



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**

**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS**

**CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

**TRABAJO DE GRADO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE  
INGENIERÍA EN MANTENIMIENTO AUTOMOTRIZ.**

**TEMA: “ANÁLISIS DE VIBRACIONES MECÁNICAS EN VEHÍCULOS  
HÍBRIDOS”**

**AUTOR:**

Luis Felipe Santacruz Guevara

**DIRECTOR:**

Ing. Carlos Nolasco Mafla Yépez MSc

**Ibarra, 2023**

**CERTIFICADO****ACEPTACIÓN DEL DIRECTOR**

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

**CERTIFICO:**

Que una vez analizado el plan de grado cuyo título es "Análisis de vibraciones mecánicas en vehículos híbridos" presentado por el señor: Luis Felipe Santacruz Guevara con número de cédula 1004087977, doy fe que dicho trabajo reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a presentación pública y evaluación por parte de los señores integrantes del jurado examinador que se designe.

En la ciudad de Ibarra, a los 14 días del mes Septiembre del 2023.

Atentamente



Ing. Carlos Mafía MSc.

Director del trabajo de grado



# UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

## BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

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

#### 1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

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

<b>DATOS DE CONTACTO</b>			
<b>CÉDULA DE IDENTIDAD:</b>	1004087977		
<b>APELLIDOS Y NOMBRES:</b>	Santacruz Guevara Luis Felipe		
<b>DIRECCIÓN:</b>	Ibarra		
<b>EMAIL:</b>	lfsantacruzg@utn.edu.ec		
<b>TELÉFONO FIJO:</b>		<b>TELÉFONO MÓVIL:</b>	0999974895

<b>DATOS DE LA OBRA</b>	
<b>TÍTULO:</b>	Análisis de vibraciones mecánicas en vehículos híbridos
<b>AUTOR (ES):</b>	Luis Felipe Santacruz Guevara
<b>FECHA: DD/MM/AAAA</b>	14/09/2023
SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO	
<b>PROGRAMA:</b>	<input checked="" type="checkbox"/> <b>PREGRADO</b> <input type="checkbox"/> <b>POSGRADO</b>
<b>TÍTULO POR EL QUE OPTA:</b>	Ingeniería en Mantenimiento Automotriz
<b>ASESOR /DIRECTOR:</b>	Ing. Paúl Hernández MSc / Ing. Carlos Mafla MSc

#### 2. CONSTANCIAS

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

Ibarra, a los 14 días del mes de septiembre de 2023

**EL AUTOR:**

(Firma).....  
Nombre: Luis Felipe Santacruz Guevara

**DEDICATORIA**

El presente trabajo dedico a mi hermana quien nunca me abandonado, aunque ya no esté presente físicamente su espíritu siempre está impulsándome hacer mejor cada día

**Felipe Santacruz**

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco a Dios por siempre estar conmigo y ayudarme a guiar mi camino en las bases de

lo que dice su palabra

A mi madre por enseñarme el valor de la humildad y enseñarme que todo es posible cuando

se pone en manos de Dios. A mi hermana menor por estar conmigo cada momento con su

apoyo incondicional

A mis sobrinas quienes son un pilar fundamental en mi vida y donde cada logro espero

contar con su presencia

A mis Tíos Irma y Luis quienes me han criado como un hijo dándome su apoyo y cariño en

cada paso en mi vida

Por último, pero no menos importante quiero agradecer a la Universidad Técnica del Norte

por mi formación profesional, a mis docentes el Ing. Carlos Mafla Msc quien fue el tutor de

este trabajo, así como a mis asesores Ing. Paúl Hernández Msc e Ing. Ignacio Benavides

MSc por su tiempo y aporte para la culminación de este trabajo de grado

**Felipe Santacruz**

## RESUMEN

El tema de movilidad con el pasar del tiempo van evolucionando con el desarrollo de nuevas tecnologías para reducir el uso de combustibles fósiles y el daño ambiental, pero sin perder el rendimiento y potencia en los motores. Los motores híbridos vienen desarrollándose desde algunos años para controlar y reducir las emisiones de los vehículos convencionales con MCI permitiendo un ahorro de combustible de hasta un 40% lo logran adicionando un motor eléctrico al MCI a la vez aumentando la potencia y el torque

La investigación de este proyecto se basó en el mismo modelo, pero en kilometrajes diferentes del Hyundai Sonata Hibrido, para iniciar se realizó un estudio bibliográfico para entender el funcionamiento de estos motores, se realizaron pruebas en los diferentes motores para verificar su operatividad por medio del escáner se verifica que no presente códigos de falla y que se accione el modo EV para las respectivas pruebas Para la obtención de datos se utilizó un sensor piezoeléctrico el mismo que envía señales a la DAQ para procesar señales en el software de Labview que se encarga de filtrar los resultados obtenidos para obtener una muestra limpia del análisis.

Al concluir con las pruebas se aprecia las pérdidas de voltaje que tiene cada motor dependiendo del kilometraje lo cual es indicativo de perdida de potencia y par motor que se puede traducir en menores vibraciones afectando tanto el aislamiento interno como el campo magnético para producir el giro del rotor de los motores en prueba, finalmente la diferencias de voltaje indican que por cada año el motor empieza a perder la fuerza de giro que tenía al ser nuevo indicando que el par magnético disminuye en relación al kilometraje de cada motor.

**Palabras clave:** motores híbridos, magnético, vibraciones, sensor piezoeléctrico, análisis de frecuencia

## ABSTRACT

The issue of mobility is evolving over time with the development of new technologies to reduce the use of fossil fuels and environmental damage, but without losing engine performance and power. Hybrid engines have been being developed for some years to control and reduce the emissions of conventional vehicles with ICM enabling fuel savings by up to 40% through the addition of an electric motor to the ICM and at the same time increasing its power and torque.

This research was based on the same model, but at different mileages of a Hyundai Sonata Hybrid, to begin with, a bibliographic study was carried out to understand the performance of these engines, tests were conducted on the different engines to verify their efficiency by means of a scanner to ensure that there are no error codes or EV mode activated for their respective tests.

A piezoelectric sensor was used to obtain data, which sends signals to the DAQ for signal processing in the Labview software, which filters the results obtained to achieve a clean sample of the analysis.

Upon completion of the tests, we can see the voltage losses for each motor depending on the mileage, which is indicative of loss of power and torque which can translate into lower vibrations affecting both the internal insulation and the magnetic field to produce the rotor turning of engines under test, finally, differences in voltage indicate that for every year the engine begins to lose the turning force it had when new, indicating that the magnetic torque decreases depending on the mileage of each engine..

**Keywords:** hybrid motors, magnetic, vibrations, piezoelectric sensor, frequency analysis

**INDICE**

CERTIFICADO.....	II
DEDICATORIA.....	IV
AGRADECIMIENTOS.....	V
RESUMEN.....	VI
ABSTRACT.....	VII
CAPÍTULO I.....	1
1. Revisión bibliográfica.....	1
1.1 Objetivos.....	1
1.1.1    Objetivo general.....	1
1.1.2    Objetivos específicos.....	1
1.2 Justificación.....	1
1.3 Alcance.....	3
1.4 Antecedentes.....	4
1.5 Marco Teórico.....	7
1.5.1 Motor.....	7
1.5.2 Motor de 4 tiempos.....	8
1.5.3 Motores Eléctricos.....	10
1.5.4 Partes del motor eléctrico.....	11
1.5.5 Elementos de un vehículo eléctrico.....	12
1.5.6 Motores síncronos.....	13
1.5.7 Motores híbridos.....	16
1.5.8 Análisis del estudio de vibraciones mecánicas en motores eléctricos.....	18
1.5.9 Vibración.....	20

1.5.10 Como realizar un análisis de vibración.....	20
1.5.11 Parámetros de vibración .....	22
1.5.12 Unidades de vibración .....	23
1.5.13 Elementos de resorte.....	24
1.5.14 Elementos de amortiguamiento .....	25
1.5.15 Vibraciones en sistemas de un grado de libertad.....	27
1.5.16 Vibración armónica excitada.....	28
1.5.17 Vibración en condiciones forzadas.....	30
1.5.18 Excitación por movimiento de la base.....	30
CAPÍTULO II.....	34
2. Materiales y métodos.....	34
2.1 Materiales .....	34
2.1.1 Vehículo híbrido.....	34
2.1.2 Características técnicas del motor eléctrico.....	36
2.2 Equipo obtención de datos.....	37
2.2.1 Sensor de vibraciones .....	37
2.2.2 DAQ NI 9250 .....	39
2.2.3 LABVIEW.....	40
2.3 Métodos .....	40
2.3.1 Zona de medición .....	43
2.3.2. Parte inferior del motor eléctrico.....	43
2.3.3 Adquisición de datos de vibraciones .....	43
2.3.4 Diferencia de motores eléctricos .....	44
CAPITULO III .....	57

3. Resultados.....	57
3.1 Características de vibraciones .....	57
3.2 Motores eléctricos.....	58
3.3 Guía para mantenimiento en motores eléctricos.....	61
Capitulo IV .....	62
4. Conclusiones y recomendaciones .....	62
4.1 Conclusiones.....	62
4.2 Recomendaciones .....	63
Referencias Bibliográficas.....	65
Anexos .....	67

### INDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Elementos básicos del MCIA .....	9
<b>Tabla 2.</b> Características Técnicas motor sincrónico de imán permanente .....	37
<b>Tabla 3.</b> Características sensor de vibración.....	38
<b>Tabla 4</b> Pico máximo y mínimo motor eléctrico 0 km .....	49
<b>Tabla 5</b> Promedio de las señales motor eléctrico 0 km .....	50
<b>Tabla 6</b> Pico máximo y mínimo motor 36.000 km .....	52
<b>Tabla 7</b> Promedio de datos motor eléctrico 36.000 km .....	52
<b>Tabla 8</b> Pico máximo y mínimo motor 2016 .....	54
<b>Tabla 9</b> Promedio de datos motor eléctrico 105.000 km .....	55
<b>Tabla 10</b> Comparación de datos motores eléctricos valores.....	55
<b>Tabla 11</b> Valores promedio de datos .....	56

<b>Tabla 12</b> Caracterización de los motores.....	57
<b>Tabla 13</b> Comparación de datos motor eléctrico 0 km .....	59
<b>Tabla 14</b> Comparación de datos motor eléctrico 36.000 km .....	60
<b>Tabla 15</b> Señales motor eléctrico 105.000 km.....	61

## INDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1:</b> Balance térmico del motor de combustión interna .....	7
<b>Figura 2.</b> Componentes principales del MCI A.....	9
<b>Figura 3.</b> Componentes de un motor eléctrico.....	11
<b>Figura 4.</b> MSIP empleado (izquierda) y motor de CD usado como carga .....	14
<b>Figura 5.</b> Conjunto del motor híbrido.....	17
<b>Figura 6.</b> Representación de una función armónica y sus derivadas primera y segunda ....	21
<b>Figura 7.</b> Muelles escalares. Arriba el muelle axial que transmite una fuerza de tracción o de compresión. Abajo un muelle angular que transmite un movimiento cuando experimenta una deformación.....	24
<b>Figura 8</b> Movimiento libre sin amortiguamiento.....	26
<b>Figura 9.</b> Movimiento Libre con amortiguamiento subcrítico .....	26
<b>Figura 10.</b> Leyes idealizadas de carga.....	31
<b>Figura 11.</b> Espectro de velocidad de un problema de desequilibrio.....	32
<b>Figura 12.</b> Espectro de velocidad de un problema de desalineación.....	32
<b>Figura 13.</b> Modo operativo del HEV y flujo de potencia .....	35
<b>Figura 14.</b> Principio de funcionamiento del motor eléctrico .....	36
<b>Figura 15.</b> Sensor de vibración.....	38
<b>Figura 16.</b> Componentes sensor piezoeléctrico .....	38

<b>Figura 17.</b> NI-9250 .....	39
Figura 18 CHASIS CDAQ-9171 .....	40
<b>Figura 19.</b> Pantalla de amplitud vs tiempo .....	41
<b>Figura 20.</b> Amplitud vs Frecuencia .....	41
<b>Figura 21.</b> Transformada de Fourier.....	42
<b>Figura 22.</b> Botón para adquirir datos.....	42
<b>Figura 23.</b> Botón indica la recolección de datos.....	42
<b>Figura 24.</b> Zona de análisis vibraciones .....	43
<b>Figura 25.</b> Sensor con imán.....	45
<b>Figura 26.</b> Principio de funcionamiento .....	46
<b>Figura 27.</b> Punto de medición.....	47
<b>Figura 28.</b> Señales obtenidas motor eléctrico 0 km.....	49
<b>Figura 29.</b> Señales obtenidas motor eléctrico 36.000 km.....	51
<b>Figura 30.</b> Señales obtenidas motor eléctrico 105.000 km.....	54
<b>Figura 31.</b> Motor 0 km.....	58
<b>Figura 32.</b> Motor 36.000 km.....	59
<b>Figura 33.</b> Motor 105.000 km.....	60

## **CAPÍTULO I**

### **1. Revisión bibliográfica**

#### **1.1 Objetivos**

##### **1.1.1 Objetivo general**

Analizar el aislamiento interno del motor eléctrico en vehículos híbridos a base de vibraciones.

##### **1.1.2 Objetivos específicos**

1. Estudio bibliográfico de los componentes que producen vibración en los motores eléctricos.
2. Determinar las zonas de medición más adecuadas para identificar las vibraciones en motores híbridos con sus frecuencias para conocer su óptimo estado operativo.
3. Procesamiento de datos con el analizador de vibraciones NI 9250 para determinar el funcionamiento y deterioro en función del año de los modelos en prueba.

#### **1.2 Justificación**

En la actualidad existen varias opciones de marcas y modelos en la categoría de híbridos los cuales pretende ser la opción para eliminar el uso de combustibles fósiles los cuales contaminan y afectan varios factores ecológicos, económicos y sociales una vez analizadas varias fuentes se tiene como referencia el Plan Nacional de Eficiencia Energética 2016-2035 en este estudio se encuentra relacionado con los objetivos:

3.3.2: Reemplazar equipos ineficientes, aplicar sistemas de cogeneración y adoptar la norma ISO 50.001 en las industrias energo-intensivas, donde su línea de acción 3 dice.

Programa de recambio de motores, bombas, calderas y calentadores de agua en las industrias Este programa se enfocará en desarrollar proyectos de renovación de equipos ineficientes,

como bombas, motores, calderas y calentadores de agua, para el sector industrial. El Estado lo promocionará a través de incentivos y será implementado por el sector privado, que se beneficiará del ahorro energético generado a partir de la sustitución de los equipos (Banco Interamericano de Desarrollo, 2016 ).

El análisis de vibraciones permite saber el estado en el cual se encuentra la máquina, permitiendo hacer un análisis de componentes y elementos. Con un análisis se puede tener un conocimiento del ciclo de vida del motor de la máquina y evaluar los criterios de selección, planeación, mantenimiento, o la renovación de un nuevo equipo.

3.4.3 Reemplazar tecnologías de transporte ineficientes, implementar el etiquetado energético y realizar capacitación en técnicas de conducción eficiente, donde línea de acción Proyecto de Etiquetado del Rendimiento Energético para Vehículos Nuevos. Este proyecto proporcionará información real sobre el rendimiento de los combustibles y las emisiones de CO2 asociadas, la cual constituirá una herramienta para que los usuarios privilegien el uso de vehículos eficientes (Banco Interamericano de Desarrollo, 2016 ).

Así como en el objetivo 3.4.3 que los datos del CO2 analizan el combustible. Este estudio realiza un rendimiento de los motores por medio de las vibraciones describiendo el estado de sus componentes aportando al usuario una maquinaria eficiente, con un rendimiento y ciclos de vida mayores (Banco Interamericano de Desarrollo, 2016 ).

En el Plan Nacional de Desarrollo 2017-2021 toda una vida, se encuentra relacionado con el objetivo 5: Impulsar la productividad y competitividad para el crecimiento económico sostenible de manera redistributiva y solidaria que dice: La ciudadanía destaca que para lograr los objetivos de incrementar la productividad, agregar valor, innovar y ser más

competitivo, se requiere investigación e innovación para la producción, transferencia tecnológica; vinculación del sector educativo y académico con los procesos de desarrollo; pertinencia productiva y laboral de la oferta académica, junto con la profesionalización de la población; mecanismos de protección de propiedad intelectual y de la inversión en mecanización, industrialización e infraestructura productiva. Estas acciones van de la mano con la reactivación de la industria nacional y de un potencial marco de alianzas público-privadas (Plan Nacional de Desarrollo Creación de Oportunidades, 2021).

Este tema es importante ya que permite crear una línea de investigación nueva enfocado en las fallas producidas por frecuencias de vibraciones y como estas afectan de manera directa o indirecta elementos. Por medio de tecnología y procesos se puede promover un estudio cada vez mayor en el campo de las vibraciones en maquinaria pesada.

### **1.3 Alcance**

Se analizará el funcionamiento en 3 motores híbridos comerciales con ciclos de trabajo nuevo, regular y malo por medio de un análisis de vibraciones que nos permite saber el estado de funcionamiento de sus componentes.

El dispositivo para utilizar es el NI 9250 que es una herramienta de mediciones de vibración del tipo acelerómetros para instalaciones permanentes, misma que permite la adquisición de señales sobre partes no rotativas, esto significa que no existe la necesidad del desarme o desmonte del motor ya que la medición se realizara con el vehículo operando de manera normal. El chasis USB CompactDAQ energizado por bus, diseñado para sistemas pequeños y portátiles de medidas de sensor, brinda sencillez de conexión rápida del USB a sus medidas eléctricas y de sensores.

## 1.4 Antecedentes

En la actualidad el análisis de vibraciones en distintas maquinas permite realizar diagnósticos en los motores determinando el estado técnico, siendo capaz de medir a través de frecuencias las fallas de balanceo de rotores, des alineamientos y mal montaje de elementos. Las reglas para cada medición van ajustadas de acuerdo al movimiento de cada máquina (Rodríguez, 2018).

El análisis de vibraciones permite obtener datos de motores, cojinetes, muelles, que podrian ocasionar un daño a largo o corto plazo en la maquina, es muy utilizado en el mantenimiento logrando aumentar su ciclo de vida y funcionamiento normal. El estudio de técnicas en las máquinas tiene varias limitantes; en el caso de motores de combustión interna (MCI) en los que influye la presencia de mecanismos sincronizados y repetidos haciendo que la evaluación de frecuencias resulte más compleja, esto atado a la complejidad para su diseño, producción y posteriormente el adecuado funcionamiento (Bonet, 2016).

El desarrollo de este análisis ayuda a mejorar y predecir el estado de la máquina. Uno de los retos más importantes es el conocimiento de donde tomar el punto de vibración para obtener datos de confianza para este tipo de estudio. En los motores influyen los rpm (revoluciones del motor) y la carga que se le pueda dar. Para definir el lugar donde tomar vibraciones se debe tener en cuenta los sitios donde más rotan los componentes que pueden dar una falla.

En referencia a este tipo de parámetros se pueden definir rangos aceptables para tener una base de datos para comparar entre máquinas en buen estado y mal estado. Un estudio bibliográfico permitirá tener una idea clara del funcionamiento del elemento a medir.

Se sabe que todas las maquinas generan vibraciones por medio del trabajo al que son sometidas mismas que con el paso del tiempo tiende a la falla de algunos de sus componentes, las características de sus vibraciones cambian; permitiendo bajo este estudio identificar el lugar y tipo de falla (Ramirez, 2017).

Existe la manera de experimentar para determinar las vibraciones provocadas en los elementos, rodamientos, engranajes, o la junta en los ejes; donde se puede observar la dinamica que poseen al momento de trabajo. Una manera eficaz para un análisis dinamico es la distribución del bloque en secciones mas simples, de esta manera es mas sencillo reducir la complejidad de medir todo un bloque; posterior a esto un vez obtenidos los datos y sabiendo las condiciones normales de función de una máquina se puede saber las condiciones normales de funcionamiento y también llevar un registro histórico sobre como la maquina va cambiando sus oscilaciones con el tiempo.

A lo largo del tiempo en los motores empieza aparecer fallas como en el sistema de bandas y poleas, inexistencia de compresión en el cilindro, problemas en el arranque, rodamientos y ejes, pudiendo ser analizados de forma directa o indirecta, ya que por medio de vibración logramos ver su velocidad y desplazamiento que por amplitud no permite ver la gravedad de la falla.

Las maquinas alternativas generan una gran cantidad de oscilaciones mismas que son producidas por el movimiento de sus partes que pueden moverse de una manera desequilibrada o pulsante. Es por esto que se debe aprender a distinguir este tipo de problemas dejando un motor a punto para su normal desarrollo de trabajo.

El análisis busca prevenir con tiempo una falla y poder estudiar la causa con el fin de evitar un paro total o parcial de la máquina; por medio de un diagrama del motor a estudiar se definen las características y lugares donde se originan oscilaciones con más frecuencia dentro del motor ayudando a definir los fallos futuros por las vibraciones de dicho elemento.

Definir puntos específicos para tomar datos ayuda a no tener una pérdida de tiempo al momento de tomar medidas y que hagan más eficiente el análisis. Antes debemos realizar un estudio del diagrama del motor eléctrico para saber su proceso de accionamiento para que no afecten los puntos elegidos dentro del estudio.

Se puede deducir que, para una buena distribución de los datos es muy necesario conocer métodos y ser muy preciso al momento de hacer un análisis o cálculos que determinen posiciones reales, oscilaciones, en estructuras o partes. Con la interpretación de estos datos se podrá identificar el problema, el lugar y la posible causa que indica por qué el análisis muestra imprevistos con parámetros altos de vibración. Las vibraciones muestran una señal de frecuencias, con la capacidad de evidenciar el comportamiento de varios componentes por medio de técnicas no destructivas.

Dentro de la aceleración angular de un bloque bajo ciertas condiciones muestran ciertas proporcionalidades con el par que genera el motor (a esto se incluye las fuerzas de inercia), esto indicando que dichas aproximaciones se dan debido a que el motor está funcionando de manera simétrica (Avello, 2014).

Las señales permiten conocer si existe un fallo por medio de la frecuencia, que con los datos normales se pueden saber si hay oscilaciones inadecuadas que afectan la función de los motores eléctricos. El diseño de un sistema formado por el motor de combustión y eléctrico permite estudiar tanto el bloque y sus componentes, como su funcionamiento

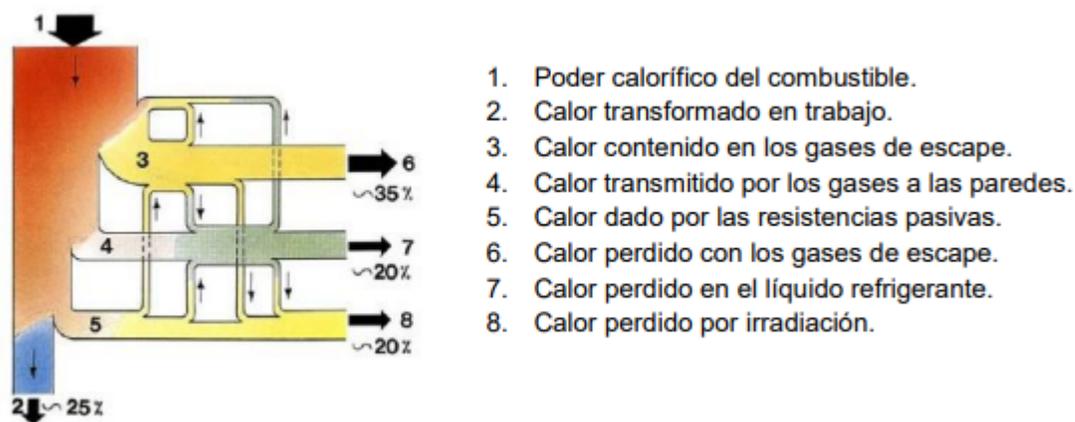
normal de forma interna y externa. Se debe tomar en cuenta que el bloque es una rotación natural, pero que contiene un movimiento pequeño de traslación.

## 1.5 Marco Teórico

### 1.5.1 Motor

De acuerdo con Hernández (2014) los motores de combustión interna (MCI) son aquellos que realizan un trabajo mecánico en base a la energía química que se tiene en un combustible; dicha energía se produce debido a que el combustible que está dentro del motor se quema u oxida. Este tipo de motores realizan un trabajo más eficaz.

Este tipo de motores revolucionaron el tema de transporte a finales del siglo XIX y principios del siglo XX, el mismo tuvo varios enfoques ya que facilitó temas de producción y comercio apoyándose de varios avances tecnológicos, adicional un beneficio dentro de los MCI son los costos y el apoyo al medio ambiente que aún en la actualidad generan temas de estudio (Llanes et al., 2018).



*Figura 1: Balance térmico del motor de combustión interna*

Fuente: (Romo, 2007)

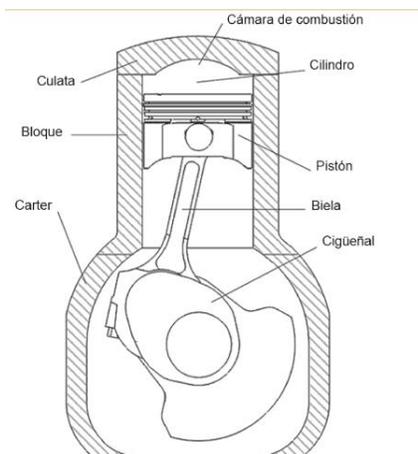
**Tipos de motores:**

- **Motor de 2 tiempos.** – Aumentan la potencia por cada cilindrada, dando movimientos lineales en el pistón a través del cigüeñal(Marín et al., 2018).
- **Motor de 4 tiempos.** – Se los define como máquinas termodinámicas ya que realiza 4 carreras del pistón a través de la admisión, compresión, expansión y escape(Marín et al., 2018).

**1.5.2 Motor de 4 tiempos**

El motor de 4 tiempos es un motor de combustión interna alternativo que a través de la historia ha ido evolucionando. Nicolas August Otto construyó en 1861 el primer motor de combustión interna que consumía gas de alumbrado, el cual presento una notable mejoría al combinar la aportación de Beau de Rochas quien propuso comprimir el fluido antes de la fase de combustión (Marín et al., 2018).

Los motores de combustión interna alternativos son motores térmicos de desplazamiento positivo, en donde el trabajo se obtiene mediante el desplazamiento lineal del émbolo de un mecanismo biela-manivela. Se denominan motores de combustión interna porque el estado térmico es generado por el propio fluido que evoluciona en el motor (Dominguez, 2016).



**Figura 2.** Componentes principales del MCI

Fuente: (Dominguez, 2016)

**Tabla 1.** Elementos básicos del MCI

Piston	Elemento con movimiento rectilíneo alternativo. Es el embolo del mecanismo biela-manivela y aumenta o disminuye el volumen del cilindro.
Biela	Elemento que, junto con la manivela, convierte el movimiento lineal del pistón en el rotativo del cigüeñal.
Cigüeñal	Elemento rotativo del motor, en el que se integra la manivela del mecanismo
Cilindro	Es el volumen que aloja el fluido de trabajo
Cámara de combustión	Es el volumen que queda por encima del pistón al finalizar la compresión y donde básicamente tiene lugar la combustión de la mezcla

Culata	Elemento que constituye el cerramiento superior de los cilindros
Bloque	Elemento que contiene los cilindros
Carter	Cierre inferior del motor. Contiene l aceite para la lubricación

### 1.5.3 Motores Eléctricos

Los motores eléctricos son máquinas que transforman energía eléctrica en energía de salida mecánica. La clasificación más usual de los motores eléctricos es la siguiente(Andrés & Gómez, 2014).

- Motores de corriente continua
- Motores de corriente alterna
- Síncronos
- Asíncronos o de inducción

Para conservar el uso racional de energía en los motores eléctricos implica utilizarlos solo el tiempo que sea necesario de acuerdo con las condiciones de producción. Para reducir el consumo de energía eléctrica se utilizan controles para apagar los motores, cuando estos no sean necesarios.

El rendimiento de un motor eléctrico es la relación entre la potencia mecánica de salida útil en el eje y la potencia eléctrica de entrada en los bornes de alimentación del motor.

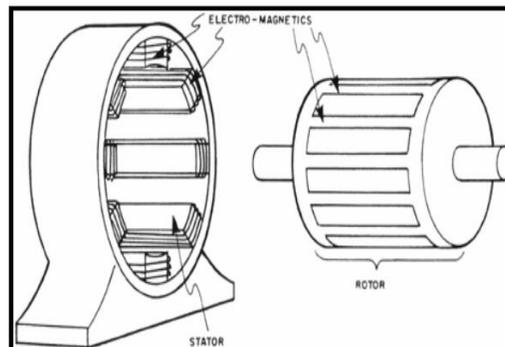
$$\text{Rendimiento eléctrico (n)} = \text{Potencia mecánica útil} / \text{potencia eléctrica}$$

Las principales consecuencias del mal rendimiento de un motor eléctrico son:

- Alto costo económico de funcionamiento del mismo
- Las pérdidas eléctricas de cualquier tipo se transforman en calor, el cual ha de ser evacuado del motor.

#### 1.5.4 Partes del motor eléctrico

Un motor tiene dos partes eléctricas básicas: Un estator y un rotor como se muestra en la siguiente figura.



**Figura 3.** Componentes de un motor eléctrico

Fuente: (Gimeno , 2021)

Según Murillo (2017) menciona que los componentes de un motor eléctrico son los siguientes:

- El estator es el componente eléctrico estático el mismo que consiste en un grupo de electroimanes individuales dispuestos de una manera tal que formen un cilindro hueco con un polo de cada cara de los imanes hacia el centro del grupo; el termino estator se deriva de la palabra estática.
- El rotor es el componente eléctrico rotativo el cual consiste en un grupo de electroimanes dispuestos alrededor de un cilindro con los polos haciendo frente hacia los polos del estator .
- La carcasa es la parte que protege y cubre el estator y el rotor.

### **1.5.5 Elementos de un vehículo eléctrico**

Se compone principalmente de un motor eléctrico y unas baterías que almacenan energía eléctrica. A diferencia de los vehículos de combustión que poseen partes móviles en el motor que necesitan sistemas de lubricación o sistemas de refrigeración; los motores eléctricos carecen de estos sistemas, por lo que, el mantenimiento de un coche eléctrico se reduce a únicamente mantener en buen estado el sistema de frenos y el buen funcionamiento de motor de combustión. Así como menciona Rodríguez (2017) sobre los elementos de un vehículo eléctrico son los siguientes:

- **Almacenamiento de energía**

El almacenamiento de energía más utilizado es la batería; también se pueden utilizar fuentes auxiliares de energía eléctrica como ultra-condensadores o las pilas de combustible. La batería es un dispositivo de almacenamiento de energía compuesto por células electroquímicas que convierten la energía química almacenada en energía eléctrica. Las características más importantes de una batería para determinar su utilización en un vehículo eléctrico son: su capacidad, medida de amperios-hora, su tiempo de recarga y el precio.

- **Freno regenerativo**

El freno regenerativo se ocupa de invertir el funcionamiento del motor eléctrico para que genere electricidad cuando el vehículo se encuentre en fase de frenado o deceleración. Su implementación permite un aumento de la eficiencia energética y de la autonomía.

- **Sistema regulador**

Es el elemento encargado de controlar los flujos de corriente que se crean entre el motor y la batería el cual requiere un sistema de refrigeración al ser más susceptible de sobrecalentarse.

- **Inversor**

Es el elemento encargado de transformar la corriente continua procedente de la batería en corriente alterna para su utilización en el motor eléctrico, este compuesto por un interruptor electrónico que cambia su polaridad de forma constante para formar una onda alterna

- **Rectificador**

El rectificador realiza la función contraria al inversor, transformando corriente alterna en corriente continua. Mediante este proceso posibilitan el almacenamiento de energía eléctrica generada por el motor eléctrico en las fases de frenado y desaceleración en las baterías.

- **Controlador**

El controlador es el elemento intermedio entre las baterías y el motor eléctrico que se encarga de ejecutar las ordenes que recibe del conductor mediante sensores. Consiste en una central electrónica que determina la cantidad de energía eléctrica que se debe recibir el motor eléctrico de las baterías y viceversa según la fase de funcionamiento.

### **1.5.6 Motores síncronos**

Para poder hablar del motor síncrono se debe identificar que pertenece al grupo de máquinas síncronas, las cuales son máquinas eléctricas rotativas las cuales pueden trabajar como motor y generador. En caso de trabajar como motor convierte la energía eléctrica en energía mecánica y de trabajar como generador convierte la energía mecánica en energía eléctrica (Rovira & Dominguez, 2015).

Este tipo de motores tienen una mejor precisión en términos de velocidad y posición debido a su propiedad de sincronía. Recientemente, los controladores que permiten modificar

dichas magnitudes se realizan por medio de dispositivos reprogramables y reconfigurables. (Barahona et al., 2019)

Los motores síncronos de imán permanente deben ser accionados por medio de un inversor trifásico, el cual preferentemente deberá entregar una onda de voltaje con la menor cantidad de armónicos posibles, ya que en caso contrario se puede generar algunos daños conocidos, tanto en la parte eléctrica como en la parte mecánica del motor. (Barahona Avalos et al., 2019)

De acuerdo con Molisaca (2020) la característica principal y base de funcionamiento del motor síncrono es que el rotor gira a la misma velocidad de sincronismo, es decir que, el rotor gira a la misma velocidad que el campo magnético giratorio que se genera en el estator.

### **Tipos de motores síncronos**

Existen 4 tipos de motores síncronos

- **Motor síncrono de imanes permanente.**



**Figura 4.** MSIP empleado (izquierda) y motor de CD usado como carga

Fuente: (Barahona Avalos et al., 2019)

- Motor síncrono de imán permanente sin escobilla
- Motor de reluctancia variable
- Motor paso a paso

Según Escudero (2018) menciona que debido a que esta investigación se basará en motores síncronos de imanes permanentes se definirá con más detalle a continuación:

- **Motor síncrono de imanes permanentes**

Se trata de un motor que combina el motor de inducción y un motor CC sin escobillas y cuyo funcionamiento y como su nombre lo dice este se basa en imanes permanentes. Estos imanes se encuentran en su rotor, por otra parte, el estator es muy similar al de un motor de inducción; con los imanes permanentes este motor puede producir un par motor a velocidad cero sin embargo, requiere el suministro de un convertidor de frecuencia (Murillo, 2017).

- **Funcionamiento**

La máquina síncrona de imanes permanentes sigue un funcionamiento similar al de una máquina síncrona convencional; ambas son una máquina eléctrica rotativa de corriente alterna cuya velocidad de giro coincide con la velocidad del campo magnético giratorio.

- **Métodos de arranque del motor síncrono**

Si un motor sin movimiento se le conecta a la red para hacerlo funcionar presenta una fuerte vibración y sobrecalentamiento. Para poder realizar el arranque correcto de un motor síncrono de forma segura existen métodos de arranque (Molisaca, 2020).

- **Arranque por reducción de frecuencia eléctrica**

Según Murillo (2017) indica que, si los campos magnéticos del estator en un motor síncrono giran a una velocidad lo suficientemente baja, no habría ningún problema para que

el rotor se acelere y se enlace con él con el magnético del estator. Entonces se puede incrementar la velocidad de los campos magnéticos de estator aumentando gradualmente la frecuencia hasta su valor nominal de 50 o 60 Hz.

➤ **Arranque mediante un variador de frecuencias**

Este método de arranque es aplicado cuando se emplea un variador para regular la velocidad en el cual se arranca el motor a una frecuencia muy baja a la que corresponde una velocidad síncrona la suficientemente baja pero que a la vez pueda romper la inercia mecánica y sea capaz de girar a dicha velocidad, posteriormente se va aumentando gradualmente la frecuencia y su velocidad hasta que el rotor pueda alcanzar la velocidad normal de funcionamiento y completar el proceso de arranque del motor (Molisaca, 2020).

➤ **Arranque con motor externo**

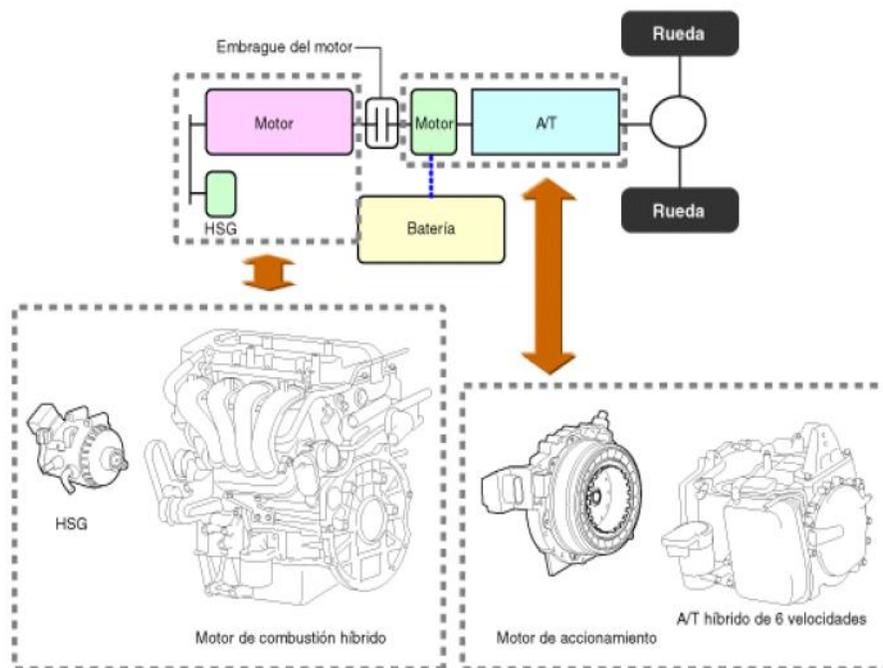
Para poder llevar un motor a su velocidad de sincronismo se puede acoplar un motor externo para su arranque, una vez alcanzada esta velocidad, se conecta la maquina en paralelo a la red y se desconecta el externo del eje. El motor de arranque puede tener valores nominales bastantes menores a los del motor síncrono que arranca ya que solo debe de superar la inercia del motor síncrono en vacío (Molisaca, 2020).

### **1.5.7 Motores híbridos**

Según lo define Rovira (2015) es aquel que combina un motor eléctrico y un motor de combustión por lo general de gasolina. También posee una batería que es recargada por el motor de combustión. Actualmente el sector automotriz ha introducido en el mercado un nuevo concepto, vehículos con motor híbrido; este tipo de vehículos que utilizan tecnología alternativa considerada 100% ecológica y con múltiples beneficios no sólo para el medio

ambiente sino para la población, es considerada viable para lograr mitigar el incremento por contaminación de CO<sup>2</sup> que afectan de manera indirecta a todos los individuos por este agente contaminante (Arguelles, 1982).

Para dar cuenta de las transformaciones profundas ocurridas en las últimas cuatro décadas, es necesario integrar en la explicación la manera en que los componentes y los sistemas electrónicos han transformado la naturaleza de los vehículos automotores. Este modelo utiliza una combinación de dos motores, uno de combustión interna y otro eléctrico como fuentes de energía. De esta forma, los componentes eléctricos compuestos por la batería y el motor eléctrico se destinan a mejorar el rendimiento del motor convencional de combustión, reduciendo su consumo de combustible hasta un 40% (Arguelles, 1982).



**Figura 5.** *Conjunto del motor híbrido*

Fuente:(Rovira, 2015)

En la actualidad, la evolución está regida tanto por la integración de todos los elementos en un volumen único como por la optimización de los sistemas de seguridad activa y pasiva, incluida las modernas líneas aerodinámicas y las altísimas tecnologías utilizadas en los modernos motores. Actualmente la tecnología se desglosa en tres sistemas principales de hibridación (Escudero, 2011):

➤ Híbridos convencionales HEV

El motor principal es el de combustión y se ayudan de un pequeño motor eléctrico cuya batería se auto recarga mediante un sistema de frenado regenerativo que convierte la energía cinética en energía eléctrica, a diferencia del sistema normal que la desperdicia.

➤ Híbridos enchufables PHEV

El motor eléctrico es mayor y la batería tiene capacidad para mover le vehículo por si sola durante una determinada cantidad de kilómetros, esta se recarga en la red eléctrica, ya sea en punto de conexión públicos o en postes privados en los domicilios de los usuarios.

➤ Híbridos de autonomía extendida

El motor principal es eléctrico, también enchufable, pero además incorpora un pequeño motor de combustión que funciona como un grupo electrógeno para recargar las baterías y así ampliar la autonomía del vehículo sin recurrir a un punto de carga.

### **1.5.8 Análisis del estudio de vibraciones mecánicas en motores eléctricos**

La vibración se considera como la oscilación de un cuerpo alrededor de una posición de equilibrio. Todos los cuerpos presentan una señal de vibración donde plasman su característica y se establece que la vibración que experimenta dicho cuerpo es periódica solo

si el movimiento que realiza se repite con todas sus características en un cierto intervalo de tiempo, denominado periodo (T) (Mendoza, 2019).

Los ensayos en motores reales permiten la medida de los fenómenos sin la “distorsión” que supone emplear un modelo físico simplificado. La aplicación más habitual es la experimentación en banco de ensayos de motores monocilíndricos o policilíndricos instrumentados para medir variables medias, instantáneas y emisiones mismas que permiten evaluar las prestaciones del motor, el ajuste y validación de modelos predictivos o modelos físicos simplificados (Martinez, 2015).

Las vibraciones fueron estudiadas mucho tiempo atrás por algunos personajes en la historia como B. Taylor quien analizo las vibraciones producidas en cuerdas, D. Bernoulli quien dijo que las vibraciones en cuerdas son la unión de periodos armónicos, J. Lagrange afirmó que las vibraciones son la unión finita de pequeños elementos diferenciales y calculó las frecuencias naturales igual al número de partículas (Tene & Ortiz, 2016).

En la época de la industrialización fue la cúspide donde iniciaron los problemas en maquinaria debido a sus ruidos y vibraciones, actualmente con los problemas de medio ambiente la mayoría de maquinaria se analiza desde su ruido y vibración. El análisis de este tipo de máquinas puede llegar hacer muy complejo, por lo cual se lo puede dividir en elementos más pequeños para su estudio donde usando dispositivos y un software se puede realizar un estudio adecuado (Tene & Ortiz, 2016). Cuando la frecuencia de excitación y la natural llegan hacer iguales producen grandes daños de deformación, fatiga o destrucción de una maquina a la unión de estas dos frecuencias se la conoce como resonancia.

### **1.5.9 Vibración**

La clave para la optimización de la combustión en motores inyección directa se basa en la mejor compresión de lo que ocurre en la cámara de combustión, la medida experimental de emisiones contaminantes o prestaciones en el motor ofrece información importante acerca de cuál es el resultado de una determinada solución de una estrategia del motor como la inyección o la renovación de la carga (Martinez, 2015).

El movimiento de un cuerpo puede ser de forma simple o muy complicada; puede vibrar en una o más direcciones. El conocimiento de las formas básicas del movimiento se puede usar en el estudio de vibraciones o en el análisis experimental de las vibraciones de máquinas (Szymiec, 2016).

### **1.5.10 Como realizar un análisis de vibración**

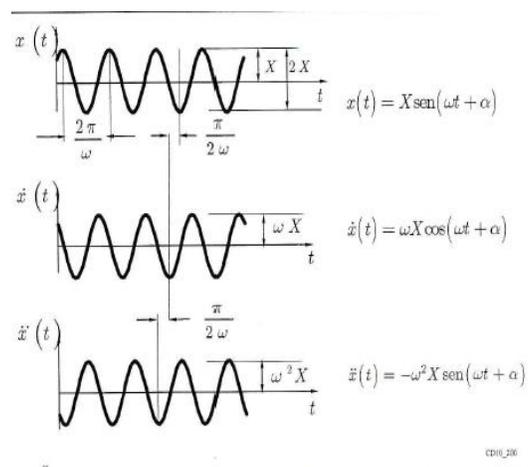
Para conllevar las mediciones de vibraciones, es obligatorio instalar sobre el exterior del motor al menos un sensor que envíe la señal a un registrador para luego ser analizada. Ya que este procedimiento es inmediato y de gran confiabilidad en el descubrimiento de alteraciones; es preciso poseer acceso y ubicarse en contacto inmediato con el motor para consumir las mediciones (Quisay, 2021).

El motor eléctrico de corriente continua se encuentra unido al eje por medio de un acople rígido, el eje se encuentra soportado por dos chumaceras y aloja dos volantes al extremo derecho del eje, cada una con 8 orificios que permitirán la incorporación de pequeñas estructuras para realizar desbalanceo (Quisay, 2021).

Según Martínez (2015) en su investigación indica que se han desarrollado diferentes técnicas de diagnóstico de la combustión, con la medida experimental de alguna señal instantánea (presión, velocidad del motor, vibraciones, luminosidad de la llama), las técnicas orientadas a la detección de funcionamientos anómalos del motor basada en la medida de las oscilaciones del bloque del motor que permite estimar las variaciones del par.

#### - **Movimiento armónico**

Se basa en funciones de senos y cosenos donde sus parámetros de amplitud, frecuencia y fase son constantes. En este tipo de movimiento puede ser repetitivo a tiempos constantes, por lo cual es muy utilizado para análisis de estructuras representadas en funciones trigonométricas o con el uso de número complejos (Martinez, 2015).



**Figura 6.** Representación de una función armónica y sus derivadas primera y segunda

Fuente: (Rovira & Dominguez, 2015)

Según Martínez (2022) la clasificación de vibraciones es la siguiente:

#### - **Movimiento periódico y no periódico**

Se define movimiento periódico por periodos de movimiento que no es igual a cero y el no periódico define que el movimiento no se repite durante cualquier periodo de tiempo.

- **Vibración libre y forzada**

La vibración libre se refiere a un sistema que vibra por sí mismo por medio un movimiento instantáneo, puede ser de dos clases produciendo energía cinética o energía potencial. Por otra parte, la vibración forzada se debe al movimiento de los elementos de unos sistemas o de ciclos repetitivos, este tipo vibración generalmente se da en maquinaria del tipo diésel.

- **Vibración lineal y no lineal**

Para sistemas vibratorios que sus elementos se comporten de manera lineal se obtendrá una vibración del tipo lineal, donde para ser lineal la magnitud de salida es proporcional a la magnitud de entrada y también si un sistema maneja dos entradas independientes la salida tendrá las mismas entradas con esto no existirán frecuencia de salida que no existan en la entrada.

Para los sistemas que se manejan dentro de un ambiente no lineal comportándose con amplitud de oscilación creciente.

- **Vibración determinística y aleatoria**

Si la frecuencia de un sistema se determina en cualquier periodo de tiempo, la frecuencia se denomina determinística. Cuando la frecuencia no se puede determinar en algún periodo de tiempo se la conoce como aleatoria donde su recopilación se estima con promedios.

### **1.5.11 Parámetros de vibración**

- **Frecuencia natural**

Es la excitación propia de un sistema vibratorio después de aplicarle un impulso externo, el número de frecuencia que genere un sistema está directamente relacionado con la

cantidad de grados de libertad que posea. Estos grados de libertad son determinados por las articulaciones que se mueven independientemente dentro de un sistema dinámico (Rovira & Dominguez, 2015).

- **Resonancia**

Ocasionado cuando la frecuencia normal del sistema llega a niveles de la frecuencia natural, este tipo de frecuencia genera grandes daños por vibraciones elevadas (Rovira & Dominguez, 2015).

- **Decibel**

Es una unidad de escala algorítmica, que permite referir el valor medio de la amplitud a un grado de referencia (Rovira & Dominguez, 2015).

$$L_{dB} = 20 \log_{10} \frac{L_1}{L_{ref}}$$

Donde:

$L_{dB}$  = La intensidad de la señal en dB

$L_1$  = La frecuencia basada en Aceleración, Velocidad o Desplazamiento

$L_{ref}$  = la frecuencia referida a 0 dB

### 1.5.12 Unidades de vibración

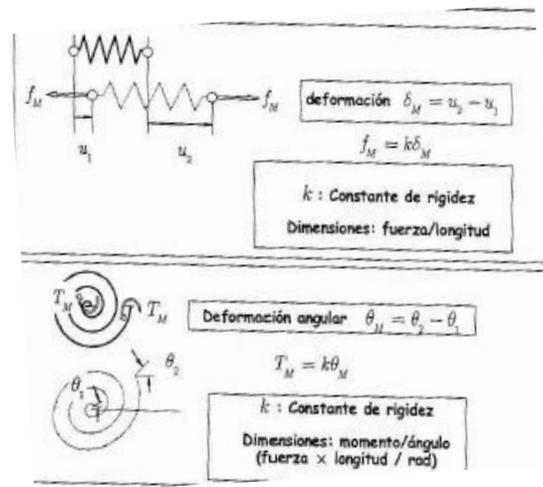
Generalmente las medidas en sistemas de vibración vienen determinadas por el desplazamiento en ( $\mu\text{m}$ ), la velocidad en (mm/s) y la aceleración en (g). La gravedad de las

vibraciones viene determinada sea por el fabricante o como es más común por la norma ISO 10816-6.

### 1.5.13 Elementos de resorte

Cada sistema vibratorio tiene uno o más elementos elásticos. Por otro lado las propiedades elásticas del resorte se definen por su rigidez  $K$ , y ésta es una constante que define la relación entre la fuerza aplicada al resorte y la deformación producida (Szymiec, 2016).

En el caso de los resortes generalmente la masa y el amortiguamiento son despreciables. En resortes lineales se define como su fuerza es proporcional a su deformación, en casos reales los resorte están ligados a magnitudes de fuerza y deformación de manera lineal.



**Figura 7.** Muelles escalares. Arriba el muelle axial que transmite una fuerza de tracción o de compresión. Abajo un muelle angular que transmite un movimiento cuando experimenta una deformación.

Fuente: (Trempe, 2016).

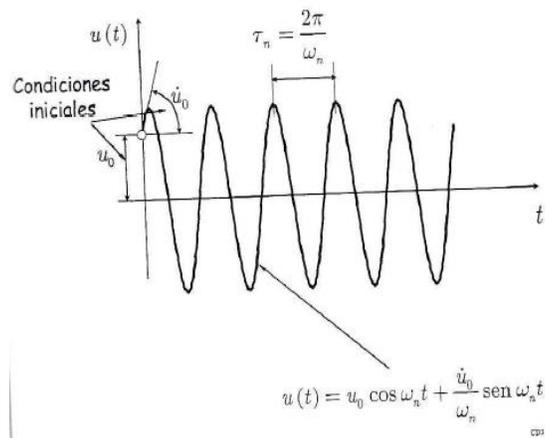
Existen casos que encontramos resortes no lineales nos referimos a su holgura, compresión inicial, y los topes. En la industria automotriz encontramos diferentes tipos de resortes que pueden ser de un gas o un líquido, dentro de una cámara cerrada que se desplaza linealmente, donde podemos obtener las características del resorte tomando en cuenta la forma del pistón (Gimeno , 2021).

Otro caso muy común son resortes en paralelo en este tipo encontramos una deflexión estática donde cada resorte tiene el mismo desplazamiento. Con la misma elongación y su fuerza distribuida proporcionalmente a cada resorte. En el caso de los resortes en serie estos están unidos aun resorte equivalente, donde al aplicarle una fuerza, es la misma sobre cada uno y su elongación es la suma de cada resorte del sistema (Gimeno , 2021).

#### **1.5.14 Elementos de amortiguamiento**

En este caso, además de la masa y del elemento elástico cada sistema experimenta un cierto amortiguamiento de su movimiento debido a la fricción entre sus elementos, tales como la resistencia del aire y la fricción generada por una capa de líquido (Szymiec, 2016).

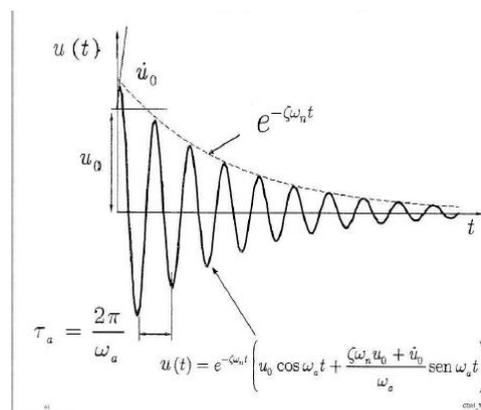
Para el estudio de amortiguamiento en este caso estudiamos aspectos como el amortiguamiento viscoso que es el más usual en motores de combustión. Cuando un sistema vibra con aire o aceite a una velocidad controlada, se debe saber que la relación de la fuerza de resistencia y la velocidad al que este se mueve es de manera lineal y que esta fuerza es siempre contraria a la velocidad del elemento. Sus constantes se definirán por las propiedades del fluido y la geometría del sistema.



**Figura 8** Movimiento libre sin amortiguamiento

Fuente: (Tremps, 2016)

La fricción seca se da por el contacto de piezas en el sistema y está ligado al coeficiente de fricción y la fuerza en la que se da el contacto. Existen casos donde se reemplaza la fuerza real de fricción por un amortiguamiento equivalente que se obtiene con la igualdad entre la fuerza viscosa equivalente y el trabajo de fricción (Tremps, 2016).



**Figura 9.** Movimiento Libre con amortiguamiento subcrítico

Fuente (Tremps, 2016)

En un problema estructural dinámico aparecerán desplazamientos, velocidades y aceleraciones de los diferentes puntos materiales de la estructura, Cuando estas magnitudes se multiplican por la rigidez, el amortiguamiento y la masa respectivamente dan lugar a tres tipos de fuerzas: elásticas, amortiguamiento, y de inercia (Tremps, 2016 ).

Para describir estas fuerzas tenemos tres tipos:

1. Los amortiguadores que analizan la dispersión de energía con fuerzas y velocidades.
2. Los muelles que indican la capacidad del material de ser deformado, con respecto a fuerzas y desplazamientos.
3. Masas que indican la resistencia del material con las aceleraciones y sus fuerzas

#### **1.5.15 Vibraciones en sistemas de un grado de libertad**

El sistema tiene un grado de libertad cuando su posición geométrica se puede expresar en cualquier instante mediante una sola coordenada. Por ejemplo, el péndulo matemático o físico que gira en el plano tiene un grado de libertad. Su posición se puede definir con el ángulo, o con la coordenada X o Y (Szymiec, 2016).

Se dice que un sistema experimenta vibración libre cuando oscila sólo debido a una perturbación inicial sin que más adelante actúen fuerzas externas, la figura muestra un sistema de resorte y masa que representa el sistema de vibración más simple posible, se llama sistema de un solo grado de libertad, ya que una coordenada ( $x$ ) es suficiente para especificar la posición de la masa en cualquier momento, no existe ninguna fuerza externa aplicada a la masa, de ahí el movimiento resultante de una perturbación inicial será una vibración libre (Rao, 2022).

Al hablar de grados de libertad nos referimos a encontrar la posición de todos los elementos de una maquina con número mínimo de coordenadas independientes. Este tipo de sistemas a veces no están sencillo ya que existen sistemas uno o más elementos. Como ejemplo se considera un elemento de resorte lineal y una masa que puede moverse en dirección lineal únicamente. Por efectos de gravedad se sabe la masa siempre se moverá a su posición de equilibrio al momento de aplicarle una tensión, teniendo en cuenta que la gravedad se relaciona con la tensión del resorte (Vacian, 1998).

En este tipo de sistema de un grado de libertad vibra de manera armónica con la frecuencia que está ligado a la rigidez del resorte con su inercia. En un análisis de vibraciones de un sistema con relación a su momento de equilibrio donde siempre la relación entre gravedad y tensión siempre se compensan. En lo que respecta a las vibraciones con amortiguamiento en este caso el amortiguador provoca una fuerza que con la velocidad es proporcional (Vacian, 1998).

### 1.5.16 Vibración armónica excitada

En este capítulo revisaremos la dinámica de un sistema de un sistema de un grado de libertad sujeta a excitaciones armónicas analizadas de la forma:

$$F(t) = F^0 \cos(\omega t + \phi) \quad [1.7]$$

$$F(t) = F_0 \text{sen}(\omega t + \phi) \quad [1.8]$$

Donde:

$F_0$ : Amplitud

$\omega$ : Frecuencia

$\phi$ : Angulo de fase de la excitación armónica

El valor de  $\emptyset$  depende del valor de  $F(t)$  en  $t = 0$  y suele considerársele cero, bajo excitación armónica, bajo excitación armónica, la respuesta del sistema también será armónica, si a frecuencia de la excitación coincide con la frecuencia natural del sistema, la respuesta será muy grande (Rao, 2022).

Los sistemas con un grado de libertad se encuentran en muchas máquinas por ejemplo impresoras, relojes, vehículos y en otros sistemas motrices. Las vibraciones son generadas por fuerzas dinámicas o por el contacto con otros elementos que giran o se desplazan. Generalmente las excitaciones se dividen en dos grupos: excitación directa (fuerza, presión, torque) y excitación cinemática (desplazamiento de un punto) (Szymiec, 2016) .

En este tipo de vibraciones la excitación en los elementos es por la fuerza armónica que es igual a su amplitud por el seno de la frecuencia de cambio. Aquí la gravedad se compensa con tensión de inicio del resorte, tenemos un coeficiente de estudiar y es el factor de amplificación que especifica la cantidad de veces que la amplitud de la vibración es más grande que el desplazamiento estático (Szymiec, 2016).

En la excitación cinemática se debe tomar en cuenta que existen vibraciones ocasionadas por otros elementos, como pisos y paredes y estas vibraciones mencionadas se transmiten por resortes y amortiguadores. Cuando existe un desbalance específicamente en lugares de rotación es donde más se produce las vibraciones; estas producen ruido, causan fatiga, afectando la máquina y las condiciones de trabajo. Por esta razón se desarrollan equipos de balanceo, así como para los rotores de motores, turbinas de gas o vapor (Szymiec, 2016).

### **1.5.17 Vibración en condiciones forzadas**

La función forzada general puede ser periódica (no armónica) o no periódica, las fuerzas no periódicas incluyen fuerzas como una fuerza constante aplicada de repente, una fuerza que ejerce linealmente y una fuerza que varía exponencialmente, una función forzada no periódica puede actuar con una duración corta, larga o infinita (Rao, 2022).

El análisis de la respuesta del sistema a la acción de fuerzas exteriores, Por respuesta del sistema a la acción de fuerzas exteriores, Por respuesta entendemos cualquier magnitud que exhiba el sistema como consecuencia a la excitación, Así, la respuesta puede ser el desplazamiento de una masa, su aceleración, el momento flector de una viga en una determinada sección (Tremps, 2016 ).

Este tipo de vibración se realiza en condiciones de tiempo o frecuencia, donde nos basamos en el tiempo debemos integrar la ecuación diferencial de movimiento, cuando basamos en la frecuencia estudiamos la respuesta estacionaria de la excitación sinusoidal teniendo como resultados amplitud y fase de respuesta con respecto a la excitación.

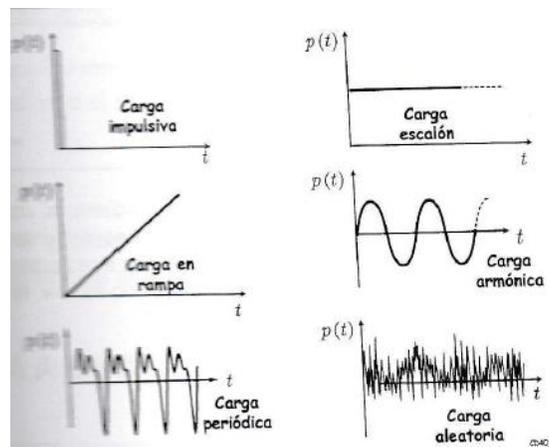
### **1.5.18 Excitación por movimiento de la base**

En casos reales un sistema se encuentra dentro de una base o carcasa rígida, que viene definida por una ley que puede ser conocida y formulada de forma análoga, para realizar un análisis de este tipo debemos tomar la masa en cada momento, tomando como grado de libertad el movimiento relativo de la masa en función de la base o también por desplazamiento absoluto con un punto fijo. En otros casos se toma el desplazamiento absoluto de la masa con respecto a la aceleración de este mismo.

### **Leyes idealizadas de carga**

Son leyes de carga que representan condiciones en casos reales como:

- Carga Impulsiva
- Carga en rampa
- Carga Periódica
- Carga de escalón
- Carga armónica
- Carga aleatoria



**Figura 10.** Leyes idealizadas de carga

Fuente:(Trempe, 2016 )

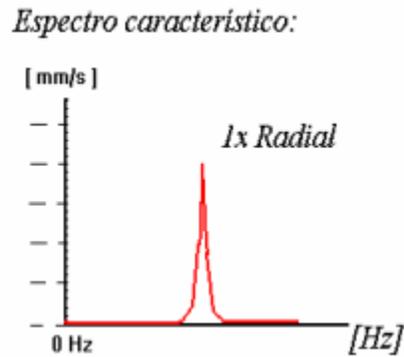
Su importancia es ideal para analizar casos prácticos y que permiten tener características claras de los análisis realizados a estructuras.

### **Causas más comunes de fallo**

- Fallos en acoplamientos

## Desequilibrios

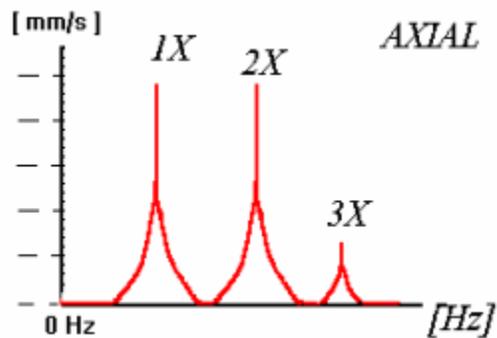
La inestabilidad aerodinámica o hidráulica puede crear una condición de desequilibrio en la máquina, siendo una de las razones por las que se produzcan vibraciones pudiendo ser identificadas a través de picos dentro de las frecuencias (Gómez, 2014).



**Figura 11.** Espectro de velocidad de un problema de desequilibrio

Fuente: (Barahona et al., 2019)

## Desalineamiento



**Figura 12.** Espectro de velocidad de un problema de desalineación

Fuente: (Barrera, 2016)

Este es conocido como el efecto más casual ya que el mismo radica en el conflicto que se produce al tratar de alinear los dos ejes y sus rodamientos; así mismo puede existir esta dificultad entre los cojinetes de un eje sólido, o entre otros dos puntos de la máquina (Rivera, 2016):

- Desalineación paralela: Se presenta entre dos ejes entre si cuando no están en el mismo plano. Este tipo de desalineación generara una vibración radial.
- Desalineación angular: Se produce cuando los ejes no están paralelos entre sí, es decir, entre los ejes existe un pequeño ángulo. Este tipo de desalineación generara una vibración una vibración axial.

## CAPÍTULO II

### 2. Materiales y métodos

De acuerdo con la Revista Ingeniería (2020) el mantenimiento predictivo aplica técnicas no destructivas en las máquinas para predecir cuándo requieren operaciones de reparación o cambio de piezas. En general, las industrias dentro de sus programas de mantenimiento predictivo utilizan el monitoreo y análisis de vibraciones con el fin de establecer cuál es el estado de salud mecánica de las máquinas y en particular de sus elementos más críticos y de esta manera poder prevenir fallas catastróficas.

La metodología utilizada se realizó en la práctica con la utilización de 3 modelos de vehículos híbridos y el dispositivo de vibraciones con el software de análisis de datos, adicional el análisis realizado en los 3 motores eléctricos de distintos a para obtener datos y resultados del estado de estos motores.

#### 2.1 Materiales

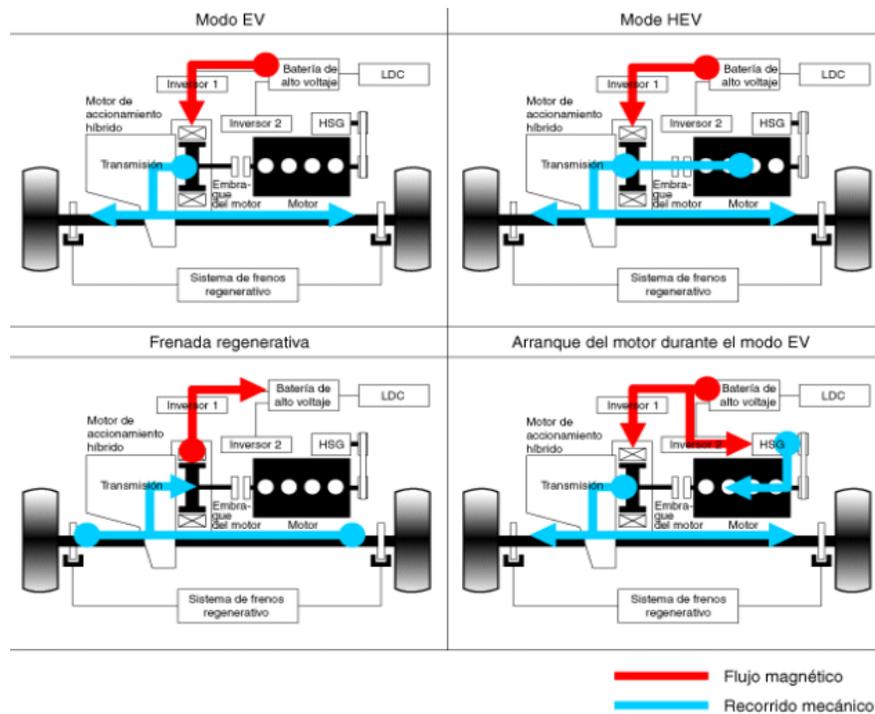
##### 2.1.1 Vehículo híbrido

Los vehículos a utilizar en la presente investigación son de fácil acceso por el relacionamiento con la Marca Hyundai, los modelos son vehículos que se encuentran activos y con mantenimientos al día dentro de la marca los cuales permite realizar las pruebas necesarias para análisis de vibraciones (Bustamante & Llumi, 2022).

El vehículo híbrido utiliza una fuente de potencia híbrida (motor de combustión/motor eléctrico) que permite una eficiencia del combustible muy alta y en emisiones muy bajas comparado con el vehículo normal utiliza motor de combustión como único elemento de potencia (Bustamante & Llumi, 2022).

Está conformado por motor de combustión, motor eléctrico, batería de alto voltaje y módulos de control, en el modo EV el vehículo híbrido está impulsado por el motor eléctrico pero el motor de combustión es un apoyo cuando necesita más potencia.

Los datos serán tomados de la parte inferior del motor eléctrico para lo cual se necesita un elevador para mayor comodidad al tomar los datos, para mantener el motor eléctrico activado se realiza la desactivación del motor de combustión momentánea con el escáner del vehículo para obtener mejores resultados en el análisis de vibraciones.



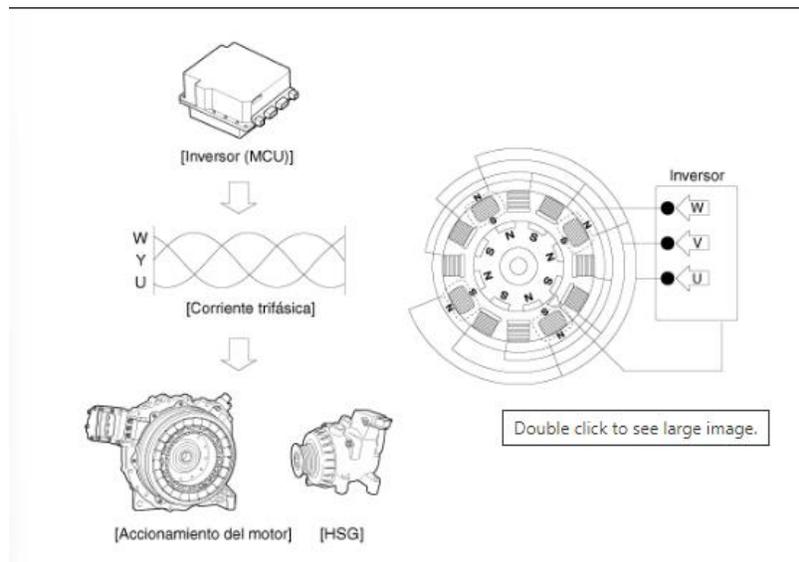
**Figura 13.** Modo operativo del HEV y flujo de potencia

Fuente: (Molina, 2015)

El principio de funcionamiento se basa en un motor de pequeño tamaño conocido como IPM (imán permanente interior) para uso en vehículos livianos que brinda par alto y variación de velocidades.

Con el par generado por la intervención del imán eléctrico en el estator y el imán interior integrado en el rotor cuando fluye la corriente alterna trifásica fluye en la bobina del estator se forma un campo magnético giratorio que genera un par de giro a través de inducción electromagnética por la interacción de los dos imanes internos.

La velocidad que se aplica al estator y la velocidad del rotador están sincronizadas es por ello que se lo conoce como motor sincrónico



**Figura 14.** Principio de funcionamiento del motor eléctrico

Fuente: (Barrera, 2016)

### 2.1.2 Características técnicas del motor eléctrico

A continuación, se detalla las características del motor eléctrico del vehículo híbrido sonata hybrid (LF HEV)

**Tabla 2.**Características Técnicas motor sincrónico de imán permanente

<b>Motor híbrido</b>	
<b>Elemento</b>	<b>Motor de accionamiento</b>
Tipo	PMSM (Motor Sincrónico de Imán Permanente)
Función	Rueda impulsora, genera
Tensión del sistema	270V
Salida máxima	35kw a 1,77 ~ 2krpm 29 kW, 6000 rpm
Par máximo	205N.m a 0 ~ 1,77krpm
Régimen máximo	6000 rpm
Sistema de refrigeración	ATF refrigerado

## 2.2 Equipo obtención de datos

### 2.2.1 Sensor de vibraciones

Los sensores permiten análisis de diferentes componentes y procesos que reaccionan a la compresión ya que poseen frecuencia natural muy alta y un muestreo amplio para obtener datos.

El sensor piezoeléctrico 603C01 puede analizar vibraciones en máquinas rotativas o estacionarias sin la necesidad de realizar un proceso invasivo para prevenir fallas causadas por desequilibrio y fallas de líneas del trifásico.

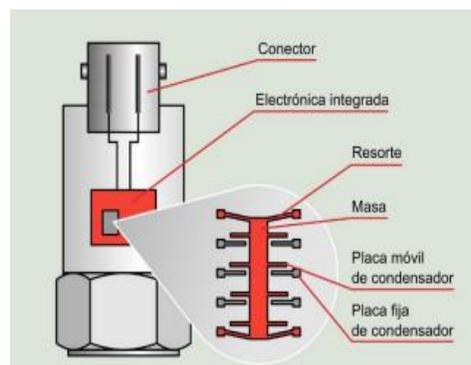


*Figura 15. Sensor de vibración*

Fuente: (Barrera, 2016)

**Tabla 3.** Características sensor de vibración

<b>Tecnología</b>	<b>Aplicaciones</b>	<b>Frecuencia</b>
Icp	Maquina rotativas	Max 10 khz Min 0.5 khz



*Figura 16. Componentes sensor piezoeléctrico*

Fuente:(Angulo Aragón, 2020)

### 2.2.2 DAQ NI 9250

Módulo de entrada de sonido y vibración que permite medir señales de sensores piezoeléctricos desde IEPE y no IEPE, adicional es compatible con sensores TEDS donde permite un amplio rango de medición incluyendo acoplamiento AC/DC mediante software que podemos procesar análisis de frecuencia.

El IEPE significa “circuito piezoeléctrico integrado”



**Figura 17.** NI-9250

Fuente: (Angulo , 2020)

El cDAQ-9171 es un chasis que funciona alimentado por bus, permite sencillez de una conexión rápida de USB a sus terminales eléctricas y de sensores, también realiza el control y sincronización de información de los módulos E/S de la serie C y un servidor externo. También cuenta con cuatro temporizadores de 32 bits que se puede acceder a través de un módulo digital de la serie C instalado y temporizado por hardware en aplicaciones que

utilizan codificadores de cuadratura, medida de ancho de pulso, conteo de eventos generación de tren de pulsos y medidas de periodo o frecuencia



*Figura 18 CHASIS CDAQ-9171*

### **2.2.3 LABVIEW**

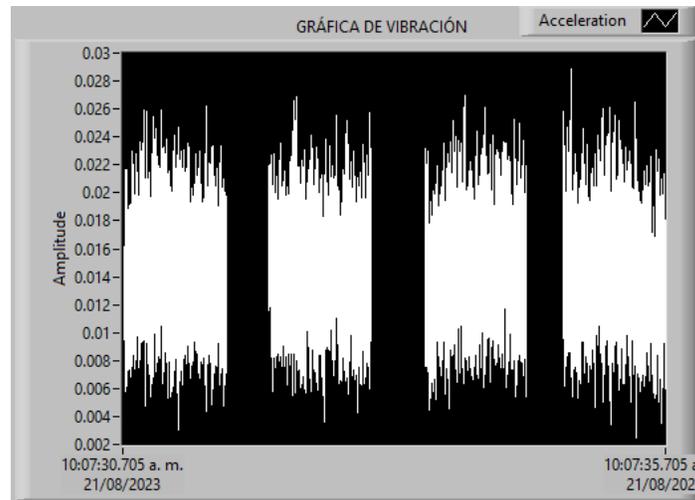
Se utilizará como software para análisis de datos el programa Labview la cual por su interfaz nos permite comprende de manera más sencilla y ordenada el procesamiento de datos, con la recopilación de datos emitidas por el sensor se puede obtener graficas.

Además, posee librerías específicas de análisis de señales y adquisición de datos. La ejecución de los programas no los hace línea por línea sino basado en como fluyen los requerimientos de la información(Valladolid, 2021).

### **2.3 Métodos**

En este apartado se indica la estructura del programa para que de esta manera será comprendido por el lector se divide en dos pantallas para recibir las señales en el eje “x”

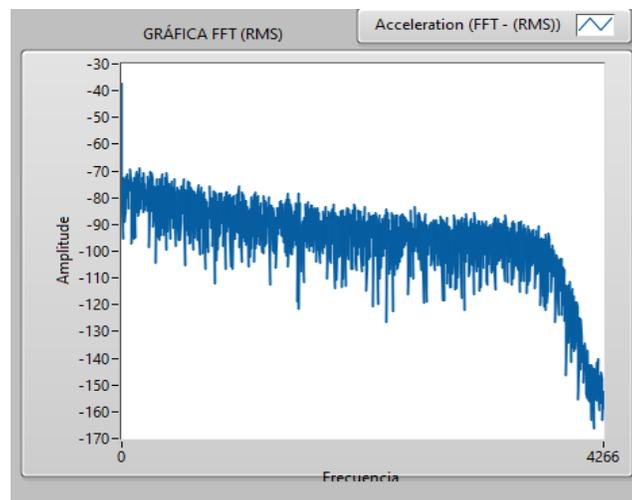
junto al tiempo máximo de 32s, el eje “y” tenemos la amplitud que está marcada de 0 a 0.01 positivo a 0 a -0.08 negativo



**Figura 19.** Pantalla de amplitud vs tiempo

Fuente: (Tene & Ortiz, 2016)

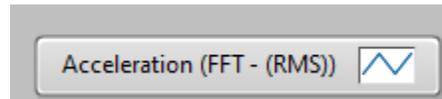
En esta pantalla siguiente se determina igual 2 ejes en el eje “x” rango de 0 a 4266 Hz y el eje “y” de -170 a -30 voltios junto a la transformada de FOURIER



**Figura 20.** Amplitud vs Frecuencia

Fuente: (Tene & Ortiz, 2016)

Con esta señal como indica la figura obtendremos la aceleración, en FFT en transformación de Fourier, RMS señal cuadrática señal



**Figura 21.** Transformada de Fourier

Fuente: (Tene & Ortiz, 2016)

El botón marcha permite grabar la señal emitida por el motor eléctrico mediante el sensor y poder visualizar al adquirir datos



**Figura 22.** Botón para adquirir datos

Fuente: (Tene & Ortiz, 2016)

El botón estado indica la activación del sensor al adquirir datos al realizar el análisis de datos



**Figura 23.** Botón indica la recolección de datos

Fuente: (Tene & Ortiz, 2016)

### 2.3.1 Zona de medición

Las mediciones de vibración se determinaron en un solo punto del motor donde se encuentra el imán permanente y donde se obtiene el mayor par magnético y el par de reluctancia

### 2.3.2. Parte inferior del motor eléctrico

Basado en su principio de funcionamiento el par se obtiene de la interacción del imán eléctrico en el estator y el imán inferior integrado en el rotor. Si se presentara un desgaste el motor tendría un desbalance en la velocidad generada sobre el estator y la velocidad real del rotador el cual el punto asignado permite tener una señal muy importante para verificar el estado de estos motores.



*Figura 24. Zona de análisis vibraciones*

Fuente: Elaboración propia

### 2.3.3 Adquisición de datos de vibraciones

Para la obtención de datos se realiza primero elevando el vehículo para tener acceso a la parte inferior del motor eléctrico ya con la colocación de una arandela metálica colocada

en la carcasa del motor eléctrico para poder adherir con el imán al motor procedemos a encender el vehículo antes desactivar con el escáner la activación del motor de combustión a un ciclo de trabajo significa que solo se prendera el motor de combustión una sola vez durante el análisis de vibraciones.

Es necesario colocar el sensor lo más cercano al imán permanente del motor donde se puede obtener un dato preciso del par de giro del motor trabajando en modo EV para que el análisis se base solo cuando el motor eléctrico este trabajando sin ayuda del motor de combustión y determinar el desgaste que puede tener dependiendo del año del motor eléctrico

Parámetros para la muestra:

- Vehículo en ralentí
- Modo EV activado
- Temperatura optima del motor
- Determinar el punto de medición }
- Realizar el análisis en los 3 motores eléctricos
- Recolectar datos para 100 pruebas

Medición: Carcasa motor eléctrico parte inferior lo más cercano al imán permanente  
(100 pruebas por cada motor)

### **2.3.4 Diferencia de motores eléctricos**

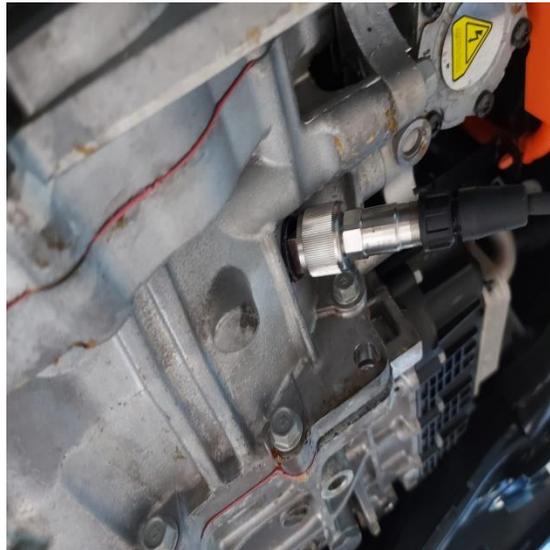
Nos enfocamos en 3 tipos de motores eléctricos de un mismo modelo, pero de diferentes kilometrajes 0 km, 36.000 km, 105.000 km.

#### **2.3.4.1 Motor eléctrico Hyundai Sonata kilometraje 0 km, 36.000 km, 105.000 km.**

Los motores eléctricos del modelo sonata se encuentra en ralentí para activar el modo EV y mantener el motor eléctrico activo sin la presencia del motor de combustión que puede afectar el análisis durante las pruebas se enciende el motor de combustión durante un ciclo de trabajo por lo cual la prueba donde se enciende el motor de combustión se toma en cuenta al momento del análisis para descartar del muestreo.

#### **Acoplamiento del sensor: Sensor con imán**

El imán del sensor nos permite realizar el análisis ya que al ser un proceso no invasivo se procede a colocar una arandela que nos permita adherir el sensor al motor de aluminio para realizar la medición y no afectar la estructura del motor.

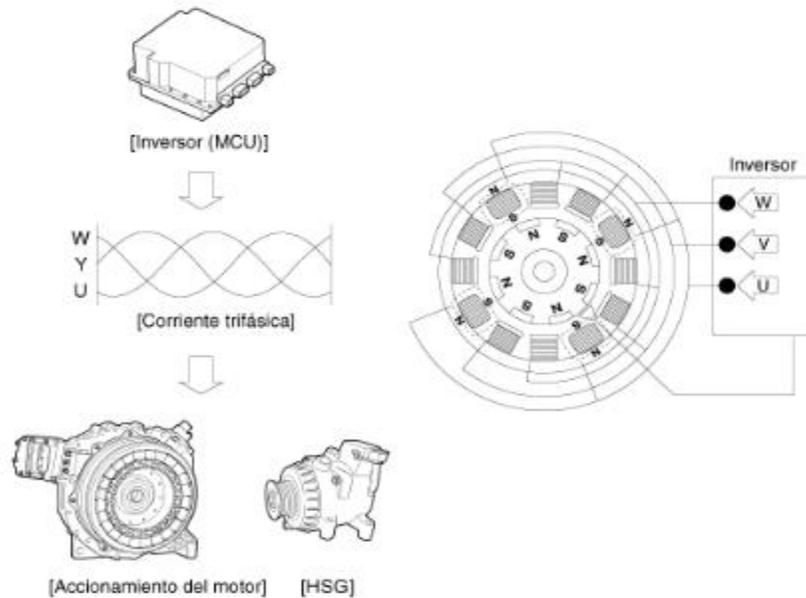


*Figura 25. Sensor con imán*

Fuente: Elaboración propia

### Datos en buen estado: Motor eléctrico

Cuando la corriente alterna trifásica fluye en la bobina del estator, se forma un campo magnético giratorio. Esto genera un par de giro a través de inducción electromagnética de la interacción entre los imanes incrustados en el rotor, Esta potencia hace girar el motor.



*Figura 26. Principio de funcionamiento*

Fuente: (Tene & Ortiz, 2016)



*Figura 27. Punto de medición*

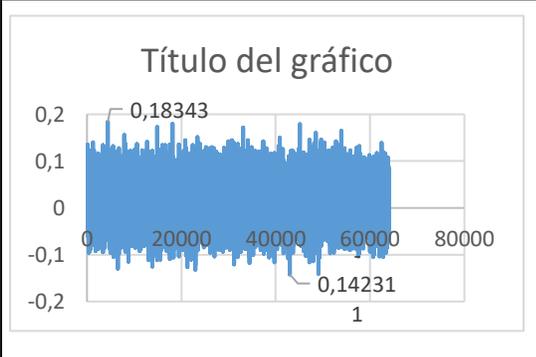
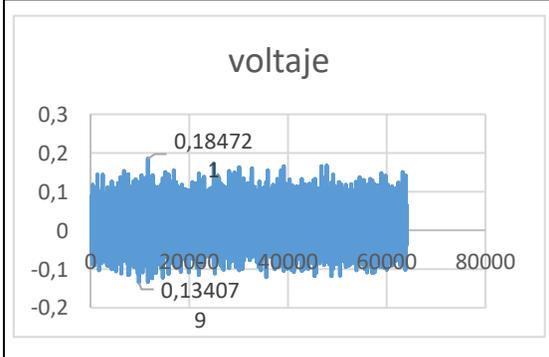
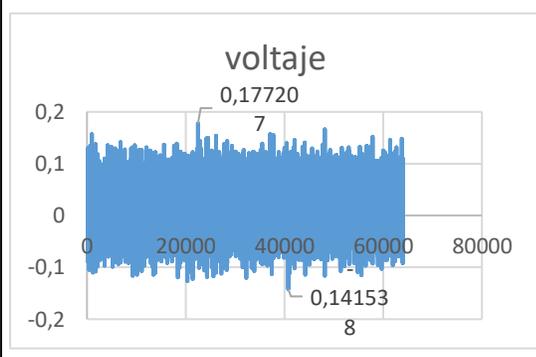
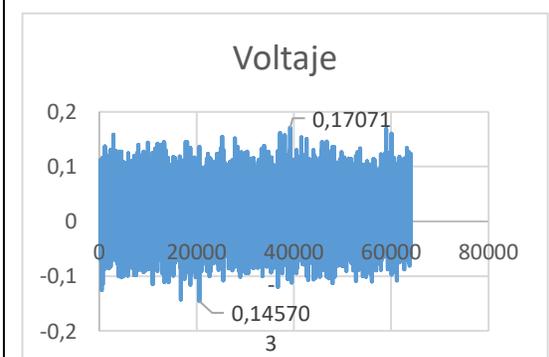
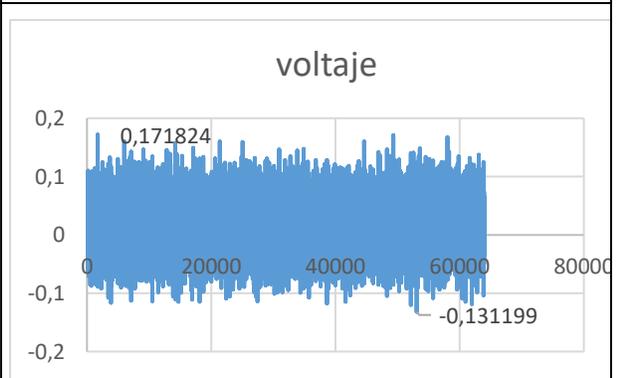
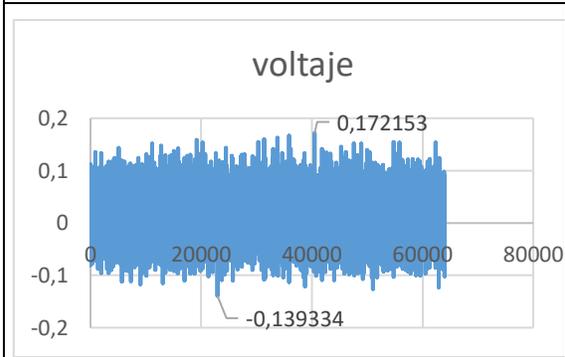
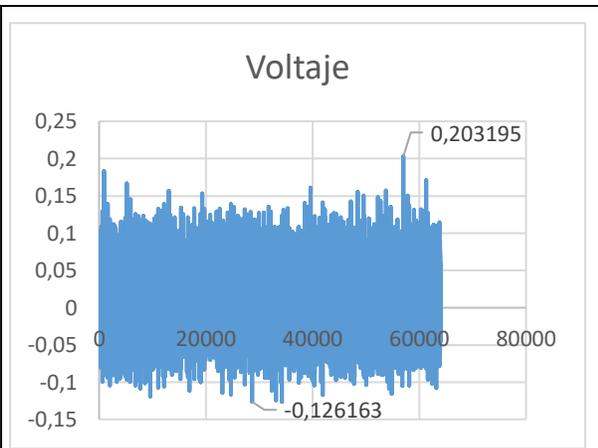
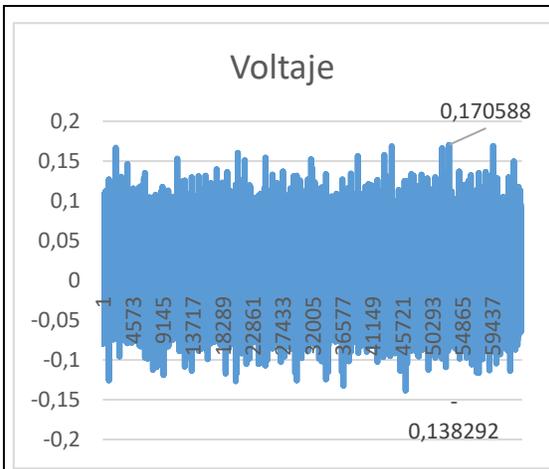
Fuente: Elaboración propia

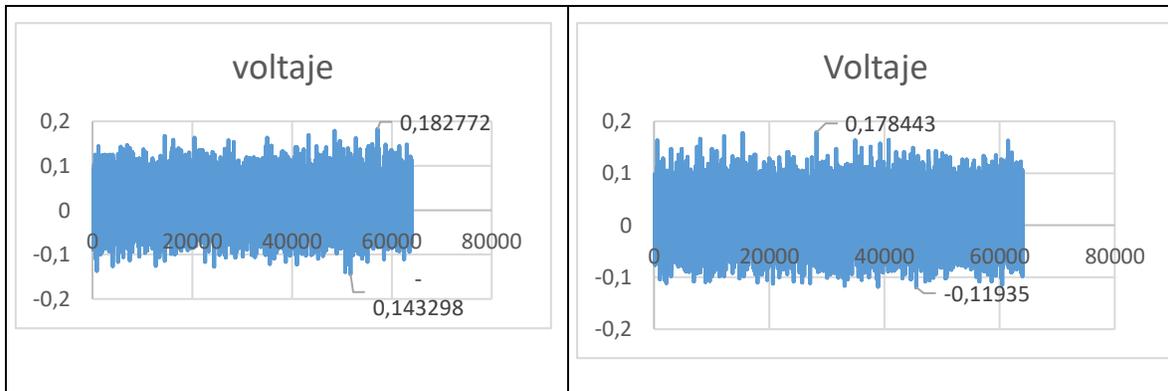
En la parte 2.3.2 se ha mencionado los motores a utilizar y el lugar de medición para el análisis. En los siguientes gráficos se detalla las ondas emitidas por los 3 motores las cuales indican el funcionamiento de los motores para determinar su estado interno.

Aplicamos cuadros comparativos para los datos obtenidos en las mediciones de cada motor por año.

#### **Datos motores eléctrico: Motor año 0 km**

En la siguiente tabla se puede observar las mediciones de motor eléctrico durante un ciclo de trabajo en su punto de mayor eficiencia obteniendo los siguientes resultados





**Figura 28.** Señales obtenidas motor eléctrico 0 km

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 4** Pico máximo y mínimo motor eléctrico 0 km

Pico máximo (v)	Pico mínimo (v)
0.1705	-0.1382
0.2031	-0.1261
0.1721	-0.1393
0.1718	-0.1311
0.1707	-0.1457
0.1772	-0.1415
0.1847	-0.1340
0.1834	-0.1423
0.1827	-0.1432
0.1784	-0.1193

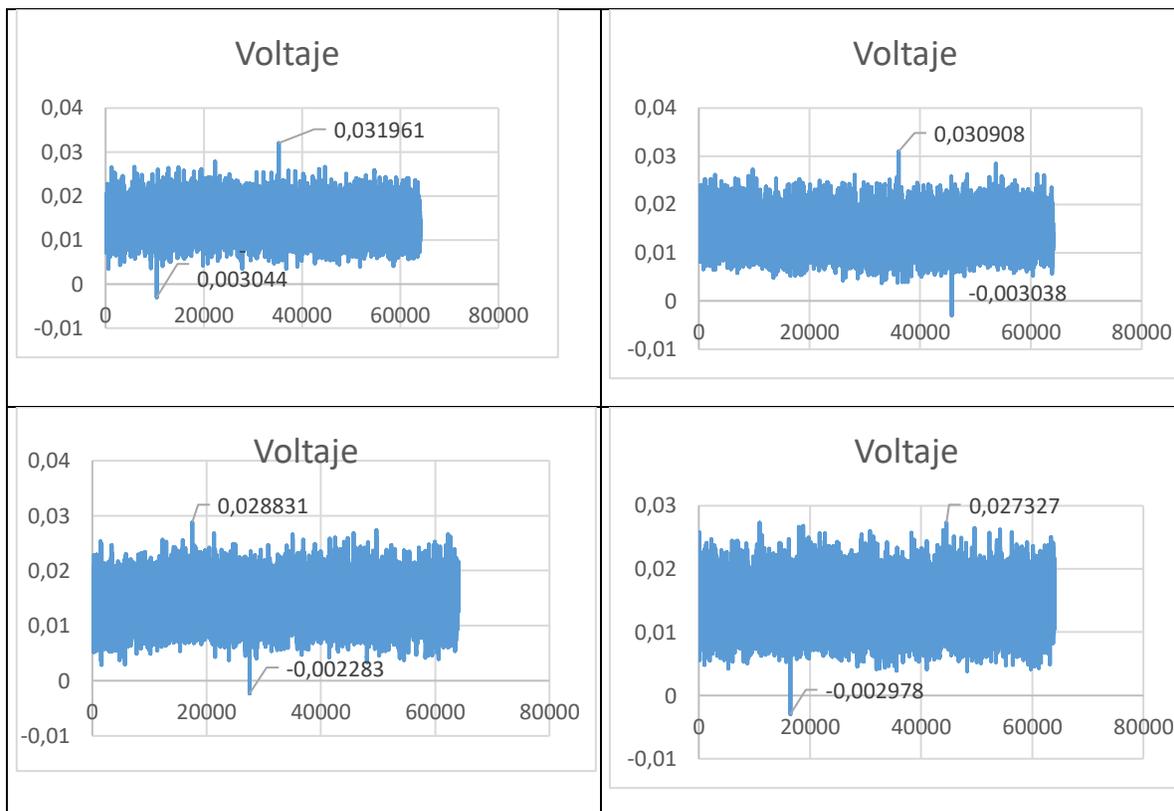
## PROMEDIO DE DATOS MOTOR ELECTRICO 0 km:

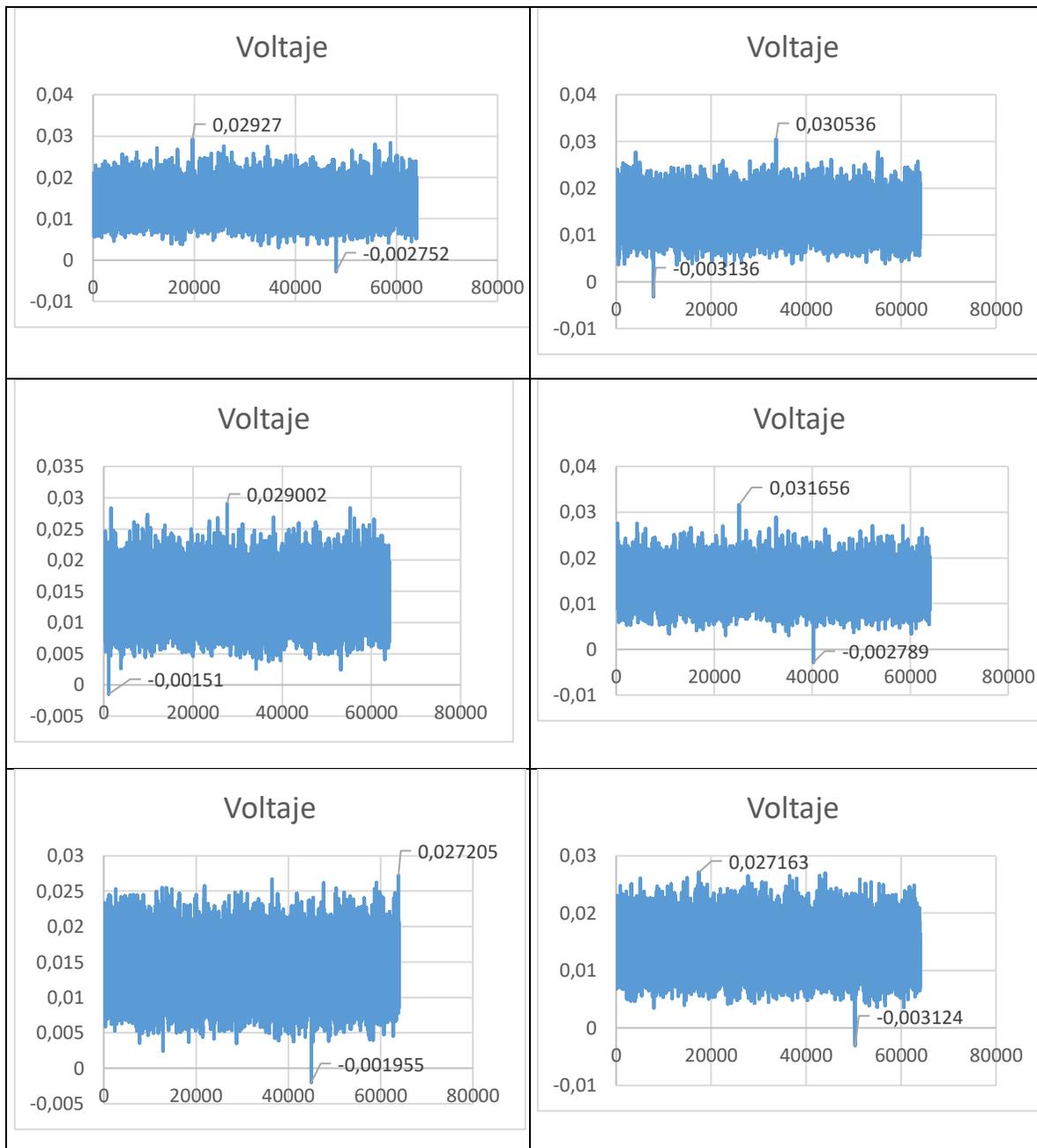
**Tabla 5** Promedio de las señales motor eléctrico 0 km

Promedio pico max (v)	Promedio pico min (v)
0.17946	-0.13607

Motor eléctrico 36.000 km

En la tabla se puede observar los resultados obtenidos para en un ciclo de trabajo de motor eléctrico 36.000 km





**Figura 29.** Señales obtenidas motor eléctrico 36.000 km

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 6** Pico máximo y mínimo motor 36.000 km

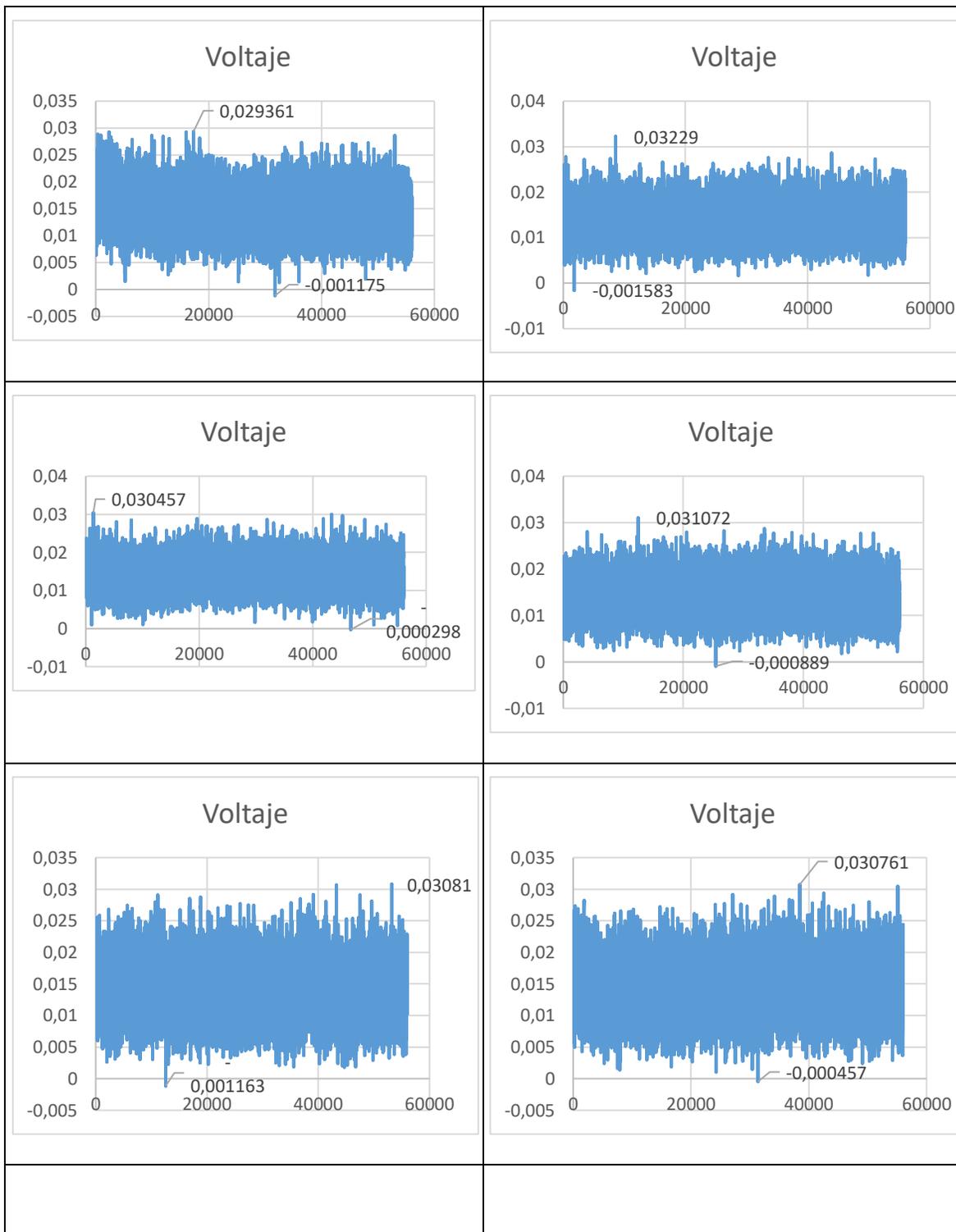
<b>Pico máximo (v)</b>	<b>Pico mínimo (v)</b>
0.0319	-0.0030
0.0309	-0.0030
0.0288	-0.0022
0.0273	-0.0029
0.0292	-0.0027
0.0305	-0.0031
0.0290	-0.0015
0.0316	-0.0027
0.0272	-0.0019
0.0271	-0.0031

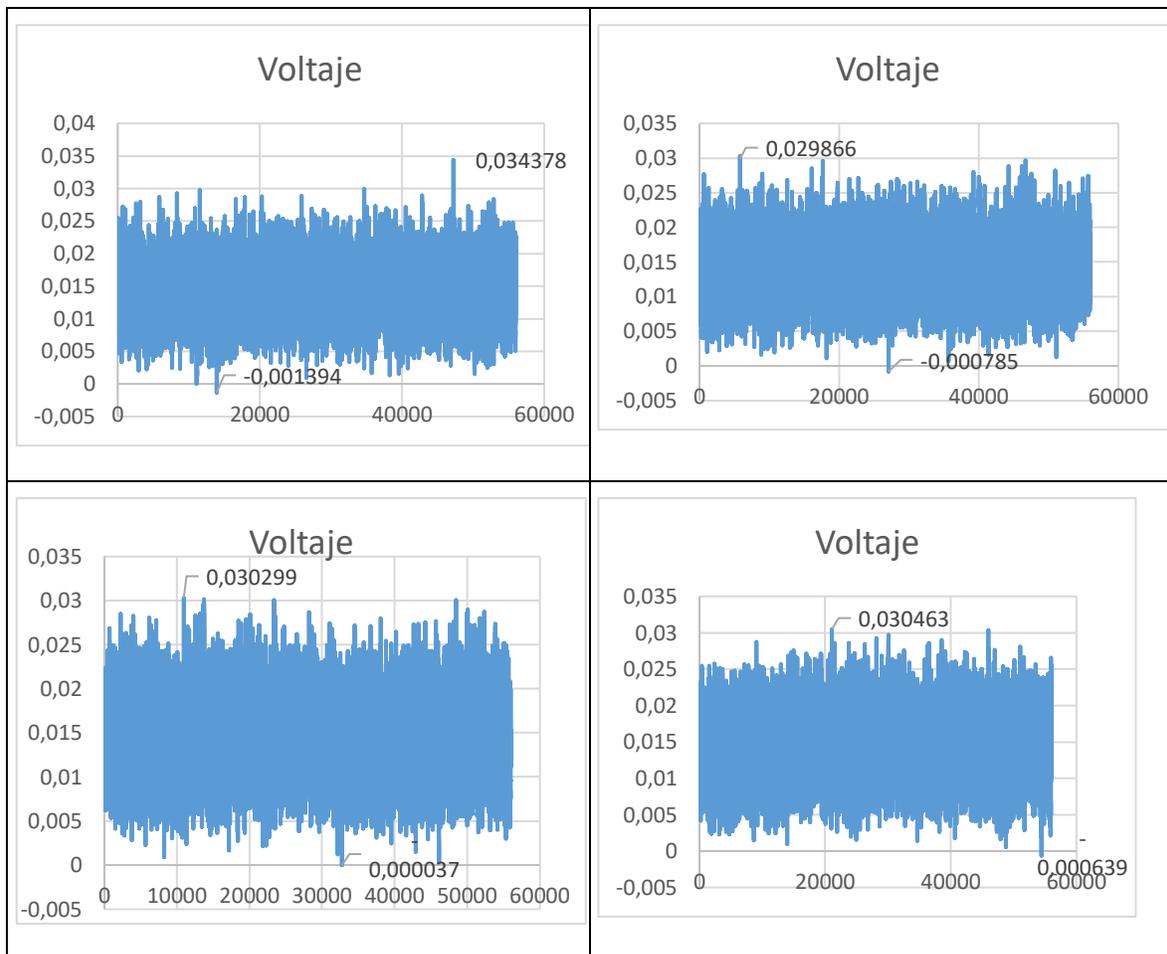
**Tabla 7** Promedio de datos motor eléctrico 36.000 km

<b>Promedio pico max (v)</b>	<b>Promedio pico min (v)</b>
0.0293	-0.0026

Motor eléctrico 105.000 km

En la figura se puede observar las señales obtenidas para el motor eléctrico 105.000 km





**Figura 30.** Señales obtenidas motor eléctrico 105.000 km

Fuente: Elaboración propia

La tabla 10 indica los valores obtenidos durante el ciclo de trabajo del motor eléctrico obteniendo las vibraciones reales.

**Tabla 8** Pico máximo y mínimo motor 2016

Pico máximo (v)	Pico mínimo (v)
0.0293	-0.0011
0.0322	-0.0015

0.0304	-0.0002
0.0310	-0.0008
0.0308	-0.0011
0.0307	-0.0004
0.0343	-0.0013
0.0298	-0.0007
0.0302	-0.0000
0.0304	-0.0006

**Tabla 9** Promedio de datos motor eléctrico 105.000 km

<b>Promedio pico máximo (v)</b>	<b>Promedio pico mínimo (v)</b>
0.0309	-0.0007

**Tabla 10** Comparación de datos motores eléctricos valores

<b>Motores eléctricos</b>					
<b>0 km</b>		<b>36 km</b>		<b>105 km</b>	
<b>Pico max</b>	<b>Pico min</b>	<b>Pico max</b>	<b>Pico min</b>	<b>Pico max</b>	<b>Pico min</b>
0.2031	-0.1193	0.0319	-0.0015	0.0343	-0.0000

En la tabla 13 se puede identificar la variación por año de cada motor, demostrando los picos máximos y mínimos. Donde el motor eléctrico 0 km tiene un valor máximo de 0.2031 V y un mínimo de -0.1193 V el cual indica los valores óptimos que deben tener estos motores.

**Tabla 11** Valores promedio de datos

<b>Motores eléctricos</b>					
<b>Motor eléctrico 0 km</b>		<b>Motor eléctrico 36.000 km</b>		<b>Motor eléctrico 105.000 km</b>	
<b>Pico max promedio</b>	<b>Pico min promedio</b>	<b>Pico max promedio</b>	<b>Pico min Promedio</b>	<b>Pico max promedio</b>	<b>Pico min Promedio</b>
0.1794	-0.1360	0.0293	-0.0026	0.0309	-0.0007

La siguiente tabla representa el promedio entre todos los datos obtenidos por motor durante las pruebas los cuales indican el rango promedio de vibraciones que tiene cada uno.

## CAPITULO III

### 3. Resultados

Para realizar las mediciones se utilizó un acelerómetro piezoeléctrico que interpreta las vibraciones enviadas por el motor eléctrico al procesador DAQ NI 9250 que nos ayuda interpretar los pulsos enviado para realizar las gráficas en amplitud y frecuencia.

En esta investigación se realizó las pruebas en 3 motores híbridos de la marca Hyundai modelo Sonata con las mismas características con la única variable el año obteniendo datos para realizar graficas en Excel entre valores entre picos altos y mínimos.

#### 3.1 Características de vibraciones

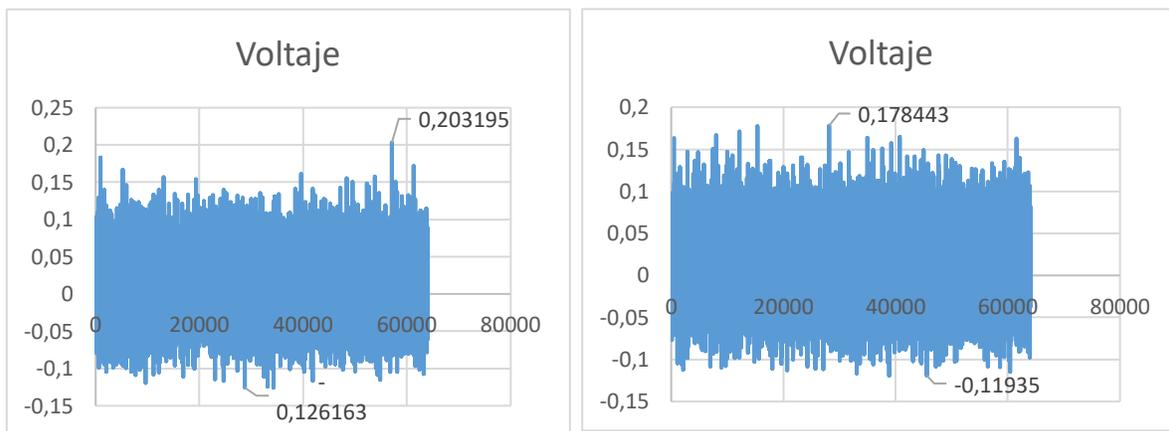
A continuación, se detalla valor los 3 motores indicando buen estado, regular y malo indicando el deterioro que sufre el flujo magnético al interior del motor adicional se detalla la variación de voltaje entre los motores.

**Tabla 12** Caracterización de los motores

<b>Caracterización de los motores</b>	
<b>Motor año 0 km, 36.000 km,105.000 km</b>	<b>Rango de medición (V)</b>
Bueno	0.2031 / -0.1193
Necesita mantenimiento	0.0319 / -0.0015
Malo	0.0343 / -0.0000

La tabla 16 identifica el estado del motor sacando el pico máximo y mínimo para determinar el estado bueno que sería la operación óptima del motor y considerando los valores del motor 36.000 km como la opción para poder indicar necesita mantenimiento para evitar llegar a los valores que indica el motor 105.000 km que presenta picos desbalanceados no acordes a valores normales.

### 3.2 Motores eléctricos.



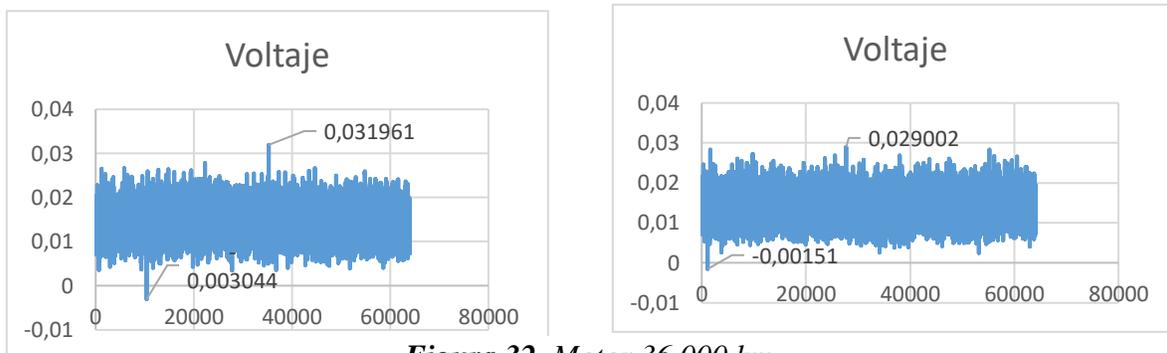
**Figura 31.** Motor 0 km

Fuente: Elaboración propia

Se obtiene en las siguientes tablas el detalle de vibraciones del motor 0 km al ser un motor 0 kilómetros se puede obtener una idea del voltaje óptimo que va del punto máximo de 0.203195 V a -0.11935 V será una referencia de comparación de desgaste con otros motores.

**Tabla 13** Comparación de datos motor eléctrico 0 km

<b>Motor eléctrico 0</b>	
<b>km</b>	
<b>Bueno (V)</b>	
<b>Pico max</b>	0.2031
<b>Pico min</b>	-0.1193
<b>Diferencia</b>	0.0838

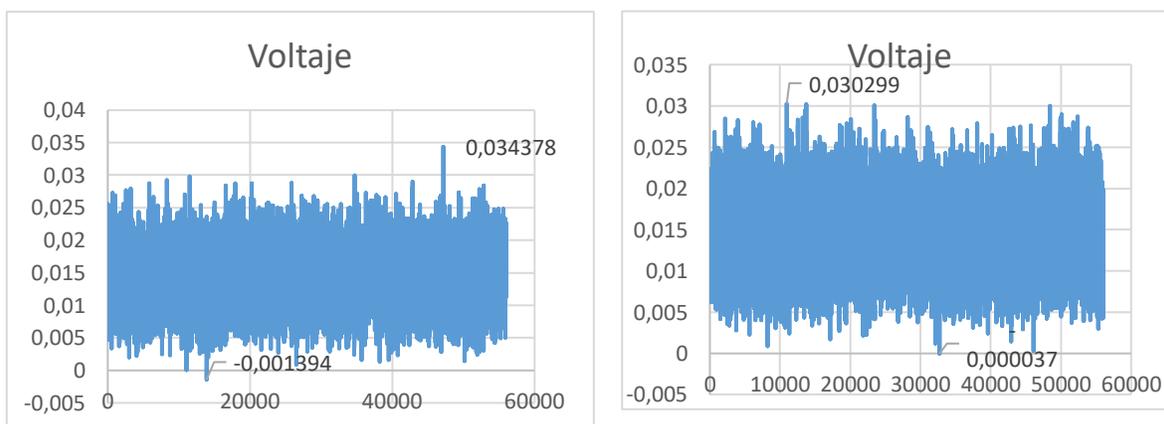
**Figura 32.** Motor 36.000 km.

Fuente:Elaboración propia

De las siguientes tablas podemos obtener las señales de motor eléctrico 36.000 km este modelo tiene 36.085 km de recorrido por lo cual sus señales varían con un motor nuevo desde un punto máximo de 0.0319 V a un punto mínimo de -0.0015

**Tabla 14** Comparación de datos motor eléctrico 36.000 km

<b>Motor eléctrico</b>	
<b>36.000 km</b>	
<b>Regular (V)</b>	
<b>Pico max</b>	0.0319
<b>Pico min</b>	-0.0015
<b>Diferencia</b>	0.0304

**Figura 33.** Motor 105.000 km.

Fuente: Elaboración propia

El resultado del tercer motor está considerado en pico máximo 0.034378 V y un pico mínimo 0.000037 este modelo 105.000 km con kilometraje de 105.000 km nos permite obtener los siguientes datos

**Tabla 15** Señales motor eléctrico 105.000 km

<b>Motor eléctrico 105.000 km</b>	
<b>Malo (V)</b>	
<b>Pico max</b>	0.0343
<b>Pico min</b>	0.0000
<b>Diferencia</b>	0.0343

### 3.3 Guía para mantenimiento en motores eléctricos

El mantenimiento de estos modelos es muy importante para mantener la vida útil de estos motores, se debe realizar cuidados primero buen estado el motor de combustión con sus mantenimientos al día según indique el fabricante, calibrar cada mantenimiento el SOC de la batería, bomba de agua, generador hsg y tener en buen estado de salud la batería de 12 V por lo cual se detalla un cuadro para mantenimiento de estos modelos.

## Capítulo IV

### 4. Conclusiones y recomendaciones

#### 4.1 Conclusiones

Al realizar las pruebas se determinan picos máximos y mínimos de los motores eléctricos empezando con el motor 0 km como punto de partida para obtener datos de un motor totalmente nuevo el cual nos arroja un pico máximo de 0.2031 V y un pico mínimo de -0.1193 V por medio de 10 pruebas tomadas en su mayor eficiencia se obtiene un promedio pico máximo de 0.1794 V y un pico mínimo -0.1360 V

En el motor 36.000 km se obtuvo graficas totalmente distintas al modelo 0 km, mismas que van de un pico máximo de 0.0319 V a un pico mínimo de -0.0015 donde se puede evidenciar perdida de voltaje indicando que el campo magnético y el par magnético tienen deterioro interno y como se puede observar las vibraciones del motor disminuyen concluyendo que la vida útil de este motor estaría en un porcentaje 64%

Al sacar el promedio de los picos en prueba, tenemos pico promedio máximo de 0.0293 V y pico promedio mínimo de -0.0026 V estos valores nos indican un promedio donde puede definir en que vibraciones existe mayor pérdida de eficiencia. Al determinar los valores para el modelo 105.000 km se puede determinar el pico máximo con un valor de 0.0343 V y pico mínimo de -0.0000 V, en comparación con el modelo de 36.000 km el rango del pico máximo no varía mucho con el motor 105.000 km pero el pico mínimo desciende considerablemente por lo cual se identifica que el motor 105.000 km tiene un desbalance que puede ser ocasionado por un aislamiento en mal estado o una alteración de corrientes en las líneas del trifásico que afectan el flujo o sentido de corriente al campo magnético y giro del rotor donde la vida útil de este motor por su pico alto seria 69% pero como tiene un

desequilibrio este valor no sería el real por su pico mínimo en  $-0.0000$  V no se puede determinar en que porcentaje estaría su vida útil, revisando el pico promedio entre los 3 motores se verifica el desbalance de  $0.0309$  V mayor al motor  $36.000$  km de  $0.0293$ V pero con una diferencia en el pico mínimo de  $-0.0007$ V al pico mínimo del  $36.000$  km de  $-0.0026$  V.

Después del análisis se clasifica los motores en tres rangos de motor: bueno (estado óptimo del motor), necesita mantenimiento y malo (presenta un desequilibrio o desalineamiento, mismos que puede ser producidos por el desgaste) por medio de los picos máximos, mínimos y promedio se puede detallar los rangos de bueno en  $0.2031$ V /  $-0.1193$ , necesita mantenimiento  $0.0319$  V /  $-0.0015$  V y en el rango de malo  $0.0343$  V /  $-0.0000$  V; con esto se puede definir entre un mantenimiento preventivo o correctivo.

Se concluye que el deterioro por kilometraje en los motores eléctricos de prueba es muy distinto con un motor de combustión interna que al hacer análisis las vibraciones aumentan caso contrario con motores eléctricos que su vibración disminuye al tener un deterioro puede originarse en el estator, rotor o en el flujo de corriente de las líneas del trifásico refiriendo a su aislamiento interno.

## **4.2 Recomendaciones**

Se recomienda realizar un análisis de estos motores con el motor de combustión interna para poder determinar la afectación que puede tener el motor eléctrico al trabajar en conjunto con el motor de combustión

Es necesario mantener en monitoreo constante de estos motores para determinar la mejor acción a tomar antes de un fallo que puede afectar desde daño componentes internos como la pérdida del asilamiento del trifásico de los motores eléctricos.

Se recomienda realizar un análisis de vibraciones comparando el estado de salud de la batería de alto voltaje dentro de un proyecto de investigación a futuro diseñar un prototipo de maqueta con un motor eléctrico para un mejor entendimiento de como está conformado un motor de imanes permanentes.

Realizar un programa para comparar las fluctuaciones generadas dentro de un motor eléctrico entre diferentes marcas que tengan modelos híbridos o llegar al punto de realizar en modelos 100% eléctricos.

### Referencias Bibliográficas

- Albarracín Mendez , Á., & Huiñisaca Quizhpe , J. (2015). *Estudio medinte 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* . Cuenca : Universidad Poitécnica Salesiana Sede Cuenca .
- Arguelles, P. (1982). *Vibraciones mecánicas*. ISPJAE.
- Banco Interamericano de Desarrollo. (2016 ). *Plan Nacional de Eficiencia Energetica del Ecuador*. *Plan Nacional de Eficiencia Energetica del Ecuador*, 112.
- Barrera, O. (2016). *Sistemas eléctricos y de seguridad y confortabilidad*. Madrid: Paraninfo.
- Bustamante, C., & Llumi, R. (2022). *Análisis comparativo del rendimiento de un vehículo híbrido toyota prius frente un vehículo eléctrico kia soul en la ciudad de Cuenca*. Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca, Cuenca. Obtenido de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/21660/1/UPS-CT009513.pdf>
- Criollo Jadan , O., & Matute Bravo , H. (2014). *Diagnóstico de fallos en la combustión para motores de combustión interna alternativos diesel por analisis de vibraciones*. Cuenca : Universidad Politécnica Salesiana de Cuenca .
- Escudero, S. (2011). *Motores*. Madrid: Macmillan Iberia.
- Escudero, S. (2018). *Motores*. Madrid: Macmillan iberia.
- Gimeno , J. (2021). *Estudio de la inyección diésel mediante la medida del flujo de cantidad de movimeinto del chorro*. Barcelona: Reverte S.A.
- Gonzáles Calleja , D. (2015). *Motores Térmicos y sus sistemas auxiliares*. Madrid: Paraninfo.
- Gonzáles Calleja, D. (2015). *Mantenimiento de sistemas auxiliares del motor ciclo diésel* . Madrid: Paraninfo.
- Martinez, J. (2015). *Diagnóstico de la combustión en motores diesel de inyección directa*. Barcelona: Reverté.
- Martínez, V. (2022). *Diagnostico de motores a combustión*. *UIS Ingenierias*, 11-16.

- Matienzo, J. R. (1997). Diagnostico por vibraciones en motores de combustion interna . *Ingenieria Mecanica* , 11-26.
- Molina, J. (2015). *Diagnóstico de fallas ocasionadas por variación de volumen de combustible en los inyectores de un motor de combustión interna alternativo a diésel mediante el análisis de vibraciones mecanicas*. Quito: Escuela Politecnica Nacional.
- Ramirez, J. (2017). Implantación de un sistema de mantenimiento predictivo mediante análisis de vibraciones en la planta de montaje de Ford España. *UPV*.
- Rao, S. (2022). *Vibraciones mecanicas*. Mexico: Pearson.
- Rodríguez, T. (2017). Instrumentación de proxímetros de gama baja para análisis de vibraciones mecánicas. *Revista de ingenieria*, 42-46.
- Rovira, A., & Dominguez, M. (2015). *Motores de combustión interna*. MADRID: UNED.
- Secretaria Nacional de Planificación. (2021). Plan Nacional de Desarrollo Creación de Oportunidades. *Plan Nacional de Desarrollo Creación de Oportunidades*, 148.
- Szymiec, T. M. (2016). *Vibraciones en sistemas fisicos* . Mexico : Alfaomega .
- Tene, P., & Ortiz, B. (2016). *iseño e implementación de un módulo electrónico para mantenimiento preventivo y predictivo de los motores eléctricos de los Laboratorios de Electrónica de la Universidad Politécnica Salesiana - Sede Quito, Campus Sur, mediante análisis de vibración mecáni*. Universidad Politécnica Salesiana sede Quito, Quito. Obtenido de [http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0121-11292015000100004&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0121-11292015000100004&script=sci_arttext)
- Tremps, E. d. (2016 ). *Fundamentos de Dinamica Estructural*. Madrid: Garceta.
- Vacian, L. (1998). Monitoreo del estado de los motores térmicos alternativos a través del análisis de oscilaciones de bloques rodantes. *SAE*.

## Anexos

### Anexo N°1: Reporte de plagio

NOMBRE DEL TRABAJO	AUTOR
<b>TESIS (Autoguardado).docx</b>	<b>felipe santacruz</b>
RECuento DE PALABRAS	RECuento DE CARACTERES
<b>9894 Words</b>	<b>51630 Characters</b>
RECuento DE PÁGINAS	TAMAÑO DEL ARCHIVO
<b>56 Pages</b>	<b>19.2MB</b>
FECHA DE ENTREGA	FECHA DEL INFORME
<b>Sep 13, 2023 10:16 AM GMT-5</b>	<b>Sep 13, 2023 10:18 AM GMT-5</b>

#### ● 10% de similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de datos.

- 10% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 4% Base de datos de trabajos entregados
- 2% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

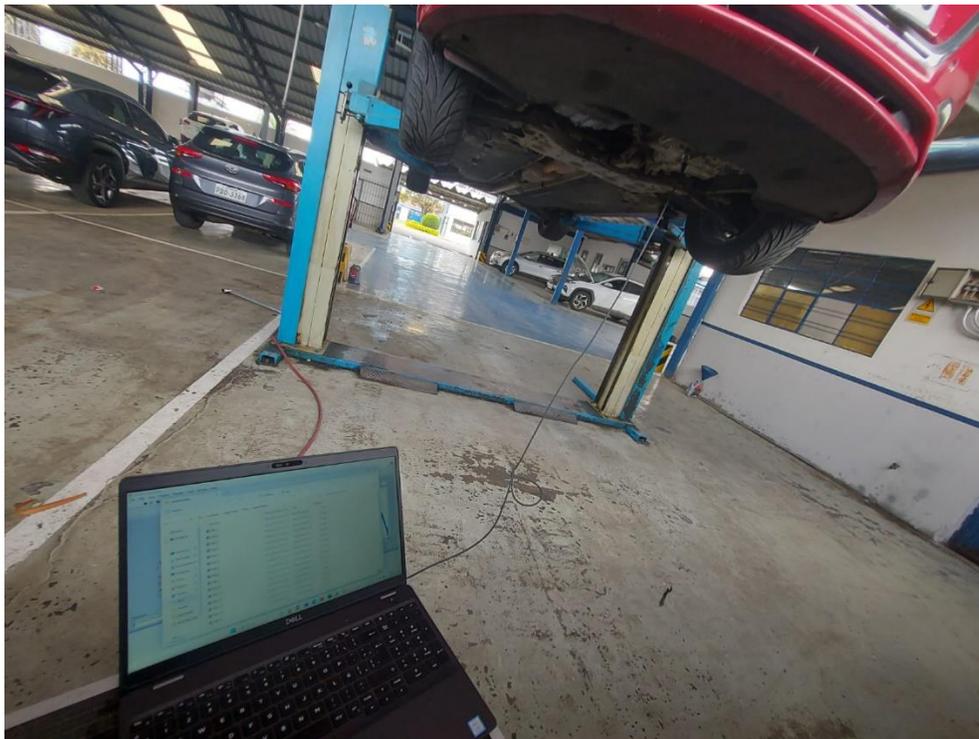
#### ● Excluir del Reporte de Similitud

- Material bibliográfico
- Material citado
- Fuentes excluidas manualmente
- Material citado
- Coincidencia baja (menos de 18 palabras)

### Anexo N°2: Toma de datos Labview



**Anexo N°3: Conexión del sensor piezoeléctrico al motor eléctrico**



**Anexo N°4: Motor eléctrico - sensor piezoeléctrico**

