



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

**ANÁLISIS DE VIBRACIONES TORSIONALES DE ELEMENTOS  
OSCILANTES EN UN MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA  
COMO APORTE AL MONITOREO DE LA CONDICIÓN DE  
AUTOMOTORES**

**Trabajo de Titulación**

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar al grado académico de:

**INGENIERO AUTOMOTRIZ**

**AUTOR:**

**JONATHAN ALEXANDER ROBLES SANGURIMA**

Riobamba – Ecuador

2022



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE MECÁNICA**

**CARRERA INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

**ANÁLISIS DE VIBRACIONES TORSIONALES DE ELEMENTOS  
OSCILANTES EN UN MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA  
COMO APORTE AL MONITOREO DE LA CONDICIÓN DE  
AUTOMOTORES**

**Trabajo de Titulación**

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar al grado académico de:

**INGENIERO AUTOMOTRIZ**

**AUTOR: JONATHAN ALEXANDER ROBLES SANGURIMA**

**DIRECTOR: Ing. PAÚL ALEJANDRO MONTÚFAR PAZ MSc.**

Riobamba – Ecuador

2022

© 2022, Jonathan Alexander Robles Sangurima

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

Yo, JONATHAN ALEXANDER ROBLES SANGURIMA, declaro que el presente Trabajo de Titulación es de mi autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autor asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Titulación; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 15 de julio de 2022

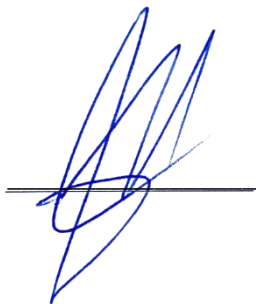
A handwritten signature in blue ink, appearing to read "Jonathan Robles", with a horizontal line drawn through it.

**Jonathan Alexander Robles Sangurima**

**0705769818**

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

El Tribunal del Trabajo de Titulación certifica que: El Trabajo de Titulación; Tipo: Proyecto de Investigación, **ANÁLISIS DE VIBRACIONES TORSIONALES DE ELEMENTOS OSCILANTES EN UN MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA COMO APOORTE AL MONITOREO DE LA CONDICIÓN DE AUTOMOTORES**, realizado por el señor **JONATHAN ALEXANDER ROBLES SANGURIMA**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Titulación, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	<b>FIRMA</b>	<b>FECHA</b>
Ing. Juan Carlos Rocha Hoyos MSc. <b>PRESIDENTE DEL TRIBUNAL</b>	 _____	2022-07-15
Ing. Paúl Alejandro Montúfar Paz MSc. <b>DIRECTOR DE TRABAJO DE TITULACIÓN</b>	 _____	2022-07-15
Ing. Eduardo Segundo Hernández Dávila MSc. <b>MIEMBRO DEL TRIBUNAL</b>	 _____	2022-07-15

## **DEDICATORIA**

El presente trabajo de titulación lo dedico al arduo esfuerzo, dedicación y guía de mis queridos padres, Balter y Rosario, siendo ejemplo de lucha constante por lograr un objetivo y he aquí demostrado.

***Jonathan***

## **AGRADECIMIENTO**

Todo es posible por la gracia de Dios, y sin su bendición ni voluntad nada hubiera sido posible, doy gracias a mis padres Balter y Rosario, por ser el pilar fundamental en el alcance de este logro, con la ayuda de sus consejos y enseñanzas; agradezco también a mis amigos quienes me apoyaron y ayudaron en el periodo académico, una extensa gratitud con la Escuela de Ingeniería Automotriz de la ESPOCH que supo abrir sus puertas y forjar en mi valores y conocimiento de parte de sus docentes, y finalmente agradezco a Karen quien en los momentos más difíciles me apoyó y brindó su compañía, realzando siempre que todo se puede lograr si uno se lo propone.

*Jonathan*

## TABLA DE CONTENIDO

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

## CAPÍTULO I

<b>1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL</b> .....	4
<b>1.1. Antecedentes</b> .....	4
<b>1.1.1. Antecedentes investigativos</b> .....	4
<b>1.1.2. Motor de combustión interna</b> .....	7
<b>1.1.3. Vibraciones</b> .....	7
<b>1.1.3.1. Características de las vibraciones</b> .....	8
<b>1.1.3.2. Dirección de oscilación de las ondas</b> .....	8
<b>1.1.3.3. Tipos de vibraciones</b> .....	9
<b>1.1.3.4. Análisis de criticidad en motores de combustión externa</b> .....	10
<b>1.1.3.5. Análisis de las vibraciones</b> .....	10
<b>1.1.3.6. Traductores de vibraciones</b> .....	11
<b>1.1.4. Rangos de vibración</b> .....	13
<b>1.1.4.1. Tipo de máquina</b> .....	13
<b>1.1.4.2. Flexibilidad del soporte</b> .....	13
<b>1.1.5. Fallas comunes de equipos rotatorios</b> .....	13

## CAPÍTULO II

<b>2. MARCO METODOLÓGICO</b> .....	16
<b>2.1. Enfoque de la investigación</b> .....	16
<b>2.2. Métodos</b> .....	16
<b>2.2.1. Método Inductivo-Deductivo</b> .....	16
<b>2.2.1.1. Enfoque del método inductivo</b> .....	16
<b>2.2.1.2. Enfoque del método deductivo</b> .....	16



<b>2.2.2.</b>	<b><i>Método Científico</i></b> .....	17
2.2.2.1.	<i>Método empírico de medición</i> .....	18
2.2.2.2.	<i>Metología cuantitativa</i> .....	18
<b>2.2.3.</b>	<b><i>Importancia de los elementos oscilantes del mci</i></b> .....	20
<b>2.2.4.</b>	<b><i>Monitoreo de la condición</i></b> .....	20
<b>2.2.5.</b>	<b><i>Vibracheck</i></b> .....	20
<b>2.2.6.</b>	<b><i>Software Maintracket predictive</i></b> .....	21
<b>2.2.7.</b>	<b><i>Selección del motor de combustión interna</i></b> .....	21
<b>2.2.8.</b>	<b><i>Medición de vibraciones</i></b> .....	21

### **CAPÍTULO III**

<b>3.</b>	<b>MARCO DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS</b> .....	24
<b>3.1</b>	<b>Analizador de espectros</b> .....	24
<b>3.2.</b>	<b>Condición inicial del motor de combustión interna Chevrolet Kalos 1.2</b> .....	25
<b>3.3.</b>	<b>Análisis estadístico</b> .....	27

	<b>CONCLUSIONES</b> .....	32
--	---------------------------	----

	<b>RECOMENDACIONES</b> .....	33
--	------------------------------	----

### **BIBLIOGRAFÍA**

### **ANEXOS**

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1-2:</b>	Enfoque del método inductivo.....	16
<b>Tabla 2-2:</b>	Enfoque del método deductivo.....	17
<b>Tabla 3-2:</b>	Toma de datos según la condición de los cojinetes de bancada.....	22
<b>Tabla 1-3:</b>	Espectro de vibración por desgaste en el punto 1.....	28
<b>Tabla 2-3:</b>	Espectro de vibración por desgaste en el punto 2 .....	29
<b>Tabla 3-3:</b>	Espectro de vibración or desgaste en el punto 3.....	30

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1-1:</b>	Espectro de un punto de apoyo entre dos cilindros.....	5
<b>Figura 2-1:</b>	Respuesta de desequilibrio de diferentes posiciones del cojinete.....	11
<b>Figura 1-2:</b>	Vibraciones tensionales en motores de combustión interna.....	19
<b>Figura 2-2:</b>	Equipo de vibraciones Vibracheck.....	21
<b>Figura 3-2:</b>	Ubicación de los puntos de análisis en el motor de combustión interna.....	22
<b>Figura 1-3:</b>	Herramientas de Maintracket Predictive.....	25

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

<b>Gráfico 1-1:</b>	Resultados de avance del motor.....	6
<b>Gráfico 1-2:</b>	Aspecto del software Maintracket Predictive con datos del punto de análisis...10	
<b>Gráfico 1-3:</b>	Análisis espectral de velocidad del LVI.....	24
<b>Gráfico 2-3:</b>	Ajuste de la gráfica espectral al área de estudio.....	25
<b>Gráfico 3-3:</b>	Espectro inicial de vibración vs espectro final .....	26
<b>Gráfico 4-3:</b>	Forma de onda con Holgura 0i MCI Kalos.....	26
<b>Gráfico 5-3:</b>	Frecuencia de vibración en MCI Kalos 1,2.....	27
<b>Gráfico 6-3:</b>	Frecuencia fundamental del cigüeñal del punto 1 en cada etapa.....	28
<b>Gráfico 7-3:</b>	Frecuencia fundamental del cigüeñal del punto 2 en cada etapa.....	29
<b>Gráfico 8-3:</b>	Frecuencia fundamental del cigüeñal del punto 3 en cada etapa.....	30
<b>Gráfico 9-3:</b>	Forma de onda con Holgura 0f MCI Kalos 1,2.....	31

## **ÍNDICE DE ANEXOS**

**ANEXO A: EVIDENCIAS FOTOGRÁFICAS DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

## RESUMEN

El presente trabajo de investigación tuvo por objetivo realizar el análisis de vibraciones torsionales de elementos oscilantes en un motor de combustión interna como aporte al monitoreo de la condición de automotores, mediante un estudio no experimental de tipo correlacional. El análisis se realizó en un motor de combustión interna marca Chevrolet Kalos 1.2, el cual se encuentra en los talleres de la Facultad de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, mediante el software Maintracket Predictive para monitorear el estado, definir las máquinas, los planes de inspección, evaluar mediciones, mostrar tendencias, analizar vibraciones y realizar la estadística. Como resultados se obtuvo que, al analizar la forma de onda tomada en la primera etapa (con Holgura 0i) se observó eventos periódicos de vibración a la frecuencia 1X lo cual correspondió a una vibración sincronizada, en el análisis estadístico al evaluar la frecuencia de vibración en MCI Kalos 1.2, se obtuvo un total de 161 medidas de vibraciones, destacando el punto máximo que es el momento exacto donde explota la chispa. Al evaluar la forma de onda con Holgura 0f MCI Kalos 1.2, se observó que, al haber mayor holgura, la película lubricante entre los cojinetes de bancada y el cigüeñal aumenta. Se concluyó que, al analizar las curvas obtenidas por el equipo de diagnóstico Vibracheck se evidenció que, al aumentar el desgaste de los cojinetes, es decir, la holgura entre los cojinetes de bancada y el cigüeñal, las frecuencias de vibraciones torsionales disminuyen de manera no proporcional. Se recomienda disponer de los materiales correspondientes para realizar los análisis de vibraciones en óptimas condiciones, es decir que el motor de combustión se encuentre en buen estado de funcionamiento antes de inducir el fallo lo cual permite mayor exactitud al momento de la experimentación.

**Palabras clave:** <ANÁLISIS DE VIBRACIONES> <MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA> <VIBRACIONES TORSIONALES> <FRECUENCIA DE VIBRACIÓN> <MAINTRACKET PREDICTIVE (SOFTWARE)>.

1746-DBRA-UTP-2022



## SUMMARY

The objective of this research work was to carry out the analysis of torsional vibrations of oscillating elements in an internal combustion engine as a contribution to monitoring the condition of motor vehicles, through a non-experimental correlational study. The analysis was carried out on a Chevrolet Kalos 1.2 internal combustion engine, which is in the workshops of the Faculty of Mechanics of the Escuela Superior Politécnica, using the Maintracket Predictive software to monitor the state, define the machines, the inspection plans, evaluate measurements, show trends, analyze vibrations and perform statistics. As results, it was obtained that, when analyzing the waveform taken in the first stage (with Slack Oi), periodic vibration events were observed at the IX frequency, which corresponded to a synchronized vibration, in the statistical analysis when evaluating the vibration frequency in MCI Kalos 1.2; A total of 161 vibration measurements were obtained, highlighting the maximum point, which is the exact moment where the spark explodes. When evaluating the waveform with Slack Of MCI Kalos 1.2; it was observed that, as there is greater clearance, the lubricating film between the main bearings and the crankshaft increases. It was concluded that, when analyzing the curves obtained by the Vibracheck diagnostic equipment, it was evidenced that, by increasing the wear of the bearings, that is, the clearance between the main bearings and the crankshaft, the frequencies of torsional vibrations decrease in an unproportional way. It is recommended to have the corresponding materials to carry out the vibration analysis in optimal conditions, that is, that the combustion engine is in good working order before inducing the failure, which allows greater accuracy at the time of experimentation

**Keywords:** <VIBRATION ANALYSIS>, <INTERNAL COMBUSTION ENGINE>, <TORSIONAL VIBRATIONS>, <VIBRATION FREQUENCY>, <MAINTRACKET PREDICTIVE (SOFTWARE)>.



Lic. Francisco Mantilla Mgs.

0603747809

## INTRODUCCIÓN

El actual trabajo de investigación con el tema “Análisis de vibraciones torsionales de elementos oscilantes en un motor de combustión interna como aporte al monitoreo de la condición de automotores” establece los fundamentos necesarios para tomar como referencia y determinar un periodo de monitoreo que permita conocer la condición de un motor en un vehículo automotor.

La observación de la condición a la luz del examen de los signos se ha convertido en una pieza importante de la investigación de los motores de combustión interna, muestra con éxito la decepción del motor según el rango en el diagrama de vibraciones (Torres et al. 2018, p.10).

La estimación de las vibraciones es un instrumento excepcionalmente valioso. Sea como fuere, su aplicación es amplia en aparatos pivotantes, el método para decidirlos por la técnica de componentes limitados tiene sentido. Las vibraciones de un motor de combustión interna se pueden clasificar por el tipo de desplazamiento que ellas producen, y dependerán directamente del tipo de uso o esfuerzo que pueda producir, y van directamente relacionados por el mantenimiento y su fuente de energética, ya sea calórica, química o eléctrica, es la más utilizada y tiene vibración u oscilación inadecuados en alguno de sus ejes x, y o z (Cárdenas 2017, p.12).

ISO 10816-1 proporciona pautas generales para la evaluación de la vibración de la máquina mediante mediciones en piezas no giratorias. Esta parte de la norma ISO 10816 es un nuevo documento que establece procedimientos y directrices para la medición y clasificación de la vibración mecánica de las máquinas recíprocas. En general, esta parte de la norma ISO 10816 se refiere a la vibración de la estructura principal de la máquina, y los valores guía dados para estas vibraciones se definen principalmente para clasificar la vibración de la máquina y evitar problemas con los equipos auxiliares montados en esta estructura. En esta parte de la Norma ISO 10816 se proporcionan recomendaciones para las mediciones y los criterios de evaluación (ISO, 1995). En la industria actual el monitoreo de la condición de estado juega un papel muy importante. Con el uso constante, las máquinas fomentan culpas y problemas de funcionamiento, razón por la cual estas imperfecciones deben ser identificadas con precisión antes de que hagan daño a las partes o falla catastrófica de la máquina (Grajales et al. 2015, p.2).

El proyecto de investigación pretende dar a conocer mediante el estudio de las gráficas que arroja el equipo de vibraciones Vibracheck se puede determinar el estado actual de un motor de combustión interna, el principal objetivo a desarrollar es el análisis de vibraciones torsionales en los elementos rotativos principalmente los que se producen en los cojinetes de bancada del cigüeñal del motor, debido a la función que realiza esta expuesto a un constate desgaste pese a ser mínimo si las condiciones de trabajo son las correctas, es decir, un adecuado mantenimiento preventivo, no obstante es necesario del monitoreo de la condición que garantice adelantarse a un fallo que requiera de mayor costo de reparación.



Los motores de combustión interna debido a su funcionamiento calorífico están expuestos a esfuerzos entre ellos, el esfuerzo rotacional en mecanismos oscilatorios transversales, los árboles de levas, ejes de balancines, rodamientos, cigüeñal y otros componentes del cual se compone el motor. El trabajo en conjunto de cada uno de los elementos del motor ocasiona desgastes que con el tiempo requieren de un mantenimiento correctivo, la postergación de una reparación del motor requiere de un adecuado mantenimiento tanto preventivo y un monitoreo de su funcionamiento, es por ello que, mediante un análisis de vibraciones rotacionales se puede diagnosticar las condiciones en las que se halla operando un motor siendo un fundamento de aporte al monitoreo de la condición en vehículos con motores de combustión interna.

El plan exploratorio ha provocado que los científicos dirijan investigaciones que incluyan el cambio o el control de diferentes variables dentro de un MCI, por ejemplo, la temperatura del motor. Es necesario el saber diagnosticar adecuadamente las posibles fallas y 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 mantenimiento y desarrollar aún más el patrón de existencia de un vehículo.

Hoy en día, dentro del ámbito automovilístico, el plan medible de ensayos ha sido un instrumento esencial para los concentrados creados en las comunidades de investigación, trabajando con el especialista para conseguir encuentros significativos para abordar un punto o trabajar en una comunicación. El plan exploratorio ha provocado que los científicos dirijan investigaciones que incluyan el cambio o el control de diferentes variables dentro de un MEC, por ejemplo, la temperatura del motor, presión, tiempo de arranque, sustancias añadidas al aceite, sustancias añadidas al combustible, etc., (Albarracín y Huiñisaca, 2015).

## **OBJETIVOS**

### **OBJETIVO GENERAL**

Analizar las gráficas de vibraciones torsionales obtenidas por el equipo Vibracheck en un motor de combustión interna con el fin de aportar con el monitoreo de la condición de automotores.

### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Compilar información de análisis de vibraciones realizadas en motores de combustión interna con la ayuda de fuentes bibliográficas para efectuar la valides del trabajo investigativo.
- Obtener las gráficas de vibraciones torsionales de un motor de combustión interna.
- Analizar las curvas obtenidas por el equipo Vibracheckre en el motor de combustión interna.
- Establecer un periodo de monitoreo de la condición de trabajo de un motor de combustión interna adecuado en base a los resultados del análisis espectral de las gráficas de vibraciones.

## CAPÍTULO I

### 1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

#### 1.1. ANTECEDENTES

##### *1.1.1. Antecedentes investigativos*

El esfuerzo torsional es causado reacciones de torque fluctuante que tienden a torcer el cigüeñal, para prevenir la resonancia de estas vibraciones, la armazón del motor se hace tan rígida como concebible para construir su recurrencia normal de la vibración. El trabajo de examen actual es legítimo de manera precisa debido a la preparación del Ingeniero Automotriz, ya que tiene información adecuada para el reconocimiento del estudio de vibraciones en un motor de combustión interna, y fortalecer el monitoreo de la condición, identificando los aspectos teóricos para la implementación y desarrollo del sistema de mantenimiento en motores de combustión interna.

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 parte de las herramientas metodológicas utilizadas son la prueba y el error y la percepción directa y su registro visual, las grabaciones y los relatos de las pruebas de los equipos de vibración.

Las vibraciones son directamente relativas a la vida útil del motor; un bajo grado de vibraciones demuestra que el motor funcionará con precisión durante bastante tiempo, por otra parte, un grado elevado de vibración indica que el motor se encamina hacia una avería a corto o medio plazo. Las vibraciones en un motor son las señales más claras para diagnosticar el estado mecánico, ya que pueden producirse roturas por agotamiento, conmoción, pérdida de viabilidad de los sellos, desgaste, etc.

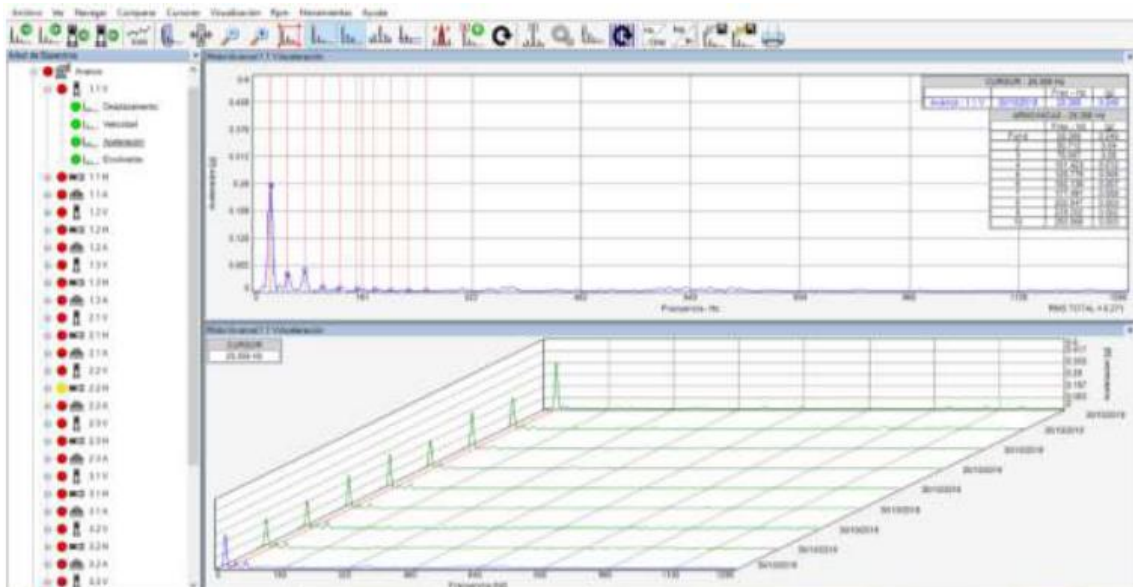
La Facultad de mecánica cuenta con unas instalaciones y estudios de investigación orientados a reforzar la preparación hipotética y práctica de los expertos que produce, lo que se suma al refuerzo imaginativo de los estudiantes y, en consecuencia, permite la utilización de hardware de estimación de vibraciones para la dirección de esta revisión.

La existencia de fuerzas impulsivas y lo mencionado anteriormente lleva a suponer que las frecuencias naturales de oscilación de los elementos del MCI se excitan durante el funcionamiento de este, lo cual abre una posibilidad de aumentar la eficiencia del DV a partir del conocimiento de dichas frecuencias (Rodríguez, 1998, p.4). Un análisis comparativo de las mediciones de



utilización se ha restringido a las cuestiones ambientales, sin embargo, es plausible de considerar (Cárdenas et al. 2017, p.24).

En la figura se trazó 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:5.693mm/s (Guevara y Landa, 2019, p.35).



**Gráfico 1-1:** Resultados de avance de motor

**Fuente:** (Guevara y Landa, 2019).

Para establecer el rango de recurrencia razonable para el examen de las vibraciones, se consideró que las frecuencias energizadas por un MCI. recíprocamente son encontradas en un rango de 2 a 300 Hz, para el análisis de los espectros patrones se considera la frecuencia fundamental del espectro (X), la cual representa una vuelta del cigüeñal y está relacionado con el régimen del giro del motor, también se considera a los submúltiplos y múltiplos de la frecuencia fundamental, los mismos que se encuentran relacionados con la combustión del motor (Ruiz, 2019, p.7).

La determinación de los parámetros que se requiere evaluar se los plantea al inicio de la investigación, es por eso que, una vez determinadas las fuerzas y momentos producidos por la inactividad de las masas aceleradas y el impacto del encendido de la mezcla, la siguiente etapa será investigar las frecuencias normales de la vibración de tipo torsional que influye fundamentalmente en la varilla motriz, a la luz del hecho de que debido a la actividad de las potencias y minutos anteriormente mencionados, la varilla motriz encuentra un vaivén de un lado

a otro durante su funcionamiento, para ello se tiene que oscilación que no es visible al ojo humano pero que tiene mucha influencia en la respuesta del eje a ese estímulo (Ruiz, 2019, p.7).

### ***1.1.2. Motor de combustión interna***

Los motores de respuesta de encendido interior (motores IC) son motores de reubicación positiva o de intensidad volumétrica, en los que el trabajo se entrega por el desprendimiento recto del cilindro de un componente de la llave de polos de interconexión. Los motores de combustión interna porque se denominan así porque el estado de calor se origina en el propio fluido que se desarrolla en el motor (Antonio et al. 2015, p.28).

Con el paso de los años los motores de combustión interna han cambiado gracias al estudio y la ingeniería de modo que ahora son más eficientes, menos ruidosos, más compactos, y con muchas más prestaciones, etc. Todo esto involucra a que se lleve un mantenimiento más preciso y estricto para su buen funcionamiento y desempeño inclusive ante altas condiciones de esfuerzo.

### ***1.1.3. Vibraciones***

Las vibraciones son variaciones que alteran la forma de un cuerpo de manera que sus puntos vibren sincrónicamente alrededor de la posición de equilibrio (Garavito, 2011, p.12). También se las puede definir como un movimiento de un cuerpo sólido alrededor de una posición de equilibrio, no produciéndose desplazamientos netos del mismo. De acuerdo con 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).

Asimismo, suponiendo que el artículo a la hora de la vibración tenga contacto con alguna pieza del cuerpo humano, directamente envía la energía producida por la vibración. Los impactos pueden ser diferentes dependiendo de las cualidades de la energía producida por la vibración (IDEARA, 2014, p.13). Teniendo en cuenta la perspectiva de la Higiene Ocupacional, la vibración puede caracterizarse como "cualquier desarrollo o potencia mecánica oscilante, ininterrumpida o discontinua, que influye en el cuerpo humano en el trabajo a través de diseños y receptores distintos del oído".

Mientras que en el Convenio 148 de la Organización Internacional del Trabajo (OIT), el término vibración se retrata como "toda vibración comunicada al cuerpo humano por medio de diseños fuertes que sea perjudicial para el bienestar o generalmente peligrosa".

### *1.1.3.1. Características de las vibraciones*

Generalmente los efectos de las vibraciones mecánicas en el cuerpo humano dependen casi siempre de las siguientes características: magnitud, frecuencia, dirección, tiempo de exposición e impedancia.

- *Magnitud*

El desplazamiento producido es la medida de la magnitud de una vibración por la misma. Cuando se habla de un movimiento, se determina en términos de velocidad o aceleración, sin embargo, se debe tener en cuenta 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 metros sobre segundos cuadrados ( $m/s^2$ ). Por lo tanto, cuando la aceleración llega a un punto máximo pasa por el punto de equilibrio hasta tocar el extremo en cero. De acuerdo con la Norma 2041 se conoce algunos conceptos dentro de magnitud:

La frecuencia se puede definir como el número de veces por segundo que se desarrolla el periodo completo de oscilaciones y se mide en Hertz (Hz). La frecuencia indica el número de veces que el objeto o dispositivo vibra en un segundo. En la mayoría de los casos, el impacto de las vibraciones del motor en el cuerpo humano depende de la dirección de incidencia de esta.

- *Tiempo de exposición*

El tiempo de apertura valora el tiempo que se pasa bajo vibración durante toda la jornada laboral, este es un parámetro que hay que tener mucho cuidado a la hora de decidir, ya que no siempre coincide con el tiempo durante el cual se utiliza una máquina, una misma máquina pueden realizarse diferentes operaciones que suponen un nivel de vibraciones diferente.

### *1.1.3.2. Dirección de oscilación de las ondas*

En función de la dirección de las vibraciones, las ondas pueden ser horizontales y verticales. Las ondas longitudinales son las ondas mecánicas en las que el movimiento vibratorio de las partículas en el medio es paralelo a la dirección de propagación de la onda, las ondas transversales son ondas en las que la magnitud de un vector particular indica la vibración en la dirección perpendicular a la onda. Además, existen otro tipo de ondas, como las ondas superficiales, que se transmiten desde superficie del medio que las conduce, son de naturaleza mecánicas y tienen diferentes respuestas y métodos analíticos con los dispositivos de medición y análisis de vibraciones.

### 1.1.3.3. Tipos de vibraciones

Dado que las vibraciones, al ser un movimiento oscilatorio, pueden representarse mediante condiciones numéricas, es también esta propiedad la que permite dividir las en dos grupos.

- *Vibraciones simples*

La vibración simple se considera la premisa fundamental de la señal de vibración y puede ser que las vibraciones, al ser un movimiento oscilatorio pueden ser descritas mediante ecuaciones matemáticas, además, esta propiedad permite dividir las en dos grupos. Las ondas sinusoidales distinguidas se consideran las más sencillas y su vacilación, al no estar adulterada, puede abordarse en la gama de vibraciones. Al hablar de la recurrencia estimada por el rango de vibración, distingue el tiempo que tarda la masa en volver a su posición inicial, por otro lado, la amplitud se considera 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 su magnitud.

- *Vibraciones compuestas*

En la mayoría de los casos la suma de varias vibraciones simples forma la vibración compuesta, de esta manera, una máquina sufre este tipo de vibraciones cuando está compuesta por algunas vibraciones básicas relacionadas con sus partes interiores, teniendo en cuenta que la onda de vibración de una máquina definitivamente no es de signo sinusoidal y puede resultar muy compleja y no tener control.

- *Vibración Aleatoria y golpeteos intermitentes*

En la mayoría de los 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 relacionadas en su mayor parte con las perturbaciones en los sifones, los problemas de grasa y el contacto metal-metal en los componentes móviles o la cavitación en los sifones (A-MAQ, 2014). La mayoría de las veces se detectan en las ruedas de los piñones de una máquina, en la sección de los bordes de corte de un impulsor o de un ventilador. Este tipo de señales tiende a reducir debido a la amortiguación del medio y de los mismos elementos que componen el mecanismo.



- *Frecuencia natural y resonancias*

En su mayor parte, la recurrencia regular depende de los atributos subyacentes de la máquina, teniendo en cuenta la masa, la solidez y la amortiguación, pero también los respaldos y la canalización. Especialmente, no depende de la actividad de la máquina, cuando la recurrencia regular es energizada por un especialista externo, la suficiencia de la vibración de la máquina se incrementará masivamente causando daños en las máquinas, esto se llama reverberación. Cuando se distingue la reverberación, es ventajoso reconocer al especialista externo que la está creando y prontamente debe ser fundamentalmente aislado o cambiar su ritmo de trabajo. Esto hace que los niveles de vibración de la máquina aumenten significativamente.

#### *1.1.3.4. Análisis de criticidad en motores de combustión interna*

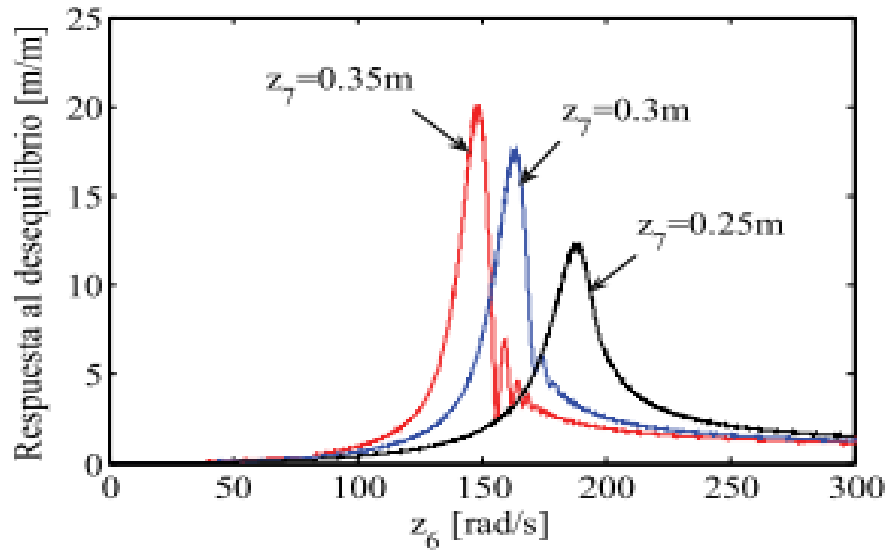
Los generadores de combustión interna se consideran un tipo de máquina que obtiene energía mecánica directamente de la energía de la sustancia por el combustible que consume dentro de la cámara de combustión, siendo ésta la pieza focal de un motor. Se considera que el sistema de trabajo parte del consumo de una combinación compactada de aire y combustible dentro de una cámara cerrada o cámara, para expandir la tensión y producir con la potencia adecuada el movimiento rectilíneo de respuesta del cilindro. En su mayor parte, este movimiento se comunica a través de la pértiga de interconexión al eje fundamental del motor o a la varilla motriz, donde se transforma en movimiento de rotación, que se envía a los instrumentos de transmisión de potencia. En el ciclo de encendido en la cámara, la energía sintética contenida en el combustible se transforma primero en energía calorífica, parte de la cual se transforma en energía dinámica (movimiento).

#### *1.1.3.5. Análisis de las vibraciones*

Generalmente, el paso inicial es realizar una determinación fundamental antes de descomponer las vibraciones en los motores rotativos (Meneses, 2015, p.36). 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 ventajas. Es así como una maquina en buen estado proporciona calidad permanente en los procesos, mientras que un equipo mecánico que tiene fallos genera vibraciones ajenas al funcionamiento normal del motor. Básicamente las frecuencias de las vibraciones puedan ser observadas mediante instrumentos de análisis como lo es el software de Maintraq Predictive

mismo que dispone con una configuración de parámetros específicos que el operario desee obtener de la máquina.

La recurrencia permite decidir el inicio de la vibración mientras que la abundancia permite decidir la gravedad o seriedad del asunto. Sin embargo, un incremento en el nivel de frecuencia indica un cambio en el mecanismo, por irregularidades en su funcionamiento. En el gráfico se observa una vibración simple considerando el Angulo de fase, la amplitud de la onda y tiempo expresado en el periodo de cada onda.



**Figura 2-1:** Respuesta al desequilibrio de diferentes posiciones constantes del cojinete

Fuente: (Blanco-Ortega et al. 2010)

#### 1.1.3.6. Traductores de vibración

Con el paso del tiempo, se han creado algunos intérpretes de vibraciones, uno de los primeros se considera el dedo humano. De este modo, el intérprete de vibraciones es un artilugio que crea una señal eléctrica que es una reproducción del movimiento vibratorio al que está oprimido. Diseccionando los diferentes intérpretes de vibraciones, se ha resuelto que cada uno está destinado a cuantificar diversos límites.

- *Acelerómetro*

Un intérprete estándar es el acelerómetro piezoeléctrico, que se utiliza para cuantificar las vibraciones de las máquinas. El sistema es de tipo de presión para representar de una manera u otra cuando una actividad comienza, contingente sobre el material de la temperatura debe ser

mantenido, para decidir si el intérprete es inadecuado, el aumento de la temperatura de un material piezoeléctrico debe ser reconocido, y en la posibilidad de que la propiedad piezoeléctrica se pierda el intérprete no puede ser fijado. acelerómetros son de tipo directo en la suficiencia que muestra un alcance de gran alcance extremadamente largo. El alcance de los niveles de aumento de velocidad es ordinariamente en rangos de abundancia alrededor de 10 que implica 160 dB. Las frecuencias se dan fundamentalmente en rangos excepcionalmente amplios que pueden ir desde frecuencias extremadamente bajas hasta excepcionalmente altas. La alta recurrencia puede estar dada por la reverberación de la masa sísmica normalmente 30 KHz, fundamentalmente, un principio general es que un acelerómetro puede ser utilizado alrededor de 1/3 de su recurrencia regular.

- *Sensor de proximidad*

Comercialmente conocido como Proximiler, también llamado sensor de corriente de vórtice o intérprete de desarraigo, es visto como una unidad de montaje súper duradera y necesita un intensificador que obtiene la señal para crear un voltaje de resultado relativo a la distancia entre la fecha y el intérprete, los ejercicios que crea dependen de una directriz atractiva, para ello es delicado a las rarezas atractivas del perno, pensando que el perno no debe ser polarizado para que la señal de resultado no sea contaminada. El intérprete de proximidad estima cada desprendimiento global creado en el rodamiento y el diario, sin embargo, no cuantifica el nivel de vibración total del eje, es extremadamente valioso en máquinas enormes con orientación con ejes, el mismo que es utilizado para decidir deficiencias en el curso y para cerrar la máquina antes de que ocurra una deficiencia de tamaño más notable.

- *Sensor de velocidad*

La mayoría de los sensores de velocidad tienen un sifón móvil fuera del imán fijo. Utilizan una regla de actividad similar, compuesta por un acelerómetro que incluye un integrador electrónico, llamando a esto medidor de mortaja. Desde siempre se ha visto que el sensor de velocidad era uno de los principales intérpretes de vibraciones, un artilugio tiene un sifón de alambre y un imán puesto para mover el Carter, el imán se queda fijo por su inactividad. El intérprete de la velocidad, así como los beneficios tiene algunos di servicios que lo hacen viejo para el nuevo establecimiento, la reverberación debe ser amortiguada, para mantenerse lejos de una cima en la reacción en esta recurrencia, teniendo en cuenta que una cuestión es generalmente que la amortiguación es delicada a la temperatura, que incita a la reacción de la recurrencia y la reacción de la etapa es la temperatura subordinada.

#### ***1.1.4. Rangos de vibración***

Al realizar los niveles de vibración, la potencia de la vibración no es totalmente inamovible, ya que esto permite contrastar la información que se encuentra en la pantalla a la hora de la estimación y da una idea de cómo son los distintos recursos. En el campo de la vibración hay directrices significativas mientras se deciden los límites, las propiedades y las calidades a la hora de la estimación, lo que provoca un ciclo específico para controlar y después analizarlo. Para ello es importante hacer la agrupación de la gravedad, la variable del desarrollo a la hora de desalojar, la velocidad o el aumento de la velocidad, hay que destacar que depende del tipo de norma de uso y el alcance de recurrencia a examinar.

La norma ISO 10816-3 permite la evaluación de las vibraciones en una máquina mediante estimaciones en las partes no pivotantes, a través de estrategias y condiciones, por ejemplo, la observación del funcionamiento y las pruebas para garantizar una actividad suficiente de la máquina. Las estimaciones deben realizarse a temperaturas de trabajo, teniendo en cuenta los estados típicos de velocidad, corriente, exactitud y tensión. Asimismo, debe considerarse que, si las vibraciones superan los modelos permitidos, la estimación se realiza con la máquina muy quieta para decidir el impacto de las vibraciones en la máquina. De mediciones externas, debido a que si la máquina pasa el 25% de vibración en la máquina de operación, inmediatamente se realizan correcciones. Clasificación de la severidad: se clasifica de acuerdo con el tipo de máquina, potencia o altura del eje y flexibilidad del soporte.

##### ***1.1.4.1. Tipo de máquina, potencia o altura del eje***

La clasificación se realiza considerando los diversos diseños de máquinas

##### ***1.1.4.2. Flexibilidad del soporte***

De acuerdo con la norma menciona que para esta clasificación se debe identificar dos tipos de máquinas, detallando las flexibles y las rígidas a continuación. Además, se identifica que de acuerdo con la flexibilidad del soporte se clasifica en cuatro zonas donde pueden operar las máquinas y sus líneas de acción.

#### ***1.1.5. Fallas comunes de equipos rotatorios***

Comúnmente las máquinas sufren fallas repetitivas en la mayor de las ocasiones dando como resultado de los análisis a las que se mencionan a continuación.

- *Desbalanceo*

Los desequilibrios pueden ser estáticos o dinámicos. En el gráfico anterior, puede ver el desequilibrio estático. Esto generalmente es causado por diferencias en el desgaste radial superficial del rotor, donde la longitud es insignificante en lugar del diámetro del rotor. El espectro muestra la vibración dominante a una frecuencia igual a 1XRPS del rotor. Los desequilibrios dinámicos se producen en rotores medianos y largos. Esto se debe principalmente al, que provoca desgaste tanto radial como axial en la superficie del rotor al mismo tiempo. El espectro muestra vibración dominante simultánea y tambaleo a frecuencias iguales a 1 x RPS del rotor.

- *Desalineación*

La desviación angular ocurre cuando el eje del motor conectado al acoplamiento y el eje impulsado no están paralelos. Si los ejes del motor y del rotor accionado son paralelos, pero no colineales, se producirá una desalineación paralela.

- *Holgura mecánica de eje angular*

Es la holgura entre el impulsor y su eje en bombas, este tipo de anomalía causa un truncamiento en la forma de onda en el dominio del tiempo cuando se recepta una señal de análisis.

- *Sutura estructural*

Básicamente, una sutura estructural 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*

La resonancia ocurre cuando la velocidad de la fuerza motriz es igual a la frecuencia natural de la estructura o parte de ella. La pulsación ocurre cuando una fuente de vibración interfiere con otra. Por lo general, lo generan dos máquinas cercanas que funcionan aproximadamente a la misma velocidad.

- *Fallas en los engranajes*

Los engranajes tienen varias fallas; uno de ellos es el desgaste de los dientes. Esto sucede cuando se excede la vida útil del engranaje. Otra causa podría ser la contaminación de la lubricación o un montaje incorrecto.

- *Bandas*

La diferenciación de la correa se produce por la superación de la valiosa existencia de la correa, o por el desgaste exorbitante de la misma. La desalineación de poleas 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*

La frecuencia de la paleta es el número de veces que cada paleta pasa por un punto en la carcasa del y es causada por obstáculos, cambios repentinos de dirección o desgaste del sello. En estos sistemas menos comunes de motores de combustión interna, utilizado en la industria. La entrada de aire o la vaporización de un líquido en el sifón, es conocida como cavitación.

- *Fallas en los rodamientos*

Esto se considera una grieta o escombros en el material del anillo interior. Esto puede deberse a errores de montaje, esfuerzo extremo, corrosión, partículas externas o lubricación inadecuada. La falla del elemento rodante se debe al agrietamiento del material del elemento rodante causado por errores de montaje, tensión excesiva, corrosión, elementos externos o falta de lubricación.

## CAPÍTULO II

### 2. MARCO METODOLÓGICO

#### 2.1. Enfoque de la investigación

El trabajo de investigación abarca una elaboración correlacional debido a que establece la relación entre el monitoreo de la condición en motores de combustión interna, y la relación de las vibraciones o las alteraciones presentadas que afectan al motor. Se ha demostrado que la investigación o metodología científica, con el análisis como sello distintivo, restringe la eficacia de una solución de diseño. Para lograr una solución de diseño eficaz, se requiere una metodología claramente diferente de la metodología de investigación (Núñez, 2007).

#### 2.2. Métodos

##### 2.2.1. Método inductivo-deductivo

###### 2.2.1.1. Enfoque del método inductivo

Cuando hay poca o ninguna literatura existente sobre un tema, es común realizar una investigación inductiva porque no hay una teoría para probar (Streefkerk, 2019). El enfoque inductivo consta de tres etapas en la tabla 1-2:

**Tabla 1-2:** Enfoque del Método Inductivo

1.	Observación	El monitoreo de la condición de automotores deficiente.
2.	Observar un patrón	La falta de adecuados periodos de monitoreo de condición.
3.	Desarrollar una teoría	Modelos de monitoreo con baja precedencia, mal enfoque.

Fuente: (Streefkerk, 2019).

Realizado por: Robles, Jonathan, 2022.

Las limitaciones de un enfoque inductivo se muestran en una conclusión extraída sobre la base de un método inductivo nunca puede probarse, pero puede invalidarse.

###### 2.2.1.2. Enfoque del método deductivo

El método deductivo es el proceso con el cual se pueda tener un criterio de acción con la información obtenida, los datos que se hayan tomado en primeras instancias del motor de combustión interna es decir las condiciones iniciales en las que se encuentre que nos permita

luego hacer los ensayos necesarios para la investigación que se pretende al realizar una investigación deductiva, siempre comienza con una teoría (el resultado de la investigación inductiva). Razonar deductivamente significa probar estas teorías. Si aún no existe una teoría, no puede realizar una investigación deductiva (Streefkerk, 2019).

En la tabla 2-2 se muestra el enfoque de investigación deductiva con sus cuatro etapas:

**Tabla 2-2:** Enfoque del Método Deductivo

1. Comenzar con una teoría existente	La normativa vigente en el país no exige la realización de monitoreos de régimen de vibraciones.
2. Formular una hipótesis basada en la teoría existente	El estudio de las vibraciones en un mecanismo oscilante como base de diagnóstico para la predicción de fallos en motores de combustión interna, evitando fallos y averías importantes en los componentes de un motor
3. Recopilar datos para probar la hipótesis	El análisis vibracional del motor de combustión interna con el equipo Vibracheck.
4. Analizar los resultados: ¿los datos rechazan o apoyan la hipótesis?	Mediante el desarrollo, recopilación de datos y el análisis de los espectros permite evidenciar la criticidad del motor de combustión interna.

**Fuente:** (Streefkerk, 2019).

**Realizado por:** Robles, Jonathan, 2022.

Las limitaciones del enfoque son las conclusiones del razonamiento deductivo solo pueden ser verdaderas si todas las premisas establecidas en el estudio inductivo son verdaderas y los términos son claros, para el análisis y conclusión de los resultados.

### 2.2.2. *Método científico*

La estrategia lógica comprende el procedimiento numérico y exploratorio utilizado en las disciplinas técnicas, más explícitamente, es el procedimiento utilizado en la construcción y prueba de una especulación lógica, la forma más común de notar, obtener aclaraciones sobre algunas cosas y buscar respuestas a través de pruebas y exámenes no es especial a cualquier área de la ciencia, como cuestión de hecho, la técnica lógica se aplica generalmente en la ciencia, así como en el examen principal, en una amplia gama de campos.

La técnica lógica es un curso de ensayo y error utilizado para investigar percepciones y responder a preguntas. ¿Significa esto que todos los investigadores siguen precisamente este ciclo? No. Algunas áreas de la ciencia pueden probarse con más eficacia que otras, de hecho, ¿se supone que hay tantas variantes de la técnica lógica como investigadores! En cualquier caso, cuando se cambia, el objetivo sigue siendo el mismo: encontrar las circunstancias y las conexiones lógicas de los resultados aclarando algunas cuestiones apremiantes, reuniendo y examinando con cautela las pruebas y comprobando si todos los datos accesibles pueden unirse en una respuesta coherente.

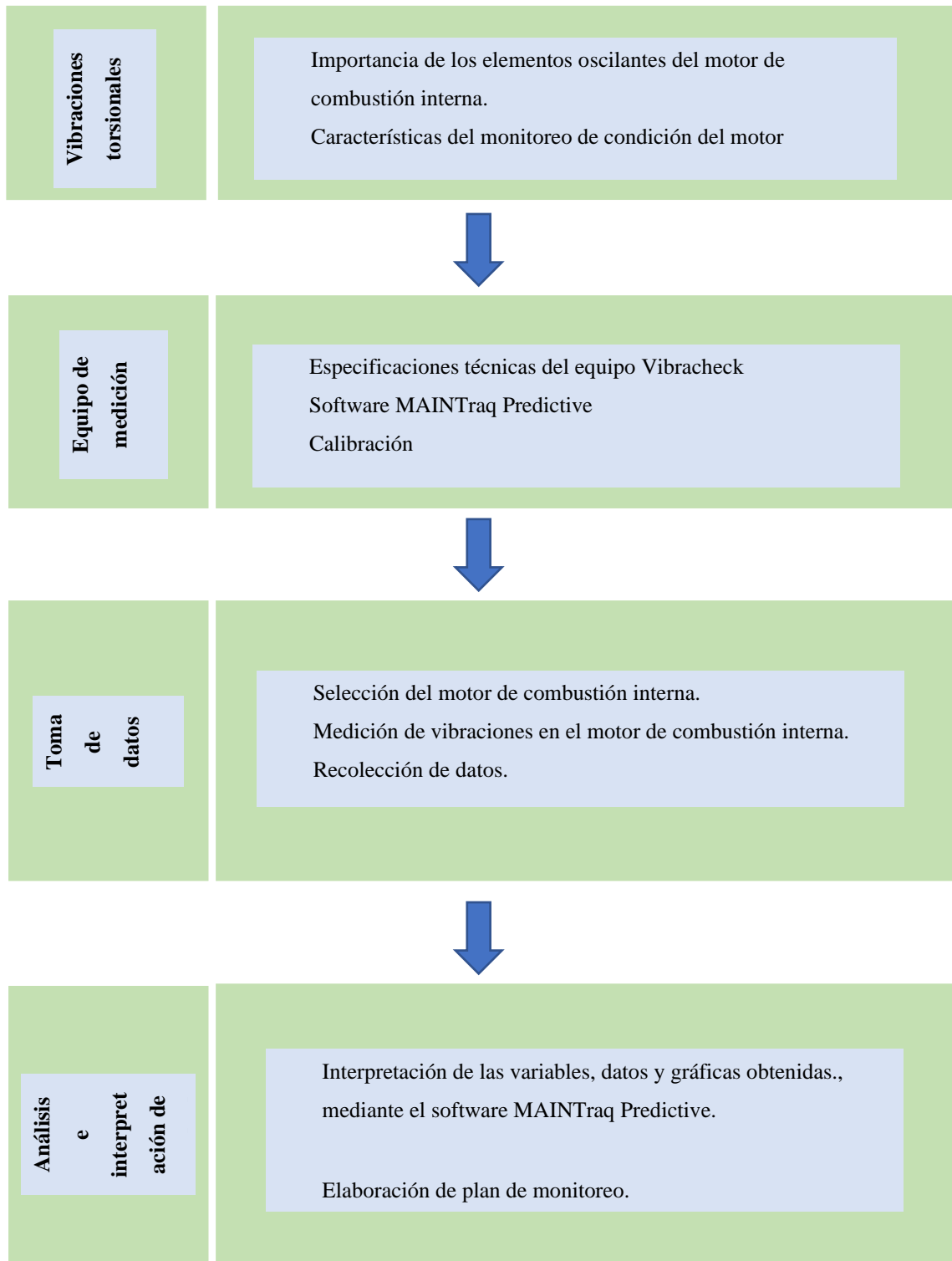


### *2.2.2.1. Método empírico de medición*

Muchas ciencias exactas, en particular las sociologías, utilizan dispositivos numéricos tomados de las hipótesis de probabilidad y las percepciones, junto con sus resultados, como la hipótesis de elección, la hipótesis de juego, la hipótesis de utilidad y la investigación de tareas, la prueba observacional incorpora estimaciones o información recogida por percepción directa o por ensayo y error, dijo Jaime Tanner, profesor de ciencias en el Marlboro College de Vermont. La dirección del trabajo de exploración comprende principalmente la toma de información de vibración de un motor de gas, por lo que la utilización de la técnica experimental está disponible para el surtido matemático de la información, para posteriormente llevar a cabo el examen.

### *2.2.2.2. Metodología cuantitativa*

La exploración cuantitativa incluye técnicas que se utilizan para recopilar información matemática y desglosarla utilizando estrategias medibles, como indica la Universidad IT de Copenhague. La información matemática cuantitativa puede ser cualquier información que utilice estimaciones, incluyendo la masa, el tamaño o el volumen, según la Midwestern State University, Wichita Falls, Texas (Bradford, 2017, p.26). El examen vibracional posteriormente busca refinar y demostrar que la exploración dirigida tiene el valor importante y puede actuar como una ayuda en los ciclos de observación de la condición de auto.



**Figura 1-2:** Vibraciones tensionales en motores de combustión interna.

Realizado por: Robles, Jonathan, 2022.

### **2.2.3. *Importancia de los elementos oscilantes del mci***

Los motores de combustión interna están compuestos de diferentes elementos que le permiten su funcionamiento, los elementos oscilantes son aquellos que mantienen un movimiento recíproco para cumplir con la función del motor, crear un movimiento giratorio del cigüeñal desde el movimiento oscilante de los pistones al realizar la combustión dentro de la cámara, posterior a ello, realizar el movimiento del automotor a través de la transmisión.

### **2.2.4. *Monitoreo de la condición***

El motor es el corazón del vehículo por consiguiente es necesario tratar con cuidado y realizar un monitoreo de su condición cada cierto tiempo. La vida útil del motor dependerá de adecuados periodos de monitoreo que mostrará en qué estado se encuentran los elementos que lo componen. El monitoreo del estado de los sistemas basado en vibraciones intenta manejar las preguntas con precisión y en el proceso extrae la información relevante de la señal acústica para identificar el estado del sistema. En la industria automotriz, el diagnóstico de fallas de los motores generalmente lo realiza un conjunto de trabajadores calificados que, con solo escuchar el sonido producido por el motor, certifican si el motor es bueno o malo, principalmente debido a sus excelentes habilidades sensoriales y capacidades cognitivas. Tradicionalmente, las señales acústicas se analizan principalmente con análisis espectral, es decir, la transformada de Fourier, que no es una herramienta adecuada para el análisis de señales acústicas de motores de CI, ya que no son estacionarias y constan de muchos componentes transitorios. El presente trabajo, se propone un enfoque basado en la descomposición en modo empírico (EMD) y el modelo de Márkov oculto (HMM) para motores de CI. EMD es un nuevo método de análisis de tiempo-frecuencia para señales no lineales y no estacionarias. Al usar el EMD, una señal complicada se puede descomponer en una serie de funciones de modo intrínseco (IMF) en función de la escala de tiempo de las características locales de la señal. Tratar estos IMF como vectores de características HMM se aplica para clasificar la señal acústica del motor IC.

### **2.2.5. *Vibracheck***

Vibracheck 200 es un poderoso analizador de vibraciones mecánicas de dos canales, colector de datos y balanceador, ideal para controlar confiabilidad de máquinas (IDEAR CONDITION MOTORING, 2019). El plan de monitoreo que se puede obtener gracias a este dispositivo es bastante seguro debido a la muestra de sus gráficas en la cual la lectura de estos permitirá saber el estado de un motor en cuando a sus elementos oscilantes que es lo que se quiere estudiar.



**Figura 2-2:** Equipo de vibraciones Vibracheck-200

Fuente: (IDEAR CONDITION MOTORING, 2019).

#### ***2.2.6. Software Maintracket predictive***

Es un software que organiza la actividad de monitoreo de estado, definiendo máquinas, planes de inspección, evaluando mediciones, mostrando tendencias, analizando vibraciones y realizando estadísticas (IDEAR, 2014). La interfaz del programa es amigable con el usuario, puede generar rápidamente una base de datos, una ruta, y la configuración de cada uno de los puntos que se pretende analizar.

El desarrollo de la investigación consiste en la selección de motor en el cual se induce un fallo mecánico en los cojinetes de bancada, analizar el estado inicial y proceder con las lecturas de las vibraciones según se realice el desgaste en los semi cojinetes de bancada del motor

#### ***2.2.7. Selección del motor de combustión interna***

Es muy importante conocer cuales es el estado inicial del mecanismo en el cual se realiza la experimentación, de ello dependerá la validez de los datos que se obtiene y el análisis que se realizará para establecer un correcto periodo de monitoreo, la investigación se realiza en un motor de combustión interna marca Chevrolet Kalos 1.2, el cual se encuentra en los talleres de la Facultad de Mecánica de la ESPOCH y en correcto funcionamiento al inicio del estudio.

#### ***2.2.8. Medición de vibraciones***

La medición de las vibraciones se realiza en puntos estratégicos del motor de combustión interna, es este caso se realiza en puntos colocados a la altura del cigüeñal, en la fig. se muestra la

ubicación de los puntos de referencia para la lectura de vibraciones. El acelerómetro se coloca según sea la disposición del análisis, es decir, en el eje que se requiera medir (vertical, horizontal o axial). Es muy importante que las condiciones en las que se ejecute la toma de datos sean las mismas, la temperatura del motor, así como también el rpm, esto garantizará que el análisis cumpla su objetivo y tenga menos margen de error.

Una vez que la configuración de la máquina se haya hecho, se debe enviar la misma hacia el colector de datos Vibracheck que, mediante un sensor de vibraciones llamado acelerómetro se conecta al punto en el cual se realiza la medición y grabado de la información.



**Figura 3-2:** Ubicación de los puntos de análisis en el motor de combustión interna.

Realizado por: Robles, Jonathan, 2022.

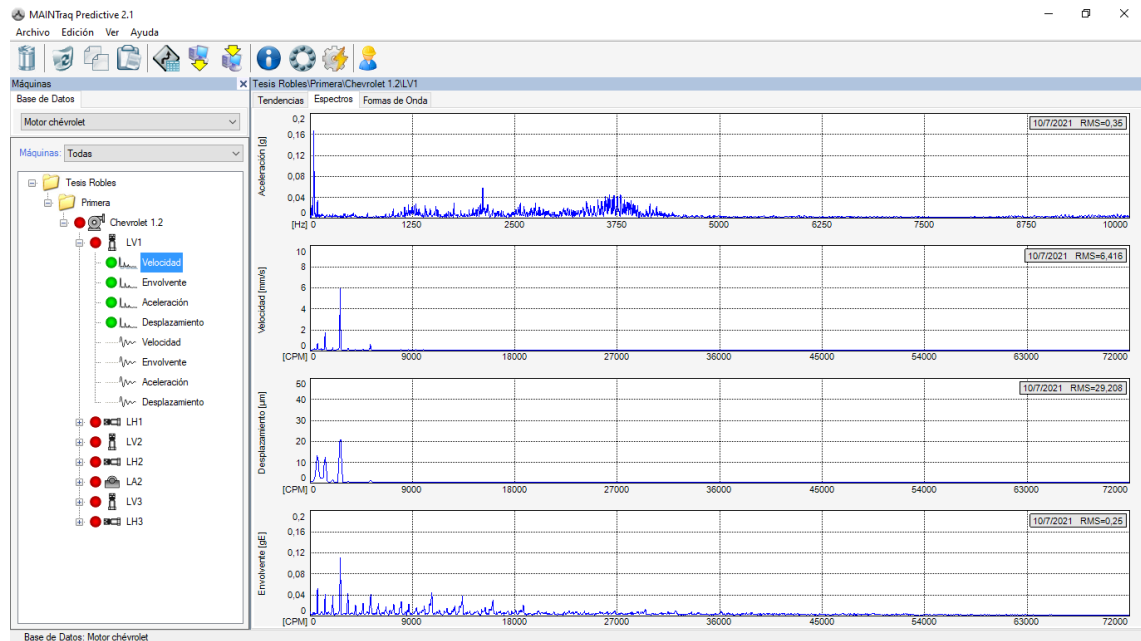
El registro de las medidas se lleva en base a una planificación y propuesta de desgaste de los cojinetes de bancada, como se puede muestra en la tabla 3-2:

**Tabla 3-2:** Toma de datos según la condición de los cojinetes de bancada

TOMA DE DATOS PARA EL ANÁLISIS DE VIBRACIONES	
Número de muestra	Estado del cojinete de bancada del cigüeñal
1	En condiciones normales a las que está funcionando el motor de combustión interna
2	Con desgaste de 5um en los cojinetes de bancada del cigüeñal
3	Con desgaste de 10um en los cojinetes de bancada del cigüeñal
4	Con desgaste de 15um en los cojinetes de bancada del cigüeñal

Realizado por: Robles, Jonathan, 2022.

La base de datos que se obtiene propone una gráfica en la que se evidencia la frecuencia de las vibraciones producidas por efecto de desgaste en los semi cojinetes de bancada del cigüeñal estima mostrará una curva del desgaste progresivo de los semi cojinetes en cuanto al aumento de las vibraciones que se producen.



**Gráfico 1-2:** Aspecto del software Maintracket Predictive con datos de un punto de análisis.

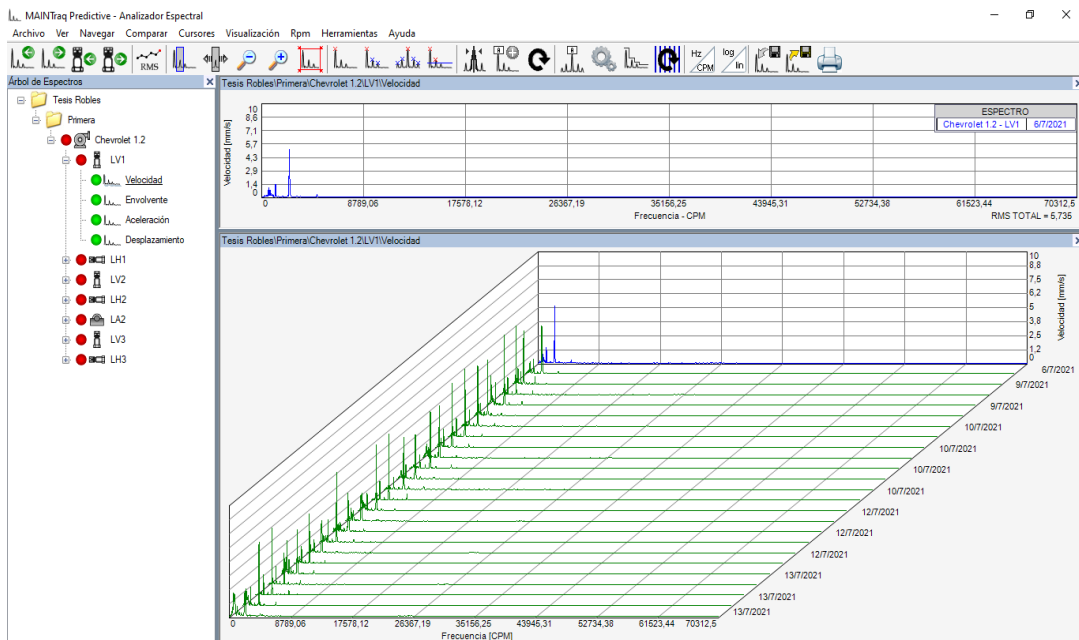
**Realizado por:** Robles, Jonathan, 2022.

## CAPÍTULO III

### 3. MARCO DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

#### 3.2. Analizador de espectros

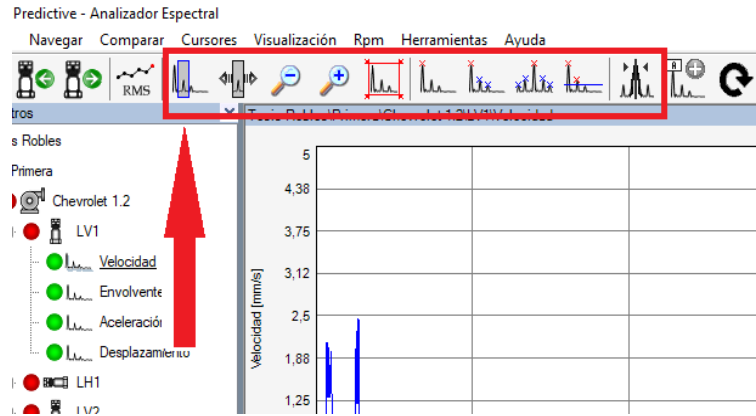
Los resultados obtenidos por el analizador de espectros se muestran sucesivamente en la figura 3-1 en base al progreso de las vibraciones dentro del motor por efecto del desgaste en los cojinetes de bancada, mismos que corresponden al Lado Vertical 1 del Punto 1. El analizador espectral sirve para ver la diferencia existente en cada una de las mediciones realizadas y comprobar el avance de las vibraciones.



**Gráfico 1-3:** Análisis espectral de velocidad del LV1

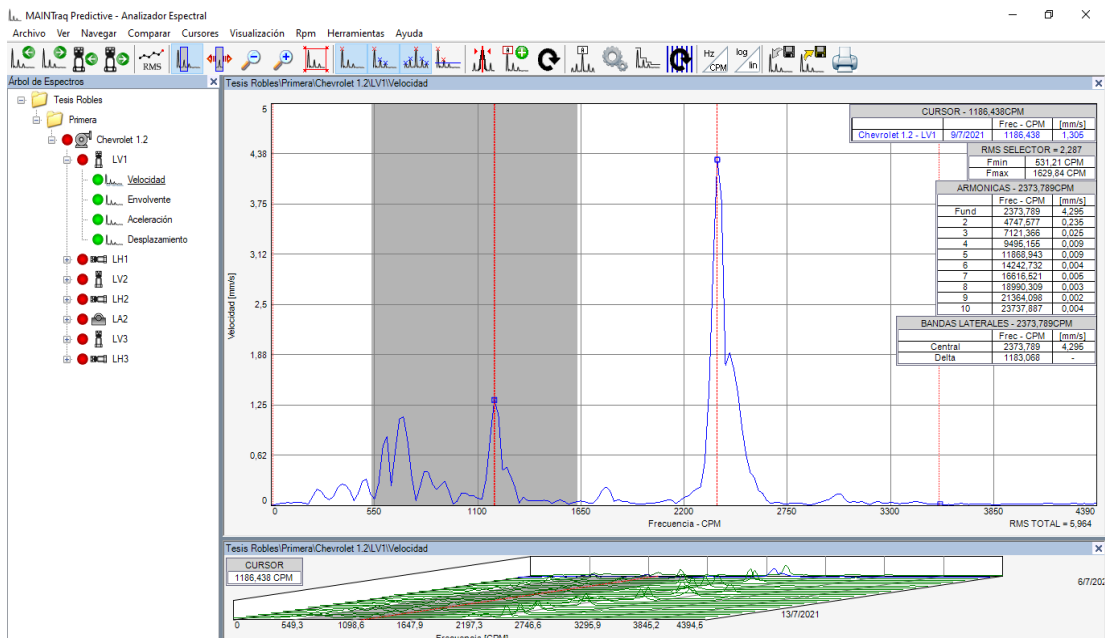
**Realizado por:** Robles, Jonathan, 2022.

Dentro del analizador espectral se encuentra la barra de herramientas como se puede ver en la figura 3-2, que permite ajustar la gráfica al rango necesario para el estudio como lo muestra la figura 3-3 donde señala la parte que aparecen los espectros de vibración que se tiene como objeto de estudio, este proceso corresponde a una sinterización de datos que permite realizar un enfoque mucho más específico mismo que se desarrolla en la parte estadística cuando ya se muestre un gráfico con las vibraciones medidas.



**Figura 1-3:** Herramientas de Maintraquet Predictive

Realizado por: Robles, Jonathan, 2022.



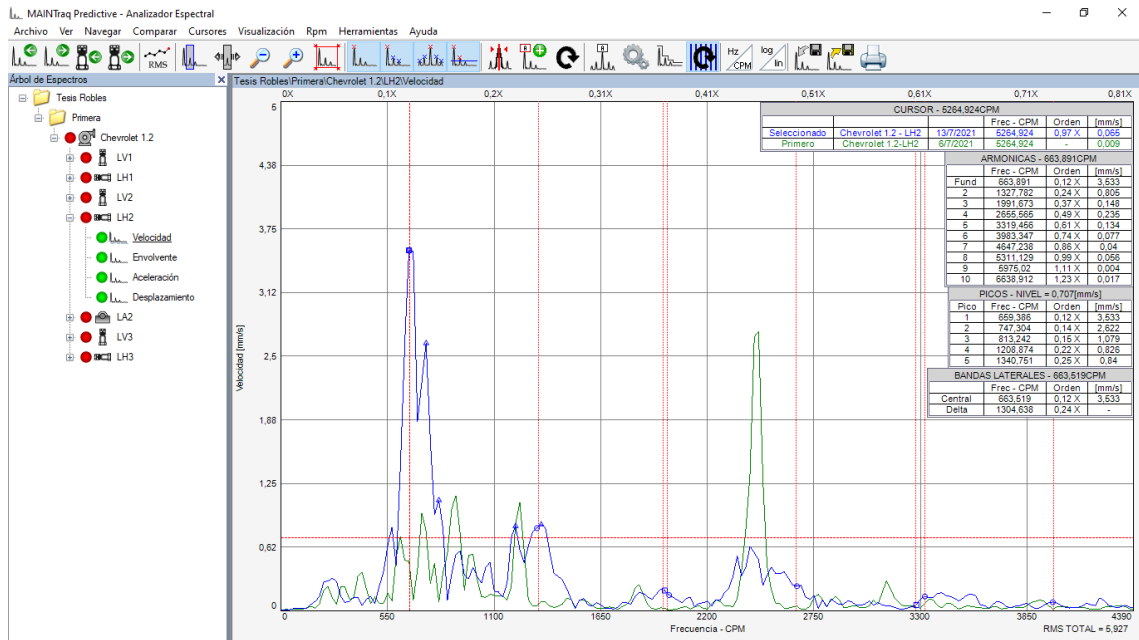
**Gráfico 2-3:** Ajuste de la gráfica espectral al área de estudio

Realizado por: Robles, Jonathan, 2022.

### 3.3. Condición inicial del motor de combustión interna Chevrolet Kalos 1.2

El estado inicial del motor es la pieza clave para llevar a cabo el análisis de los datos que se miden en cada uno de los casos de desgaste que se realice a los cojinetes de bancada del cigüeñal, como podemos observar en la figura 3-4 la disposición de los espectros en base al estado inicial y al finalizar la inserción del fallo. El espectro de color azul representa las vibraciones con las cuales se encontraba funcionando el motor justo en el momento que se comienza a desarrollar el análisis y el espectro de color verde representa las vibraciones cuando ya se ha finalizado el estudio.

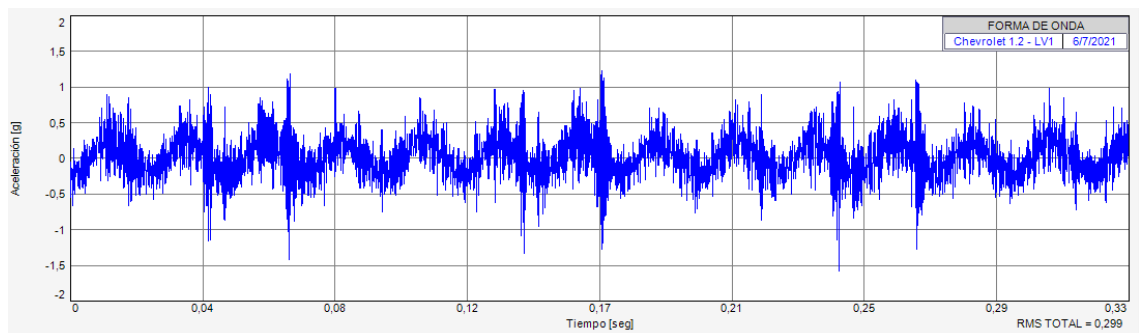




**Gráfico 3-3:** Espectro inicial de vibración vs espectro final

Realizado por: Robles, Jonathan, 2022.

El análisis de vibraciones en equipos recíprocos se ejecuta mediante la colección y análisis de registros de vibración y vibración sincronizada del motor en este caso; el cual representó la base para el diagnóstico de condiciones que se presenta. La forma de onda tomada en la primera etapa (con Holgura 0i) se muestra en la figura 3-5 en donde se identifica claramente que en forma de onda de vibración en aceleración se evidencian eventos periódicos de vibración a la frecuencia 1X lo cual corrobora la condición a una vibración sincronizada. Desde el punto de vista de las frecuencias asociadas al funcionamiento de los componentes del motor, esta frecuencia está asociada al funcionamiento del cigüeñal y el origen de la vibración se inclina hacia una condición asociada al mismo

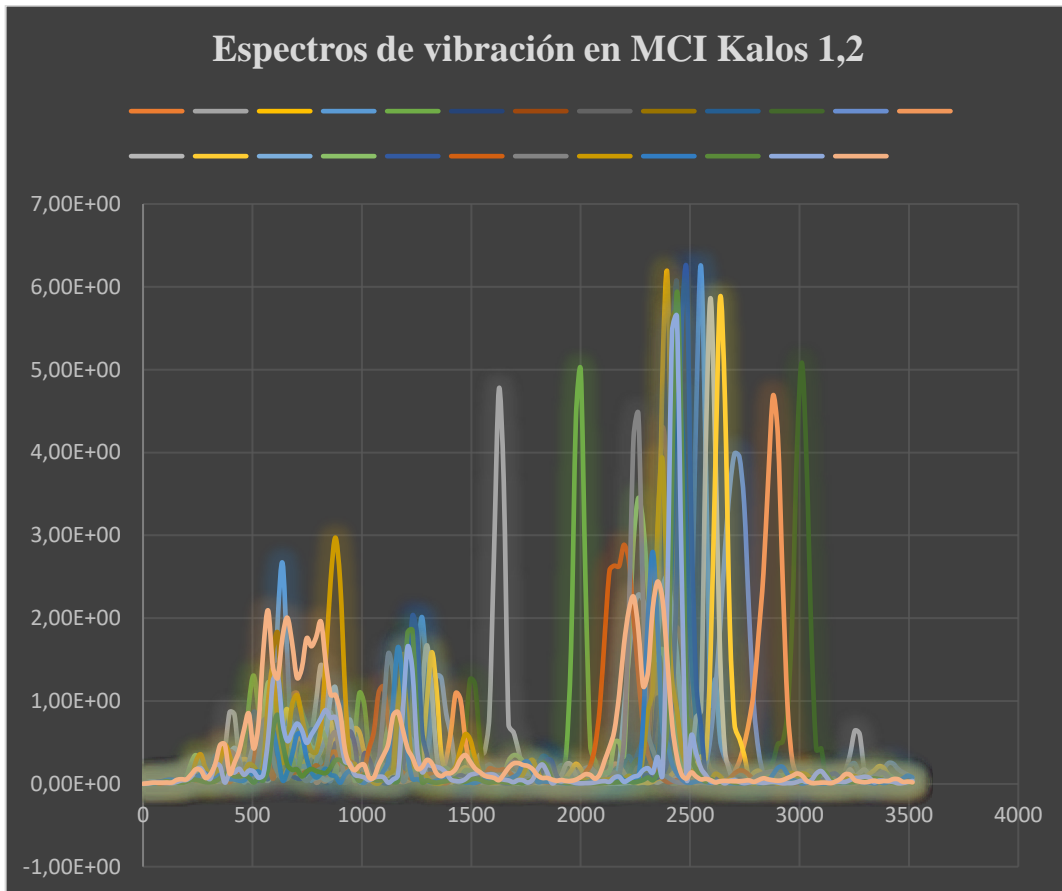


**Gráfico 4-3:** Forma de Onda con Holgura 0i MCI Kalos 1,2

Realizado por: Robles, Jonathan, 2022.

### 3.4. Análisis estadístico

El éxito de las mediciones y la conclusión de los resultados radica en un análisis estadístico adecuado que permita la evaluación de cada uno de los datos de tal forma que garantiza obtener valores reales con menor incertidumbre validando el estudio. Las medidas de vibraciones obtenidas son ampliamente numerosas presto a que cada medida arroja un total de 161 puntos en unidades de frecuencia [mm/cpm] revisar tabla en el anexo A, los cuales ya se han sintetizado hasta a un rango de análisis justo donde aparece el espectro de vibración válido para este estudio.



**Gráfico 5-3:** Frecuencia de vibración en MCI Kalos 1,2

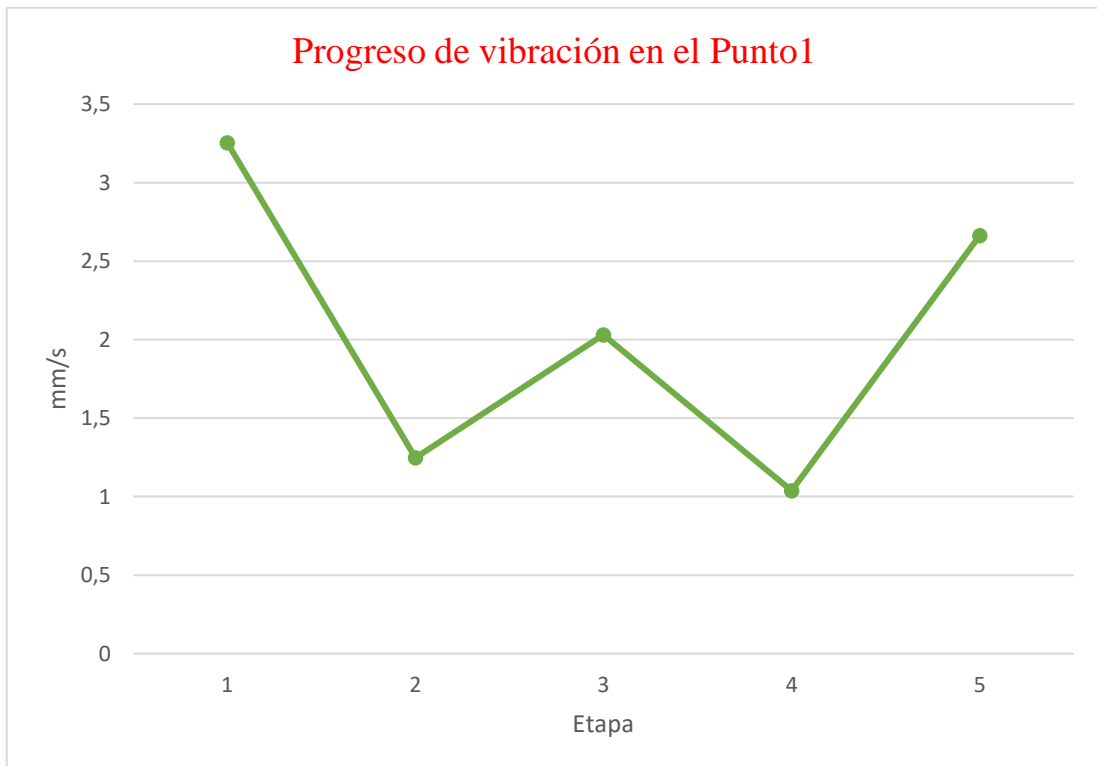
**Realizado por:** Robles, Jonathan, 2022.

La siguiente tabla 3-1 representa valores de espectro de vibración en cada uno de los casos (holgura entre cojinete y cigüeñal) para el punto 1, donde se destaca el Pmax, que es el punto máximo de la gráfica y se interpreta como el momento exacto donde explota la chispa; Pmin el valor menor y media de los espectros.

**Tabla 1-3:** Espectro de vibración por desgaste en el Punto 1

	Holgura 0i	Holgura 1	Holgura 2	Holgura 3	Holgura 0f	
<i>Pmax.</i> =	5,099	2,036	3,503	1,299	3,967	mm/s
<i>Pmin.</i> =	0,001	0,007	0,002	0,005	0,002	mm/s
<i>Promedio</i>	0,201	0,253	0,260	0,243	0,293	mm/s
<b>Valor de espectro de vel-LV1</b>	4,205	1,885	3,053	1,274	3,295	mm/s
<i>Pmax.</i> =	3,277	0,779	1,140	0,911	2,239	mm/s
<i>Pmin.</i> =	0,003	0,004	0,003	0,006	0,004	mm/s
<i>Promedio</i>	0,180	0,163	0,192	0,174	0,184	mm/s
<b>Valor de espectro de vel-LH1</b>	2,302	0,609	1,008	0,803	2,030	mm/s
<b>Frecuencia fundamental del cigüeñal en el Punto 1</b>						
<i>Valor de espectro de vel-LV1</i>	4,205	1,885	3,053	1,274	3,295	mm/s
<i>Valor de espectro de vel-LH1</i>	2,302	0,609	1,008	0,803	2,030	mm/s
<b>Ix</b>	3,254	1,247	2,030	1,038	2,662	mm/s

Realizado por: Robles, Jonathan, 2022.



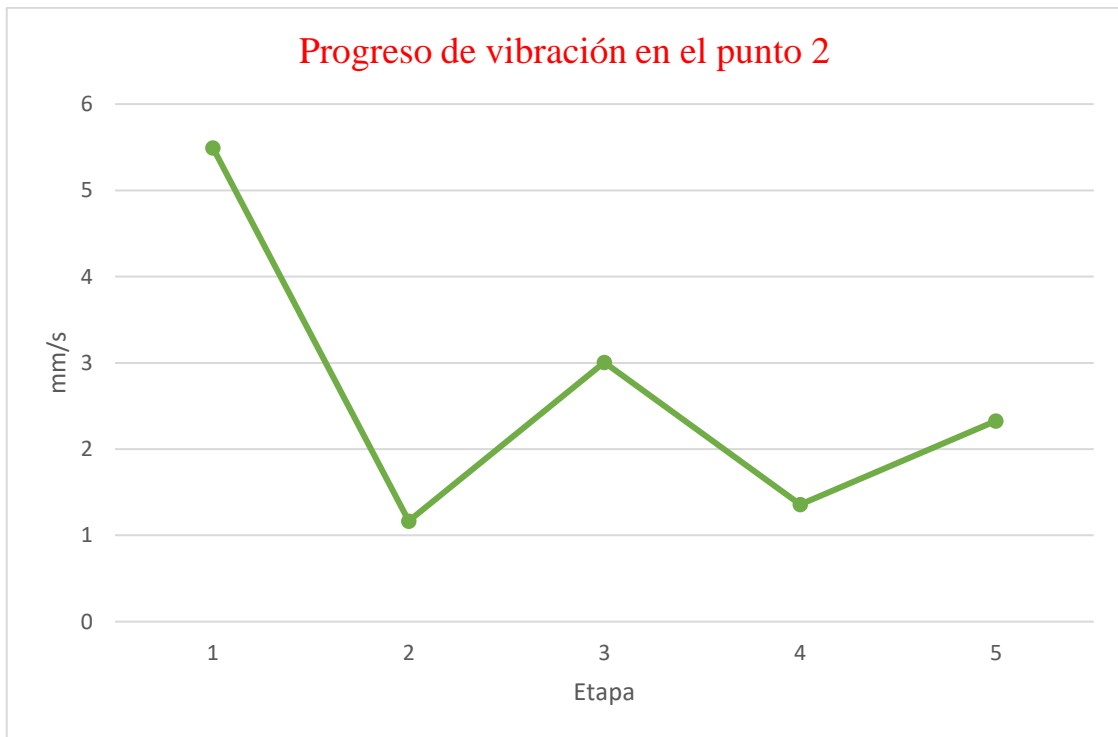
**Gráfico 6-3:** Frecuencia fundamental del cigüeñal del Punto 1 en cada etapa

Realizado por: Robles, Jonathan, 2021

**Tabla 2-3:** Espectro de vibración por desgaste en el Punto 2

	Holgura 0i	Holgura 1	Holgura 2	Holgura 3	Holgura 0f	
<i>Pmax.</i> =	8,346	1,405	5,154	2,583	3,621	mm/s
<i>Pmin.</i> =	0,003	0,003	0,004	0,004	0,006	mm/s
<i>Promedio</i>	0,362	0,303	0,372	0,296	0,402	mm/s
<b>Valor de espectro de Vel-LV2</b>	8,301	1,297	5,005	2,033	3,186	mm/s
<i>Pmax.</i> =	2,733	1,275	1,142	0,696	1,580	mm/s
<i>Pmin.</i> =	0,000	0,004	0,004	0,004	0,003	mm/s
<i>Promedio</i>	0,203	0,158	0,176	0,159	0,222	mm/s
<b>Valor de espectro de Vel-LH2</b>	2,684	1,036	1,009	0,680	1,471	mm/s
<b>Frecuencia Fundamental del cigüeñal en el Punto 2</b>						
Valor de espectro de Vel-LV2	8,301	1,297	5,005	2,033	3,186	mm/s
Valor de espectro de Vel-LH2	2,684	1,036	1,009	0,680	1,471	mm/s
<b>IX</b>	5,492	1,167	3,007	1,357	2,328	mm/s

Realizado por: Robles, Jonathan, 2022.



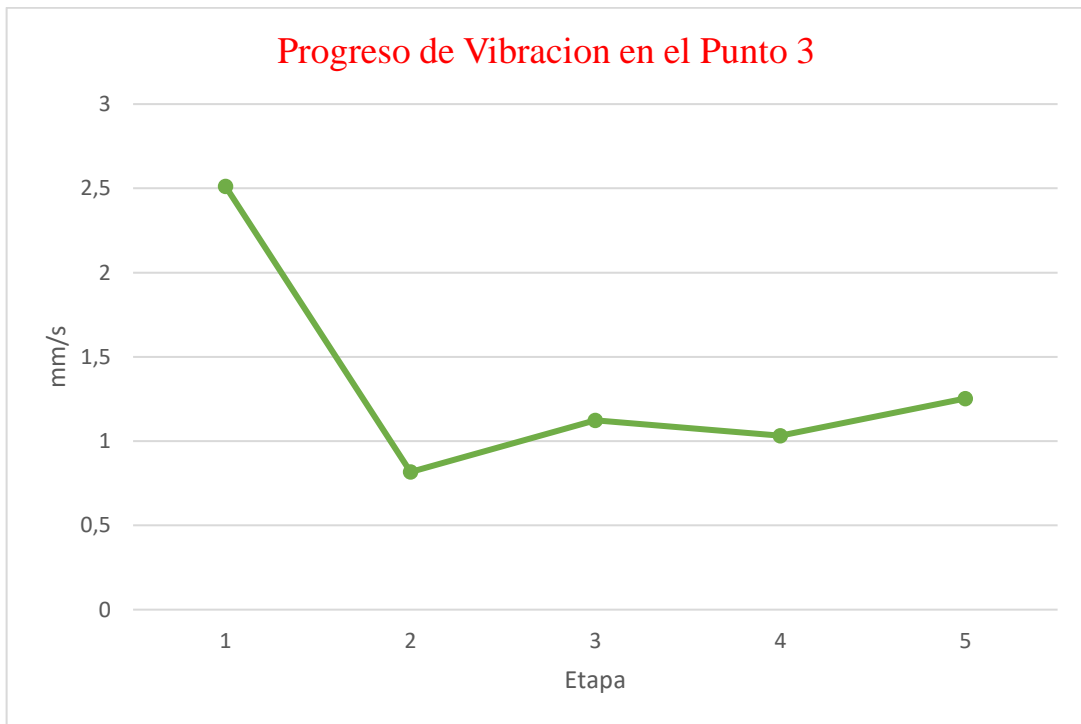
**Gráfico 7-3:** Frecuencia fundamental del cigüeñal del Punto 2 en cada etapa

Realizado por: Robles, Jonathan, 2022.

**Tabla 3-3:** Espectro de vibración por desgaste en el Punto 3

	Holgura 0i	Holgura 1	Holgura 2	Holgura 3	Holgura 0f	
<i>Pmax.</i> =	4,758	1,243	1,932	1,935	1,935	mm/s
<i>Pmin.</i> =	0,000	0,006	0,005	0,003	0,003	mm/s
<i>Promedio</i>	0,310	0,269	0,296	0,292	0,362	mm/s
<b>Valor de espectro de Vel-LV3</b>	4,256	1,146	1,871	1,641	1,858	mm/s
<i>Pmax.</i> =	1,035	0,617	0,410	0,502	0,738	mm/s
<i>Pmin.</i> =	0,001	0,007	0,003	0,006	0,000	mm/s
<i>Promedio</i>	0,095	0,100	0,104	0,106	0,111	mm/s
<b>Valor de espectro de Vel-LH3</b>	0,767	0,487	0,375	0,426	0,648	mm/s
<b>Frecuencia fundamental del cigüeñal en el Punto 3</b>						
Valor de espectro de Vel-LV3	4,256	1,146	1,871	1,641	1,858	mm/s
Valor de espectro de Vel-LH3	0,767	0,487	0,375	0,426	0,648	mm/s
<b>1X</b>	2,512	0,817	1,123	1,033	1,253	mm/s

Realizado por: Robles, Jonathan, 2022.

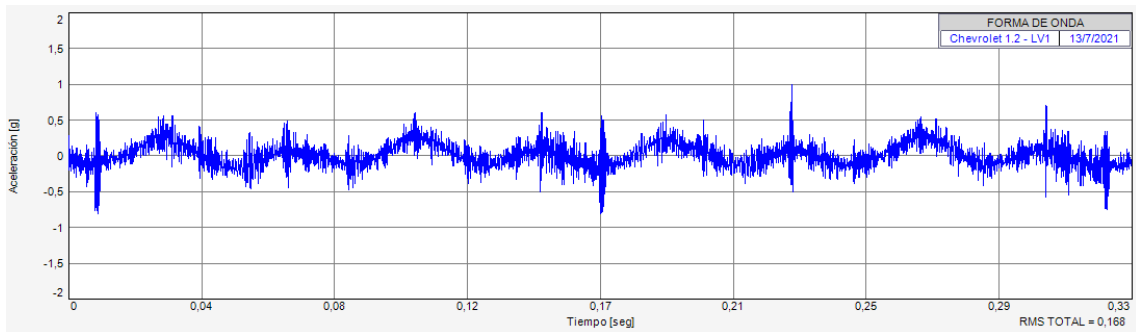


**Gráfico 8-3:** Frecuencia fundamental del cigüeñal del Punto 3 en cada etapa

Realizado por: Robles, Jonathan, 2022.

La figura 9-3 muestra claramente la diferencia de la frecuencia 1X en cada una de las etapas de toma de medidas, obteniendo una disminución progresiva no proporcional de las vibraciones

cuanto más incrementa la holgura, concluyendo que, al haber mayor holgura, la película lubricante entre los cojinetes de bancada y el cigüeñal aumenta, es así como se puede evidencia en la figura 3-10, donde se muestra la forma de onda una vez finalizado los ensayos estableciendo una holgura 0f.



**Gráfico 9-3:** Forma de Onda con Holgura 0f MCI Kalos 1,2

**Realizado por:** Robles, Jonathan, 2022.

En general, los cojinetes pueden seguir utilizándose a pesar de la formación de estrías y de las partículas incrustadas. Sin embargo, esto depende del grado de daño. Si, por ejemplo, hay múltiples y grandes huellas de fricción mixta ya marcadas debido a las deformaciones del material, es aconsejable cambiar el cojinete.

## CONCLUSIONES

- El análisis vibracional en motores de combustión interna se viene desarrollando desde hace algunos años justificado bajo la norma ISO 10816-1 la cual proporciona pautas generales para la evaluación de la vibración de la máquina mediante mediciones en piezas no giratorias, validando la realización de la investigación sobre vibraciones torsionales de elementos oscilantes.
- Se logró obtener las gráficas correspondientes a las vibraciones torsionales del motor de combustión interna Chevrolet Kalos 1.2, con las diferentes holguras entre los cojinetes de bancada y el cigüeñal.
- Mediante el análisis de las curvas obtenidas por el equipo de diagnóstico Vibracheck se logró determinar que, al aumentar el desgaste de los cojinetes, es decir, la holgura entre los cojinetes de bancada y el cigüeñal, las frecuencias de vibraciones torsionales disminuyen de manera no proporcional.
- El monitoreo recomendado en vehículos automotores se debe realizar con la obtención de las medidas vibro acústicas encontradas en el motor las mismas que determinaran un punto cercano al fallo es decir un cojinete en mal estado, desgastado o con rastro de que ha estado sometido a demasiada fricción.

## **RECOMENDACIONES**

- El análisis de vibraciones torsionales en elementos oscilantes de un motor de combustión interna se debe realizar con equipo adecuado, capaz de obtener los datos con el menor error posible para la veracidad de los resultados.
- Disponer de los materiales correspondientes para realizar los análisis de vibraciones en óptimas condiciones, es decir que el motor de combustión se encuentre en buen estado de funcionamiento antes de inducir el fallo lo cual permite mayor exactitud al momento de la experimentación.
- Los equipos para la toma de datos van a estar debidamente ajustados a los puntos y valores que vayamos a necesitar para la realización del análisis, en este caso se extrajo la aceleración y velocidad de los puntos uno, dos y tres, que se puso de apoyos para el acelerómetro.
- Adquirir normas actualizadas que servirán de guía para futuros trabajos semejantes, las cuales permitirán una base y parámetros a seguir para la comparación de datos obtenidos y establecer las diferencias existentes en las mismas.



## BIBLIOGRAFÍA

**ALBARRACÍN, Á. y HUIÑISACA, J.** *estudio mediante la técnica de vibraciones de los efectos de la variación de presión en el riel de combustible sobre la combustión de un motor crdi modelo hyundai santa fé 2.0.* [en línea], [Consulta: 14 junio 2021]. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/7714/1/UPS-CT004579.pdf>.

**BLANCO, A. et al.** *Control de vibraciones en maquinaria rotatoria. RIAI - Revista Iberoamericana de Automatica e Informatica Industrial* [en línea] 2010, vol. 7, no. 4, pp. 36–43. [Consulta: 14 junio 2021]. Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/257684503>.

**BRITISH STANDARDS INSTITUTION.** *Mechanical vibration — Evaluation of machine vibration by measurements on non-rotating parts Part 6 : Reciprocating machines with power ratings above 100 kW* [en línea] 1996 [Consulta: 14 junio 2021]. Disponible en: <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:10816:-6:ed-1:v1:en>.

**CÁRDENAS, P et al.** *Análisis de vibraciones en motores de combustión interna por medio de ultrasonido. universidad internacionaldel Ecuador* [en línea], pp. 4. [Consulta: 10 mayo 2021]. Disponible en: <https://repositorio.uide.edu.ec/bitstream/37000/2187/1/T-UIDE-1596.pdf>.

**CHIROQUE, C.** *Estudio de las vibraciones torsionales bajo regimen transitorio en un mecanismo de transmision por engranajes.* [en línea], 2010, Disponible en: <http://hdl.handle.net/20.500.12404/4868>.

**GRAJALES, J. et al.** *Diagnostico de un motor de gasolina de cuatro cilindros mediante el análisis de vibraciones//Diagnostic of a four cylinder gasoline engine using vibration analysis. (“Diagnostico de un motor de gasolina de cuatro cilindros ... - sld.cu”) Ingeniería Mecánica* [en línea] 2015, vol. 18, no. 3, pp. 188–195. [Consulta: 14 junio 2021]. Disponible en: [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S181](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S181)

**GUEVARA, M. y LANDA, L.** *Análisis de vibraciones en el motor de combustión interna j20- a a través de simulación de modos de fallas para contribuir el mantenimiento predictivo* [en línea] 2019, Riobamba: [Consulta: 14 junio 2021]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/11494>.

**HERNÁNDEZ, J. et al.** *Estimación de características relevantes para el monitoreo de condición*

*de motores de combustión interna a partir de señales de vibración TecnoLógicas* [en línea], vol. 20, no. 39. [Consulta: 14 junio 2021]. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/teclo/v20n39/v20n39a11.pdf>.

**IDEAR CONDITION MOTORING.** *Analizador de vibraciones mecánicas de dos canales.* [en línea] 2019 [Consulta: 14 junio 2021]. Disponible en: <http://www.idear.net/Especificaciones/Vibracheck-200.pdf>.

**MELENDRES, K.** *Cálculo y diseño de un absorber de vibraciones torsionales tipo péndulo para un motor de combustión interna de 2 cilindros y 4 tiempos.* [en línea]. 2018. Disponible en: <http://hdl.handle.net/20.500.12404/4456>.

**MENDOZA, O.** *Diagnóstico de Condición de Desgaste en Cojinetes de Biela en Motores de Combustión Interna (MCI) Mediante el Análisis de Vibraciones. - CBM CONNECT® en Español.* [en línea] 2016 [Consulta: 14 junio 2021]. Disponible en: <https://esp.cbmconnect.com/diagnostico-de-condicion-de-desgaste-en-cojinetes-de-biela-en-motores-de-combustion-interna-mci-mediante-el-analisis-de-vibraciones/>.

**OROPESA, Y.** *Metodología combinada del uso de MarPrime y Vibrotip para diagnóstico del motor HYUNDAI HIMSEN 9H25/33. (“Metodología combinada del uso de MarPrime y Vibrotip para diagnóstico ...”)* [en línea] 2017 [Consulta: 14 junio 2021]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/jatsRepo/614/61458000008/html/index.html>.

**RODRÍGUEZ, J.** *Diagnostico por vibraciones en motores de combustión interna // Diagnostic by vibrations in motor of internal combustion.*[en línea] 1998, vol. 1, no. 1, pp. 11-26-26. Disponible en: [https://www.researchgate.net\\_vibraciones\\_en\\_motores\\_de\\_combustion\\_interna](https://www.researchgate.net_vibraciones_en_motores_de_combustion_interna).

**RUBIANO, C.** *Implementación de los resultados del análisis de vibración en la planeación del mantenimiento, para la categorización y clasificación de la severiad de la vibración de equipos críticos en casa Luker S.A.* [en línea]. 2019 [Consulta: 14 junio 2021]. Disponible en: <https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/2476/Rubianocarlos2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

**RUIZ, D.** *Caracterización y análisis de espectros de vibración de un motor turbo cargado en el taller de ingeniería automotriz* [en línea] 2017 (“Vibraciones - Caracterización y análisis de espectros de vibración) Riobamba: ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE

CHIMBORAZO. [Consulta: 14 junio 2021]. Disponible en:  
<http://dspace.espoch.edu.ec/handle/123456789/13817>.

**STREEFKERK, R.** *Enfoque de investigación inductivo versus deductivo (con ejemplos)*. [en línea] 2019 [Consulta: 1 julio 2021]. Disponible en:  
<https://www.scribbr.com/methodology/inductive-deductive-reasoning/>.

**TORRES M. et al.** *Monitoreo de Condición en Motores de Combustión Interna Monocilíndricos con Base en Adquisición y Procesamiento de Señales Experimentales*. (Monitoreo de Condición en Motores de Combustión Interna) *KnE Engineering*, vol. 3, no. 1, pp. 736.

**VILLALVA, S. et al.** *Methodology for Automotive Crankshaft Design using Analytical and Flexible Models.* (“*Methodology for Automotive Crankshaft Design using Analytical and ...*”) *SAE Technical Papers* [en línea] 2013, vol. 13. [Consulta: 12 julio 2021]. Disponible en:  
<https://www.sae.org/publications/technical-papers/content/2013-36-0590/>.

## ANEXOS

### ANEXO A: EVIDENCIAS DEL TRABAJO DE TITULACIÓN



