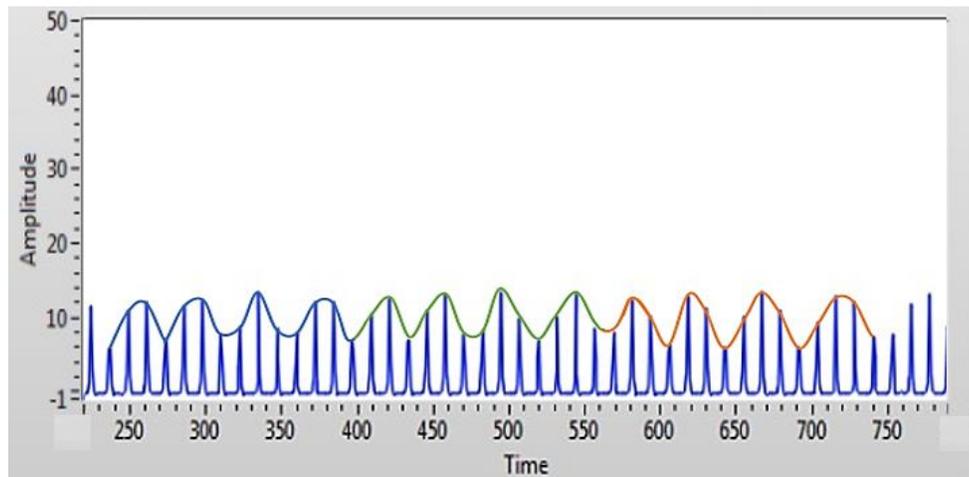


Figura 3. 3 Señal referencial de presión

La señal referencial que se forma en la **Figura 3.3** se debe a la cantidad de volumen que existe en la cámara de combustión y se la analizo mediante la ley de gases de Boyle.

Ley de gases de Boyle

La ley de Boyle nos dice que a temperatura constante el volumen ocupado por una masa definida de un gas es inversamente proporcional a la presión aplicada. Esto se refiere a que cuando la presión aumenta el volumen tiende a bajar, mientras que, si la presión disminuye el volumen aumenta (Fuentes, 2019).

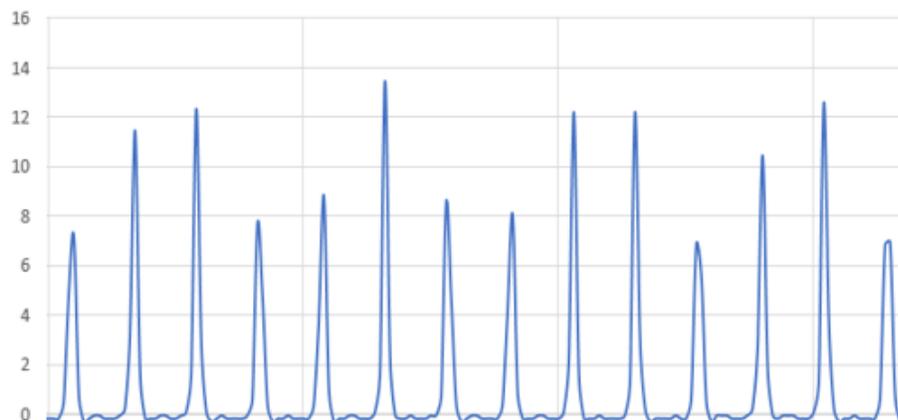


Figura 3. 4 Datos para analizar

Los picos de presión más elevados en **la Figura 3.4** forman la señal de referencia a analizarse en la figura 3.5.

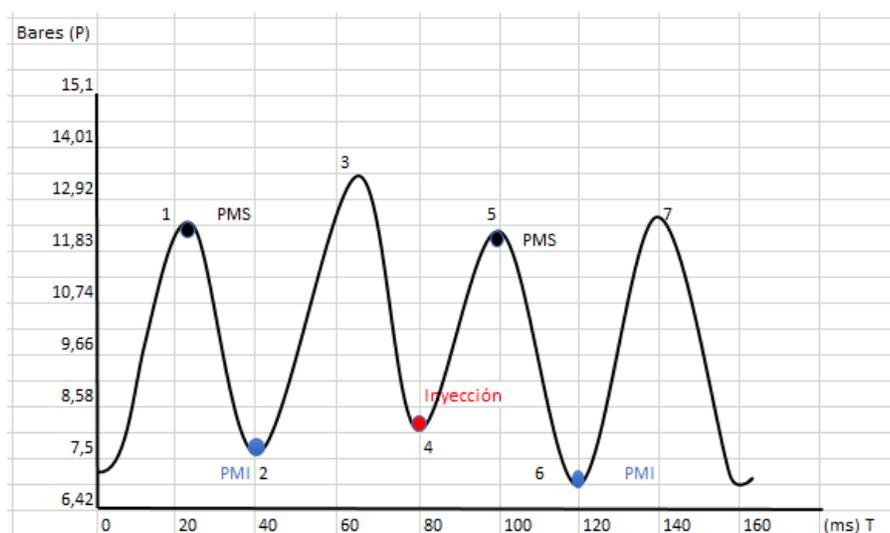


Figura 3. 5 Análisis de señal de referencia de presión

La **Figura 3.5** nos da a conocer cómo la presión se comporta durante un ciclo de trabajo completo.

En el punto **1** el pistón se encuentra en el PMS debido a que culminó de evacuar los gases y está a punto de empezar a admitir la nueva mezcla. El valor de la presión es elevado debido a que el volumen de la cámara es muy reducido.

Desde el punto **1** hasta el punto **2** el pistón comienza su carrera descendente admitiendo la entrada de aire para la formación de una nueva mezcla. El valor de la presión sufre una caída debido a que está aumentando el volumen en el interior del cilindro.

Del punto **2** hasta el punto **3** el pistón se encuentra comprimiendo el volumen de la cámara. La presión va en aumento debido a la reducción de volumen que está sufriendo el cilindro.

Del punto **3** al punto **4** existe una caída de presión debido a que se está inyectando combustible en la cámara de compresión aumentando el volumen de la mezcla, pero el pistón se encuentra todavía en carrera ascendente. Esto se debe a que se quiere aprovechar al máximo la energía química producida por la combustión de la mezcla.

Del punto **4** al punto **5** existe un aumento en la presión porque el pistón comprime de manera rápida toda la mezcla y se encuentra en el PMS.

Desde el punto **5** al **6** el pistón comienza a descender debido a la energía química disipada por la quema de la mezcla aire-combustible. La presión comienza a disminuir debido a que el volumen de la cámara comienza a aumentar.

En el punto **6** el pistón llega al PMI debido a la energía que fue disipada por el combustible.

Desde el punto **6** hasta el punto **7** el pistón comienza su carrera ascendente. La presión va en aumento debido a que empieza a reducirse el volumen, pero la válvula de escape aun no empieza a abrirse.

Desde el punto **7** en adelante existe una caída de presión debido a que empieza a abrirse la válvula de escape y empieza la evacuación de los gases generándose un gran vacío y por ende disminuye la presión.

Desde el momento en que se abre la válvula de escape se genera una depresión mientras el pistón sigue con su carrera ascendente, antes de que el pistón llegue al PMS la válvula de admisión va abriéndose para generar la nueva mezcla, de ahí que ya empiece de nuevo a generarse una presión. Y se repite de nuevo la gráfica.

3.2.3. SENSOR DE TEMPERATURA

El sensor de temperatura trabaja hasta un rango de 400 °C, lo cual es recomendable para medir la temperatura del motor. La temperatura de trabajo en el motor es un factor muy importante para el funcionamiento adecuado.

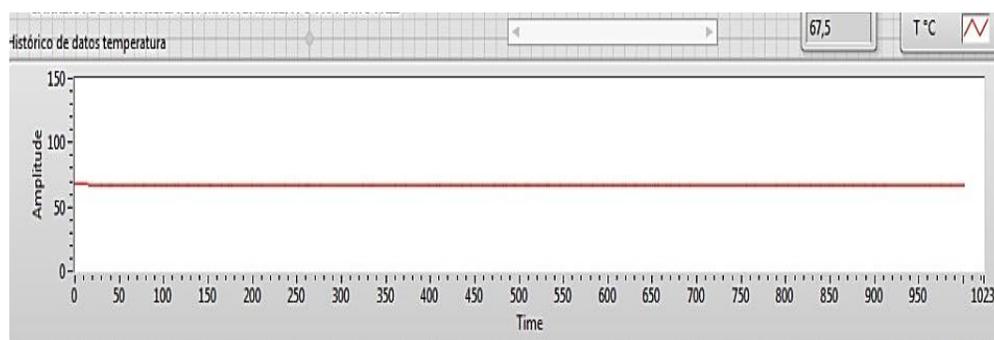


Figura 3. 6 Señal de temperatura en LabVIEW

La señal del sensor de temperatura **Figura 3.6** va a ser siempre en línea horizontal debido a que el motor va aumentando su temperatura de trabajo dependiendo del tiempo en el que se encuentre funcionando.

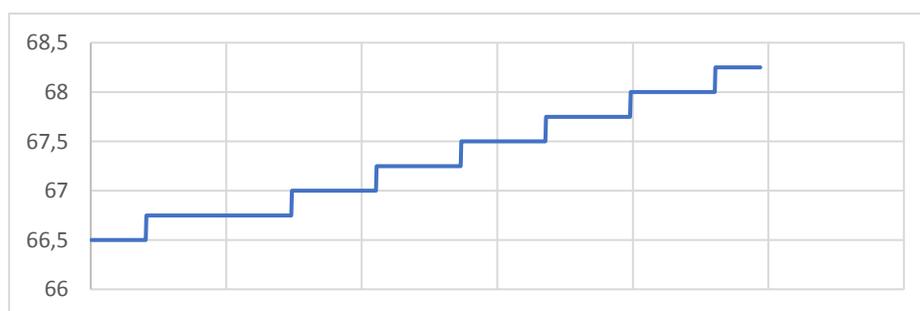


Figura 3. 7 Comportamiento de la señal del sensor de temperatura

La **Figura 3.7** da a conocer el comportamiento de la señal del sensor, durante la etapa de mediciones se pudo determinar que el motor debe encontrarse a una temperatura superior a los 65 °C para poder realizar la toma de datos. Se debe a que a esa temperatura encontramos que las señales son más visibles en cuanto a cambios en sus valores.

3.3.PRUEBAS Y MEDICIONES

Para todas las pruebas realizadas se trabajó a 750 rpm ralentí, con una temperatura mínima de 65 °C para la toma de datos. El pistón numero 4 para cumplir un ciclo completo de cuatro tiempos necesita 2 vueltas de cigüeñal, el tiempo de giro de 2 rpm es de 160 ms, en donde se forman 14 picos elevados.

3.3.1. PRUEBA # 1

Para esta prueba se utilizó el pistón número 4 del motor. Para la toma de datos es recomendable realizar máximo en 1 minuto de tiempo debido a la cantidad de datos que se generan.

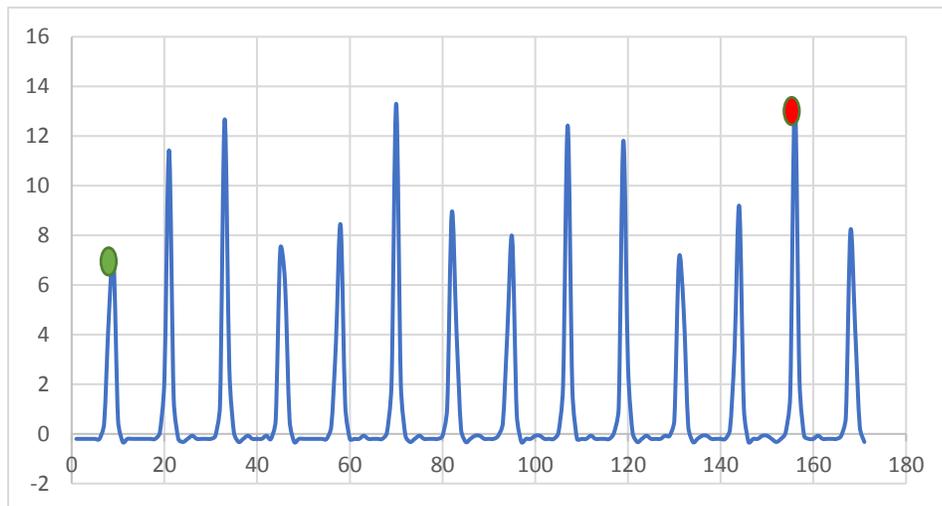


Figura 3. 8 Datos de presión para prueba 1

Como se ve en la **Figura 3.8** la presión no excede los 14 bares y en los 160 ms que se demora en dar 2 vueltas del cigüeñal se generaron 14 picos elevados que forman la señal de referencia lo cual nos quiere decir que la toma de datos es buena.

La presión mínima que existe es de 7.05 bares que se produce cuando el pistón se encuentra en carrera ascendente y depende mucho del retraso a la apertura de la válvula de escape, esta presión no va a ser cero debido a que siempre va a existir una presión en el cilindro, se tiene una presión máxima de 13,42 en la fase de evacuación de gases antes de que la válvula de escape se abra y todos los gases quemados aún se encuentran en la cámara.

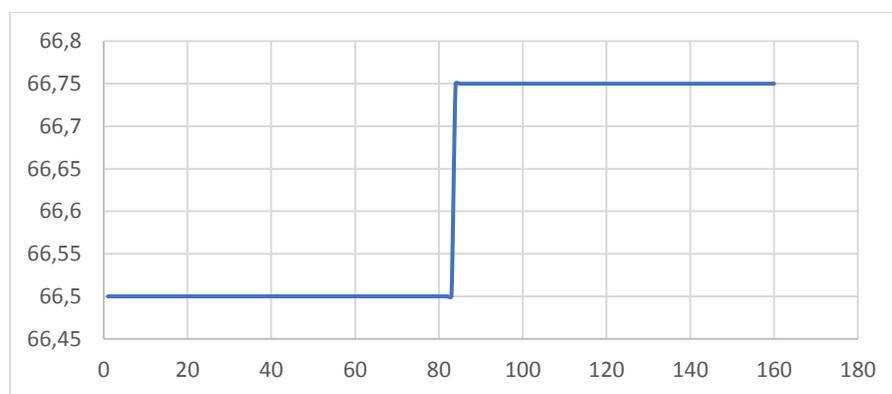


Figura 3. 9 Datos de temperatura para prueba 1

La **Figura 3.9** muestra que el motor está trabajando a 66,5 °C lo cual es una temperatura adecuada. En los 160 ms la temperatura ha aumentado en 0,25 °C lo cual no es un aumento significativo para el análisis de la gráfica.

3.3.2. PRUEBA # 2

Para esta prueba se utilizó el pistón número 4 del motor. Para la toma de datos es recomendable realizar máximo en 1 minuto de tiempo debido a la cantidad de datos que se generan.

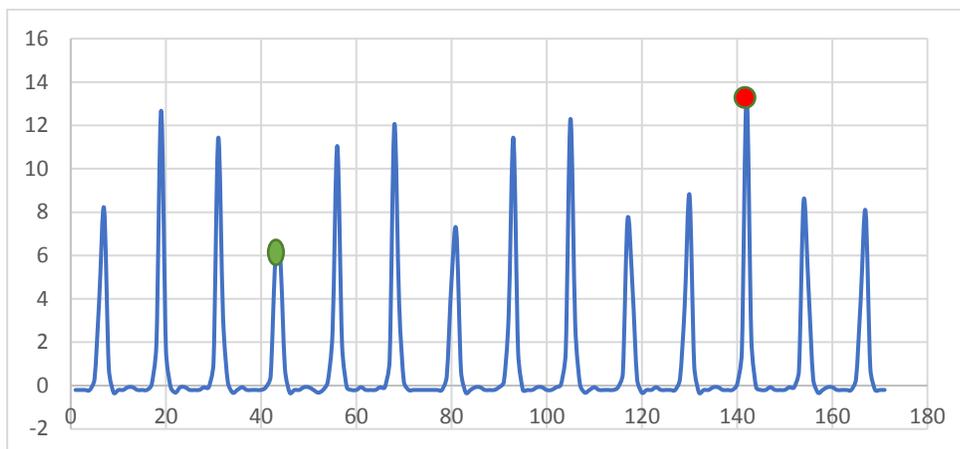


Figura 3. 10 Datos de presión para prueba 2

En la **Figura 3.10** la presión mínima que existe es de 5,92 bares que se produce cuando el pistón se encuentra en el PMI, estando este en la fase de aspiración, esta presión varía dependiendo de la apertura de la válvula de admisión, se tiene una presión máxima de 13,42 en la fase de evacuación de gases antes de que la válvula de escape se abra y todos los gases quemados aún se encuentran en la cámara. La presión máxima coincide con el valor máximo de la presión en la prueba # 1.

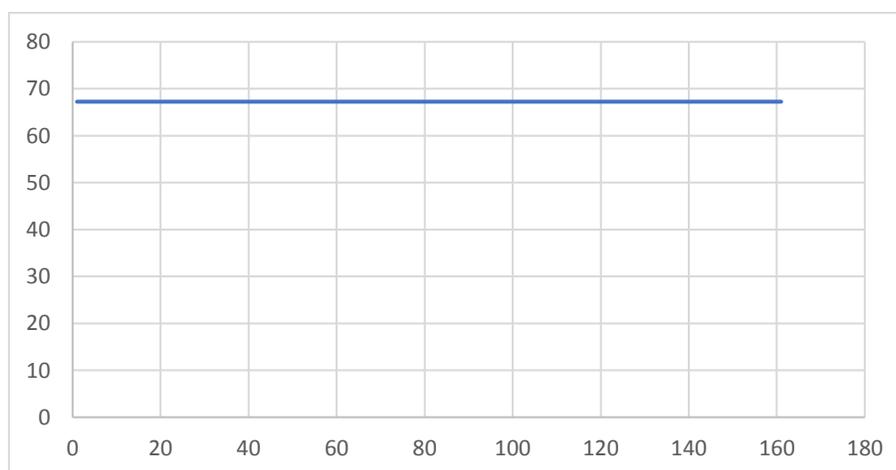


Figura 3. 11 Datos de temperatura para prueba 2

Los datos de temperatura de la **Figura 3.11** en la prueba # 2 se muestran constantes durante el tiempo transcurrido en la toma de datos, el valor es de $67,25\text{ }^{\circ}\text{C}$ y no varía durante la toma de datos de presión para su posterior análisis.

3.3.3. PRUEBA # 3

Para esta prueba se utilizó el pistón número 4 del motor. Para la toma de datos es recomendable realizar máximo en 1 minuto de tiempo debido a la cantidad de datos que se generan.

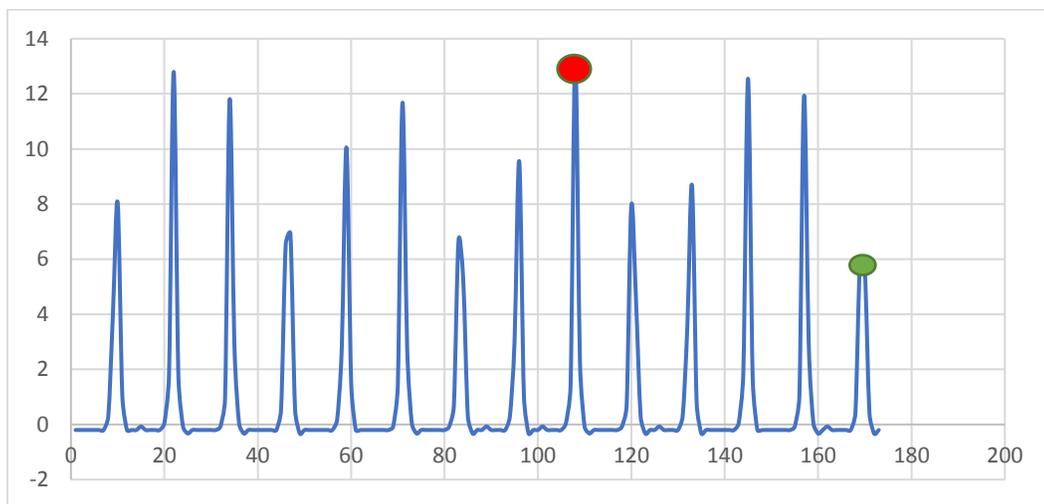


Figura 3. 12 Datos de presión para prueba 3

La **Figura 3.12** da a conocer la presión mínima que existe de $5,67$ bares que se produce cuando el pistón se encuentra en carrera ascendente estando este en fase de evacuación de gases, esta presión varía dependiendo del retraso a la apertura de la válvula de escape, se tiene una presión máxima de $13,3$ en la fase de combustión de los gases y el pistón se encuentra en el PMS. La presión máxima es similar al valor máximo de la presión en la prueba 1 y 2.

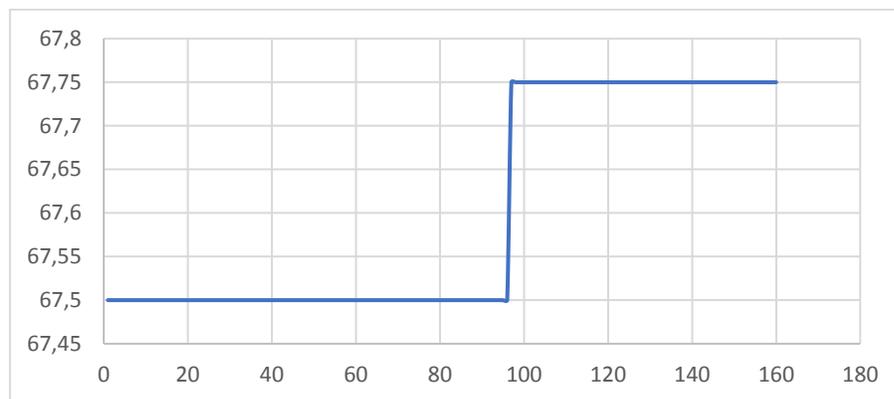


Figura 3. 13 Datos de temperatura para prueba 3

La **Figura 3.13** nos muestra que el motor está trabajando a 67,5 °C lo cual es una temperatura adecuada. En los 160 ms la temperatura ha aumentado en 0,25 °C lo cual no es un aumento significativo para el análisis de la gráfica.

3.4.ANÁLISIS DE PRUEBAS

Durante la etapa de mediciones se puede comprobar que las señales de presión y temperatura son similares en todas las pruebas, la señal de presión siempre forma una señal de referencia con los picos más altos y la señal de temperatura siempre forma una línea horizontal.

El valor máximo de presión de cada una de las pruebas realizadas determina que la presión no se excede de los 14 bares, este valor puede deberse a que los elementos del motor pueden tener un cierto desgaste por el trabajo que realizan y los años de funcionamiento. El motor analizado es del año 2012 y al no estar constantemente en uso pudo haber sufrido un deterioro interno.

El valor de presión mínimo siempre va a estar relacionado al retraso o adelanto de la apertura y cierre de válvulas que se produce durante el funcionamiento, la apertura o cierre de válvulas se realiza dependiendo de los requerimientos de funcionamiento del motor para que no se produzca el llamado cascabeleo.

3.5.PLAN DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO POR ANÁLISIS DE PRESIÓN

Este plan de mantenimiento predictivo está enfocado en mejorar el funcionamiento del motor, para que los costos de mantenimiento correctivo sean menores y conlleve a alargar la vida útil del motor. Es importante mencionar que este sistema de mantenimiento predictivo se debe incluir dentro de los planes de mantenimiento preventivo de un vehículo a diésel, con la finalidad de optimizar los recursos y tiempos disponibles para realizar estas tareas.

Este sistema de mantenimiento debe estar incluido en un plan de mantenimiento preventivo ya programado en donde se hacen diferentes tareas de mantenimiento y el tiempo que se le dedica a estas tareas es prolongado. Por lo general a los 40000 km de recorrido se realiza este tipo de tareas en donde incluye mantenimiento de los elementos del motor y transmisión, el tiempo que se emplea en realizar estas mediciones no es muy significativo y se le puede hacer sin la necesidad de desmontar elementos importantes del motor.

Este plan de mantenimiento en la **Tabla 3.2** va dirigido hacia el motor diésel Mazda 2.5 CRDi en base a los resultados obtenidos. Los resultados que se obtuvieron nos indica que el motor está trabajando con una presión mucho menor a la que debería trabajar. El plan de mantenimiento se encuentra dirigido a mejorar la presión y rendimiento del motor.

Tabla 3. 2 Plan de mantenimiento Mazda BT 50 2.5 CRDi

PLAN DE MANTENIMIENTO
1. Realizar el cambio del filtro de aire, ya que este no puede permitir el ingreso de la cantidad correcta de aire en el cilindro.
2. Realizar el cambio del filtro de combustible puede ser que se encuentre taponado impidiendo que el combustible pase en cantidad necesaria
3. Revisar la junta de culata, ya que puede estar deteriorada y permita la conexión con otro pistón y esto genere que el motor tenga menos presión.
4. Revisar los sellos de válvulas, para evitar que ingrese el aceite en grandes cantidades al cilindro.

5. Revisar los anillos del pistón que no estén pegados o rotos, ya que podrían afectar en el funcionamiento y por ende a que no rinda de buena manera.

6. Revisar la antecámara del pistón que este en perfecto estado para evitar roturas y daños en la camisa del cilindro.

7. Revisar si existe un correcto asentado de las válvulas de admisión y escape.

CAPÍTULO IV

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. CONCLUSIONES

- El equipo utilizado para la obtención de datos es un sensor de presión que puede medir sin problemas los 13,42 (Bar) que da como valor, el sensor de temperatura mide sin problemas la temperatura de trabajo del motor que llega a elevarse hasta los 120 °C en la salida del múltiple de escape, un motor Mazda BT 50 CRDi 2.5 cm³ con inyección directa en un buen estado trabaja con una presión mínima de 30,48 (Bar) en la cámara de combustión, los sensores y la utilización de tarjetas electrónicas permiten la comunicación de los componentes para la obtención de datos y su posterior análisis.
- El punto de medición para la obtención de datos se analizó cuando el motor se encontraba en ralentí a 750 rpm, el punto de medición más apropiado es donde se inserta la bujía de precalentamiento la cual permitió conocer la presión de trabajo del motor que es de 13.42 (Bar) en el cilindro 4, además se determinó que la temperatura del motor a 2000 rpm no sobrepasa los 120°C, este dato se obtuvo en la medición del punto más caliente del motor con una cámara termográfica.
- En el análisis de la señal referencial de presión se comprobó que el pico más elevado de presión se da en el tiempo de compresión antes de la inyección, elevándose hasta los 13.20 (Bar) teniendo en cuenta que se le considera una señal teórica, a diferencia de lo práctico en donde se obtuvo el pico más elevado de 13.42 (Bar) después de haberse producido la inyección, empezando o terminando el tiempo de combustión, la señal de las pruebas realizadas difiere mucho de la señal teórica y puede deberse a la calidad del combustible que no es buena en nuestro país, otro aspecto es la altitud a la que se encuentra la ciudad de Ibarra.

- El valor del motor diésel BT 50 CRDi en tiempo real fue de 13,42 (Bar) que es el valor de presión respectivamente y no llego a sobrepasar los 14 (Bar) en las diferentes pruebas realizadas, con los resultados obtenidos y analizando que el motor tiene una vibración excesiva considerada más de lo normal, se determina que el motor no se encuentra trabajando en condiciones óptimas, considerando que un motor diésel trabaja con presiones de 30 a 45 (Bar) en la cámara de combustión, esto se puede deber a un desgaste o deterioro de los componentes.
- En el plan de mantenimiento se consideró la presión del motor que se obtuvo de la prueba # 3 que fue de 13.3 (Bar) con una temperatura de trabajo a la salida del múltiple de escape de 67.25 (°C), analizado en un tiempo de 160 ms que es lo que se demora el pistón en realizar un ciclo completo estando este a 750 revoluciones por minuto, debido a que el motor tenía un tiempo prolongado de trabajo estos datos deberían ser de mayor valor en cuanto a la presión.

4.2. RECOMENDACIONES

- Para realizar pruebas en un motor diésel de presiones se debe asegurar que el sistema de medición no contenga fugas, se debe verificar que el motor se encuentre en la temperatura correcta de trabajo para tener una correcta obtención de datos para su posterior análisis.
- Para la obtención de datos de presión es importante analizar las especificaciones del motor para considerar así un sensor óptimo, con el fin de evitar fallos durante la medición de presión, estos deben tener un rango no excedido del 20% más de la presión del motor.
- Se recomienda realizar un sistema de refrigeración más sofisticado para evitar que el sensor se queme durante las pruebas de medición de presión, debido al incremento excesivo de temperatura en el acople del sensor con el sistema.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Alutal. (2021). Alutal. Obtenido de <https://www.alutal.com.br/es/termopar>
2. Arian. (2019). Que són y como funcionan las termocuplas. Obtenido de <http://www.arian.cl/downloads/nt-002.pdf>
3. Arízaga, F. (Octubre de 2014). Diseño de un simulador para diagnóstico de bombas CRDI e implementación en un banco de pruebas Hartridge de bombas convencionales. Obtenido de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/7213/1/UPS-CT004061.pdf>
4. Asensio, F. J. (2019). Implementación del Mantenimiento Centrado en la Fiabilidad. Obtenido de <http://calderon.cud.uvigo.es/bitstream/handle/123456789/262/Asensio>
5. Barrera, J. (Marzo de 2015). Estudio de los parámetros de mantenimiento en el patio automotriz del Ministerio de Transporte y Obras Públicas del cantón Ambato y su incidencia en su disponibilidad.
6. Bolaños, D. (2007). Planificación y programación del mantenimiento del parque automotor del departamento de obras públicas del ilustre municipio de Latacunga, mediante el uso de normas ISO 9000 (Tesis Pregrado). Escuela Politécnica del Ejército sede Latacunga, Latacunga.
7. Bonet, C. M., & Martínez, F. (2016). Diagnóstico a través del aceite a motores de combustión interna. La Habana.
8. Braun, R., Pumarino, M., & Tolvet, S. (2017). Motores diésel: Tecnologías para su futuro. Obtenido de http://www.ingenieroambiental.com/4017/biodiesel_futuros%20de%20los%20motores%20diesel.pdf
9. Buchelli, L., & García, V. (2015). Detección temprana de fallas en motores de combustión interna diésel mediante la técnica de análisis de aceite. Ciencia UNEMI, 84-95.
10. Cárdenas, P., Cevallos, A., & Moyano, J. (2017). Análisis de Vibraciones en motores de combustión interna por medio de ultrasonido. Obtenido de <https://repositorio.uide.edu.ec/bitstream/37000/2187/1/T-UIDE-1596.pdf>

11. Carmona, M. (Marzo de 2015). Anàlisis de aceites lubricantes.
12. Córdova, G. (2019). Motores de combustión interna.
13. Criollo, O., & Matute, H. (Marzo de 2016). Diagnòstico de fallos en la combustión para motores de combustión interna alternativos diesel por anàlisis de vibraciones. Obtenido de <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/6288>
14. Ferrer, Á. (26 de Julio de 2021). Autonocion.com. Obtenido de <https://www.autonocion.com/inyeccion-diesel-motor/>
15. Figueroa, F. (22 de Marzo de 2018). Sensoricx.
16. Franco, R. (2017). Plan de manteniminiento preventivo para vehículos de movimiento de tierra del municipio de Santa Rosa de Cabal. Pereira.
17. Gálvez, A., & Paucar, D. (Enero de 2020). Anàlisis de la influencia del sobrecalentamiento del motor de combustión interna en la degradación del aceite lubricante. Cuenca. Obtenido de <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/55164/Tesis.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
18. García, S. (3 de diciembre de 2018). Desarrolllo de paneles de control para redes IOT. Obtenido de https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/114979/memoria_73660356.pdf?sequence=1&isAllowed=y
19. High touch technologies. (19 de Julio de 2018). High touch technologies. Obtenido de <https://hightouchtechnologies.com/what-we-do/it-solutions/remote-it-management/>
20. Luiggi , R., & Maurera, Y. (Febrero de 2016). Sensores de Presión. Obtenido de slideshare: <https://es.slideshare.net/rosangelaluiggi/unidad-ii-sensores-de-presion>
21. Masterhacks. (2013). Manual básico de LabVIEW de Masterhacks. Obtenido de <https://renovablesconsaburum.files.wordpress.com/2015/09/manual-bc3a1sico-de-programacic3b3n-en-labview-por-masterhacks.pdf>

22. Mezzadri, F. (2015). Monitoreo de temperatura em turbina motordiesel de locomotiva com sensor a fibra òptica. Obtenido de http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/408/1/CT_CPGEI_M_Mezzadri%2c%20Felipe_2012.pdf
23. Navarro, A. (2012). Ciclos de generaci3n de potencia.
24. Peir3, P. (2015). Modelado CFD del proceso de combusti3n en un motor motor Di3sel de pequena cilindrada. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/3420/342030287005.pdf>
25. Pruna, A. E. (2015). Proyecto para la creaci3n de una empresa de mantenimiento preventivo de autom3viles a gasolina en el cant3n Rumiñahui sector Capelo (Tesis de pregrado). Universidad Central del Ecuador, Quito.
26. Radoslaw, J. (2010). Remote control software as a support for e-learning. ResearchGate. doi:10.13140/2.1.1719.8083
27. Ramirez, D. (2018). An3lisis de eficiencia energ3tica del ciclo Di3sel. Recuperado el 2018, de An3lisis de eficiencia energ3tica del ciclo Di3sel.
28. Raposo, H., Torres, J., Fonseca, I., & Galar, D. (2018). Predicting condition based on oil analysis - A case study. Science Direct, 65-72.
29. Simoes, A., Viegas, J., Torres, J., & Fonseca, I. (2017). The State of the Art of Hidden Markow Models for Predictive Maintenance of Diesel Engines. Quality and reliability engineering international, 1-15.
30. Sitt3n, 3., Rodr3guez, S., & Muñoz, L. (2018). Diseño de un modulo predictivo en el contexto de la Industria 4.0. KnowledgeE, 545.
31. Albarado, D. F. (2017). Elaboraci3n de un plan de mantenimiento preventivo de los equipos cr3ticos de las principales subestaciones de la empresa de energ3a de Boyac3 S.A. E.S.P. aplicado por la empresa asistencia t3cnica industrial Ltda. Solid State Ionics, 2(1), 1-10.
32. Cansino, E. A., & Lucero, D. W. (2015). Elaboraci3n De Un Plan De Mantenimiento Preventivo Y Seguridad Industrial Para La F3brica Minerosa. Escuela Polit3cnica Nacional, Quito, 0(0), 18-170.

33. Castro, M. (2011). Hacia una matriz energética diversificada en Ecuador.
34. Cortés, L. M. O. (2016). Leyes de los gases ideales. *Leyes de Los Gases Ideales*, 66. <https://preparatoriaabiertapuebla.com/wp-content/uploads/2017/11/LEYES-DE-LOS-GASES.pdf>
35. Del Val Román, J. (2017). *Industria 4.0. La Transformación Digital de la Industria Española*. Coddiiinforme, 120. <http://coddii.org/wp-content/uploads/2016/10/Informe-CODDII-Industria-4.0.pdf>
36. Denso. (2019). Bujías de precalentamiento.
37. Einabadi, B., & Baboli, A. (2019). Dynamic Predictive Maintenance in industry 4.0 based on real time information: Case study in automotive industries. *IFAC-papersonline*, 52(13), 1069–1074. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2019.11.337>
38. Fernández, C., & Calvo, E. A. (2019). Técnicas de mantenimiento en instalaciones mineras. 1–30.
39. FLIR Systems AB. (2011). Guía de termografía para mantenimiento predictivo. 45.
40. Fuentes, M. (2019). Leyes de los gases. *Química/ Química General*, 1–33.
41. Fujitsu. (2019). El mantenimiento predictivo en la industria 4.0 - MCR. 2018–2020.
42. Guevara, M., & Landa, L. (2019). Análisis de vibraciones en el motor de combustion interna J20-A a través de simulacion de modos de fallas para contribuir en el mantenimiento predictivo. *Escuela Superior Politécnica de Chimborazo*.
43. Halcafree, G. (2016). *Raspberry Pi guía del usuario 1*.
44. Idrovo, J., & Pugo, K. (2017). Sistema De Toma De Decisiones Inteligentes Para El Mantenimiento Predictivo Y Preventivo Del Sistema De Inyección De Un Motor De Combustión Interna Del Vehículo Corsa Evolution 1.4L. *Universidad Poliectinca Salesiana*.
45. Jácome, J. (2016). Medir y analizar la vibración en los elementos de transmisión de movimiento por rodadura en el automóvil como parte del mantenimiento predictivo.

Universidad Tecnológica Equinoccial.

46. Jaramillo, V., & Bouhmala, N. (2020). Developing a predictive maintenance model for vessel machinery. *Journal of Ocean Engineering and Science*, 5(4), 358–386. <https://doi.org/10.1016/j.joes.2020.03.003>
47. Keifer, G., & Effenberger, F. (2018). Termocuplas. *Angewandte Chemie International Edition*, 6(11), 951–952.
48. Malaver, M. (2008). La Eficiencia Térmica Y El Trabajo Neto En Un Ciclo Dual. 122–126.
49. Méndez, A. (2016). Disipadores Térmicos Para Dispositivos Electrónicos. Universidad Politécnica de Catalunya, versión pr, 17.
50. Morales, D., & Ribadeneira, A. (2006). Dimensionamiento de un banco para pruebas de motores a diesel. 1–126.
51. Motorparts. (2018). Todo sobre bujías incandescentes. 4, 16.
52. Neita, L., & Peña, E. (2011). Principios básicos de la termografía infrarroja y su utilización como técnica para mantenimiento predictivo.
53. Olarte, W., & Botero, M. (2011). Aplicación de la termografía en el mantenimiento predictivo Implementation of thermography in predictive maintenance. *Scientia et Technica*, 48, 253–256.
54. Oliva, E. (2018). Industria 4.0: Retos y Oportunidades en las Factorías de Automoción. 59.
55. Paucar, A., & Sigüenza, A. (2016). Termografía aplicada al diagnóstico de un motor Hyundai diésel 2.0 CRDI de combustión interna alternativo como técnica de mantenimiento predictivo de fallos, provocados por el sistema de alimentación aire combustible. Escuela Politécnica Nacional.
56. Pérez, M. G. (2018). Ley de Boyle - Mariotte.
57. Rivera, E. (2011). Capítulo I Evolución del Mantenimiento. Sistema de Gestión Del Mantenimiento Industrial. Universidad nacional mayor de san marcos. Facultad de ingeniería industrial, 51.

58. Ruiz, M. (2007). Manual de Programación Arduino Arduino : Manual de Programación. Arduino Notebook, 1, 3–70.
59. Salvador, E. (2015). Tecnologías de almacenamiento de información en el ambiente digital.
60. SENPLADES. (2009). Plan Nacional para el Buen Vivir 2009-2013: Construyendo un Estado Plurinacional e Intercultural.
61. Severance, C. (2020). Python para todos. Web Book, 6, 108.
62. Uptc. (2006). El Mantenimiento General. Universidad Pedagógica Y Tecnología De Colombia, I, 86.
63. Villegas, G. A. (2013). ¿ Hacia dónde tiende el mantenimiento ? Estudio de un caso en la industria automotriz. 1–6.

ANEXOS

ANEXO I

FICHA TÉCNICA DEL MOTOR MAZDA BT-50

MAZDA
/ MAZDA BT-50 DOUBLE CAB I 2.5 TD (143 CV) 4X4



DESCRIPCIÓN

El Mazda BT-50 Double Cab I 2.5 TD (143 Cv) 4x4 del año 2006 es un modelo de coche creado por la empresa Mazda y corresponde a la serie BT-50 que comprende modelos de diversas cilindradas y años.

Específicamente, este modelo tiene 5 plazas y 4 puertas y es de tracción tracción integral a las 4 ruedas (4x4).

Para resumirte un poco las especificaciones de este precioso Pick-up, decirte que tiene un motor 2.5 TD (143 Cv) 4x4 de diesel con una cilindrada real de 2499 c.c. (152.5 c.l.) y una potencia de 143 (cv) caballos a 3500 rpm.

El coche es de la categoría de Pick-up y el primer modelo de ésta generación de BT-50 se comercializó en el año 2006, por lo que hablamos de una generación de Mazda que tiene ya 15 años.

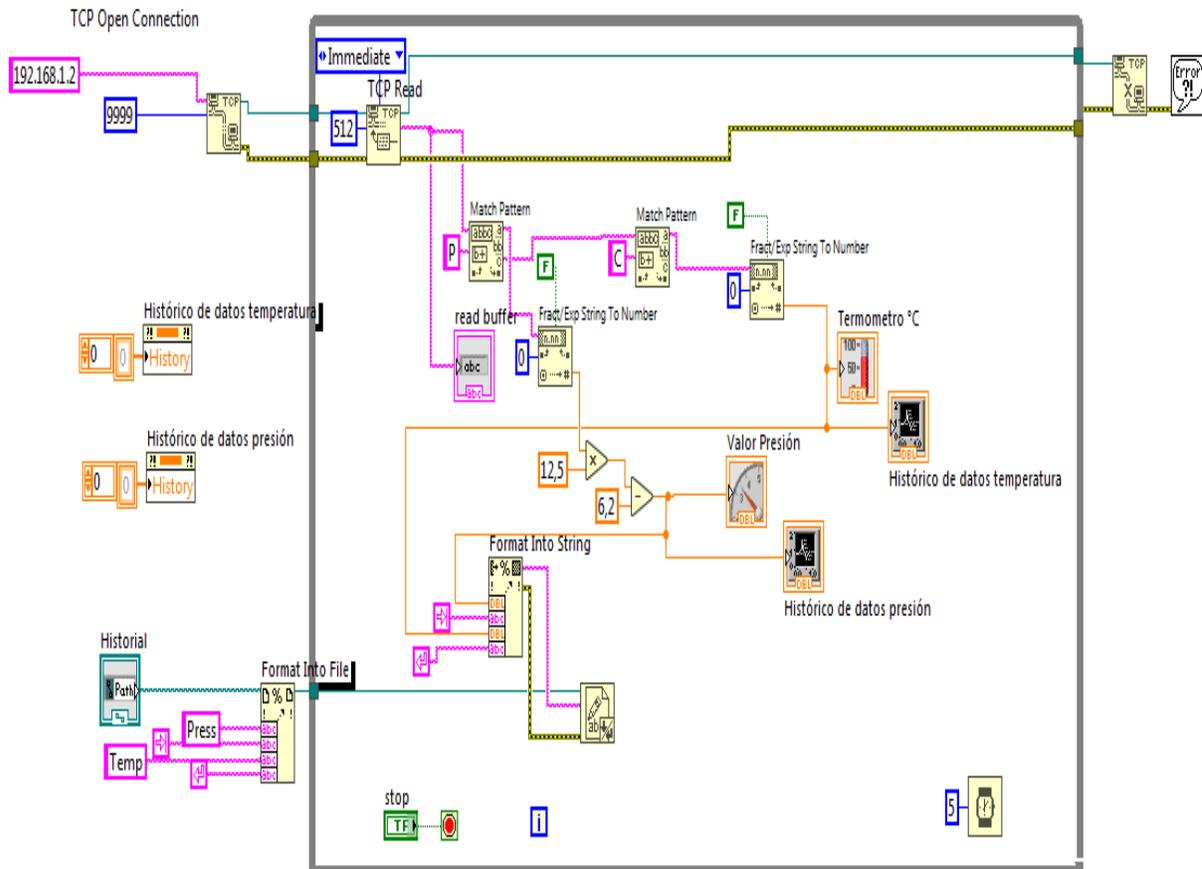
Aquí podrás echar un ojo a las especificaciones y ficha técnica de este tremendo coche.

FICHA TÉCNICA MAZDA BT-50 DOUBLE CAB I 2.5 TD (143 CV) 4X4

ESPECIFICACIONES GENERALES	
Marca	Mazda
Modelo	BT-50 Double Cab I 2.5 TD (143 Cv) 4x4
Años	2006, 2007, 2008
Tipo de carrocería	Pick-up
Año de puesta en producción	2006
Finalización de producción	2008
Generación	BT-50 Double Cab I
Numero de plazas	5 plazas
Número de puertas	4 puertas
MOTOR Y TRANSMISIÓN	
Combustible	Diesel
Cilindrada real	2499 c.c. (152.5 c.l.)
Diámetro del cilindro	93 milímetros (3.66 pulgadas)
Distribución de los cilindros	Motor en línea
Modelo del motor	2.5 MZR-CD
Modificación motor	2.5 TD (143 Cv) 4x4
Número de cilindros	4 cilindros
Número de válvulas por cilindro	4 válvulas por cilindro
Número de velocidades transmisión manual	5 velocidades
Par máximo	330 Nm a 1800 Rpm 243.4 lb.-ft. a 1800 Rpm
Posición del motor	Motor frontal. Orientación longitudinal
Potencia máxima	143 (CV) Caballos a 3500 Rpm
Ratio de compresión	18 : 1
Recorrido del cilindro	92 mm (3.62 pulgadas)

ANEXO II

INTERFAZ GRÁFICA DEL PROGRAMA LABVIEW



ANEXO III

DATOS DE PRESIÓN Y TEMPERATURA EN EL PROGRAMA LABVIEW

