



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE MECÁNICA**  
**ESCUELA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

**“ANÁLISIS DE VIBRACIONES EN EL MOTOR DE  
COMBUSTIÓN INTERNA J20-A A TRAVÉS DE SIMULACIÓN DE  
MODOS DE FALLAS PARA CONTRIBUIR EL MANTENIMIENTO  
PREDICTIVO”**

**GUEVARA GAIBOR, MARÍA CRISTINA;  
LANDA DÍAZ, LILIANA MARICELA**

**TRABAJO DE TITULACIÓN**

**TIPO: PROPUESTA EXPERIMENTAL**

**Previa a la obtención del Título de:**

**INGENIERA AUTOMOTRIZ**

**RIOBAMBA – ECUADOR**

**2019**

---

**CERTIFICADO DE APROBACIÓN DEL TRABAJO  
DE TITULACIÓN**

---

2018-05-04

Yo recomiendo que el Trabajo de Titulación preparado por:

**MARÍA CRISTINA GUEVARA GAIBOR**

---

Titulado:

**“ANÁLISIS DE VIBRACIONES EN EL MOTOR DE COMBUSTIÓN  
INTERNA J20-A A TRAVÉS DE SIMULACIÓN DE MODOS DE FALLAS  
PARA CONTRIBUIR EL MANTENIMIENTO PREDICTIVO.”**

Sea aceptado como parcial complementación de los requerimientos para el Título de:

**INGENIERA AUTOMOTRIZ**

---

Ing. Carlos Santillán Mariño MSc.  
**DECANO FAC. DE MECÁNICA**

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

---

Ing. Luis Fernando Buenaño Moyano  
**DIRECTOR**

---

Ing. Bolívar Alejandro Cuaical Ángulo  
**MIEMBRO**

---

**CERTIFICADO DE APROBACIÓN DEL TRABAJO  
DE TITULACIÓN**

---

2018-05-04

Yo recomiendo que el Trabajo de Titulación preparado por:

**LILIANA MARICELA LANDA DÍAZ**

---

Titulado:

**“ANÁLISIS DE VIBRACIONES EN EL MOTOR DE COMBUSTIÓN  
INTERNA J20-A A TRAVÉS DE SIMULACIÓN DE MODOS DE FALLAS  
PARA CONTRIBUIR EL MANTENIMIENTO PREDICTIVO.”**

Sea aceptado como parcial complementación de los requerimientos para el Título de:

**INGENIERA AUTOMOTRIZ**

---

Ing. Carlos Santillán Mariño MSc.  
**DECANO FAC. DE MECÁNICA**

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

---

Ing. Luis Fernando Buenaño Moyano  
**DIRECTOR**

---

Ing. Bolívar Alejandro Cuaical Ángulo  
**MIEMBRO**

# ESPOCH

Facultad de Mecánica

---

## EXAMINACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

---

**NOMBRE DEL ESTUDIANTE:** MARÍA CRISTINA GUEVARA GAIBOR

**TITULO DEL TRABAJO DE TITULACIÓN:** “ANÁLISIS DE VIBRACIONES EN EL MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA J20-A A TRAVÉS DE SIMULACIÓN DE MODOS DE FALLAS PARA CONTRIBUIR EL MANTENIMIENTO PREDICTIVO.”

**Fecha de Examinación:** 2019-02-07

**RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:**

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Ing. José Francisco Pérez Fiallos <b>PRESIDENTE TRIB. DEFENSA</b>			
Ing. Luis Fernando Buenaño Moyano <b>DIRECTOR</b>			
Ing. Bolívar Alejandro Cuaical Ángulo <b>MIEMBRO</b>			

\* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total

**RECOMENDACIONES:** \_\_\_\_\_

---

El Presidente del Tribunal certifica que las condiciones de la defensa se han cumplido.

---

Ing. José Francisco Pérez Fiallos  
**PRESIDENTE TRIB. DEFENSA**

# ESPOCH

Facultad de Mecánica

---

## EXAMINACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

---

**NOMBRE DEL ESTUDIANTE:** LILIANA MARICELA LANDA DÍAZ

**TITULO DEL TRABAJO DE TITULACIÓN:** “ANÁLISIS DE VIBRACIONES EN EL MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA J20-A A TRAVÉS DE SIMULACIÓN DE MODOS DE FALLAS PARA CONTRIBUIR EL MANTENIMIENTO PREDICTIVO.”

**Fecha de Examinación:** 2019-02-07

**RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:**

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Ing. José Francisco Pérez Fiallos <b>PRESIDENTE TRIB. DEFENSA</b>			
Ing. Luis Fernando Buenaño Moyano <b>DIRECTOR</b>			
Ing. Bolívar Alejandro Cuaical Ángulo <b>MIEMBRO</b>			

\* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total

**RECOMENDACIONES:** \_\_\_\_\_

---

El Presidente del Tribunal certifica que las condiciones de la defensa se han cumplido.

---

Ing. José Francisco Pérez Fiallos  
**PRESIDENTE TRIB. DEFENSA**

## **DERECHOS DE AUTORÍA**

El Trabajo de Titulación que presentamos, es original y basado en el proceso de investigación y/o adaptación tecnológica en la Facultad de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. En tal virtud los fundamentos teóricos – científicos y los resultados de exclusiva responsabilidad de las autoras. El patrimonio intelectual le pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

---

**María Cristina Guevara Gaibor**

020228330-5

---

**Liliana Maricela Landa Díaz**

180400448-7

## **DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD**

Nosotros, María Cristina Guevara Gaibor y Liliana Maricela Landa Díaz, declaramos que el presente trabajo de titulación es de nuestra autoría y que los resultados del mismo son auténticos y originales. Los textos constantes en el documento que provienen de otra fuente están debidamente citados y referenciados.

Como autoras, asumimos la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación.

---

**María Cristina Guevara Gaibor**

020228330-5

---

**Liliana Maricela Landa Díaz**

180400448-7

## **DEDICATORIA**

El presente trabajo de titulación está dedicado a Dios. Ya que gracias a él he logrado concluir mi carrera.

A mi madre, porque siempre estuvo a mi lado brindándome su apoyo y sus consejos para hacer de mí una mejor persona con ejemplo de fortaleza, aguante y perseverancia.

A mis hermanos, por su apoyo incondicional los cuales estuvieron a mi lado en cada momento difícil y nunca quisieron verme desfallecer.

A mis familiares, amigos y seres importantes que ya no están conmigo que siempre estuvieron velando por mí, en este camino que condujo a la realización de este logro.

*María Cristina Guevara Gaibor*

Dedico este proyecto de tesis a Dios y a mis padres. A Dios porque ha estado conmigo a cada paso que doy, cuidándome y guiándome por el buen camino para continuar, a mis padres, quienes a lo largo de mi vida han velado por mi bienestar, salud y educación siendo mi apoyo en todo momento. Depositando su entera confianza en cada reto que se me presentaba sin dudar ni un solo momento en mi inteligencia y capacidad. Es por ello que soy lo que soy ahora. Los amos con mi vida.

*Liliana Maricela Landa Díaz*



## **AGRADECIMIENTOS**

En primer lugar, doy infinitamente gracias a Dios, por haberme dado fuerza y valor para culminar esta etapa de mi vida. A mi madre por la confianza y apoyo brindado, que sin duda alguna en el trayecto de mi vida me ha demostrado su amor, corrigiendo mis faltas y celebrando mis triunfos. A mis hermanos quienes con sus consejos me han ayudado a enfrentar los retos que se me han presentado en mi vida, por ultimo al Ing. Bolívar Cuaical y al Ing. Luis Buenaño, por toda la colaboración brindada, durante la elaboración de este proyecto.

*María Cristina Guevara Gaibor*

Principalmente a Dios, por permitirme llegar a este momento tan especial en mi vida. Por los triunfos y momentos difíciles que me han enseñado a valorarlo cada día más. A mi madre por ser la persona que me ha acompañado durante todo mi trayecto estudiantil y de vida, a mis hermanas quienes han velado por mí durante este arduo camino para convertirme en un profesional. A mi padre quien con sus consejos ha sabido guiarme para culminar mi carrera profesional. Por último, a mis compañeros de tesis que gracias a la amistad que se formó logramos llegar hasta el final del camino al Ing. Bolívar Cuaical y al Ing. Luis Buenaño, por la colaboración brindada en todo momento.

*Liliana Maricela Landa Díaz*

## TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN

ABSTRACT

INTRODUCCIÓN

### CAPÍTULO I

<b>1.</b>	<b>MARCO REFERENCIAL.....</b>	<b>1</b>
1.1	Antecedentes .....	1
1.2	Planteamiento del Problema.....	1
1.2.1	<i>Formulación del Problema de Investigación</i> .....	2
1.2.2	<i>Delimitación del Problema</i> .....	2
1.3	Justificación.....	2
1.3.1	<i>Justificación teórica</i> .....	2
1.3.2	<i>Justificación metodológica</i> .....	3
1.3.3	<i>Justificación práctica</i> .....	3
1.4	Objetivos .....	4
1.4.1	<i>Objetivo general</i> .....	4
1.4.2	<i>Objetivos específicos:</i> .....	4

### CAPÍTULO II

<b>2</b>	<b>MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>5</b>
2.1	Vibraciones .....	5
2.1.1	<i>Características de las vibraciones</i> .....	6
2.1.2	<i>Dirección de oscilación de las ondas</i> .....	8
2.1.3	<i>Tipos de vibraciones</i> .....	8
2.1.4	<i>Análisis de criticidad en motores de combustión interna</i> .....	9
2.1.4.1	<i>Generadores de combustión interna</i> .....	9
2.1.4.2	<i>Principios de funcionamiento de motores a combustión interna</i> .....	10
2.1.5	<i>Análisis de las vibraciones</i> .....	10
2.1.5.1	<i>Vibraciones simples</i> .....	13
2.1.5.2	<i>Vibraciones compuestas</i> .....	14
2.1.5.3	<i>Vibración Aleatoria y golpeteos intermitentes</i> .....	14

2.1.5.4	<i>Frecuencia Natural y resonancias</i> .....	15
2.1.6	<i>Traductores de vibración</i> .....	16
2.1.6.1	<i>Acelerómetro</i> .....	17
2.1.6.2	<i>Sensor de proximidad</i> .....	18
2.1.6.3	<i>Sensor de velocidad</i> .....	19
2.1.7	<i>Transformada de Fourier</i> .....	20
2.1.8	<i>Rangos de vibraciones</i> .....	21
2.1.8.1	<i>Normas para la evaluación y medición de niveles de vibraciones</i> .....	21
2.1.9	<i>Fallas comunes de equipos rotatorios</i> .....	27

### **CAPÍTULO III**

<b>3</b>	<b>DISEÑO Y EXPERIMENTACIÓN</b> .....	<b>35</b>
3.1	Esquema investigativo .....	35
3.2	Enfoque de la investigación .....	35
3.3	Alcance de la investigación.....	36
3.4	Tipo de investigación .....	36
3.5	Procesamiento y análisis de información.....	36
3.5.1	<i>Plan de recolección de información</i> .....	36
3.5.2	<i>Hipótesis de investigación</i> .....	37
3.5.3	<i>Variables de investigación</i> .....	37
3.5.4	<i>Caracterización de la experimentación</i> .....	37
3.6	Equipo experimental de mediciones VIBRACHEK .....	38

### **CAPÍTULO IV**

<b>4</b>	<b>ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN</b> .....	<b>41</b>
4.1	Análisis de vibraciones en el motor de combustión interna J20-A A.....	41
4.1.1	<i>Condiciones iniciales de la prueba</i> .....	42
4.1.2	<i>Análisis de la situación de condiciones normales</i> .....	44
4.1.3	<i>Sintomatología de fallas</i> .....	45
4.2	Análisis de confiabilidad de datos.....	47
4.3	Pruebas de medición .....	57
4.3.1	<i>Procedimiento de realización de las mediciones</i> .....	57
4.3.1.1	<i>Prueba del avance de encendido</i> .....	57
4.3.1.2	<i>Prueba del retroceso de encendido</i> .....	59

4.3.1.3	<i>Prueba de los inyectores</i> .....	60
4.3.1.4	<i>Prueba del filtro de aire</i> .....	61
4.3.1.5	<i>Pruebas del escape</i> .....	64
4.3.2	<i>Modos de falla consistentes</i> .....	70
4.3.3	<i>Pruebas por cada modo de falla</i> .....	71
4.4	Análisis del resultado de la experimentación.....	71
4.5	Análisis inferencial.....	99
4.5.1	<b><i>Planteamiento de la hipótesis</i></b> .....	99
4.6	Mantenimiento predictivo .....	101
4.6.1	<i>Inspecciones visuales</i> .....	101
4.6.2	<i>Análisis del líquido de refrigeración de alta temperatura</i> .....	101
4.6.3	<i>Formatos de mantenimiento predictivo diario</i> .....	101
	<b>CONCLUSIONES</b> .....	<b>103</b>
	<b>RECOMENDACIONES</b> .....	<b>104</b>
	<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	
	<b>ANEXOS</b>	

## LISTA DE TABLAS

<b>Tabla 1-2:</b> Tabla de Charlotte .....	22
<b>Tabla 1-3:</b> Plan de recolección de información .....	37
<b>Tabla 1-4:</b> Ficha técnica del motor de combustión interna J20-A.....	42
<b>Tabla 2-4:</b> Resultados analizados en el escape. ....	49
<b>Tabla 3-4:</b> Resultados análisis alfa de Cronbach.....	49
<b>Tabla 4-4:</b> Matriz de correlación de datos .....	50
<b>Tabla 5-4:</b> Resultados analizados en el filtro de aire. ....	51
<b>Tabla 6-4:</b> Resultados analizados en el Filtro de aire. ....	51
<b>Tabla 7-4:</b> Resultados analizados en los inyectores. ....	52
<b>Tabla 8-4:</b> Resultados analizados en los inyectores. ....	53
<b>Tabla 9-4:</b> Control de mantenimiento predictivo diario. ....	102

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1-2:</b> Vibraciones de un solido .....	5
<b>Figura 2-2:</b> Magnitud de la vibración .....	6
<b>Figura 4-2:</b> Tipos de motores de combustión interna .....	9
<b>Figura 6-2:</b> Partes del Motor de combustión interna .....	10
<b>Figura 7-2:</b> Diagnóstico de máquinas por medio de vibraciones .....	11
<b>Figura 8-2:</b> Metodología para análisis de vibraciones en motores .....	11
<b>Figura 9-2:</b> Ventajas del análisis de vibraciones .....	12
<b>Figura 10-2:</b> Espectro de vibraciones .....	12
<b>Figura 11-2:</b> Espectro de vibraciones .....	13
<b>Figura 12-2:</b> Vibración compuesta .....	14
<b>Figura 13-2:</b> Espectro de vibraciones .....	15
<b>Figura 14-2:</b> Espectro de vibraciones con golpes .....	15
<b>Figura 15-2:</b> Giro de un motor a frecuencia natural .....	16
<b>Figura 16-2:</b> Giro de un motor a frecuencia natural .....	17
<b>Figura 17-2:</b> Acelerómetro piezoeléctrico .....	17
<b>Figura 18-2:</b> Traductor de proximidad .....	18
<b>Figura 19-2:</b> Traductor de velocidad .....	19
<b>Figura 20-2:</b> Espectro .....	20
<b>Figura 21-2:</b> Espectro .....	21
<b>Figura 22-2:</b> Partes de la Norma ISO 10816-3 .....	24
<b>Figura 23-2:</b> Clasificación de acuerdo al tipo de máquina, potencia o altura del eje ....	25
<b>Figura 24-2:</b> Clasificación de las maquinas.....	25
<b>Figura 25-2:</b> Clasificación de acuerdo a la flexibilidad del soporte .....	26
<b>Figura 26-2:</b> Vibraciones de desplazamiento .....	26
<b>Figura 27-2:</b> Vibraciones de velocidad.....	27
<b>Figura 28-2:</b> Desbalanceo estático.....	27
<b>Figura 29-2:</b> Desbalanceo dinámico.....	28
<b>Figura 30-2:</b> Desalineación angular.....	28
<b>Figura 31-2:</b> Desalineación paralela.....	29
<b>Figura 32-2:</b> Holgura mecánica .....	29
<b>Figura 33-2:</b> Sutura estructural.....	29
<b>Figura 34-2:</b> Resonancia.....	30

<b>Figura 35-2:</b> Pulsaciones .....	30
<b>Figura 36-2:</b> Desgaste del diente .....	31
<b>Figura 37-2:</b> Sobrecarga del engranaje.....	31
<b>Figura 38-2:</b> Distinción de bodas .....	31
<b>Figura 39-2:</b> Desalineación de poleas.....	32
<b>Figura 40-2:</b> Frecuencia de aspas .....	32
<b>Figura 41-2:</b> Cavitación.....	33
<b>Figura 42-2:</b> Fallas en la pista interna .....	33
<b>Figura 43-2:</b> Fallas en la pista externa.....	33
<b>Figura 44-2:</b> Fallas en elementos rodantes .....	34
<b>Figura 1-3:</b> Metodología de la investigación.....	35
<b>Figura 2-3:</b> Métodos de investigación .....	36
<b>Figura 3-3:</b> Vibracheck.....	38
<b>Figura 4-3:</b> Vibracheck.....	40
<b>Figura 1-4:</b> Puntos de aplicación y toma de las mediciones para un análisis de vibraciones .....	41
<b>Figura 2-4:</b> Motor de combustión interna estudiado .....	42
<b>Figura 3-4:</b> Masas cúbicas .....	44
<b>Figura 4-4:</b> Pega epoxy.....	45
<b>Figura 5-4:</b> Fallas comunes en el sistema de inyección .....	46
<b>Figura 6-4:</b> Fallas comunes en el filtro de aire .....	47
<b>Figura 7-4:</b> Inserción de datos en SPSS .....	48
<b>Figura 8-4:</b> <b>Procedimiento</b> de las pruebas de medición.....	57
<b>Figura 9-4:</b> Posición inicial del scanner .....	58
<b>Figura 10-4</b> Pruebas de medición vibrachek .....	58
<b>Figura 11-4:</b> Acelerómetro en el punto 1 .....	58
<b>Figura 12-4:</b> Enlace del equipo.....	59
<b>Figura 13-4:</b> Pruebas de medición.....	60
<b>Figura 14-4:</b> Colocación de filtros con taponamiento 60% .....	61
<b>Figura 15-4:</b> Colocación de filtros con taponamiento 60% .....	61
<b>Figura 16-4:</b> Cuerpo de aceleración .....	61
<b>Figura 17-4:</b> Elaboración de la placa de metal .....	62
<b>Figura 18-4:</b> Cuerpo de aceleración .....	62
<b>Figura 19-4:</b> Pernos de ajuste para el filtro de aire.....	62

<b>Figura 20-4:</b> Instalación del equipo con el depurador .....	63
<b>Figura 21-4:</b> Cuerpo de aceleración .....	63
<b>Figura 22-4:</b> Instalación de escape y depurador .....	64
<b>Figura 23-4:</b> Paso 1 para la realización de pruebas .....	65
<b>Figura 24-4:</b> Paso 2 para la realización de pruebas .....	66
<b>Figura 25-4:</b> Paso 3 para la realización de pruebas .....	66
<b>Figura 26-4:</b> Paso 4 para la realización de pruebas .....	67
<b>Figura 27-4:</b> Paso 1 para la realización de pruebas .....	67
<b>Figura 28-4:</b> Paso 1 para la realización de pruebas .....	68
<b>Figura 29-4:</b> Paso 1 para la recolección de datos .....	68
<b>Figura 30-4:</b> Paso 1 para la realización de pruebas .....	69
<b>Figura 31-4:</b> Paso dos para la recolección de datos.....	69
<b>Figura 32-4:</b> Paso dos para la recolección de datos.....	70
<b>Figura 33-4:</b> Ilustración análisis vibracional .....	71
<b>Figura 34-4:</b> Resultados del análisis de avance del motor-punto 1 .....	72
<b>Figura 35-4:</b> Resultados del análisis de avance del motor- punto 2 .....	73
<b>Figura 36-4:</b> Resultados del análisis de avance del motor- punto 3 .....	74
<b>Figura 37-4:</b> Resultados del análisis de avance del motor-punto 4 .....	75
<b>Figura 38-4:</b> Resultados del análisis de escape del motor-punto 1 .....	76
<b>Figura 39-4:</b> Resultados del análisis de escape del motor-punto 2 .....	77
<b>Figura 40-4:</b> Resultados del análisis de escape del motor-punto 3 .....	78
<b>Figura 41-4:</b> Resultados del análisis de escape del motor-punto 4 .....	79
<b>Figura 42-4:</b> Resultados del análisis de escape del motor-punto 5 .....	80
<b>Figura 43-4:</b> Resultados del análisis de escape del motor-punto 6 .....	81
<b>Figura 44-4:</b> Resultados del análisis del filtro de aire-punto 1.....	82
<b>Figura 45-4:</b> Resultados del análisis del filtro de aire-punto 2.....	83
<b>Figura 46-4:</b> Resultados del análisis del filtro de aire-punto 3.....	84
<b>Figura 47-4:</b> Resultados del análisis del filtro de aire-punto 4.....	85
<b>Figura 48-4:</b> Resultados del análisis del filtro de aire-punto 6.....	86
<b>Figura 49-4:</b> Resultados del análisis del cigüeñal .....	87
<b>Figura 50-4:</b> Resultados del análisis de los inyectores-punto 1 .....	88
<b>Figura 51-4:</b> Resultados del análisis de los inyectores-punto 2 .....	89
<b>Figura 52-4:</b> Resultados del análisis de los inyectores-punto 3 .....	90
<b>Figura 53-4:</b> Resultados del análisis de los inyectores-punto 4 .....	91



<b>Figura 54-4:</b> Resultados del análisis de retroceso del motor-punto 1 .....	92
<b>Figura 55-4:</b> Resultados del análisis de retroceso del motor-punto 2 .....	93
<b>Figura 56-4:</b> Resultados del análisis de retroceso del motor-punto 3 .....	94
<b>Figura 57-4:</b> Resultados del análisis de retroceso del motor-punto 4 .....	95
<b>Figura 58-4:</b> Resultados del análisis de retroceso del motor-punto 5 .....	96
<b>Figura 59-4:</b> Resultados del análisis de retroceso del motor-punto 6 .....	97

## LISTA DE GRÁFICOS

<b>Gráfico 1-4:</b> Distribución de datos en función de F .....	50
<b>Gráfico 2-4:</b> Distribución de datos en función de V1X.....	51
<b>Gráfico 3-4:</b> Inserción de datos en SPSS Filtro de aire .....	52
<b>Gráfico 4-4:</b> Inserción de datos en SPSS Filtro de inyectores.....	53
<b>Gráfico 5-4:</b> Inserción de datos en SPSS de los inyectores Vrms .....	54
<b>Gráfico 6-4:</b> Graficas de tendencia V2X .....	55
<b>Gráfico 7-4:</b> Graficas de tendencia Vrms .....	55
<b>Gráfico 8-4:</b> Graficas de tendencia V2X .....	56
<b>Gráfico 9-4:</b> Niveles de vibraciones en los puntos de experimentación o de prueba ....	99

## **LISTA DE ABREVIATURAS**

<b>ANSI</b>	Instituto Nacional de Normas Americanas (American National Standards Institute)
<b>ISO</b>	Organización Internacional de Normalización (International Organization for Standardization)
<b>PVD</b>	Pantalla de Visualización de Datos

## **LISTA DE ANEXOS**

**Anexo A.** Resultados del análisis vibracional predictivo del escape y filtro de aire

**Anexo B.** Fotografías de las pruebas experimentales

## RESUMEN

En el presente proyecto experimental se realiza el análisis de vibraciones en el motor de combustión interna J20-A a través de simulación de modos de fallas para contribuir el mantenimiento predictivo. Primeramente, se dio paso al estudio de la situación actual del motor de combustión interna. Se realizaron los modos de falla de: avance de encendido y retroceso, inyectores con porcentajes de taponamiento, obstrucción del filtro de aire y escape. Para la medición de cada modo de falla se utilizó el equipo Vibrachek para determinar el nivel de vibración en los 10 puntos del motor. Los datos se recolectan para transferir al programa MAINtraq Predictive 2.1 para evaluar en qué punto exacto el nivel de vibración es un valor aceptable para ser interpretado. Para el análisis de confiabilidad de los datos experimentales se procede a la utilización del software SPSS el valor obtenido de alfa de Cronbach, es superior a 0.9 lo que determina que los datos se encuentran en un nivel excelente de aceptabilidad, demostrándose que los datos utilizados son muy consistentes y sólidos estadísticamente. Al comparar los resultados se encontró datos que denotan una anomalía en el filtro de aire con una velocidad total de 15mm/s, y en el escape se observó claramente cómo se presenta un incremento en la vibración con una velocidad de 17.06mm/s mientras que en el avance y retroceso ya que por el sistema electrónico utilizado existe una compensación en estos parámetros por ende en los resultados no se aprecian mayores cambios o diferencias, en el análisis de espectros obtenidos con el acelerómetro en el motor no se encuentra cambios relevantes al provocar el desbalanceo del árbol de levas. Se recomienda siempre tomar el dato en el punto donde se tenga el valor más alto de vibración para hacer una comparación de valores y apreciar el nivel bajo medio y alto de vibración y envase a esos datos dar una mejor interpretación.

PALABRAS CLAVE: <TECNOLOGÍA Y CIENCIAS DE LA INGENIERÍA>, <INGENIERÍA MECÁNICA>, <VEHÍCULO>, <MOTOR>, <COMBUSTIÓN INTERNA>, <ALFA DE CRONBACH>, <VIBRACIÓN>, <MAINTRAQ PREDICTIVE 2.1 (SOFTWARE)>.

## **ABSTRACT**

In this current pilot project, vibration analysis is carried out in the internal combustion engine J20-A through running simulation failure modes to contribute to predictive maintenance techniques. First, it gave way to the study of the current situation of the internal combustion engine. Potential failure modes trials were performed as: advanced ignition and recoil start, injectors with plugging percentages, air filter clogging and exhaust air outlet. In order to measure each failure mode was used the Vibrachek technology to determine the vibration levels in the ten points of the engine. The data is collected to transfer the program MAINtraq Predictive 2.1 to evaluate at what exact point the vibration level is an acceptable value to be interpreted. For the reliability analysis of the experimental data it proceed to the use the software SPSS the value obtained from Alpha of Cronbach, is greater than 0.9 Which determine that data is at an excellent level of acceptability, showing that the data used are very consistent and statistically solid. The comparing the results were found denoting an anomaly in the air filter with a total velocity of 15mm / s, and in the exhaust was clearly observed as an increase in vibration with a speed of 17, 06mm / s while in the forward and reverse because the electronic system used there is a compensation in these parameters therefore the results do not see any major changes or differences, in the analysis of spectra obtained with the accelerometer in the engine are not relevant changes to cause the imbalance of the camshaft. It is always recommended to take the data at the point where you have the highest vibration value to make a comparison of values and appreciate the low and medium level of vibration and based to that data give a better interpretation.

**KEY WORDS:** <TECHNOLOGY AND ENGINEERING SCIENCES>, <MECHANICAL ENGINEERING>, <VEHICLE>, < CONBUSTION INTERNAL >, < CROBACH > <, < VIBRATION >, < MAINTRAQ PREDICTIVE 2.1 (SOFTWARE) >.

## INTRODUCCIÓN

En la actualidad el desarrollo tecnológico a nivel automotriz avanza precipitadamente con el pasar de los días, de manera especial en la evolución de los motores de combustión interna, provocando que el sector automotriz requiera de un profesional capacitado y actualizado de manera constante para la solución de todo tipo de problemas que se presentan en los automóviles, relacionando la práctica con la teoría.

La Escuela de Ingeniería Automotriz asume la misión de formar profesionales capaces de integrarse al campo productivo nacional, para solucionar problemas técnicos, científicos, contribuyendo de esta manera al desarrollo del país, dispone al momento de dos depósitos y dos áreas para recepción de vehículos, un taller que cuenta con dos elevadores, varias prensas, espacios para mecánica de patio y área de estacionamiento, además de un motor Grand Vitara J20A el cual fue destinado para impartir cátedras. Cabe recalcar que dicho motor fue concesionado a la escuela de ingeniería automotriz por las autoridades centrales de la politécnica para que hagan uso del mismo como material didáctico, sin embargo, el motor requiere la implementación de algunas partes de sus componentes para su correcto funcionamiento.

Tomando en cuenta lo anteriormente expuesto se percibe el deseo de la institución de continuar con el desarrollo académico mediante la implementación de laboratorios y talleres equipados con equipos y bancos de trabajo didácticos que puedan ofrecer al alumno una preparación integral, en consecuencia, la escuela requiere de soluciones prácticas, innovadoras, técnicas y económicas que puedan contribuir con su propósito.

El Ingeniero Automotriz de la ESPOCH está preparado para aplicar todas sus habilidades y destrezas en lo relacionado con el mantenimiento y reparaciones íntegras de motores de combustión interna tanto de diésel como de gasolina, así como de sus sistemas eléctricos, mecánicos, hidráulicos e inyección electrónica; además de estar en capacidad de administrar un taller; por tanto contamos con los conocimientos necesarios para proponer soluciones como restablecer y lograr que un vehículo, en este caso un motor pueda volver a ser útil teniendo en cuenta que uno de los objetivos principales de un profesional es actuar para solventar problemas que aquejan a la comunidad en la que se encuentra.

# CAPÍTULO I

## 1. MARCO REFERENCIAL

### 1.1 Antecedentes

La presente investigación esta denominada como “Análisis de vibraciones en el motor de combustión interna J20-A a través de simulación de modos de fallas para contribuir el mantenimiento predictivo”, que es un estudio que se realiza mediante un software MAINtraq Predictive 2.1. Dicho proyecto tiene como propósito identificar los niveles de vibración al que están expuestos las partes de un motor de combustión interna. Es necesario el saber diagnosticar adecuadamente las posibles fallas y posibles soluciones en los motores de combustión interna de vehículos a través del análisis de vibraciones, de esta manera se establecen datos referentes a esta actividad, y poder dar criterios de aceptación y poder contar con las herramientas necesarias y precisas para la implementación de tareas predictivas en el campo del mantenimiento automotriz y que mejoren el ciclo de vida de un vehículo.

### 1.2 Planteamiento del Problema

Desde el punto de vista global y analizando el contexto mundial los sistemas automotrices son de gran importancia para el desarrollo de las industrias de todo el mundo, por ende, es necesario realizar un análisis exhaustivo en la en el funcionamiento del sistema interno en especial del motor de combustión interna, que es el que más se utiliza en los vehículos a nivel global. Un problema que se ha notado en el transcurso de los años es el deterioro de las partes internas y externas del motor por casos particulares y desgaste de los mismos, un factor que se ha notado indispensable de analizar son las alteraciones ocasionadas por las vibraciones que generan.

En los últimos tiempos y con el creciente avance tecnológico el análisis de vibraciones se ha vuelto fundamental e indispensable ya que permite diagnosticar el estado de las máquinas y sus componentes mientras su funcionamiento normal y prolongado en el



tiempo, las vibraciones que se generan en cualquier estructura pueden ser las promotoras de fallas adversas y pueden ocasionar el deterioro del sistema motriz, y por ende falta de confort para el usuario. En el Ecuador la industria automotriz es muy importante en y el contexto de su mantenimiento de la misma manera, en los últimos tiempos se ha notado que existen fallas singulares en los motores de combustión interna, considerando muchos factores, y un caso muy relevante es el estudio de vibraciones las cuales pueden analizar para poder realizar un diagnóstico predictivo para predecir cuándo requieren operaciones de reparación y de ser el caso la reposición de piezas en base a al análisis de datos que se puedan obtener en una estructura sometida a desgaste.

### ***1.2.1 Formulación del Problema de Investigación***

¿De qué manera el análisis de vibraciones en el motor de combustión interna j20-a a través de simulación de modos de fallas permitirá contribuir en el mantenimiento predictivo de los motores de los vehículos?

### ***1.2.2 Delimitación del Problema***

Objeto de estudio: Vibraciones

Campo de acción: Automotriz

Límite espacial: La presente investigación será realizada en la Carrera de Ingeniería Automotriz, de la ESPOCH, en la provincia de Chimborazo.

Delimitación temporal: La presente investigación se llevará a cabo en el año 2018.

## **1.3 Justificación**

### ***1.3.1 Justificación teórica***

El presente trabajo de investigación se justifica de manera sistemática debido a la formación del Ingeniero Automotriz, debido a que cuenta con el conocimiento suficiente para la realización del estudio de vibraciones en un motor de combustión interna, y fortalecer el mantenimiento predictivo, identificando los aspectos teóricos para la implementación y desarrollo del sistema de mantenimiento en motores de combustión interna.

### ***1.3.2 Justificación metodológica***

En la descripción metodológica inicialmente se procede a realizar la investigación bibliográfica que enmarca el marco teórico reglamentario. La investigación utilizará esta modalidad que es imprescindible y se acudirá a fuentes bibliográficas de primer nivel obtenidas en documentos válidos y confiables, desde una perspectiva deductiva libros, revistas, publicaciones, folletos; como herramientas metodológicas se utiliza la experimentación y como equipo de apoyo la observación directa y su registro fotográfico, videos, grabaciones de las pruebas del equipo de vibración.

En la experimentación se inicia con la adquisición de la señal de aceleración, la misma que es integrada para dar como resultado la velocidad, y posteriormente mediante un espectro de frecuencias indica las posibles fallas mecánicas o eléctricas que se puedan encontrar en el motor. Para su análisis e interpretación se realiza según sea la severidad de las vibraciones se enmarca la toma de decisiones en la conveniencia o no de la realización de una acción correctiva para el mantenimiento predictivo y ayudar a incrementar la vida útil del motor y se disminuiría el riesgo de algún problema en el futuro como dejar al motor fuera de servicio.

### ***1.3.3 Justificación práctica***

Las vibraciones están relacionadas directamente proporcionales a la vida útil del motor este se puede realizar; un bajo nivel de vibraciones indica que el motor funcionará correctamente durante mucho tiempo, por otra parte, un elevado nivel de vibraciones indica que el motor se dirige hacia alguna avería a corto o mediano plazo. En un motor de combustión interna, las vibraciones son la mejor indicación de su condición mecánica, debido a que éstas pueden causar fisuras por fatiga, ruido, pérdida de efectividad de los sellos, desgaste, etc.

La Facultad de mecánica cuenta con varios laboratorios y talleres destinados al fortalecimiento teórico práctico en la formación de los profesionales que genera la misma; que aportan al fortalecimiento creativo de los estudiantes y de esta manera permite utilizar los equipos de medición de vibraciones para la realización del presente estudio.

## **1.4 Objetivos**

### ***1.4.1 Objetivo general***

Analizar las vibraciones en el motor de combustión interna J20-A a través de simulación de modos de fallas para contribuir al mantenimiento predictivo.

### ***1.4.2 Objetivos específicos:***

- Recopilar información de la aplicación del análisis de vibraciones en motores de combustión interna mediante una revisión bibliográfica para determinar el protocolo adecuado a seguir para la realización de las pruebas.
- Determinar la metodología adecuada para el estudio de vibraciones en motores de combustión interna que permita el diagnóstico de fallas mecánicas y electrónicas.
- Realizar el estudio de vibraciones mediante la recopilación de datos y simulación de fallas para determinar la sintomatología que presenta el motor en cada uno de los modos de fallas analizados.
- Realizar un análisis comparativo con los valores obtenidos en el banco de pruebas para crear una base de datos de síntomas y fallas que contribuyan al diagnóstico para programas de mantenimiento predictivo.

## CAPÍTULO II

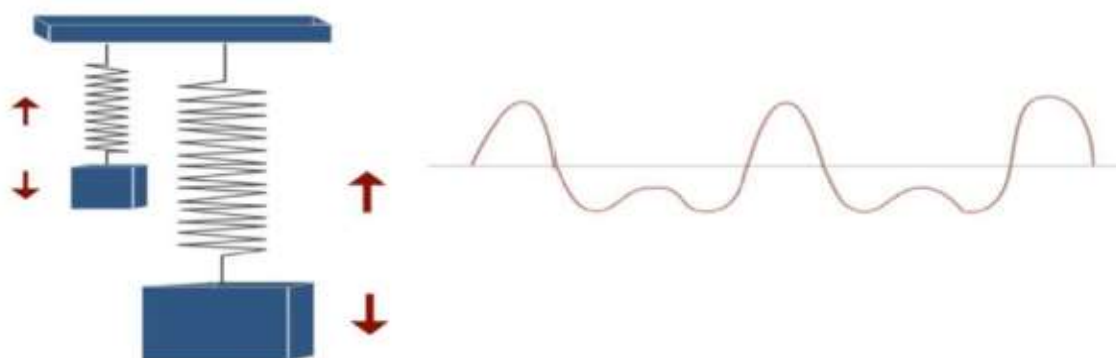
### 2 MARCO TEÓRICO

#### 2.1 Vibraciones

A las vibraciones se le conoce como “los cambios alternativos de forma en un cuerpo, de modo que sus puntos oscilen sincrónicamente en torno a posiciones de equilibrio” (Garavito, 2011). También se la puede definir como como un movimiento de un cuerpo sólido alrededor de una posición de equilibrio, no produciéndose desplazamientos netos del mismo.

De acuerdo a la norma ISO 2041:2009, “Vibración y Choques – Vocabulario”, la vibración puede ser definida como una oscilación mecánica sobre un punto de equilibrio, dichas oscilaciones pueden ser periódicas o aleatorias (ISO 2041, 2009).

Además, si el objeto al momento de la vibración entra en contacto con alguna parte del cuerpo humano, transmite directamente la energía generada por la vibración. Los efectos pueden ser diversos dependiendo de las características de energía generada por la vibración. (IDEARA, 2014)



**Figura 1-2:** Vibraciones de un sólido  
**Fuente:** (IDEARA, 2014)

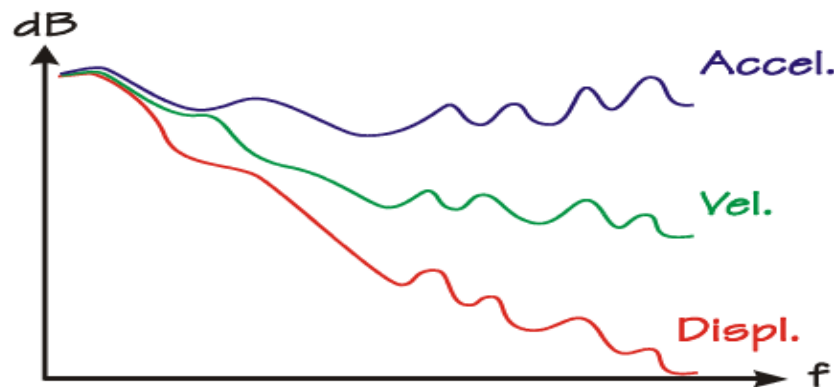
En la figura que antecede se puede observar la vibración de un sólido y como transfiere su energía hacia un cuerpo externo. Considerando el punto de vista de la Higiene Ocupacional, la vibración puede definirse como “cualquier movimiento o fuerza mecánica oscilante, continua o intermitente, que afecta al cuerpo Humano en el trabajo a través de estructuras y receptores distintos al oído”. Mientras que en el Convenio 148 de la Organización Internacional del Trabajo (OIT), el término vibración se describe como “toda vibración transmitida al organismo humano por estructuras sólidas que sea nociva para la salud o entrañe cualquier otro tipo de peligro”.

### 2.1.1 Características de las vibraciones

En la mayoría de los casos los efectos que producen las vibraciones mecánicas en el cuerpo humano, dependen fundamentalmente de las siguientes características: magnitud, frecuencia, dirección, tiempo de exposición e impedancia.

- Magnitud

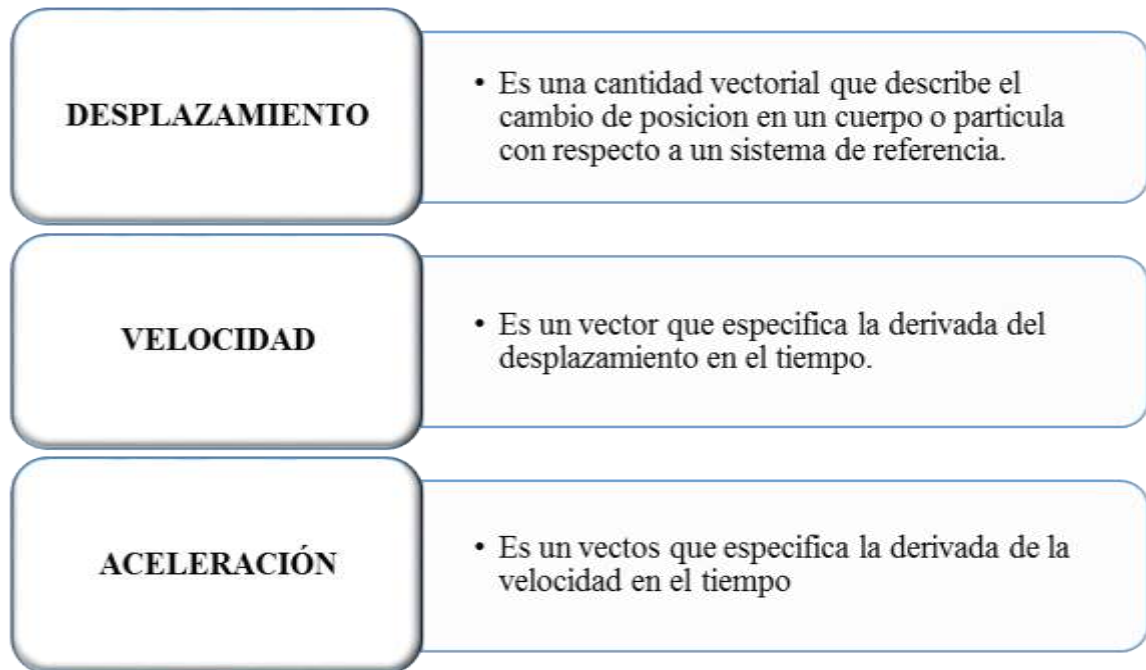
La magnitud de una vibración puede medirse en función del desplazamiento producido por dicha vibración. Cuando tratamos de un movimiento, se puede determinar en términos de velocidad o aceleración. Sin embargo, se debe considerar la facilidad de medición, generalmente puesto que esta se determina en términos de aceleración (variación de velocidad desde cero hasta el máximo en cada ciclo), siendo las unidades utilizadas los  $m/s^2$ . Mientras que la aceleración es máxima cuando pasa por el punto de equilibrio hasta llegar a cero en el extremo.



**Figura 2-2:** Magnitud de la vibración  
Fuente: (IDEARA, 2014)

En la figura que antecede se demuestra que de las tres posibilidades de determinación es mejor utilizar la aceleración, ya que la razón fundamental es que es fácil de calcular y se generan en mayor proporción.

De acuerdo a la Norma 2041 se da a conocer algunos conceptos dentro de magnitud:



**Figura 3-2:** Magnitud de la vibración

**Fuente:** Norma 2041

- Frecuencia

La frecuencia puede definirse como el número de veces por segundo que se desarrolla el ciclo completo de oscilación y se mide en Hertz (Hz). La frecuencia indica el número de veces que el objeto o equipo vibra por segundo.

- Dirección

En la mayoría de casos los efectos de la vibración de los motores sobre el cuerpo humano dependen de la dirección de incidencia de la misma.

- Tiempo de exposición

Se considera el tiempo que se está sometido a la vibración durante toda la jornada laboral. Es un parámetro en cuya determinación hay que ser muy cuidadoso ya que no necesariamente coincide con el tiempo durante el cual se utiliza una máquina, pues con

una misma máquina pueden realizarse diferentes operaciones que suponen un nivel de vibraciones diferente.

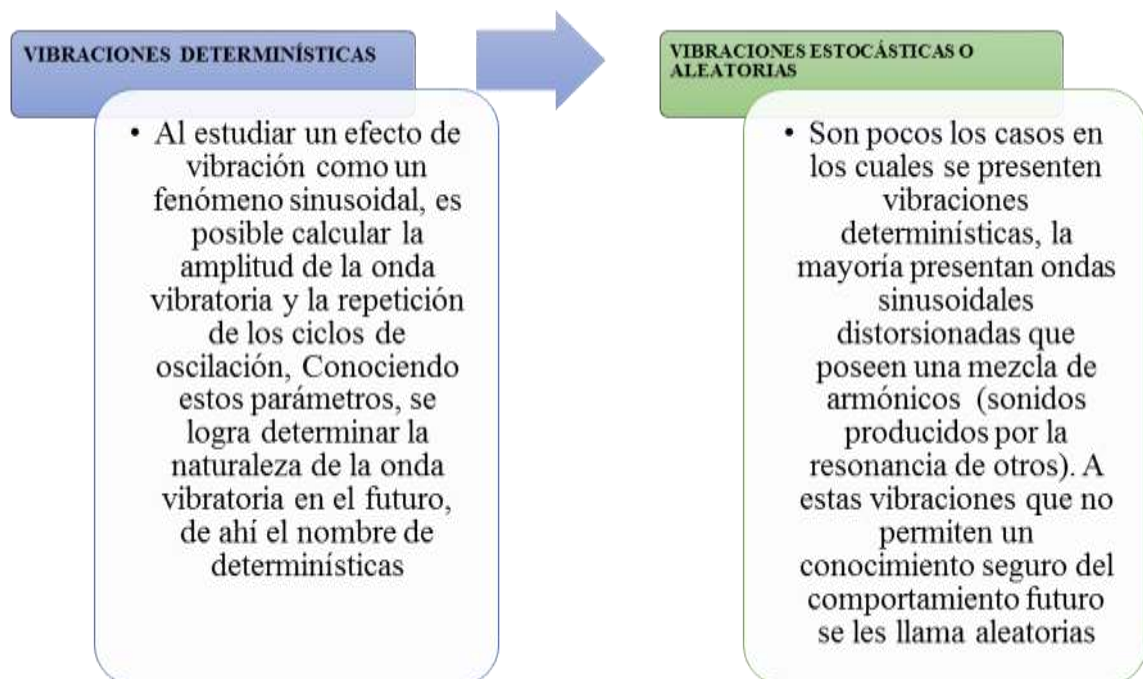
### 2.1.2 Dirección de oscilación de las ondas

Las ondas de acuerdo a su dirección de oscilación pueden ser transversales y longitudinales. Una onda longitudinal es una onda mecánica en la que el movimiento de oscilación de las partículas del medio es paralelo a la dirección de propagación de la onda y una onda transversal es aquella en la que cierta magnitud vectorial presenta oscilaciones en alguna dirección perpendicular la dirección de propagación.

Además, también existen otro tipo de ondas como las superficiales, que se transmiten por la superficie del medio que las conduce y son de tipo mecánicas, teniendo diferentes respuestas y formas de analizarlas con los equipos de medición y análisis de vibraciones.

### 2.1.3 Tipos de vibraciones

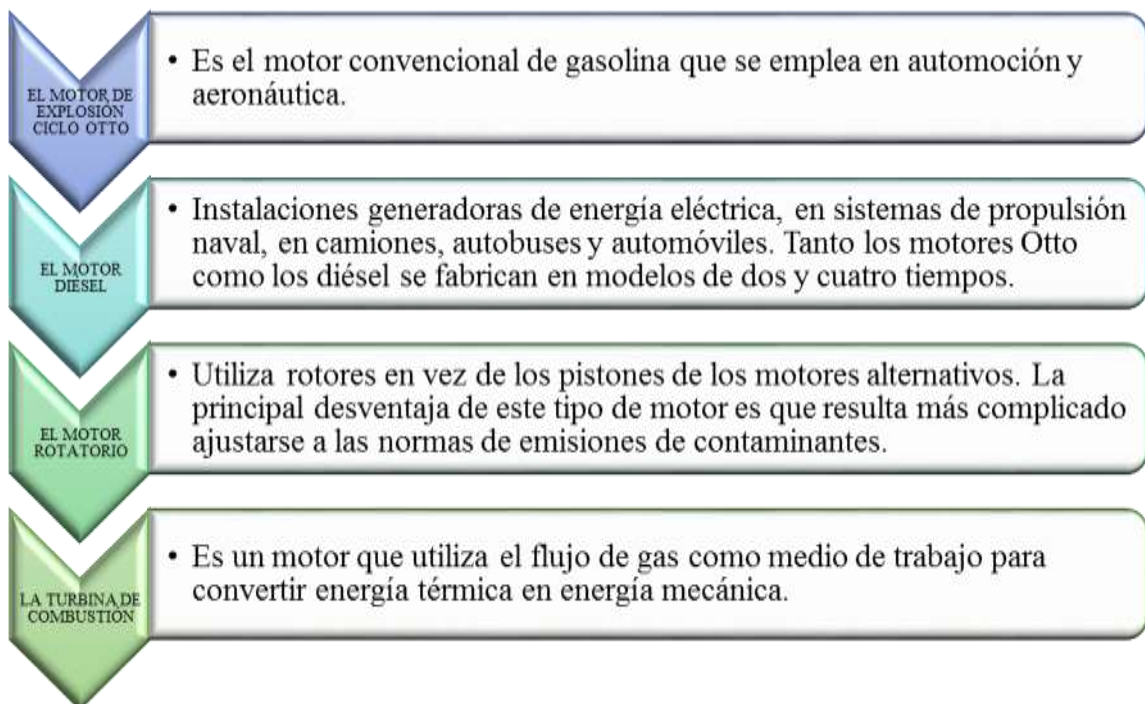
Sabiendo que las vibraciones, al ser un movimiento oscilatorio pueden ser descritas mediante ecuaciones matemáticas, también, es esta propiedad la que permite dividir las en dos grupos como se muestra a continuación:



## 2.1.4 Análisis de criticidad en motores de combustión interna

### 2.1.4.1 Generadores de combustión interna

Se consideran un tipo de máquina que obtiene energía mecánica de manera directa de la energía química por el combustible que arde adentro de la cámara de combustión, siendo esta la parte central de un motor. A continuación, en el gráfico se detallan cuatro tipos de motores de combustión interna.



**Figura 3-2:** Tipos de motores de combustión interna

Fuente: (IDEARA, 2014)



**Figura 5-2:** Motor de combustión interna

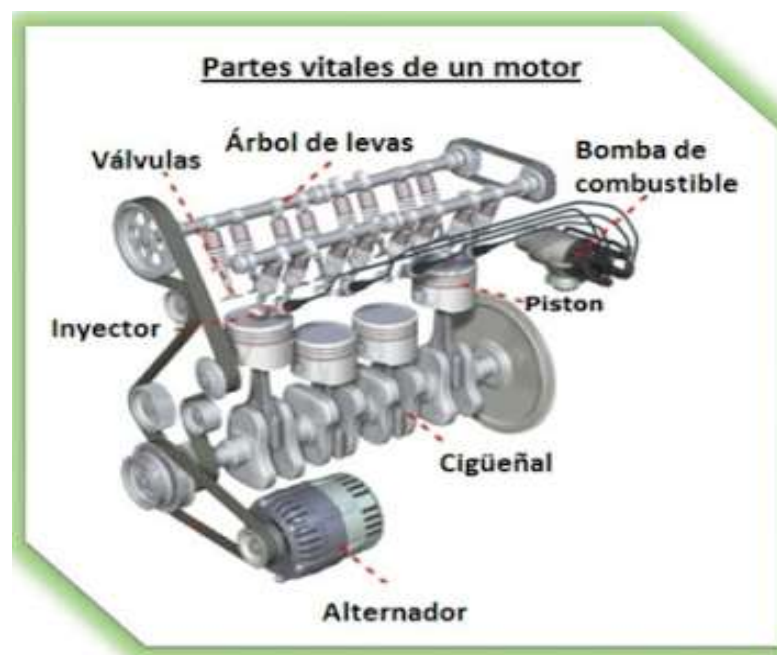
Fuente: (IDEARA, 2014)



#### 2.1.4.2 Principios de funcionamiento de motores a combustión interna

El proceso de funcionamiento se considera que empieza desde el quemado de una mezcla comprimida de aire y combustible dentro de una cámara cerrada o cilindro, con la finalidad de incrementar la presión y generar con suficiente potencia el movimiento lineal alternativo del pistón. Generalmente, este movimiento es transmitido por medio de la biela al eje principal del motor o cigüeñal, donde se convierte en movimiento rotativo, el cual se transmite a los mecanismos de transmisión de potencia.

El proceso de la combustión desarrollado en el cilindro, la energía química contenida en el combustible es transformado primero en energía calorífica, parte de la cual se transforma en energía cinética (movimiento). A continuación, se detalla las partes de un motor de combustión interna:

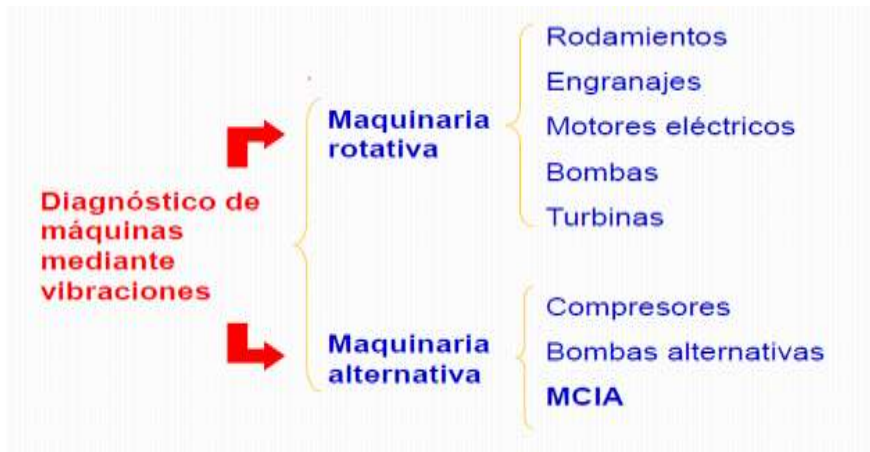


**Figura 4-2:** Partes del Motor de combustión interna

Fuente: (IDEARA, 2014)

#### 2.1.5 Análisis de las vibraciones

Generalmente, se empieza por realizar un diagnóstico previo para seguir al análisis de las vibraciones en motores rotatorios. (Meneses, 2015)

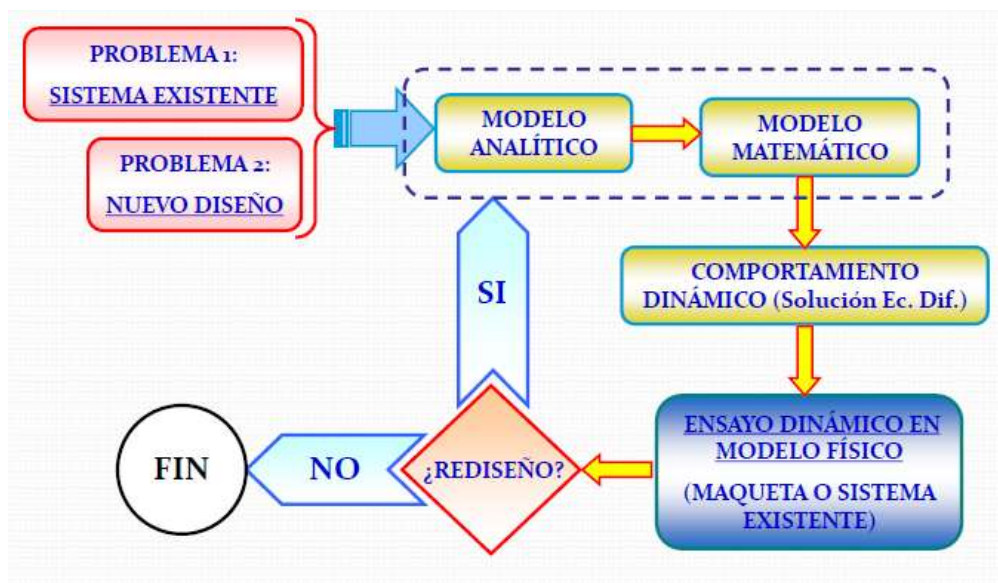


**Figura 5-2:** Diagnóstico de máquinas por medio de vibraciones

**Fuente:** (Meneses, 2015)

En la figura 2.7 se muestra como se diagnostica las maquinas ya sean de rodamientos o alternativas.

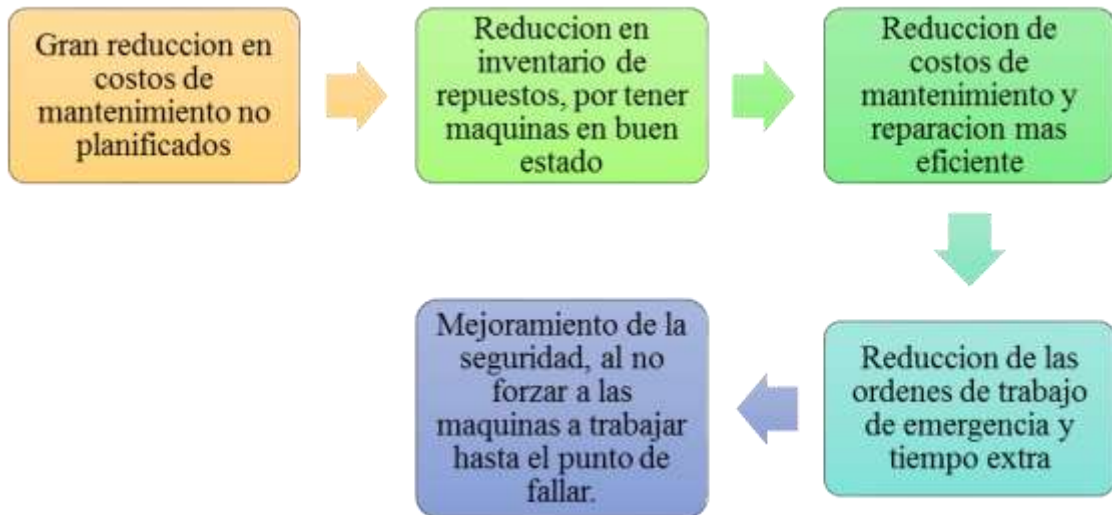
Los niveles de vibración básicamente deben ser analizados de la siguiente manera:



**Figura 6-2:** Metodología para análisis de vibraciones en motores

**Fuente:** (Meneses, 2015)

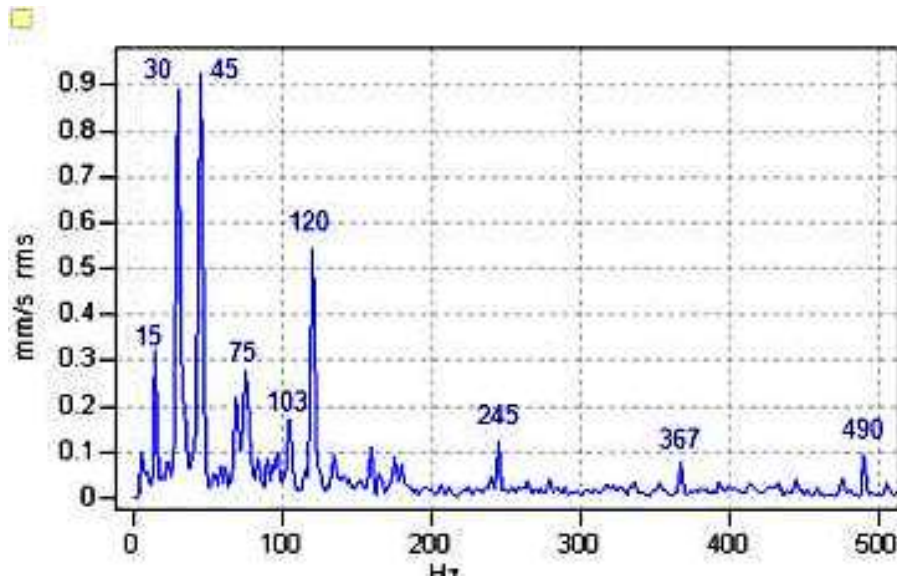
El análisis de vibraciones permite analizar cada uno de los problemas más frecuentes de un equipo de trabajo, antes de que sufra un fallo y permite las ventajas que a continuación se detallan;



**Figura 7-2:** Ventajas del análisis de vibraciones

**Fuente:** (Garavito, 2011)

Es así que una máquina en buen estado proporciona calidad permanente en los procesos, mientras que un equipo mecánico que tiene fallos genera vibraciones. Básicamente las frecuencias de las vibraciones puedan ser observadas medidas mediante instrumentos de análisis con parámetros específicos determinados cuando reciben mantenimiento las máquinas.



**Figura 8-2:** Espectro de vibraciones

**Fuente:** (Garavito, 2011)

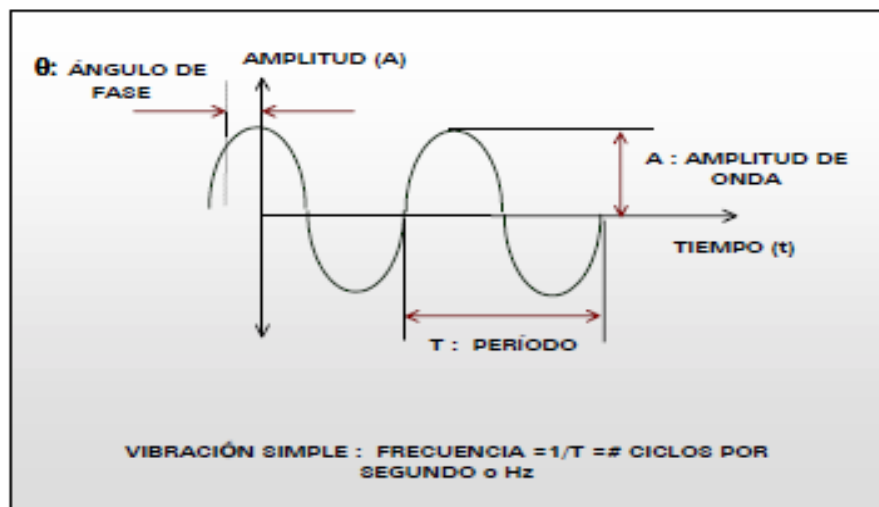
En la figura 2.10 se muestra un espectro de vibraciones, el mismo que muestra un cálculo de la frecuencia con la amplitud. La frecuencia permite determinar el origen de la vibración mientras que la amplitud permite determinar la severidad o gravedad del

problema. Sin embargo, un incremento en el nivel de frecuencia indica un cambio en el mecanismo.

### 2.1.5.1 Vibraciones simples

La vibración simple se considera la base principal de señal de vibración y se las puede identificar las ondas sinusoidales se consideran las más simples y su oscilación siendo pura puede representarse en el espectro de vibraciones.

Al hablar de la frecuencia medida por el espectro de vibraciones identifica el tiempo que tarda la masa en volver a su posición inicial, por otro lado, la amplitud se consideran la cantidad de movimientos que puede tener una masa desde una posición neutro, tomando en cuenta que dependiendo la intensidad de la vibración se considerara la magnitud de la misma. La amplitud se puede medir de diversas formas.

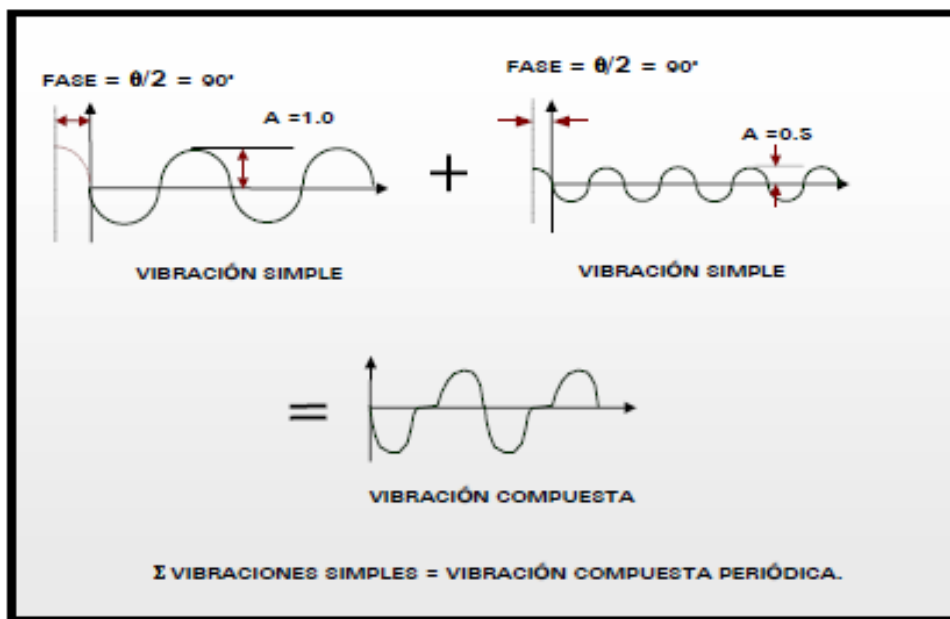


**Figura 9-2:** Espectro de vibraciones  
**Fuente:** (A-MAQ, 2014)

En el grafico 2.11 se observa una vibración simple considerando el Angulo de fase, la amplitud de la onda y tiempo expresado en el periodo de cada onda.

### 2.1.5.2 Vibraciones compuestas

En la mayoría de casos la suma de varias vibraciones simples forma la vibración compuesta, de esta manera, una maquina sufre este tipo de vibraciones cuando está compuesta por varias vibraciones simples asociados a sus componentes internos, tomando en cuenta que la onda de vibración de una maquina no es una señal sinusoidal pudiendo esta llegar a ser muy compleja y no tener control.



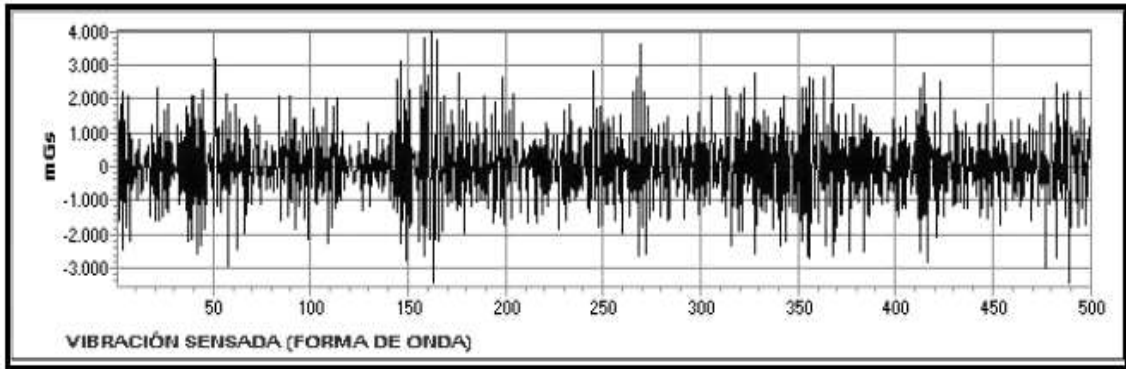
**Figura 10-2:** Vibración compuesta

**Fuente:** (A-MAQ, 2014)

De esta manera en la figura 2.12 se muestra dos tipos de vibraciones de diferente frecuencia estas forman una vibración compuesta, en la mayoría de los casos las señales de vibración son mucho más complejas además de ser difícil de interpretar sus análisis.

### 2.1.5.3 Vibración Aleatoria y golpeteos intermitentes

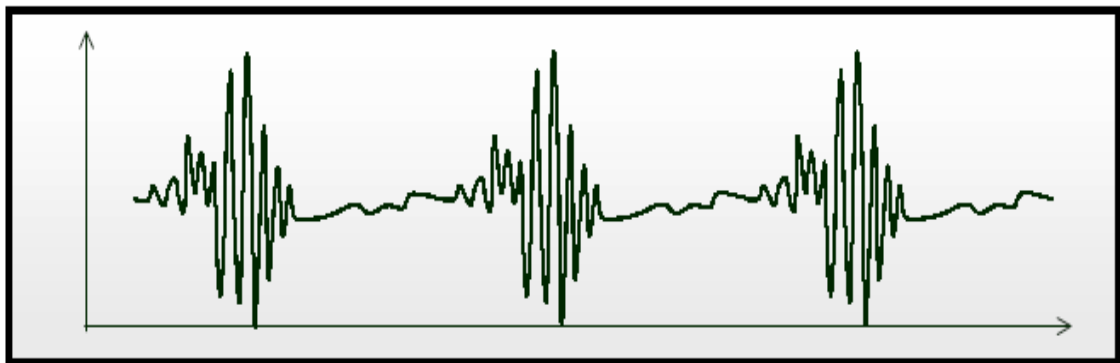
En la mayoría de casos la vibración aleatoria no cumple con parámetros específicos que se repiten constantemente o es demasiado difícil detectar donde comienza un ciclo y donde termina. Estas vibraciones están asociadas generalmente turbulencia en bombas, a problemas de lubricación y contacto metal-metal en elementos rodantes o a cavitación en bombas (A-MAQ, 2014).



**Figura 11-2:** Espectro de vibraciones

**Fuente:** (A-MAQ, 2014)

En la figura 2.13 se interpreta en el espectro más no en la onda en el tiempo. Los golpeteos intermitentes están asociados a golpes continuos que crean una señal repetitiva. Estas se encuentran más comúnmente en los engranajes de una máquina, en el paso de las aspas de un impulsor o ventilador. Este tipo de señales tiende a morir debido a la amortiguación del medio. En la figura 2.14 se muestra claramente este fenómeno: un golpe intermitente que se amortigua con el medio.



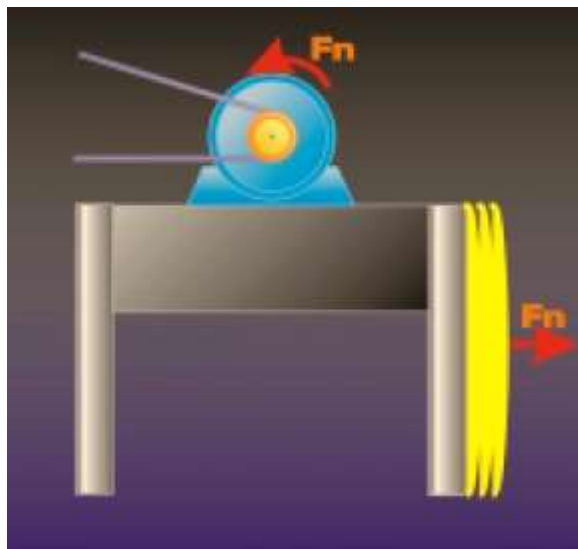
**Figura 12-2:** Espectro de vibraciones con golpes

**Fuente:** (A-MAQ, 2014)

#### 2.1.5.4 Frecuencia Natural y resonancias

Generalmente la frecuencia natural depende de las características estructurales de la máquina, considerándose a más de la masa, rigidez y amortiguación, los soportes y tuberías. Particularmente, no depende de la operación de la máquina.

Haciendo una relación, al ser la frecuencia natural excitada por un agente externo, la amplitud de vibración de la máquina se aumentará enormemente causando perjuicios en las maquinas, a esto se le llama resonancia. Una vez que se ha detectado la resonancia es conveniente identificar el agente externo que la está produciendo e inmediatamente debe aislarse estructuralmente o cambiar su velocidad de operación.



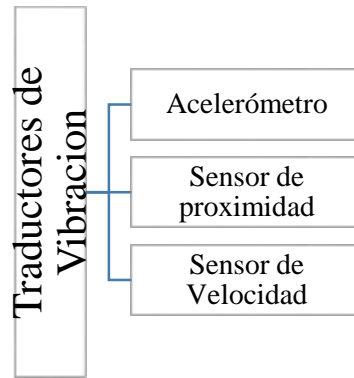
**Figura 13-2:** Giro de un motor a frecuencia natural  
**Fuente:** (A-MAQ, 2014)

La figura 2.15 se muestra un motor que gira a una velocidad igual a la frecuencia natural de su estructura de soporte. Lo que hace que se incrementen los niveles de vibración de la máquina considerablemente.

### **2.1.6 Traductores de vibración**

A medida que pasa el tiempo se han desarrollado varios traductores de vibraciones, uno de los primeros se considera el dedo del ser humano. Es así que el traductor de vibraciones es un aparato que genera señal eléctrica que es una réplica del movimiento vibratorio al cual está sujeto. Analizando los diversos traductores de vibración se han determinado que cada uno está diseñado para medir parámetros diferentes, como se muestra en el siguiente Grafico;

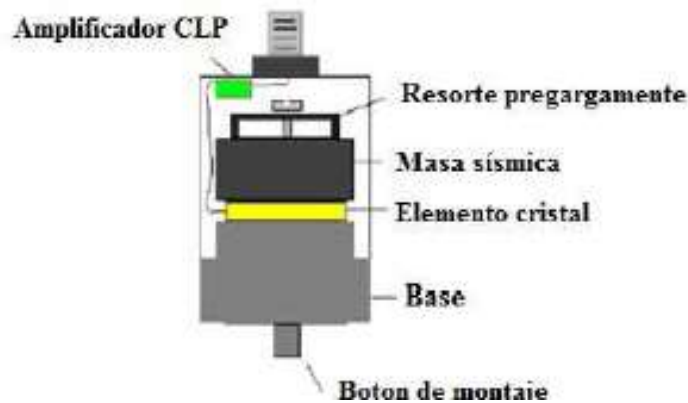




**Figura 14-2:** Giro de un motor a frecuencia natural  
**Fuente:** (A-MAQ, 2014)

### 2.1.6.1 Acelerómetro

Un traductor estándar es el acelerómetro piezoeléctrico, este sirve para medir las vibraciones de las maquinas. El procedimiento es de tipo de compresión para describir de alguna manera cuando comienza una operación, dependiendo del material se debe mantener la temperatura, para determinar si el traductor esta defectuoso, se debe identificar el incremento de la temperatura de un material piezoeléctrico, y si se pierde la propiedad piezoeléctrica el traductor no se puede reparar.



**Figura 15-2:** Acelerómetro piezoeléctrico  
**Fuente:** (A-MAQ, 2014)

En la figura 2.17, se puede identificar el acelerómetro piezoeléctrico el mismo que permite medir las vibraciones de las maquinas, considerándose un traductor estándar; cuando el acelerómetro se mueve de arriba abajo, para mover la masa sísmica esta soportado por el elemento activo. Para este caso se aplica la segunda ley de Newton, donde nos dice que la fuerza es proporcional a la aceleración de la masa. Generalmente,



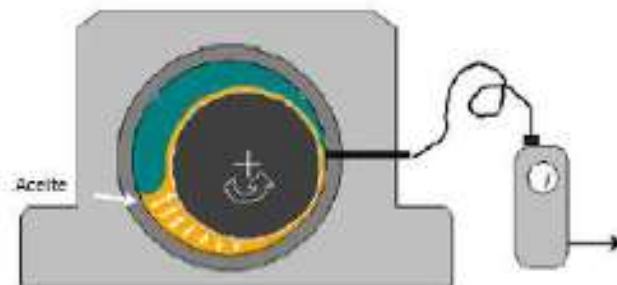
los acelerómetros son tipo lineal en cuanto a la amplitud lo que demuestra un rango dinámico muy largo.

El rango de los niveles de aceleración suele estar en rajes de amplitud alrededor de 10 lo que significa 160 dB. Las frecuencias básicamente están dadas en rangos muy anchos que pueden ir desde frecuencias muy bajas hasta muy altas. La frecuencia alta puede darse por la resonancia de la masa sísmica normalmente de 30 KHz., Básicamente, una regla general es que un acelerómetro se puede usar alrededor de 1/3 de su frecuencia natural.

#### 2.1.6.2 *Sensor de proximidad*

Comercialmente se conoce como Proximiler, también llamado como sensor de corriente de remolino o traductor de desplazamientos, se considera una unidad de montaje permanente y necesita un amplificador que acoge la señal para generar un voltaje de salida de manera proporcional a la distancia entre la flecha y el traductor, las actividades que desarrolla están basadas en un principio magnético, es por ello que se es sensible a las anomalías magnéticas de la flecha, tomando en consideración que no se debe dejar magnetizar la flecha para que no sea contaminada la señal de salida.

El traductor de proximidad mide cada desplazamiento relativo generado en el rodamiento y el gorrón, pero no mide el nivel de vibración total de la flecha, es muy útil en grandes maquinas con rodamientos con ejes, el mismo que se usa para determinar fallas en los rodamientos y para apagar la maquina antes que curra una falla de mayor magnitud.

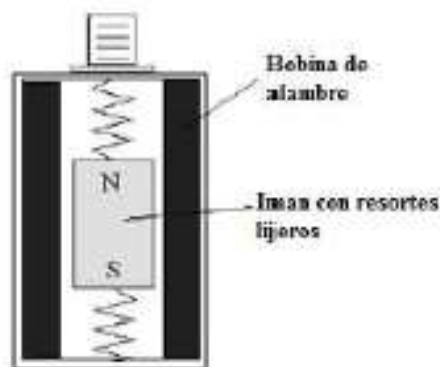


**Figura 16-2:** Traductor de proximidad  
**Fuente:** (A-MAQ, 2014)

En la figura 2.18 se muestra el traductor de proximidad, se puede conectar a los platos horizontales y verticales separados por una diferencia de 90 grados. La frecuencia que muestra el traductor de desplazamiento puede darse desde 0 Hz a 100 Hz.

### 2.1.6.3 *Sensor de velocidad*

La mayoría de los sensores de velocidad tienen fuera del imán estacionario una bobina móvil. Utilizan un mismo principio de operación, consiste en un acelerómetro incluido un integrador electrónico, llamándose a este velo metro. Al largo de la historia se observa que el sensor de velocidad fue uno de los primeros traductores de vibraciones, es un equipo que tiene una bobina de alambre y un imán colocados de tal manera moviendo el Carter, el imán permanece inmóvil por su inercia.



**Figura 17-2:** Traductor de velocidad  
**Fuente:** (A-MAQ, 2014)

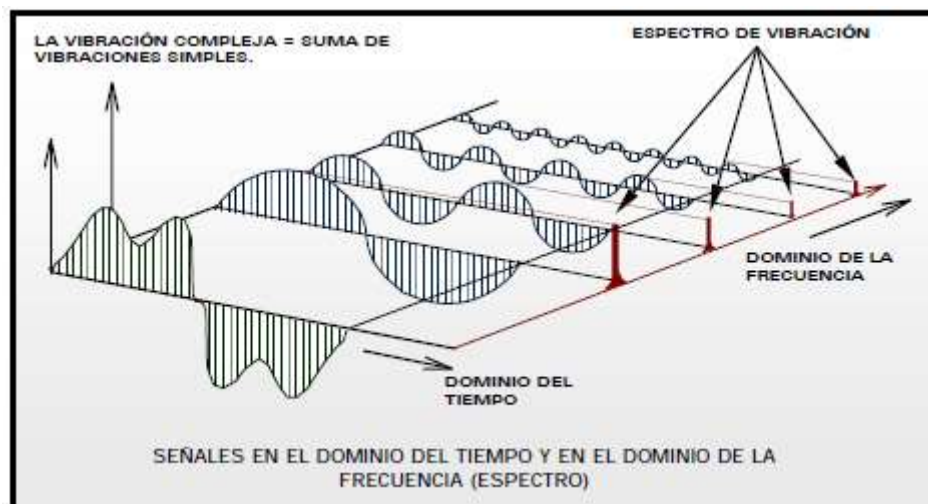
En la figura 2.19 se muestra el movimiento relativo entre el campo magnético y la bobina proporciona corriente a la velocidad del movimiento, para de esta manera la unidad produzca la señal de la vibración del movimiento.

El traductor de velocidad, al igual que ventajas tiene algunas desventajas que le vuelven obsoletos para la instalación de nueva, la resonancia debe ser amortiguada, para evitar un pico en la respuesta a esta frecuencia, considerando que un problema suele ser que la amortiguación es sensible a la temperatura, eso conlleva a que la respuesta de la frecuencia y la respuesta de la fase dependa de la temperatura.

### 2.1.7 Transformada de Fourier

La transformada de Fourier se considera una técnica para calcular por medio de un computador la frecuencia de las series que conforman la onda en el dominio del tiempo. Se ha analizado vibraciones en el dominio del tiempo, que son señales que se muestra directamente de la máquina, y están identificadas como información sobre el comportamiento de los componentes de una máquina.

Por otro lado, se observan otras maneras para realizar un estudio a las vibraciones, entre las cuales se encuentra mirar esta señal en el dominio de la frecuencia.



**Figura 18-2:** Espectro  
**Fuente:** (A-MAQ, 2014)

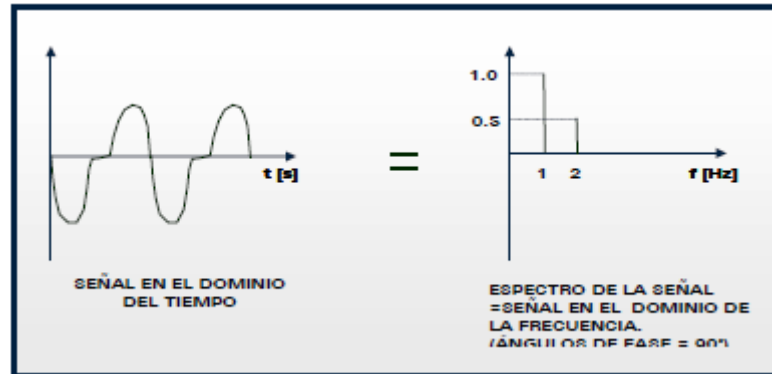
Generalmente cuando se relaciona la amplitud con la Frecuencia se observa un espectro. Detallado en la figura 2.20, Además, se considera una herramienta muy útil existente actualmente para el análisis de maquinaria.

Quien encontró la forma de representar una señal en el dominio del tiempo fue el matemático francés Jean Baptiste Fourier (1768 – 1830) mediante series de curvas sinusoidales con valores de amplitud y frecuencia concretos.

El detalle que realiza un analizador de espectros que trabaja con la transformada rápida de Fourier es capturar una señal desde una máquina, después calcula todas las series de

señales sinusoidales que contiene la señal compleja y finalmente las muestra en forma individual en el eje X de la frecuencia.

En la figura 2.21 muestra una señal en el dominio del tiempo y su correspondiente en el dominio de la frecuencia.



**Figura 19-2:** Espectro  
**Fuente:** (A-MAQ, 2014)

En el conjunto de categorías clasificadas se presentarán los espectros característicos de las fallas más comunes.

### 2.1.8 Rangos de vibraciones

Al conocer los niveles de vibración se podrá determinar la intensidad de la misma, debido a que esta permite comparar datos encontrados en el monitoreo al momento de medir y se hace la idea de cómo se encuentran los diferentes activos.

#### 2.1.8.1 Normas para la evaluación y medición de niveles de vibraciones

En el ámbito de las vibraciones existen normas importantes cuando se determina parámetros, propiedades y características al momento de realizar la medición, conllevando un proceso determinado para controlar y posteriormente diagnosticarlo. Para ello es necesario realizar la clasificación de la severidad, la variable del movimiento al momento del desplazamiento, la velocidad o la aceleración, cabe recalcar que depende del tipo de norma de aplicación y del rango de frecuencia a analizar. Considerando estos aspectos se analizará la tabla de Charlotte y la Norma ISO 10816-3.

### 2.1.8.1.1 Tabla de Charlotte

La tabla de Charlotte fue diseñada por la Asociación Técnica Charlotte, esta tabla sirve para comparar o relacionar el estado actual de los equipos estudiados mediante el análisis de vibraciones, considerando aspectos como: la velocidad de rotación comprendida entre 600 a 60000 rpm, cuyas mediciones sean realizadas con acelerómetros, o sensores de velocidad.

**Tabla 1-2:** Tabla de Charlotte

Tipo de maquina especifica	Bueno	Regular	Alarma 1	Alarma 2
<b>TRANSMISIONES DE TORRE DE ENFRIAMIENTO</b>				
Flecha larga y hueca	0-6.75	6.75-10.8	10.8	16.20
Acoplamiento de bandas	0-4.95	4.95-7.65	7.65	11.70
Acopladas directamente	0-3.60	3.60-5.40	5.40	8.10
<b>COMPRESORES</b>				
Reciprocantes	0-5.85	5.85-9	9	13.5
Tipo tornillo	0-5.40	5.40-8.10	8.10	11.70
Centrifuga con o sin caja de engranaje externa	0-3.60	3.60-5.40	5.40	8.10
Centrifuga engranaje integral axial	0-3.60	3.60-5.40	5.40	8.10
Centrifuga engranaje integral radial	0-2.70	2.70-4.50	4.50	6.75
<b>SOPLADORES (VENTILADORES)</b>				
Giratorio	0-5.40	5.40-8.10	8.10	12.15
Accionado por bandas	0-4.95	4.95-7.65	7.65	11.70
Ventiladores generales de transmisión directa	0-4.50	4.50-6.75	6.75	9.90
Ventiladores de aire primario	0-4.50	4.50-6.75	6.75	9.90
Ventiladores de tiro forzad grandes	0-3.60	3.60-5.40	5.40	8.10
Ventiladores de tiro inducido, grandes	0-3.15	3.15-4.95	4.95	7.20
Ventilador integral montado en el eje	0-3.15	3.15-4.95	4.95	7.20
Ventilador axial con aletas guías	0-2.70	2.70-4.50	4.50	6.75
<b>GRUPO MOTOR GENERADOR</b>				
Impulsados por bandas	0-4.95	4.95-7.65	7.65	12.15
De acoplamiento directo	0-4.95	3.60-5.40	5.40	8.10
<b>ENFRIADORES (CHILLERS)</b>				
Reciprocantes (movimiento alternativo)	0-4.50	4.50-7.20	7.20	10.80
Centrifugo abierto (al aire libre)	0-3.60	3.60-5.40	5.40	8.10
Centrifugo cerrado (hermético)	0-2.70	2.70-4.05	4.05	6.30
<b>TURBOGENERADORES GRANDES</b>				

Turbogenerador de 3600 rpm	0-3.15	3.15-4.95	4.95	7.20
Turbogenerador de 1800 rpm	0-2.70	2.70-4.05	4.05	6.30
<b>BOMBAS CENTRIFUGAS</b>				
Bombas verticales (300 mm-500mm de altura)	0-5.85	5.85-9	9.00	13.50
Bombas verticales (200 mm-300mm de altura)	0-4.95	4.95-7.65	7.65	11.70
Bombas verticales (130 mm-200mm de altura)	0-4.05	4.05-6.30	6.30	9.45
Bombas verticales (0 mm-130mm de altura)	0-3.60	3.60-5.40	5.40	8.10
Bomba Horizontal de uso General de acop. Directo	0-3.60	3.60-5.40	5.40	8.10
Bomba de alimentación para calderas	0-3.60	3.60-5.40	5.40	8.10
Bombas hidráulicas	0-2.25	2.25-3.60	3.60	5.40
<b>MAQUINAS HERRAMIENTAS</b>				
Motor	0-1.17	1.17-1.80	1.80	2.70
Entrada de la caja de engranaje	0-1.80	1.80-2.70	2.70	4.05
Salida de la caja de engranaje	0-1.17	1.17-1.80	1.80	2.70
Husillos- operaciones de desbastamiento	0-0.72	0.72-1.17	1.17	1.80
Husillos- acabado	0-0.45	0.45-0.72	0.72	1.17
Husillos- maquinado critico	0-0.27	0.27-0.45	0.45	0.72

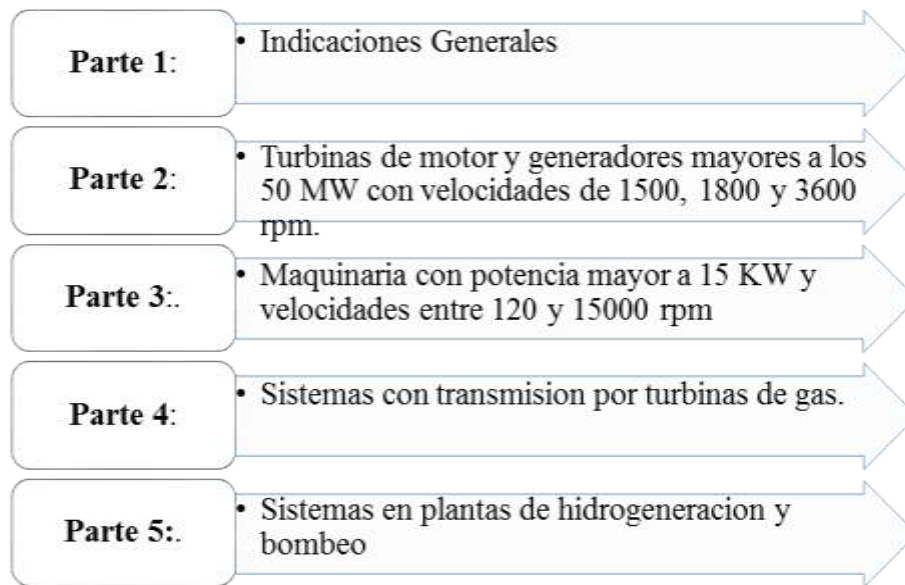
**Fuente:** Asociación Técnica Charlotte

De acuerdo a la tabla que antecede se aplica para maquinas que no estén montadas en aisladores de vibración. Las alarmas 1 y 2 de los niveles globales solo se aplican en máquinas de servicio las cuales son operadas desde algún tiempo después de su instalación inicial o reparación. No se aplican en máquinas reconstruidas.

#### **2.1.8.1.2 Norma ISO 10816-3**

La Norma ISO 10816-3 permite evaluar las vibraciones en una maquina por medio de medidas en partes no rotativas, a través de procedimientos y condiciones como son: monitorización operacional y pruebas para garantizar un adecuado funcionamiento de la máquina.

La Norma está dada en 5 partes;



**Figura 20-2:** Partes de la Norma ISO 10816-3

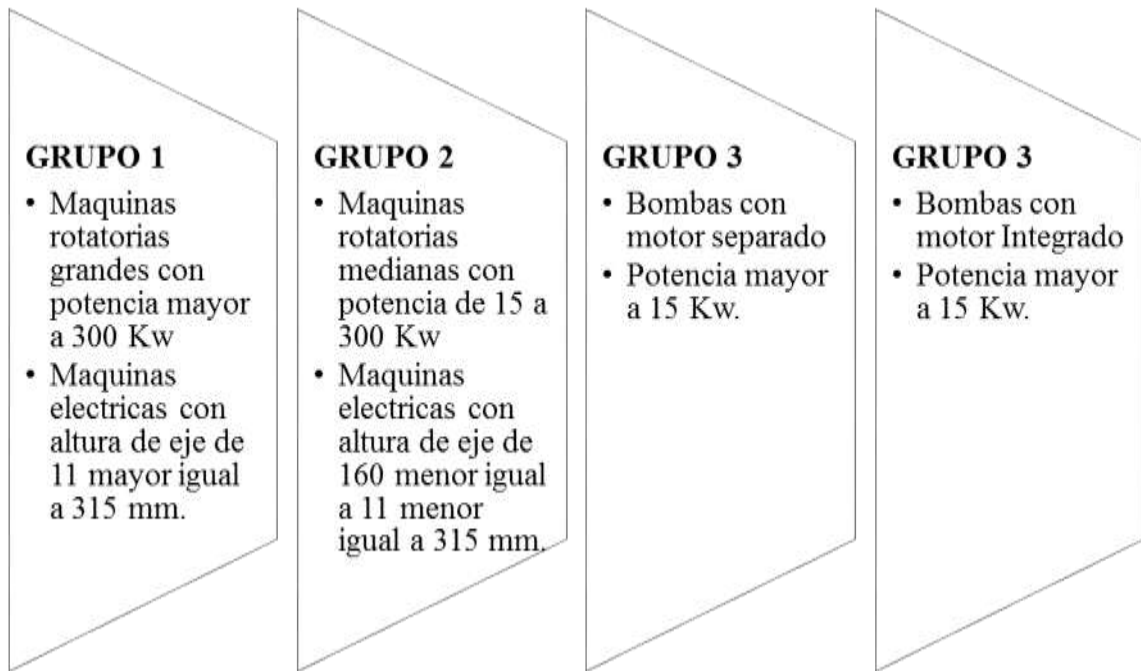
**Fuente:** (A-MAQ, 2014)

Las mediciones se deben realizar en temperaturas de trabajo, considerando condiciones normales de velocidad, flujo, precisión y voltaje. Además, se debe tomar en cuenta si las vibraciones exceden a los criterios permitidos, la medición se realiza con la maquina en estado de reposo para determinar la influencia de mediciones externas, debido a que si la maquina pasa el 25% de vibración en la máquina de operación, inmediatamente se realizan correcciones.

Clasificación de la severidad: se clasifica de acuerdo al tipo de máquina, potencia o altura del eje y flexibilidad del soporte.

- Tipo de máquina, potencia o altura del eje

Para esta clasificación se considera los diversos diseños de máquinas, los mismos que hacen que se divida en los siguientes Grupos



**Figura 21-2:** Clasificación de acuerdo al tipo de máquina, potencia o altura del eje

**Fuente:** (A-MAQ, 2014)

- Flexibilidad del soporte

De acuerdo a la norma menciona que para esta clasificación se debe identificar dos tipos de máquinas, las flexibles y las rígidas, como se detalla a continuación:

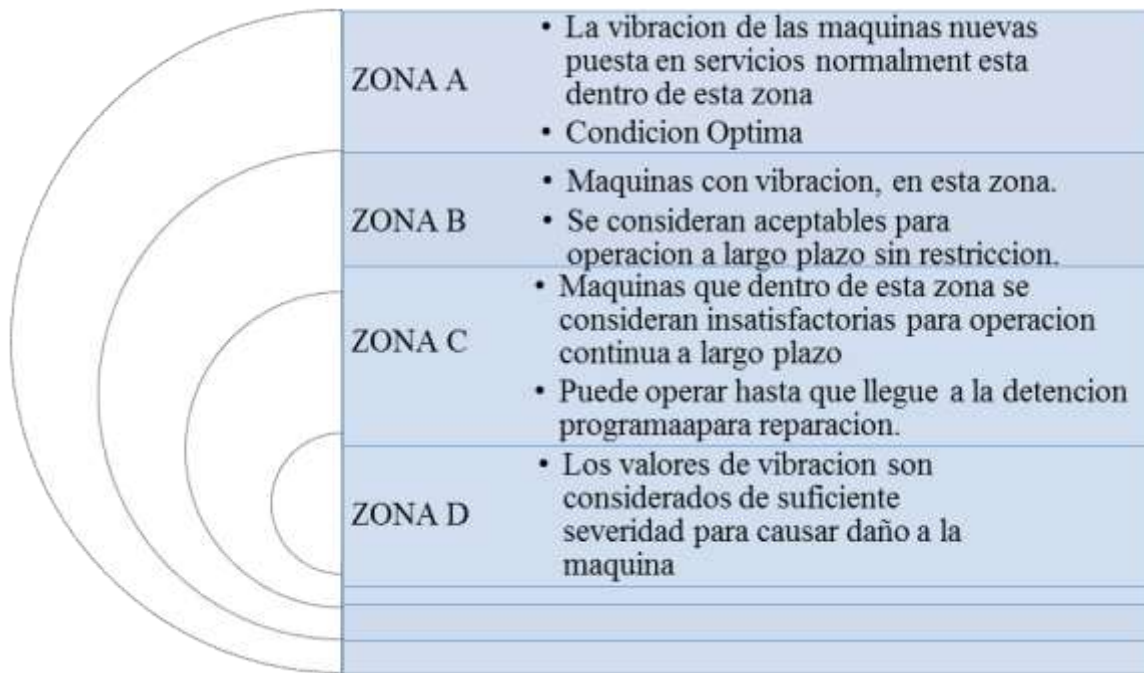
Maquinas flexibles	Maquinas Rígidias
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mantiene frecuencia natural del sistema de masa de soporte en direccion de la medicion.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• La frecuencia natural sea mayor que la principal de excitacion en un 25%.</li> </ul>

**Figura 22-2:** Clasificación de las maquinas

**Fuente:** (A-MAQ, 2014)

Además, se identifica que de acuerdo a la flexibilidad del soporte se clasifica en cuatro zonas donde pueden operar las máquinas y sus líneas de acción, como se muestra a continuación:





**Figura 23-2:** Clasificación de acuerdo a la flexibilidad del soporte  
**Fuente:** (A-MAQ, 2014)

A continuación, se muestra una tabla para vibraciones de desplazamiento que menciona la Norma 10 816.3, la misma que muestra parámetros:

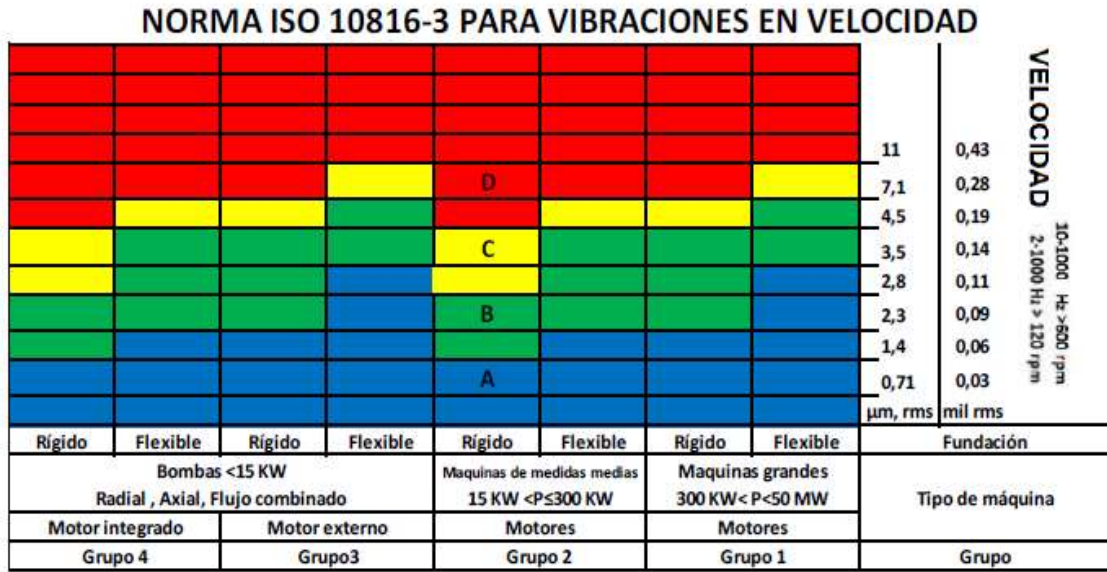
**NORMA ISO 10816-3 PARA VIBRACIONES EN DESPLAZAMIENTO**

								140	5,51	DESPLAZAMIENTO 2-1000 Hz > 120 rpm 10-1000 Hz > 600 rpm
								113	4,45	
								90	3,54	
								71	2,80	
								56	2,20	
								45	1,77	
								36	1,42	
								28	1,1	
								22	0,87	
								18	0,71	
								11	0,43	
								μm, rms mil rms		
Rígido	Flexible	Rígido	Flexible	Rígido	Flexible	Rígido	Flexible	Fundación		
Bombas <15 KW Radial , Axial, Flujo combinado				Maquinas de medidas medias 15 KW <P≤300 KW		Maquinas grandes 300 KW < P<50 MW		Tipo de máquina		
Motor integrado		Motor externo		Motores 180mm≤P<315mm		Motores 315mm≤H				
Grupo 4		Grupo3		Grupo 2		Grupo 1		Grupo		

- A** Condición de maquina nueva
- B** Operación aceptable largo plazo
- C** Operacion aceptable a corto plazo
- D** Vibracion causante de daño

**Figura 24-2:** Vibraciones de desplazamiento  
**Fuente:** Norma ISO 10816-3- Vibraciones mecánicas

De la misma manera la Norma muestra vibraciones de velocidad, considerando ciertos parámetros como el tipo de máquina, y de acuerdo a los grupos que establece



**A** Condición de maquina nueva

**C** Maquinas consideradas insatisfactorias pueden ser usadas e un tiempos limitado

**B** Máquinas consideradas aceptables pueden

**D** Vibraciones peligrosas pueden ocasionar

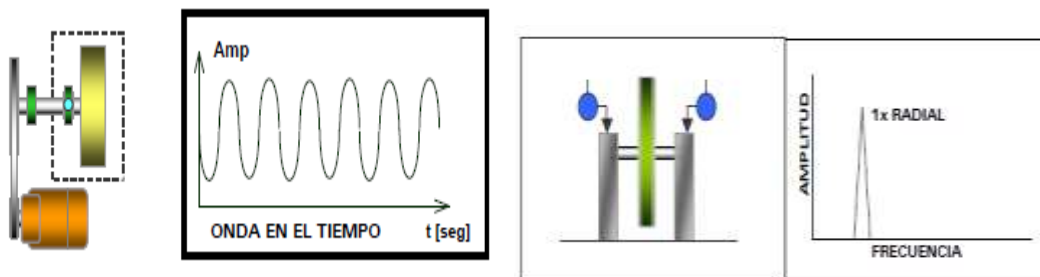
**Figura 25-2:** Vibraciones de velocidad

**Fuente:** Norma ISO 10816-3- Vibraciones mecánicas

### 2.1.9 Fallas comunes de equipos rotatorios

Las fallas que sufren las maquinas son casi repetitivas, a continuación, se detallan cada falla expresada en una maquina:

- Desbalanceo



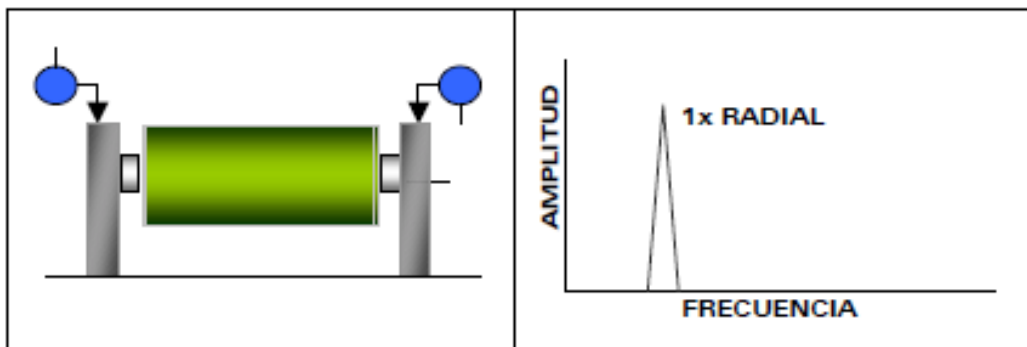
**Figura 26-2:** Desbalanceo estático

**Fuente:** (A-MAQ, 2014)

El desbalanceo puede ser estático o dinámico. En el grafico anterior se puede observar un desbalanceo estático. Este es producido generalmente por desgaste radial superficial no

uniforme en rotores en los cuales su largo es despreciable en comparación con su diámetro. El espectro presenta vibración dominante con una frecuencia igual a 1 X RPS del rotor.

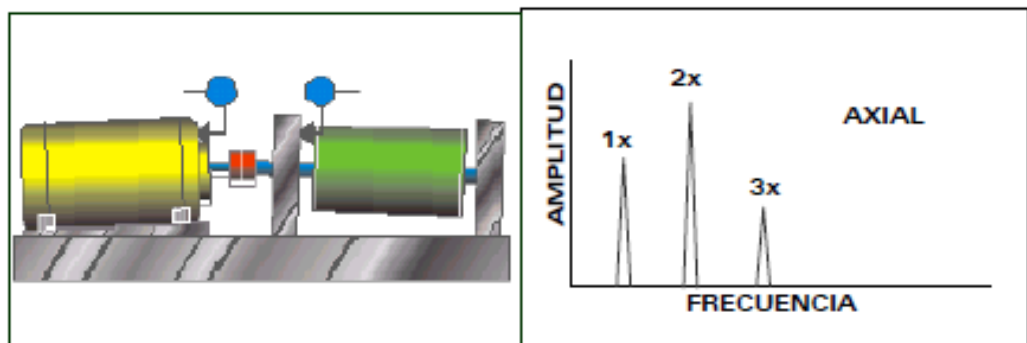
Mientras que el desbalanceo dinámico se produce en rotores medianos y largos. Es debido principalmente a desgastes radiales y axiales simultáneos en la superficie del rotor. El espectro presenta vibración dominante y vaivén simultáneo a frecuencia igual a 1 X RPS del rotor. A continuación, se muestra un desbalanceo dinámico:



**Figura 27-2:** Desbalanceo dinámico  
**Fuente:** (A-MAQ, 2014)

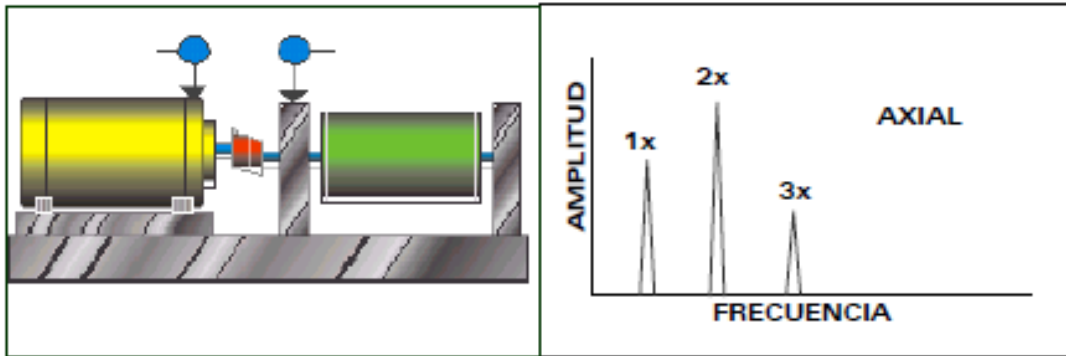
- Desalineación

Puede ser angular o paralela como se describe a continuación:



**Figura 28-2:** Desalineación angular  
**Fuente:** (A-MAQ, 2014)

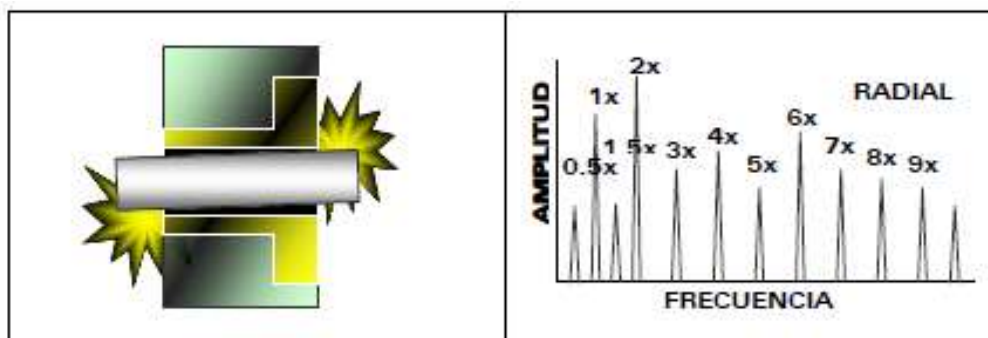
La desalineación angular como se observa en la figura sucede cuando el eje del motor y el eje conducido unidos en el acople, no son paralelos.



**Figura 29-2:** Desalineación paralela  
**Fuente:** (A-MAQ, 2014)

La desalineación paralela sucede cuando los ejes del motor y del rotor conducido están paralelos, pero no son colineales.

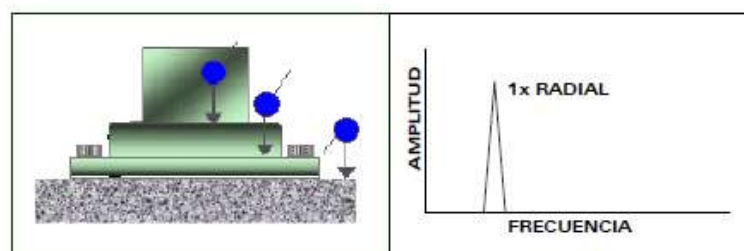
- Holgura mecánica de eje angular:



**Figura 30-2:** Holgura mecánica  
**Fuente:** (A-MAQ, 2014)

En el grafico 2.32 se puede observar un aflojamiento de manguitos, tolerancias de manufactura inadecuadas (con juego), y holgura entre el impulsor y su eje en bombas. Lo que causa un truncamiento en la forma de onda en el dominio del tiempo.

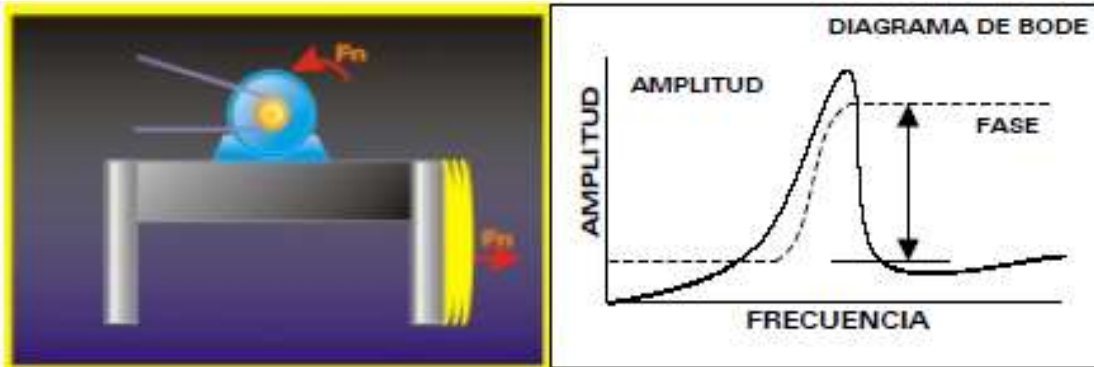
- Sutura estructural



**Figura 31-2:** Sutura estructural  
**Fuente:** (A-MAQ, 2014)

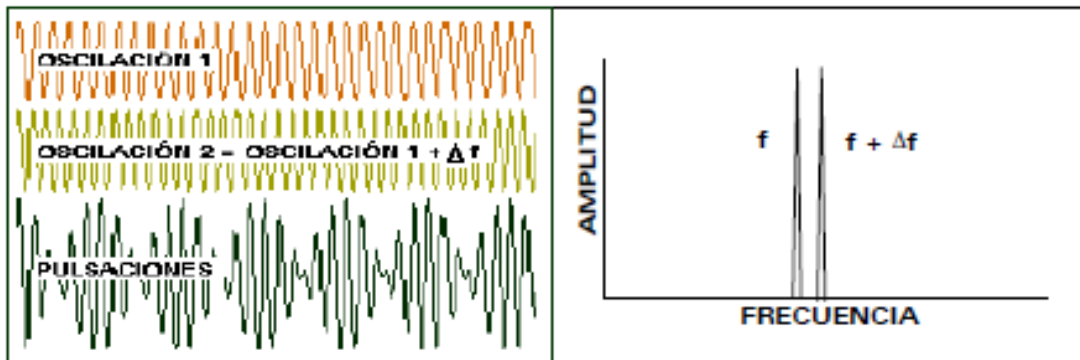
Básicamente, una sutura estructural se observa en la figura 2.33, y se considera un ablandamiento o desplazamiento del pie de la máquina, por holgura en los pernos de la base o por deterioro de los componentes de la sujeción.

- Resonancia y Pulsaciones



**Figura 32-2:** Resonancia  
Fuente: (A-MAQ, 2014)

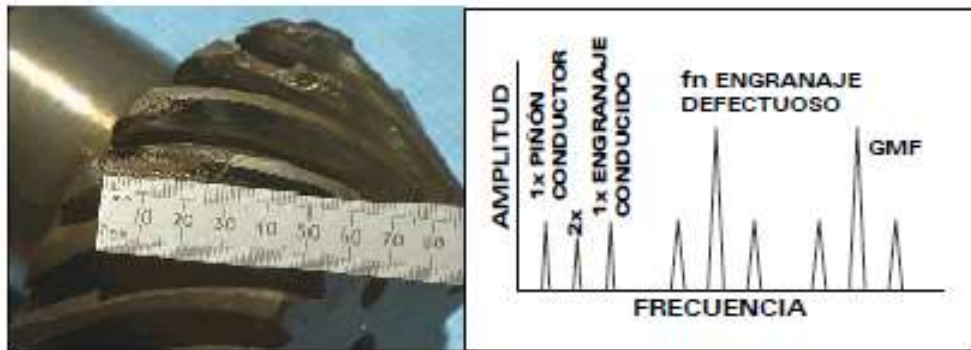
La resonancia se puede observar en la figura 2.34 y se produce cuando la velocidad de una fuerza conducida iguala la frecuencia natural de una estructura o una parte de ella.



**Figura 33-2:** Pulsaciones  
Fuente: (A-MAQ, 2014)

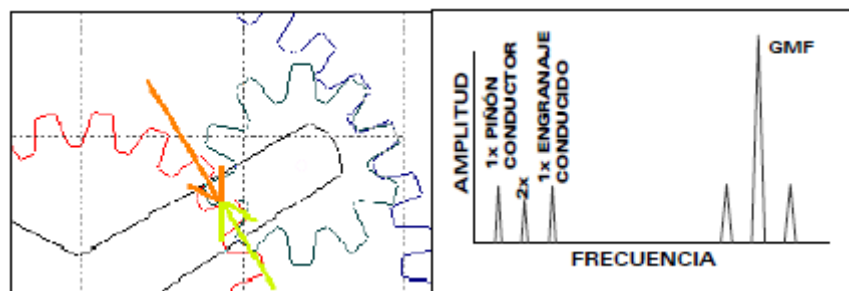
Las pulsaciones se producen cuando una fuente de vibración interfiere con otra. Generalmente se produce por dos máquinas cercanas que trabajan casi a la misma velocidad.

- Fallas en los engranajes



**Figura 34-2:** Desgaste del diente  
**Fuente:** (A-MAQ, 2014)

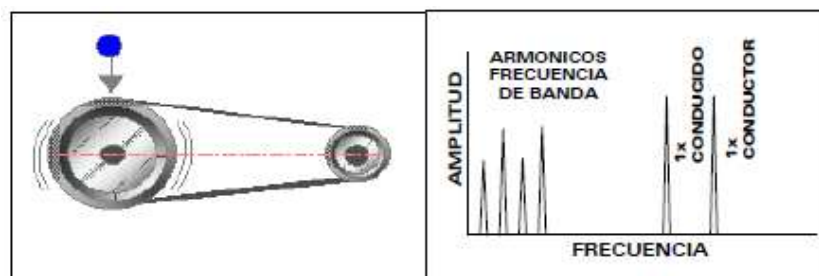
El desgaste en diente se produce cuando la operación más allá del tiempo de vida del engranaje, contaminación de la grasa lubricante, elementos extraños circulando en la caja del engrane o montaje erróneo.



**Figura 35-2:** Sobrecarga del engranaje  
**Fuente:** (A-MAQ, 2014)

En la figura anterior se puede observar una sobrecarga en los dientes y ellos están recibiendo sobrecarga continúa.

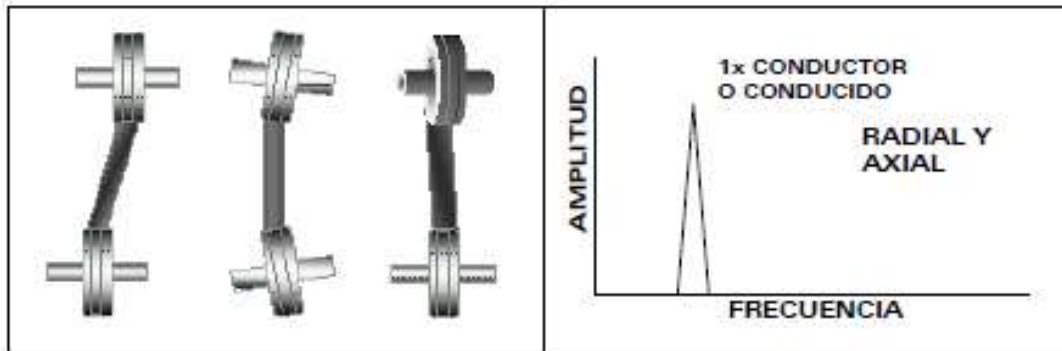
- Bandas



**Figura 36-2:** Distinción de bodas  
**Fuente:** (A-MAQ, 2014)



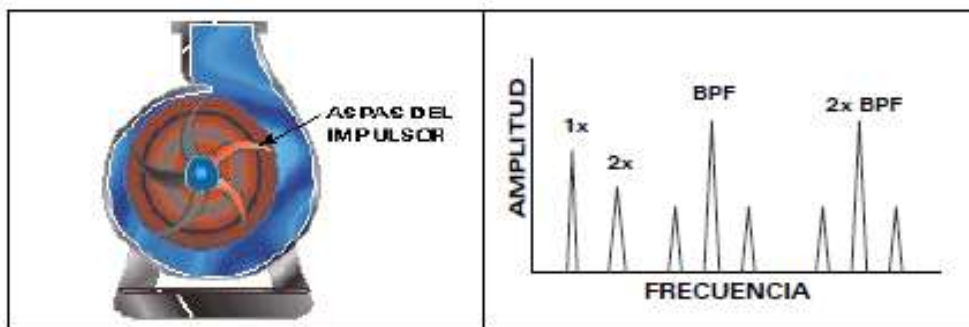
La distinción de bandas es producida por sobrepaso de la vida útil de la banda, o por desgaste excesivo de la misma.



**Figura 37-2:** Desalineación de poleas  
**Fuente:** (A-MAQ, 2014)

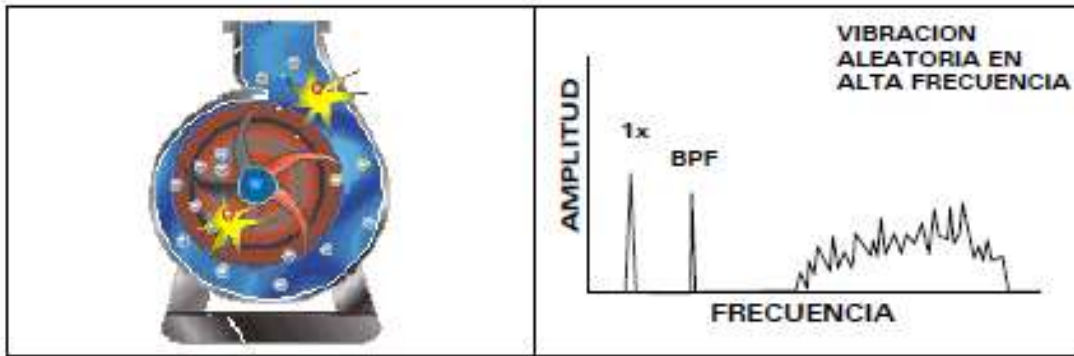
La desalineación de poleas como se observa en la figura 2. 39 se produce porque los ejes de las poleas no están alineados o porque las poleas no están paralelas. También pueden ocurrir ambos casos simultáneamente.

- Flujo de líquidos



**Figura 38-2:** Frecuencia de aspas  
**Fuente:** (A-MAQ, 2014)

La frecuencia de aspas es la frecuencia a la cual cada aspa pasa por un punto de la carcasa y se produce por obstrucciones, cambios abruptos de direcciones o desgastes de juntas. En estos sistemas no muy convencionales en motores de combustión interna, en más utilizado en la industria

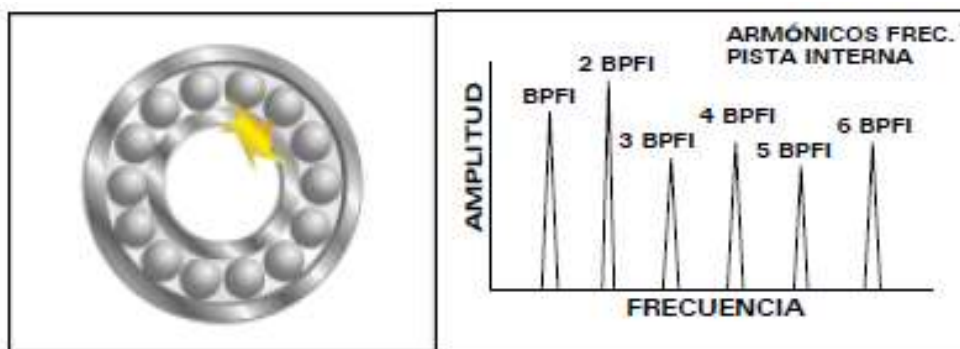


**Figura 39-2:** Cavitación

**Fuente:** (A-MAQ, 2014)

La cavitación es la entrada de aire o vaporización de un fluido dentro de la bomba. Se produce cuando la presión de fluido es menor que la presión de vapor a esta temperatura. La cavitación puede llegar a causar erosión a las partes internas de la bomba.

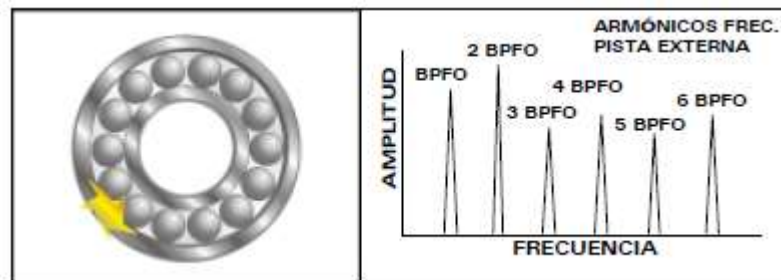
- Fallas en los rodamientos



**Figura 40-2:** Fallas en la pista interna

**Fuente:** (A-MAQ, 2014)

Las fallas en la pista interna se muestran en la figura 2.42 y se considera un agrietamiento o desastilla miento del material en la pista interna, puede ser producido por errores de ensamble, esfuerzos anormales, corrosión, partículas externas o lubricación deficiente.

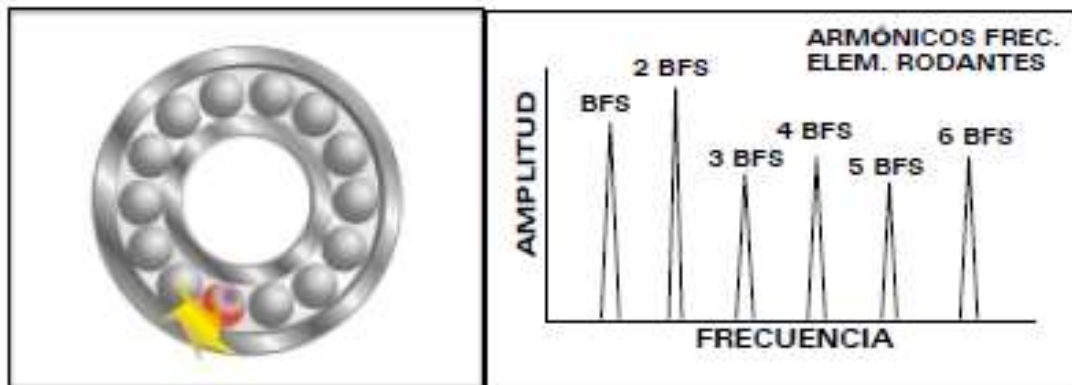


**Figura 41-2:** Fallas en la pista externa

**Fuente:** (A-MAQ, 2014)



Las fallas en la pista interna se muestran en la figura 2.43 y se considera un agrietamiento o desastillamiento del material en la pista externa, producido por errores de ensamble, esfuerzos anormales, corrosión, partículas externas o lubricación deficiente.



**Figura 42-2:** Fallas en elementos rodantes

**Fuente:** (A-MAQ, 2014)

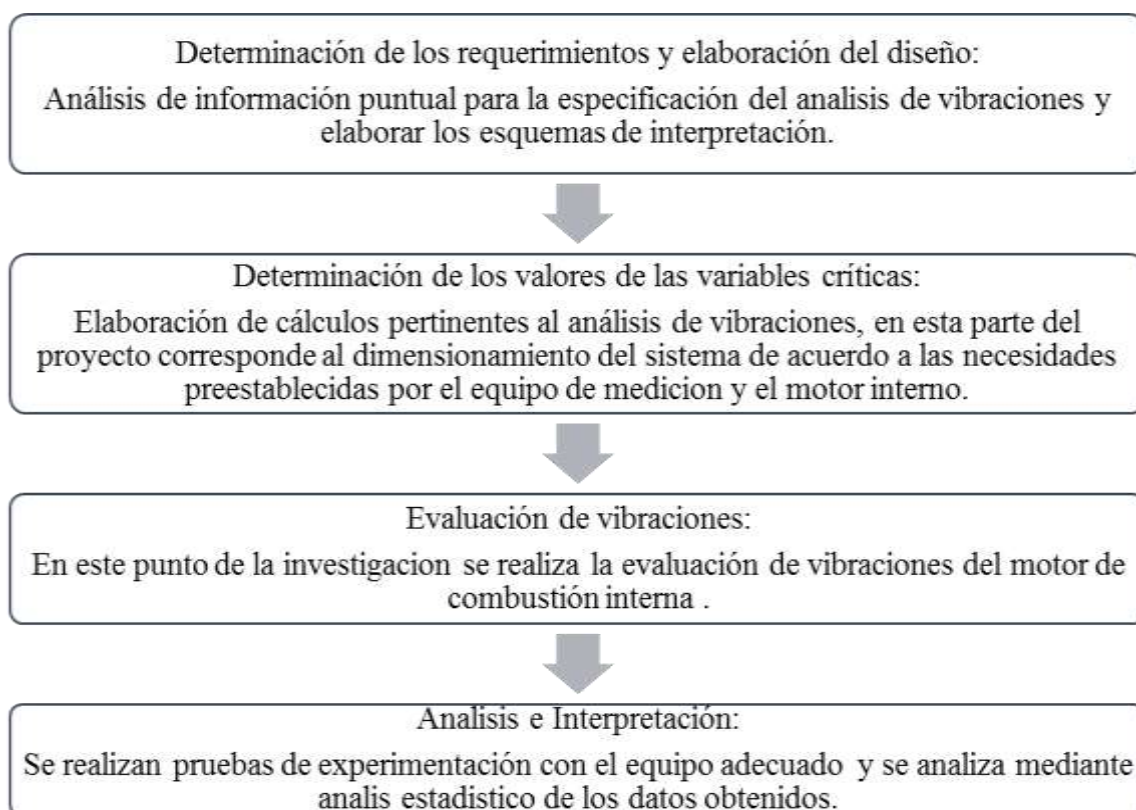
Las fallas en elementos rodantes resultan de un agrietamiento o desastillamiento del material en los elementos rodantes, producido por errores de ensamble, esfuerzos anormales, corrosión, partículas externas o lubricación deficiente.

## CAPÍTULO III

### 3 DISEÑO Y EXPERIMENTACIÓN

#### 3.1 Esquema investigativo

La metodología que se implementa en el desarrollo del proyecto investigativo es netamente experimental y se determina por cuatro aspectos:



**Figura 1-3:** Metodología de la investigación

**Fuente:** (HERNÁNDEZ, 2010)

#### 3.2 Enfoque de la investigación

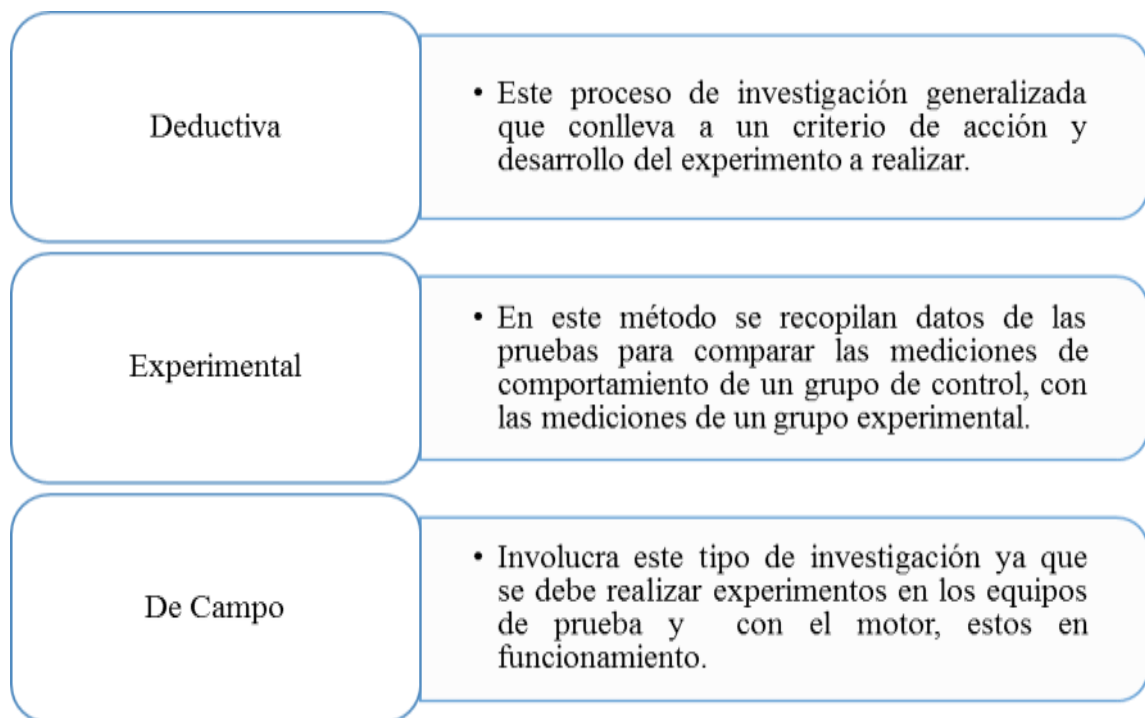
El enfoque investigativo de este estudio es cuantitativo debido a que se basará en métodos relativos para el cálculo experimental con parámetros específicos para el estudio de vibraciones y posteriormente realizando análisis deductivo para identificar si resultado tiene interacción entre las variables de estudio en los aspectos de mantenimiento preventivo, mismos que orientan a la verificación del nivel de validez y confiabilidad del presente estudio.

### 3.3 Alcance de la investigación

El presente estudio presenta un alcance correlacional debido a que la investigación busca establecer la relación entre el mantenimiento predictivo en motores de combustión interna, y la relación de las vibraciones o las alteraciones presentadas que afectan al motor.

### 3.4 Tipo de investigación

El tipo de investigación que se en el trabajo investigativo se resumen a continuación:



**Figura 2-3:** Métodos de investigación

**Fuente:** (ÁLVAREZ, 2012)

### 3.5 Procesamiento y análisis de información

#### 3.5.1 Plan de recolección de información

La presente investigación se ha emplea la técnica de recolección de información para los criterios de experimentación y su respectiva interpretación y justificación de los parámetros estudiados, y para el procesamiento de los datos de las pruebas realizadas, dichos datos se recolectan y para determinar mediante diseño de experimentos la relación y el aporte en el mantenimiento preventivo, y verificar la mejora del rendimiento del motor de combustión interna.

**Tabla 1-3:** Plan de recolección de información

Nº.	PREGUNTA BÁSICA	EXPLICACIÓN
1	¿Para qué?	Para conseguir los objetivos de la investigación
2	¿De qué personas u objetos?	Motor de combustión interna
3	¿Sobre qué aspectos?	Vibraciones, mantenimiento preventivo
4	¿Quién?	Investigadores
5	¿Cuándo?	En el año 2018
6	¿Dónde?	ESPOCH-Ingeniería Automotriz
7	¿Cuántas veces?	Las pruebas experimentales necesarias para garantizar el aporte al mantenimiento.
8	¿Qué técnicas de recolección?	Fichas
9	¿En qué situación?	Experimentación

Elaborado por: Guevara M & Landa L

### 3.5.2 Hipótesis de investigación

La realización de un estudio de vibraciones en motores de combustión interna J-20 A facilitará el diagnóstico de modos las fallas que afectan de manera directa al correcto funcionamiento del motor.

### 3.5.3 Variables de investigación

- Variable dependiente: Diagnóstico de las fallas
- Variable independiente: Estudio de vibraciones

### 3.5.4 Caracterización de la experimentación

En física, y en especial en laboratorios es muy común la necesidad de analizar datos experimentales y estudiar si estos datos se ajustan a alguna ley determinada. Una de las herramientas más habituales es representar dichos datos en una gráfica y ver si se aproximan a algún tipo de función conocida. De entre todas las posibles funciones la lineal o recta es la más habitual cuya fórmula se representa de la siguiente manera  $y=ax+b$ .

Cuando dos magnitudes físicas X e Y guardan una relación, al tener una serie de datos experimentales con pares de datos  $(x_i, y_i)$  podemos representar los datos como puntos en unos ejes de coordenadas. Como estos datos experimentales contendrán errores no se ajustarán exactamente a una recta, pero existe una herramienta matemática que mediante

análisis estadísticos de estos datos permite obtener la ecuación de la recta que mejor se ajusta a los datos (denominada recta de mejor ajuste o recta de regresión).

Este procedimiento se denomina regresión lineal. Mediante este procedimiento obtenemos los parámetros  $a$  y  $b$  de la ecuación de la recta y un coeficiente  $r$  denominado coeficiente de correlación que nos da idea de lo buena o mala que es la aproximación de los datos experimentales a una recta 2.

Los datos obtenidos en las medidas de laboratorio deben representarse en la forma en que se obtengan la mayor información posible. Para ello se utiliza: Tablas permite ver el conjunto de datos, representaciones gráficas que permite ver la relación entre variables del experimento.

La representación gráfica es fundamental, de esta manera se analiza los valores del experimento recolectados en una respectiva tabla.

Para el análisis experimental que se propone realizar se escoge primero las variables del experimento, los intervalos representados en los ejes deben concordar con el rango de magnitud representada de forma que todos los datos figuren en la gráfica, y a realizar el análisis de factibilidad de datos y su posterior análisis.

### 3.6 Equipo experimental de mediciones VIBRACHEK



**Figura 3-3:** Vibracheck

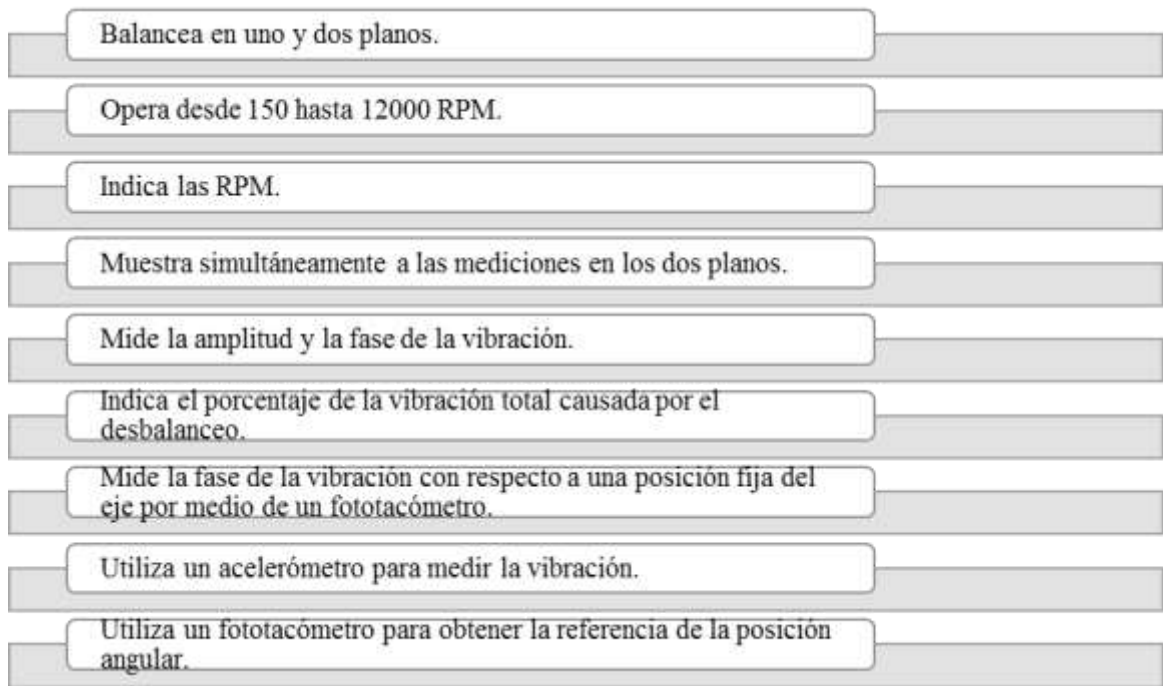
**Fuente:** (A-MAQ, 2014) Manual de usuario VIBRACHECK ABG-200, Idear

*Licencias de VIBRACHECK ABG-200.* El funcionamiento del equipo tiene incorporado la licencia de tres softwares que se complementan mutuamente para así brindar múltiples funciones a sus usuarios de esta manera incrementa el alcance de las aplicaciones en el campo industrial.

- *MAINTraqPredictive.* Para mantenimiento predictivo desde donde se pueden cargar las rutas, ver las tendencias, el estado de máquinas y realizar análisis de vibraciones.
- *MAINTraqAnalyzer.* Para análisis de arranques y paradas de máquinas, grabaciones de hasta 12 horas de las vibraciones, Bump test, Mediciones de desde todo tipo de sensores dinámicos ofreciendo (Espectros, Formas de onda, Órbitas, Espectros cruzados, Coherencia, Diagrama polar, Diagrama de Bode, Análisis de fase, Cascada de espectros en función de RPM.
- *MAINTraq Balance.* Permite balancear en línea.
- *Sensores de VIBRACHECK ABG200*
- Acelerómetros de 100 mV/g o 500 mV/g
- Sensores de proximidad de no contacto
- Sensores de velocidad
- Otros sensores con unidades configurables
- Racks de monitoreo continuo

*Principales bondades de VIBRACHECK ABG200.* Es un equipo muy completo que tiene una infinidad de funciones y aplicaciones de mantenimiento predictivo de equipos rotativos por lo que a continuación mencionamos a los más utilizados en la práctica.

- *Medición de espectros.* Vibracheck mide espectros de hasta 6400 líneas de resolución, lo que permite una excelente discriminación de componentes de frecuencias para la mayoría de los casos prácticos.
- *Medición de formas de ondas.* Vibracheck mide formas de onda con frecuencia de muestreo y tiempo de edición configurables.
- *Balanceo.* Puede realizar mediciones de desbalanceo en uno y dos planos para una mejor apreciación de las condiciones en que se encuentra la máquina, a continuación, se detalla las funciones dentro de aspecto de balanceo.



**Figura 4-3:** Vibracheck

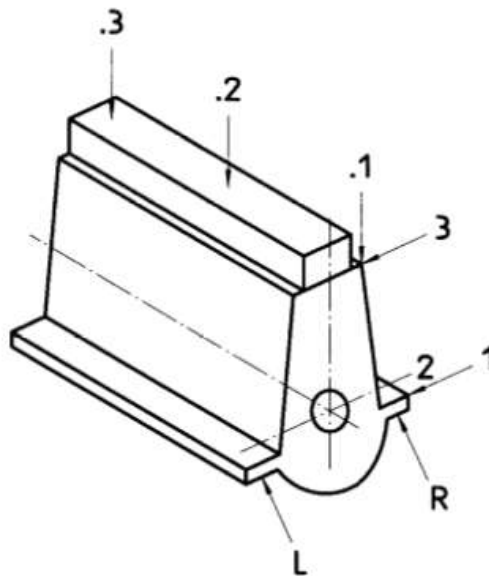
**Fuente:** (A-MAQ, 2014) Manual de usuario VIBRACHECK ABG-200, Idear

## CAPÍTULO IV

### 4 ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN

#### 4.1 Análisis de vibraciones en el motor de combustión interna J20-A A

Los parámetros de evaluación se realizan en base a la normativa “ISO 10816 mechanical vibration- evaluation of machine vibration by measurements on non-rotating parts”, donde menciona vibración mecánica: evaluación de la vibración de la máquina mediante mediciones en piezas no giratorias. En esta indica los puntos de aplicación y toma de las mediciones para un análisis de vibraciones.



**Figura 1-4:** Puntos de aplicación y toma de las mediciones para un análisis de vibraciones

**Fuente:** ISO 10816 mechanical vibration- evaluation of machine vibration by measurements on non-rotating parts; 2004

Es necesario precisar que todos los motores emiten una cierta vibración de manera natural se encuentren en buen o mal estado, estas vibraciones se modifican conforme a una o varias fallas que van ocurriendo en un periodo de tiempo, siendo el uso o desuso de estos



el origen que genera un desgaste en sus piezas internas que se desencadenan en problemas posteriores del motor de combustión interna que se analice.



**Figura 2-4:** Motor de combustión interna estudiado

**Fuente:** Guevara M & Landa L

#### 4.1.1 Condiciones iniciales de la prueba

##### a) Condiciones del motor

Para iniciar con el análisis es necesario determinar el estado del motor realizando una inspección del estado, posteriormente con la preparación del motor, lo cual implicaba llevar el motor a una temperatura estable de funcionamiento y mantener una operación confiable. Se verifica la presión del motor, se tomaron las mediciones.

Para iniciar el análisis de modos de falla es necesario identificar las características del motor y se muestran a continuación:

**Tabla 1-4:** Ficha técnica del motor de combustión interna J20-A

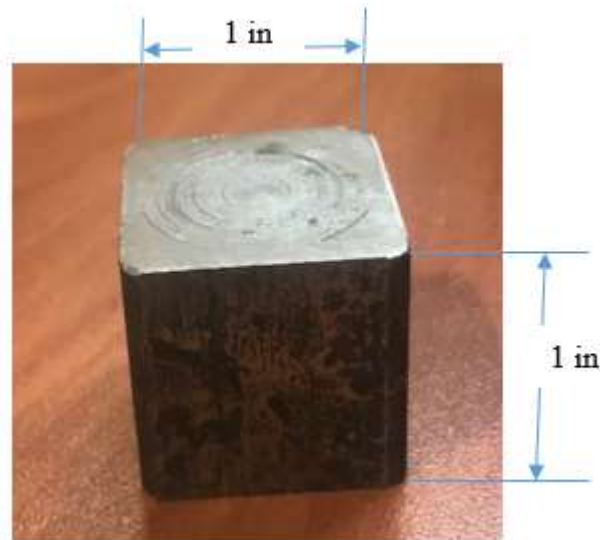
Nº de cilindros	Tipo	4/OHC
Cilindrada (fiscal)	cc	2389
Relación de compresión	:1	8,6
Adecuado para gasolina sin plomo		SI
Octanaje mínimo	ron	91

Sistema de encendido	Tipo	ECCS
Sistema de encendido	Descripción	Map-i
Ubicación de disparo		Distribuidor
Sistema de combustible	Tipo	ECCS
Sistema de combustible	Descripción	MFI-a
medidor de Aire	Tipo	Flujo de masa de aire
Módulo de control combinado de encendido y combustible		SI
enchufe de diagnosis		SI
<b>Sistema de encendido</b>		
Bobina de encendido	Marca	Hitachi
Tensión de alimentación de la bobina de encendido	* Con resistencia compensadora	12 V
Resistencia Primaria	Ohmio	
Resistencia Secundaria	Ohmio	
Orden de encendido		1-3-4-2
Distribuidor (modulo del control del motor)	Marca	Hitachi
<b>Bujías de encendido</b>		
Bujías de encendido	Equipo Original	MGK
Bujías de encendido	Tipo	2FRSE-11
Separación entre electrodos	mm	1.1
Bujías de encendido	Marca	NGK
Bujías de encendido	Tipo	2FRSE-11
Separación entre electrodos	mm	1.1
<b>Sistema de alimentación de combustible</b>		
Presión del sistema sin vacío	bar	2.94
Sistema de temperatura del refrigerador del motor	Ohmio*°C	300-330.80
Inyector	Ohmio	Oct-15

**Elaborador por:** Guevara M & Landa L

#### 4.1.2 Análisis de la situación de condiciones normales

La parte inicial para la evaluación es la realización de las “masas” conocida también como pesas de metal cúbicas de 1 plg x 1plg. Debido a que la culata y el bloque del motor son de aluminio y para medir con el equipo vibrachek es necesario colocar el acelerómetro en una parte que sea metálica, puesto que en aluminio no presenta resultados en las mediciones.



**Figura 3-4: Masas cúbicas**

**Fuente:** Guevara M & Landa L

##### a) Medidas de las masas metálicas

Las medidas son de 1 pulgada x 1 pulgada

##### b) Procedimiento para realizar las masas metálicas

A continuación, para unir la culata y el bloque con las masas se utiliza la pega denominada epoxica para pegar metal.

El siguiente proceso una vez obtenido las masas o pesas se procede a pegar con la epoxica que se encuentra en la imagen de tallada a continuación cuya especificación es de 2500psi en tres puntos del árbol de levas, en tres puntos del cigüeñal, las bases que se encuentran como componentes principales del motor.

Este procedimiento es necesario debido a que con ello se logra tener una medición correcta y más exactita para garantizar las pruebas y los experimentos realizados posteriormente.



**Figura 4-4: Pega epoxy**

**Fuente:** Guevara M & Landa L

#### **4.1.3 Sintomatología de fallas**

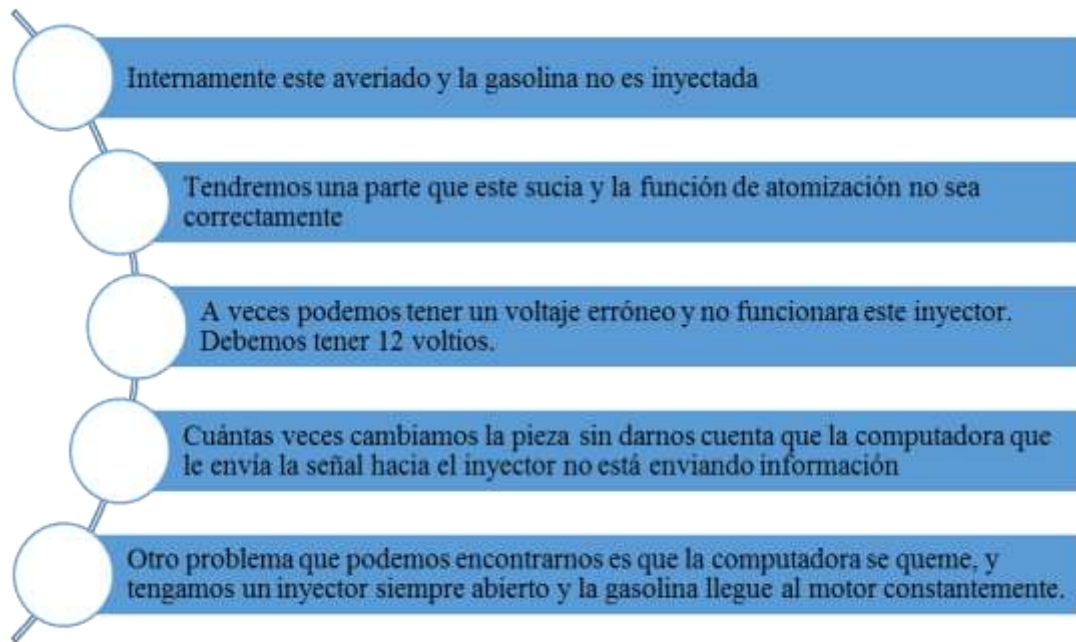
##### **a) Fallas en inyectores**

Los inyectores en un motor de combustión interna son los encargados de inyectar el combustible para mezclarse con el aire, están montados en el múltiple de admisión y son alimentados de gasolina a presión por la bomba de combustible. Como todas las partes de un automóvil tienen un desgaste o acumulan suciedad y necesitan mantenciones preventivas o correctivas.

Las causas por las cuales ocasionan fallas en los inyectores es que las gasolinas vienen con suciedad o residuos y ocasionan daños en el sistema.

Existen formas de limpiar los inyectores la primera es usando líquidos de limpieza que se echan en el estanque de gasolina y los van destapando; la segunda es limpieza por ultrasonido donde se sacan los inyectores y se instalan en un banco de pruebas, después se lavan los inyectores y se vuelven a probar.

El síntoma para identificar este problema es aceleración y desaceleración del vehículo, vinculado directamente con la pérdida de fuerza del motor.



**Figura 5-4:** Fallas comunes en el sistema de inyección

**Fuente:** Agnes Pérez, 2018

#### b) Fallas en el escape

El sistema de escape, mejor conocido como exhosto, aunque parece no necesitar de muchos cuidados, de encontrarse en mal estado podría afectar notoriamente el rendimiento y la potencia de su vehículo y generar daños de tipo ambiental.

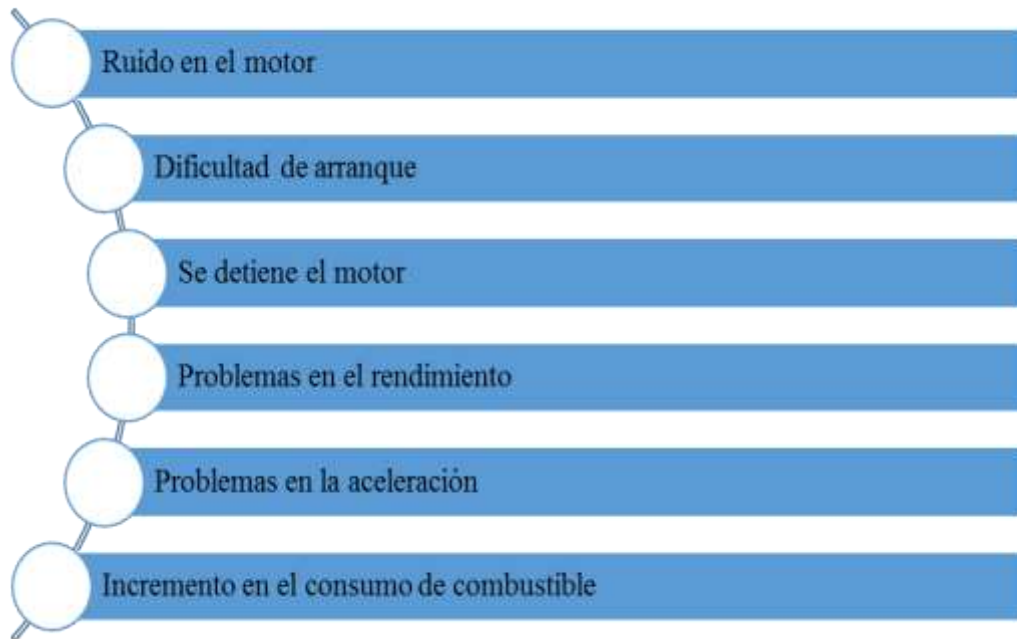
Para un óptimo mantenimiento preventivo, lo mejor es revisar cada cierto tiempo el correcto estado de los anclajes, la tubería y los catalizadores y así garantizar el buen funcionamiento del motor.

El principal factor a considerar y determinar que el sistema de escape tiene una avería es con el nivel de ruido que desprende el motor, si es el caso de ser excesivo, denota inmediatamente que existen fallas en el sistema.

#### c) Fallas en el filtro de aire

El filtro de aire es una de las partes principales dado que es el encargado de mantener y asegurar el buen funcionamiento del sistema. Comúnmente es una malla de protección

que impide que las impurezas y residuos del combustible lleguen al circuito de inyección del vehículo, a la bomba de presión, al circuito de alimentación o a los inyectores.



**Figura 6-4:** Fallas comunes en el filtro de aire

**Fuente:** Agnes Pérez, 2018

## 4.2 Análisis de confiabilidad de datos

Para el análisis de confiabilidad de los datos experimentales se procede a la utilización del software SPSS, y su inserción se muestra a continuación:

Análisis de fiabilidad de los datos de los inyectores

	ANGILO	F	V1X	VRMAS									
1	.00	1521805.00	12142.00	13289.00									
2	10.00	1521805.00	6909.00	12415.00									
3	20.00	1521805.00	3546.00	12412.00									
4	30.00	1521805.00	10351.00	14290.00									
5	40.00	1521805.00	13055.00	13917.00									
6	50.00	1521805.00	7001.00	13066.00									
7	60.00	1521805.00	12696.00	14169.00									
8													
9													
10													
11													
12													
13													
14													
15													
16													
17													
18													
19													
20													

**Figura 7-4:** Inserción de datos en SPSS

**Fuente:** Guevara M & Landa L

Para determinar la fiabilidad de los datos se analiza mediante la consistencia interna es el método Alfa de Cronbach, para ello es necesario la aplicación del software estadístico SPSS. Para lo cual se utiliza los valores de los datos obtenidos en la experimentación, en el estudio de vibraciones, la cual determina el nivel de aceptación de los resultados de las mediciones y determinar su utilidad para el análisis.

Alfa de Cronbach es un coeficiente que sirve para medir la fiabilidad de una escala de medida, y cuya denominación Alfa fue realizada por Cronbach en 1951.

Para evaluar los coeficientes de alfa de Cronbach se recomienda considerar los siguientes criterios generales:

- Coeficiente alfa >0.9 es excelente
- Coeficiente alfa >0.8 es bueno
- Coeficiente alfa >0.7 es aceptable
- Coeficiente alfa >0.6 es cuestionable
- Coeficiente alfa >0.5 es pobre

- Coeficiente alfa <0.5 es inaceptable

El objetivo del siguiente análisis de fiabilidad es establecer si los valores obtenidos en la experimentación son consistentes o inconsistentes, para lo cual se utiliza el método de Alfa de Cronbach, a continuación, se detallan y analizan cada una de las tablas.

En la siguiente tabla se tiene el valor calculado de alfa de Cronbach datos analizados del escape.

**Tabla 2-4:** Resultados analizados en el escape.

<b>%</b>	<b>Frecuencia</b>	<b>V 2X</b>	<b>V rms</b>
0	1467,405	1,696	3,626
10	1532	2,361	3,664
20	1544,527	2,458	3,491
30	1568,454	3,25	4,14
40	1487,364	3,178	4,688
50	1511,012	2,635	4,509
60	1578,108	3,552	4,239
70	1520,018	4,79	5,588
80	1435,373	3,689	5,349

**Fuente:** Guevara M & Landa L

**Tabla 3-4:** Resultados análisis alfa de Cronbach

Alfa de Cronbach basada en elementos estandarizados	N de elementos
,900	2

**Fuente:** Software SPSS

**Elaborado por:** Guevara M & Landa L

En resumen, el valor obtenido de alfa de Cronbach, es superior a 0.9 lo que determina que los datos se encuentran en un nivel excelente de aceptabilidad, demostrándose que los datos utilizados son muy consistentes y sólidos estadísticamente, y se puede continuar a un posterior análisis con los mismos.



**Tabla 4-4:** Matriz de correlación de datos

**Matriz de correlaciones entre  
elementos**

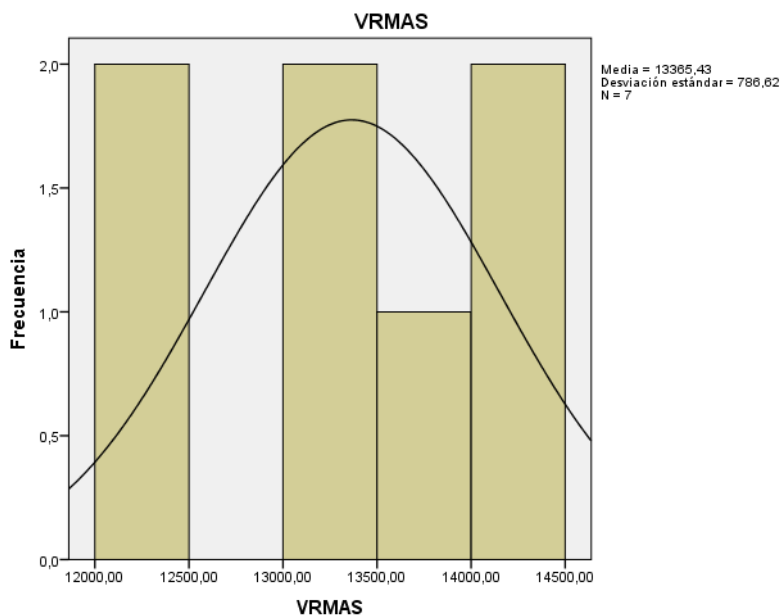
	V1X	VRMAS
V1X	1,000	,818
VRMAS	,818	1,000

**Elaborado por:** Guevara M & Landa L

En la matriz de correlación se muestra la interacción entre los datos lo que es importante para determinar la compatibilidad de los datos, y de esta manera mostrar la relación que existe entre la variable dependiente e independiente:

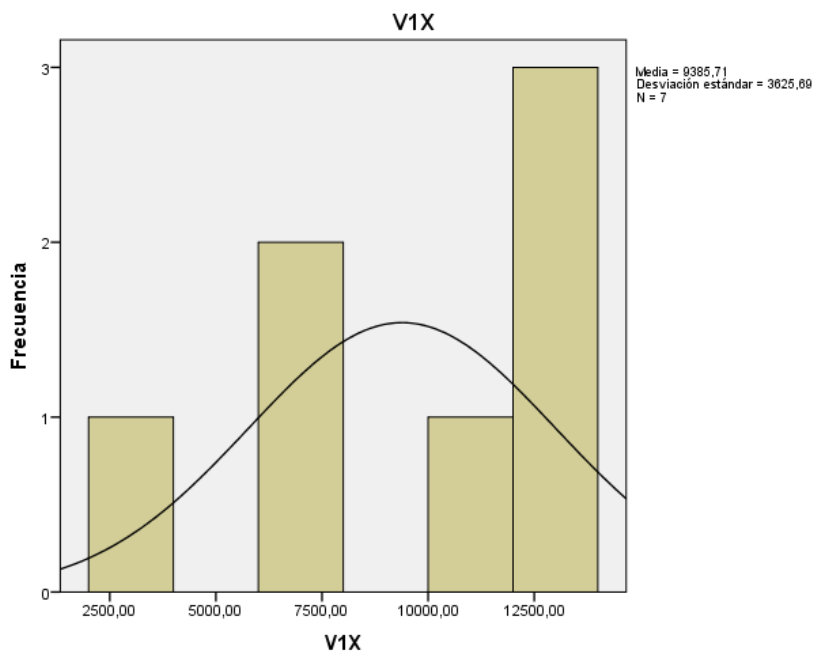
Como se evidencia en la tabla anterior existe una gran similitud entre los datos, sus valores de correlación son mayor a 0,9 lo que demuestra que los datos presentan una muy buena aceptabilidad y consistencia, lo cual muestra que es aceptable un análisis posterior.

Para el análisis experimental y su análisis vibracional, y continuar a su respectivo análisis, se debe realizar el estudio de estadístico de los datos que demuestre la normalidad de los datos obtenidos y que estos fluctúen dentro de los parámetros establecidos a continuación se muestra el análisis de dispersión de los datos obtenidos en la experimentación



**Gráfico 1-4:** Distribución de datos en función de F

**Elaborado por:** Guevara M & Landa L



**Gráfico 2-4:** Distribución de datos en función de V1X  
**Elaborado por:** Guevara M & Landa L

En la siguiente tabla se tiene el valor calculado de alfa de Cronbach datos analizados del filtro de aire.

**Tabla 5-4:** Resultados analizados en el filtro de aire.

%	Frecuencia	V 2X	V rms
0	1810,576	2,869	3,31
10	1524,805	9,914	11,528
20	1477,561	10,986	12,499
30	1502,764	8,434	9,364
40	1526,209	5,597	7,285
50	1492,874	8,515	9,621
60	1535,32	5,643	6,764
70	1488,948	7,427	9,007
80	1548,831	2,702	5,367

**Fuente:** Guevara M & Landa L

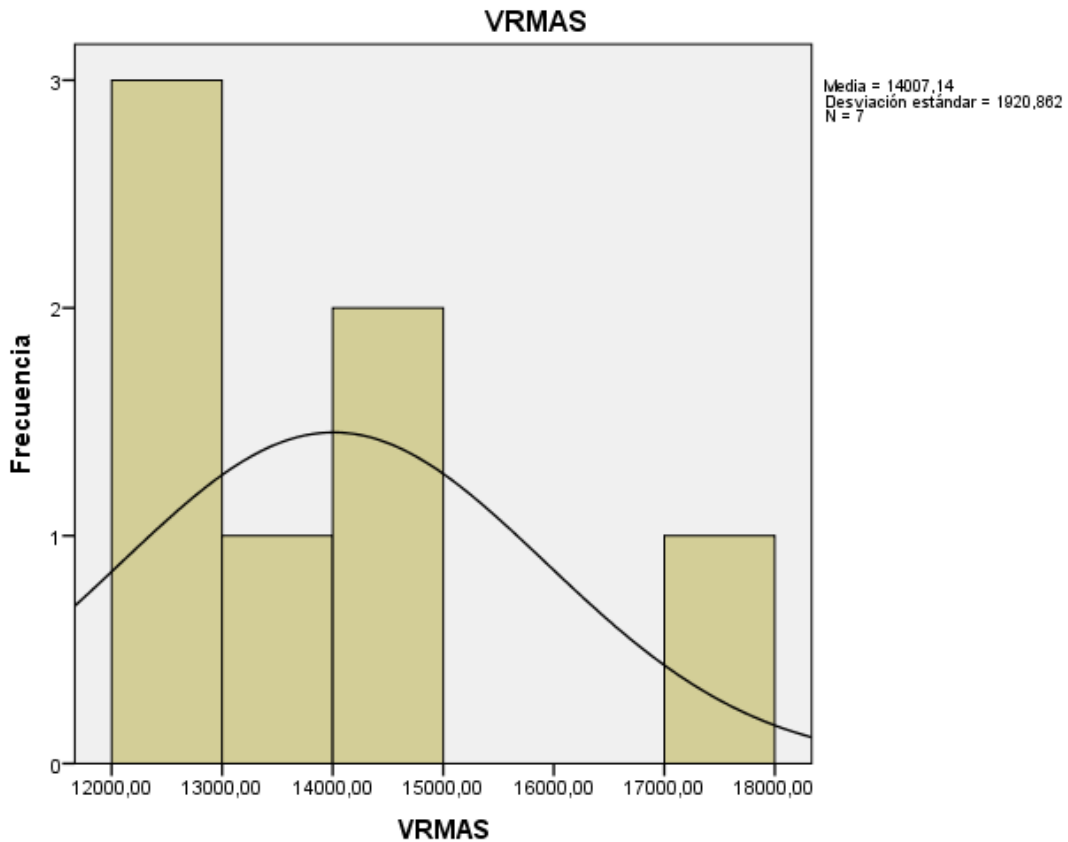
**Tabla 6-4:** Resultados analizados en el Filtro de aire.

**Matriz de correlaciones entre elementos**

	V1X	VRMAS
V1X	1,000	,910
VRMAS	,910	1,000

**Fuente:** Guevara M & Landa L

Analizando los datos de correlación del filtro de aire se puede determinar que los datos son consistentes y demuestran una buena fiabilidad.



**Gráfico 3-4:** Inserción de datos en SPSS Filtro de aire

**Fuente:** Guevara M & Landa L

En la gráfica anterior se puede demostrar el comportamiento de los datos que se aproximan a una distribución normal, por ende, los datos son aplicables y aceptables.

En la siguiente tabla se tiene el valor calculado de alfa de Cronbach datos analizados de los inyectores.

**Tabla 7-4:** Resultados analizados en los inyectores.

%	Frecuencia	V 2X	V rms
0	1521,805	12,145	13,289
10	1490,515	11,559	12,415
20	1478,563	10,822	12,412
30	1532,548	13,361	14,29
40	1517,048	13,055	13,917
50	1489,01	12,228	13,066
60	1518,105	12,696	14,169

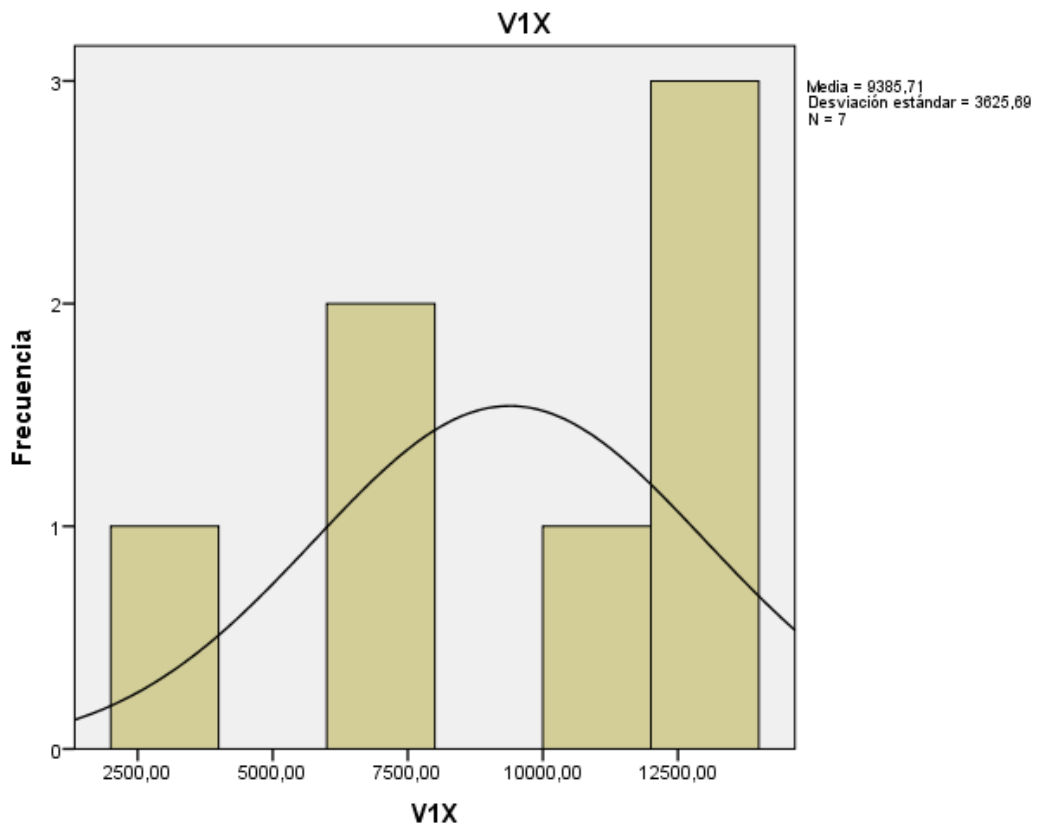
**Fuente:** Guevara M & Landa L

**Tabla 8-4:** Resultados analizados en los inyectores.

Alfa de Cronbach basada en elementos estandarizados	N de elementos
,900	2

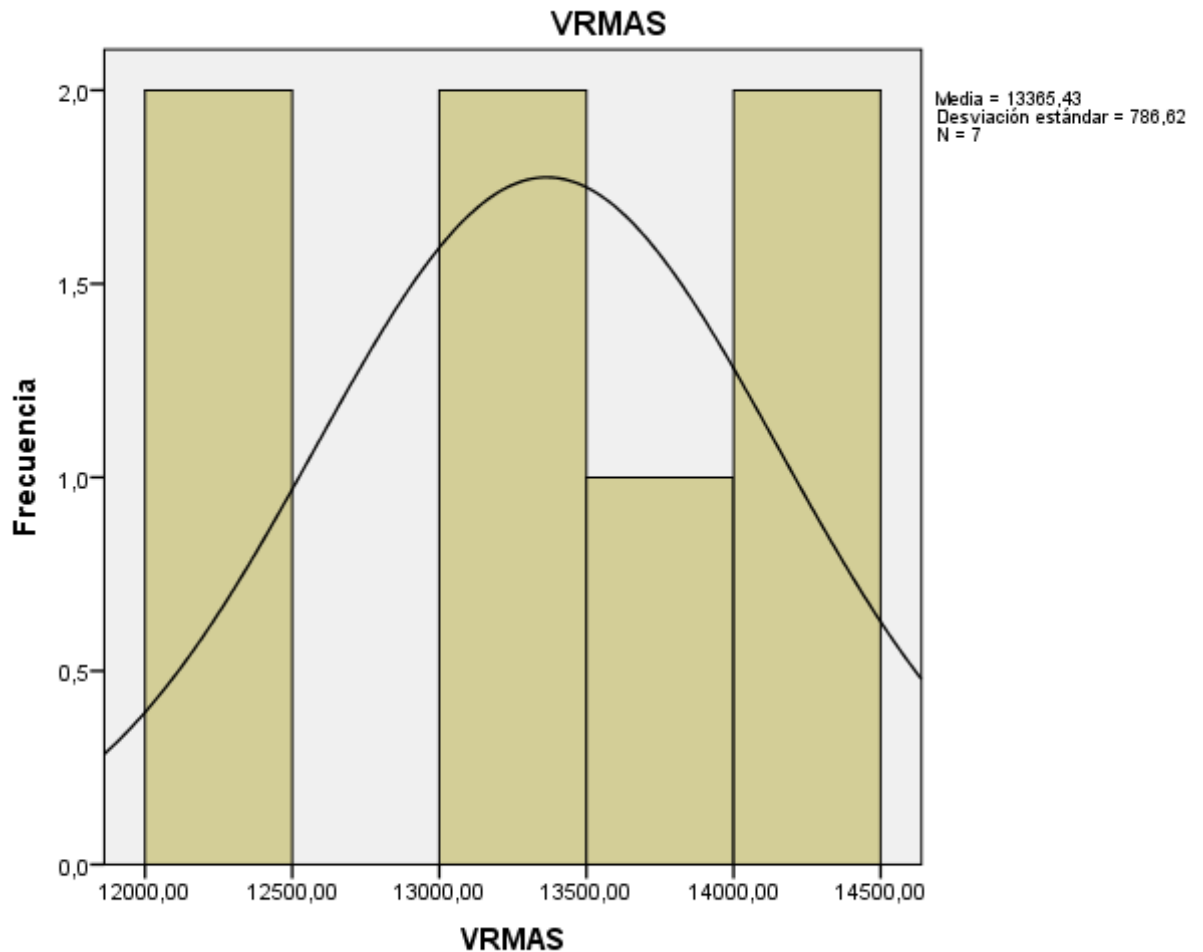
**Fuente:** Guevara M & Landa L

El valor de Alfa de 0,9 indica que nivel de aceptación de los datos es excelente y las condiciones en las que se realizaron las pruebas son idénticas.



**Gráfico 4-4:** Inserción de datos en SPSS Filtro de inyectores

**Fuente:** Guevara M & Landa L



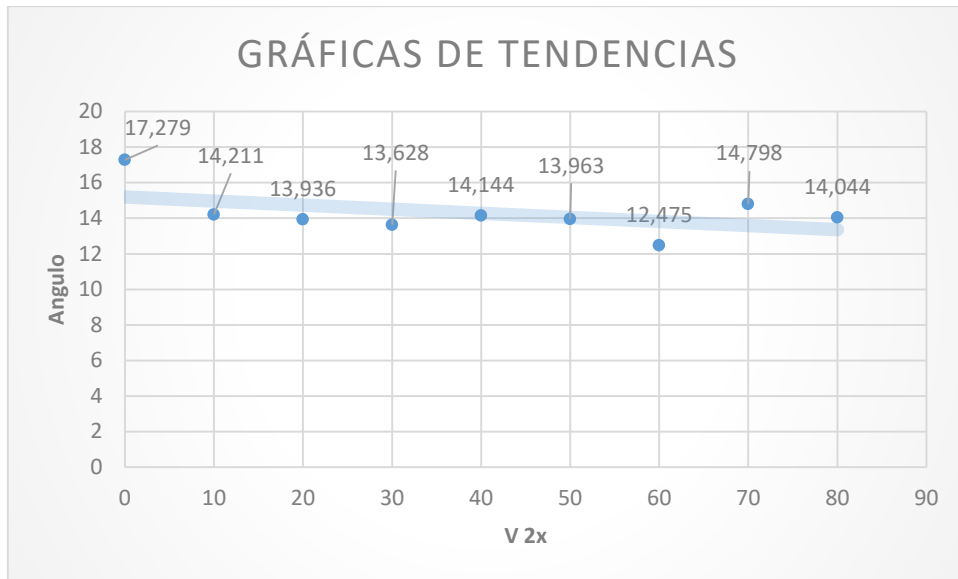
**Gráfico 5-4:** Inserción de datos en SPSS de los inyectores Vrms

**Fuente:** Guevara M & Landa L

En los gráficos anteriores de dispersión de datos se muestra claramente que su comportamiento es adecuado y no existe un esparcimiento significativo de los datos por lo cual, permite continuar el análisis de los datos y su estudio.

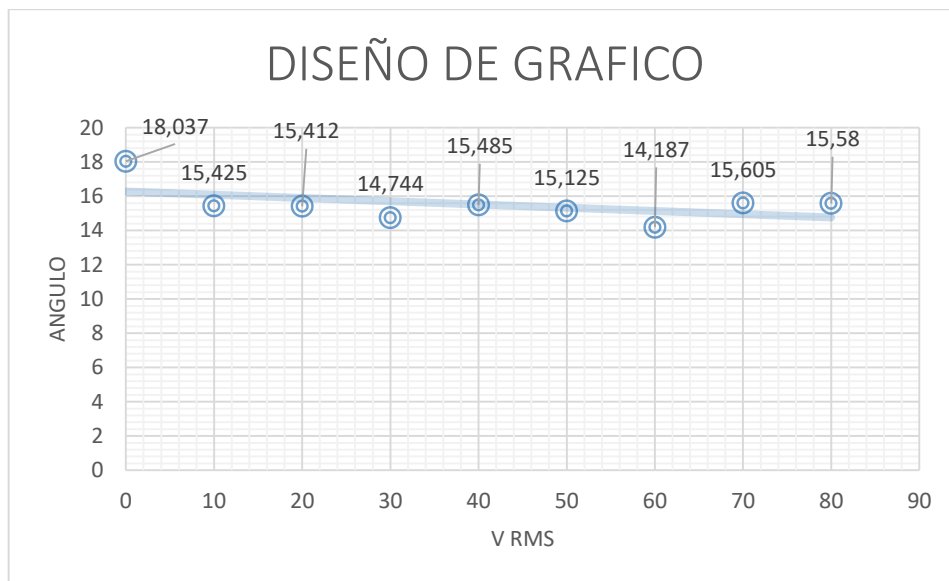
Avance retroceso y los inyectores no se pueden tomar datos reales, y proporcionales a la investigación realizada, dichos parámetros pueden ser ocasionados por factores del sistema puesto que la programación del sistema electrónico.

Las gráficas más representativas en este estudio son las gráficas de tendencia, en las cuales se identifica el comportamiento de los mismos.



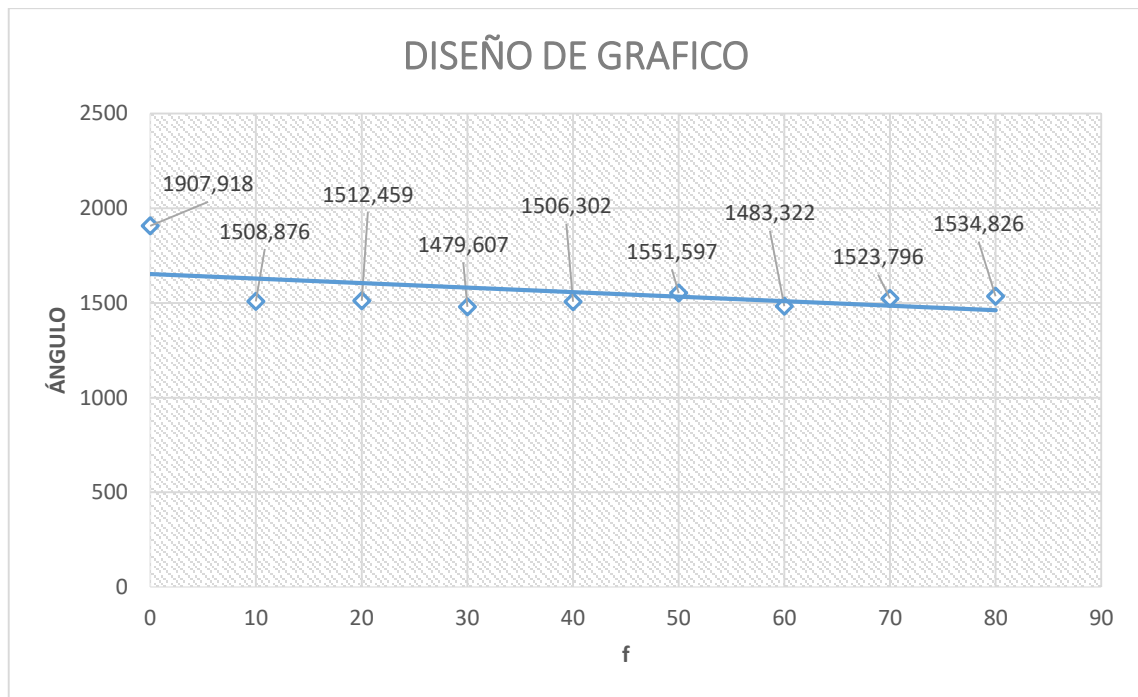
**Gráfico 6-4:** Graficas de tendencia V2X

**Elaborado por:** Guevara M & Landa L



**Gráfico 7-4:** Graficas de tendencia Vrms

**Elaborado por:** Guevara M & Landa L



**Gráfico 8-4:** Graficas de tendencia V2X

**Elaborado por:** Guevara M & Landa L

#### Disposición de las rutas de medición

Para la disposición de la ruta de medición, primero se realiza el análisis de criticidad del motor de combustión interna, para posteriormente realizar el análisis de vibración. Es necesario conocer los elementos que componen el motor y sus funciones, las cuales ya se representaron anteriormente.

#### Determinación de los puntos de medición

Los puntos de medición se determinan en secuencia de acuerdo al sentido de transmisión del movimiento para facilidad de análisis espectral, se toma en cuenta los elementos rodantes que compone la maquina (rodamientos y cojinetes)

En cada punto de la inspección se las direcciones, 2 radiales y 1 axial

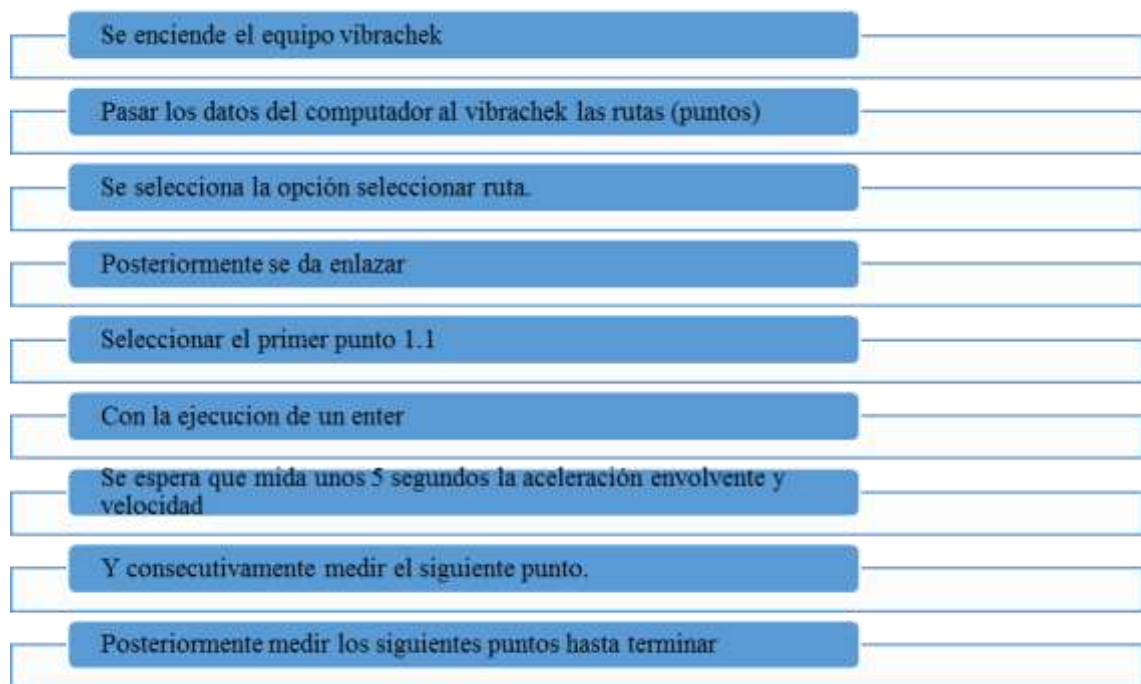
#### Configuración de la ruta de medición

Debe ser clara y precisa de manera que cualquier técnico que desee inspeccionar sea capaz de identificar los equipos y puntos de medición sin ningún contratiempo.

Paso 1 se ejecuta el programa desde el escritorio, seleccionar el icono de configuración de base de datos, aparece una ventana donde se selecciona la opción de insertar un nombre (empresa), con la cual se va a identificar la base de datos.

### 4.3 Pruebas de medición

El procedimiento de la realización de las pruebas es el siguiente:



**Figura 8-4:** Procedimiento de las pruebas de medición

**Fuente:** Guevara M & Landa L

#### 4.3.1 Procedimiento de realización de las mediciones

##### 4.3.1.1 Prueba del avance de encendido

Para hacer la prueba del avance de encendido se reparten en 8 mediciones de distintos grados, y los lineamientos a seguir son los siguientes:

- a) Se verifica con el scanner que la posición del acelerador se encuentre en 0 %.





**Figura 9-4:** Posición inicial del scanner

**Fuente:** Guevara M & Landa L

- b) Se toman el primer dato en condiciones normales del motor
- c) Posteriormente se toman los datos con el vibrachek en los diferentes puntos respectivos.



**Figura 10-4** Pruebas de medición vibrachek

**Fuente:** Guevara M & Landa L

- d) Se coloca el acelerómetro en el punto 1.1v



**Figura 11-4:** Acelerómetro en el punto 1

**Fuente:** Guevara M & Landa L

- e) Se enlaza el equipo, vamos a la opción rutas presionando “enter” y prosigue en unos segundos a la medición de aceleración, envolvente y velocidad.



**Figura 12-4:** Enlace del equipo

**Fuente:** Guevara M & Landa L

- f) De esta manera se toman en todos los puntos que tenemos y con los diferentes ángulos para obtener las medidas que necesitamos para para la realización de nuestra investigación.
- g) Otro punto importante que hay que dar a conocer es que no se puede realizar las pruebas con el 90% debido a que el motor no soporta la obstrucción del aire y tiende a apagarse.

#### 4.3.1.2 *Prueba del retroceso de encendido.*

Para realizar la prueba de retroceso de encendido se toman 6 mediciones con diferentes medidas.

- a) Primeramente, se verifica con el scanner que la posición del acelerador se encuentre en 0 %.
- b) Luego se toman los datos en condiciones normales del motor
- c) Consecutivamente se toman los datos con el vibrachek en los diferentes puntos que se están trabajando.
- d) Se coloca el acelerómetro en el punto 1.1v
- e) Se enlaza el equipo, vamos a la opción rutas presionamos enter y prosigue en unos segundos a la medición de aceleración, envolvente y velocidad.

- f) De esta manera se toman en todos los puntos que se necesita y con los diferentes ángulos para obtener las medidas necesarias para para la realización de la investigación.

#### 4.3.1.3 Prueba de los inyectores

Para realizar la prueba de taponamiento de los inyectores se toman 6 mediciones con diferentes porcentajes.

- a) Se verifica con el scanner que la posición del acelerador se encuentre en 0 %.
- b) Se toman los datos en condiciones normales del motor
- c) Posteriormente se toman los datos con el vibrachek en los diferentes puntos que tenemos.
- d) Se coloca el acelerómetro en el punto 1.1v
- e) Se enlazamos el equipo, presionando a la opción rutas presionamos enter y prosigue en unos segundos a la medición de aceleración, envolvente y velocidad.

Para la segunda medición.



**Figura 13-4:** Pruebas de medición

**Fuente:** Guevara M & Landa L

- a) Primeramente, se cambia los filtros de los inyectores con un 20 % de taponamiento.
- b) Se coloca los filtros con un 40 % de taponamiento.
- c) Para la siguiente medición, se coloca los filtros con un 60% de taponamiento.



**Figura 14-4:** Colocación de filtros con taponamiento 60%

**Fuente:** Guevara M & Landa L

- d) Para la siguiente medición se coloca los filtros con un 80 % de taponamiento.



**Figura 15-4:** Colocación de filtros con taponamiento 60%

**Fuente:** Guevara M & Landa L

- e) Para la siguiente medición se coloca los filtros con un 90% de taponamiento.  
f) Y finalmente se coloca los filtros con un 100% de taponamiento.  
g) De esta manera se toman en todos los puntos que tenemos y con los diferentes ángulos para obtener las medidas que se requieren para la realización de la investigación.

#### 4.3.1.4 Prueba del filtro de aire

Para realizar la prueba del filtro de aire se toma 8 mediciones diferentes.

- a) Se consigue un cuerpo de aceleración.



**Figura 16-4:** Cuerpo de aceleración

**Fuente:** Guevara M & Landa L

- b) Se realiza una placa de metal con la finalidad de tapar los agujeros restantes y dejar solo un orificio para manipular los grados mediante el escáner.



**Figura 17-4:** Elaboración de la placa de metal

**Fuente:** Guevara M & Landa L

- c) Se realiza un tubo de 2 plg por 15 cm de altura para soldarle con la placa.



**Figura 18-4:** Cuerpo de aceleración

**Fuente:** Guevara M & Landa L

- d) Luego se procede a sellar con 4 pernos



**Figura 19-4:** Pernos de ajuste para el filtro de aire

**Fuente:** Guevara M & Landa L

e) Se instala en el depurador con dos abrazaderas



**Figura 20-4:** Instalación del equipo con el depurador

**Fuente:** Guevara M & Landa L

f) Se procede hacer las mediciones

g) Se verifica con el scanner que la posición del acelerador se encuentre en 0 %.

h) Se toma los datos en condiciones normales del motor

i) Luego se toma los datos con el vibrachek en los diferentes puntos necesarios.

j) Se coloca el acelerómetro en el punto 1.1v

k) Se enlaza el equipo, vamos a la opción rutas presionamos enter y prosigue en unos segundos a la medición de aceleración, envolvente y velocidad.

l) De esta manera se van tomando en todos los puntos necesarios y con los diferentes porcentajes para obtener las medidas que se requieren para la realización de nuestra investigación.



**Figura 21-4:** Cuerpo de aceleración

**Fuente:** Guevara M & Landa L

#### 4.3.1.5 Pruebas del escape

Para realizar la prueba del escape se toma 8 mediciones con diferentes medidas.

- a) Se consigue un cuerpo de aceleración.
- b) Se realiza una placa de metal con la finalidad de tapar los agujeros restantes y dejar solo un orificio para manipular los grados mediante el escáner.
- c) Se realiza un tubo de 2 plg por 15 cm de altura para soldarle con la placa.
- d) Luego se procede a sellar con 4 pernos
- e) También se implementa un kit de ventilación de aluminio
- f) Se instala en el escape y en el depurador con dos abrazaderas

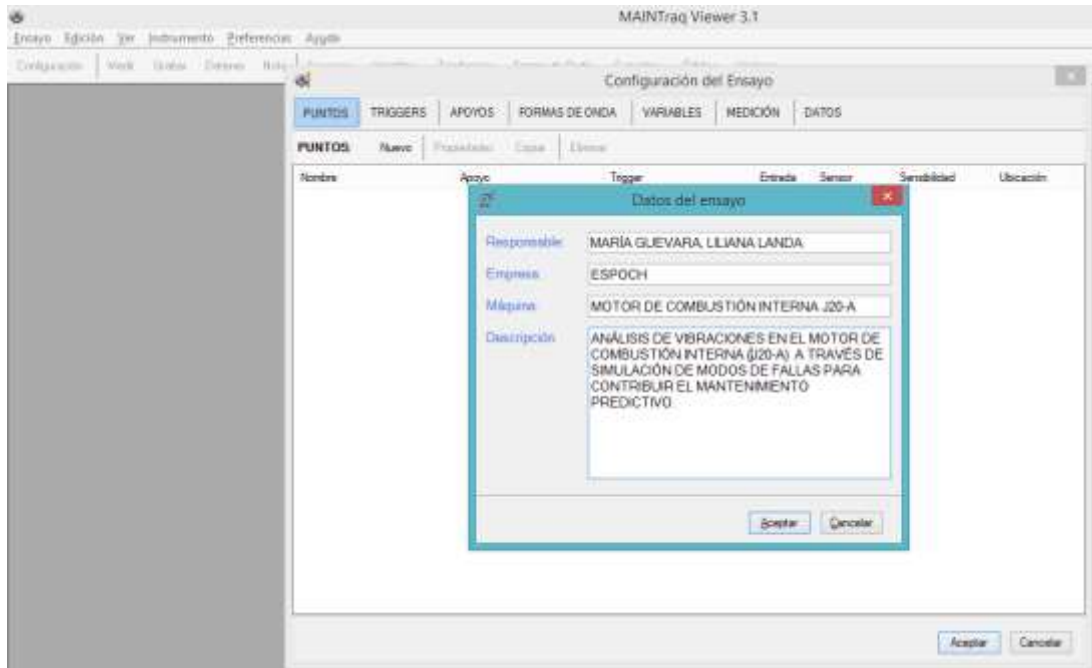


**Figura 22-4:** Instalación de escape y depurador

**Fuente:** Guevara M & Landa L

- g) Se realizar las mediciones
- h) Se verifica con el scanner que la posición del acelerador se encuentre en 0 %.
- i) Posteriormente se toman los datos en condiciones normales del motor
- j) También los datos con el vibrachek en los diferentes puntos.
- k) Se coloca acelerómetro en el punto 1.1v
- l) Se enlaza el equipo, y se dirige a la opción rutas presionando enter y prosigue en unos segundos a la medición de aceleración, envolvente y velocidad.
- m) Se toman en todos los puntos que tenemos y con los diferentes porcentajes para obtener las medidas que se necesitan para la realización de la investigación.

Los puntos de medición se determinan en secuencia de acuerdo al sentido de transmisión del movimiento para facilidad de análisis espectral, se toma en cuenta los elementos rodantes que compone la maquina (rodamientos y cojinetes). En cada punto de la inspección se las direcciones, 2 radiales y 1 axial

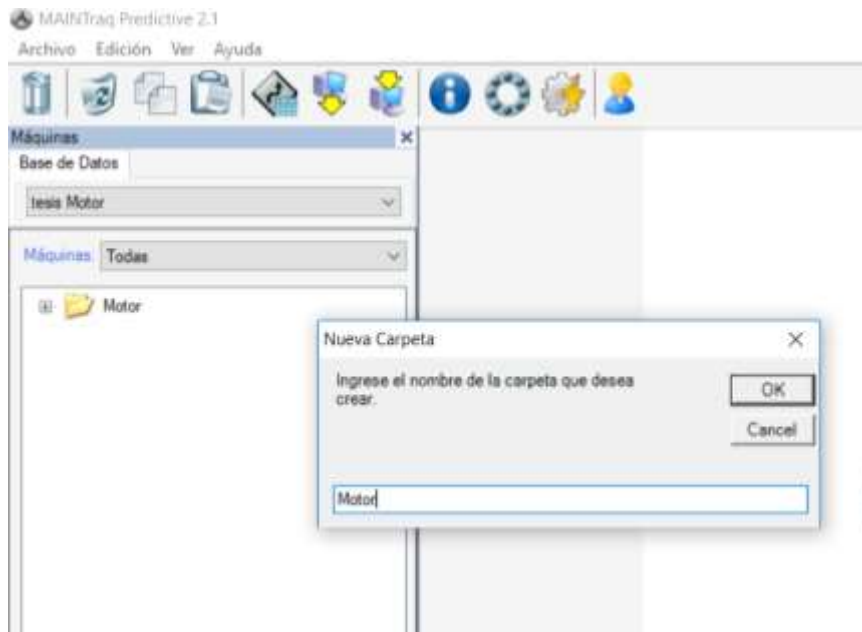


**Figura 23-4:** Paso 1 para la realización de pruebas

**Fuente:** Guevara M & Landa L

Paso 2. Una vez ingresado el nombre de la carpeta matriz ya aparece en la lista del software, luego se crea una carpeta luego de la matriz al presionar clic derecho del mouse, seleccionar nueva carpeta y aparece la ventana de diálogo que se muestra en la imagen con el fin de definir el proceso y áreas según la necesidad.





**Figura 24-4:** Paso 2 para la realización de pruebas

**Fuente:** Guevara M & Landa L

Paso 3. Se ubica dentro de la carpeta deseada en este caso motor se presiona clic derecho opción nueva muestra donde se despliega una ventana mostrada en la imagen para llenar los datos e imagen de la máquina

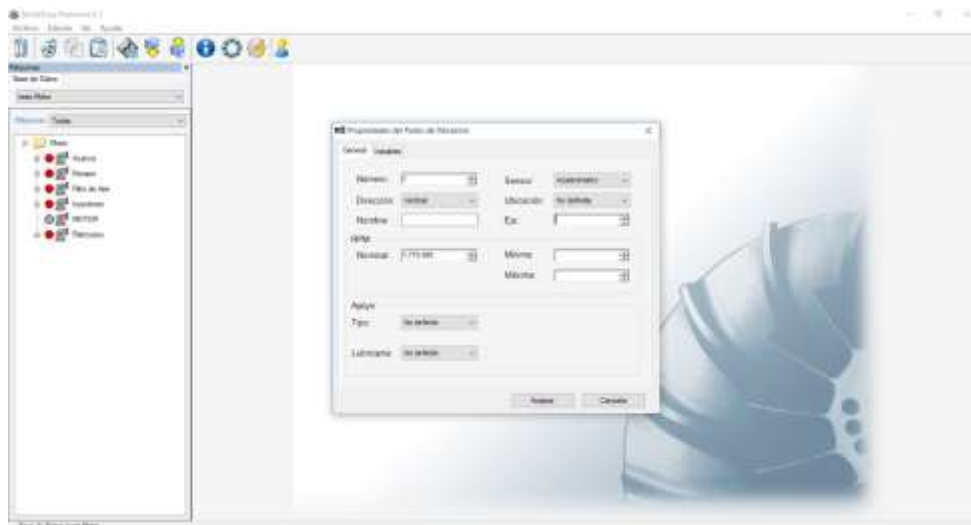
Opción nueva máquina



**Figura 25-4:** Paso 3 para la realización de pruebas

**Fuente:** Guevara M & Landa L

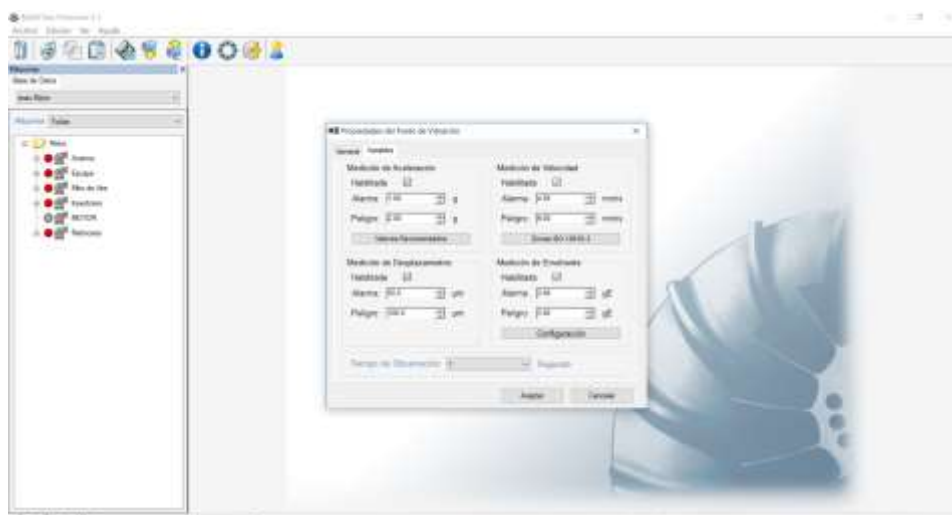
Paso 4. Se configura los puntos de medio en las tres direcciones (2 radiales y 1 axial), para esto dar clic derecho en la máquina creada, se desplegará una ventana como la que se muestra en la imagen donde se ingresa los datos que requiere el software para crear el punto de medio y también permite configurar los niveles de alarma, peligro y demás variables que se desea obtener en la inspección.



**Figura 26-4:** Paso 4 para la realización de pruebas

**Fuente:** Guevara M & Landa L

Paso 5. Una vez creada los puntos de medición se procede a configurar las variables que se quiere obtener y los parámetros necesarios para obtener un espectro definido y claro como son: frecuencia máxima, línea espectral y promedios



**Figura 27-4:** Paso 1 para la realización de pruebas

**Fuente:** Guevara M & Landa L

Paso 6. Para insertar las variables se escoge entre aceleración, envolvente, desplazamiento o velocidad, ya sea en espectro o forma de onda cada, donde se desplegará una ventana para ingresar los parámetros iniciales mencionados. Siendo este el último paso para la configuración de la ruta de medio.



**Figura 28-4:** Paso 1 para la realización de pruebas

**Fuente:** Guevara M & Landa L

## Recolección de datos

Cargar los datos de la siguiente manera

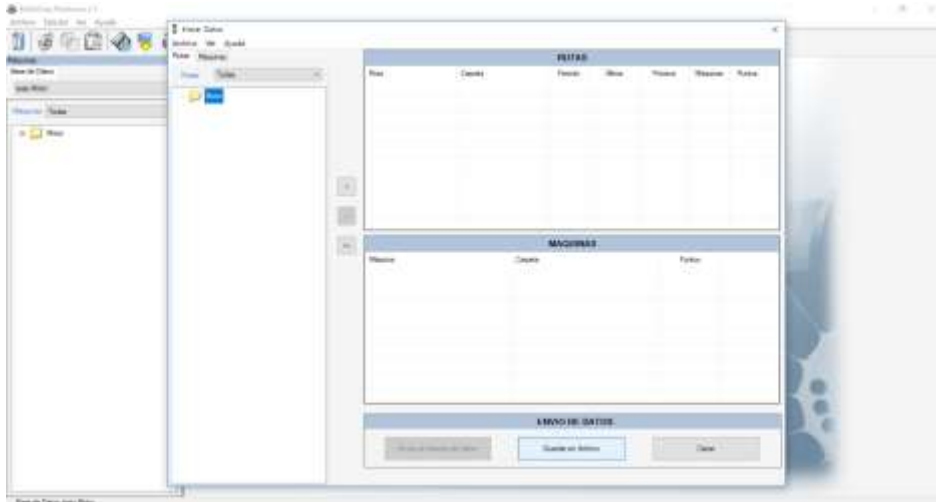
Paso 1. Se ubica en la base matriz deseada.



**Figura 29-4:** Paso 1 para la recolección de datos

**Fuente:** Guevara M & Landa L

Paso 2. Se ejecuta el programa desde el escritorio, seleccionar el icono de configuración de la base de datos, aparece una ventana donde se selecciona la opción de insertar un nombre (empresa), con la cual se va a identificar la base de datos.

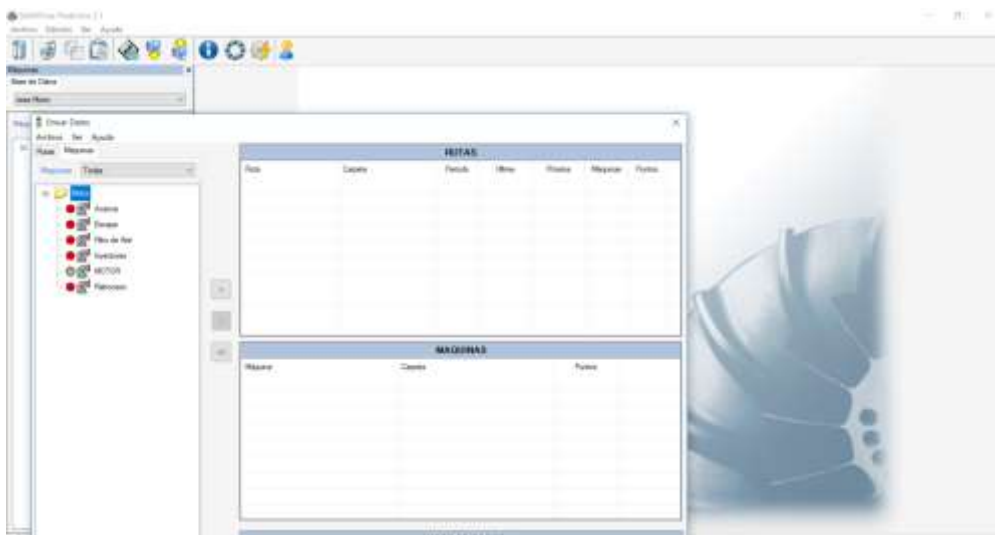


**Figura 30-4:** Paso 1 para la realización de pruebas

**Fuente:** Guevara M & Landa L

Paso 3 Se arrastra la máquina hacia las partes inferiores de la ventana, una vez seleccionado las máquinas se conecta el colector de datos vía USB

USB. Se envía la ruta dando clic en la opción enviara a colector de datos



**Figura 31-4:** Paso dos para la recolección de datos

**Fuente:** Guevara M & Landa L

Paso 4 cargar la ruta se procede a tomar datos, una vez terminada la toma de datos se descarga en software mediante USB dando clic en la opción recibir datos.



**Figura 32-4:** Paso dos para la recolección de datos

**Fuente:** Guevara M & Landa L

#### 4.3.2 Modos de falla consistentes

Los modos de fallas comunes que pueden suscitarse en un motor de combustión interna son fisuras, o alteraciones en su sistema de inyección esto puede ser ocasionado por vibraciones excesivas en el motor.

También puede ser ocasionado por el material mismo de construcción del motor, y el tiempo de vida útil de estos materiales. Todo esto depende del origen o del fabricante.

Deficiencias en el Proceso:

- a) Marcas de fabricación que pueden originar grietas que conducen a la falla.
- b) Esfuerzos residuales y vibraciones excesivas causados en el proceso de construcción en frío o en el tratamiento térmico que no se hacen bajo las normas establecidas (Temperatura, Tiempo, Medio de enfriamiento, Velocidad).
- c) Recubrimientos inadecuados.
- d) Soldaduras y/o reparaciones inadecuadas.

### 4.3.3 Pruebas por cada modo de falla

## 4.4 Análisis del resultado de la experimentación

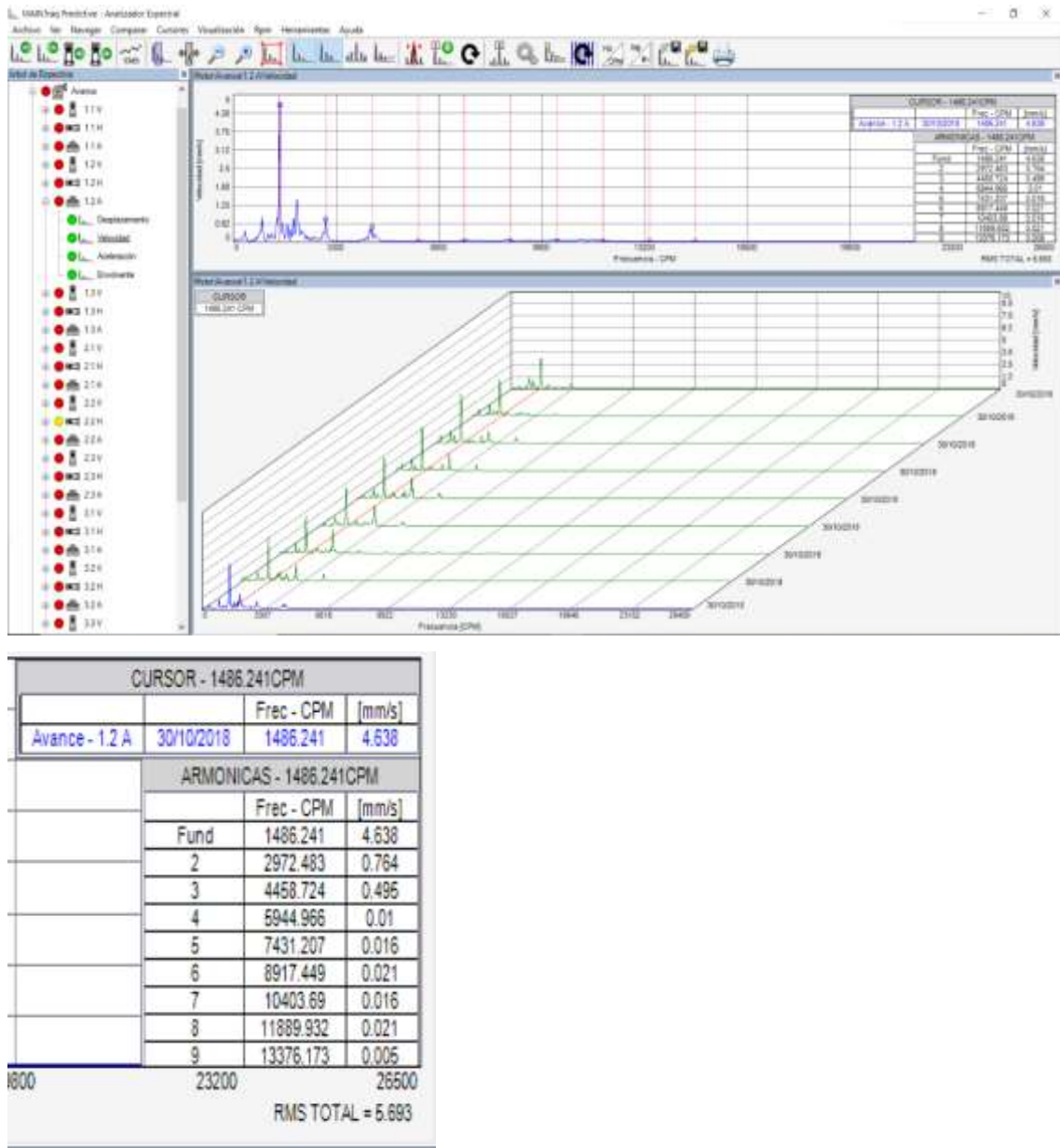
Se inicia la experimentación con la instalación de los equipos para proceder a las pruebas respectivas.



**Figura 33-4:** Ilustración análisis vibracional

**Fuente:** Guevara M & Landa L

## Análisis en el avance de encendido del motor

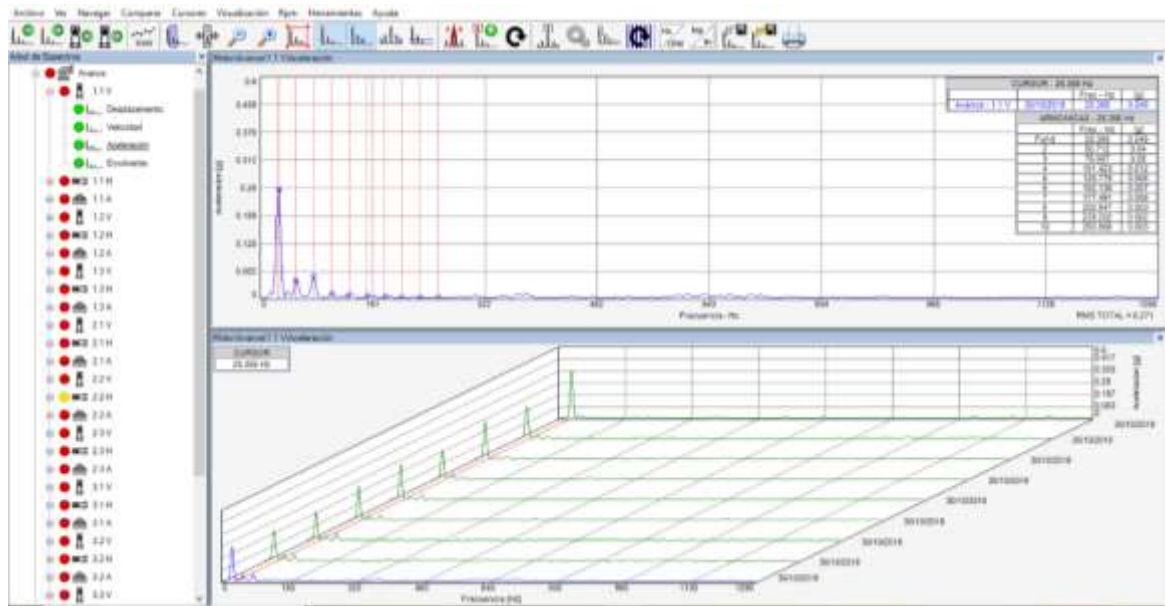


**Figura 34-4:** Resultados del análisis de avance del motor-punto 1

**Fuente:** Guevara M & Landa L

En la figura se trazo líneas punteadas verdes donde se puede apreciar claramente una diferencia entre la forma de onda de las pruebas, obteniéndose unos picos 1XA más alto en la prueba y por eso se convierte en el plano dominante, los puntos (H) y (A) representan picos elevados. El pico 1.2(A) muestra que está afectado por un desbalanceo dinámico producido por el motor con un nivel de vibración a una velocidad total VRMS: 5.693 mm/s.





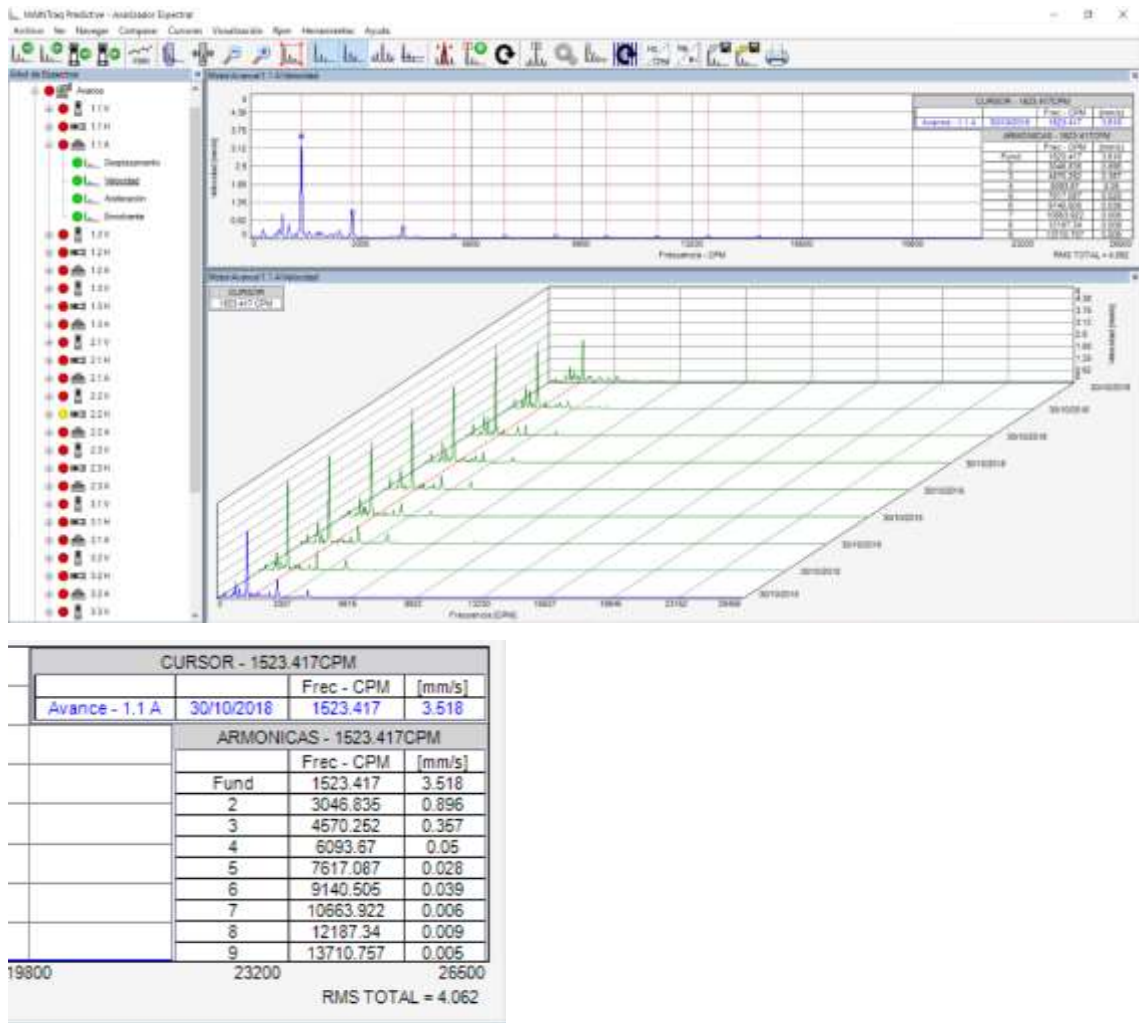
CURSOR - 25.356 Hz			
		Frec - Hz	[g]
Avance - 1.1 V	30/10/2018	25.356	0.245
ARMONICAS - 25.356 Hz			
	Frec - Hz	[g]	
Fund	25.356	0.245	
2	50.712	0.04	
3	76.067	0.05	
4	101.423	0.012	
5	126.779	0.008	
6	152.135	0.007	
7	177.491	0.005	
8	202.847	0.003	
9	228.202	0.002	
10	253.558	0.003	

**Figura 35-4:** Resultados del análisis de avance del motor- punto 2

**Fuente:** Guevara M & Landa L

Se analiza las pruebas de espectro en las tres zonas señaladas, que corresponde a una velocidad, medida del cigueñal, de 210 rpm, 500 rpm y 320 rpm respectivamente los espectros que tenemos en la aceleracion son totalmente irrelevantes ya que nos da un pico 1XV de 0.271.

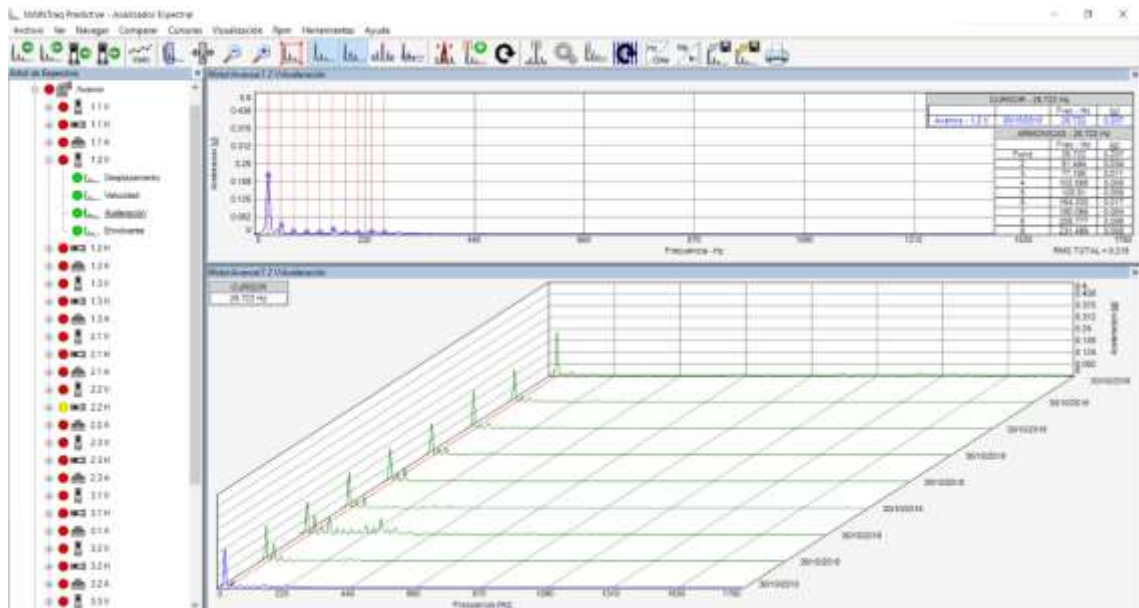




**Figura 36-4:** Resultados del análisis de avance del motor- punto 3

**Fuente:** Guevara M & Landa L

En las gráficas se observa una diferencia muy cargada entre los espectros, puesto que en el de abajo que corresponde a la prueba con el desbalanceo, se observa un pico a una frecuencia de 1523.417 CPM con una velocidad despreciable de 4.062 mm/s.



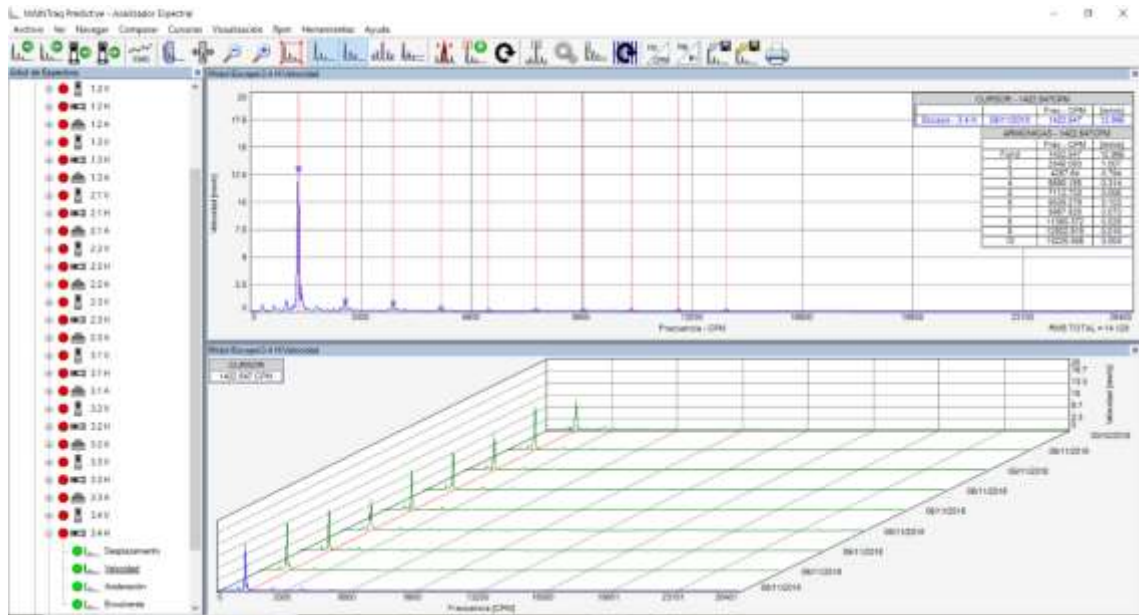
CURSOR - 25.722 Hz			
		Frec - Hz	[g]
Avance - 1.2 V	30/10/2018	25.722	0.207
ARMONICAS - 25.722 Hz			
		Frec - Hz	[g]
Fund		25.722	0.207
2		51.444	0.034
3		77.166	0.011
4		102.888	0.008
5		128.61	0.008
6		154.333	0.017
7		180.055	0.004
8		205.777	0.006
9		231.499	0.008
		1530	1750
RMS TOTAL = 0.219			

**Figura 37-4:** Resultados del análisis de avance del motor-punto 4

**Fuente:** Guevara M & Landa L

Se observa como aparece un pico a una frecuencia 231,499 CPM que corresponde a una frecuencia 1x del árbol de levas con una velocidad total VRMS: 0,219.

## ANÁLISIS DEL ESCAPE DEL MOTOR

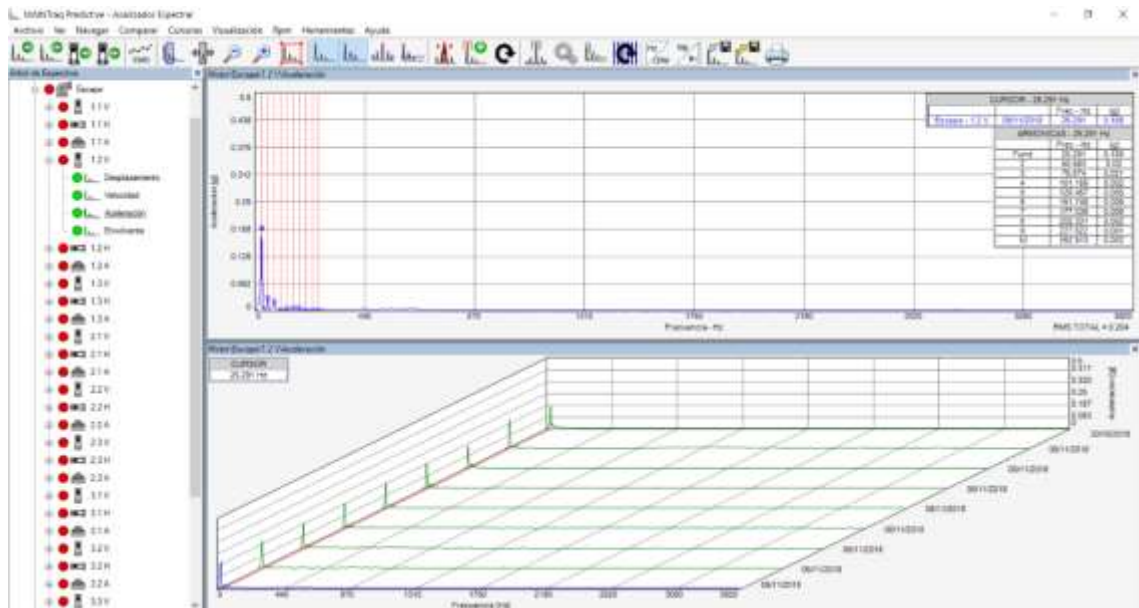


CURSOR - 1422.547CPM			
		Frec - CPM	[mm/s]
Escape - 3.4 H	06/11/2018	1422.547	12.995
ARMONICAS - 1422.547CPM			
Fund		Frec - CPM	[mm/s]
		1422.547	12.995
2		2845.093	1.007
3		4267.64	0.794
4		5690.186	0.314
5		7112.733	0.006
6		8535.279	0.103
7		9957.826	0.073
8		11380.372	0.028
9		12802.919	0.016
10		14225.465	0.004

**Figura 38-4:** Resultados del análisis de escape del motor-punto 1

**Fuente:** Guevara M & Landa L

Se realiza el análisis de espectro en las zonas señaladas, que corresponden a una velocidad de VRMS(H):12,9865mm/s, VRMS(V):5,05mm/s, VRMS(A):3,67mm/s respectivamente. Esto puede ser ocasionado por varias razones considerando que es un banco de pruebas, existen picos altos en el escape porque la velocidad de salida del aire no es la adecuada, esto se podría notar con un ruido excesivo, y podemos notar claramente que al observar un espectro con tales condiciones estamos observando que tenemos un problema en el tubo de escape.

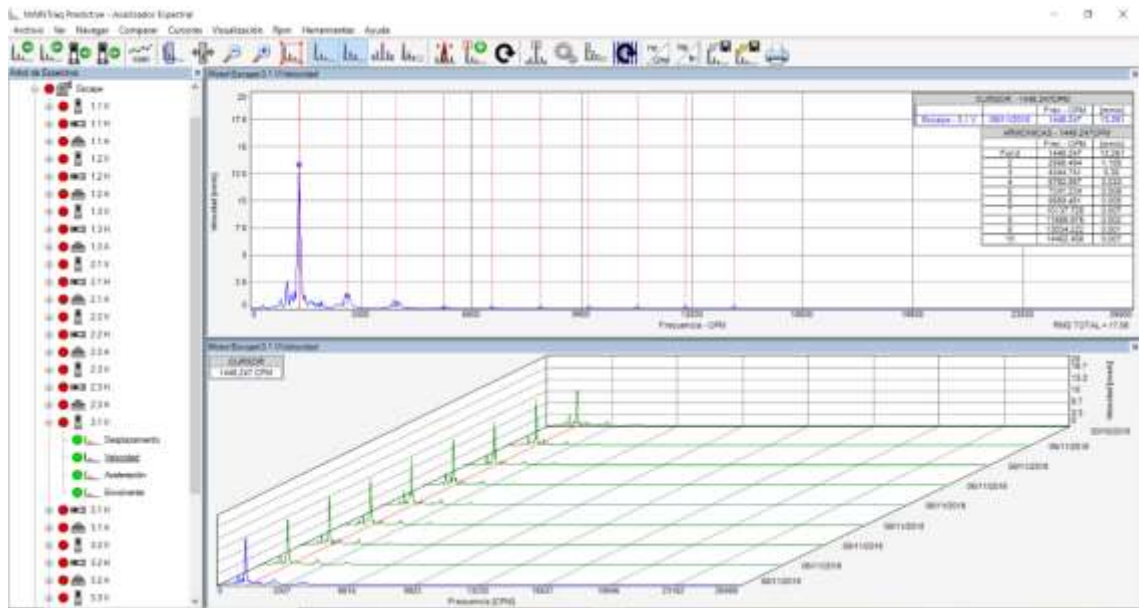


CURSOR - 25.291 Hz			
		Frec - Hz	[g]
Escape - 1.2 V	06/11/2018	25.291	0.188
ARMONICAS - 25.291 Hz			
	Frec - Hz	[g]	
Fund	25.291	0.188	
2	50.583	0.03	
3	75.874	0.021	
4	101.165	0.002	
5	126.457	0.005	
6	151.748	0.006	
7	177.039	0.006	
8	202.331	0.002	
9	227.622	0.001	
10	252.913	0.002	

**Figura 39-4:** Resultados del análisis de escape del motor-punto 2

**Fuente:** Guevara M & Landa L

Se observa claramente cómo se presenta un incremento de la vibración a la frecuencia aproximada a 1x de la frecuencia del escape del motor, lo que nos indica una anomalía en el mismo, pero esta es de menor intensidad que la anterior que puede ser ocasionada por no estar en buen estado el catalizador o existe una fuga en el sistema de escape.



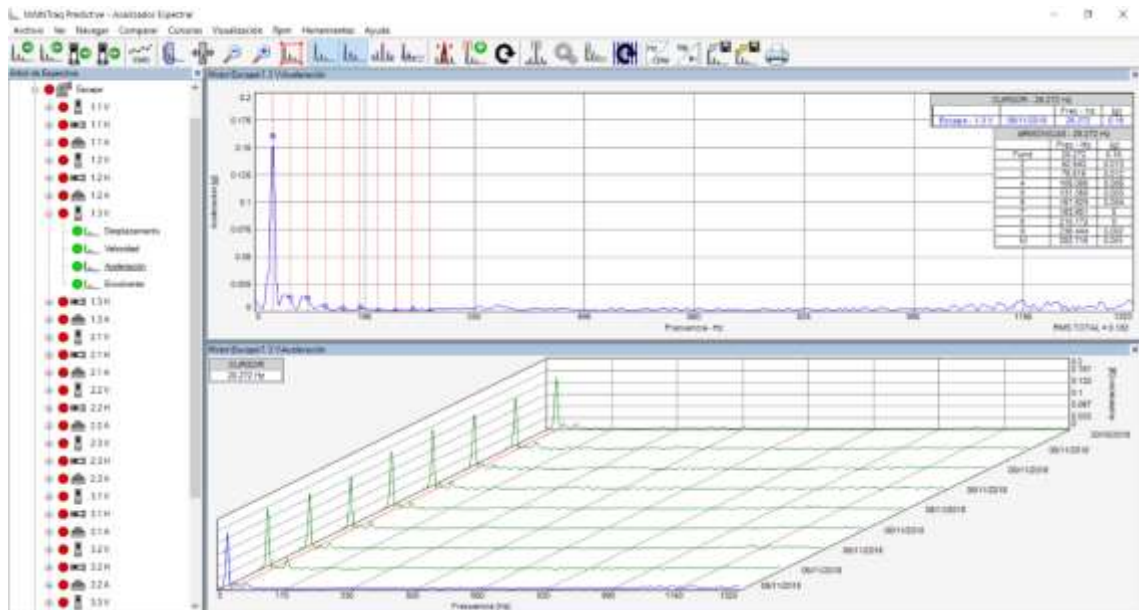
CURSOR - 1448.247CPM			
Escape - 3.1 V	06/11/2018	Frec - CPM	[mm/s]
ARMONICAS - 1448.247CPM			
Fund		1448.247	13.261
2		2896.494	1.158
3		4344.741	0.38
4		5792.987	0.033
5		7241.234	0.009
6		8689.481	0.008
7		10137.728	0.007
8		11585.975	0.002
9		13034.222	0.001
10		14482.468	0.007

**Figura 40-4:** Resultados del análisis de escape del motor-punto 3

**Fuente:** Guevara M & Landa L

Al igual que la figura anterior se tiene la presencia de vibración del escape del motor. Esta vibración aumenta un valor de velocidad total VRMS: 13,731mm/s a VRMS: 1,158mm/s. por ende se puede notar que la sintomatología es común que el anterior y existe una avería en el sistema.



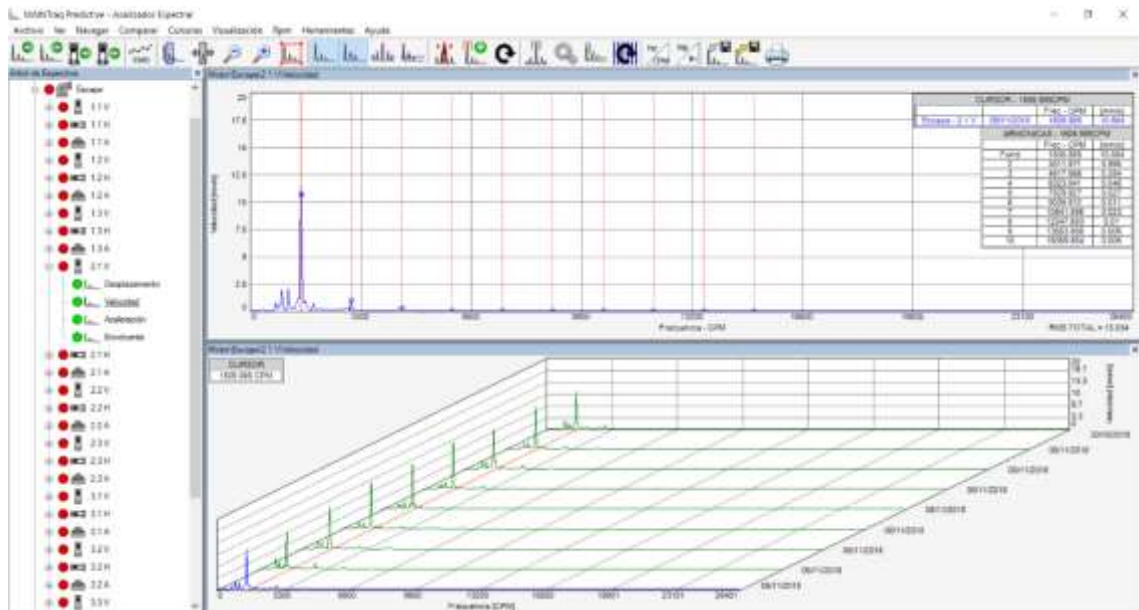


CURSOR - 26.272 Hz			
		Frec - Hz	[g]
Escape - 1.3 V	06/11/2018	26.272	0.16
ARMONICAS - 26.272 Hz			
		Frec - Hz	[g]
Fund		26.272	0.16
2		52.543	0.013
3		78.815	0.012
4		105.086	0.005
5		131.358	0.003
6		157.629	0.004
7		183.901	0
8		210.172	0
9		236.444	0.002
10		262.716	0.001

**Figura 41-4:** Resultados del análisis de escape del motor-punto 4

**Fuente:** Guevara M & Landa L

En la figura se observa que al provocar el desbalanceo se produce un incremento de la velocidad de vibración a una frecuencia de 262,761 CPM que corresponde a una frecuencia 1x de vibración. La velocidad aumenta de un valor inicial de 0,012mm/s a 0,16mm/s. Y es claro notar que existe un desperfecto en el sistema de escape.

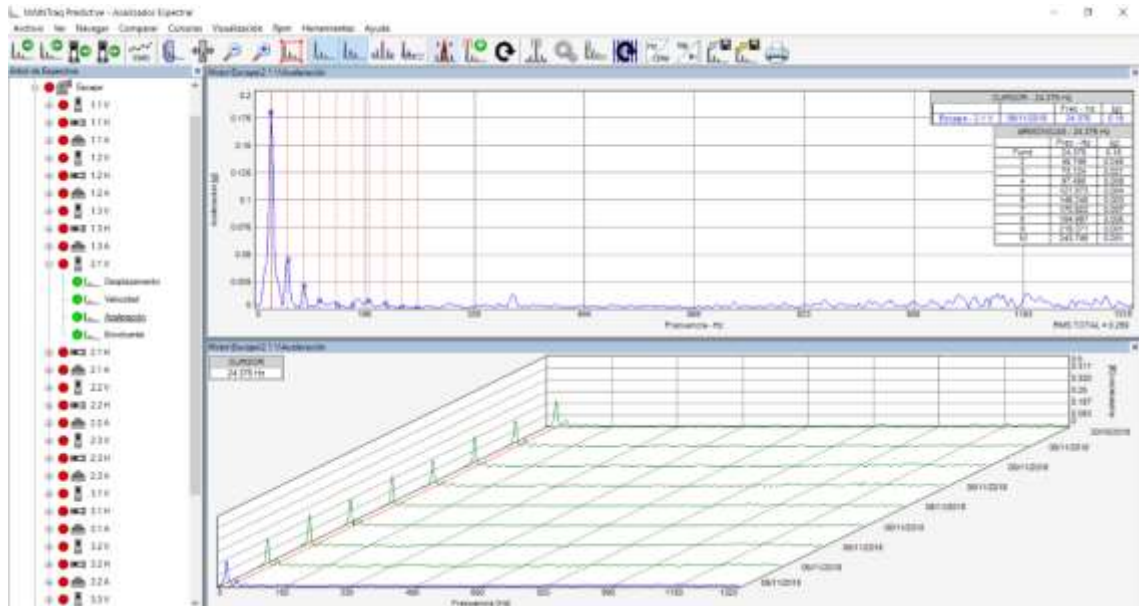


CURSOR - 1505.985CPM			
		Frec - CPM	[mm/s]
Escape - 2.1 V	06/11/2018	1505.985	10.654
ARMONICAS - 1505.985CPM			
		Frec - CPM	[mm/s]
Fund		1505.985	10.654
2		3011.971	0.995
3		4517.956	0.284
4		6023.941	0.046
5		7529.927	0.027
6		9035.912	0.011
7		10541.898	0.023
8		12047.883	0.01
9		13553.868	0.006
10		15059.854	0.005

**Figura 42-4:** Resultados del análisis de escape del motor-punto 5

**Fuente:** Guevara M & Landa L

La velocidad de vibración a la frecuencia del árbol, aproximadamente 10541,898CPM aumenta en 0,023 mm/s a 1,5mm/s es decir que al provocar el desbalanceo, la velocidad de la vibración a dicha frecuencia aumenta alrededor de diez veces el valor. En caso del desbalanceo es el problema fundamental y provoca incrementos excesivos en la evaluación lo que perjudicaría en gran magnitud el óptimo funcionamiento del motor.



CURSOR - 24.375 Hz			
		Frec - Hz	[g]
Escape - 2.1 V	06/11/2018	24.375	0.18

ARMONICAS - 24.375 Hz		
	Frec - Hz	[g]
Fund	24.375	0.18
2	48.749	0.045
3	73.124	0.021
4	97.498	0.008
5	121.873	0.004
6	146.248	0.003
7	170.622	0.007
8	194.997	0.005
9	219.371	0.001
10	243.746	0.001

**Figura 43-4:** Resultados del análisis de escape del motor-punto 6

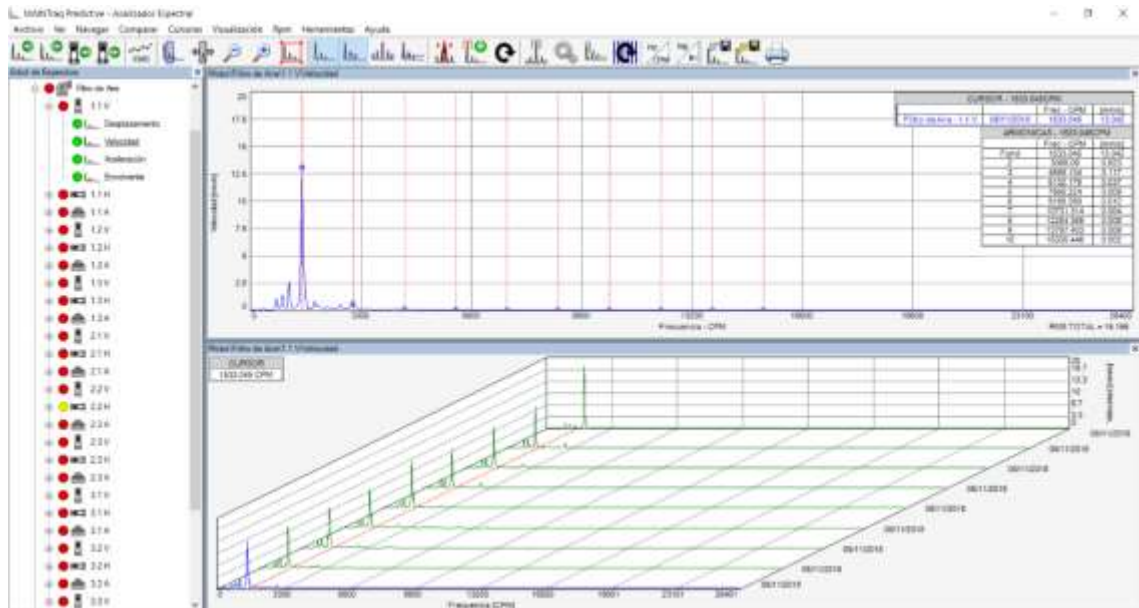
**Fuente:** Guevara M & Landa L

Se puede apreciar fácilmente la diferencia entre los espectros obtenidos, teniendo aun mayor velocidad la vibración a la frecuencia  $1/5(270)$  y  $2x(2740\text{cpm})$  del árbol de levas, luego de provocar el desbalanceo.

De esta manera los espectros obtenidos demuestran que si el sistema de escape no es adecuado los daños en el árbol de levas serian irreversibles, la sintomatología para detectar esta falla es que existen alteraciones en el ruido que normalmente tiene el motor.



## ANÁLISIS DEL FILTRO DE AIRE

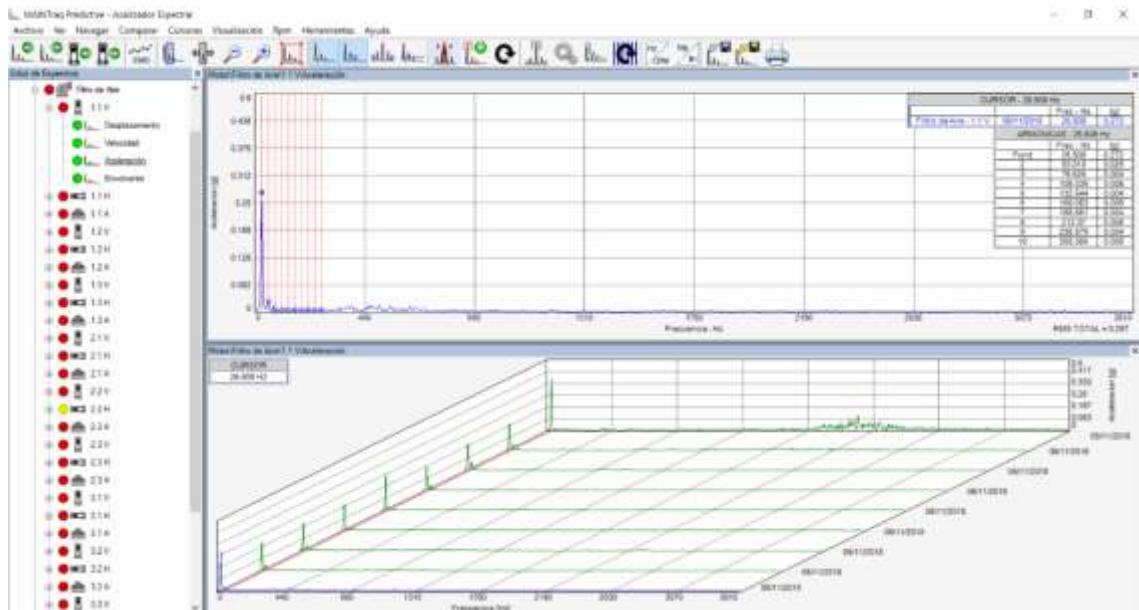


CURSOR - 1533.045CPM			
		Frec - CPM	[mm/s]
Filtro de Aire - 1.1 V	06/11/2018	1533.045	13.042
ARMONICAS - 1533.045CPM			
		Frec - CPM	[mm/s]
Fund		1533.045	13.042
2		3066.09	0.623
3		4599.134	0.117
4		6132.179	0.037
5		7665.224	0.009
6		9198.269	0.012
7		10731.314	0.004
8		12264.359	0.009
9		13797.403	0.009
10		15330.448	0.002

**Figura 44-4:** Resultados del análisis del filtro de aire-punto 1

**Fuente:** Guevara M & Landa L

Se realiza el análisis de espectro en las zonas señaladas, que corresponde a una velocidad 270 RPM y 560 RPM respectivamente. Y claramente se puede notar el espectro con un pico elevado es decir que existe una falla significativa en filtro de aire. Entonces el desbalanceo está directamente relacionado con las fallas de este elemento y se incrementan significativamente las vibraciones por la falla del mismo.

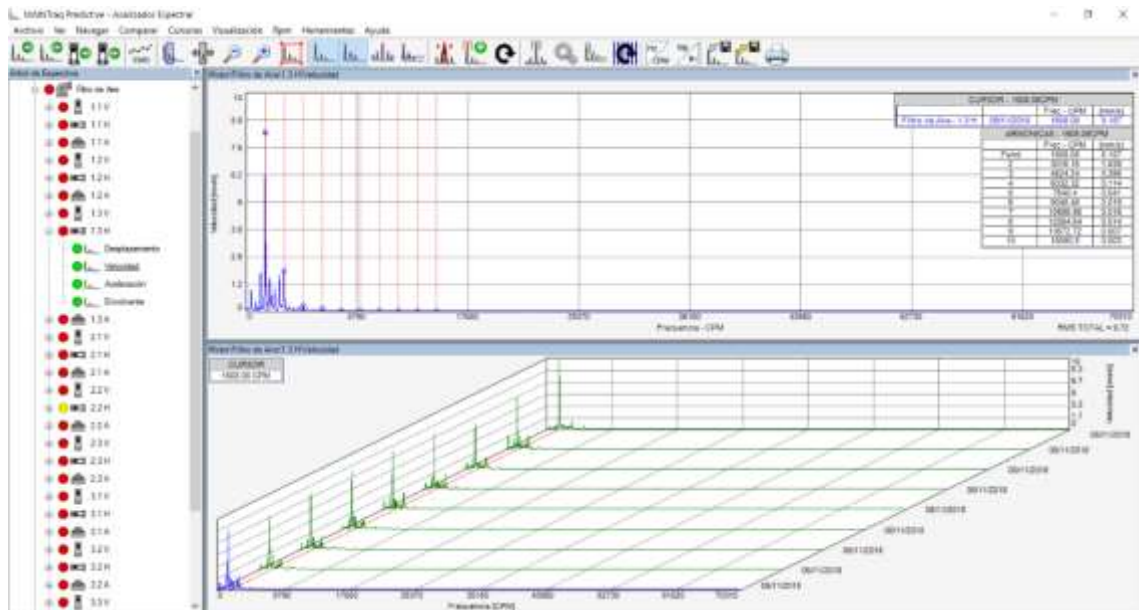


CURSOR - 26.509 Hz			
		Frec - Hz	[g]
Filtro de Aire - 1.1 V	06/11/2018	26.509	0.272
ARMONICAS - 26.509 Hz			
		Frec - Hz	[g]
Fund		26.509	0.272
2		53.018	0.025
3		79.526	0.004
4		106.035	0.005
5		132.544	0.004
6		159.053	0.005
7		185.561	0.004
8		212.07	0.006
9		238.579	0.004
10		265.088	0.005

**Figura 45-4:** Resultados del análisis del filtro de aire-punto 2

**Fuente:** Guevara M & Landa L

Se puede apreciar fácilmente la diferencia entre los espectros obtenidos, teniendo una mayor velocidad la vibración a la frecuencia del filtro de aire, luego de provocar la vibración y el desbalanceo.

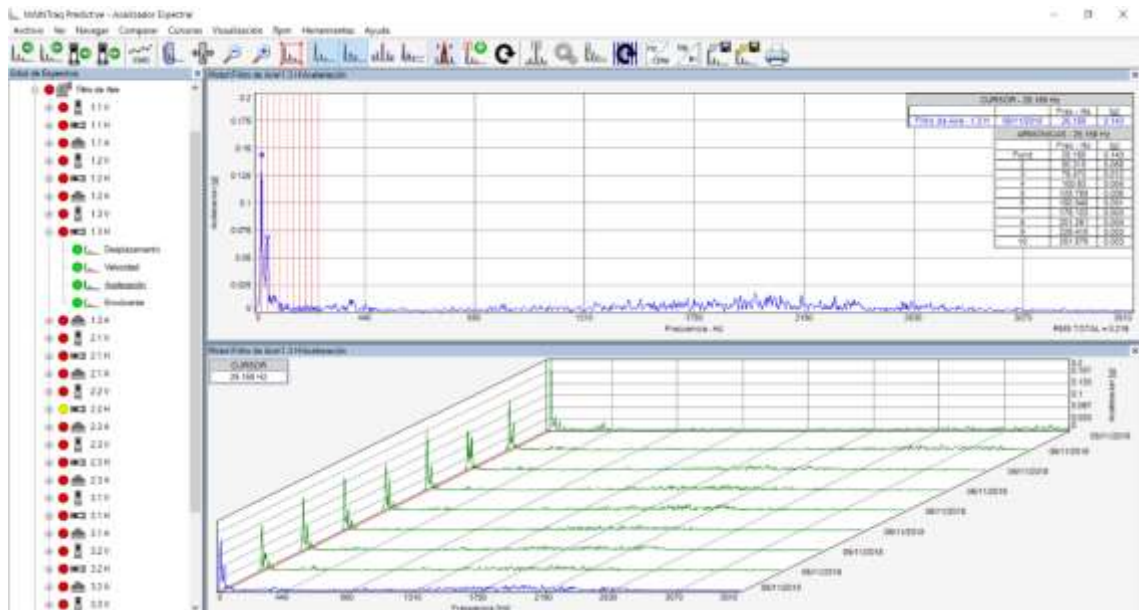


CURSOR - 1508.08CPM			
Filtro de Aire - 1.3 H	06/11/2018	Frec - CPM	[mm/s]
ARMONICAS - 1508.08CPM			
		Frec - CPM	[mm/s]
		Fund	1508.08
		2	3016.16
		3	4524.24
		4	6032.32
		5	7540.4
		6	9048.48
		7	10556.56
		8	12064.64
		9	13572.72
		10	15080.8

**Figura 46-4:** Resultados del análisis del filtro de aire-punto 3

**Fuente:** Guevara M & Landa L

Si se observa los espectros de la figura se puede constatar que aparece un pico de vibración lo cual corresponde a 1x. Y se identifica un pico alto en el espectro esto demuestra que está afectando la falla del filtro a la vibración del motor.



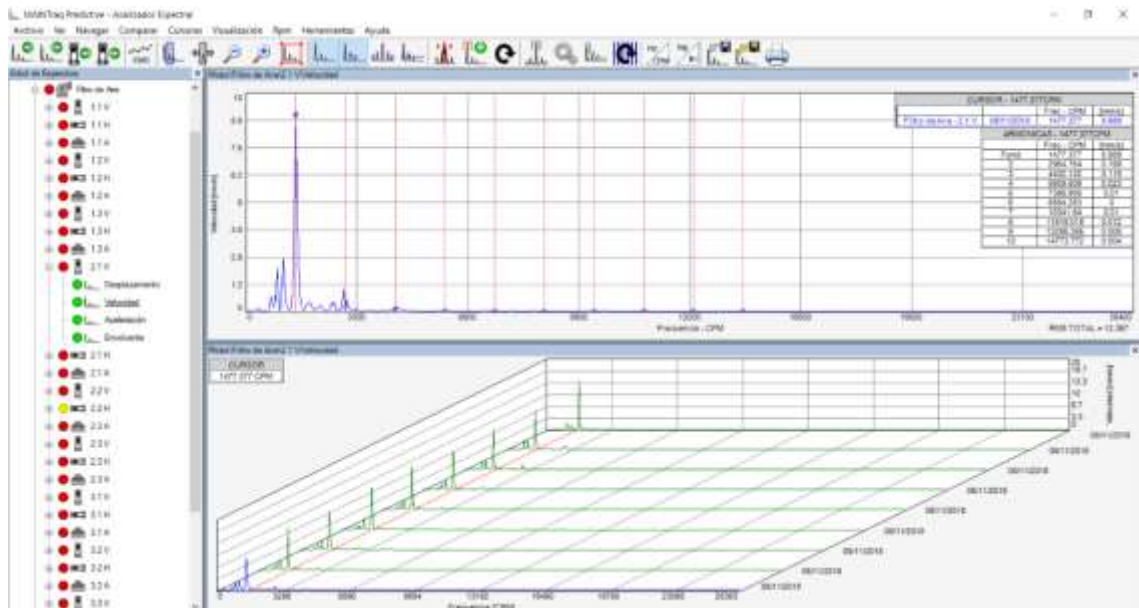
CURSOR - 25.158 Hz			
		Frec - Hz	[g]
Filtro de Aire - 1.3 H	06/11/2018	25.158	0.143
ARMONICAS - 25.158 Hz			
		Frec - Hz	[g]
Fund		25.158	0.143
2		50.315	0.068
3		75.473	0.012
4		100.63	0.004
5		125.788	0.005
6		150.946	0.001
7		176.103	0.003
8		201.261	0.004
9		226.418	0.003
10		251.576	0.003

**Figura 47-4:** Resultados del análisis del filtro de aire-punto 4

**Fuente:** Guevara M & Landa L

Se realiza el análisis de espectros de las tres zonas señaladas, que corresponde a una velocidad, medida con un fototacómetro en una de los elementos de 420 RPM y 230 RPM respectivamente. Y también se pueden notar incremento en las vibraciones del motor, por ende, las fallas están relacionadas con las vibraciones provocadas.



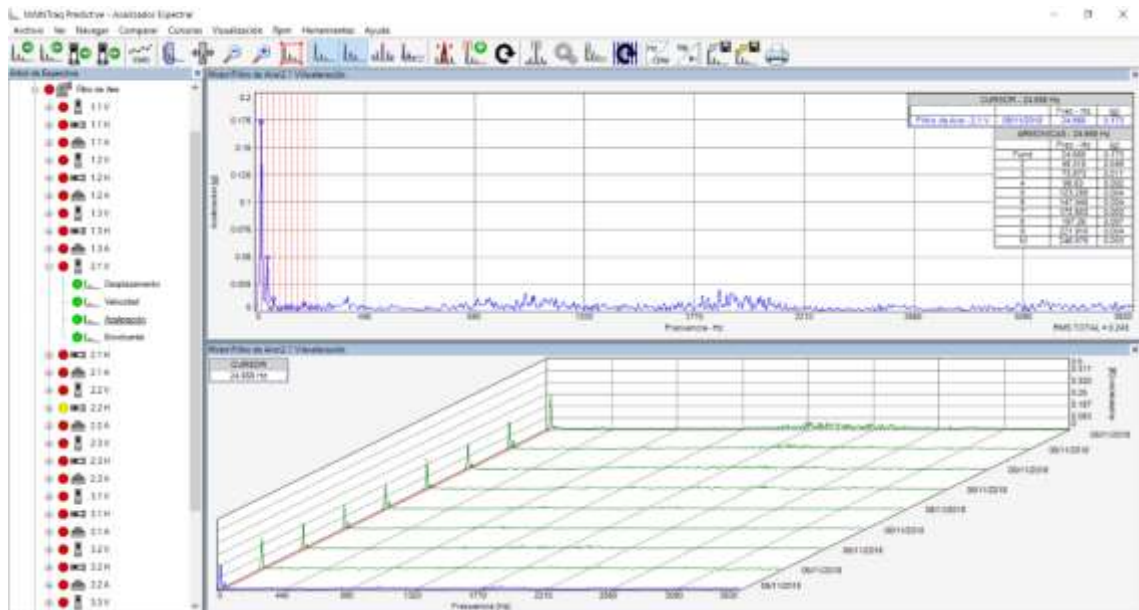


CURSOR - 1477.377CPM			
		Frec - CPM	[mm/s]
Filtro de Aire - 2.1 V	06/11/2018	1477.377	8.989
ARMONICAS - 1477.377CPM			
		Frec - CPM	[mm/s]
Fund		1477.377	8.989
2		2954.754	0.199
3		4432.132	0.119
4		5909.509	0.023
5		7386.886	0.01
6		8864.263	0
7		10341.64	0.01
8		11819.018	0.012
9		13296.395	0.006
10		14773.772	0.004

**Figura 48-4:** Resultados del análisis del filtro de aire-punto 6

**Fuente:** Guevara M & Landa L

Al realizar el análisis de espectros obtenidos con el acelerómetro en el cigüeñal no se encuentra cambios relevantes al provocar el desbalanceo. Por ende, el cigüeñal no se ve afectado por el desbalanceo, pero no es susceptible a recibir daños por las vibraciones del sistema en general.



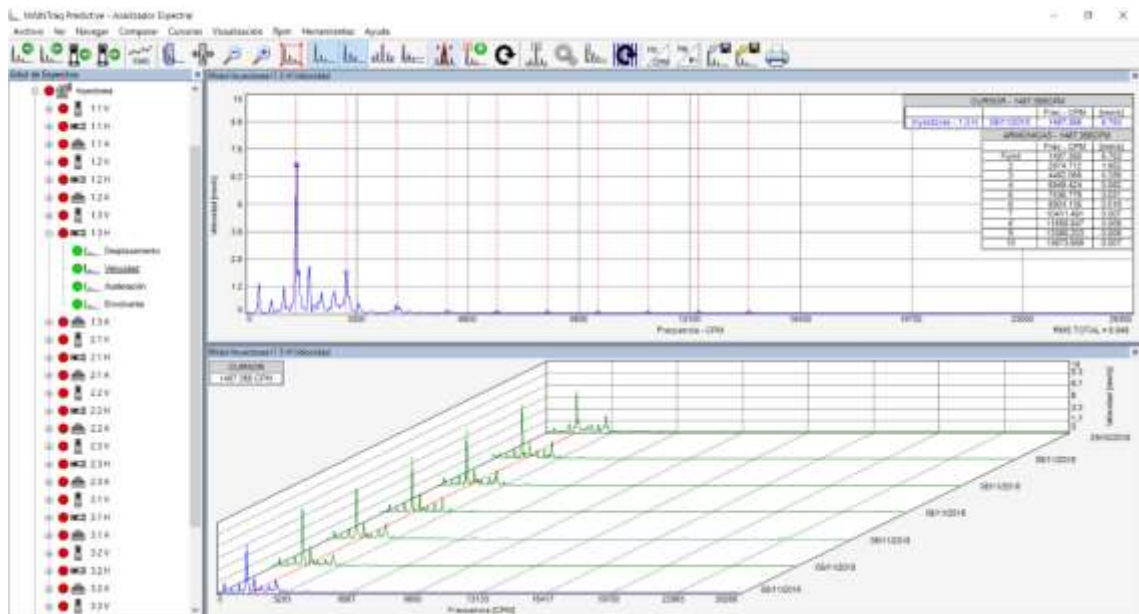
CURSOR - 24.658 Hz			
		Frec - Hz	[g]
Filtro de Aire - 2.1 V	06/11/2018	24.658	0.173
ARMONICAS - 24.658 Hz			
		Frec - Hz	[g]
Fund		24.658	0.173
2		49.315	0.049
3		73.973	0.011
4		98.63	0.002
5		123.288	0.004
6		147.945	0.004
7		172.603	0.003
8		197.26	0.007
9		221.918	0.004
10		246.575	0.003

**Figura 49-4:** Resultados del análisis del cigüeñal

**Fuente:** Guevara M & Landa L

La forma de la onda forma cierta similitud, pero existe un incremento de la velocidad en la zona de mayor RPM, se incrementa la velocidad, pero no se ve afectado directamente por el filtro de aire, su rendimiento no se ve afectado.

## ANÁLISIS DE INYECTORES

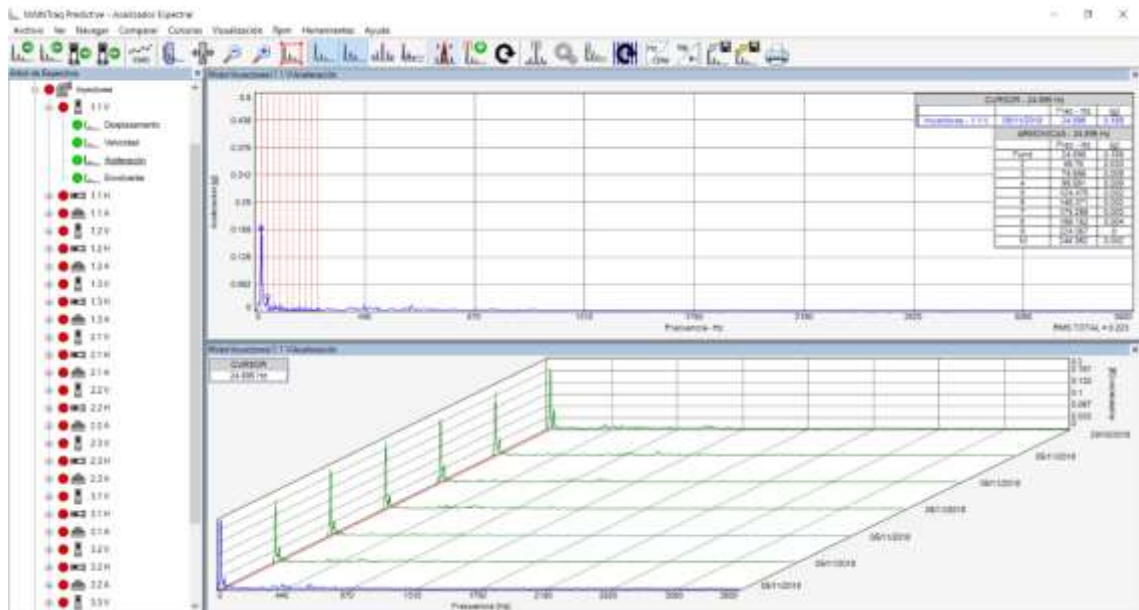


CURSOR - 1487.356CPM			
		Frec - CPM	[mm/s]
Inyectores - 1.3 H	05/11/2018	1487.356	6.753
ARMONICAS - 1487.356CPM			
		Frec - CPM	[mm/s]
Fund		1487.356	6.753
2		2974.712	1.852
3		4462.068	0.285
4		5949.424	0.052
5		7436.779	0.031
6		8924.135	0.016
7		10411.491	0.007
8		11898.847	0.006
9		13386.203	0.005
10		14873.559	0.007

**Figura 50-4:** Resultados del análisis de los inyectores-punto 1

**Fuente:** Guevara M & Landa L

En el espectro de referencia se tiene un pico de frecuencia de 1x del volante de inercia y que tiene un valor de 2,71 mm/s; al realizar el desbalanceo, la velocidad de vibración a dicha frecuencia aumenta aproximadamente al doble de su valor y aparecen pequeños picos de vibración a 2x y 3x de la frecuencia. Por ende, si existen daños significativos en los inyectores se ven directamente afectados los parámetros de velocidad lo que disminuye el rendimiento del motor.



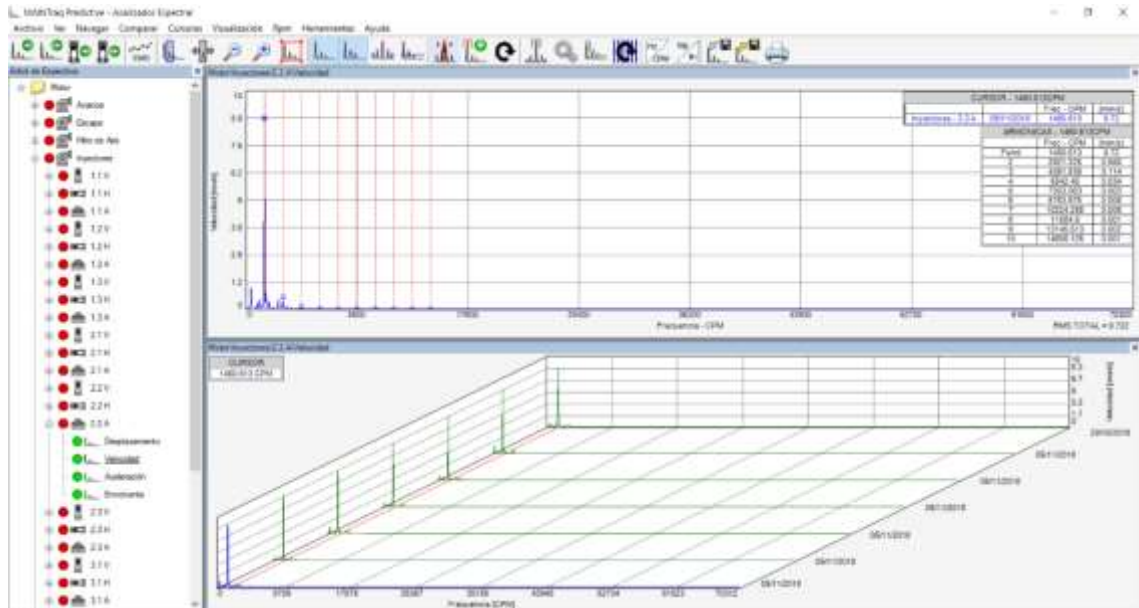
CURSOR - 24.895 Hz			
		Frec - Hz	[g]
Inyectores - 1.1 V	05/11/2018	24.895	0.189
ARMONICAS - 24.895 Hz			
Fund		Frec - Hz	[g]
		24.895	0.189
2		49.79	0.033
3		74.686	0.009
4		99.581	0.008
5		124.476	0.002
6		149.371	0.002
7		174.266	0.003
8		199.162	0.004
9		224.057	0
10		248.952	0.002

**Figura 51-4:** Resultados del análisis de los inyectores-punto 2

**Fuente:** Guevara M & Landa L

Al observar las formas de las ondas de aceleración obtenidas con el acelerómetro en el asiento del motor se ve que existe un incremento a bajas RPM, lo cual no es normal para el desbalanceo provocado por el mismo, esto puede ser ocasionado por otros factores, así como una impureza en los inyectores o su tiempo de vida útil finaliza.





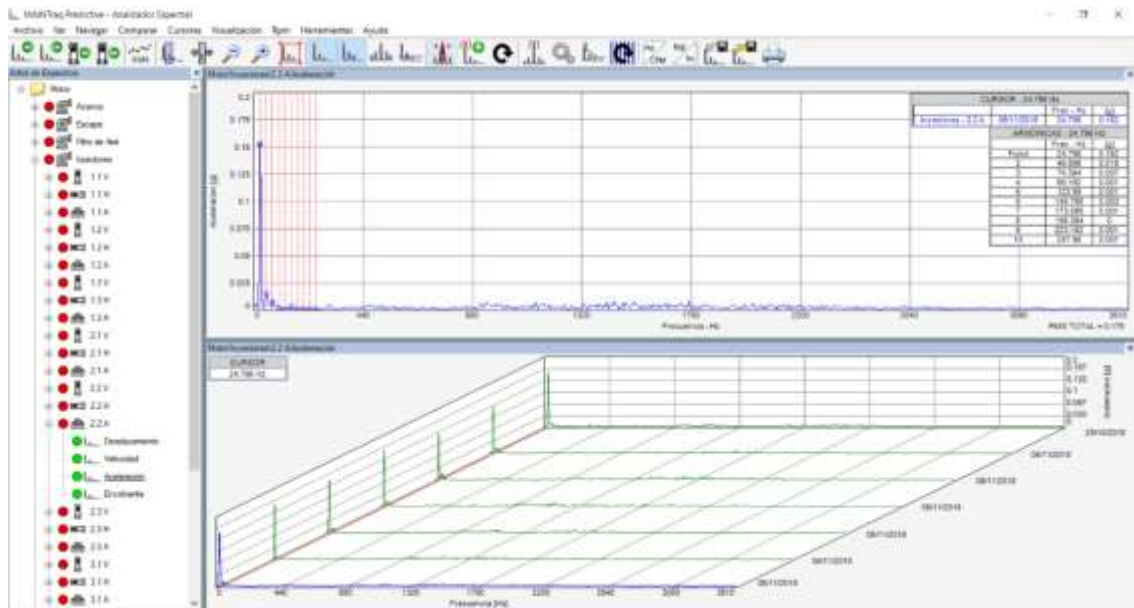
CURSOR - 1460.613CPM			
		Frec - CPM	[mm/s]
Inyectores - 2.2 A	05/11/2018	1460.613	8.72

ARMONICAS - 1460.613CPM			
	Frec - CPM	[mm/s]	
Fund	1460.613	8.72	
2	2921.225	0.558	
3	4381.838	0.114	
4	5842.45	0.034	
5	7303.063	0.003	
6	8763.675	0.006	
7	10224.288	0.005	
8	11684.9	0.001	
9	13145.513	0.002	
10	14606.125	0.001	

**Figura 52-4:** Resultados del análisis de los inyectores-punto 3

**Fuente:** Guevara M & Landa L



CURSOR - 24.798 Hz			
	Frec - Hz	[g]	
Inyectores - 2.2 A	05/11/2018	24.798	0.152

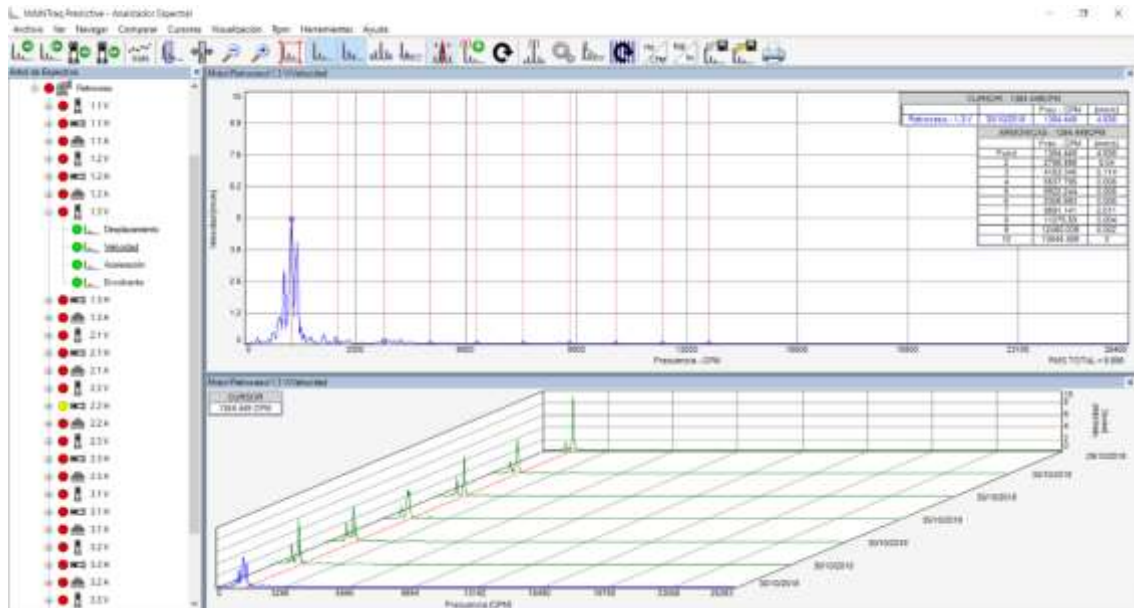
ARMONICAS - 24.798 Hz			
	Frec - Hz	[g]	
Fund	24.798	0.152	
2	49.596	0.015	
3	74.394	0.007	
4	99.192	0.001	
5	123.99	0.001	
6	148.788	0.003	
7	173.586	0.001	
8	198.384	0	
9	223.182	0.001	
10	247.98	0.001	

**Figura 53-4:** Resultados del análisis de los inyectores-punto 4

**Fuente:** Guevara M & Landa L

Al realizar el análisis sobre las líneas trazadas en las figuras se observa que no existe una diferencia apreciable entre los espectros obtenidos con el acelerómetro en el asiento del motor.

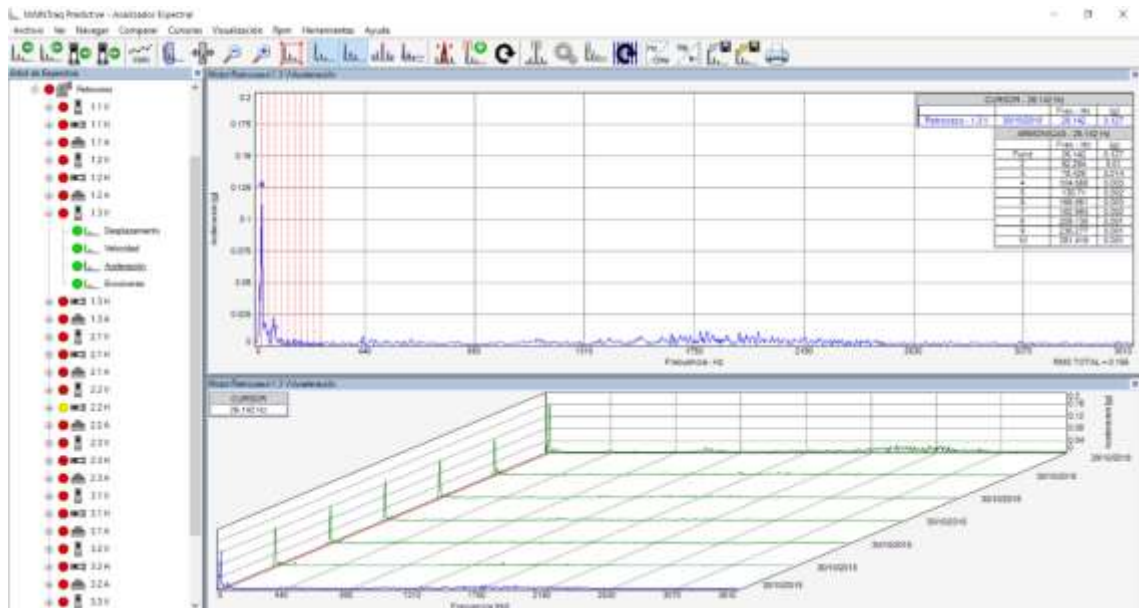
# ANÁLISIS DE RETROCESO DEL MOTOR



CURSOR - 1384.449CPM			
		Frec - CPM	[mm/s]
Retroceso - 1.3 V	30/10/2018	1384.449	4.938
ARMONICAS - 1384.449CPM			
Fund		Frec - CPM	[mm/s]
		1384.449	4.938
2		2768.898	0.04
3		4153.346	0.114
4		5537.795	0.006
5		6922.244	0.008
6		8306.693	0.006
7		9691.141	0.011
8		11075.59	0.004
9		12460.039	0.002
10		13844.488	0

**Figura 54-4:** Resultados del análisis de retroceso del motor-punto 1

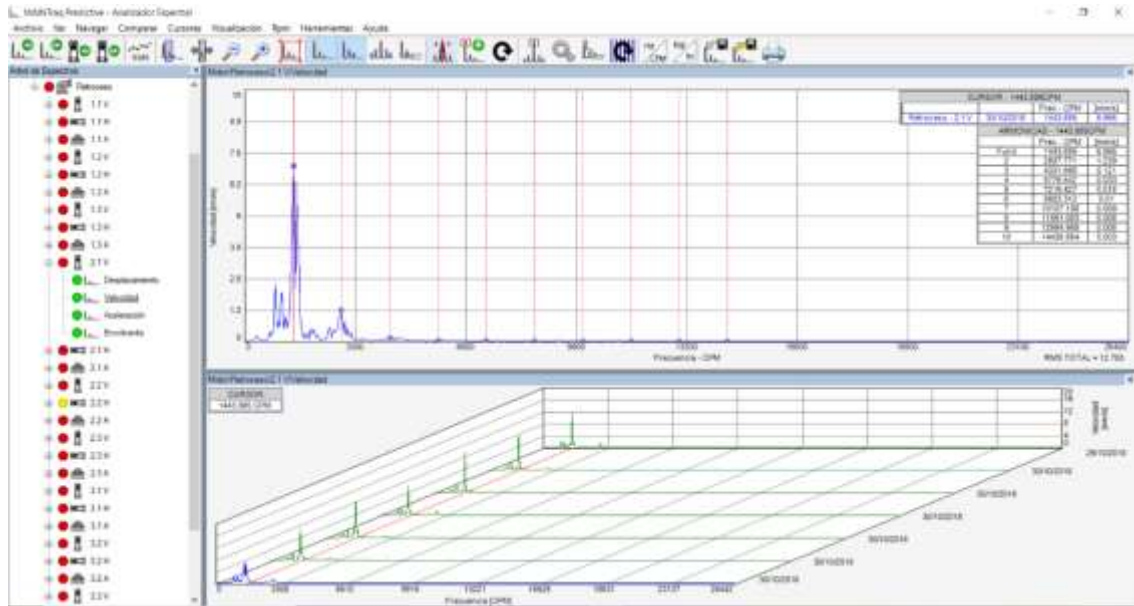
**Fuente:** Guevara M & Landa L



CURSOR - 26.142 Hz			
		Frec - Hz	[g]
Retroceso - 1.3V	30/10/2018	26.142	0.127
ARMONICAS - 26.142 Hz			
	Frec - Hz	[g]	
Fund	26.142	0.127	
2	52.284	0.01	
3	78.426	0.014	
4	104.568	0.003	
5	130.71	0.002	
6	156.851	0.003	
7	182.993	0.002	
8	209.135	0.001	
9	235.277	0.001	
10	261.419	0.001	

**Figura 55-4:** Resultados del análisis de retroceso del motor-punto 2

**Fuente:** Guevara M & Landa L

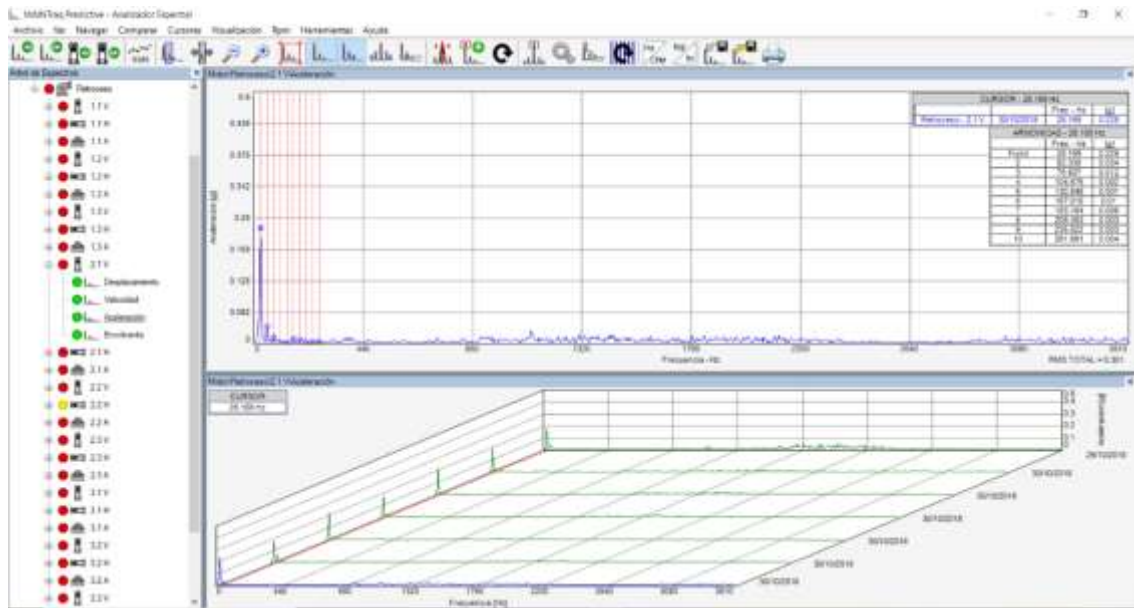


CURSOR - 1443.885CPM			
		Frec - CPM	[mm/s]
Retroseso - 2.1 V	30/10/2018	1443.885	6.965
ARMONICAS - 1443.885CPM			
Fund		Frec - CPM	[mm/s]
		1443.885	6.965
2		2887.771	1.239
3		4331.656	0.121
4		5775.542	0.033
5		7219.427	0.018
6		8663.312	0.01
7		10107.198	0.009
8		11551.083	0.008
9		12994.968	0.006
10		14438.854	0.003

**Figura 56-4:** Resultados del análisis de retroseso del motor-punto 3

**Fuente:** Guevara M & Landa L

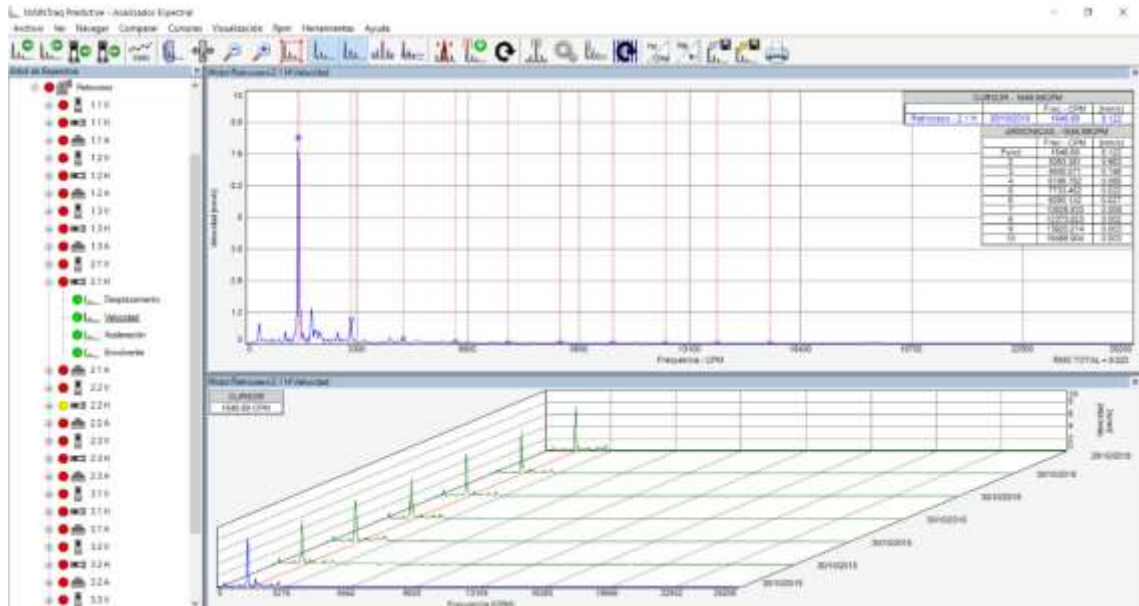




CURSOR - 26.169 Hz			
	Frec - Hz	[g]	
Retroceso - 2.1 V	30/10/2018	26.169	0.229
ARMONICAS - 26.169 Hz			
	Frec - Hz	[g]	
Fund	26.169	0.229	
2	52.338	0.034	
3	78.507	0.012	
4	104.676	0.002	
5	130.846	0.001	
6	157.015	0.01	
7	183.184	0.008	
8	209.353	0.003	
9	235.522	0.003	
10	261.691	0.004	

**Figura 57-4:** Resultados del análisis de retroceso del motor-punto 4

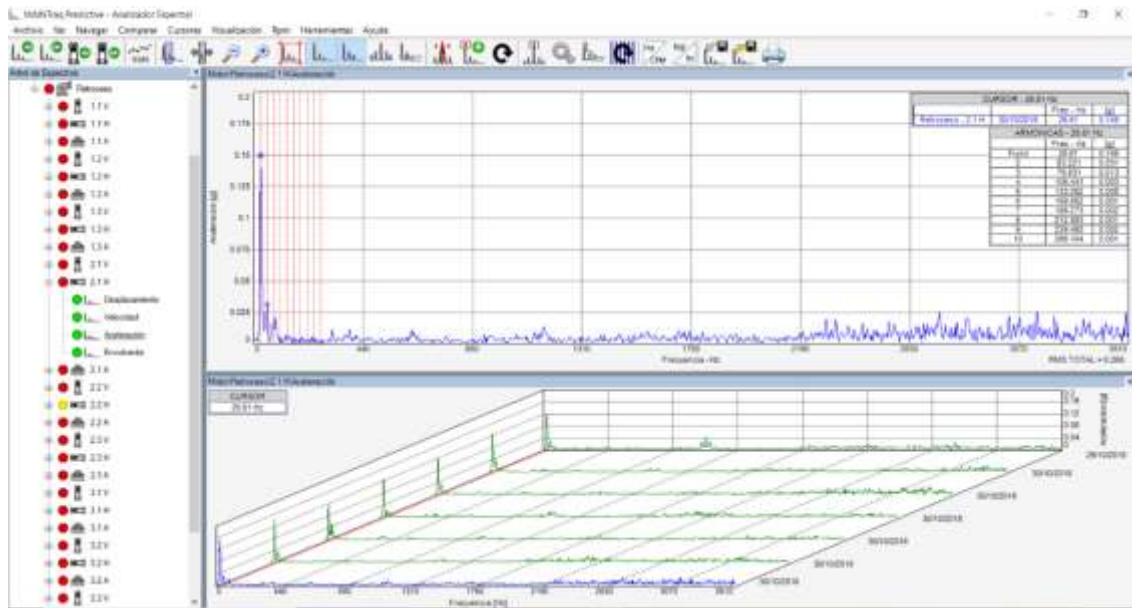
**Fuente:** Guevara M & Landa L



CURSOR - 1546.69CPM			
		Frec - CPM	[mm/s]
Retroceso - 2.1 H	30/10/2018	1546.69	8.122
ARMONICAS - 1546.69CPM			
Fund		Frec - CPM	[mm/s]
1		1546.69	8.122
2		3093.381	0.963
3		4640.071	0.198
4		6186.762	0.066
5		7733.452	0.022
6		9280.142	0.027
7		10826.833	0.009
8		12373.523	0.002
9		13920.214	0.003
10		15466.904	0.003

**Figura 58-4:** Resultados del análisis de retroceso del motor-punto 5

**Fuente:** Guevara M & Landa L



CURSOR - 26.61 Hz			
		Frec - Hz	[g]
Retroceso - 2.1 H	30/10/2018	26.61	0.149
ARMONICAS - 26.61 Hz			
		Frec - Hz	[g]
Fund		26.61	0.149
2		53.221	0.031
3		79.831	0.013
4		106.441	0.003
5		133.052	0.005
6		159.662	0.001
7		186.273	0.002
8		212.883	0.001
9		239.493	0.002
10		266.104	0.001

**Figura 59-4:** Resultados del análisis de retroceso del motor-punto 6

**Fuente:** Guevara M & Landa L

Se realiza el análisis de espectros en las zonas señaladas, que corresponde a una velocidad de 270rpm y 560 rpm respectivamente.

Se realiza el analisis del espectro de las tres zonas señaladas, que correspondan a una velocidad, medida con una fototacometro en el volante de inercia, de 420 rpm y 230 rpm, respectivamente.



Al realizar el análisis de espectros obtenidos con acelerómetros en el motor no se encuentra cambios revelantes al provocar el desbalanceo del árbol.

Se realizará el espectro en las zonas señaladas, que corresponde a una velocidad de 380rpm, 630 rpm, 580rpm y 370 rpm respectivamente.

Se observó claramente cómo se presenta un incremento en la vibración a la frecuencia aproximada de 1x de la frecuencia del árbol de levas, lo que nos indica una anomalía en el mismo.

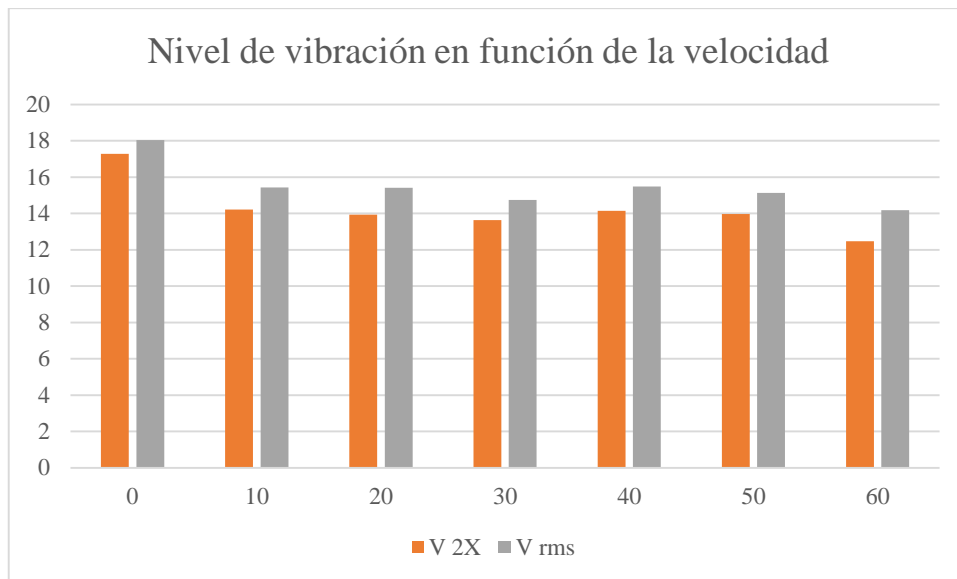
Resultados de las pruebas del motor

Al observar las formas de ondas de velocidad obtenidas con el acelerómetro en el motor se observa que existe gran similitud entre ondas con ciertos valores altos y bajos RPM, en las zonas señaladas.

Análisis de espectros de vibración a 190 rpm

En la figura anterior se observa que el cambio que presenta el espectro luego del desbalanceo es claro, donde se tiene el mayor pico a una frecuencia de 500 cpm es decir a  $1/2x$  de la frecuencia del motor, lo cual es indicativo de problemas en avance, los otros tres picos se dan a 1x, 1,5x y 2x.

Al realizar el desbalanceo el segundo se da a 1020 cpm,  $1/2x$  de frecuencia del motor los otros picos son armónicos de la frecuencia del motor.



**Gráfico 9-4:** Niveles de vibraciones en los puntos de experimentación o de prueba

**Elaborado por:** Guevara M & Landa L

En la gráfica mostrada anteriormente se puede evidenciar que los valores obtenidos en la experimentación en el motor analizado de vibración, se evidencia que la fluctuación de los datos se representa de manera constante.

## 4.5 Análisis inferencial

### 4.5.1 Planteamiento de la hipótesis.

**Hipótesis Nula  $H_0$ :** La realización de un estudio de vibraciones en motores de combustión interna J-20 A no facilitará el diagnóstico de modos las fallas que afectan de manera directa al correcto funcionamiento del motor.

**Hipótesis Alterna  $H_a$ :** La realización de un estudio de vibraciones en motores de combustión interna J-20 A facilitará el diagnóstico de modos las fallas que afectan de manera directa al correcto funcionamiento del motor.

### Comprobación de hipótesis

Variable independiente: estudio de vibraciones

Variable dependiente: diagnóstico de fallas

CONDICIONES NORMALES				
Avance de encendido	1.2 A	3.856 mm/s		
Retroceso de encendido	1.3 V	9.883 mm/s		
Inyectores	1.3H	7.692 mm/s		
Filtro de aire	2.1 V	12.354 mm/s		
Escape	3.4 H	10.515 mm/s		
CON SIMULACIÓN DE FALLAS	PUNTO	VELOCIDAD	2PUNTO	VELOCIDAD
Avance de encendido	1.2 A	5.693 mm/s	1.1 A	4.062 mm/s
Retroceso de encendido	1.3 V	9.996 mm/s	2.1 H	9.022 mm/s
Inyectores	1.3H	8.949 mm/s	3.2 V	8.039 mm/s
Filtro de aire	2.1 V	12.367 mm/s	1.1 V	15.155mm/s
Escape	3.4 H	14.129 mm/s	3.1 V	17.06mm/s

**Elaborado por:** Guevara M & Landa L

## **4.6 Mantenimiento predictivo**

Las recomendaciones principales que se pueden efectuar según los datos obtenidos, para el mantenimiento preventivo son los siguientes

### **4.6.1 Inspecciones visuales**

Las inspecciones visuales principalmente consisten en la observación del motor, para identificar posibles problemas que sean de fácil detección, como por ejemplo una fuga de aceite o filtro de aire deteriorado o un cable desconectado. También se puede proveer los daños del mismo en función de vibraciones extrañas, ruidos anormales y fugas de aire, agua u otro, comprobación del estado de corrosión o su pintura.

Estas inspecciones y lecturas se aconsejan realizar diariamente o semanalmente. Es de suma importancia importante mantener el motor y sus partes cercanas lo más limpio posible para detectar las fugas rápidamente.

Estas revisiones deben realizarse cuando se tenga la certeza de posibles problemas sin dejar que estos se incrementen mecánicos en dichas válvulas (por ejemplo, cuando haya una subida progresiva de la temperatura de los gases de escape).

### **4.6.2 Análisis del líquido de refrigeración de alta temperatura**

Es un factor muy importante en la actualidad, pero este análisis no se realiza. El bloque-motor debe refrigerarse con agua tratada para evitar daños irreparables (corrosión, desgastes o sonidos extraños).

### **4.6.3 Formatos de mantenimiento predictivo diario**

En este formato se registrará diariamente los datos obtenidos de la revisión correspondiente a los componentes del motor, se realizará una inspección de las condiciones mínimas requerida por el fabricante o especificadas para su fabricación y su correcta operación del equipo. Ingresando en la parte superior del formato los nombres de quien realiza la revisión y la fecha de esta, en la parte inferior se denotan todas las actividades de inspección pertinentes a los elementos más importantes del motor y se registrará el estado del componente dependiendo si está en buen o mal estado, simbolizados en el formato con la letra B y M respectivamente. Este es un formato

propuesto no solo para el caso realizado, sino también para los demás motores de combustión interna, resultando un aporte significativo la presente investigación.

**Tabla 9-4:** Control de mantenimiento predictivo diario.

<b>EQUIPO</b>	<b>DIAGNOSTICO</b>	<b>RECOMENDACIONES</b>
<b>AVANCE DE ENCENDIDO</b>	El nivel de vibración es tolerante de la maquina en general.	Diagnosticar con el equipo adecuado.
<b>RETROCESO DE ENCENDIDO</b>	Se descarta la existencia de desbalanceo debido a que el plano dominante es el 1.3 y 2.1H con un valores insignificante para poder analizar.	Se recomienda ser diagnosticado el modo de falla con otro equipo ya que el analizador no puede medir porque hay valores muy bajos de vibración.
<b>INYECTORES</b>	Los valores que se obtuvo durante el monitoreo tienen valores relativamente bajos, además los patrones espectrales que presenta no está relacionado a ningún modo de fallo por lo tanto se asume que dicha vibración corresponde al régimen normal de trabajo.	No se recomienda analizar la falla de los inyectores ya que los rangos de velocidad son muy insignificantes.
<b>FILTRO DE AIRE</b>	Los posibles problemas de vibración característicos según los espectros capturados se tienen desbalanceo y excentricidad la cual afecta directamente al banco de pruebas.	Verificar si el filtro de aire necesita ser cambiado
<b>ESCAPE</b>	Muestra los niveles altos de vibración en mm/s en los puntos de 3.4 H y 3.1 V por lo tanto se concluye la presencia de modos de fallos.	Verificar el tubo de escape

**Elaborado por:** Guevara M & Landa L

## CONCLUSIONES

- Se fundamentó teóricamente las bases necesarias para la aplicación del análisis de vibraciones en motores de combustión interna J20-A realizando satisfactoriamente las pruebas planteadas.
- Se determinó la metodología experimental adecuada para el estudio de vibraciones, realizando mediante tablas y gráficos el análisis de las variables, utilizando la experimentación como base del estudio.
- Se realizó de manera adecuada el estudio de vibraciones recopilando los datos y simulando las fallas para determinar la sintomatología que presenta el motor en cada uno de los modos de fallas analizados.
- Se encontró en el simulador de fallas datos que denotan inexactitud en el análisis son los datos en el avance y retroceso que por el sistema electrónico utilizado existe una compensación en estos parámetros por ende los resultados no pueden ser analizados
- Se realizó el análisis de espectros obtenidos con acelerómetros en el motor no se encuentra cambios relevantes al provocar el desbalanceo del árbol. Se observó claramente cómo se presenta un incremento en la vibración a la frecuencia aproximada de 1x de la frecuencia del árbol de levas, lo que indica una anomalía en el mismo.
- Se realizó un análisis comparativo con los valores obtenidos en el banco de pruebas para crear una base de datos de síntomas y fallas que contribuyan al diagnóstico para programas de mantenimiento predictivo, estableciendo los factores principales de las fallas encontrando datos significativos en el sistema del escape y el filtro de aire.

## RECOMENDACIONES

- Utilizar el equipo de protección personal adecuado, para proteger las vías respiratorias emitidas por los gases de motor.
- Realizar un estudio técnico para medir el nivel de vibraciones existentes en el motor de combustión interna, para que de esta manera poder seleccionar correctamente la posición del acelerómetro.
- Implementar el análisis de vibraciones en el mantenimiento predictivo del motor de combustión interna.
- Tomar en cuenta los puntos en donde se determinó como críticos en esta investigación para prestar mayor atención.
- Se ha revisado varias bibliografías donde se evidencia que la efectividad de un mantenimiento preventivo nunca es del 100%, se recomienda el diseño de una propuesta para un plan de mantenimiento correctivo para garantizar imprevistos de mantenimiento y extender el tiempo de vida útil del motor.
- Utilizar los elementos de recambio, como filtros de aire, sensores, filtros de los inyectores, rodamientos, cables del sistema eléctrico, avance y retardo del encendido recomendados por el fabricante.

## BIBLIOGRAFÍA

**Álvarez, R.** *Metodología de la investigación: Operacionalización de Variables.* Medellín : McGraw-Hill., 2012 pp 54.

**Ortega, Aniceto.** *Tutorial de vibraciones para la telemetria.* Mexico: 2014. pp. 15.

**Arbaiza, Pedro Nicolas Molina.** *Estudio de factibilidad de una empresa de Telemetria en el Ecuador. Tesis (Pregrado).* Guayaquil : Universidad Ecotec, 2010.

**Armijos, Jhonny Omar.** *Diseño del sistema de potencia de un prototipo de vehículo mediante el uso de energía solar para la competencia de vehículos world solar challenge.” (Tesis) Pregrado.* Riobamba: DspaceEscpoch, 2017. [Consulta: 20 agosto 2018]. Disponible en: <http://dspace.espoch.edu.ec/handle/123456789/6994>

**Berrones, Victor Hugo Tapia.** *Diseño e implementación de un sistema de transferencia de datos por telemetria para un vehiculo de competencia con el uso tecnología inalámbrica bluetooth” (Tesis) Pregrado.* Riobamba: DspaceEspoch, 2013. [Consulta: 23 septiembre 2018]. Disponible en: <http://dspace.espoch.edu.ec/handle/123456789/2918>

**Garavito, Julio.** *Protocolo de vibraciones.* Colombia: Laboritorios Produccion , 2011.

**García, Angel Ycán & Espinosa, Alfredo Hernández.** *Estudio y oferta de una Red de Telemetría y Telecontrol para la OBE de Ciego de Avila. (Tesis) Pregrado.* Viilla Clara Cuba : Universidad Central “Marta Abreu” De Las Villas., 2004. [Consulta: 3 septiembre 2018]. Disponible en: <http://dspace.uclv.edu.cu/handle/123456789/5725>

**Hernández, Juan Camilo Quintero.** *Diseño de un sistema de ordeño mecánico portátil.* Medellin: EAFIT, 2010.

**IDEARA, SL.** *Vibraciones mecánicas. Factores relacionados con la fuente y medidas de control.* España : Pontevedra, 2014.



**Instituto Ecuatoriano de Estadísticas y Censos.** *VICenso de población.* Riobamba: UNFPA, 2010.

**EL UNIVERSO.** *La energía solar se abre terreno en Ecuador* 2017, El Universo, pp. 12.

**ISO 2041.** *Vibracion y choques-Vocabulario.* 2009

**Llanes, Rudol Katari Huallpa.** *Software de Telecontrol y telemetria para el proceso de medición y control de nanosatelite Wara. (Tesis). Pregrado.* Puno: UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO, 2014. [Consulta: 14 octubre 2018]. Disponible en: <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/2636>

**Menéndez, Miguel Ángel.** *Telemetría: Un poco de historia.* España: EA1BCU, 2015.

**Meneses, Carlos.** *Analisis de Vibraciones.* Colombia: 2015.

**Montgomery, Douglas.** *Diseño y analisis de Experimentos.* México: Limusa S.A., 2004.

**Mora, Miguel Angel & Cruz, Bladimir Barragán.** *Telemetría para un automovil de carreras (Tesis). Pregrado.* Bogotá: Universidad de la Salle, 2007. [Consulta: 14 octubre 2018]. Disponible en: [repository.lasalle.edu.co/bitstream/10185/16189/2/44991102.pdf](http://repository.lasalle.edu.co/bitstream/10185/16189/2/44991102.pdf)

**Viso, Esteban.** *Qué son los coches solares y cómo funcionan.* 2017, Tecvolución, pp. 17.

**Pathfinder, Mars.** *Vehículo solar.* 2017, American Solar Challenge on solar cars article, pp. 10.

**Vergara Barrios, Pedro** *Evaluación del potencial solar y eólico del campus centra de la Universidad Industrial de Santander y la ciudad de Bucaramanga.* Colombia. : Revista UIS Ingenierías, 2014. pp. 47-52. [Consulta: 1 octubre 2018]. Disponible en: <https://revistas.uis.edu.co/index.php/revistauisingenierias/article/view/49-57>