



# **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: IDENTIFICACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE  
VIBRACIONES EN MOTORES DE MAQUINARIA AGRÍCOLA.**

**AUTOR: JHONATHAN ANDRÉS ANGULO ARAGÓN**

**DIRECTOR: ING. CARLOS MAFLA. MSC.**

**Ibarra, 15 de septiembre 2020**

## **CERTIFICADO**

### **ACEPTACIÓN DEL DIRECTOR**

En mi calidad de Director del plan de trabajo de grado, previo a la obtención del título de Ingeniero 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 "IDENTIFICACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE VIBRACIONES EN MOTORES DE MAQUINARIA AGRÍCOLA" presentado por el señor: Angulo Aragón Jhonathan Andrés con número de cédula 172044846-1, 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 15 días del mes de septiembre del 2020

Atentamente



Ing. Carlos Mafla Yépez MSc.

DIRECTOR DEL TRABAJO DE GRADO



## UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

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

#### 1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

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

DATOS DE CONTACTO			
<b>CÉDULA DE IDENTIDAD:</b>	172044846-1		
<b>APELLIDOS Y NOMBRES:</b>	ANGULO ARAGÓN JHONATHAN ANDRÉS		
<b>DIRECCIÓN:</b>	BOLÍVAR- CARCHI		
<b>EMAIL:</b>	jaanguloa@utn.edu.ec		
<b>TELÉFONO FIJO:</b>	062287493	<b>TELÉFONO MÓVIL:</b>	0992476400

DATOS DE LA OBRA	
<b>TÍTULO:</b>	IDENTIFICACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE VIBRACIONES EN MOTORES DE MAQUINARIA AGRÍCOLA.
<b>AUTOR:</b>	ANGULO ARAGÓN JHONATHAN ANDRÉS
<b>FECHA:</b>	15/09/2020
SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO	
<b>PROGRAMA:</b>	<input checked="" type="checkbox"/> PREGRADO <input type="checkbox"/> POSGRADO
<b>TITULO POR EL QUE OPTA:</b>	INGENIERÍA EN MANTENIMIENTO AUTOMOTRÍZ
<b>ASESOR /DIRECTOR:</b>	ING. CARLOS NOLASCO MAFLA YEPEZ MSC.

#### 2. CONSTANCIAS

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

Ibarra, a los 15 días del mes de septiembre de 2020

**EL AUTOR:**

.....  
Jhonathan Andrés Angulo Aragón

## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo a mis padres quienes han sido el principal apoyo durante mi etapa de estudiante y gracias a ellos he cumplido una meta más.

**JHONATHAN ANDRÉS ANGULO ARAGÓN**

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a Dios, por ser quien guía mi camino hacia cada una de las metas propuestas.

A mis padres por su apoyo incondicional, por ser mis maestros de valores, a mi hermana quien me ha brindado su comprensión y apoyo.

De igual manera a la Universidad Técnica del Norte, por haberme brindado la oportunidad de una formación profesional de calidad.

Agradezco a mis docentes quienes me han brindado sus conocimientos, de manera especial al Ing. Carlos Mafla MSc. quien fue el tutor del presente trabajo, así como también a mis dos asesores Ing. Ignacio Benavides e Ing. Paúl Hernández por su aporte para el desarrollo y culminación de mi trabajo de grado.

**JHONATHAN ANDRÉS ANGULO ARAGÓN**

## ÍNDICE

CERTIFICADO .....	I
AUTORIZACIÓN DE USO.....	II
DEDICATORIA .....	III
AGRADECIMIENTO .....	IV
ÍNDICE.....	V
ÍNDICE DE FIGURAS .....	X
ÍNDICE DE TABLAS .....	XIII
RESUMEN .....	XIV
ABSTRACT .....	XV
INTRODUCCIÓN .....	XVI
CAPÍTULO I .....	1
1. Revisión bibliográfica.....	1
1.1 Antecedentes.....	1
1.2 Planteamiento del problema .....	1
1.3 Formulación del problema.....	2
1.4 Delimitación temporal y espacial .....	2
1.4.1. Delimitación temporal .....	2
1.4.2. Delimitación espacial.....	2
1.5. Objetivos.....	2
1.5.1. Objetivo general.....	2
1.5.2. Objetivos específicos .....	2
1.6 Justificación .....	3
1.7 MARCO TEÓRICO .....	3

1.8 Tractor agrícola.....	3
1.9 Tipos de tractores.....	4
1.9.1 Tractores por el tren de rodaje .....	4
1.9.1.1 Tractor de orugas .....	4
1.9.1.2 Tractor de ruedas neumáticas .....	5
1.9.2 Tractor por tipo de bastidor .....	6
1.9.2.1 Tractores rígidos .....	6
1.9.2.2 Tractores articulados.....	6
1.9.3 Tractores por el tipo de tracción .....	7
1.9.3.1 Conducción de patinaje lateral.....	7
1.9.3.2 Tracción de las cuatro ruedas con directrices al frente más pequeño.....	8
1.9.3.3 Tracción en las cuatro ruedas con dirección iguales adelante y atrás.....	8
1.9.3.4 Tracción en las cuatro ruedas con directrices iguales .....	9
1.10 Funcionamiento del tractor .....	9
1.11 Sistemas del tractor agrícola.....	11
1.11.1 Sistema hidráulico .....	11
1.11.2 Sistema de toma de fuerza .....	11
1.11.3 Sistema de tren motor .....	12
1.11.4 Sistema de lubricación .....	13
1.11.5 Sistema de enfriamiento .....	14
1.11.5.1 Sistema por agua.....	15
1.11.5.2 Sistema por aire .....	16
1.11.6 Sistema eléctrico .....	16
1.12 Mantenimiento del tractor.....	16
1.12.1 Mantenimiento predictivo.....	17
1.13 Daños más comunes de los tractores .....	18
1.13.1 Cilindro .....	18

1.13.2 Culata.....	19
1.13.3 Junta de la culata.....	19
1.13.4 Pistón .....	20
1.13.5 Segmento .....	20
1.14 Mantenimiento de vibraciones.....	21
1.14.1 Introducción.....	21
1.15 Vibración .....	22
1.15.1 Clasificación de la vibración .....	23
1.16 Utilización en el campo automotriz.....	24
1.17 Transformada de fourier .....	25
1.17.1 Medidas.....	27
1.18 ¿Dónde medir?.....	27
1.19 Vibraciones en motores de combustión.....	29
1.20 Funcionamiento del motor versus vibraciones .....	29
1.21 Análisis de aceites y combustibles .....	30
1.21.1 Propiedades y clasificación de los aceites .....	31
1.21.2 Clasificación de los aceites lubricantes por su origen .....	31
1.21.2.1 Clasificación por grado de viscosidad .....	31
1.21.3 TBN .....	32
1.21.4 TAN .....	32
1.22 Propiedades del diesel.....	32
1.22.1 Composición del diésel.....	34
1.22.2 Variantes del diesel.....	34
1.22.3 Ventajas del combustible biodiésel .....	35
1.22.4 Inconvenientes del combustible biodiÉsel.....	35
CAPÍTULO II.....	36
2. MATERIALES Y MÉTODOS .....	36

2.1 Materiales .....	36
2.1.1 Tractor.....	36
2.1.2 Características técnicas del tractor.....	37
2.2 Equipo de obtención de datos .....	37
2.2.1 Sensor de vibraciones .....	37
2.2.1.1 Funcionamiento del sensor .....	38
2.2.2 DAQ NI 9250 .....	39
2.2.3 LabVIEW.....	41
2.3 Métodos .....	41
2.3.1 Zona de medición de vibraciones .....	44
2.3.1.1 Parte superior del motor “culata”.....	44
2.3.1.2 Parte media del motor “bloque” .....	45
2.3.1.3 Parte inferior del motor “cigüeñal” .....	45
2.3.2 Adquisición de datos de vibraciones .....	46
2.3.2.1 Procedimiento de medición .....	46
2.3.3 Diferencia de revoluciones .....	47
2.3.3.1 Revoluciones por minuto 900 (rpm).....	47
2.3.3.2 Revoluciones por minuto 2500 (rpm).....	47
2.3.4 Acoplamiento del sensor.....	47
2.3.4.1 Sensor con imán.....	47
2.3.4.2 Sensor con prisionero .....	48
2.4 Datos en buen estado .....	49
2.4.1 Inyectores.....	49
2.4.1.1 Datos 900 RPM.....	50
2.4.1.2 Datos 2500 RPM.....	51
2.4.2 Datos bloque “cilindros”.....	53
2.4.2.1 Datos 900 RPM.....	54

2.4.2.2 Datos 2500 RPM.....	56
2.4.3 Datos del cigüeñal.....	58
2.4.3.1 Datos en 900 RPM.....	58
2.4.3.2 Datos de 2500 RPM.....	60
2.5 Defectología de los sistemas del tractor agrícola.....	61
2.5.1 Falla en los inyectores .....	61
2.5.1.1 Inyector 900 RPM.....	61
2.5.1.2 Inyector en 2500 RPM.....	64
2.5.2 Falla del bloque.....	66
2.5.2.1 900 RPM.....	66
2.5.2.2 Cilindro 2500 RPM.....	68
CAPÍTULO III.....	71
3. RESULTADOS .....	71
3.1 Caracterización de medición de vibraciones .....	71
3.2 Inyectores 900 RPM .....	72
3.3 Inyectores a 2500 RPM .....	75
3.3 Cilindro 900 RPM.....	78
3.4 Cilindro en 2500 RPM.....	81
3.5 Guía de mantenimiento predictivo.....	84
CAPITULO IV .....	86
4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	86
4.1 CONCLUSIONES .....	86
4.2 RECOMENDACIONES.....	87
BIBLIOGRAFÍA .....	88
ANEXOS .....	91

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Tractor de orugas.....	5
<b>Figura 2.</b> Tractor de ruedas neumática .....	5
<b>Figura 3</b> Motocultor.....	6
<b>Figura 4</b> Prado y Jardín.....	7
<b>Figura 5</b> Tractor de patinaje lateral.....	7
<b>Figura 6</b> Tractor de tracción de diferente eje.....	8
<b>Figura 7</b> Tipos de Tracción.....	8
<b>Figura 8</b> Tractor articulado en las cuatro ruedas .....	9
<b>Figura 9</b> Funcionamiento del motor .....	10
<b>Figura 10</b> Sistema hidráulico .....	11
<b>Figura 11</b> Toma fuerza .....	12
<b>Figura 12</b> Tren motor.....	13
<b>Figura 13</b> Sistema de lubricación .....	14
<b>Figura 14</b> Refrigeración por agua.....	15
<b>Figura 15</b> Refrigeración por aire .....	16
<b>Figura 16</b> Daños en los cilindros .....	18
<b>Figura 17</b> Culata .....	19
<b>Figura 18</b> Junta de culata .....	20
<b>Figura 19</b> Pistón.....	20
<b>Figura 20</b> Segmento.....	21
<b>Figura 21</b> Frecuencia .....	22
<b>Figura 22</b> Vibración aleatoria .....	24
<b>Figura 23</b> Ubicación de medir .....	29
<b>Figura 24</b> Señales de medición .....	30
<b>Figura 25</b> Sensor de vibración .....	38
<b>Figura 26</b> Sensor .....	39
<b>Figura 27</b> DAQ .....	40
<b>Figura 28</b> Chasis .....	40
<b>Figura 29</b> LabVIEW .....	41
<b>Figura 30</b> Pantalla de amplitud vs tiempo .....	42
<b>Figura 31</b> Pantalla amplitud vs frecuencia .....	42

<b>Figura 32</b>	Señal de transformación de FOURIER .....	42
<b>Figura 33</b>	Enable"grabar" .....	43
<b>Figura 34</b>	Botón de grabación .....	43
<b>Figura 35</b>	Stop .....	43
<b>Figura 36</b>	Filename .....	43
<b>Figura 37</b>	Adquirir y visualizar .....	44
<b>Figura 38</b>	Zona de medición de vibraciones.....	44
<b>Figura 39</b>	Parte medida del motor "block" .....	45
<b>Figura 40</b>	Parte inferior del motor "cárter" .....	45
<b>Figura 41</b>	Sensor con imán .....	48
<b>Figura 42</b>	Sensor con prisionero .....	48
<b>Figura 43</b>	Puntos de medición en los inyectores .....	49
<b>Figura 44</b>	Señal del inyector 1 en ralentí.....	50
<b>Figura 45</b>	Señal del inyector 2 en ralentí.....	50
<b>Figura 46</b>	Señal del inyector 3 en ralentí.....	51
<b>Figura 47</b>	Señal del inyector 1 en 2500 RPM.....	52
<b>Figura 48</b>	Señal del inyector 2 en 2500 RPM.....	52
<b>Figura 49</b>	Señal del inyector 3 en 2500 RPM.....	53
<b>Figura 50</b>	Punto de medición en el "block" .....	54
<b>Figura 51</b>	Señal en el cilindro 1 en ralentí.....	54
<b>Figura 52</b>	Señal del cilindro 2 en ralentí.....	55
<b>Figura 53</b>	Señal del cilindro 3 en ralentí.....	55
<b>Figura 54</b>	Señal del cilindro 1 en 2500 RPM .....	56
<b>Figura 55</b>	Señal del cilindro 2 en 2500 RPM .....	57
<b>Figura 56</b>	Señal del cilindro 3 en 2500 RPM .....	57
<b>Figura 57</b>	Punto de medición en el cigüeñal.....	58
<b>Figura 58</b>	Señal del punto 1 en ralentí.....	59
<b>Figura 59</b>	Señal del punto 2 en ralentí.....	59
<b>Figura 60</b>	Señal del punto 1 en 2500 RPM.....	60
<b>Figura 61</b>	Señal del punto 2 en 2500 RPM.....	61
<b>Figura 62</b>	Punto de medición de fuga de combustible en los inyectores.....	62
<b>Figura 63</b>	Señal del inyector 1 en mal estado en ralentí.....	62
<b>Figura 64</b>	Señal del inyector 2 en mal estado en ralentí.....	63

<b>Figura 65</b> Señal del inyector 3 en mal estado en ralentí.....	63
<b>Figura 66</b> Señal del inyector 1 en mal estado a 2500 RPM.....	64
<b>Figura 67</b> Señal del inyector 2 en mal estado a 2500RPM.....	65
<b>Figura 68</b> Señal del inyector 3 en mal estado a 2500 RPM.....	65
<b>Figura 69</b> Punto de medición en el block por falla en los cilindros .....	66
<b>Figura 70</b> Señal del cilindro 1 con vibraciones en ralentí .....	67
<b>Figura 71</b> Señal del cilindro II con vibración en ralentí.....	67
<b>Figura 72</b> Señal del cilindro 3 con vibración en ralentí.....	68
<b>Figura 73</b> Señal del cilindro 1 con vibración a 2500 RPM .....	69
<b>Figura 74</b> Señal del cilindro 2 con vibración a 2500 RPM .....	69
<b>Figura 75</b> Señal del cilindro 3 con vibración a 2500 RPM .....	70

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Tipos de motocultores.....	6
<b>Tabla 2</b> Unidades de medida.....	27
<b>Tabla 3.</b> Requisitos del diésel Premium.....	33
<b>Tabla 4</b> Datos del motor.....	37
<b>Tabla 5</b> Características del sensor.....	38
<b>Tabla 6</b> Comparación de datos de los inyectores en ralentí.....	51
<b>Tabla 7</b> Comparación de datos de los inyectores en 2500 RPM .....	53
<b>Tabla 8</b> Comparación de datos los cilindros en ralentí.....	56
<b>Tabla 9</b> Comparación de datos del cilindro en 2500 RPM.....	58
<b>Tabla 10</b> Comparación de datos del cigüeñal en ralentí .....	60
<b>Tabla 11</b> Comparación de datos del cigüeñal a 2500 RPM.....	61
<b>Tabla 12</b> Comparación de datos de los inyectores a ralentí.....	64
<b>Tabla 13</b> Comparación de datos de los inyectores a 2500 RPM .....	65
<b>Tabla 14</b> Comparación de datos de los cilindros en ralentí .....	68
<b>Tabla 15</b> Comparación de datos en los cilindros en 2500 RPM.....	70
<b>Tabla 16.</b> Caracterización de medición de los inyectores.....	72
<b>Tabla 17.</b> Caracterización de medición de los cilindros .....	72
<b>Tabla 18.</b> Comparación de datos en el inyector 1 a 900 RPM.....	73
<b>Tabla 19.</b> Comparación de datos en el inyector 2 a 900 RPM.....	74
<b>Tabla 20.</b> Comparación de datos en el inyector 3 a 900 RPM.....	75
<b>Tabla 21</b> Comparación de datos del inyector 1 a 2500 RPM .....	76
<b>Tabla 22</b> Comparación de datos del inyector 2 a 2500 RPM .....	77
<b>Tabla 23</b> Comparación de datos del inyector 3 a 2500 RPM .....	78
<b>Tabla 24</b> Comparación de datos del cilindro 1 a 900 RPM .....	79
<b>Tabla 25</b> Comparación de datos del cilindro 2 a 900 RPM .....	80
<b>Tabla 26</b> Comparación de datos del cilindro 3 a 900 RPM .....	81
<b>Tabla 27</b> Comparación de datos del cilindro 1 a 2500 RPM .....	82
<b>Tabla 28</b> Comparación de datos del cilindro 2 a 2500 RPM .....	83
<b>Tabla 29</b> Comparación de datos del cilindro 3 a 2500 RPM .....	84

## RESUMEN

El objetivo principal del presente trabajo, fue el análisis de vibraciones que presenta un motor agrícola identificando las partes del motor donde se puede obtener señales más claras y específicas que indican el estado de funcionamiento de cada una de ellas, así como también diferentes revoluciones por minuto RPM a las que trabaja el motor y son específicas para la obtención de dichos datos, para así mediante la utilización de un sensor piezoeléctrico el mismo que recepta la señal de vibración emitida por el motor para ser enviada a la DAQ que es un módulo receptor de señal el mismo que envía al software LabVIEW que se encarga de obtener y reflejar la datos limpios es decir sin vibraciones o sonidos ajenos al movimiento o trabajo del motor las mismas que posteriormente fueron analizadas y comparadas con señales o datos que se obtuvo mediante la simulación de fallas para así identificar parámetros de funcionamiento en mal estado y buen estado, como resultado se obtuvo que la principal avería afecta más en la cámara de combustión, es decir por la falta de combustible el vehículo pierde potencia y los inyectores trabajan con una deficiencia de 39 % cuando está en bajas revoluciones es decir a 900 RPM, mientras que cuando trabaja a mayor velocidad su deficiencia es de 28% a 2500 RPM.

Por otra parte, los parámetros obtenidos permitieron la elaboración de una ficha técnica que servirá para la aplicación de un mantenimiento predictivo es decir que se lo realizará en forma periódica sin una planificación previa la misma que aporta a alargar la vida útil del motor y por lo tanto de la maquinaria agrícola.

## ABSTRACT

The main objective of this work was the analysis of vibrations presented by an agricultural engine, identifying the parts of the engine where clearer and more specific signals can be obtained that indicate the operating status of each one of them, as well as different revolutions per minute. RPM at which the motor works and are specific for obtaining said data, so by using a piezoelectric sensor the same one that receives the vibration signal emitted by the motor to be sent to the DAQ which is a receiver module of The same signal that is sent to the LabVIEW software that is responsible for obtaining and reflecting the clean data, that is, without vibrations or sounds unrelated to the movement or work of the motor, which were subsequently analyzed and compared with signals or data obtained through the simulation of failures to identify operating parameters in poor and good condition, as a result it was obtained that the main It would affect the combustion chamber more, that is, due to the lack of fuel, the vehicle loses power and the injectors work with a deficiency of 39% when it is in low revs, that is to say at 900 RPM, while when it works at a higher speed its deficiency it is 28% at 2500 RPM.

On the other hand, the parameters obtained allowed the preparation of a technical sheet that will be used for the application of predictive maintenance, that is, it will be carried out periodically without prior planning, which contributes to lengthening the useful life of the engine and therefore both of agricultural machinery.

## INTRODUCCIÓN

El motor es el componente fundamental del vehículo ya que permite el funcionamiento de todos los demás componentes, un ejemplo son los tractores que son de gran utilidad en nuestro país para la alta producción agropecuaria, en este tema se aclara los conocimientos técnicos, tipos de maquinaria, las tareas o funciones que realizará la máquina, teniendo en cuenta el respectivo mantenimiento preventivo y predictivo para todos los sistemas que está conformado dicho vehículo agrícola para un mayor rendimiento y una larga vida del motor.

Mediante el análisis de las vibraciones emitidas por los motores agrícolas, según los movimientos que realiza la maquinaria de acuerdo con su estado o funcionamiento, es sometido a un tipo de vibración forzada por medio del ser humano a varias revoluciones que requiera el operador consta de un rango de frecuencia de 1 a 20 Hz, en el campo automotriz viene a ser el equilibrio por la variación de la fuerza versus tiempo.

Se utilizó el equipo adecuado para recopilar datos reales de las vibraciones del motor los que permitieron tener una señal por medio del acelerómetro piezoeléctrico el mismo que capta las señales de vibración enviándolas a la DAQ NI9250 y posterior al computador y de esta manera representar los datos en Excel obteniendo una figura para analizar y comparar las ondas de los diferentes puntos medidos, utilizando los puntos más altos de la señal lo que indica el voltaje más elevado del ciclo.

Con la comparación de resultados se obtuvo datos exactos sobre el aumento de vibración que se presentó mediante la simulación de averías al motor, las mismas que al no existir un control o prevención oportuna proporcionan desgaste a todos los sistemas que está conformado y a la vez reduce la vida útil del motor.

## **CAPÍTULO I**

### **1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA**

#### **1.1 ANTECEDENTES**

El tractor es un instrumento de gran importancia en el trabajo de campo ya que facilita las labores de labranza y reduce esfuerzos físicos, tiene sus propias exigencias como todos los sistemas de los que está conformado, es considerado una máquina motriz, donde el agricultor tiene la facilidad de poder duplicar la potencia de trabajo de acuerdo con las necesidades del campo, el tractor crea las condiciones necesarias para incrementar la productividad del trabajo.

Es una herramienta de trabajo, formada principalmente por el motor, ya que es el medio que recibe la fuerza necesaria para que se pueda movilizar y hacer un trabajo de mayor fuerza. El tractor puede desplazarse con sus respectivas maquinarias, arados y rastras, además su mecanismo le permite funcionar como maquina estacionaria como bombas y molinos, así como también su otra función es como maquinaria móvil como segadora, capeadoras entre otras.

“Todo tractor o forestal de ruedas u orugas, de motor, con dos ejes al menos y una velocidad máxima de fabricación igual o superior a 6 km/h, cuya función resida fundamentalmente en su potencia de tracción y que este especialmente concebido para arrastrar, empujar, transportar y accionar determinados equipos intercambiables destinados a usos agrícolas o forestales, o arrastrar remolques agrícolas o forestales” (Martinez, 2018, pág. 7).

#### **1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

El estudio de una planificación de mantenimiento predictivo en el control de vibraciones en los tractores agrícolas permitirá la reducción de desgastes y deterioro de piezas y a su vez evitar los paros de tiempo de la maquinaria y por ende daños en el tractor teniendo un ciclo de vida más largo con lo que se conseguirá dar satisfacción al conductor.

### **1.3 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

Realizar un análisis de las zonas de vibración de varias partes del motor agrícola en distintas horas, comparando resultados obtenidos.

### **1.4 DELIMITACIÓN TEMPORAL Y ESPACIAL**

La delimitación temporal y espacial permite conocer tanto el período de tiempo y las partes necesarias que van a ser medidas.

#### **1.4.1. DELIMITACIÓN TEMPORAL**

El presente trabajo se desarrolló durante el período comprendido entre los meses de octubre 2019 hasta febrero del 2020.

#### **1.4.2. DELIMITACIÓN ESPACIAL**

El presente estudio se llevará a cabo dentro de la ciudad de Ibarra

### **1.5. OBJETIVOS**

El objetivo de realizar el trabajo de tesis es la evaluación de diferentes niveles de vibraciones que nos puede generar la maquinaria agrícola en este caso el tractor en determinados tiempos.

#### **1.5.1. OBJETIVO GENERAL**

Identificar los parámetros de vibraciones en un motor agrícola

#### **1.5.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Estudio bibliográfico de vibraciones en motores de maquinaria agrícola
- Análisis de zonas de medición de vibraciones
- Analizar las vibraciones en la maquinaria agrícola
- Comparar resultados obtenidos

## **1.6 JUSTIFICACIÓN**

El estudio de vibraciones tiene gran importancia para orientar a todas las personas que se encuentran en el proceso de fabricación de tractores, para reducir los ruidos que provocan las vibraciones del motor por la gran fuerza que tienen estas máquinas.

Estos motores siempre emiten una cierta cantidad de vibración natural, ya sea en buen o mal estado según como se encuentre el motor, con el transcurso del trabajo estas vibraciones tienden a modificarse con una o varias fallas que se presentan con el tiempo, así como con el uso y desuso que genera un desgaste en las piezas internas que se desencadena en problemas.

Manteniendo un rango bajo de vibraciones en los motores agrícolas se obtiene un incremento en la vida útil tanto en el motor como en sus partes, basándose en datos reales que se obtendrá en el estudio realizado. Vibraciones u oscilaciones es llamado a cualquier movimiento que sea repetitivo en un determinado tiempo, tienen una relación con el movimiento oscilatorio de los cuerpos y todas las fuerzas que están unidas a él.

## **1.7 MARCO TEÓRICO**

### **1.8 TRACTOR AGRÍCOLA**

“El tractor agrícola es un vehículo diseñado para operar fuera y dentro de las vías públicas, capaz de arrastrar. Empujar y accionar máquinas, móviles o estacionarias y de arrastrar remolques. Su significado original es el de una maquina motriz dedicada a la tracción de otras máquinas” (Ortiz, 2005, pág. 13).

El tractor es el instrumento de mayor importancia en el trabajo del campo, ya que tiene sus propias exigencias como todos los sistemas de los que está conformado, para una mayor vida del tractor no exigir más de lo que puede dar.

Es considerado una máquina motriz, donde el agricultor tiene la facilidad de poder duplicar la potencia de trabajo en grado semejante de lograrlo por el operario, el tractor crea las condiciones necesarias para incrementar la productividad del trabajo.

Es una herramienta de trabajo, está basado principalmente en un motor, ya que es el medio que recibe la fuerza necesaria para que se pueda movilizar y hacer un trabajo de mayor fuerza, dando la facilidad al operador de obtener un trabajo de mayor eficiencia con el mínimo esfuerzo que lo requiera.

## **1.9 TIPOS DE TRACTORES**

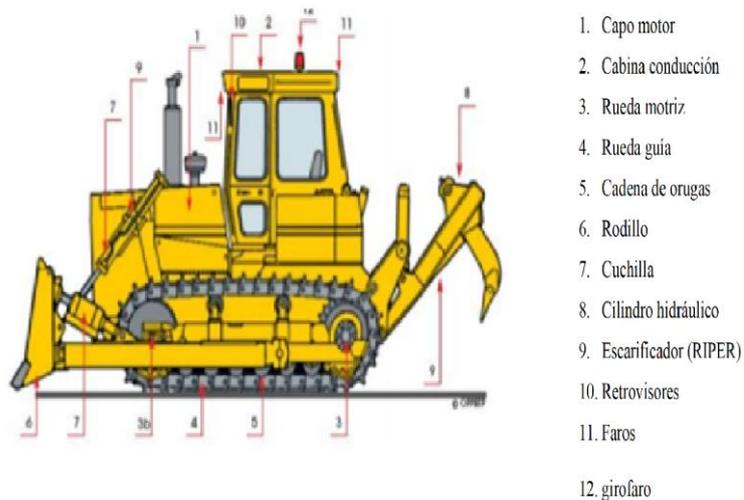
En la actualidad hay varios tipos de tractores y una variedad de marcas y diferentes modelos, pero se clasifican según sus características.

### **1.9.1 TRACTORES POR EL TREN DE RODAJE**

#### **1.9.1.1 Tractor de orugas**

Es un tractor de menor importancia y de baja utilización por la dificultad de poder transportar, son utilizados en los terrenos que se encuentra con mayor humedad donde no pueden ingresar un tractor de ruedas.

Generalmente, las orugas forman parte de un cinturón "flexible con un conjunto de eslabones rígidos unidos unos a otros. Los eslabones ayudan al vehículo a distribuir el peso en una superficie mayor que la que hubiera tenido con el empleo de ruedas, y esto hace que el tractor pueda recorrer una variedad de suelos sin hundirse" (Machaca, 2016, pág. 1).



**Figura 1.** Tractor de orugas  
(Pereira & Enriquez, 2015, pág. 10)

### VENTAJA

- Mayor capacidad de tracción
- Menor compactación del terreno

### 1.9.1.2 Tractor de ruedas neumáticas



**Figura 2.** Tractor de ruedas neumáticas  
(Guerrero, 2009, pág. 1)

El tractor es como los demás, existen de diferentes marcas, capacidad y potencia del motor, la facilidad de este tractor es poderse movilizar por cualquier lugar por la ventaja de sus neumáticos.

## 1.9.2 TRACTOR POR TIPO DE BASTIDOR

### 1.9.2.1 Tractores rígidos

Son conocidos como tractores de un solo eje, ya que tiene una potencia mínima con límite de 15 kW (20CV), lo cual se encuentra de dos tipos de gasolina y de diésel, son de mayor utilización para labrado de pequeñas superficies de horticultura.



**Figura 3** Motocultor  
(Huanca, 2013, pág. 1)

## CARACTERÍSTICAS

En la siguiente tabla se detallan los tractores tipo motocultor de acuerdo con el modelo y tipo de motor. Ya que en la industria existen de tamaño pequeño, mediano y grandes de distinto uso de combustible a una masa distinta según el tamaño.

**Tabla 1.** Tipos de motocultores

MODELO	MASA	KW(ZV)	TIPO DE MOTOR
Pequeño	Hasta 80 kg	4.5	De gasolina
Mediano	80 - 250 kg	4.5 - 9	Gasolina – Diésel
Grande	Más de 250 kg	9	Diésel

### 1.9.2.2 Tractores articulados

#### Prado y jardín

“Este tractor tiene una salida de 15 kW y son especialmente diseñados para el cuidado de grandes prados. Pueden transportar o arrastrar un podador, una barredora, un limpiador de nieve, una hoja bulldozer y mucho otros accesorios. Por ser un tractor demasiado bajo y estar diseñado para un trabajo ligero, generalmente no son usados para la producción agrícola” (Johan , 1984, pág. 25)



**Figura 4** Prado y Jardín  
(John Deere , 2020)la figura el nombre y la fuente debe ir unidos

### 1.9.3 TRACTORES POR EL TIPO DE TRACCIÓN

#### 1.9.3.1 Conducción de patinaje lateral

Este tractor es para el uso industrial, pero en el uso de la agricultura se utiliza cuando el espacio de giro es reducido, ya que la función es la rueda de un lado son frenadas y el otro extremo comienza a girar.



**Figura 5** Tractor de patinaje lateral  
(Alvarado, 2004, pág. 16)

### 1.9.3.2 Tracción de las cuatro ruedas con directrices al frente más pequeño

Las ruedas traseras son de mayor diámetro que las delanteras y eso tiene que igualarse a medida que va variando la potencia del motor.



**Figura 6** Tractor de tracción de diferente eje  
(Alvarado, 2004, pág. 17)

### 1.9.3.3 Tracción en las cuatro ruedas con dirección iguales adelante y atrás

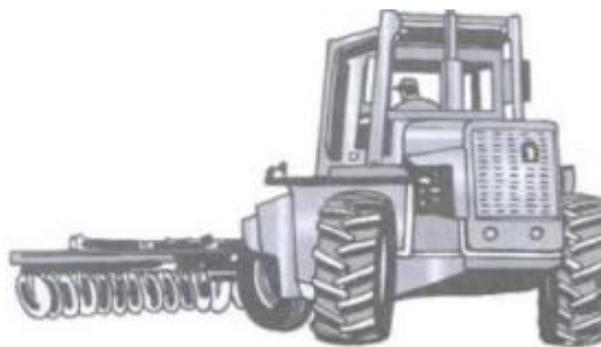


**Figura 7** Tipos de Tracción  
(Yandun , 2011)

“El peso estático (parado) se reparte aproximadamente el 55% adelante y el resto sobre el eje trasero con lo que se logra emparejar el peso adherente sobre las cuatro ruedas al realizarse la tracción” (Science, pág. 4).

### 1.9.3.4 Tracción en las cuatro ruedas con directrices iguales y bastidor directriz articulado

Se trata que los giros de las ruedas son accionados con el chasis donde ya no se abren las ruedas al girar la ventaja de este chasis es la utilización de utilizar las ruedas que se quiera utilizar de cualquier porte.



**Figura 8** Tractor articulado en las cuatro ruedas  
(Alvarado, 2004, pág. 17)

## 1.10 FUNCIONAMIENTO DEL TRACTOR

Los tractores se dividen en varias partes:

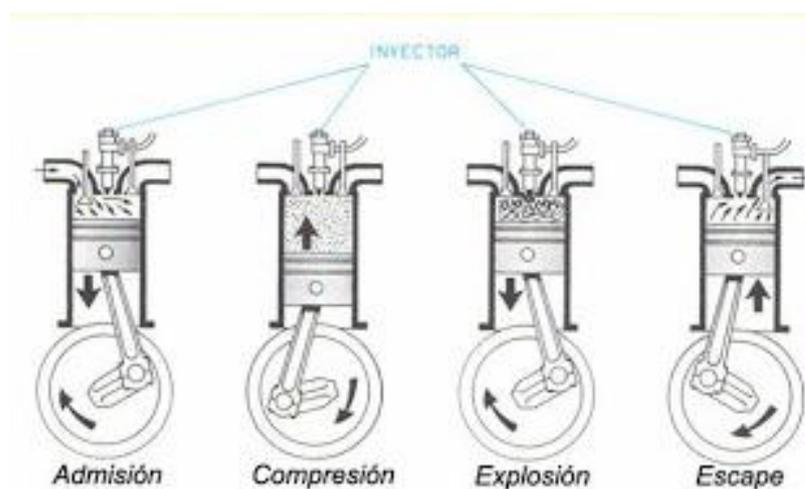
- Chasis: es la parte del vehículo que sujeta los componentes mecánicos, la suspensión de las ruedas y el grupo moto propulsor.
- Motor: es la parte de la máquina gracias a la cual se pone en funcionamiento.
- Transmisión: incluye la caja de cambios, el embrague, el diferencial, las ruedas, los palieres o las tomas de fuerza.
- Polea: es una sencilla máquina que sirve para darle fuerza al tractor.
- Dirección: gracias a la cual puedes dirigir el vehículo hacia uno u otro lugar.
- Frenos: parte indispensable para poder parar el tractor cuando lo consideres necesario.

“Los tractores agrícolas tienen uno o varios sistemas para poder utilizar aperos, aunque el habitual está en la parte posterior y tiene tres brazos donde se puede acoplar un arado, una picadora, segadora, abonadora o cualquier otra máquina agrícola. Para el accionamiento de algunas herramientas suelen llevar una toma de fuerza que consiste en un eje que es

accionado por el motor del vehículo mediante una transmisión de engranajes” (Borras, 2018, pág. 1).

Los motores montados en los tractores son los de combustión interna o de explosión, son nombrados así porque en su interior se quema o hace explotar el combustible. La energía química que es almacenada en el combustible se aprovecha directamente, transformándola en mecánica.

El funcionamiento del motor es de cuatro tiempos ya que completa un ciclo completo, dos pistones en el punto muerto superior y dos pistones en el punto muerto inferior y donde da dos vueltas completas el cigüeñal.



**Figura 9** Funcionamiento del motor  
(Martínez, 2009, pág. 6)

#### Estos tiempos son:

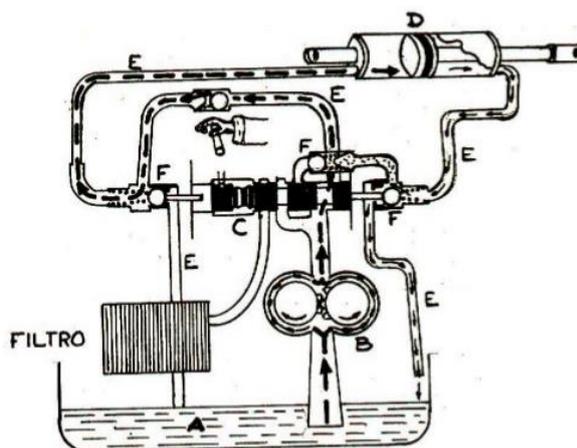
- **Admisión** Se encuentra el pistón en el punto muerto superior donde comienza a descender y la válvula de admisión permite ingresar aire y combustible que es llenado el cilindro.
- **Compresión** El pistón comienza a circular ascendente, donde la válvula de admisión y la válvula de escape se encuentran cerradas y la mezcla es comprimida.
- **Explosión** Se realiza cuando el pistón está cerca del punto muerto superior y se realiza la chispa y aprovecha al máximo la fuerza de expansión de los gases.
- **Escape** Se realiza cuando el pistón está cerca del punto muerto inferior donde la válvula de escape se abre para liberar los gases quemados.

## 1.11 SISTEMAS DEL TRACTOR AGRÍCOLA

### 1.11.1 SISTEMA HIDRÁULICO

En los sistemas hidráulicos que son adaptados en los tractores, puede accionar un sistema de tres puntos y uno o más cilindros, el sistema hidráulico está compuesto como se indica en la figura 10:

- Depósito de aceite (A): este depósito debe de encontrarse lleno de aceite hidráulico y de distintas capacidades.
- Bomba hidráulica (B): la mayoría del tipo de engranajes encargada de darle presión necesaria al aceite.
- Caja de control (C): es el encargado de distribuir el aceite así los cilindros de levante y descenso del enganche de tres puntos esta caja es accionado por los operadores por medio de una palanca.
- Uno o dos cilindros hidráulicos, se encarga de recibir el aceite a presión y se desplaza los émbolos en su interior.
- Válvula esférica, su función es de abrir o cerrar las tuberías según la presión de aceite.



**Figura 10** Sistema hidráulico  
(Macias & Kraemer, 2003, pág. 24)

### 1.11.2 SISTEMA DE TOMA DE FUERZA

La función de toma de fuerza es brindar rotación en algunos instrumentos alternos que tiene el tractor como puede ser (fumigadoras, corta maleza, cosechadoras), hay tres tipos de ejes:

- Estándares de 6 estrías y de 3,5 centímetros de diámetro que llegan a girar a 540 revoluciones por minuto a la velocidad normal del motor.
- Trabajo pesado de 21 estrías con 3,5 centímetros de diámetro que gira 1000 rpm.
- Especial de 20 estrías con 4,5 centímetros de diámetro, gira a 1000 rpm.

Se debe tener en cuenta que hay tractores que requieren ejes de toma de fuerzas que giran dependiendo la caja de velocidades.

La toma de fuerzas viene en dos maneras hidráulicas y mecánicas ya que en el tiempo actual que nos encontramos ya fabrican hidráulicas.



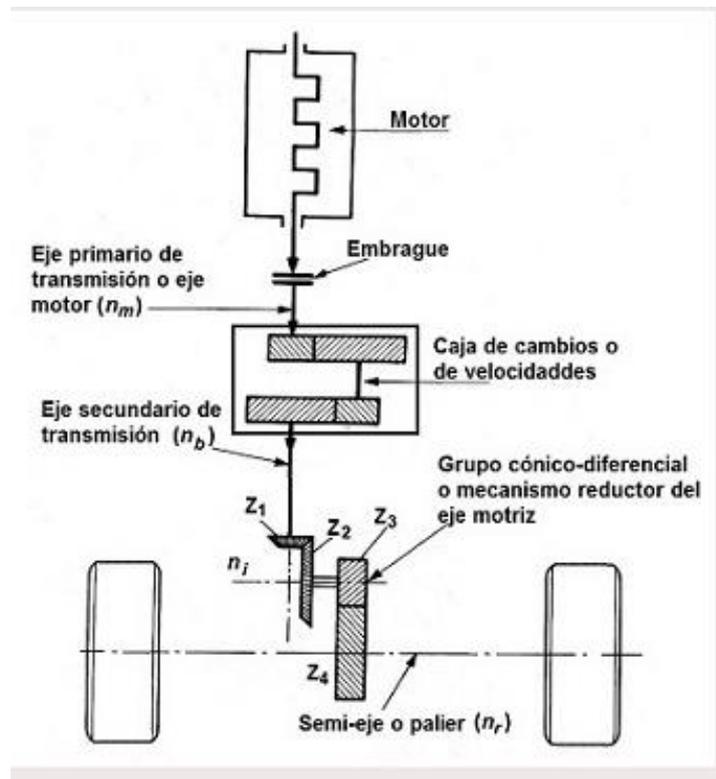
**Figura 11** Toma fuerza  
(Ruiz, 2019, pág. 5)

### 1.11.3 SISTEMA DE TREN MOTOR

“Las transmisiones son un conjunto de mecanismos que transfieren a las ruedas del tractor el movimiento que produce el motor. El mismo cuenta con un volante que absorbe la inercia durante el tiempo carrera del motor, el cual genera altas velocidades de giro que luego necesitan reducirse para que a las ruedas llegue una aceleración de giro adecuada. Es decir, en la transmisión hay una doble función, por un lado, comunicar movimiento y por otro reducir el régimen de giro que suministra el motor” (Molina J. , 2018, pág. 3).

Se encarga de generar la fuerza requerida para poder cumplir las funciones del tractor ya que lleva la fuerza de energía desde el volante hasta las ruedas motrices. Este sistema es la unión de engranajes que lleva una secuencia de movimientos y fuerza a la vez así el motor ya que tiene cinco componentes:

- Motor: es el que genera la fuerza por medio de la quema de combustible
- Embrague: acopla y desacopla el volante de transmisión
- Caja de cambios: multiplica y desmultiplica las revoluciones por minuto
- Diferencial: permite que las ruedas giren a distinta velocidad



**Figura 12** Tren motor  
(Ferrari & Ferrari, 2012 )

## **FUNCIONES**

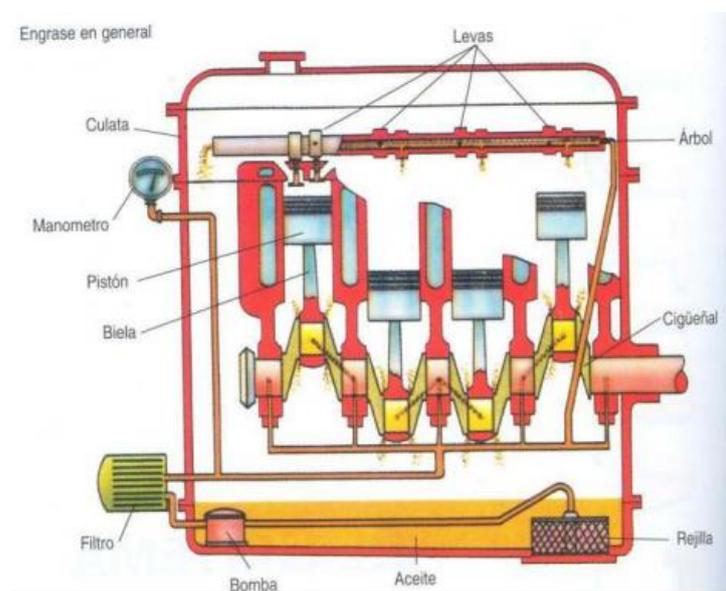
- Conecta y desconecta la potencia del motor
- Modifica la velocidad y dirección
- Modifica el par
- Regula la distribución de potencia a las ruedas de impulsión
- Desplazar el equipo

### **1.11.4 SISTEMA DE LUBRICACIÓN**

“El sistema de lubricación además de disminuir el roce o fricción y por ello el desgaste de las piezas del motor. También contribuye a la refrigeración del motor y como sello entre los anillos del pistón y las paredes del cilindro, además lava las piezas del motor dejándolas libres de depósitos químicos protegiéndolas de la corrosión” (Plaza, 2017, pág. 1).

- Se encarga de formar una lámina de aceite evitando la fricción y a la vez el desgaste entre las piezas
- Se encarga de enfriar las piezas
- Sellado de los anillos
- Limpia las piezas

En este sistema se realiza bajo presión, ya que la encargada de aspirar el aceite del cárter es la bomba a través del filtro que es enviado por los conductos de la lubricación.



**Figura 13** Sistema de lubricación  
(Molina C. , 2003, pág. 6)

### 1.11.5 SISTEMA DE ENFRIAMIENTO

El sistema de refrigeración llega a cumplir con dos papeles importantes en el funcionamiento del motor del tractor:

- Evita que se llegue a recalentar el motor
- Obtiene una temperatura limitada al motor

En el funcionamiento de los tractores se encuentra dos sistemas de refrigeración por medio de aire o por agua.

### 1.11.5.1 Sistema por agua

El sistema de refrigeración por agua consta de varias partes como son:

#### Radiador

Es un recipiente donde almacena toda el agua ya caliente enviando el líquido por unos pequeños tubos para aumentar la superficie de enfriamiento, consta de un recipiente en la parte superior y uno en la parte inferior con un proceso de trabajo de 0,5 bar, donde llega a obtener un punto de ebullición de agua a 110-112 grados centígrados.

#### Termostato

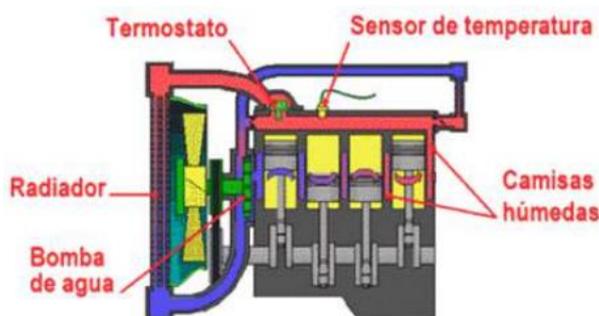
En la tapa del radiador consta de una válvula que su función es regular la presión del líquido, la válvula permanece cerrada hasta cuando el motor llega a una temperatura adecuada para liberar el refrigerante y empiece a enfriar.

#### Ventilador

Es el encargado de activarse cuando el motor llega a una temperatura adecuado así genera el ventilador una corriente de aire que le atraviesa al radiador para mejorar el enfriamiento.

#### Bomba de agua

“Permite forzar la circulación de agua dentro del sistema; se encuentra entre la parte baja del radiador y la cámara de agua del motor. La bomba y el ventilador reciben el movimiento desde una polea ubicada en el extremo delantero del cigüeñal, por medio de una correa” (Magdalena & Behmer, 2011, pág. 73).



**Figura 14** Refrigeración por agua  
(Molina C. , 2018, pág. 8)

### 1.11.5.2 Sistema por aire

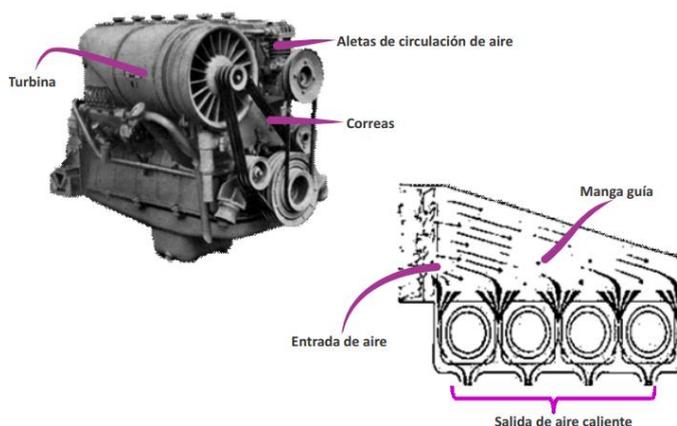
Este sistema llega a enfriar por medio de una corriente de aire de una manera directa que es provocado por varios componentes:

#### Turbina

Es un ventilador que consta de un gran número de paletas, y su velocidad de giro es aproximadamente de 4500 a 6000 rpm/min.

#### Manga guía de aire

El aire que fue absorbido dentro de la turbina es conducido al motor por medio de un conducto que va en formas semejantes para cada cilindro.



**Figura 15** Refrigeración por aire  
(Molina C. , 2018, pág. 9)

### 1.11.6 SISTEMA ELÉCTRICO

Este sistema comprende de un sistema de carga, en el que el generador (alternador) aprovecha el giro de la polea del motor para obtener corriente eléctrica y poder almacenar en la batería, y que pueda transmitir energía a todos los circuitos que obtiene el tractor.

## 1.12 MANTENIMIENTO DEL TRACTOR

El mantenimiento en el motor agrícola ayudará a tener una mayor vida útil del motor, teniendo en cuenta las horas exactas de trabajo para realizar su respectivo mantenimiento.

Un tractor agrícola se encuentra sujeto a un trabajo que se chequea por medio de horas de trabajo, y a distintas variaciones de terreno y de actividades, que su primera actividad debe ser preventivo y correctivos.

Las horas de trabajo a las que se somete la maquinaria pesada varían de acuerdo a la industria que pueden ser en jornadas de seis a ocho horas por día o a su vez dieciocho horas diarias. Los más importantes del mantenimiento agrícola son las acciones necesarias para conservar, reparar y lograr una vida útil del motor.

- Evita el desgaste de las piezas
- Disminuir las fallas
- Reducir las paradas de la maquina
- Evitar accidentes
- Evitar recalentamientos del motor
- Reducir los costos de reparaciones
- Alcanzar una vida más larga para el motor

### **1.12.1 MANTENIMIENTO PREDICTIVO**

El interés de la vibración mecánicas llega al mantenimiento industrial de la mano del mantenimiento preventivo y predictivo con el interés de alertar que implica un elemento vibrante en una máquina, y la necesidad prevención de las averías que conllevan las vibraciones a medio plazo (Predictove, 2009, pág. 6).

“El mantenimiento predictivo, por el contrario, pretende calcular y adelantarse al fallo con el auxilio de herramientas adecuadas de medición, control, estimación, evaluación o de los modelos matemáticos adecuados de previsión. Este sistema intenta que la pieza a punto de fallar pueda reemplazarse con anterioridad al fallo, con lo que los tiempos muertos o de parada se hagan menores, la vida útil del equipo se alargue y el coste medio del mantenimiento se minimice. La realización de mantenimiento predictivo no es barata, exige conocimientos técnicos de cierta complejidad, depende de la importancia del equipo dentro del proceso y de los daños que una avería imprevista puede ocasionar” (Calvo, pág. 4).

Este mantenimiento es la manera de llevar una debida programación, con la finalidad de tratar de disminuir las fallas que produce dicho motor.

- Vibraciones de cojinetes
- Temperatura de conexiones eléctricas
- Desgaste de ejes o rodillos
- Aislamiento de bobinas del motor

La misión de este mantenimiento es llevar un sistema o una ficha de inspección visual y de lo que va a realizar obteniendo seguridad tanto del punto de vista organizativa como la del técnico, el objetivo del mantenimiento predictivo es:

- Eliminar desmontajes innecesarios para la inspección
- Impedir el aumento de daños
- Aumentar el grado de confianza en el desempeño de un equipo o línea de producción
- Reducir el trabajo de emergencia no planificado

### 1.13 DAÑOS MÁS COMUNES DE LOS TRACTORES

#### 1.13.1 CILINDRO

Es un desgaste por el movimiento del vaivén de los cilindros, las fallas que se puede realizar es por la diferencia de material que se encuentra fabricado el pistón y el cilindro, haciendo énfasis al mal mantenimiento que se lo puede realizar un aceite no adecuado.



**Figura 16** Daños en los cilindros  
(Estévez Hinojosa & Pinto Ayala, 2015, pág. 54)

## SÍNTOMA

- Pérdida de potencia del motor
- Consumo de aceite
- Salida de gases por el cárter
- Salida de humo azulado por el tubo de escape

### 1.13.2 CULATA

Daño por desmontaje o un excesivo calentamiento se produce deformaciones que impide un acoplamiento adecuado al bloque, o también se podría decir que los daños se pueden realizar por motivo de golpes afectando al cigüeñal.



**Figura 17** Culata

(Aristizabal Rivadeneria & Cisneros Mendieta, 2019, pág. 2)

## SÍNTOMA

La junta de la culata se quema en una sola dirección.

### 1.13.3 JUNTA DE LA CULATA

Es una lámina de cobre con una gran resistencia a deformarse, cumple la función de mantener la impermeabilidad de la compresión compactando eficientemente en los dos componentes que se encuentra unidos se encuentra a grandes temperaturas y altas presiones.



**Figura 18** Junta de culata  
(Aristizabal Rivadeneria & Cisneros Mendieta, 2019, pág. 16)

## SÍNTOMA

Perdida de potencia del motor

### 1.13.4 PISTÓN

El recorrido que presenta el pistón y las ranuras donde se alojan los segmentos, el aceite se encuentra en la parte superior donde se quema a lo que produce la explosión.



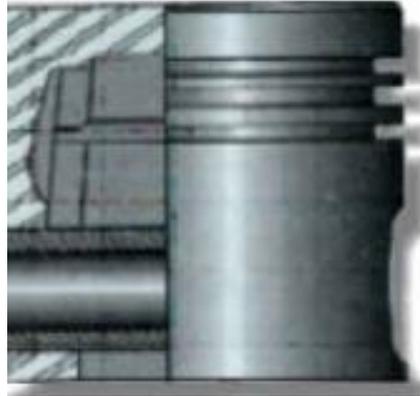
**Figura 19** Pistón  
(Estévez Hinojosa & Pinto Ayala, 2015, pág. 30)

## SÍNTOMA

- Consumo de aceite
- Perdida de potencia
- Humo azul por el escape

### 1.13.5 SEGMENTO

Los segmentos son los anillos que se encuentra en la ranura del pistón, estos son encargados de cerrar la cámara de combustión y a su vez colabora con la transferencia de calor desde el pistón a la pared del cilindro un daño que puede obtener es por el calentamiento del motor o por no utilizar un aceite recomendado por el fabricante.



**Figura 20** Segmento  
(Rojas, 2001, pág. 71)

## SÍNTOMA

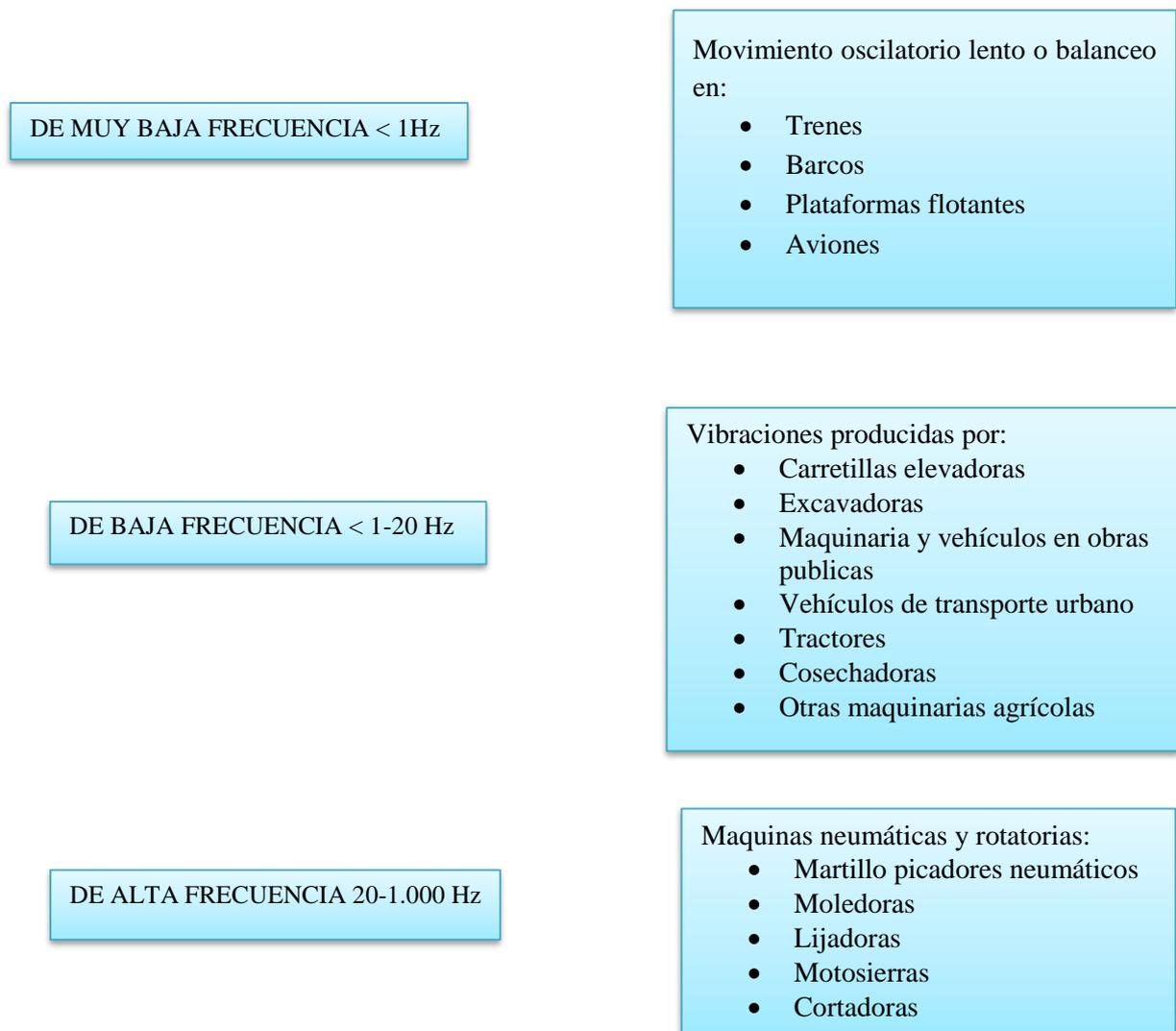
- Perdía de potencia
- Consumo de aceite
- Humo azul

## 1.14 MANTENIMIENTO DE VIBRACIONES

### 1.14.1 INTRODUCCIÓN

Las vibraciones tienen su origen en el año 4000 a.C. donde tanto músicos como filósofos buscaron leyes y reglas de la producción del sonido que mediante las vibraciones originaban notas musicales, con el paso del tiempo y con varias investigaciones se llega a las vibraciones mecánicas en donde se menciona que son producidas por un vaivén y rozamiento de piezas (Timoshenko, 1978, pág. 9).

La vibración viene a representarse como una oscilación mecánica alrededor de una posición y referencia. Estas oscilaciones pueden ser constantes (repetitivas) o no, la figura 22 indica los vehículos que trabajan en diferentes frecuencias y producen diferentes tipos de vibraciones, de muy baja hasta 1 Hz con movimiento oscilatorio lento, en caso de motores grandes y en su mayoría vehículos más comunes y utilizados con mayor continuidad generan frecuencia baja y de 1-20 Hz, y las máquinas neumáticas tienen una alta frecuencia que producen desde 20 hasta 1000 Hz.



**Figura 21** Frecuencia  
(IDEARA, SL, 2014, pág. 11)

## 1.15 VIBRACIÓN

Es una oscilación mecánica alrededor de una posición de referencia. Esta oscilación puede ser periódica (repetitiva) o no. El movimiento armónico es la forma de vibración periódica más simple. Las vibraciones de un objeto son causadas por una fuente de excitación, esta fuerza se puede aplicar externamente al objeto o puede tener su origen dentro del objeto (Criollo & Bravo , 2014, pág. 17).

Vibraciones u oscilaciones es llamado a cualquier movimiento que sea repetitivo en un determinado tiempo, las teorías de las vibraciones tienen una relación con el movimiento oscilatorio de los cuerpos y todas las fuerzas que están unidas a un solo cuerpo.

El sistema de vibración es un medio que puede llegar almacenar energía potencial (resorte o elasticidad) y en otra parte puede llegar a energía cinética (masa o inercia), es un sistema que implica la transformación de su energía potencial en energía cinética y de esta en energía potencial de manera alterna.

El ingeniero mecánico trata de diseñar el motor o máquina de modo que reduzca el desequilibrio, mientras que el ingeniero estructural trata de diseñar la estructura de soporte de modo que el efecto del desequilibrio no sea dañino (Learning , 2012, pág. 12).

### **1.15.1 CLASIFICACIÓN DE LA VIBRACIÓN**

Las vibraciones no son sólo propiedad de los sistemas mecánicos. Todos los sistemas físicos tienen la propiedad de vibrar y estas vibraciones serán el reflejo de su comportamiento dinámico. Por esta razón, las vibraciones emitidas tendrán una forma de representación que caracterizará al sistema del cual procede. En la medida que los sistemas sean más complejos, la forma que adquiere la representación de sus movimientos también lo será, necesitándose para su descripción más de una coordenada independiente, lo cual permitirá poder identificar y determinar los fenómenos que tienen lugar en los sistemas mecánicos observando y midiendo los parámetros de vibración a través del procesamiento y análisis de las señales emitidas por los mismos durante su funcionamiento (Mosquera , 2001, pág. 24).

#### **Vibración libre**

Si se deja que un cuerpo vibre por sí mismo después de una perturbación inicial la vibración que se tiene por resultado se la llega a conocer como vibración libre.

#### **Vibración forzada**

Cuando un cuerpo se somete a una fuerza externa (una fuerza repetitiva) se la conoce como vibración forzada, como las vibraciones que emite un motor diésel.

### Vibración no amortiguada y amortiguada

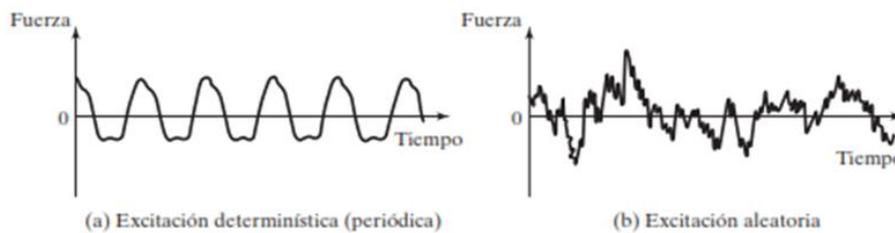
No se pierde ni disipa energía por fricción durante la oscilación es vibración no amortiguada.

### Vibración lineal y no lineal

Si todo componente de un sistema vibratorio ejemplo el resorte, la masa son elementos lineales desde su resultado se conoce vibración lineal.

### Vibración aleatoria

Los valores que emite dicho cuerpo o dicha masa no son vibraciones consecutivas por lo cual no se puede realizar mediciones.



**Figura 22** Vibración aleatoria  
(Cruz, 2012, pág. 17)

## 1.16 UTILIZACIÓN EN EL CAMPO AUTOMOTRIZ

El análisis de vibraciones mecánicas viene a ser sometida a las acciones de las fuerzas variables con relación del tiempo, donde demuestra el equilibrio de la máquina, detecta los cambios de sonido entre el rozamiento de piezas por desgaste, así como también genera molestias hacia el operador y corta la vida útil de los mecanismos.

“Se dice que un cuerpo vibra cuando se describe un movimiento oscilatorio alrededor de una posición de referencia. Por lo tanto, se dice que una vibración o movimiento vibratorio es la variación o cambio de configuración de un sistema en relación al tiempo, de forma que sus puntos oscilan sincrónicamente en torno a su posición de equilibrio estable, sin que el campo cambie de lugar, otra manera de entender una vibración es como un intercambio de energía cinética en cuerpos con rigidez y masa finitas, el cual surge de una entrada de energía dependiente del tiempo” (Pérez & Campos, 2013, pág. 23).

Las medidas se hacen por obtener varios resultados:

- Para detectar la frecuencia y las amplitudes no sobrepasen los límites que el material es capaz de soportar.
- Evitar que dos piezas lleguen a rozar entre ellas

### 1.17 TRANSFORMADA DE FOURIER

Las medidas que se utilizará en el transcurso de la recopilación de datos serán la aceleración, amplitud y Hz, donde las fórmulas de Fourier nos permitirán despejar los ruidos del medio ambiente y dejar la onda totalmente limpia.

“Una serie de Fourier es una serie infinita que converge puntualmente a una función periódica y continua a trozos (o por partes). Las series de Fourier constituye la herramienta matemática básica del análisis de Fourier empleado para analizar funciones periódicas a través de la descomposición de dicha función en una suma infinita de funciones sinusoidales mucho más simple (como combinación de senos y cosenos con frecuencias enteras). El nombre se debe al matemático francés Jean Baptiste Joseph Fourier, que desarrollo la teoría cuando estudiaban sistemáticamente, y publico sus resultados iniciales en 1807 y 1811. Esta área de investigación se llama algunas veces análisis armónico” (Díaz , 2017, pág. 1).

Para calcular la serie de Fourier en la función de:

$$f(x) = x \text{ en } -\pi \leq x \leq \pi$$

- **Fórmula general**

$$f(x) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} a_n \cos\left(\frac{n\pi x}{L}\right) + \sum_{n=1}^{\infty} b_n \sin\left(\frac{n\pi x}{L}\right)$$

Donde:

$f(x)$ = función de x

$a_0$  = intervalos

$a_n$  = intervalos

$b_n$  = intervalos

L= límites del intervalo

$\Sigma$  = sumatoria

- Intervalo  $a_0$

se utiliza la función de  $a_0 = \frac{1}{L} \int_{-L}^L f(x) dx$  donde el valor de L es  $\pi$ ,

$$a_0 = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} x dx$$

La integral de dx es:  $\frac{1}{\pi} \frac{x^2}{2} \Big|_{-\pi}^{\pi}$

Evaluamos  $\pi$  y la ecuación nos queda

$$\frac{1}{\pi} \left( \frac{\pi^2}{2} - \frac{(-\pi)^2}{2} \right) = 0$$

- Intervalo  $a_n$

Se utiliza la función de  $a_n = \frac{1}{L} \int_{-L}^L f(x) \cos\left(\frac{n\pi x}{L}\right) dx$  reemplazamos los valores de L y simplificamos  $\pi$  dando una ecuación:

$$\frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} x \csc(nx) dx$$

Utilizamos a formula  $\int u dv = uv - \int v du$  y se reemplaza

$$u = x$$

$$dv = \cos(nx) dx$$

$$du = dx$$

Dando a ecuación  $\int \cos(ax)$  el integral de cos es  $\frac{1}{a} \sin(ax)$  integrando  $dv = \cos(nx) dx$  nos da la formula

$$\frac{1}{\pi} \left( \frac{1}{n} \pi \sin(nx) \Big|_{-\pi}^{\pi} - \frac{1}{n} \int_{-\pi}^{\pi} \sin(nx) dx \right)$$

Simplificamos los senos por la multiplicación de seno por  $\pi$  es 0

$$\frac{1}{\pi} \left( \frac{1}{\pi} \pi \sin(n\pi) - \frac{1}{n} (-\pi) \sin(-n\pi) + \frac{1}{n^2} \cos(nx) \Big|_{-\pi}^{\pi} \right)$$

Quedando un coeficiente de  $a_n = 0$

### 1.17.1 MEDIDAS

#### Las unidades de medida

- Desplazamiento (amplitud)  
Es la distancia que se encuentra la partícula que vibra y la posición de reposo, su unidad de medida “metros”.
- Velocidad  
Es la velocidad con la cual la partícula se desplaza con respecto al tiempo, unidad m/seg.
- Aceleración  
Es la variación de la velocidad por unidad de tiempo, unidad m/seg<sup>2</sup>.
- Frecuencia propia del sistema
- Es la señal que oscilaría el sistema, en función de la masa y de la elasticidad de los componentes, unidad Hz.
- Resonancia  
Cual sistema proporciona vibraciones por una fuerza armónica externa ya que la señal es la misma de la frecuencia natural.
- Amortiguamiento

Tiene la capacidad de disipar energía cinética a otro tipo de energía, su función es recibir, absorber los impactos sometidos es fundamenta ene le campo de las vibraciones estudiando los sistemas vibratorios mecánicos la unida es en N.

**Tabla 2** Unidades de medida

UNIDADES DE MEDIDA	
Desplazamiento	m/mm/um
Velocidad	m/s,mm/s
Hz	Ciclo/segundo
Aceleración	m/s <sup>2</sup>

### 1.18 ¿DÓNDE MEDIR?

Fuentes de vibraciones más comunes en motores de combustión interna

- Esfuerzo torsional y de flexión en el motor

- Fuerza y movimiento de fuerza de inercia desbalanceado en el mecanismo biela manivela
- Carácter impulsivo de la fuerza de los gases en el cilindro
- Cargas de impacto en pares cinemáticos del mecanismo biela manivela y otros mecanismos.

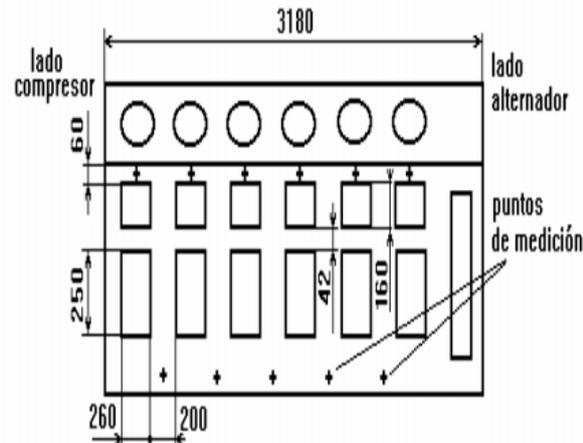
Uno de los puntos en donde se realizó las mediciones es el bloque, es en donde se encuentran los pistones y tiene un movimiento muy importante del punto muerto superior (PMS) al punto muerto inferior (PMI).

Las vibraciones en estos motores se dan en el movimiento biela manivela este sistema es complejo, en su funcionamiento transforma la energía cinética producto de la combustión de la mezcla en energía mecánica.

Las vibraciones en el bloque son producidas por el desgaste de los pistones, biela y el cigüeñal lo que dificulta el funcionamiento debido a que los pistones tienen un movimiento rectilíneo alternativo, el cigüeñal tiene un movimiento circular que varía con la velocidad de rotación y las bielas tienen un movimiento combinado donde tiene un porcentaje de movimiento rectilíneo alternativo, y otro porcentaje es circular que acompaña al cigüeñal.

A su vez el pistón hace un recorrido limitado del PMI al PMS, y sufre aceleraciones y desaceleraciones en el recorrido, donde se puede decir que los puntos extremos es velocidad cero y el recorrido medio es velocidad máxima.

Variaciones de velocidades y aceleraciones son masas en movimiento que produce desgaste y da lugar a la generación de vibraciones, si no son controladas o eliminadas pueden dar lugar a fallas permanentes en el motor.



**Figura 23** Ubicación de donde medir  
(Rodríguez, 1998, pág. 17)

### 1.19 VIBRACIONES EN MOTORES DE COMBUSTIÓN

El estudio de vibraciones en motores de combustión tiene la facilidad de detectar bajo distintos tipos de parámetros realizando el motor en un cuerpo rígido, donde llegaremos a detectar.

- Las diferencias de rotación del cigüeñal
- Oscilaciones del bloque

Llegando a considerar el motor en un cuerpo elástico podríamos observar:

- Holguras del cilindro
- Cojinetes
- Impacto y estanquidad en válvulas
- Combustión anormal

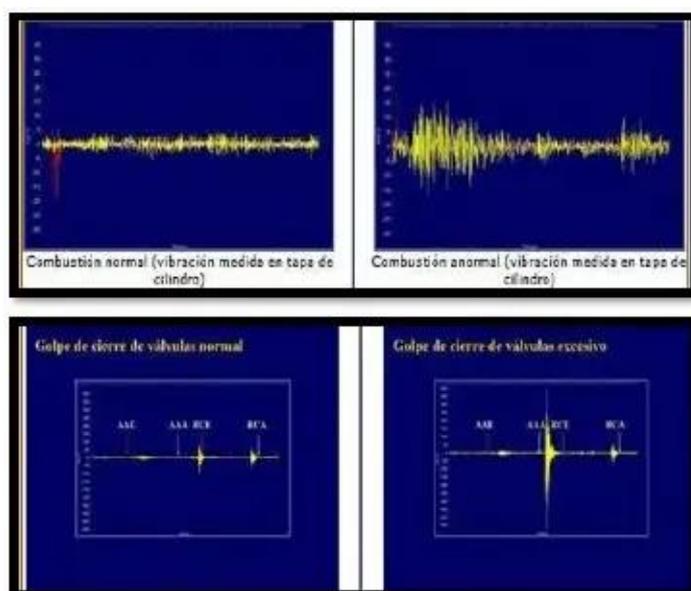
### 1.20 FUNCIONAMIENTO DEL MOTOR VERSUS VIBRACIONES

El análisis de vibración ayuda a realizar un mantenimiento preventivo a todos los operadores llevando una ficha técnica en la que se registren datos obtenidos de la comparación de un motor en buen estado y con un motor que obtenga averías y produzca vibraciones.

Las vibraciones son generadas por el funcionamiento erróneo o desgastes de las piezas ocasionadas en cierta forma por el mal manejo del operador, así como también por el paso

del tiempo sin una revisión técnica de cada uno de los sistemas por los que está compuesto tanto el motor como el tractor.

Hay que tener en cuenta que todas las máquinas vibran debido a las tolerancias inherentes a cada uno de sus elementos constructivos. Estas tolerancias proporcionan a una máquina nueva característica básica mediante la cual comparar futuras vibraciones para su correcta evaluación. Un cambio en la vibración básica de una máquina, funcionando en condiciones normales, será indicativo de que algún defecto incipiente se está dando en alguno de sus elementos (López, 2004, pág. 25).



**Figura 24** Señales de medición  
(Albarado , 2017, pág. 3)

## 1.21 ANÁLISIS DE ACEITES Y COMBUSTIBLES

Uno de los factores que influyen en la generación de vibraciones en las diferentes partes del motor es la utilización de aceites de mala calidad o de características no adecuadas para el tipo de trabajo que realiza cada motor, así mismo la utilización de diferentes tipos de combustibles (diésel).

### 1.21.1 PROPIEDADES Y CLASIFICACIÓN DE LOS ACEITES

A partir del diagnóstico de aditivos, metales de desgaste y contaminación se determinan los parámetros físico-químicos del lubricante para así tomar medidas oportunas, se aplica en aceites de motor, aceites hidráulicos, de engranajes, entre otros.

### 1.21.2 CLASIFICACIÓN DE LOS ACEITES LUBRICANTES POR SU ORIGEN

Existen muchas clasificaciones de los aceites, por el estándar que cumplen, por el método de ensayo, por el tipo de ingenio mecánico que protegen (motor, transmisión, entre otros).

**Convencionales o Minerales:** Son aceites obtenidos, en las refinerías a partir del petróleo bruto en las torres de destilación

**Sintéticos:** No tienen su origen directo en el petróleo, sino que son creados de subproductos petrolíferos combinados y preparados en laboratorio

**Semisintéticos:** Son aceites “mezcla” de los anteriores. Lo normal son composiciones del 70-80% de mineral y resto de sintético.

#### 1.21.2.1 Clasificación por grado de viscosidad

Lubricante por grado de viscosidad: El valor SAE define el grado de viscosidad del aceite, que depende y mucho de la temperatura. La viscosidad se refiere a un valor que indica la mayor o menor estabilidad de un aceite lubricante con los cambios de temperatura. En las tiendas encontrarás aquellos que sean monogrados o multigrados.

**Aceite monogrado.** - Diseñados para trabajar a una temperatura específica o en un rango muy cerrado de temperatura. En el mercado se pueden encontrar aceites monogrado SAE 10, SAE 20, SAE 30 y SAE 40, entre otros, es utilizado en motores de maquinaria pesada

#### 1.21.2.2 Clasificaciones internacionales

Existen numerosas normas que clasifican los aceites en función de una u otra característica o desempeño. Algunas de las más conocidas son la de la SAE (Society of Automotive Engineers) o la API (American Petroleum Institute) representa el estándar americano o la ACEA (European Automobile Manufacturers' Association), pero existen muchas otras, incluso los fabricantes importantes tienen o pueden tener sus propias clasificaciones (Carraro, 2012).

Por otra parte, existen pruebas que se realizan a los diferentes tipos de aceites entre las que se encuentran:

### **1.21.3 TBN**

El TBN (Número Total de Bases) o BN (Número de base) representa la reserva alcalina en miligramos de Hidróxido de Potasio que contiene un gramo de aceite (mgKOH/g); esta medida indica la capacidad que tiene el aceite de neutralizar los ácidos generados durante el proceso de combustión, por tal motivo a mayor contenido de azufre mayor será la reserva alcalina exigida al lubricante con el fin de ofrecer protección al motor (motores Diésel) (Doyle, 2019).

### **1.21.4 TAN**

TAN (Número Total de Ácidos) o AN (Número de Ácido) El índice de acidez es una herramienta de tendencia que se aplica generalmente a los lubricantes industriales y a los aceites de motor de gas natural. El índice de acidez en un nuevo lubricante representa un cierto nivel de composición de aditivos. Esto puede provenir de aditivos anti desgaste, inhibidores de óxido u otros aditivos. El índice de acidez puede disminuir un poco después de que un lubricante ha estado en servicio durante un cierto período, lo que indica un agotamiento inicial del aditivo (Doyle, 2019).

## **1.22 PROPIEDADES DEL DIESEL**

El gasóleo, gasoil o diésel es un hidrocarburo en estado líquido que está compuesto básicamente por parafinas. Se obtiene gracias al proceso de destilación del petróleo crudo, que es sometido a purificación para eliminar el azufre y otros componentes.

Las características que tiene el diesel influyen de manera directa en el funcionamiento y la fiabilidad del motor, así también en la cantidad de gases contaminantes emitidos a la atmósfera. Las propiedades del combustible diesel más significativas son: retardo al encendido, poder calórico, volatilidad, punto de inflamabilidad, residuo carbonoso, viscosidad, contenido de azufre, contenido de agua y sedimentos, contenido de cenizas y la densidad.

La siguiente tabla menciona los requisitos que debe cumplir el combustible diésel Premium comercializado en Ecuador, estos requerimientos son fijados y aprobados por la Norma Técnica Ecuatoriana INEN oficializada como obligatoria bajo el registro oficial N° 819 con fecha 29/10/2012.

**Tabla 3.** Requisitos del diésel Premium

Requisitos	Unidad	Mínimo	Máximo	Método de ensayo
Punto de Inflación	°C	51.0	--	NTE INEN 1493 PROCEDIMIENTO A
Φ Contenido de agua y sedimento	%	--	0.05	NTE INEN 1494
W Contenido de residuo carbonoso sobre el 10% del residuo de la destilación	%	--	0.15	NTE INEN 1491
W Contenido de cenizas	%	--	0.01	NTE INEN 1492
Temperatura de destilación del 90%	°C	--	360	NTE INEN 926
Viscosidad cinemática a 40 °C	mm <sup>2</sup> /s	2.0	5.0	NTE INEN 810
W Contenido de azufre	%peso (ppm)	--	0.05 500	ASTM 4294 NTE INEN 1490
Corrosión a la lámina de cobre	Clasificación	--	No.3	NTE INEN 927
Índice de cetano calculado	--	45.0	--	NTE INEN 1495
Contenido de biodiesel, φ Biodiesel	%	5	10	NTE INEN 14078
*NOTA				
NOTA: De no contener biodiesel no es necesario la realización de este ensayo				

Fuente. Norma Técnica Ecuatoriana, 2012 citado por (Eugenio , 2016, pág. 12).

Cabe destacar que existen tres tipos de gasoil (A, B y C), teniendo cada uno de ellos unas funciones y destino específicos.

El gasoil de tipo B es el adecuado para el empleo en tractores y maquinaria agrícola, así como en otros sectores como aviación o embarcaciones. Se compone de un mayor nivel de parafina que el gasoil de Tipo A y está menos filtrado, por lo que lo normal es que contenga más impurezas.

El de Tipo C es el más barato y por lo tanto el que menos refinado está y menos aditivos para el uso correcto en automóviles contiene. Es el que utilizan las calderas de calefacción por su alto porcentaje de parafina

### 1.22.1 COMPOSICIÓN DEL DIÉSEL

El diésel o gasoil que deriva del petróleo se compone en un 75% por hidrocarburos saturados (isoparafinas y cicloparfinas), el resto son hidrocarburos aromáticos (alcalobencenos y naftalenos).

### 1.22.2 VARIANTES DEL DIESEL

**Biodiésel:** El diésel se puede producir a partir de otras fuentes diferentes al petróleo. El biodiesel o **B100** es producido tomando como base fuentes renovables, como aceites vegetales o grasas animales. El rendimiento de este biocombustible se compara con el derivado del petróleo y la diferencia es muy poca.

**Mezclas de biodiésel:** Conocido también como **B-20**, es una mezcla resultante entre 80% de diésel convencional con 20% de biodiésel. Otro tipo es el **B-5**, donde la proporción es 95% de diésel regular y 5% de biodiésel.

**Diésel de azufre ultra bajo:** Esta clase de combustible posee más o menos 20 partes por millón de azufre. Esto reduce las emisiones de gases, como el óxido de nitrógeno y de hollín por parte del motor.

**Diésel regular:** Es el diésel normal y ha resultado ser más contaminante que los anteriores, debido al azufre que contiene: unas 500 partes por millón.

**Diésel grado 1D, 2D y 4D:** El diésel es clasificado en diferentes grados, los más frecuentes son: 1D, 2D y 4D. Esta clasificación corresponde a las densidades, siendo el 1D el menos denso de los tres. Suele usarse cuando la velocidad del motor varía constantemente y hay temperaturas muy bajas. El 2D es un grado de combustible usado en motores uniformes con alta velocidad y temperaturas cálidas. Puede mezclarse con gasolina para hacer más efectivo el combustible en invierno. El 4D es un grado que no se usa comúnmente porque es más denso que los demás. Se emplea en motores con velocidad muy baja (Menna, 2016).

### **1.22.3 VENTAJAS DEL COMBUSTIBLE BIODIÉSEL**

El uso de biodiésel ofrece algunas ventajas respecto a los combustibles tradicionales procedentes del petróleo:

Al ser de origen vegetal, es un combustible respetuoso con el medio ambiente. La materia prima es ecológica y se produce a partir de semillas cultivadas de diferentes plantas, como la colza, la soja o el girasol. Incluso es posible fabricar biodiésel a partir de aceites reciclados procedentes de la hostelería o de industrias alimentarias.

No contiene azufre, por lo que no contribuye al efecto invernadero. El azufre es uno de los componentes del gasoil y, aunque en el mercado se pueden encontrar combustibles con baja carga de azufre, estas variantes provocan una pérdida de lubricación que pueden afectar al rendimiento del motor.

Genera menos emisiones de gases contaminantes y sustancias perjudiciales para la salud, como dióxido de carbono, hollín o benceno.

Se puede transportar con más facilidad que el diésel y es más biodegradable.

### **1.22.4 INCONVENIENTES DEL COMBUSTIBLE BIODIÉSEL**

Se solidifica a bajas temperaturas, lo cual hace que se formen cristales que pueden llegar a taponar las tuberías de combustible.

Pierde parte de sus propiedades a corto plazo, algo que no sucede con los combustibles fósiles.

Suele resultar más caro que el gasoil, aunque esto depende de su origen y su modo de elaboración.

No se puede utilizar en todos los motores del mercado. Emplear biodiésel en un motor que no está preparado para ello puede provocar diferentes problemas: desde averías en los inyectores hasta daños más graves en la parte interna del motor (pistones, bielas, árbol de levas, entre otros.) (Blog de los profesionales del taller , 2016).

## **CAPÍTULO II**

### **2. MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **2.1 MATERIALES**

##### **Introducción**

Actualmente, en el mercado existen aparatos con una gran precisión en la medida y de relativo alto precio, estos aparatos suelen medir las vibraciones en unidades de desplazamiento (mm), velocidad (mm/s) y de aceleración de la vibración (mm/s), tanto en valores medios (RMS) como en valores de pico (pk -pk). Una correcta utilización de estos aparatos, como es lógico, mejora notablemente el control de los equipos, pudiendo así realizar un mantenimiento predictivo con buenos resultados (López, 2004, pág. 25).

Los tipos de investigación que se utilizaron principalmente es el trabajo de campo que se realizó con la utilización del tractor y los distintos aparatos de medición y procesamiento de vibraciones, así como también el tipo de investigación analítica en el que se analiza y se obtiene resultados en base a los datos obtenidos de los diferentes componentes del motor en buen estado como en mal estado.

##### **2.1.1 TRACTOR**

El material que se va a utilizar es un tractor que facilita la Universidad Técnica del Norte, es una tesis ya elaborada por estudiantes donde permitirá desarrollar el plan de estudio de análisis de vibraciones, se obtendrá medidas en el motor el mismo que se encuentra en perfectas condiciones.

El motor tiene la fuerza necesaria para remolcar o accionar distintas maquinas que se utiliza en la agricultura, este tractor cuenta con ruedas neumáticas de las cuales predominan las traseras que son motrices y de mayor tamaño que las delanteras que llegan a ser directrices. Está compuesto por un chasis sólido de un solo cuerpo que genera una sola masa, tiene incorporados dos sistemas de refrigeración, por medio de líquido y por aire y el orden de encendido del motor es 1,3,2, el combustible que utiliza es Diésel en una cantidad de 18.5 gal.

Los datos que se necesitan serán tomados en el motor que se encuentra en la parte delantera con el fin de tener mayor estabilidad. El sistema de encendido consta de una bujía de precalentamiento, que al momento de encender el tractor se debe calentar por lo menos treinta segundos, obteniendo un encendido preciso para el motor.

## 2.1.2 CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL TRACTOR

A continuación, se representará mediante una tabla los datos de mayor importancia del motor del tractor internacional “Harvester 523”.

**Tabla 4** Datos del motor

<b>Producción:</b>		<b>International Harvester 523 Power:</b>	
Fabricante:	Cosechadora internacional	Motor:	52 caballos de fuerza [38,8 kW]
Fábrica:	Neuss, Alemania		
<b>Motor International Harvester 523 :</b>		<b>Mecánico:</b>	
International Harvester 2.9L 3 cilindros diésel		Chasis:	4x2 2WD 4x4 TDM 4WD
<b>Capacidad:</b>		Bloqueo diferencial:	trasero mecánico
Combustible:	70,0 L [ 18,5 galones ]	Dirección:	manual
Sistema hidráulico:	16,3 L [ 4,3 galones ]	Frenos:	Dto
<b>Enganche de 3 puntos :</b>		Taxi:	Estación de operador abierta.
Tipo trasero:	II / I		
Elevador trasero:	3748 libras [1700 kg]	<b>Hidráulica:</b>	
<b>Toma de fuerza (PTO) :</b>		Capacidad:	16,3 L [ 4,3 galones ]
TDF trasera:	independiente	Caudal de la bomba:	7,5 gpm [28,4 lpm]
RPM traseras:	540 540/1000	<b>Eléctrico:</b>	
<b>Dimensiones y neumáticos :</b>		Cargando sistema:	generador
Distancia entre ejes:	78,74 pulgadas [199 cm]	Amperios de carga:	10,8
Peso:	5380 a 6295 libras	<b>Batería:</b>	
Neumático delantero:	6.00-16	Amperios-hora:	135
Llanta trasera:	11x32		

Fuente. (TractorData, 2016)

## 2.2 EQUIPO DE OBTENCIÓN DE DATOS

### 2.2.1 SENSOR DE VIBRACIONES

Los sensores piezoeléctricos son considerados como una herramienta de alta precisión para la medición de distintas partes del motor y diferentes procesos, a pesar de que los sensores

piezoeléctricos son sistemas electromecánicos que reaccionan a la compresión, los elementos sensoriales muestran un cambio de dirección de la señal casi nula, debido a la alta precisión de estos sensores, ya tienen una frecuencia natural muy alta y amplio rango en la obtención de datos.

El acelerómetro piezoeléctrico 603C01 es el encargado de monitorear niveles elevados de vibraciones en la maquinaria, se puede tomar datos en maquinarias estacionarias y en movimiento sin la intervención de ser humano, es una forma de controlar y prevenir daños causados por el desequilibrio y la desalineación de la máquina.



**Figura 25** Sensor de vibración

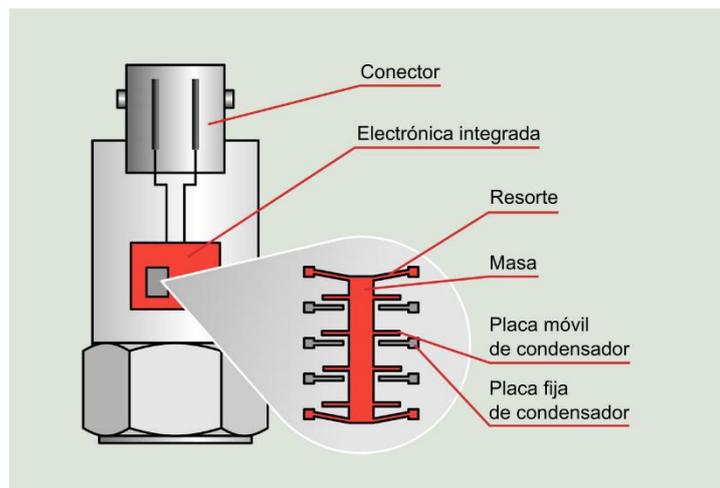
## Características

**Tabla 5** Características del sensor

<b>Tecnología</b>	<b>Aplicaciones</b>	<b>Frecuencia</b>
ICP	Maquina rotativa	Min 0.5 kHz
		Max 10 kHz

### 2.2.1.1 Funcionamiento del sensor

Este analizador o detector de señales es un dispositivo piezoeléctrico que es capaz de recibir una señal de vibración, se lo puede comparar con un voltímetro, este sensor es accionado por una señal de voltaje mientras el motor se encuentra funcionando, de igual manera puede enviar señales en voltaje en aceleración y velocidad.



**Figura 26** Sensor  
(Torres, 2018, pág. 1)

### 2.2.2 DAQ NI 9250

“Módulo de Entrada de Sonido y Vibración de la Serie C, 2 Canales, 102.4 kS/s/canal Simultáneo,  $\pm 5$  V—El NI-9250 puede medir señales desde sensores piezoeléctricos electrónicos integrados (IEPE) y no IEPE como acelerómetros y micrófonos. El NI-9250 también es compatible con sensores TEDS inteligentes. El NI-9250 proporciona un amplio rango dinámico e incorpora acoplamiento de AC/DC y acondicionamiento de señales IEPE seleccionable por software. Los canales de entrada miden señales simultáneamente. Cada canal también tiene filtros anti-aliasing integrados que ajustan automáticamente su velocidad de muestreo. Cuando es usado con software de National Instruments, este módulo ofrece funcionalidad de procesamiento para monitoreo de condición como análisis de frecuencia y rastreo de orden.

Proporciona generación y adquisición de señal dinámica en aplicaciones de sonido y vibración para sistemas CompactDAQ y CompactRIO” (Carrion , 2019, pág. 2).

- IEPE: circuito piezoeléctrico integrado



**Figura 27 DAQ**  
(Carrion , 2019)

“cDAQ-9171 El cDAQ-9171 es un chasis USB Compactad energizado por bus, diseñado para sistemas pequeños y portátiles de medidas de sensor. El chasis brinda la sencillez de conexión rápida (plug-and-play) del USB a sus medidas eléctricas y de sensores. También controla la temporización, la sincronización y la transferencia de datos entre los módulos de E/S de la Serie C y un servidor externo. Puede usar este chasis con una combinación de módulos de E/S de la Serie C para poder realizar diversas medidas de E/S analógica, E/S digital y contador/temporizador. El cDAQ-9171 también tiene cuatro contadores/temporizadores de uso general de 32 bits a los que puede acceder a través de un módulo digital de la Serie C instalado y temporizado por hardware en aplicaciones que utilizan codificadores de cuadratura, medidas de ancho de pulso (PWM), conteo de eventos, generación de tren de pulsos y medidas de período o frecuencia” (Carrion , 2019, pág. 2).



**Figura 28 Chasis**  
(Carrion , 2019)

### 2.2.3 LABVIEW

Este programa fue inventado por National Instruments por los años de 1976 con una versión disponible para Windows es diseñado con un lenguaje visual donde acelera la productividad o un desarrollo de programas de una manera eficiente.

Es un software que permite recopilar datos o señales emitidas por un acelerómetro y convertirlas en señales gráficas, donde se puede establecer dos instrumentos como es un acelerómetro y la conexión de una computadora.

“LabVIEW ofrece la opción de crear instrumentos virtuales, capaces de imitar tanto en apariencia como en operación a instrumentos físicos, se puede modificar dichos instrumentos virtuales y configurarlos a fin de que cumplan una tarea específica. Las diversas librerías de funciones y subrutinas ayudan a programar numerosas aplicaciones, además de las librerías específicas que disminuyen considerablemente la programación en el momento de usar la Adquisición de datos (DAQ), la interface de bus de Propósito General (GPIB), comunicación Serial (VISA) o los módulos de Adquisición de Imágenes (IMAQ)” (Tello Paladines & Salcán Reyes, 2009, pág. 32).

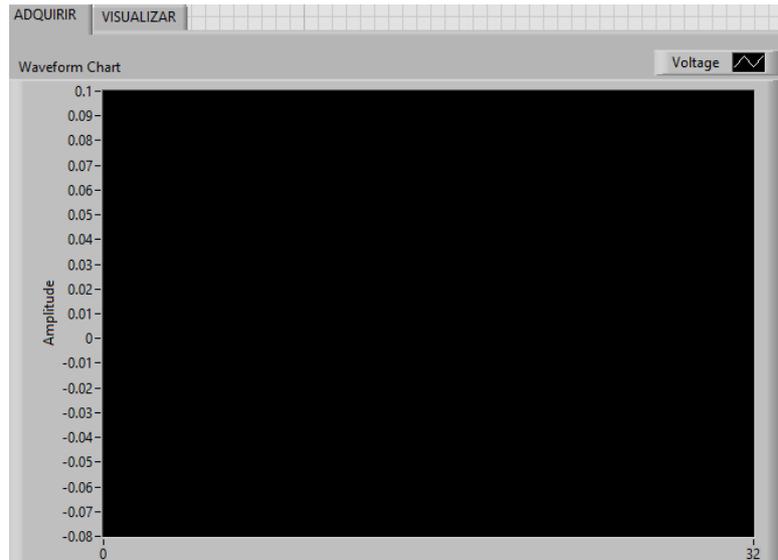


**Figura 29** LabVIEW  
(Tello Paladines & Salcán Reyes, 2009, pág. 31)

## 2.3 MÉTODOS

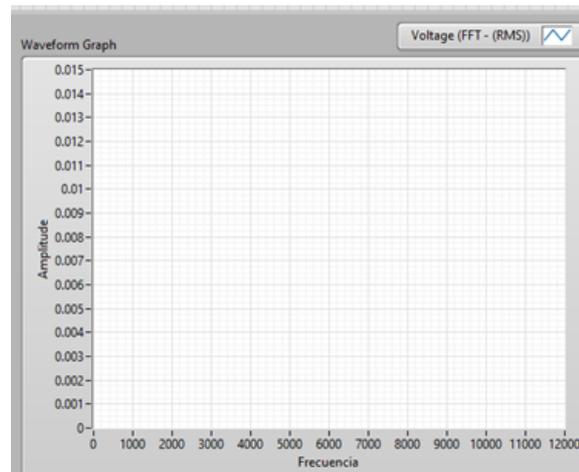
El software permite visualizar dos pantallas donde se puede captar las señales que emite el acelerómetro, ubicado en el punto específico, esta programación en LabVIEW no entrega los datos ya realizada la Transformación de FOURIER.

En esta pantalla se visualizarán las características esenciales en el eje “x” así como también el tiempo de 0 a 32 s, en el eje “y”, de igual forma la amplitud que se mide en voltaje donde se trabaja en un rango de 0 a 0.1 positivo y de 0 a -0.08 negativo.



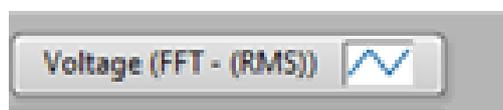
**Figura 30** Pantalla de amplitud vs tiempo

En esta pantalla se observa la señal en el eje “x” la frecuencia de un rango de 0 a 1200 Hz, en el eje “y” la amplitud en voltaje con un rango de 0 a 0.015 voltios, de igual manera se visualiza la transformación de FOURIER



**Figura 31** Pantalla amplitud vs frecuencia

Esta ventanilla permite verificar los datos que se va a obtener como indica la figura en voltaje, en FFT que significa Transformacion de FOURIER , RMS la medicion cuadratica de la señal.



**Figura 32** Señal de transformación de FOURIER

Este boton llamado Enble permite grabar la señal que emite el tractor por medio del acelerometro por un tiempo de un mituto y poder visualizar en la pantalla.



**Figura 33** Enable "grabar"

El boton Boolean indica dos luces si se encuentra en la luz verde no esta guardando ninguna informacion, si se encuentra en la luz roja esta almacenando la señal emitida por el acelerometro.



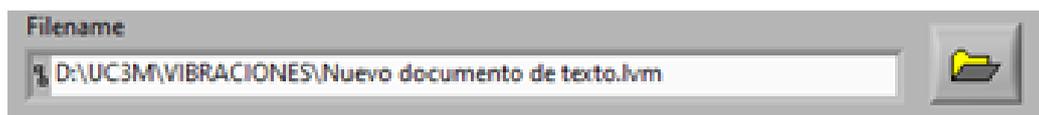
**Figura 34** Botón de grabación

El boton llamado estop permite detener la grabacion de la señal de vibración requerida para el analisis de vibraciones.



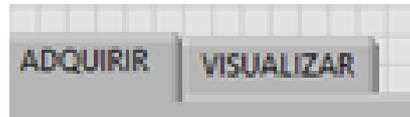
**Figura 35** Stop

El botón Filename da opción para escoger o examinar el lugar donde se va a guardar los datos obtenidos de las diferentes vibraciones del motor.



**Figura 36** Filename

El botón adquirir indica las dos ventanas que muestran amplitud y tiempo y la ventana de amplitud y frecuencia.



**Figura 37** Adquirir y visualizar

### **2.3.1 ZONA DE MEDICIÓN DE VIBRACIONES**

Las mediciones que se realizó fueron en tres lugares específicos, el motivo de la ubicación es por la mayoría de desgastes o daños que puede presentarse en el motor.

#### **2.3.1.1 Parte superior del motor “culata”**

En la parte superior se encuentran los inyectores son una parte muy importante del motor ya que son los encargados de inyectar el combustible necesario para poder realizar la combustión.

Si se presenta un daño o un inyector tapado el funcionamiento del motor llegaría a atrancarse ya que el motor perdería fuerza, por lo tanto, se obtuvo un punto muy importante de recopilación de dato.



**Figura 38** Zona de medición de vibraciones

### 2.3.1.2 Parte media del motor “bloque”

En la parte media del motor se puede detectar las vibraciones que produce los pistones en los cilindros, es un punto muy adecuado donde se verifica si un cilindro presenta un desgaste mecánico, desgaste por abrasión o la corrosión química.



**Figura 39** Parte media del motor "bloque"

### 2.3.1.3 Parte inferior del motor “cigüeñal”

En la parte inferior se encuentra el cigüeñal donde emite el movimiento alternativo del pistón en un movimiento circular, las averías que se presenta en este lugar por motivo de vibraciones es la de rotura por fatiga, puede ser por el encendido irregular, desequilibrado del cigüeñal o golpeteos que obtiene la culata.



**Figura 40** Parte inferior del motor "cárter"

## 2.3.2 ADQUISICIÓN DE DATOS DE VIBRACIONES

### 2.3.2.1 Procedimiento de medición

“Realizado la adquisición de datos de vibración de una maquina rotativa es necesario identificar la causa la cual permita buscar la forma y el momento de corrección eficiente es decir q se elimine las fallas y su costo económico sea lo más bajo posible. Una máquina que funcione correctamente tiene valores que suelen estar dentro de una norma de severidad de vibración la cual permanecen constantes, cuando de repente la tendencia asciende de una forma brusca se puede imaginar de alguna falla ya sea en el motor o los componentes del sistema” (Poaquiza Rivera, 2015, pág. 21).

Se realizará las mediciones con el tractor estacionado por el motivo de obtener los datos más precisos, permitirá tener un motor al cien por ciento en funcionamiento una manipulación adecuada de aceleración obteniendo las señales omitidas solo por el motor sin transferencia de ruidos o vibraciones extras, evitando un desgaste mayor si se hubiese un daño.

Si obtenemos datos con el tractor en circulación obtendremos señales de vibración no tan adecuadas por el motivo del estado de circulación, mal estado de la vía ocurrirá señales alteradas por motivo que el tractor se encuentra compactado como una sola masa.

Es necesario colocar el acelerómetro lo más cerca posible de los puntos específicos de donde emite la mayor señal de vibración que son en la parte superior, media e inferior del motor, se estableció los puntos de mayor importancia por las averías o las dificultades que puede ocasionar al motor en el momento que llegue a fallar, por ejemplo los inyectores son una falla para todo el motor a largo plazo por fugas internas o externas de combustible donde hay daños en la cabeza del pistón por efecto de goteo, rayando las paredes de los cilindros.

Parámetros para obtener medidas en el tractor son:

- Tractor estacionado
- Revisar el tractor antes de encender (aceite, diésel, agua)
- Calentar la bujía de precalentamiento “30 s”
- Encender el tractor
- Esperar que llegue a su temperatura máxima de 85 grados
- Colocar el sensor de vibraciones en el punto destinado

- Realizar la medición en 900 y 2500 rpm en cada punto
- Tiempo de recopilación de datos de un minuto

Medición I: culata “inyectores” (1 minuto por inyector en 900 y 2500 RPM)

Medición II: bloque del motor “pistones” (1 minuto por inyector en 900 y 2500 RPM)

Medición III: cárter “cigüeñal” (1 minuto por inyector en 900 y 2500 RPM)

### **2.3.3 DIFERENCIA DE REVOLUCIONES**

Se enfocó en dos tipos de revoluciones que tiene el motor a una temperatura máxima de calentamiento que es de 85 grados.

#### **2.3.3.1 Revoluciones por minuto 900 (rpm)**

El motor en una revolución de 900 se encuentra en estado de ralentí es una manera mínima de revoluciones al que se encuentra sometido un motor de combustión para permanecer en funcionamiento de una forma estable sin la mayor necesidad de accionar ningún mecanismo.

#### **2.3.3.2 Revoluciones por minuto 2500 (rpm)**

El motor se encuentra en un estado acelerado sin obtener ningún movimiento, pero a la vez inyectando mayor cantidad de combustible y obteniendo una mayor vibración por la adquisición de cambio de marcha.

### **2.3.4 ACOPLAMIENTO DEL SENSOR**

#### **2.3.4.1 Sensor con imán**

El sensor con imán facilita la ubicación en los lugares más complicados para poder introducir el sensor, o dicho material con el que se encuentra fabricado la pieza donde se va a realizar la medición y que no se lo pudiera perforar.



**Figura 41** Sensor con imán

#### **2.3.4.2 Sensor con prisionero**

En este tipo de sensor viene incluido un tornillo prisionero que se lo puede ubicar en el lugar donde se requiera medir teniendo la facilidad y mayor seguridad de que no tenga una variación o movimiento del sensor.

En este caso se utilizó en la parte superior del motor, cambiando los pernos que ajustan a los inyectores realizando perforaciones en la cabeza de los pernos para poder enroscar el prisionero y obtener los datos necesarios.



**Figura 42** Sensor con prisionero

## 2.4 DATOS EN BUEN ESTADO

### 2.4.1 INYECTORES

La misión de los inyectores es la de realizar la pulverización en una pequeña cantidad de combustible y de dirigir el chorro de tal modo que el combustible sea esparcido homogéneamente por toda la cámara de combustión. Los inyectores se encuentran en la parte superior del motor, con la referencia del volante de inercia es el lugar que se encuentra varios elementos o accesorios del motor como puede ser el ventilador, la banda de accesorios entre otros.



**Figura 43** Puntos de medición en los inyectores

En el punto 2.3.2 se ha mencionado a las revoluciones y los lugares de los que se va a compilar los datos.

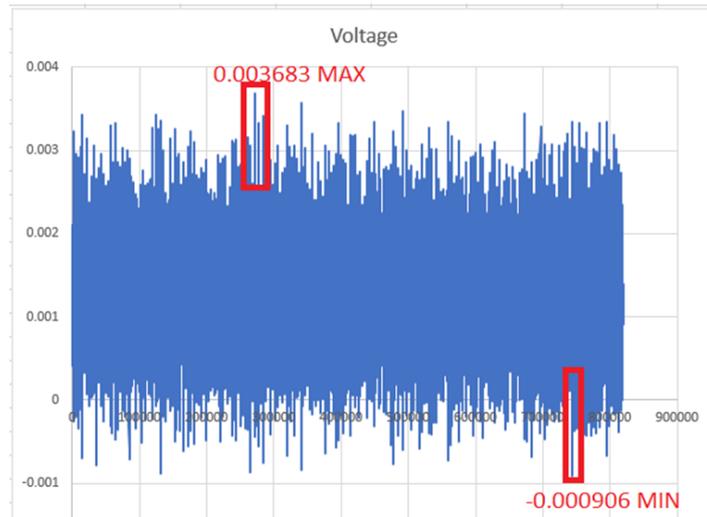
En las siguientes figuras se observa las ondas emitidas por los tres inyectores, las mismas que indican que el funcionamiento del motor se encuentra en óptimas condiciones tanto en 900 y 2500 RPM.

De igual manera en las siguientes tablas se realiza una comparación de los datos obtenidos en los diferentes puntos de medición para cada inyector.

### 2.4.1.1 Datos 900 RPM

#### Inyector 1

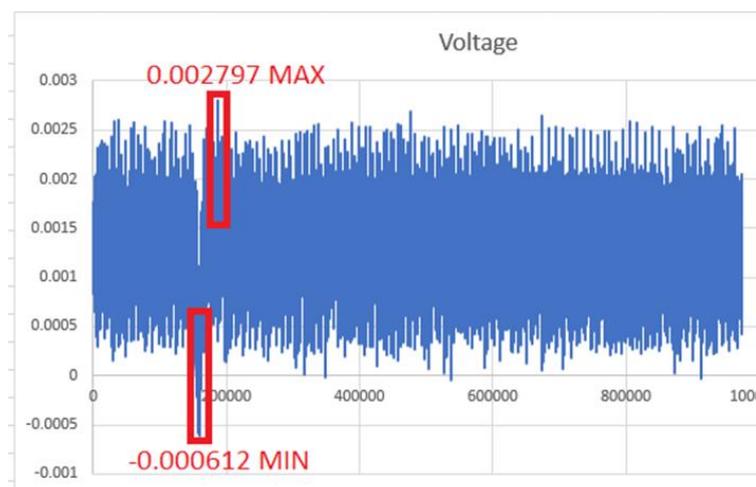
En la figura 44 observamos una señal de 0.0036 V que representa el pico más alto en un tiempo aproximado de 12 segundos, con una señal negativa de 0.00090 V



**Figura 44** Señal del inyector 1 en ralentí

#### Inyector 2

En la figura 45 se puede observar que empieza con una señal negativa de -0.0006 V por el orden de encendido, hasta ascender con el pico más alto de 0.0027 V en el tiempo de 20 segundo.



**Figura 45** Señal del inyector 2 en ralentí

### Inyector 3

El inyector empieza del punto 0 con una amplitud de 0.0028 V hasta -0.00049 V en el tiempo de 60 segundos observamos la señal más alta por efecto de la inyección de combustible.



**Figura 46** Señal del inyector 3 en ralentí

En la tabla 5 se observa los datos principales de los tres tipos de inyectores donde se realiza una comparación de la señal más elevada a 900 rpm por el orden de encendido empieza en el inyector uno, lo que da un dato mayor a los demás inyectores con una diferencia de 0.0041.

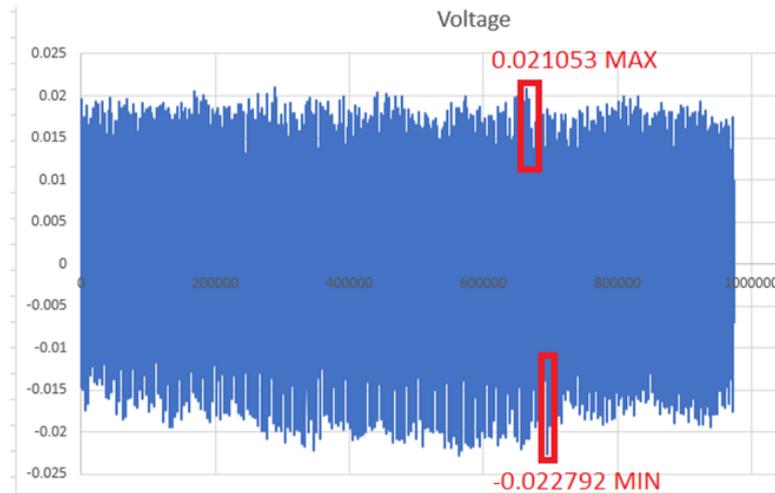
**Tabla 6** Comparación de datos de los inyectores en ralentí

900 RPM					
Inyector 1		Inyector 2		Inyector 3	
PICO MAX	PICO MIN	PICO MAX	PICO MIN	PICO MAX	PICO MIN
0.003683	-0.000906	0.002797	-0.000612	0.002819	-0.00049

#### 2.4.1.2 Datos 2500 RPM

##### Inyector 1

A mayores revoluciones que se encuentre el tractor la inyección de combustible será mayor, la señal obtenida en un minuto tiene un pico de 0.021V y al finalizar el ciclo se obtiene un valor del pico más alto de -0.022 V.



**Figura 47** Señal del inyector 1 en 2500 RPM

### Inyector 2

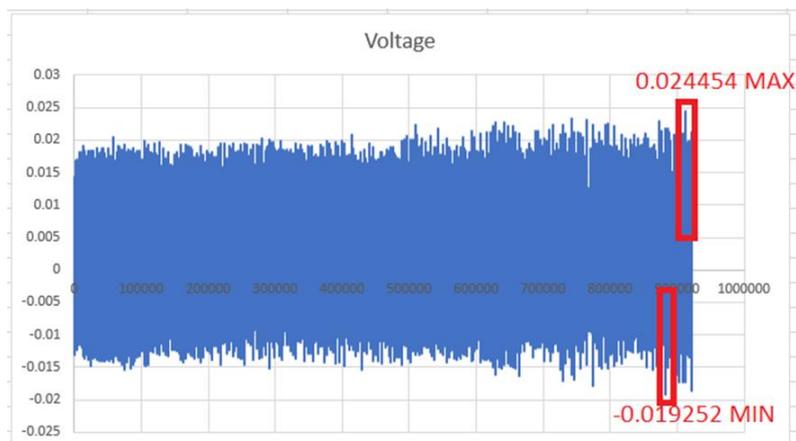
A cantidad de combustible inyectado da una señal de 0.022631 V en el pico más alto al momento de finalizar el tiempo de un segundo se obtiene un dato negativo de la amplitud de la señal final de -0.022 V.



**Figura 48** Señal del inyector 2 en 2500 RPM

### Inyector 3

El valor máximo se representa pasado el minuto ya que su valor es 0.0244 V en un inyector de buen estado sin tener ninguna avería y absorbiendo las vibraciones de los demás componentes empezando con una señal negativa de -0.019 V.



**Figura 49** Señal del inyector 3 en 2500 RPM

En la tabla se muestran datos de los inyectores en 2500 RPM donde observa que el inyector tres tiene más vibración que los demás y aumenta en la comparación de los datos de los inyectores de 900 RPM, obteniendo una diferencia de vibración de 0.005V.

**Tabla 7** Comparación de datos de los inyectores en 2500 RPM

2500 RPM					
Inyector 1		Inyector 2		Inyector 3	
PICO MAX	PICO MIN	PICO MAX	PICO MIN	PICO MAX	PICO MIN
0.021053	-0.022792	0.022631	-0.022926	0.024454	-0.019252

#### 2.4.2 DATOS BLOQUE “CILINDROS”

En el bloque realizamos las medidas respectivas a cada cilindro, tomando la referencia de inicio desde el volante de inercia.

En las siguientes figuras se observa las ondas emitidas por el movimiento de los pistones en cada uno de los cilindros desde el punto muerto inferior “PMI” al punto muerto superior “PMS” las que indican que el funcionamiento del motor se encuentra en óptimas condiciones tanto en 900 y 2500 RPM.

Así también en las siguientes tablas se realiza una comparación de los datos obtenidos en los diferentes puntos de medición para cada cilindro.

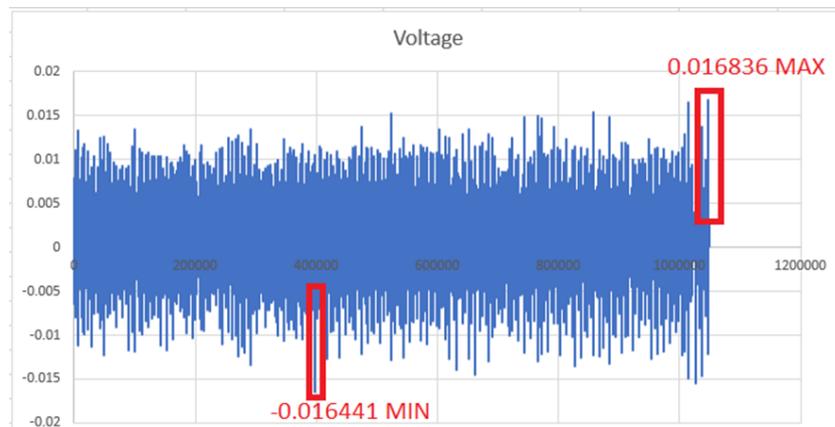


**Figura 50** Punto de medición en el "bloque"

#### 2.4.2.1 Datos 900 RPM

##### Cilindro 1

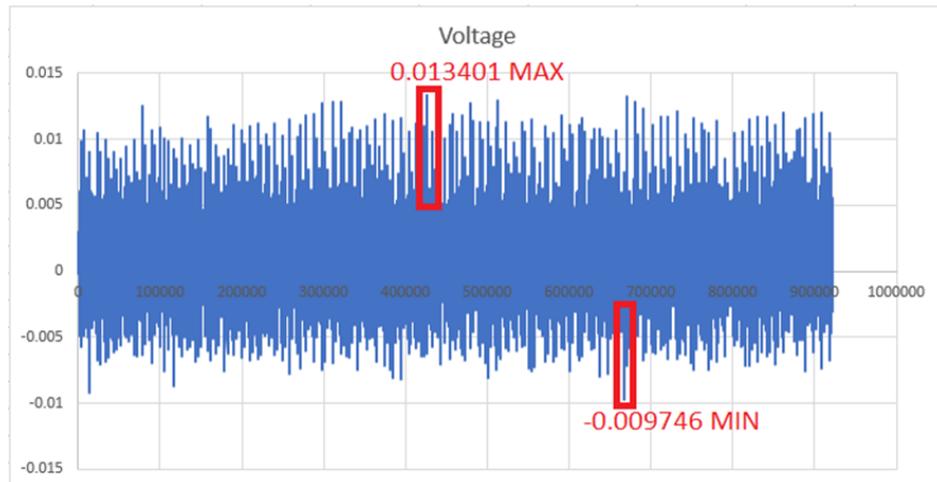
En la figura 51 se analiza al cilindro con una vibración de 0.016 V por el orden de encendido del motor, empezando con una señal negativa de 0.016 V en tiempo de 10 segundos.



**Figura 51** Señal en el cilindro 1 en ralentí

##### Cilindro 2

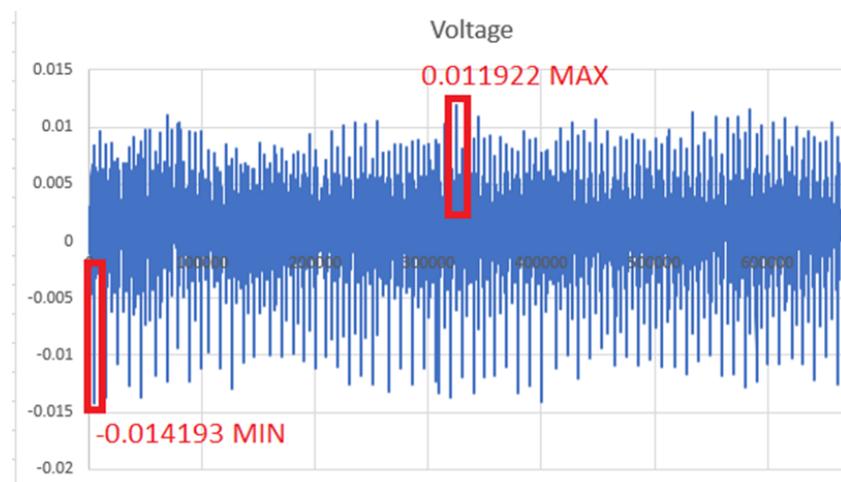
El valor de la señal es de 0.013 V por el motivo que el pisto está llegando al punto muerto superior el transcurso que el pistón se encuentra bajando al punto muerto inferior dando una vibración al finalizar el ciclo de -0.0097 V



**Figura 52** Señal del cilindro 2 en ralentí

### Cilindro 3

La figura demuestra que comienza la señal con un valor negativo de -0.014 V ya que el pistón 2 está acabando de realizar la explosión y el pistón tres empieza a realizar la combustión dando así una señal de negativo a positivo con valor de 0.011 V.



**Figura 53** Señal del cilindro 3 en ralentí

La tabla 7 indica que el cilindro uno tiene mayor vibración que el cilindro dos y tres con una diferencia de 3 y 5 voltios respectivamente en un estado de ralentí en su pico más alto, esta diferencia se da principalmente por el orden de encendido ya que este cilindro es el que recibe combustible y se genera la primera explosión.

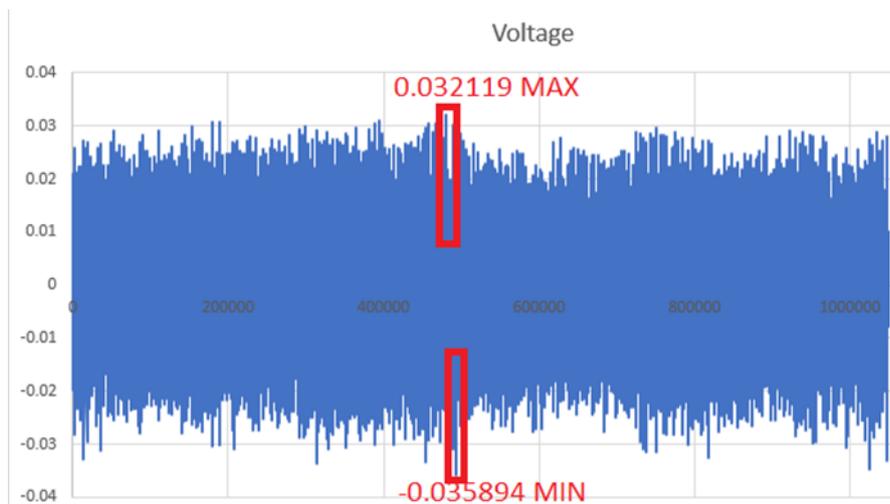
**Tabla 8** Comparación de datos los cilindros en ralentí

900 RPM					
Cilindro 1		Cilindro 2		Cilindro 3	
PICO MAX	PICO MIN	PICO MAX	PICO MIN	PICO MAX	PICO MIN
0.016836	-0.016441	0.013401	-0.009746	0.011922	-0.014193

#### 2.4.2.2 Datos 2500 RPM

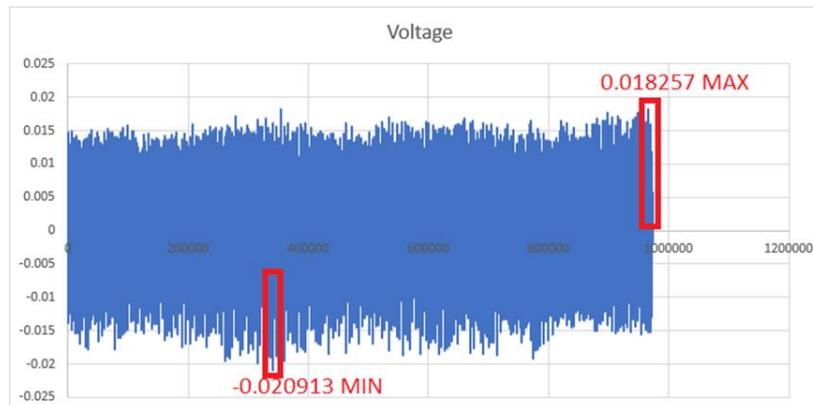
##### Cilindro 1

La aceleración del motor a 2500 RPM emite una señal con amplitud de 0.031 V y una longitud muy reducida obteniendo el pico negativo de -0.035 V.

**Figura 54** Señal del cilindro 1 en 2500 RPM

##### Cilindro 2

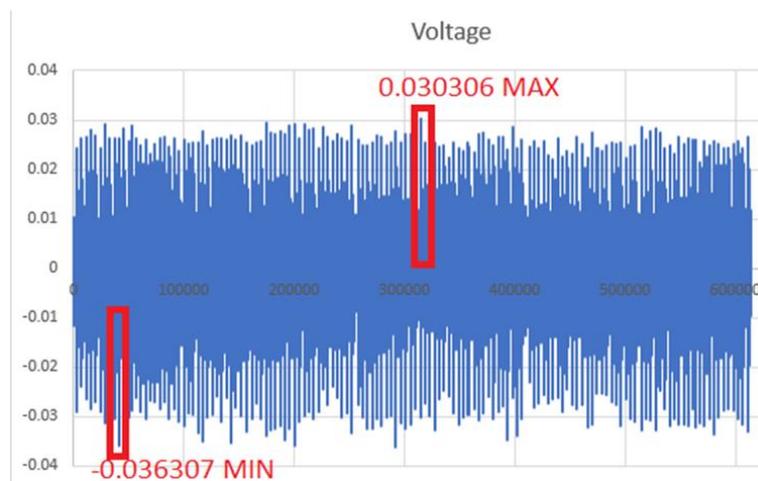
La situación del cilindro 2 se observa que el ciclo de la onda viene de la parte negativa - 0.020 V por el motivo que el pistón uno está acabando de hacer la explosión empezando la compresión en el pistón dos con un valor de 0.018 V.



**Figura 55** Señal del cilindro 2 en 2500 RPM

### Cilindro 3

El cilindro tres presenta una señal negativa de -0.036 V ascendiendo a una cresta de 0.030 V por el motivo de realizar la explosión en dicho cilindro por motivo del orden de encendido.



**Figura 56** Señal del cilindro 3 en 2500 RPM

La tabla 8 indica los datos obtenidos en las mediciones de las 2500 RPM en cada cilindro entendiendo que, a mayores revoluciones, mayor vibraciones y mayor consumo de combustible, observando los datos obtenidos tenemos una diferencia en los distintos cilindros de 0.0034 V.

**Tabla 9** Comparación de datos del cilindro en 2500 RPM

2500 RPM					
Cilindro 1		Cilindro 2		Cilindro 3	
PICO MAX	PICO MIN	PICO MAX	PICO MIN	PICO MAX	PICO MIN
0.032119	-0.035894	0.018257	-0.020913	0.030306	-0.36307

### 2.4.3 DATOS DEL CIGÜEÑAL

En el cigüeñal se han tomado dos puntos de referencia, el primer punto es en el inicio del volante de inercia.

Las siguientes figuras indican las ondas emitidas por el movimiento del cigüeñal en dos puntos las mismas que indican que el funcionamiento del motor se encuentra en óptimas condiciones tanto en 900 y 2500 RPM.

Las tablas 9 y 10 respectivamente representan la comparación de los datos obtenidos en los diferentes puntos de medición.

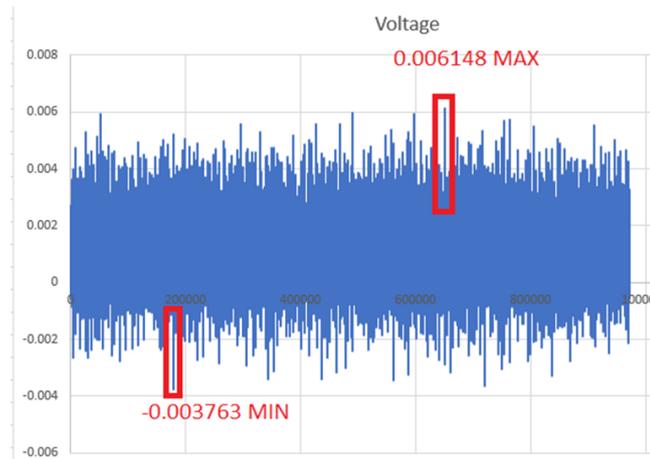


**Figura 57** Punto de medición en el cigüeñal

#### 2.4.3.1 Datos en 900 RPM

##### Punto 1

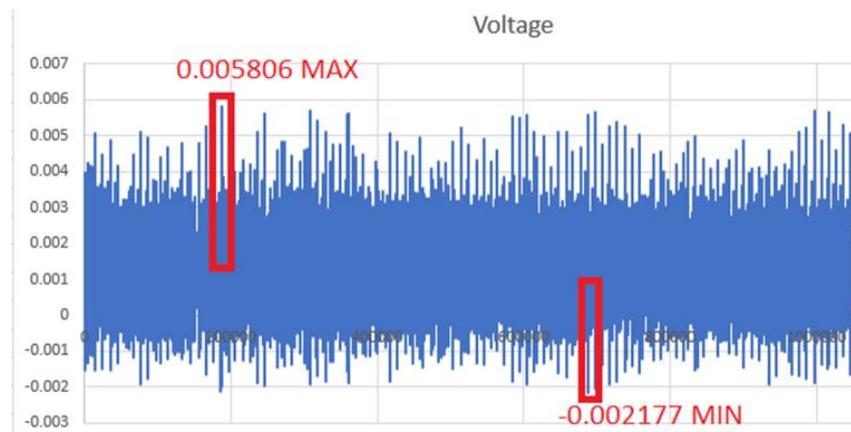
Las vibraciones producidas en el punto 1 es la recopilación de todas las señales que se encuentra cerca l cigüeñal como volante de inercia etc., empezando una señal negativa por el movimiento de giro anti horario de -0.0037 V hasta una cresta de 0.00614 V.



**Figura 58** Señal del punto 1 en ralentí

## Punto 2

La señal de cigüeñal obtenida es terminando un ciclo del cigüeñal obteniendo un pico de 0.0058 V ya que un ciclo es dos vueltas el cigüeñal terminando el ciclo de con un valor negativo en el pico más alto de -0.0021 V.



**Figura 59** Señal del punto 2 en ralentí

Los datos recopilados en la siguiente tabla indican la diferencia que existe al momento que empieza a girar el cigüeñal, en los picos o valores altos reflejan 0.003 V, mientras que para los valores negativos la diferencia es de 0.0017 V, lo que quiere decir que el punto 1 es en donde se produce mayor vibración ya que es a donde llega el movimiento del volante de inercia para que así gire el cigüeñal y por consiguiente los demás componentes.

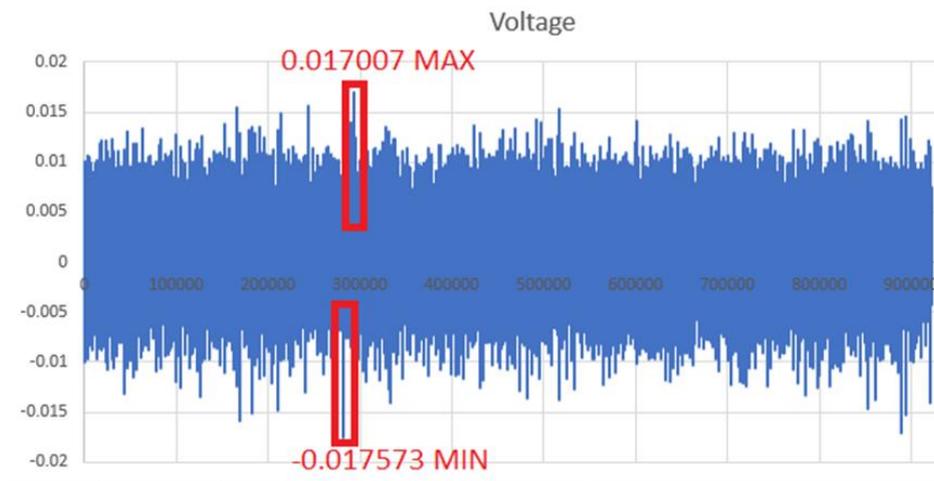
**Tabla 10** Comparación de datos del cigüeñal en ralentí

900 RPM			
Punto 1 Cigüeñal		Punto 2 Cigüeñal	
PICO MAX	PICO MIN	PICO MAX	PICO MIN
0.006148	-0.003763	0.005806	-0.002177

### 2.4.3.2 Datos de 2500 RPM

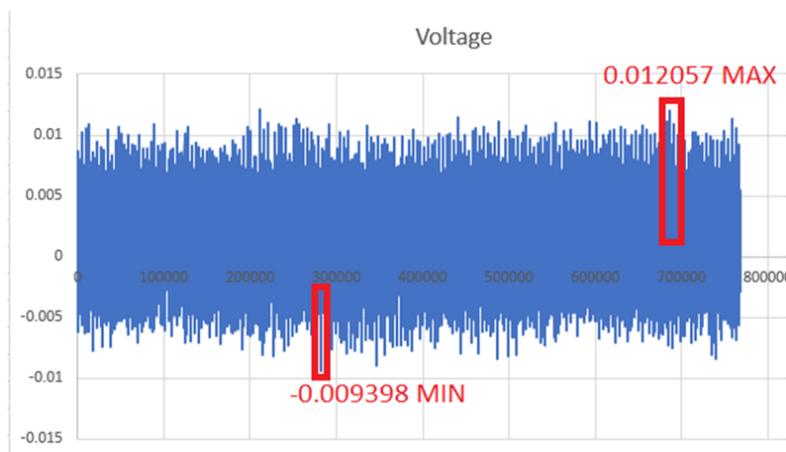
#### Punto 1

Las revoluciones sometidas en el tractor hacen que el cigüeñal altere sus vibraciones obteniendo una señal de 0.017 V, absorbiendo las vibraciones que producen los pistones completando un ciclo de una amplitud negativa de -0.017 V.

**Figura 60** Señal del punto 1 en 2500 RPM

#### Punto 2

La amplitud de la señal es de forma ascendente de negativo a positivo con un valor de 0.012 V que indica que a mayores revoluciones mayores serán las vibraciones por las vueltas que genera el cigüeñal en el tiempo de un ciclo con una amplitud negativa de -0.0093 V.



**Figura 61** Señal del punto 2 en 2500 RPM

La tabla 10 demuestra los datos obtenidos de los dos puntos analizados en el cigüeñal a revoluciones altas en ralentí solo comprobando las vibraciones que emite dicho componente los valores van aumentando según como va incrementando las revoluciones y teniendo una diferencia de vibración mayor que a 900RPM es de 0.005 V.

**Tabla 11** Comparación de datos del cigüeñal a 2500 RPM

2500 RPM			
Punto 1 Cigüeñal		Punto 2 Cigüeñal	
PICO MAX	PICO MIN	PICO MAX	PICO MIN
0.017007	-0.017573	0.012057	-0.009398

## 2.5 DEFECTOLOGÍA DE LOS SISTEMAS DEL TRACTOR AGRÍCOLA

### 2.5.1 FALLA EN LOS INYECTORES

#### 2.5.1.1 Inyector 900 RPM

Las fallas que se presenta en los tres inyectores es con el fin de ocasionar una falla imprevista para poder obtener resultados de un inyector en mal estado, los daños más comunes en un inyector son:

- Inyectores tapados
- Inyector con fuga externa de combustible
- Inyector con fuga interna de combustible hacia la cámara de combustión “goteo”



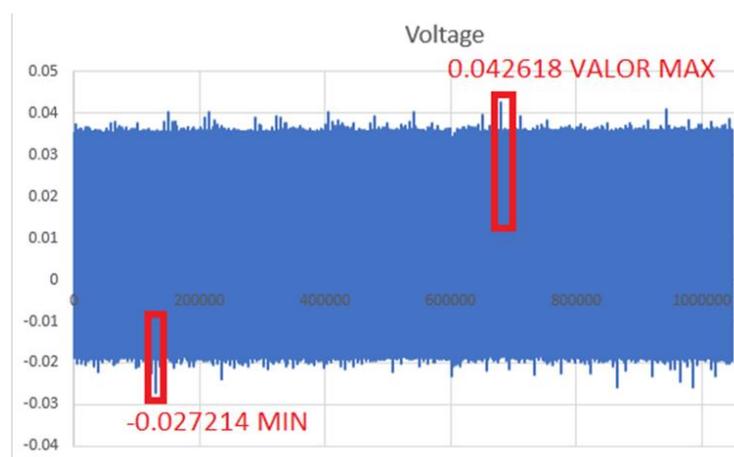
**Figura 62** Punto de medición de fuga de combustible en los inyectores

Las vibraciones o señales representadas en las siguientes figuras se ocasionaron por fisuras externas y grietas que producen fugas de combustible, y generan averías como:

- Perdida de potencia en el motor
- Luz encendido en el tablero
- Ruido en el motor
- Desgaste de combustible

#### Inyector 1

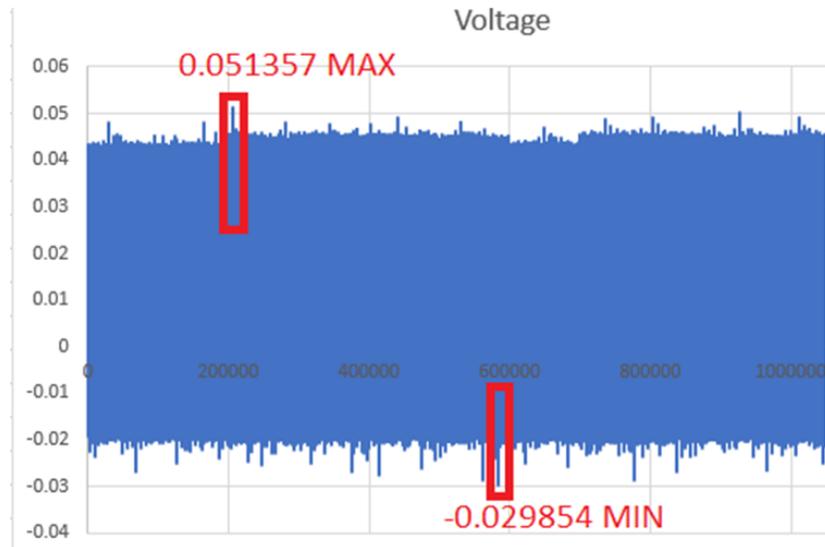
La vibración obtenida en el inyector es por fuga de combustible por lo que el motor empieza a fallar por la falta de combustible en el cilindro lo cual se detecta a los 0.17 segundo con un pico de 0.0042 V y una señal de -0.027 V.



**Figura 63** Señal del inyector 1 en mal estado en ralentí

### Inyector 2

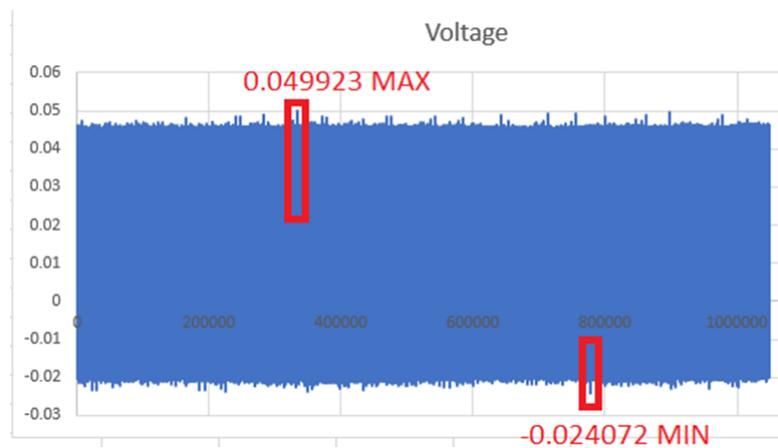
La señal detecta que el inyector se encuentra dañado por una fuga interna y goteo de combustible lo que ocasiona falla de encendido teniendo una amplitud de 0.051 terminando el ciclo se la señal en un tiempo de 30 segundos con una señal de -0.029 V.



**Figura 64** Señal del inyector 2 en mal estado en ralentí

### Inyector 3

La señal obtenida es ocasionada obstaculizando el paso de combustible ya que el inyector se encuentra taponado generando un pico de 0.0049 V en el tiempo de 0.5 segundos terminando la longitud en 0.13 segundos con la señal de -0.024 V.



**Figura 65** Señal del inyector 3 en mal estado en ralentí

La siguiente tabla indica los datos de los inyectores con su respectiva falla con el tractor en ralentí lo cual indica mayor vibración en el inyector 2, los valores aumentan y cambia la vibración por las averías que se ha representado con una diferencia de 0.009 V.

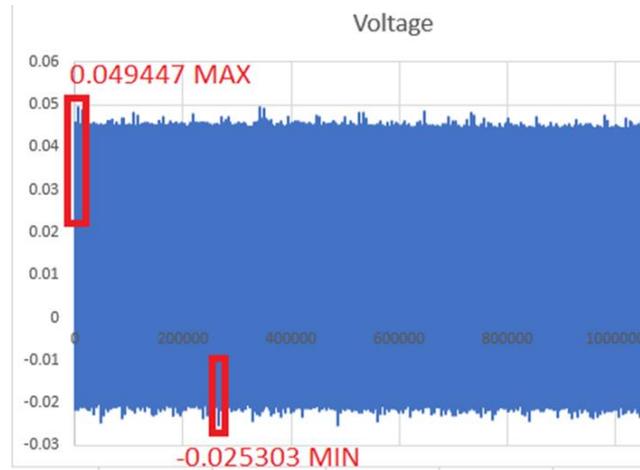
**Tabla 12** Comparación de datos de los inyectores a ralentí

FALLAS 900 RPM					
Inyector 1		Inyector 2		Inyector 3	
PICO MAX	PICO MIN	PICO MAX	PICO MIN	PICO MAX	PICO MIN
0.042618	-0.027214	0.051357	-0.029854	0.049923	-0.024072

### 2.5.1.2 Inyector en 2500 RPM

#### Inyector 1

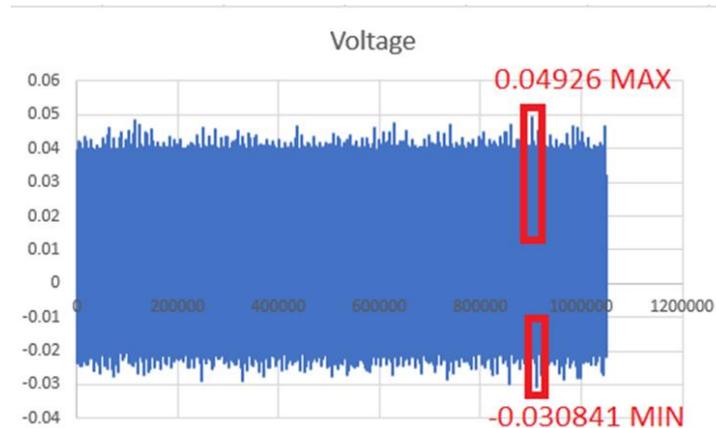
El valor obtenido en voltios es elevado por las vibraciones que generan los demás componentes que están cerca del inyector y la revolución dada al motor de un valor de 0.049 V y una amplitud negativa de -0.025 V.



**Figura 66** Señal del inyector 1 en mal estado a 2500 RPM

#### Inyector 2

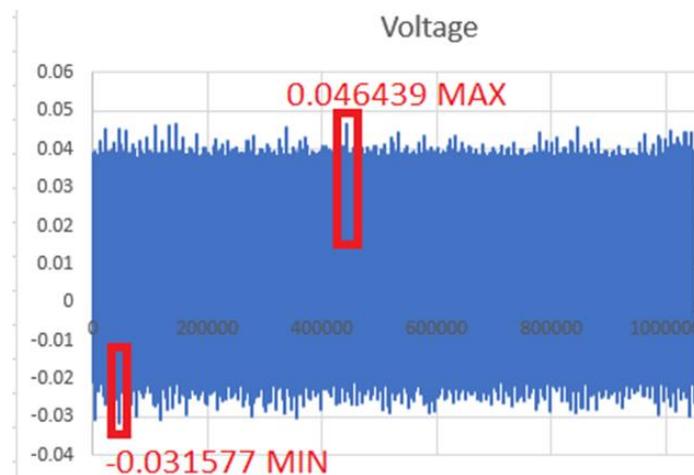
El inyector dos presenta avería por goteo lo cual a mayor revoluciones mayor cantidad de combustible lo que ocasionara una mezcla rica obteniendo un valor de 0.049 V y su ciclo están corto que termina en 5 segundos con una amplitud de -0.030 V.



**Figura 67** Señal del inyector 2 en mal estado a 2500RPM

### Inyector 3

La cantidad de combustible a 2500 RPM es una cantidad mayor para obtener una mezcla rica lo que se encuentra obstaculizado el paso de combustible provocando una vibración de -0.031 V empezando la señal y finalizando el ciclo con un valor de 0.046 V.



**Figura 68** Señal del inyector 3 en mal estado a 2500 RPM

La tabla refleja los datos de los inyectores en mal estado obteniendo vibraciones elevadas por cada daño que se representa con un valor de diferencia de 0.003 V ya que en los inyectores 1 y 2 tienen vibraciones iguales con diferentes averías.

**Tabla 13** Comparación de datos de los inyectores a 2500 RPM

FALLAS 2500 RPM					
I 1		I2		I3	
MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN
0.049447	-0.025303	0.04926	-0.030841	0.046439	-0.031577

## 2.5.2 FALLA DEL BLOQUE

### 2.5.2.1 900 RPM



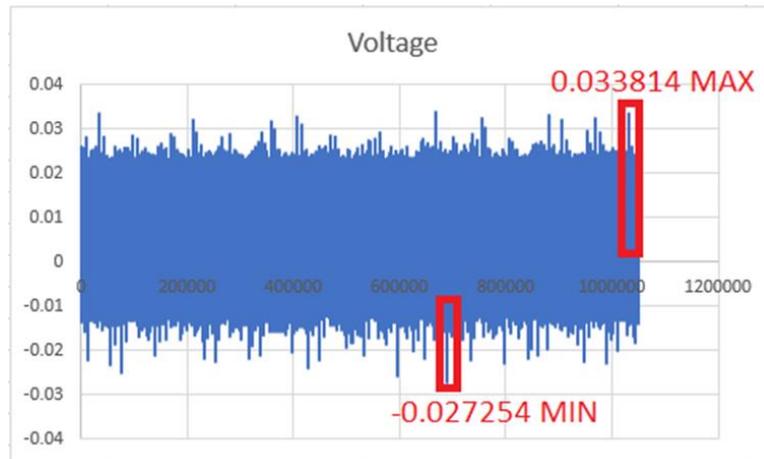
**Figura 69** Punto de medición en el bloque por falla en los cilindros

El análisis realizado en los siguientes puntos indicara las vibraciones o señales de un cilindro que presenta averías, los cilindros son el eje por donde se mueve los pistones en los que para evitar el rozamiento directo se interponen una película de aceite y trabaja a altas temperaturas.

Un cilindro en malas condiciones, roto o defectuoso hará que el motor se comporte en forma anormal produciendo perdida de potencia, las revoluciones suben y baja, vibración al acelerar a fondo, falta de combustible.

#### Cilindro 1

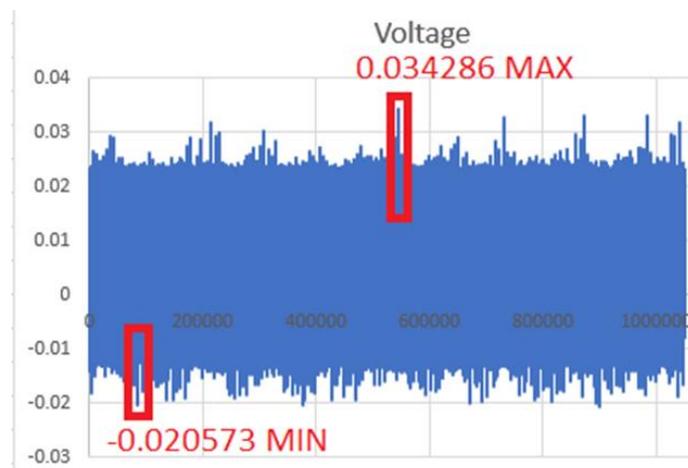
La simulación del daño en el cilindro uno es fuga de combustible externa lo que permite una mezcla pobre por falta de combustible ocasionando una elevada vibración, empieza el ciclo con una señal negativa de  $-0.027$  V en ralentí con una amplitud de  $0.033$  V.



**Figura 70** Señal del cilindro 1 con vibraciones en ralentí

### Cilindro 2

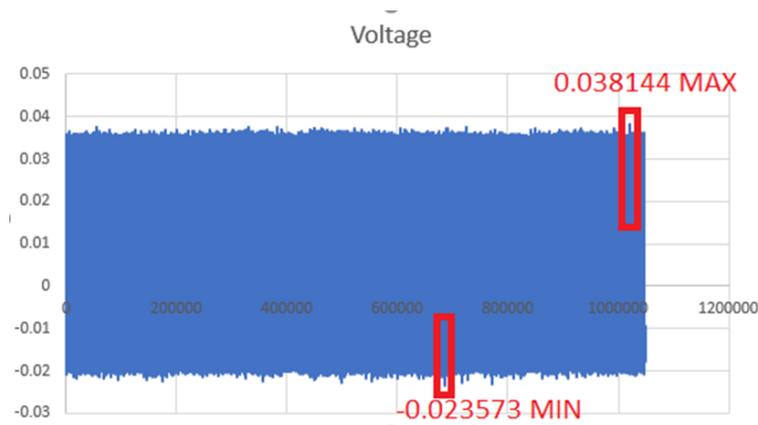
La vibración del cilindro es constante por la irregularidad del inyector por un daño de fuga interna, de goteo de combustible con una cresta de 0.034 V y un valle de -0.020 V.



**Figura 71** Señal del cilindro II con vibración en ralentí

### Cilindro 3

La figura 72 refleja una señal negativa de -0.023 V ascendiendo a una cresta de 0.038 V ya que el pistón está subiendo al punto muerto superior para realizar la combustión produciendo así vibración ya que el inyector se encuentra tapado.



**Figura 72** Señal del cilindro 3 con vibración en ralentí

La tabla obtiene datos reales de las vibraciones que emite el motor a cumplir el orden de encendido, dando una señal de mal estado por fallas de los inyectores como fugas externas e internas o inyectores tapados ocasionando una irregularidad de combustible inyectado, sufriendo daños en el pistón, la vibración más elevada encontramos en el cilindro tres con un voltaje de 0.038 a una referencia de 0.005 V de los demás cilindros.

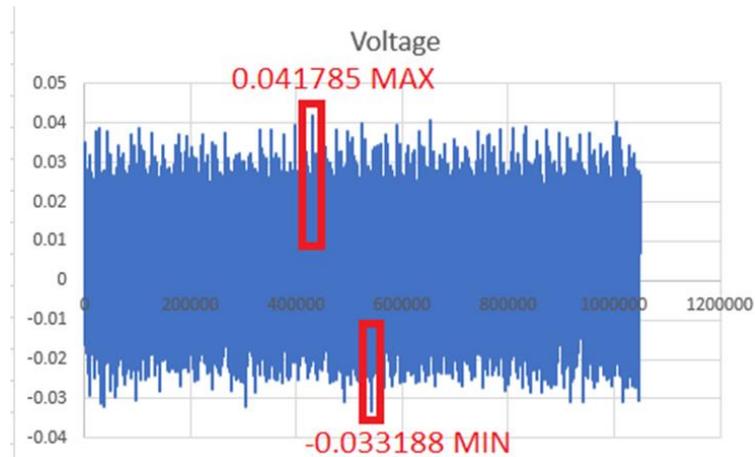
**Tabla 14** Comparación de datos de los cilindros en ralentí

FALLAS 900 RPM					
Cilindro 1		Cilindro 2		Cilindro 3	
PICO MAX	PICO MIN	PICO MAX	PICO MIN	PICO MAX	PICO MIN
0.033814	-0.027254	0.034286	-0.020573	0.038144	-0.023573

### 2.5.2.2 Cilindro 2500 RPM

#### Cilindro 1

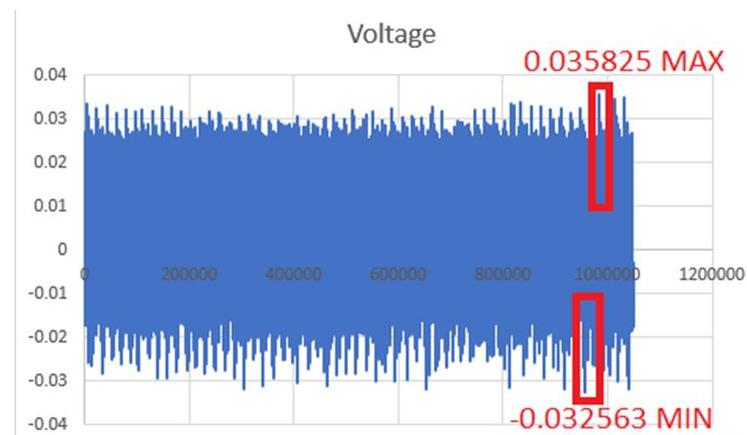
La vibración en el cilindro uno es mayor que todas por el encendido, mayor aceleración mayor cantidad de combustible para obtener una mezcla rica tiene un pico de 0.041 V y terminando el ciclo con una amplitud negativa de -0.033 V.



**Figura 73** Señal del cilindro 1 con vibración a 2500 RPM

### Cilindro 2

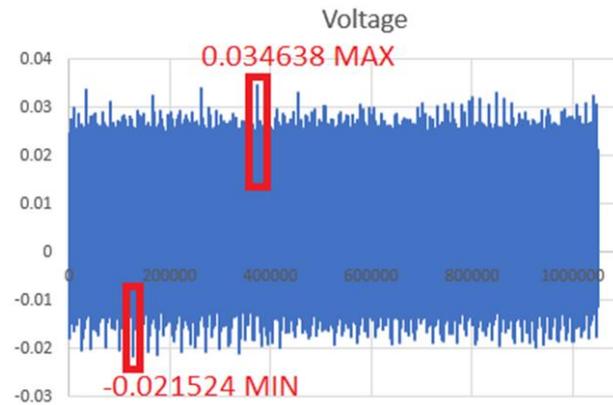
La figura 74 indica los valores de vibraciones altas por el desgaste en el pistón ocasionado por goteo en el inyector de combustible lo cual no permite tener una explosión correcta obteniendo el ciclo de la señal en negativo de -0.032 ascendiendo a 0.035 V.



**Figura 74** Señal del cilindro 2 con vibración a 2500 RPM

### Cilindro 3

Las revoluciones marcadas en el cilindro tres es una variable menos del cilindro dos ya que el inyector se encuentra tapado y no tiene combustible necesario, obteniendo una señal menor de -0.021V ascendiendo a una cresta de 0.034 V.



**Figura 75** Señal del cilindro 3 con vibración a 2500 RPM

La siguiente tabla representa los valores del cilindro por fallas de los inyectores ya que varían su valor en revoluciones más elevadas, a mayor revolución mayor mezcla de aire combustible, el más afectado es el cilindro uno que tiene fuga externa lo que no tiene el suficiente combustible para realizar ciclo de la explosión.

**Tabla 15** Comparación de datos en los cilindros en 2500 RPM

FALLAS 2500 RPM					
Cilindro 1		Cilindro 2		Cilindro 3	
PICO MAX	PICO MIN	PICO MAX	PICO MIN	PICO MAX	PICO MIN
0.041785	-0.033188	0.035825	-0.032563	0.034638	-0.021524

## **CAPÍTULO III**

### **3. RESULTADOS**

Para obtener los resultados se utilizó un acelerómetro piezoeléctrico que es el encargado de absorber la vibración emitida por el motor enviando la señal a un procesador DAQ NI 9250 que es el encargado de interpretar todos los datos o pulsos enviados por el sensor para enviar la información a la computadora para procesarla y obtener las gráficas por medio de un software LabVIEW que es el encargado de reflejar las señales obtenidas en parámetros de amplitud vs frecuencias.

En este caso se realizó las mediciones en un motor internacional de tres cilindros en buen estado con un lapso de un minuto por cada inyector, cilindros y cigüeñal, obteniendo un número de datos que permite obtener una gráfica en Excel la misma que refleja el valor máximo y mínimo según la señal requerida.

Para obtener datos que reflejan daños tanto en los inyectores, así como en los cilindros se simulo averías directamente al inyector la que a su vez genera daños en el cilindro.

#### **3.1 CARACTERIZACIÓN DE MEDICIÓN DE VIBRACIONES**

A continuación, se indica los datos de vibraciones para realizar el mantenimiento predictivo. En la siguiente tabla se observa el promedio de los tres inyectores en buen estado, así como en mal estado con una variación de revoluciones de 900 a 2500 RPM, de igual manera señala el rango de medición en el que se debería realizar una revisión para evitar que se generen mayores fallas y así aplicar el mantenimiento respectivo, de igual manera se indica una variación del plazo o voltaje requerido (0.003 voltios) para realizar la revisión predictiva o a su vez el cambio de la pieza en mal estado.

**Tabla 16.** Caracterización de medición de los inyectores

<b>Caracterización de los inyectores</b>	
<b>900 RPM</b>	<b>Rango de medición (Voltaje)</b>
Buen estado	0.0020 a 0.0030
Revisión	0.0033 a 0.044
Mal estado	0.047 a mas
<b>2500 RPM</b>	<b>Rango de medición (Voltaje)</b>
Buen estado	0.0219 a 0.0229
Revisión	0.0232 a 0.0048
Mal estado	0.0051 a mas

La tabla 16 muestra los rangos de voltaje que emiten los cilindros cuando el pistón se encuentra realizando su recorrido o trabajo desde el PMI al PMS el mismo que indica el estado en el que se encuentran cada uno de ellos para así dar el mantenimiento predictivo cuando sea el caso y evitar posibles fallas como las que se indican en el punto 1.12.1, de igual manera se indica una variación del plazo o voltaje requerido (0.003 voltios) para realizar la revisión o a su vez el cambio de la pieza en mal estado.

**Tabla 17.** Caracterización de medición de los cilindros

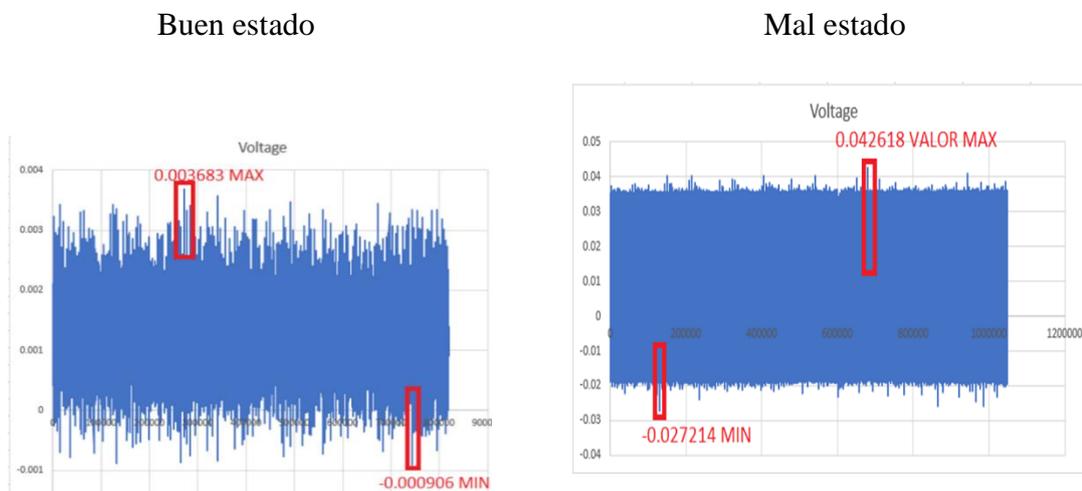
<b>Caracterización de medición de los cilindros</b>	
<b>900 RPM</b>	<b>Rango de medición (Voltaje)</b>
Buen estado	0.0013 a 0.0140
Revisión	0.0143 a 0.0351
Mal estado	0.0354 a mas
<b>2500 RPM</b>	<b>Rango de medición (Voltaje)</b>
Buen estado	0.0259 a 0.0269
Revisión	0.0272 a 0.037
Mal estado	0.0373 a mas

### 3.2 INYECTORES 900 RPM

#### Inyector 1

Se obtiene mayor vibración ya que se encuentra cerca a varios elementos como la banda de accesorios, ventilador, volante de inercia, da un valor de 0.0036 V en buen estado, simulamos una falla del inyector con fuga de combustible generando así mayor número de

oscilaciones el mismo que representa un valor de 0.042 V en mal estado, las vibraciones llegan a ser mayores con una diferencia de 0.038 V.



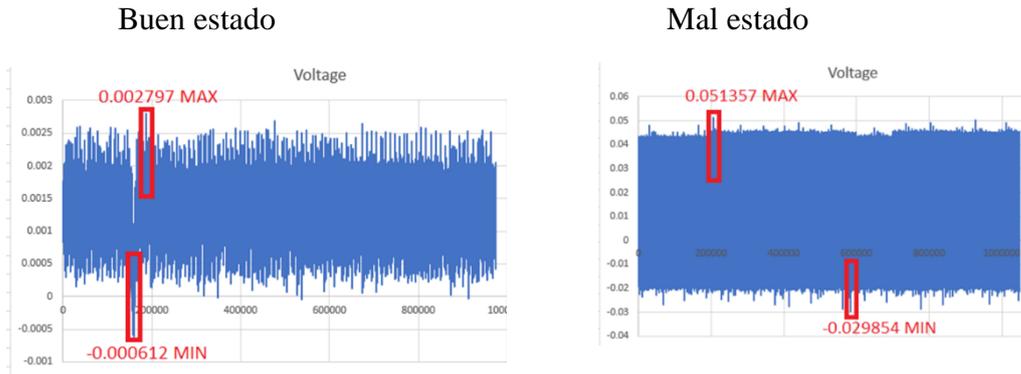
En la siguiente tabla se detalla los datos de un inyector con eficiencia del 100% con una vibración del motor de 0.0036 V, lo que se detecta un inyector con fuga de combustible externo ocasionando una vibración de 0.042 V con una diferencia de 0.039 V de aumento, lo que indica que el inyector está trabajando con eficiencia del 91% de su estado original.

**Tabla 18.** Comparación de datos en el inyector 1 a 900 RPM

900 RPM	INYECTOR 1	
	Bueno	Malo
PICO MAX	0.003683 V	0.042618 V
PICO MIN	-0.000906 V	-0.027214 V
DIFERENCIA	0.039 V	
PORCENTAJE	91 %	

### Inyector 2

Los datos obtenidos son una representación de una señal que se encuentra en el centro del motor ya que su vibración es menor a las demás señales puesto que el motor es un solo cuerpo o una sola masa absorbiendo los movimientos de los demás componentes tiene un valor de 0.0027 V en buen estado, mientras que el 0.051 V representa a las fallas y siempre obtendremos vibraciones elevadas con una diferencia de 0.049 V.



La tabla 18 indica los datos de un inyector que se encuentra trabajando al 100% con una vibración 0.0027 V inyectando el combustible necesario para realizar la mezcla aire combustible, con una fuga interna que ocasiona perdida de combustible y con el pasar del tiempo daños en la cabeza del pistón aumentando una vibración de 0.051V, extendiendo un 0.049 V de la deficiencia que se ocasiono, genera que el motor pierda fuerza por la deficiencia del inyector a un 94% de su trabajo.

**Tabla 19.** Comparación de datos en el inyector 2 a 900 RPM

900 RPM	INYECTOR 2	
	Bueno	Malo
PICO MAX	0.002797 V	0.051357 V
PICO MIN	-0.000612 V	-0.029854 V
DIFERENCIA	0.049 V	
PORCENTAJE	94 %	

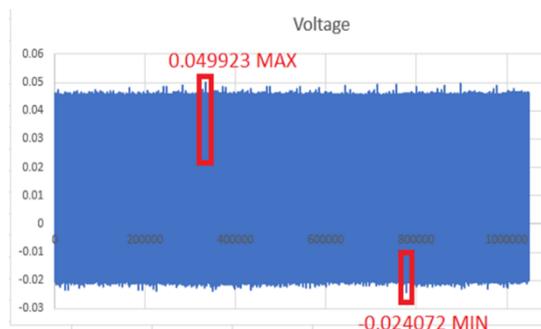
### Inyector 3

El resultado del tercer inyector es de 0.0028 V en buen estado ya que se encuentra retirado de las demás componentes del motor, se realizó la simulación de una avería en un inyector tapado donde emite una vibración elevada a 0.049 V con una diferencia de 0.047 V.

Buen estado



Mal estado



Como se detalla en la tabla 19 los valores que representa son los daños que provoca el inyector tapado no permite el paso de combustible dando una vibración alta de 0.049 V ya que en su buen funcionamiento da 0.0028V que da un desfase de funcionamiento del 94% a una diferencia de mal funcionamiento con un trabajo adecuado es de 0.047V.

**Tabla 20.** Comparación de datos en el inyector 3 a 900 RPM

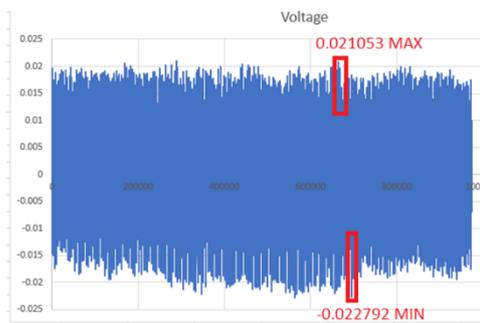
	INYECTOR 3	
900 RPM	Bueno	Malo
PICO MAX	0.002819 V	0.049923 V
PICO MIN	-0.00049 V	-0.024072 V
DIFERENCIA	0.047 V	
PORCENTAJE	94 %	

### 3.3 INYECTORES A 2500 RPM

#### Inyector 1

El inyector representa una vibración más elevada por el incremento de aceleración de 0.021 V en buen estado, ya que un inyector con fuga a mayor aceleración mayor pérdida de combustible de 0.049 V con una diferencia entre los dos picos máximos es de 0.028V.

Buen estado



Mal estado



Como lo indica la tabla 20 el motor a una revolución alta tiene el consumo de combustible más elevado lo cual permite tener un inyector de eficiencia al 100% con una vibración del motor de 0.021 V a 2500 RPM, se detectó una avería en el inyector que aumenta la vibración a 0.049 V generando una diferencia de 0.028 V con una amplitud negativa de -0.025 V, lo que representa que el inyector trabaja con una deficiencia del 43 %.

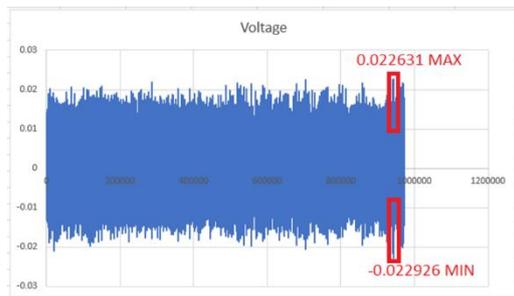
**Tabla 21** Comparación de datos del inyector 1 a 2500 RPM

2500 RPM	INYECTOR 1	
	Bueno	Malo
PICO MAX	0.021053 V	0.049447 V
PICO MIN	-0.022792 V	-0.025303 V
DIFERENCIA	0.028 V	
PORCENTAJE	57 %	

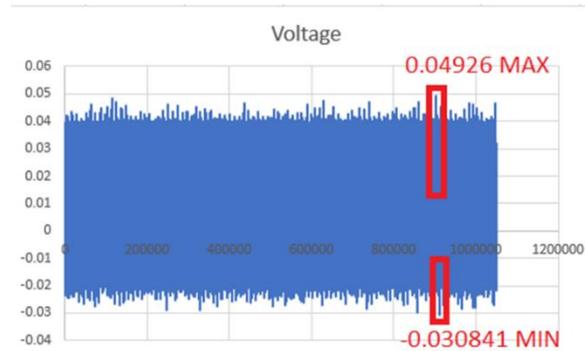
### Inyector 2

La figura representa una diferencia de 0.027 V entre los picos más altos de la vibración obtenida del inyector en buen estado versus el inyector con fuga interna ocasionando daños al pistón a un determinado tiempo y ocasionando daños a los rines.

## Buen estado



## Mal estado



El funcionamiento del inyector en buen estado representa un valor de 0.022V, mientras que con las mediciones que se realizó a revoluciones elevadas con una avería de fuga interna y goteo del combustible aumenta la vibración a un valor de 0.049 V con una relación de 0.027 V, de esta manera el motor trabaja a un 55 % de eficiencia como se muestra en la tabla.

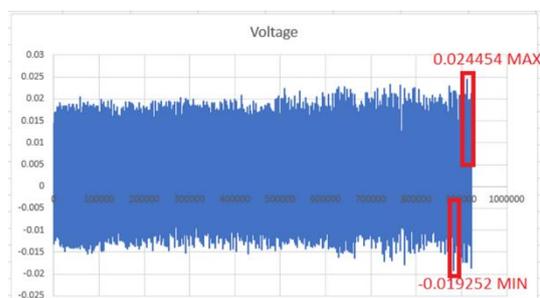
**Tabla 22** Comparación de datos del inyector 2 a 2500 RPM

2500 RPM	INYECTOR 2	
	Bueno	Malo
PICO MAX	0.022631 V	0.04926 V
PICO MIN	-0.022926 V	-0.030841 V
DIFERENCIA	0.027 V	
PORCENTAJE	55 %	

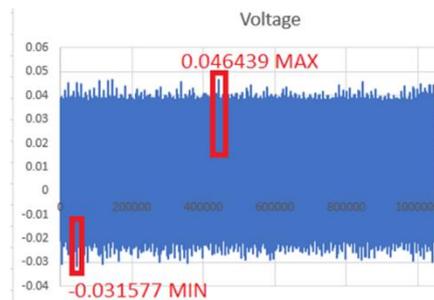
## Inyector 3

En el caso del tercer inyector se observa menor diferencia entre los picos reflejados en las imágenes representado por el 0.022 V siendo una causa el orden de encendido del motor y la falla que representa el inyector de obstaculizar el paso de combustible.

Buen estado



Mal estado



Los valores establecidos en la tabla 22 indican que el inyector 3 en buen estado con una aceleración de 2500 RPM genera una señal 0.024 V mientras que para el inyector en mal estado que presenta fallas principalmente al momento de la inyección de combustible aumenta la vibración a 0.046 V lo que representa que el inyector trabaja a menos de la mitad del funcionamiento óptimo.

**Tabla 23** Comparación de datos del inyector 3 a 2500 RPM

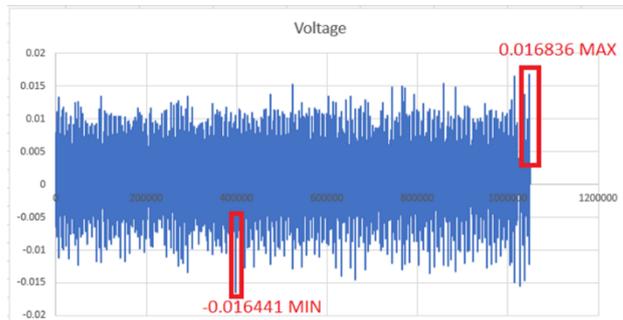
2500 RPM	INYECTOR 3	
	Bueno	Malo
PICO MAX	0.02445 V	0.04644 V
PICO MIN	-0.01925 V	-0.03158 V
DIFERENCIA	0.0220 V	
PORCENTAJE	47 %	

### 3.3 CILINDRO 900 RPM

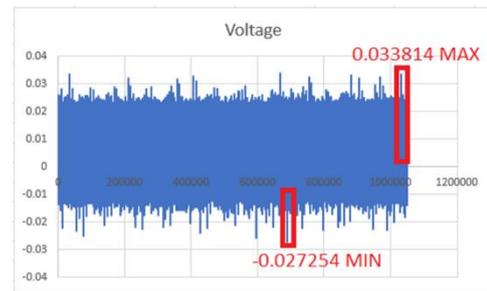
#### Cilindro 1

Para el caso de los cilindros se evidencia claramente en la gráfica que mientras se encuentra en buen estado y esto quiere decir que funciona correctamente tanto los inyectores como los pistones la vibración es mínima y oscila de 0.016 V su valor máximo mientras que para el valor negativo es de -0.016 V, con relación al inyector en mal estado la vibración incrementa en 0.017 V. principalmente por la falta de combustible al momento de realizar la combustión.

Buen estado



Mal estado



En la tabla se representa los valores que marca el sensor piezoeléctrico al momento de obtener la cantidad necesaria de la mezcla aire combustible al 100% empezando el ciclo con una señal negativa de -0.016 V aumentando su amplitud de 0.016 V con la fuga de combustible en ralentí aumenta la vibración a 0.033 V con desfase de trabajo en el motor de 48 %.

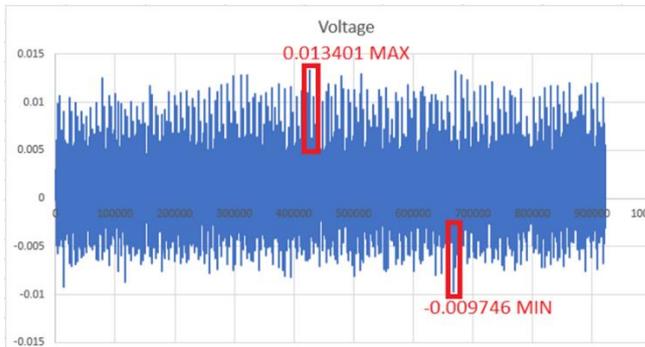
**Tabla 24** Comparación de datos del cilindro 1 a 900 RPM

900 RPM	CILINDRO 1	
	Bueno	Malo
PICO MAX	0.016836 V	0.033814 V
PICO MIN	-0.016441 V	-0.027254 V
DIFERENCIA	0.017 V	
PORCENTAJE	48 %	

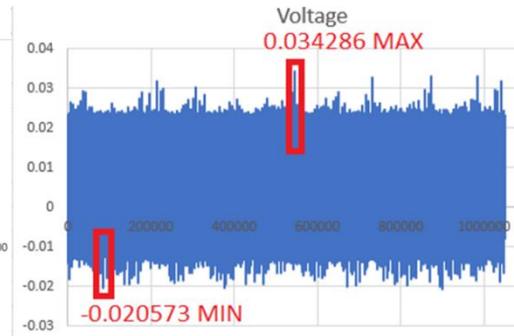
### Cilindro 2

De igual manera existe diferencia entre el funcionamiento del cilindro 2 principalmente se genera por la deficiente o mezcla inadecuada de aire combustible para que se genere la combustión. En cuanto a la relación de los picos máximos se refleja una diferencia de 0.021 V el valor es proveniente de un daño del inyector por fuga externa.

Buen estado



Mal estado



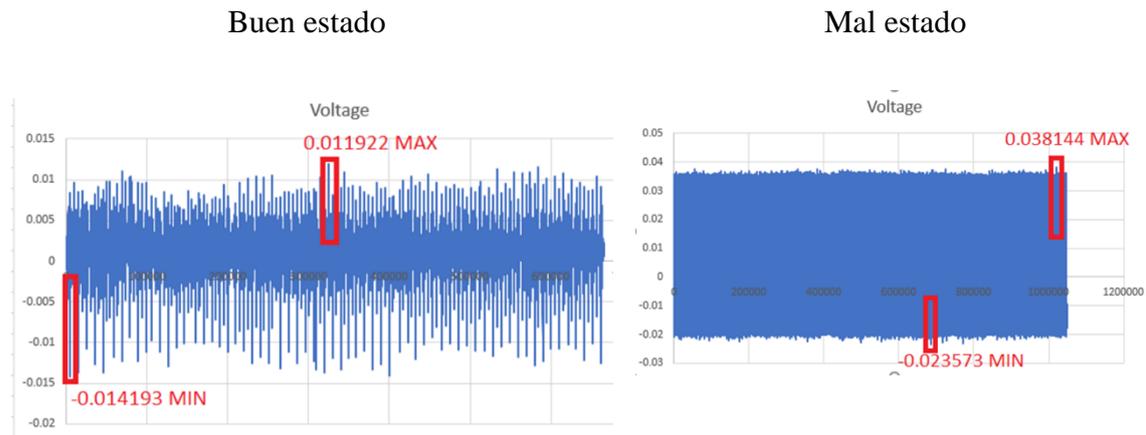
La diferencia de los datos de la tabla es de 0.021 V con la que aumenta la vibración de un motor en el que sus sistemas funcionan en perfectas condiciones a un 100 %, habiendo sus anomalías en lo que es inyector por goteo la vibración es de 0.034 V dando un bajo rendimiento en el motor, lo que no deja que el cilindro dos cumpla el ciclo que le corresponde por exceso de combustible.

**Tabla 25** Comparación de datos del cilindro 2 a 900 RPM

900 RPM	CILINDRO 2	
	Bueno	Malo
PICO MAX	0.013401 V	0.034286 V
PICO MIN	-0.009746 V	-0.020573 V
DIFERENCIA	0.021 V	
PORCENTAJE	38 %	

### Cilindro 3

En la figura se observa una diferencia de amplitud 0.027V, con una relación de desfase de tiempo de 0.20 segundos entre los picos, la diferencia y el daño es el inyector tapado lo que ocasiona pérdida de potencia en el motor generando mayores vibraciones.



La tabla 25 indica una onda de orden negativa de  $-0.014$  V lo cual asciende a una longitud de  $0.011$  V generando datos reales de buenos estados, se obtiene la falla, aumenta la vibración por lo cual no realizan un trabajo eficiente de  $28\%$  lo cual aumenta a  $0.038$  V.

**Tabla 26** Comparación de datos del cilindro 3 a 900 RPM

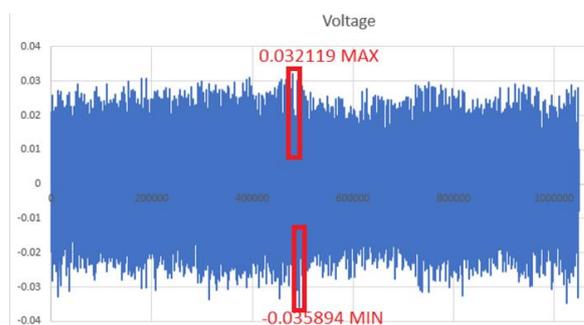
900 RPM	CILINDRO 3	
	Bueno	Malo
PICO MAX	0.011922 V	0.038144 V
PICO MIN	-0.014193 V	0.038144 V
DIFERENCIA	0.026 V	
PORCENTAJE	28 %	

### 3.4 CILINDRO EN 2500 RPM

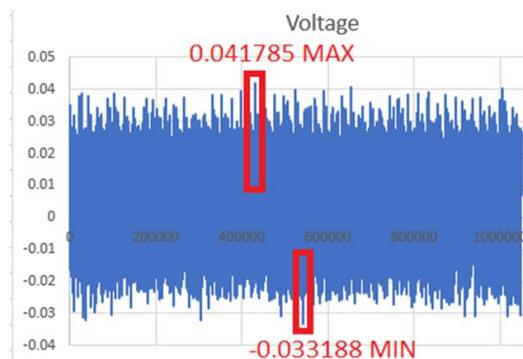
#### Cilindro 1

El orden de encendido del motor del tractor enfoca al primer cilindro con una señal de buen estado con la cresta de  $0.032119$  V con la cual empieza el pistón realizando la explosión, la señal de mal estado es la falla ocasionada en el cilindro obteniendo una cresta de mayor valor  $0.041784$  V por el motivo de una fuga externa en los inyectores ocasionando pérdida de potencia al motor.

Buen estado



Mal estado



La tabla refleja los datos necesarios para saber la cantidad de combustible inyectado al 100% con una señal de vibración y un pico máximo de 0.032V a revoluciones elevadas de 2500 PRM y un pico negativo -0.035 V que nos indica un motor en buenas condiciones, la diferencia del daño mencionado en los inyectores es la fuga de combustible lo cual aumenta a los 0.041 V con una diferencia de 0.010V ocasionando daños a los cilindros o pistones obteniendo un 78 % de su funcionamiento óptimo.

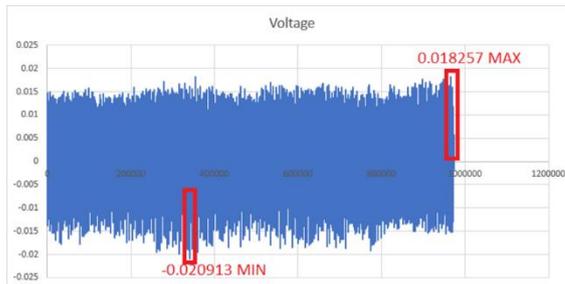
**Tabla 27** Comparación de datos del cilindro 1 a 2500 RPM

	CILINDRO 1	
2500 RPM	Bueno	Malo
PICO MAX	0.032119 V	0.041785 V
PICO MIN	-0.035894 V	-0.033188 V
DIFERENCIA	0.010 V	
PORCENTAJE	78 %	

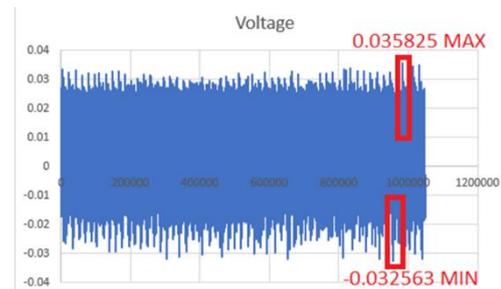
### Cilindro 2

La señal en buen estado da una amplitud de 0.018 V a una amplitud negativa de -0.020 V, se realizó una simulación de falla en el inyector con fuga interna lo que ocasiona un aumento de vibración de 0.041 V ya que el combustible se escapa por medio de gotas dañando al pistón y a su vez creando una capa de hollín.

## Buen estado



## Mal estado



La falla de los inyectores tiene un gran efecto en el trabajo de los pistones en los cilindros por fuga de combustible externo en altas revoluciones con 51% de trabajo del motor con una vibración elevada de 0.035 V y un valle de -0.032 V.

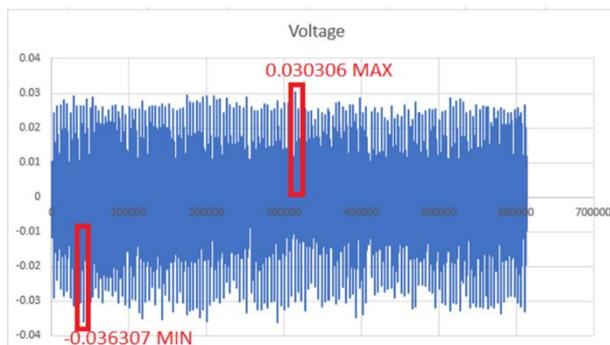
**Tabla 28** Comparación de datos del cilindro 2 a 2500 RPM

	CILINDRO 2	
2500 RPM	Bueno	Malo
PICO MAX	0.018257 V	0.035825 V
PICO MIN	-0.020913 V	-0.032563 V
DIFERENCIA	0.018 V	
PORCENTAJE	51 %	

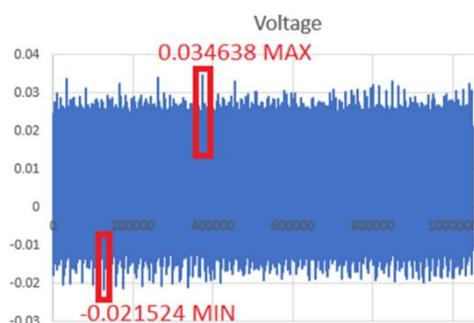
## Cilindro 3

La diferencia de la figura es un valor de amplitud 0.004332 V lo que da lugar a que el pistón se encuentra en forma descendente al punto muerto inferior, mientras que el primer pistón se encuentra en forma ascendente al punto muerto superior a realizar la combustión, lo que genera una señal de 0.034638 V por la falla al inyector de no pasar el combustible necesario en una revolución de 2500 RPM.

Buen estado



Mal estado



La tabla 28 refleja que el cilindro se encuentra realizando la mezcla correctamente con el valor de 0.030 V y un pico de -0.036V obteniendo una mezcla al 100% mientras que al tener una avería donde el motor empieza atrancarse la vibración se eleva con una diferencia de 0.004 V, dando una deficiencia de mezcla del 12% de su estado óptimo.

**Tabla 29** Comparación de datos del cilindro 3 a 2500 RPM

	CILINDRO 3	
2500 RPM	Bueno	Malo
PICO MAX	0.030306 V	0.034638 V
PICO MIN	-0.036307 V	-0.021524 V
DIFERENCIA	0.004 V	
PORCENTAJE	88 %	

### 3.5 GUÍA DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO

El mantenimiento predictivo consiste en hacer mediciones o ensayos no destructivos con diferentes equipos de medición en varias partes de la maquinaria para así evitar fallas en forma imprevista durante su funcionamiento, la mayoría de las inspecciones se realiza con el equipo en marcha y sin causar paros en la producción generalmente cuando se detecten síntomas como puede ser alta temperatura, ruido, vibración entre otras.

Las más frecuentes son:

#### DE DESGASTE:

Por la fricción directa de piezas, es decir cuando los aceites de lubricación cambian su tonalidad y muestran contenido de metal, por lo tanto, indican dónde está ocurriendo un desgaste excesivo.

#### DE VIBRACIONES:

Con medidores de amplitud, velocidad y aceleración, las medidas indican si existe daño en el sistema que se está realizando la medición.

El mantenimiento predictivo sólo informa y sirve de base para un buen programa de mantenimiento preventivo.

La siguiente ficha técnica es una guía para realizar un mantenimiento predictivo en donde se registra las medidas en Voltaje que refleja cada uno de los inyectores y cilindros para así determinar si se encuentran en buen estado o necesitan realizar mantenimiento o reparación.

FICHA DE DIAGNÓSTICO PREDICTIVO									
		Datos del cliente							
		Nombre			Fecha de salida				
		Cédula			Modelo				
		Teléfono			Placa				
		Horas							
		Fecha de inicio							
		Descripción de trabajo							
		Inyectores						Cilindro	
Variable	Valor	1	2	3	Rango 900 rpm				
Temperatura					Voltaje				
Rango 900 rpm									
Buen estado	0.0020 a 0.0030 V				0.0013 a 0.0140 V				
Revisión	0.0033 a 0.044 V				0.0143 a 0.0351 V				
Mal estado	0.048 a mas V				0.0354 a más V				
Rango 2500 rpm					Rango 2500 rpm				
Buen estado	0.0219 a 0.0229 V				0.0259 a 0.0269 V				
Revisión	0.0232 a 0.0048 V				0.0272 a 0.037 V				
Mal estado	0.0483 a mas V				0.0373 a más V				
Observación :									

## CAPITULO IV

### 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 4.1 CONCLUSIONES

Se puede concluir que para la obtención de datos se estableció varios parámetros de mayor importancia partiendo de las velocidades a las que trabaja el motor como son 900 RPM que es un régimen mínimo de revoluciones por minuto donde el motor trabaja sin accionar ningún mecanismo y 2500 RPM donde el motor se encuentra en un estado acelerado sin ningún movimiento, así como también se identificó las partes en las que se genera mayor vibración lo cual permitió tener un rango adecuado de funcionamiento y determinar un periodo de revisión o cambio de dicha pieza para evitar la paralización del tractor agrícola.

Al realizar una simulación de falla en el sistema de inyección y con la medición en los inyectores y en el bloque de cilindros se obtuvo como resultado que la avería afecta más en la cámara de combustión, es decir por la falta de combustible el vehículo pierde potencia y los inyectores trabajan con una deficiencia de 39 % cuando está en bajas revoluciones es decir a 900 RPM, mientras que cuando trabaja a mayor velocidad su deficiencia es de 28% a 2500 RPM.

El funcionamiento de los inyectores a 900 RPM sin accionar ningún mecanismo genera un promedio de vibraciones de 0.0030 Voltios, así como para los cilindros es de 0.0140 Voltios en buen estado, mientras que cuando se genera una falla en cualquier parte del sistema de alimentación de combustible el motor presenta fallas aumentando sus vibraciones a 0.047 Voltios inyectores y para los cilindros es de 0.0354 Voltios.

## 4.2 RECOMENDACIONES

Las zonas más importantes para el funcionamiento del motor es sistema de inyección, bloque cilindros y cigüeñal es por lo que se recomienda tomar en cuenta los cambios o vibraciones que estos generen ya que son posibles fallas que a futuro pueden ocasionar la paralización de la maquinaria agrícola.

A pesar del alto costo que representa la instrumentación para realizar análisis de vibraciones se recomienda mantener un monitoreo constante y de esta manera garantizar un funcionamiento estable y seguro para beneficio del propietario de la maquinaria agrícola como de los trabajos que esta realiza.

Se recomienda utilizar la ficha técnica como guía para determinar las vibraciones que emiten varias partes de las que está compuesta el motor para así efectuar el mantenimiento predictivo que se encargan de evitar posibles fallas que presente el motor agrícola.

### **Trabajo a futuro**

Elaboración de un manual de mantenimiento y utilización de equipos de vibraciones en los motores.

Análisis de vibraciones en motores eléctricos

Desarrollo de un programa informático para adquisición de datos y análisis de señales de vibraciones mecánicas.

## BIBLIOGRAFÍA

- Albarado , R. (2017). Trabajo de investigación análisis de vibraciones en motores de combustion interna. En *Vibraciones en motores de combustion interna* (pág. 3).
- ALTARES, a. (17 de 06 de 2005). *Tractor y motor agrícola*. Obtenido de tractor y motor agricola:<https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=u1kmhnoeosc&oi=fnd&pg=pa13&dq=tractor+definicion&ots=t4tgcem9zd&sig=plf0bjgfhfic4xcidz8io9qhtoav=onepage&q&f=false>
- Alvarado, A. (2004). *Maquinaria Mecanización Agrícola*. EUNED.
- Aristizabal Rivadeneria, A., & Cisneros Mendieta, D. (2019). *Diseño y construcción de un Flujometro para cabezotes*. Quito.
- Borras, C. (2018). funcionamiento del tractor . *ecologia verde*, 1.
- Calvo, E. A. (s.f.). *Técnicas de mantenimiento en instalaciones mineras*. UC.
- Carraro, A. (2012). Aceite Motor . *Máquinas Agrícolas* .
- Carrión , N. (3 de Junio de 2019). National Instruments. *DataLights*.
- CLARO, M. P. (2014). *Normativa para evaluar vibraciones en máquinas industriales*. Obtenido de normativa para evaluar vibraciones en máquinas industriales: [https://www.academia.edu/8938121/normativa\\_para\\_evaluar\\_vibraciones\\_en\\_m%C3%81quinas\\_industriales?auto=download](https://www.academia.edu/8938121/normativa_para_evaluar_vibraciones_en_m%C3%81quinas_industriales?auto=download)
- Criollo , J., & Bravo , M. (2014). *Diagnóstico de motores de combustión interna alternativos diésel para análisis de vibración* . Cuenca : Salesiana de Cuenca.
- Cruz, M. (2012). *Vibración mecánica*. México.
- Deere, t. J. (s.f.). *JOHN DEER*. Obtenido de <https://www.deere.com.mx/es/tractores/>
- Dias, J. (2011). *sistema de gestión de mantenimiento para motores*. QUITO.
- Díaz , W. (2017). *Aplicaciones de la serie de Fourier en le área de la ingenieria*.
- Doyle, D. (2019). TBN y TAN ¿Qué significa? ALS.
- Estévez Hinojosa, J. P., & Pinto Ayala, L. M. (2015). *Reparación del motor y los distintos sistemas de un tractor agrícola "Internacional 523"*. Ibarra: UTN.
- Estévez Hinojosa, J., & Pinto Ayala , L. (2015). *Reparación del motor y los distintos sistemas de un tractor agricola internacional 523*. Ibarra.
- Eugenio , C. (2016). *Evaluación del comportamiento y emisiones en un motor de combustión interna utilizando una mezcla diésel-queroseno. Tesis previa la obtención del grado de Magister en Ingeniería Mecánica* . Quito.

- Ferrari , H., & Ferrari, C. (2012 ). *Capacidad de tiro en los tractores agrícolas* . Obtenido de <https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn303.html>
- FLUKE. (2012). *Manual*. Obtenido de [https://dam-assets.fluke.com/s3fs-public/805\\_\\_\\_\\_\\_umspa0200.pdf](https://dam-assets.fluke.com/s3fs-public/805_____umspa0200.pdf)
- Guerrero, F. (2009). *Mecánica Agrícola*.
- Huanca, A. (2013). *Motocultor*.
- IDEARA, S. (2014). *Vibraciones mecánicas. Factores relacionados con la fuente y medidas de control* . España: Confederación de Empresarios de Pontevedra (CEP).
- IDEARA, SL. (2014). *Vibraciones mecánicas. Factores relacionados con la fuente y medidas de control*. España.
- Jadan, C., & Bravo , H. (2014). *Diagnóstico de fallos en la combustión para motores de combustión interna alternativos diésel por análisis de vibraciones*. Cuenca.
- Jaureguiberry, M. (2010). *Vibraciones*.
- Johan . (1984). *TRACTORES DISEÑO Y FUNCIONAMIENTO*. LIMUSA.
- John Deere . (2020). *John Deere* . Obtenido de Equipos, comprar y financiar : <https://www.deere.com.ar/es/tractores-de-jard%C3%ADn/e180/>
- L, H. L. (2010). *MEDICION Y ANALISIS DE*. CHILE.
- Labaien, E., & Carrasco, G. (2009). *Mantenimiento Predictivo*.
- Learning , A. (2012). *Vibraciones Mecánicas*. México : Pearson .
- Liljedahi, J., Carleton, W., Turnquist, P., & Smith, D. (1984). *Tractores, diseño y funcionamiento*. LIMUSA.
- López, G. (2004). *Análisis de vibraciones para el mantenimiento predictivo*.
- Macias , D., & Kraemer, J. (2003). *Manual para el mantenimiento del tractor agrícola*. INTA.
- Magdalena, C., & Behmer, S. (2011). *El tractor encultivos*. INTA.
- Martínez, L. (2009). *Maquinaria Agrícola I. Jhon Deere*. Obtenido de <https://sites.google.com/site/tractorpartscatalog/>
- Martinez, M. (2018). *Mantenimiento, preparación y manejo de tractores*. IC.
- Menna. (2016). *Diésel (combustible) características, propiedades y usos*. Obtenido de <https://como-funciona.co/el-diesel/>
- Molina, C. (2003). *Descripción Práctica del tractor y los sistemas que lo asisten* . INTA.
- Molina, C. (2018). *Descripción práctica del tractor y los sistemas que lo asisten*. INTA.

- Mosquera , G. (2001). *Las vibraciones mecánicas y su aplicación al mantenimiento predictivo*. Venezuela.
- Pereira, J., & Enriquez, C. (2015). Resistencia al desgaste de materiales de las orugas de tractores después del proceso de recuperación. *Revistamateria*, 10.
- Pérez, P., & Campos, V. (2013). *Rstudio de la vibración en baja frecuencia de motor electrico* . DIAC.
- Plaza, C. (2017). *Sistema de lubricación*.
- Poaquiza Rivera, N. (2015). *Vibraciones mecánicas en motores rotativos trifásicos de 2 Hp de potencia para prevenir desbalance mediante una estrategia de mantenimiento predictivo en el laboratorio de control y automatizacion de la facultad de ingenieria civil y mecánica*. Ambato.
- Rodríguez, J. (1998). *Diagnóstico por vibraciones en motores de combustión interna*. ISPJAE.
- Rojas, L. (2001). *Mecánica Automotriz* . INACAP.
- Ruiz, L. (2019). *Transmisión de potencia en el tractor. Transmisiones mecánicas* . Madrid .
- Sanchez, M. F. (2005). Sistemas de Mantenimiento Técnico y Reparaciones y su aplicación en la Agricultura. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*.
- Sanchez, M. F. (2005). Sistemas de Mantenimiento Técnico y Reparaciones y su aplicación en la Agricultura. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*.
- Science, A.-n. (s.f.). Qué tractor elegir. Parámetros de comparación de tractores agrícolas engomados. *Articulo agricultura*, [https://www.infoagro.com/documentos/que\\_tractor\\_elegir\\_\\_parametros\\_comparacion\\_tractores\\_agricolas\\_engomados\\_\\_parte\\_i\\_.asp](https://www.infoagro.com/documentos/que_tractor_elegir__parametros_comparacion_tractores_agricolas_engomados__parte_i_.asp).
- SL, I. (2014). *Vibraciones Mecánicas Factores Relacionados con la fuente y medidas de control*. España.
- Tello Paladines, D., & Salcán Reyes, M. (2009). *Aplicación de visión con labview para la detección de frascos de distinto color*. Guayaquil.
- Timoshenko, S. (1978). *Fundamentos de vibración*.
- Torres, C. (2018). Sensor de vibración MEMS. *Power-MIBlog*, 1.
- TractorData. (2016). Obtenido de <http://www.tractordata.com/farm-tractors/002/2/9/2290-international-harvester-553.html>
- Yandún , A. (2011). *Reparación y restauración de un tractor agrícola modelo HEBEI 150*. Quito: Tesis.

## ANEXOS



Anexo 1. Maquinaria Agrícola perteneciente a la Universidad Técnica del Norte



Anexo 2. Materiales y equipos para obtención de datos



Anexo 3. Procesamiento y análisis de datos obtenidos