



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE MECÁNICA**  
**CARRERA MANTENIMIENTO INDUSTRIAL**

**“OBTENCIÓN DE UNA BASE DE DATOS DE VIBRACIÓN,  
TEMPERATURA, ENERGÍA Y ULTRASONIDO DE LA  
EVOLUCIÓN DEL DESGASTE EN RUEDAS DENTADAS”**

**Trabajo de Integración Curricular**

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

**INGENIERA EN MANTENIMIENTO INDUSTRIAL**

**AUTORA:**

**GABRIELA KARINA CUZCO MANZANO**

Riobamba – Ecuador

2022



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE MECÁNICA**  
**CARRERA MANTENIMIENTO INDUSTRIAL**

**“OBTENCIÓN DE UNA BASE DE DATOS DE VIBRACIÓN,  
TEMPERATURA, ENERGÍA Y ULTRASONIDO DE LA  
EVOLUCIÓN DEL DESGASTE EN RUEDAS DENTADAS”**

**Trabajo de Integración Curricular**

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

**INGENIERA EN MANTENIMIENTO INDUSTRIAL**

**AUTORA: GABRIELA KARINA CUZCO MANZANO**

**DIRECTOR: Ing. FÉLIX ANTONIO GARCÍA MORA**

Riobamba – Ecuador

2022

© 2022, Gabriela Karina Cuzco Manzano

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, GABRIELA KARINA CUZCO MANZANO, declaro que el presente trabajo de integración curricular 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 autora asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de integración curricular; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.




Riobamba, 06 de junio del 2022



**Gabriela Karina Cuzco Manzano**  
**2100660980**

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE MECÁNICA**  
**CARRERA MANTENIMIENTO INDUSTRIAL**

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: El Trabajo de Integración Curricular; tipo: Proyecto Técnico, **“OBTENCIÓN DE UNA BASE DE DATOS DE VIBRACIÓN, TEMPERATURA, ENERGÍA Y ULTRASONIDO DE LA EVOLUCIÓN DEL DESGASTE EN RUEDAS DENTADAS”**, realizado por la señorita: **GABRIELA KARINA CUZCO MANZANO**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Integración curricular, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Ing. Marco Antonio Ordoñez Viñán <b>PRESIDENTE DEL TRIBUNAL</b>		2022-06-06
Ing. Félix Antonio García Mora <b>DIRECTOR(A) DE TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR</b>		2022-06-06
Ing. Eduardo Segundo Hernández Dávila <b>MIEMBRO DE TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR</b>		2022-06-06

## **DEDICATORIA**

El presente trabajo de integración curricular se lo dedico a Dios por haber llenado de bendiciones mi camino y brindarme fuerza en los momentos de obstáculos a lo largo de mi vida y de mi carrera, a mis padres Klever Cuzco y Miriam Manzano, que con su amor, sabiduría y esfuerzo han dedicado cada uno de sus días a mi formación, cultivando en mí valores como el respeto, responsabilidad y solidaridad demostrando que me cuidan y me dan su apoyo para poder alcanzar mis metas.

Gabriela

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a todos los docentes por haberme brindado los conocimientos que han servido para mi formación profesional, logrando ser una persona que aporte a la sociedad, a mí enamorado que me apoyado durante todos estos años y a mis padres que a su manera han aportado un granito de arena para lograr esta meta.

Finalmente, al Ing. Félix García director, y al Ing. Eduardo Hernández miembro, por brindarme su apoyo, tiempo, y enseñanzas para la elaboración y culminación del trabajo de integración curricular.

Gabriela

## TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	x
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xi
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	xiii
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xiv
RESUMEN.....	xv
SUMMARY.....	xvi
INTRODUCCIÓN.....	1

### CAPÍTULO I

1. GENERALIDADES.....	2
1.1. Antecedentes.....	2
1.2. Planteamiento del problema.....	3
1.3. Justificación y actualidad.....	4
1.4. Objetivos.....	4
1.4.1. <i>Objetivo General</i> .....	4
1.4.2. <i>Objetivos Específicos</i> .....	4

### CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO Y MARCO CONCEPTUAL.....	5
2.1. Generalidades de los engranajes.....	5
2.1.1. <i>Definición.</i> .....	5
2.1.2. <i>Partes de un engranaje de dientes rectos.</i> .....	5
2.1.3. <i>Parámetros geométricos de los engranajes</i> .....	5
2.1.3.1. <i>Módulo.</i> .....	6
2.1.4. <i>Tipos de engranajes</i> .....	7
2.1.4.1. <i>Engranajes con ejes paralelos.</i> .....	7
2.1.4.2. <i>Engranajes cilíndricos de dientes rectos.</i> .....	8
2.1.5. <i>Materiales de los engranajes.</i> .....	8
2.1.5.1. <i>Acero forjado.</i> .....	9
2.1.5.2. <i>Acero de endurecimiento superficial.</i> .....	9
2.1.5.3. <i>Hierro fundido y bronce.</i> .....	9
2.1.5.4. <i>Acero inoxidable.</i> .....	9
2.2. Modos de fallos de los engranajes.....	9
2.3. Principales aplicaciones de los engranajes.....	12



2.4.	<b>Transmisiones de engranajes</b> .....	12
2.4.1.	<i>Transmisiones de engranajes de relación constante</i> .....	13
2.4.1.1.	<i>Transmisiones de ejes fijos.</i> .....	13
2.4.1.2.	<i>Transmisiones de ejes móviles.</i> .....	13
2.4.2.	<i>Transmisiones de engranajes de relación variable</i> .....	13
2.5.	<b>Lubricantes en sistemas de transmisión por engranajes.</b> .....	14
2.5.1.	<i>Lubricación por grasa</i> .....	14
2.5.2.	<i>Lubricación forzada</i> .....	14
2.5.3.	<i>Lubricación por salpicadura.</i> .....	14
2.6.	<b>Análisis de vibraciones</b> .....	15
2.6.1.	<i>Ubicación de los puntos de prueba.</i> .....	16
2.6.2.	<i>Composición del espectro vibratorio.</i> .....	16
2.6.3.	<i>Técnicas de análisis de vibración.</i> .....	17
2.7.	<b>Frecuencias características de los engranajes</b> .....	17
2.7.1.	<i>Espectro normal</i> .....	17
2.7.2.	<i>Dientes agrietados o rotos</i> .....	18
2.8.	<b>Cálculo para la frecuencia de engranajes</b> .....	18
2.8.1.	<i>Frecuencias del engrane GMF.</i> .....	18
2.8.2.	<i>Analizador de vibraciones.</i> .....	19
2.9.	<b>Análisis termográfico</b> .....	19
2.9.1.	<i>Radiación</i> .....	20
2.9.2.	<i>Radiación infrarroja.</i> .....	20
2.9.3.	<i>Espectro electromagnético</i> .....	20
2.9.4.	<i>Mantenimiento predictivo utilizando termografía infrarroja.</i> .....	20
2.9.5.	<i>Ventajas del análisis termográfico</i> .....	20
2.9.6.	<i>Cámara termográfica</i> .....	21
2.10.1.	<i>Analizador de la calidad de energía</i> .....	22
2.10.2.	<i>Análisis de ultrasonido pasivo</i> .....	22
2.10.3.	<i>Límites de audibilidad.</i> .....	22
2.10.4.	<i>Herramientas de medición</i> .....	23
2.10.5.	<i>Analizador de ultrasonido pasivo</i> .....	24
2.11.	<b>Bases de datos</b> .....	24
2.11.1.	<i>Bases de datos en máquinas rotativas.</i> .....	25
2.11.2.	<i>Diagnóstico de fallos basado en datos</i> .....	25
2.11.3.	<i>Adquisición de datos y preprocesamiento de la señal.</i> .....	25

### **CAPÍTULO III**

3.	<b>MARCO METODOLÓGICO</b> .....	27
3.1.	<b>Sistemas del simulador de modos de fallas de engranajes</b> .....	27

3.1.1.	<i>Sistema de potencia</i> .....	27
3.1.2.	<i>Sistema de transmisión</i> .....	28
3.1.2.1.	<i>Selección y cálculo de los engranajes.</i> .....	28
3.1.3.	<i>Sistema de lubricación.</i> .....	30
3.2.	<b>Cálculo de mediciones a tomar</b> .....	31
3.2.1.	<i>Procedimiento para la toma de mediciones de vibraciones</i> .....	31
3.2.1.1.	<i>Recolección de datos.</i> .....	33
3.2.2.	<i>Procedimiento para la toma de mediciones de temperatura</i> .....	36
3.2.3.	<i>Procedimiento para la toma de mediciones de energía</i> .....	37
3.2.4.	<i>Procedimiento para la toma de mediciones de ultrasonido.</i> .....	39
3.3.	<b>Nomenclatura para los puntos de mediciones de los engranajes.</b> .....	41
3.4.	<b>Obtención de gráficas utilizando Python.</b> .....	41
3.4.1.	<i>Manejo del software e importación de librerías.</i> .....	41
3.4.2.	<i>Llamar al conjunto de datos</i> .....	41
3.4.3.	<i>Eliminación de variables.</i> .....	42
3.4.4.	<b>Información de variables.</b> .....	42
3.4.5.	<i>Variables faltantes.</i> .....	43
3.4.6.	<b>Filas duplicadas.</b> .....	43
3.4.7.	<i>Análisis estadístico de los datos.</i> .....	44
3.4.8.	<i>Histogramas de variables.</i> .....	45
3.5.	<b>Chequeando valores atípicos.</b> .....	45
3.5.1.	<i>Diagrama de cajas de vibración.</i> .....	46
3.5.2.	<i>Diagrama de cajas de temperatura</i> .....	46
3.5.3.	<i>Diagrama de cajas de energía.</i> .....	47
3.5.4.	<i>Diagrama de cajas de ultrasonido</i> .....	48
3.6.	<b>Comparación de variables</b> .....	49
3.6.1.	<i>Análisis de vibración.</i> .....	49
3.6.2.	<i>Análisis de temperatura.</i> .....	50
3.6.3.	<i>Análisis de energía.</i> .....	51
3.6.4.	<i>Análisis de ultrasonido</i> .....	52

## **CAPÍTULO IV**

4.	<b>ANÁLISIS DE RESULTADOS</b> .....	54
4.1.	<b>Selección de las ruedas dentadas a fallas por desgaste.</b> .....	54
4.2.	<b>Análisis de los tipos de fallas que se producen en las ruedas dentadas.</b> .....	54
4.3.	<b>Someter a fallas las ruedas dentadas para la simulación y obtención de datos.</b> .....	55
4.4.	<b>Generar una base de datos obtenidos de los modos de fallas de las ruedas dentadas utilizando un formato (.xlsx), para su análisis.</b> .....	55

<b>4.5.</b>	<b>Determinar la dispersión que existe entre los datos obtenidos de fallas en ruedas dentadas.</b>	<b>56</b>
<b>4.5.1.</b>	<i>Dispersión de vibraciones</i>	<b>56</b>
<b>4.5.2.</b>	<i>Dispersión de temperatura</i>	<b>58</b>
<b>4.5.3.</b>	<i>Dispersión de energía</i>	<b>59</b>
<b>4.5.4.</b>	<i>Dispersión de ultrasonido</i>	<b>60</b>
<b>CONCLUSIONES</b>		<b>62</b>
<b>RECOMENDACIONES</b>		<b>63</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>		
<b>ANEXOS</b>		

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1-2:</b>	Clasificación de engranajes según su eje de rotación.....	7
<b>Tabla 2-2:</b>	Fallos en engranajes .....	10
<b>Tabla 3-2:</b>	Tipos de radiación infrarroja .....	20
<b>Tabla 4-2:</b>	Límites de audibilidad .....	23
<b>Tabla 1-3:</b>	Especificaciones del motor eléctrico .....	28
<b>Tabla 2-3:</b>	Características fisicoquímicas del lubricante SAE 140.....	31
<b>Tabla 3-3:</b>	Obtención de datos sin desgaste en ruedas dentadas.....	39
<b>Tabla 4-3:</b>	Nomenclatura para puntos de mediciones.....	41
<b>Tabla 5-3:</b>	Llamando al archivo de datos. ....	42
<b>Tabla 6-3:</b>	Eliminación de variables. ....	42
<b>Tabla 7-3:</b>	Información de variables .....	43
<b>Tabla 8-3:</b>	Cálculos de medidas estadísticas básicas .....	44

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1-2:</b>	Partes de un engranaje de dientes rectos .....	5
<b>Figura 2-2:</b>	Rueda dentada de dientes rectos .....	8
<b>Figura 3-2:</b>	Clasificación de los modos de fallos de engranajes .....	10
<b>Figura 4-2:</b>	Tipos de transmisiones de engranajes .....	13
<b>Figura 5-2:</b>	Diagrama básico por salpicadura.....	14
<b>Figura 6-2:</b>	Ubicación de acelerómetro .....	16
<b>Figura 7-2:</b>	Composición de un espectro vibratorio. ....	16
<b>Figura 8-2:</b>	Espectro de engranajes en condiciones normales .....	17
<b>Figura 9-2:</b>	Espectro y onda de tiempo de engranajes con diente roto.....	18
<b>Figura 10-2:</b>	Analizador de vibraciones .....	19
<b>Figura 11-2:</b>	Cámara termográfica .....	21
<b>Figura 12-2:</b>	Analizador de energía.....	22
<b>Figura 13-2:</b>	Diseño de un detector ultrasónico.....	23
<b>Figura 14-2:</b>	Equipo para diagnóstico de ultrasonido pasivo.....	24
<b>Figura 15-2:</b>	Enfoque de diagnóstico de fallos basados en modelos.....	25
<b>Figura 1-3:</b>	Motor eléctrico trifásico de ½ Hp.....	27
<b>Figura 2-3:</b>	Sistema de transmisión .....	28
<b>Figura 3-3:</b>	Creación de una base del software Maintraq predictive.....	32
<b>Figura 4-3:</b>	Creación de la carpeta de archivo. ....	32
<b>Figura 5-3:</b>	Creación de la máquina analizar .....	32
<b>Figura 6-3:</b>	Configuración de puntos a medir.....	33
<b>Figura 7-3:</b>	Espectro de velocidad en condiciones normales en el Punto 1 horizontal .....	34
<b>Figura 8-3:</b>	Espectro de velocidad con diente roto en el punto 1 vertical .....	35
<b>Figura 9-3:</b>	Espectro de aceleración en condiciones normales en el punto 1 horizontal. ....	36
<b>Figura 10-3:</b>	Termografía del punto más caliente del motor.....	36
<b>Figura 11-3:</b>	Configuración del Fluke 435 serie II .....	37
<b>Figura 12-3:</b>	(a) Pinza amperimétrica. (b). Sentido del flujo de corriente .....	37
<b>Figura 13-3:</b>	Entradas de conexión del equipo. ....	38
<b>Figura 14-3:</b>	Configuración en potencia y energía .....	38
<b>Figura 15-3:</b>	Obtención de mediciones.....	39
<b>Figura 16-3:</b>	Configuración del colector. ....	40
<b>Figura 17-3:</b>	Conexión del contacto al colector.....	40
<b>Figura 18-3:</b>	Espectro de ultrasonido. ....	40

<b>Figura 19-3:</b> Código de valores faltantes.....	43
<b>Figura 20-3:</b> Código filas duplicadas .....	44
<b>Figura 21-3:</b> Histogramas generales de las variables.....	45
<b>Figura 22-3:</b> Diagrama de caja de la frecuencia 1X del engrane. ....	46
<b>Figura 23-3:</b> Diagrama de cajas de temperatura .....	47
<b>Figura 24-3:</b> Diagrama de cajas de energía .....	48
<b>Figura 25-3:</b> Diagrama de cajas de ultrasonido .....	49
<b>Figura 26-3:</b> (a) Vibración ruedas sanas vs. (b) Vibración diente roto. ....	50
<b>Figura 27-3:</b> Temperatura ruedas sanas (a) vs. Temperatura diente roto (b) .....	51
<b>Figura 28-3:</b> Corriente L1 ruedas sanas (a) vs. Corriente L1 sin lubricante (b).....	52
<b>Figura 29-3:</b> Decibeles ruedas sanas (a) vs. Decibeles diente roto (b).....	53
<b>Figura 1-4:</b> Ruedas dentadas a someter a fallas .....	54
<b>Figura 2-4:</b> Modo de fallo diente roto. ....	55
<b>Figura 3-4:</b> Dispersión en ruedas sanas en la variable $V_{rms}$ [mm/s].....	57
<b>Figura 4-4:</b> Dispersión en diente roto en la variable $V_{rms}$ [mm/s].....	57
<b>Figura 5-4:</b> Dispersión de temperatura en el motor eléctrico con ruedas sanas .....	58
<b>Figura 6-4:</b> Dispersión de temperatura con diente roto en el motor eléctrico. ....	59
<b>Figura 7-4:</b> Dispersión de corriente ruedas sanas de corriente.....	60
<b>Figura 8-4:</b> Dispersión de corriente dientes rotos de corriente. ....	60
<b>Figura 9-4:</b> Dispersión de ultrasonido ruedas sanas. ....	61
<b>Figura 10-4:</b> Dispersión de ultrasonido dientes rotos .....	61

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

<b>Gráfico 1-3:</b> Porcentaje de mediciones a tomar.....	31
---	----

## **ÍNDICE DE ANEXOS**

**ANEXO A:** Planos de ruedas dentadas.

**ANEXO B:** Base de datos en formato excel.

**ANEXO C:** Programación de gráficas en Python.



## RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue obtener una base de datos de desgaste en ruedas dentadas mediante el análisis de vibración, temperatura, energía y ultrasonido. Para lo cual se seleccionaron los engranajes con dientes rectos; el engranaje motriz cuenta con 64 dientes mientras que el engranaje conducido con 24 dientes con y sin lubricante. Los cuales fueron utilizados en el módulo para la simulación y obtención de los datos; el modo de fallo seleccionado fue por diente roto en un par de engranajes. Las mediciones se realizaron a un minuto de diferencia, la toma de datos de vibraciones fue realizada en el motor eléctrico colocando el acelerómetro en la parte delantera del motor (punto 1) y en la parte trasera del motor (punto 2), el análisis termográfico se realizó a un metro de distancia, el análisis de ultrasonido se realizó colando el equipo lo más cercano a los engranajes en sentido radial vertical y horizontal. Se obtuvo una base de datos en formato .xlsx con 2040 filas y 102 columnas, la dispersión obtenida de los datos muestra que a medida que el motor trabaja la temperatura aumenta, mientras que con diente roto el motor aumenta la evolución de los datos tomados rápidamente. Se concluye que con los datos extraídos de los espectros de vibraciones se realizaron gráficas de dispersión; donde se analizó el estudio de la onda de amplitud con ruedas sanas y diente roto. La gráfica con ruedas sanas muestra una correlación positiva con los datos obtenidos, mientras que con diente roto existe una dispersión de datos producido por el ruido del engrane de dientes a causa del fallo. Se recomienda utilizar la base de datos para realizar trabajos de investigación sobre ruedas dentadas con diente roto y diente sano utilizando el aprendizaje de máquinas.

**Palabras clave:** <BASES DE DATOS>, <ENGRANAJES>, <VIBRACIÓN>, <TEMPERATURA>, <ENERGÍA>, <ULTRASONIDO>

1719-DBRA-UTP-2022

*Ferdinand Qui.*  
10/08/2022



## SUMMARY

The objective of this work was to obtain a database of wear in gear wheels through the analysis of vibration, temperature, energy and ultrasound. For which the gears with straight teeth were selected; the driving gear has 64 teeth while the driven gear has 24 teeth with and without lubricant. They were used in the simulation module and data collection. The selected failure mode was a broken tooth on a pair of gears. Measurements were made one minute apart, vibration data collection was performed on the electric motor by placing the accelerometer at the front of the motor (point 1) and at the rear of the motor (point 2). The thermographic analysis was carried out at one meter apart, the ultrasound analysis was carried out by placing the equipment as close to the gears in a vertical and horizontal radial direction. A database in .xlsx format with 2040 rows and 102 columns was obtained. The dispersion obtained from the data shows that as the motor works the temperature increases, while with a broken tooth the motor increases the evolution of the data taken quickly. Scatter plots were made with the data extracted from the vibration spectra, where the study of the amplitude wave with healthy wheels and broken tooth was analyzed. The graph with healthy wheels shows a positive correlation with the data obtained, while with a broken tooth there is a dispersion of data produced by gear noise of the tooth due to the failure. It is recommended to use the database to carry out research work on gearwheels with broken tooth and healthy tooth using machine learning.

**Keywords:** <DATABASES>, < WEAR IN GEARS WHEELS >, <GEARS>, <VIBRATION ANALYSIS>, <ULTRASOUND



Lic. Sandra Paulina Porras Pumalema Mgs.

C.I. 0603357062

## **INTRODUCCIÓN**

El mantenimiento industrial es un proceso que busca identificar causas de los posibles fallos en máquinas rotativas, por lo que es necesario que todos los elementos se encuentren en buenas condiciones, en especial los engranajes ya que se encargan de transmitir movimiento a las máquinas y la transmisión de potencia por medio del contacto entre las ruedas dentadas. Por lo que realizar un estudio de diente roto de engranajes es primordial ya que son elementos que son utilizados en diferentes ámbitos y condiciones de trabajo; los engranajes más pequeños se usan en la relojería hasta los grandes que llegan a ser parte importante de las máquinas, por tal razón es de gran importancia realizar un monitoreo de vibraciones, energía y ultrasonido a las maquinarias industriales para revisar cual es la condición y determinar si es necesario realizar su mantenimiento.

Los fallos en engranajes se producen por consecuencia de diferentes factores, desde desgastes por el paso de horas de trabajo que conduce a la reducción de propiedades mecánicas y acelera la degradación de los engranajes, hasta los que presentan fallos en su construcción por cálculos erróneos, lubricación, material, entre otros. Los métodos de diagnóstico basados en señales de vibraciones y señales acústicas se utilizan para monitorear el estado de los engranajes, aunque cuando se presenta avería en un engranaje se manifiesta con el aumento de temperatura, una de las técnicas ampliamente utilizadas para el control de la temperatura es la termografía infrarroja que es un método complementario junto con los anteriores para monitorear y detectar fallas en engranajes.

En la actualidad el registro de datos es la clave para realizar trabajos de investigación donde los datos son investigados por medio de programas, que analizan la información y logra la interpretación de dichos datos mejorando las estrategias para el diagnóstico. Las técnicas para el diagnóstico de fallos cada vez más se van fortaleciendo logrando una mayor fiabilidad garantizando la toma de decisiones.

El presente proyecto consiste en la adquisición de una base de datos mediante vibración, temperatura, energía y ultrasonido, los cuales se obtendrán a diferentes mediciones, es decir, medidas con ruedas sanas y dientes rotos en puntos diferentes en el motor eléctrico para el análisis de vibraciones con un acelerómetro.

# CAPÍTULO I

## 1. GENERALIDADES.

### 1.1. Antecedentes

Los engranajes son parte fundamental de las máquinas que son utilizados en la industria, ya que son empleados para transmitir movimiento y potencia entre dos ejes, con una constante relación de velocidad. Desafortunadamente los engranajes están sujetos a distintos modos de falla durante su tiempo de funcionamiento, de ahí la necesidad de realizar un seguimiento y diagnóstico para aumentar la fiabilidad y reducir las pérdidas de producción causadas por fallas de los componentes de las máquinas.

El mantenimiento basado en la condición es un apoyo a las estrategias de mantenimiento, ya que consta de tres pasos importantes como: la adquisición de datos, procesamiento de datos y toma de decisiones. La toma de mediciones de datos es primordial ya que consiste en almacenar señales que ayudan al proceso de adquisición de datos, mientras que en el proceso de los datos la información es analizada para lograr interpretar las mediciones obtenidas. En la fase de toma de decisiones se determinan operaciones basadas en resultados o de los pronósticos de fallos. (Sánchez, 2017, p.13)

En el artículo científico: “Detección de fallas de engranajes mediante redes neuronales artificiales con onda discreta y análisis de componentes principales”. Realizaron una detección de defectos de engranajes en redes neuronales artificiales, incorporando la transformada de onda discreta y análisis de componentes principales, en el cual propusieron un método inteligente basado en la detección de grietas en los dientes del engranaje y para simular un sistema de caja de cambios. Las Redes Neuronales Artificiales (ANN) que incorporan la Transformada de Onda Discreta (DWT) con detección de fallas de engranajes basada en el Análisis de Componentes Principales (PCA) fueron desarrollados mediante el análisis de sus componentes, mientras que los datos de las señales simuladas son recopilados mediante la simulación de un sistema de caja de cambios. El método propuesto proporciona un refuerzo en cuanto a la toma de decisiones en el campo del mantenimiento preventivo, ya que se realizan pruebas con dos tipos de señales: simulado y experimental, el cual permite clasificar las características en dos tipos: sanas y defectuosas, con un buen índice de correcta clasificación. (Raoudi et al. 2016)

En el artículo científico: “Aplicación de algoritmos genéticos en la tarea de elección de entradas para clasificadores de redes neuronales probabilísticas de fallas de dientes de engranaje”. (Czech & Mikulski, 2015). En los resultados de los ensayos de construcción de una aplicación basada en una red neuronal probabilística, el cual fue utilizada para diagnosticar daños en los dientes de las ruedas dentadas en forma de grietas en la base del diente. Se determinó un adecuado proceso de aprendizaje en red, el cual es necesario para obtener del objeto probado numerosos conjuntos de datos de entrada. Investigaciones realizadas se basan en datos obtenidos del modelo identificado de engranaje que trabaja en el sistema de transmisión, lo que hizo posible para adquirir la cantidad necesaria de datos, además se probó diferentes tipos de daños en los dientes construidos sobre la base de señales vibratorias, el cual fueron procesados mediante la transformada de Wigner-Ville. (Czech y Mikulski 2015)

A menudo el problema que hace imposible el aprendizaje adecuado de los clasificadores neuronales es el tamaño de la estructura de la red. Por lo tanto, en estudios posteriores se examinó la utilidad de los algoritmos genéticos cuya tarea es seleccionar un dato de entrada para las redes neuronales artificiales de tipo redes neuronales probabilísticas (PNN). Al aplicar este método se busca aumentar la eficiencia y confiabilidad de los sistemas de transmisión, debido a que en el proceso de su operación se busca utilizar distintos métodos y técnicas para detectar daños, ya que los diferentes daños no detectados a tiempo se puede volver la causa de la ocurrencia de daños en máquinas rotativas y a su vez aumentar la seguridad de las personas. (Czech y Mikulski 2015)

## **1.2. Planteamiento del problema**

Uno de los elementos más importantes de las maquinarias rotativas son los engranajes, ya que se encargan de garantizar un buen funcionamiento en las máquinas, debido a que se necesita que éstos no presenten fallos. Los fallos en engranajes se pueden detectar a través de distintos métodos como: el análisis de señales de vibración y temperatura. El mantenimiento predictivo ha brindado una gran cantidad de aportes en cuanto a la maquinaria rotativa que lo ha posicionado como un factor importante dentro de las industrias, ya que hoy en día es visto como una gran oportunidad de mejora para diagnosticar y supervisar las maquinarias. El mantenimiento que relaciona el modo de fallo por diente roto se encuentra en este momento en pleno auge, aunque existen programas que se encargan del análisis de la gestión del mantenimiento, sin embargo, la gran mayoría únicamente realizan históricos de datos mediante la utilización de sensores, por lo que existe la necesidad de obtener datos en abundancia con técnicas que sean confiables para la detección fallas en ruedas dentadas, por tal razón, se plantea el siguiente proyecto técnico.

### **1.3. Justificación y actualidad**

La revolución industrial busca maximizar la eficiencia y el rendimiento de las maquinarias con el fin de cumplir con excelentes estándares de calidad, por lo que a nivel mundial se han realizado estudios de algoritmos basándose en subconjuntos de la inteligencia artificial donde se encargan de construir modelos basados en la obtención de datos, que son recopilados y procesados mediante técnicas de monitoreo que detectan cual es la condición del sistema de una manera automática.

En Ecuador, la Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca ha realizado investigaciones acerca de la obtención de datos de desgaste en engranajes, que se enfocan en entrenar sistemas de diagnósticos de fallos aplicando monitoreo de la condición basado en señales de vibración.

Mientras que, en la Facultad de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, existe el módulo de fallos de engranajes por lo que se ve la necesidad de realizar una base de datos para que los estudiantes de la Facultad de Mecánica accedan a los datos, realicen estudios y puedan aplicar la inteligencia artificial a dichos datos.

### **1.4. Objetivos**

#### **1.4.1. *Objetivo General***

Obtener una base de datos de desgaste en ruedas dentadas mediante el análisis de vibración, temperatura, energía y ultrasonido.

#### **1.4.2. *Objetivos Específicos***

Seleccionar las ruedas dentadas a fallas por desgaste.

Realizar un análisis de las fallas que se producen en las ruedas dentadas.

Someter a fallas por desgaste las ruedas dentadas para la simulación y obtención de datos.

Generar una base de datos obtenidos de los modos de fallas de las ruedas dentadas utilizando un formato (.xlsx) para su análisis.

Determinar la dispersión que existe entre los datos obtenidos de fallas en ruedas dentadas.

## CAPÍTULO II

### 2. MARCO TEÓRICO Y MARCO CONCEPTUAL

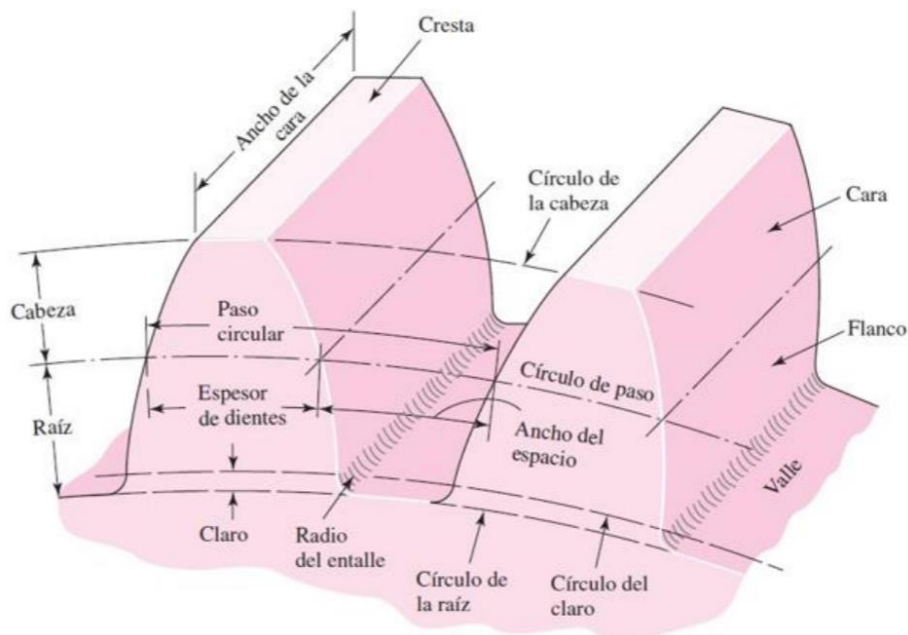
#### 2.1. Generalidades de los engranajes.

##### 2.1.1. Definición.

Un engranaje es un sistema mecánico que se encuentra formado por dos ruedas dentadas que están en contacto entre sí, sirven para la transmisión del movimiento de rotación entre ellos.

(Petrescu et al., 2017)

##### 2.1.2. Partes de un engranaje de dientes rectos.



**Figura 1-2:** Partes de un engranaje de dientes rectos

Fuente: (Díaz 2016, p.27)

##### 2.1.3. Parámetros geométricos de los engranajes

Según Rodríguez (2019, p. 2), en la revista Universo y tecnología, describe los parámetros geométricos de los engranajes y menciona las fórmulas elementales para el cálculo de engranajes de la siguiente manera:

### 2.1.3.1. *Módulo.*

Es un tamaño definido como la relación entre el diámetro del círculo primitivo y el número de dientes del engranaje. Al hablar de engranajes y los dientes puedan coincidir tienen que ser el mismo módulo para ambas ruedas dentadas.

$$m = \frac{d}{z} \quad (1)$$

Dónde:

d= Diámetro de paso

z= Cantidad de dientes

### 2.1.3.2. *Altura total del diente.*

Es la profundidad que existe del diente desde el diámetro exterior de la rueda dentada.

$$h = m + 1,25(m) \quad (2)$$

Dónde:

m= Módulo

### 2.1.3.3. *Diámetro primitivo.*

Correspondiente a la circunferencia que limita el diente de la rueda exteriormente.

$$D_p = m * z \quad (3)$$

Dónde:

D<sub>p</sub>= Diámetro primitivo

m= Módulo

z= Número de dientes



#### 2.1.3.4. *Diámetro exterior.*

Es el diámetro de la circunferencia limitada al exterior del engranaje.

$$D_e = D_p + 2 * m \quad (4)$$

Donde:

$D_p$  = Diámetro primitivo

$m$  = Módulo

#### 2.1.4. *Tipos de engranajes*

Según el criterio de Grande (2017, p.18-28), Los engranajes se clasifican según la disposición del eje giratorio y el número de dientes. Los cuales se detallan en la tabla 1-2.

**Tabla 1-2:** Clasificación de engranajes según su eje de rotación

Ejes paralelos	Cilíndricos de dientes rectos
	Cilíndricos de dientes helicoidales
	Cilíndricos helicoidales dobles
	Internos
Ejes coplanarios no paralelos	Cónicos rectos
	Cónicos espirales
	Cónicos tipo zerol
Engranajes con ejes no coplanarios no paralelos	Helicoidales de ejes cruzados
	Globoidales cilíndricos
	Globoidales de envolvente simple
Engranajes especiales	Cuadrados o rectangulares
	Triangulares
	Elípticos
	Scroll gears
	Múltiple sector gears

Fuente: (Grande 2017, p.18-28)

Realizado por: (Cuzco Gabriela, 2022)

##### 2.1.4.1. *Engranajes con ejes paralelos.*

Son engranajes simples y comunes, su construcción consiste de un disco cilíndrico el cual es cortado de una plancha maciza circular, el disco pasa por un proceso llamado fresado que consiste en quitar el material y dar forma a los dientes del engranaje. Son mecanismos capaces de

transmitir energía con alta eficiencia. Además, transmiten potencia con una mejor eficiencia que otros engranajes. (Grande 2017, p. 17)

#### 2.1.4.2. *Engranajes cilíndricos de dientes rectos.*

Utilizados para transmisiones de movimiento rotativo entre ejes paralelos en mecanismos de velocidades medias y velocidades mayores, además producen ruido excesivo.

En engranajes de dientes rectos, por presentar dientes paralelos al árbol del cilindro de la base, hace que los ejes se coloquen paralelamente, con el fin de que los engranes colocados se vayan acoplando entre sí y exista la transmisión de potencia y movimiento rotativo. A diferencia de otros tipos de transmisión, la transmisión de los engranajes de dientes rectos es más compacta, por lo que es utilizada en donde requieran sincronía y alta precisión, además de operar a velocidades altas. (Fernández 2018, p.13)



**Figura 2-2:** Rueda dentada de dientes rectos

Realizado por: Cuzco Gabriela, 2022

#### 2.1.5. *Materiales de los engranajes.*

Los engranajes son fabricados según el uso que se les vaya a dar, por lo que antes de ser construidos se debe tomar en cuenta las distintas características físicas, mecánicas a las que estará sometido. (Alarcón & Gaibor 2017, p. 29)

A continuación, materiales utilizados para la construcción de engranajes:

#### 2.1.5.1. *Acero forjado.*

Es un acero al carbono con aleación, son endurecidos superficialmente y sometidos a un tratamiento térmico de cementación, nitruración. (Alarcón & Gaibor, 2017, p.24)

#### 2.1.5.2. *Acero de endurecimiento superficial.*

Responsable del proceso de obtención de piezas de alta mecánica en la superficie, tales como: dureza, resistencia al desgaste, fatiga superficial, con excelente tenacidad del núcleo. (Vaca et al., 2020, p.4)

#### 2.1.5.3. *Hierro fundido y bronce.*

El hierro puede ser gris fundido, hierro nodular y hierro maleable. En cuanto al bronce existen diferentes tipos como: bronce con fósforo o estaño, bronce con magnesio. Se utilizan generalmente por sus altas propiedades a la resistencia, corrosión y resistencia al desgaste. (Vaca et al., 2020, p.4)

#### 2.1.5.4. *Acero inoxidable.*

Es un material muy costoso, pero resiste ambientes corrosivos temperaturas altas o bajas. (Alarcón & Gaibor 2017)

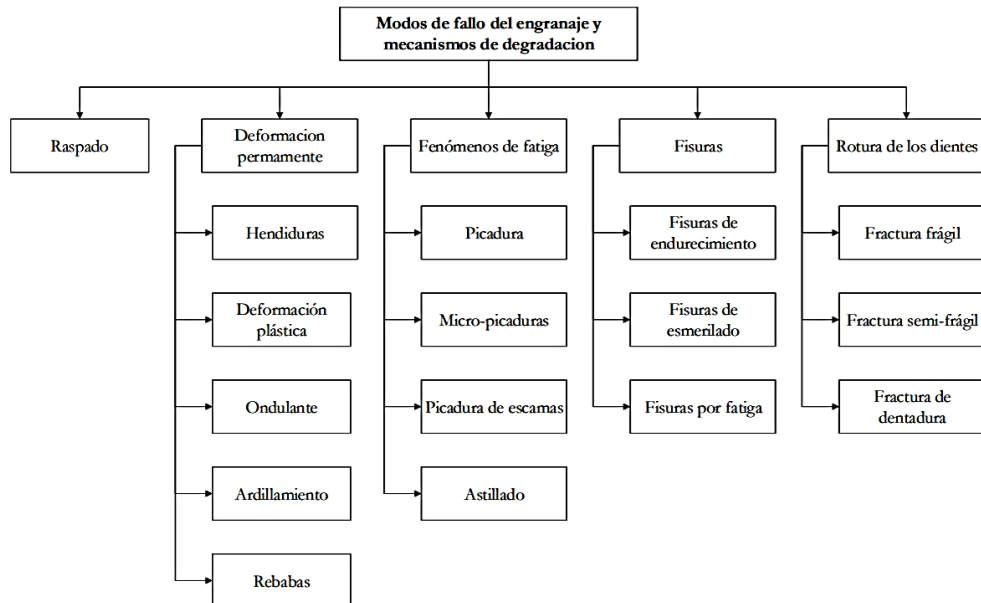
Existen diferentes factores que influyen al momento de seleccionar el material para la elaboración de engranajes como lo es el tratamiento térmico.

## **2.2. Modos de fallos de los engranajes.**

En los dientes de un engranaje puede producirse diferentes modos de fallos como consecuencia de distintos factores, entre los cuales puede ser por una mala construcción y diseño de las ruedas dentadas, por un rectificado incorrecto y por la realización del tratamiento térmico incorrecto.

Por tal motivo es importante a la hora de diseñar un engranaje conocer la transmisión a la que va a estar destinado, velocidad, potencia y a que sobrecarga estará sometido. Debido a que los engranajes son elementos mecánicos principales en la maquinaria rotativa, un pequeño fallo en estos elementos puede generar grandes daños catastróficos, esto puede ocurrir por diferentes causas: desalineación, incorrecta lubricación, fatiga y altas velocidades. (Llivicura 2019, p. 53)



Los engranajes que son utilizados en maquinarias industriales trabajan en ambientes cerrados por lo que se encuentran protegidos de corrosión y del desgaste gracias al lubricante que actúa como inhibidor a la corrosión. (Suárez 2017, p. 18)



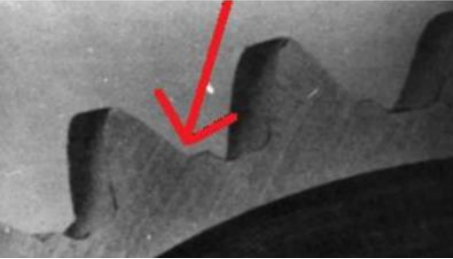
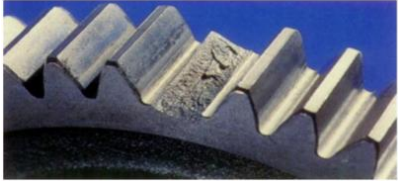
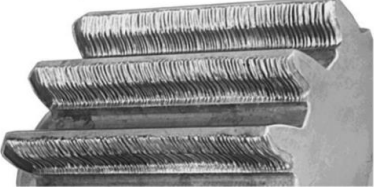
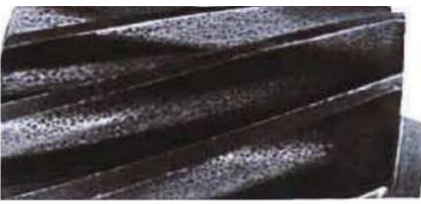


**Figura 3-2:** Clasificación de los modos de fallos de engranajes

Fuente: (Lojano 2019, p. 52)

**Tabla 2-2:** Fallos en engranajes

Modo de fallo	Descripción	Fotografía del fallo
Fallo por agrietamiento	Las grietas ocurren en cualquier parte de los dientes, se produce generalmente por altas tensiones mecánicas o a su vez de temperatura, puede ser por causa del material, tratamiento térmico al que fue sometido.	
Fallo por rayadura	Este fallo se presenta con síntomas ásperos, causado por la transferencia de metales de una superficie a otra. Las raspaduras en los engranajes aparecen con el uso del mismo, ya que cuando estos elementos son nuevos están propensos a este tipo de falla porque las superficies no han sido suavizadas.	

Fallo por picadura	Causados por la fatiga hertziana que se encuentra relacionada con la lubricación. Debido a que los dientes se encuentran sometidos a grandes esfuerzos y ciclos de tensión. Su origen debido a la fatiga ya que estos inician como una fisura en la parte de los dientes de los engranajes.	
Fallo por diente roto	La fractura del diente del engranaje es causada por una carga concentrada a lo largo de toda la longitud del engranaje. Se presenta con una grieta en el inicio del diente, produciendo tensiones de flexión que comienza con una pequeña grieta que progresa hasta que una parte del diente se parte	
Fallo por desgaste	El desgaste en ruedas dentadas generalmente tarda algunos en desarrollarse, ya que se va desgastando uniformemente en la superficie de los dientes. Se produce desde la punta y raíz del diente. El desgaste generalmente se produce durante el tiempo inicial de periodo de funcionamiento	
Fractura por sobrecarga	Se presenta cuando la superficie que se ha quebrado se encuentra hundida, ocurre cuando posee abundancia de la capacidad del material. Se produce por exceso de esfuerzo.	
Desgaste abrasivo	Es la causa por la cual los engranajes dejan de ser útiles, este fallo se presenta por un desgaste no uniforme por el perfil del diente.	
Desgaste por corrosión	Se presenta en los engranajes o en su entorno cuando existe una reacción química. Se presentan como superficies con manchas debido a que el lubricante se ha contaminado con agua o algún ácido.	

Fuente: (Llivicura 2019, pp: 24-30)

Realizado por: Cuzco Gabriela, 2022

### **2.3. Principales aplicaciones de los engranajes**

Existen variedades de formas, medidas y tamaños de engranajes, ya que en el mercado se encuentra desde los más pequeños que son utilizados en relojería, mientras que los grandes son empleados en reductores de velocidades de turbinas de buques, en hornos y en las fábricas de cemento se encuentran presentes en molinos.

El campo de aplicación de los engranes es inmenso, ya que son utilizados en diversas variedades de aplicaciones, con la finalidad de transmitir el giro a través de un eje a otro, logrando reducir o aumentar la velocidad del primer eje. (Grande 2017, p.29)

### **2.4. Transmisiones de engranajes**

Según el análisis de transmisión de engranajes realizados por Roda (2015, pp. 29-31). Describe los engranajes como un elemento para transmitir o recibir movimiento por otro elemento dentado, por medio del cruce de sus dientes. Un par de ruedas dentadas pueden girar a través de ejes que se encuentren en posiciones relativas, formando los conocidos engranajes. Son los encargados de transmitir la potencia desde el eje de transmisión al eje conducido por medio de las presiones que los dientes ejercen. Las ventajas de las transmisiones por engranajes en comparación con otros actuadores son:

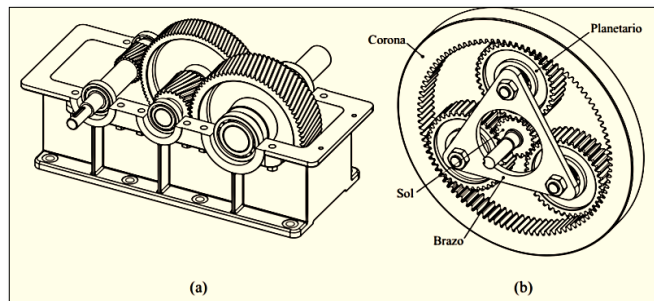
- Se encargan de transmitir grandes cargas utilizando dispositivos de tamaño mínimo
- Tienen fiabilidad alta, y sus elementos son duraderos
- El mantenimiento es fácil y sencillo a comparación de otros tipos de transmisiones.
- Presentan alto grado de eficiencia mecánica

Las transmisiones por engranajes presentan algunos inconvenientes, son de ruidos excesivos, presentan costes altos de producción, porque tienen que cumplir con los altos requisitos de potencia de transmisión, velocidad de rotación, calidad de producción y excelente precisión de trabajo. Las transmisiones de este tipo valoran una relación de transmisión inversamente proporcional a la relación entre el número de dientes del engranaje y la rueda.

Las cajas de engranajes se clasifican en relaciones de transmisión constantes y variables. A continuación, se nombran las características más importantes de estas líneas de transmisión. (Roda 2015, p. 30)

### 2.4.1. *Transmisiones de engranajes de relación constante*

En este tipo de accionamiento, su diseño tiene en cuenta datos sobre la potencia en el eje de entrada o potencia en el eje de salida, la velocidad de rotación entre los ejes de entrada y salida, y las condiciones de funcionamiento del accionamiento. Las transmisiones contantes se clasifican en: transmisiones de ejes fijos (Figura 4-2 a). Y transmisiones de ejes móviles (Figura 4-2 b). (Roda 2015, p 30)



**Figura 4-2:** Tipos de transmisiones de engranajes

Fuente: (Roda 2015, p. 30)

#### 2.4.1.1. *Transmisiones de ejes fijos.*

Se encuentran compuestas por un par de ruedas dentadas que están instaladas sobre los ejes respectivamente, Pueden trabajar solos o junto con otros elementos para formar un sistema de transmisión. (Roda 2015, p. 29)

#### 2.4.1.2. *Transmisiones de ejes móviles.*

También conocidos como engranajes planetarios, estos son engranajes en los que al menos una rueda está designada para rotación y traslación. Suelen identificarse por uno o más engranajes solares. Estos engranajes tienen una ventaja sobre las transmisiones de eje fijo, ya que pueden lograr relaciones de transmisión más altas en espacios reducidos. (Roda 2015, p. 29)

### 2.4.2. *Transmisiones de engranajes de relación variable*

Este tipo de transmisión por engranajes se encuentra comúnmente en reductores en la industria automotriz en máquinas y herramientas. Este actuador funciona según el principio de intercambiabilidad de los engranajes generados a partir de la cremallera de corte. Los engranajes se van desplazando axialmente, lo que produce relación de transmisión diferentes en función del par de engranajes que transmiten movimiento. (Roda 2015, p. 30)

## 2.5. Lubricantes en sistemas de transmisión por engranajes.

La lubricación de engranajes reduce la fricción que existe entre el metal-metal entre las ruedas conducida y conductora al acoplarse. Además, protege las ruedas contra la corrosión, sirve como inhibidor a la oxidación, logrando evitar daños en los engranajes. Barbosa (2019, P. 51), menciona que existen diferentes métodos de lubricación como: la lubricación por grasa, salpicadura y roció.

### 2.5.1. *Lubricación por grasa*

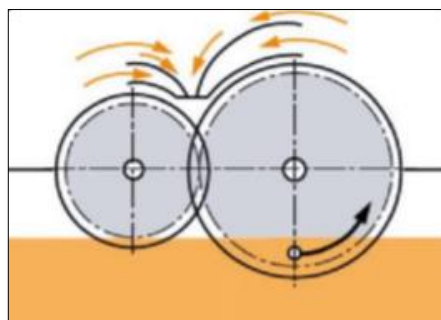
Se utilizan en sistemas de engranajes que funcionan a velocidades bajas. Al ser el aceite un derivado del petróleo, tiene una buena viscosidad y fluidez. Por tal razón no es adecuado usar grasa a engranajes que están sometidos a cargas elevadas debido a que su efecto no es disipador de calor. (Barbosa 2019, p. 51)

### 2.5.2. *Lubricación forzada.*

Utilizado en sistemas de engranajes cuya velocidad tangencial se encuentre entre los 10 a 20 m/s, se recomienda utilizar esta lubricación con la utilización de boquillas con aceite, de manera que circule a la presión adecuada por medio de una bomba de lubricante. Al momento de aplicar el lubricante se debe ser cuidadoso y asegurarse que este llegue hacia todas las superficies del engranaje. (Barbosa 2019, p. 51)

### 2.5.3. *Lubricación por salpicadura.*

Es la lubricación más utilizada, ya que consiste en sumergir los engranajes en una caja que generalmente está llena de lubricante. Al menos una de las ruedas debe estar sumergido en lubricante, para que al momento de engranar entre ellos los mantendrá lubricados.



**Figura 5-2:** Diagrama básico por salpicadura

**Fuente:** (Barbosa 2019, p. 33)



La lubricación por salpicadura necesita de 3 m/s en velocidad tangencial para que la lubricación resulte efectiva, se puede monitorear el nivel de aceite en condiciones dinámicas y estáticas con el fin de asegurar que la aplicación del lubricante es correcta, y verificar que no existan pérdidas por agitación de lubricante. (Barbosa 2019, p. 33)

## **2.6. Análisis de vibraciones**

La vibración es la oscilación o movimiento de algún objeto en una posición de equilibrio. Mientras que el análisis de vibración es uno de los métodos del mantenimiento predictivo, utilizado para diagnosticar diferentes tipos de fallas en maquinarias industriales.

En la actualidad el análisis de vibración es un método que se encuentra en constante desarrollo, ya que se puede realizar un análisis según el tipo de fallo que se vaya analizar, es decir que el análisis se enfocará a detectar fallos en particular como en ruedas dentadas, rodamientos o ejes, sin la necesidad de considerar a la máquina completa. (Sánchez, 2017, p.32)

Existen métodos para diagnosticar fallas en máquinas rotativas, que se aplica para precisar la condición de funcionamiento por medio de análisis de algunos parámetros. El análisis de vibraciones es considerado uno de los medios más efectivos para diagnosticar fallas, varios sensores están colocados estratégicamente en el conjunto mecánico para recopilar y analizar señales de vibración. (Zhao et al., 2020, p. 12)

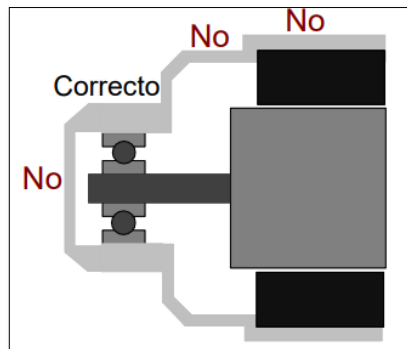
Por medio de las vibraciones se puede encontrar y diagnosticar inconvenientes en máquinas rotativas, ya que cada elemento rodante tiene su frecuencia propia. La FFT (Fast Fourier Transform) es capaz de mostrar la frecuencia de cada elemento, así como la frecuencia que representa una falla debido a defectos en la fabricación o fallas que se pueden producir por las condiciones de trabajo. (Hassan, 2018, p. 15)

El efecto vibratorio ocurre cuando el centro de masa de un elemento rodante no rota sobre el mismo eje de todo el conjunto. La amplitud de la frecuencia aumenta, mientras más velocidad tenga el sistema, hasta alcanzar la primera velocidad crítica del componente giratorio. Los espectros producidos indicarán la vibración con una frecuencia única, en la cual la amplitud será igual en todas las direcciones radiales. Se necesita de cuatro partes elementales para realizar un análisis de vibraciones: un analizador de señales, un transductor, un software para el análisis y un ordenador para realizar el almacenamiento. En el analizador se muestra la forma de onda y los

datos espectrales de cada elemento, los valores se comparan con la norma ISO para identificar los niveles de vibraciones. (Rahman et al., 2019, p. 25)

### 2.6.1. *Ubicación de los puntos de prueba.*

Es importante colocar el instrumento de medición lo más cerca del rodamiento, de ser posible seleccionar lugares estratégicos donde exista juntas de metal contra metal. (White, 2010, p. 71)

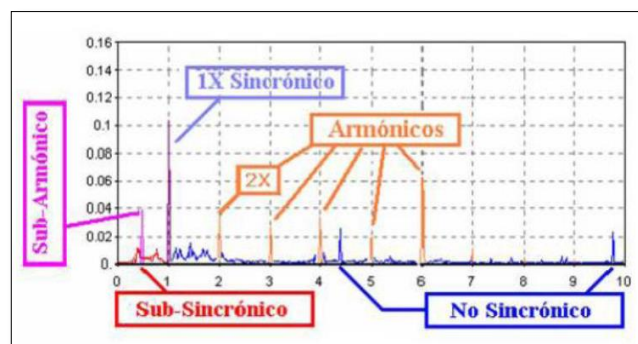


**Figura 6-2:** Ubicación de acelerómetro

Fuente: (White, 2010, p.72)

### 2.6.2. *Composición del espectro vibratorio.*

A continuación, se muestra las componentes de un espectro vibratorio, que es de gran importancia identificarlas para establecer un diagnóstico acerca de la condición de un equipo.



**Figura 7-2:** Composición de un espectro vibratorio.

Fuente: (Carangui 2014, p. 27)

Para realizar un espectro vibratorio de una manera correcta se deben seguir los siguientes pasos: El primer paso es relacionar con precisión la frecuencia de vibración con la velocidad de rotación de la máquina.

Se debe seleccionar una segunda etapa para que cada componente de frecuencia vibre las diferentes causas que producen, las cuales pueden ser: vibraciones inherentes al funcionamiento del equipo, vibraciones que crean condiciones no adecuadas y vibraciones provocadas por falla de la máquina. (Carangui 2014, p. 27)

### 2.6.3. Técnicas de análisis de vibración.

De acuerdo con Muñoz y Vera (2015, pp: 40-43), para realizar un correcto análisis de vibraciones se deben realizar tres técnicas que son las siguientes:

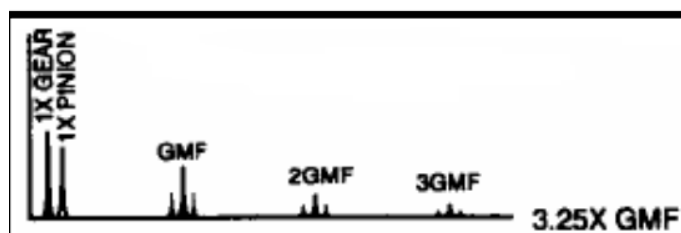
- **Análisis frecuencial:** La frecuencia de las vibraciones producidas está relacionada con la velocidad de la máquina.
- **Análisis de forma de la onda:** Pueden existir distintas formas de ondas en el tiempo, por lo que es necesario analizar distintos parámetros para el diagnóstico de fallos
- **Análisis de la fase de vibraciones:** Se realiza un análisis entre la fase del punto de referencia y el sensor, para la velocidad de giro.

### 2.7. Frecuencias características de los engranajes

El diagnóstico de engranajes se representa mediante las cartas de Charlotte con un acertado análisis en cuando a componentes, en condiciones normales, y la presencia de fallos.

#### 2.7.1. Espectro normal

En engranajes el espectro en condiciones normales muestra la velocidad entre la rueda conducida y la rueda conductora, además de la frecuencia de engrane (GMF) juntas y armónicos pequeñas, En el espectro se observa que las armónicas de GMF por lo general están presentes con bandas laterales a las distintas velocidades de giro entre el engrane y piñón. Es recomendable la Fmax en 3,25X GMF cuando se conoce cuál es el número de dientes de los engranajes. (Villarreal y León 2020)

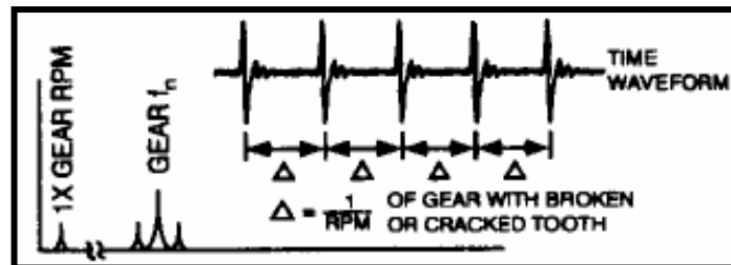


**Figura 8-2:** Espectro de engranajes en condiciones normales

Fuente: (Villarreal y León 2020, p. 54)

### 2.7.2. Dientes agrietados o rotos

Un diente roto en un engranaje produce una amplitud en un período similar a la velocidad de rotación del engranaje en función de la onda del tiempo. Las ondas de tiempo a menudo se pueden detectar mejor, ya que se muestra un pico agudo cada vez que la malla dentada rota engrana con los dientes del engranaje correspondiente. (Villarreal y León 2020)



**Figura 9-2:** Espectro y onda de tiempo de engranajes con diente roto

Fuente: (Villarreal y León 2020, p.57)

## 2.8. Cálculo para la frecuencia de engranajes

Al obtener espectros del análisis de vibración se evidencian que en los distintos fallos de engranajes existen diferentes frecuencias que son apropiadas a los fallos, cada uno de ellos dependen de la velocidad a la que trabaje, y conocer el número de dientes de los engranajes, los que se conoce como GMF. (Llivicura 2019, p. 57)

### 2.8.1. Frecuencias del engrane GMF.

Estas aparecen en el espectro de frecuencia independiente del estado en el que se encuentre los engranajes es decir en dientes sanos o con modo de fallo, mientras, que la amplitud depende de la carga a la que se encuentre en el momento que los datos sean leídos. (Llivicura 2019, p. 57)

$$GMF = \# \text{ dientes del engrane} * \left( \frac{RPM}{60} \right) \quad (3)$$

$$2GMF = GMF * 2 \quad (4)$$

$$3 GMF = GMF * 3 \quad (5)$$

$$3,25GMF=GMF*3,25 \quad (6)$$

$$1XE=\frac{\text{RPM eje motor}}{60} \quad (7)$$

$$1XP=\frac{\text{RPM eje alterndor}}{60} \quad (8)$$

#### 2.8.1.1. *Bandas laterales.*

Son frecuencias paralelas de la frecuencia de engranaje, que corresponden a la frecuencia de giro tanto del piñón como del engrane. Al existir bandas laterales se pueden determinar que el engrane o piñón se encuentran en mal estado. (Llivicura 2019)

#### 2.8.2. *Analizador de vibraciones.*

Es un instrumento ideal para el control de equipos, es de fácil funcionamiento, trabaja con el software MAINTtranq para mantenimiento predictivo.



**Figura 10-2:** Analizador de vibraciones

Fuente: (IDEAR, 2019, p.1)

#### 2.9. **Análisis termográfico**

Es una técnica que se encarga de diagnosticar con precisión el cambio de temperatura de un elemento, aplicando la técnica de obtener una imagen con luz infrarroja que no puede ser

observada por la vista del ser humano, basado en niveles de radiación de espectros infrarrojos. (Guiracocha 2015, p.31)

### **2.9.1. Radiación.**

Es un tipo de energía que se emite por la materia que se encuentra a una temperatura finita. (Guiracocha 2015, p. 32)

### **2.9.2. Radiación infrarroja.**

**Tabla 3-2:** Tipos de radiación infrarroja

<b>Tipo de onda</b>	<b>Rango de longitud de onda</b>
Infrarrojo corta	760 nm-2000nm
Infrarrojo medio	2000nm-4000nm
Infrarrojo largo	4000nm-10000

**Fuente:** (Guiracocha 2015, p.54)

**Realizado por:** Cuzco Gabriela, 2022

Es un tipo de luz que con los ojos del ser humano es imposible observar, la palabra infrarrojo significa por debajo del rojo, los infrarrojos se clasifican como se indica en la Tabla 3-2, según el rango de la longitud de onda.

### **2.9.3. Espectro electromagnético**

Las ondas electromagnéticas son señales electromagnéticas, se encuentran ordenadas con sus frecuencias o longitudes de las ondas. La onda electromagnética es conocida como la luz, aunque se encuentra presente en muchos dispositivos que se usa en la vida cotidiana. (Rodríguez 2017, p.39)

### **2.9.4. Mantenimiento predictivo utilizando termografía infrarroja.**

La termografía infrarroja se encuentra dentro del mantenimiento predictivo, por lo que se conoce como una de las técnicas que más utiliza en las empresas, ya que los diferentes fenómenos que tenga algún impacto con el flujo de calor es probable que sea detectado. (Guiracocha 2015, p.53)

### **2.9.5. Ventajas del análisis termográfico**

- La tasa de inspección es muy rápida, ya que se puede realizar sin necesidad de detener

el trabajo de los equipos.

- Detecta eficientemente los puntos donde se encuentre un elemento en mal estado
- Se puede interpretar los resultados de una manera fácil las imágenes obtenidas
- Una herramienta indispensable para realizar tareas de control. (Guiracocha 2015, p. 37)

### **2.9.6. Cámara termográfica**

Una cámara de temperatura es una herramienta utilizada para medir la temperatura sin contacto. Estas detectan energía infrarroja el cual es reflejada por materiales que se encuentran a temperaturas mayores a los 0° kelvin. (Flir 2019)



**Figura 11-2:** Cámara termográfica

Realizado por: Cuzco Gabriela, 2022

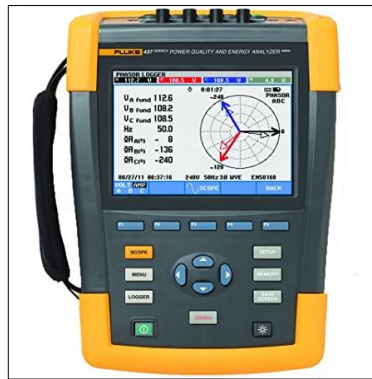
### **2.10. Análisis de energía.**

La calidad de la energía representa un indicador de suficiencia para garantizar que la operación de la carga sea factible. Cuando hablamos de energía eléctrica, nos referimos a la calidad de las señales de voltaje y corriente.

La importancia del análisis de la calidad de la energía es garantizar la seguridad, ahorrar costos de energía y resolver varios problemas existentes. Los analizadores de energía tienen la tarea de resolver varios problemas de calidad de energía, ubicar, predecir, prevenir y resolver problemas de energía. (Idear 2019)

### 2.10.1. *Analizador de la calidad de energía*

Es un instrumento que proporciona medidas de comprobación en sistemas de distribución eléctrica. Este equipo captura datos PoweWave, que permite capturar señales de corriente, tensión y frecuencia con el fin de identificar que interacción es la que causa problemas, además permite realizar un análisis a largo plazo, permitiendo descubrir fallas que generalmente son difíciles de identificar o fallas intermitentes. (Chacha 2016, p. 28)



**Figura 12-2:** Analizador de energía

Fuente: (Idear 2019)

### 2.10.2. *Análisis de ultrasonido pasivo*

Es un procedimiento de tipo mecánico de inspección no destructiva, estudia las ondas sonoras que una máquina produce cuando se encuentra en funcionamiento y que cuando presenta alguna falla produce un sonido de alta frecuencia. Al momento de producirse no puede ser captado por el oído humano, ya que solo percibe en un rango de frecuencia entre 20 Hz y 20 kHz. Las ondas tienden a disminuir por una corta longitud rápidamente, entonces se produce la detección de la falla que la máquina presente.

El aparato utilizado para medir ultrasonido se encarga de transformar las ondas de ultrasonido audibles al oído humano, debido a que estas señales una vez escuchadas por audífonos son transformadas, o convertidas en imágenes que pueden ser visualizadas en pantallas. Dependiendo del compartimiento que las ondas presenten a cada pieza de la misma, se puede conocer cuál es el estado de propagación del exterior de las ondas. (Alarcón & Gaibor 2017, p. 21)

### 2.10.3. *Límites de audibilidad.*

Para los seres humanos los tonos son audibles dependiendo de la personas y edad, por esa razón



existen límites que se calculan inferiores y superiores para establecer rangos de audibilidad, según los convenios internacionales los rangos se clasifican de la siguiente manera. (Sánchez 2017, p. 47)

**Tabla 4-2:** Límites de audibilidad

Rango	Límites
Subsónico	Con frecuencia menor a 16 HZ, no se puede percibir por el oído humano
Sonido audible	A partir de los 16 HZ hasta los 20 KHZ, se puede percibir por el oído humano
Ultrasonido	Con Frecuencia mayor a 20 KHZ, se encuentra por encima del sonido audible de las personas.

Fuente: (Sánchez 2017, p.47)

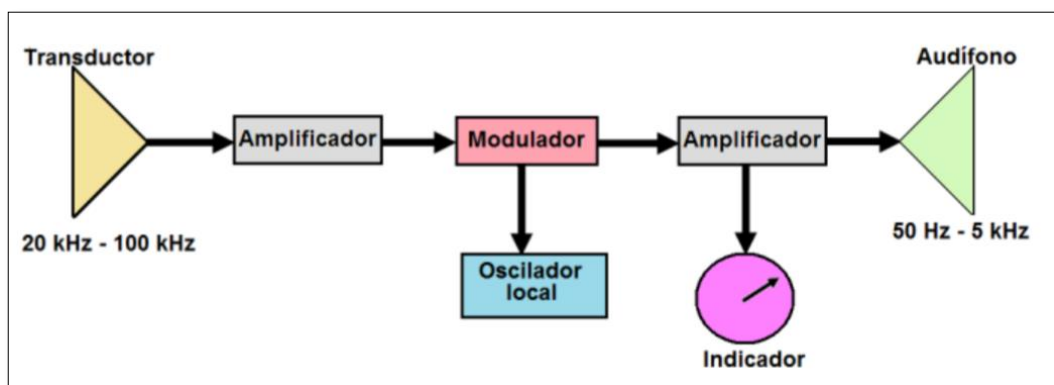
Realizado por: Cuzco Gabriela, 2022

#### 2.10.4. Herramientas de medición

Esta técnica estudia las ondas sonoras, en especial las de altas frecuencias aquellas que se pasan el límite de zonas audibles. El detector de ultrasonido es quien se encarga de capturar las ondas, esta herramienta tiene la posibilidad de convertirlas en audibles.

El detector ultrasónico es muy cómodo de usar, gracias al sonido direccional el personal a cargo puede analizar fácilmente las diferentes áreas estableciendo el origen del problema, que se manifiesta con un sonido más fuerte a diferencia de otros puntos. (Sánchez 2017, p. 49)

Un detector de ultrasonido cuenta con un selector de frecuencias que se encarga de filtrar el sonido que se encuentre en el ambiente para escuchar la onda ultrasónica.



**Figura 13-2:** Diseño de un detector ultrasónico.

Fuente: (Sánchez 2017, p.49)

### 2.10.5. *Analizador de ultrasonido pasivo*

Es el equipo de inspección más avanzado del mercado, que se utiliza para analizar o medir datos de una manera sencilla, ya que gracias a su fácil funcionamiento es utilizado generalmente en la inspección de ruedas dentadas o cajas de engranajes. (Alarcón & Gaibor 2017, p. 25)



**Figura 14-2:** Equipo para diagnóstico de ultrasonido pasivo

Fuente: (Systems, 2013, p.2)

### 2.11. Bases de datos

Las bases de datos son elementos fundamentales en el entorno informático, se aplican en todos los campos; También son útiles en áreas donde se requiere la gestión de datos. Cuando se trabaja con grandes datos, debido a la cantidad de información disponible, el grado de precisión es mayor, tienen características como: uso múltiple, acceso eficiente para realizar análisis, se recomienda el uso de bases de datos y tecnologías específicas. (Pulido et al., 2019, p. 13)

Para tener unas bases de datos ventajosas y puedan ser procesadas e interpretadas de forma eficiente, se requiere que sean datos correctos. Antes que sean exactos o precisos, se requiere datos de calidad, que cumplan con criterios que brinden valor agregado a la información como exactitud, consistencia que sean completos y concisos. (Castillo & Santos 2015, p. 4)

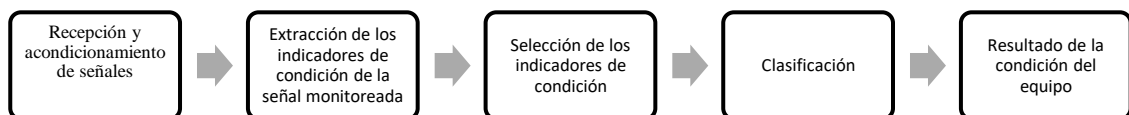
Cuando se obtienen datos que no son de calidad son considerados datos sucios, debido a que esa información inconsistente o incorrecta, atenta contra la integridad de la base de datos. Generalmente en conjunto de datos de gran tamaño se presentan estos errores, por lo que está demostrado que hasta el 40% de datos recolectados pueden estar sucios. (Castillo & Santos 2015, p. 4)

### 2.11.1. Bases de datos en máquinas rotativas.

En la investigación realizada por (Valencia 2018, p. 30) utilizando datos de la Western Reserve University, al analizar fallos en componentes de máquinas rotativas, determinó que las bases de datos resultan importantes, debido a que brindan la posibilidad de llevar un monitoreo de los elementos de la máquina y así poder obtener una línea de tendencia de los elementos del equipo. Gracias a la obtención de estas mediciones se pueden realizar comparaciones con datos y de esta manera se puede monitorear las frecuencias y temperaturas en los componentes de la máquina.

### 2.11.2. Diagnóstico de fallos basado en datos

Esta técnica se caracteriza por el manejo de métodos los cuales permiten examinar patrones a través de señales monitoreadas, y mapear características que han sido extraídas por medio de señales en condiciones normales y en condiciones con fallos en el elemento a examinar. Además, los sistemas utilizados para el diagnóstico son entrenados por medio de distintos patrones en condiciones de trabajo al fallo y normales. (Loaiza 2021, p. 9)



**Figura 15-2:** Enfoque de diagnóstico de fallos basados en modelos

**Fuente:** (Loaiza 2021, p. 9)

**Realizado por:** Cuzco Gabriela, 2022

### 2.11.3. Adquisición de datos y preprocesamiento de la señal.

En la adquisición de datos se recopila y almacena información que sean de interés del investigador, consiste en elegir la cantidad, el software del almacenamiento de datos, los datos para realizar un monitoreo se clasifican en tres grupos que son:

- **Tipo de valor:** Consiste en que parámetros se va obtener dichos datos como puede ser la temperatura, humedad
- **Tipo de onda:** Los datos se presentan en series de tiempo, como lo es los datos de vibración y ultrasonido pasivo.
- **Tipo multidimensional:** Se refiere a que los datos se encuentran en distintas dimensiones, como es el caso del análisis de termografía. (Guamán 2019, p. 32)

Para obtener datos de vibración se realiza por medio de sensores que se encargan de analizar el cuerpo por medio de su estructura metálica. Uno de los factores importantes es la selección de apropiada del dispositivo para la adquisición de datos pueden ser transductores de velocidad, acelerómetros, vibrómetros, de los cuales el que más se utiliza es el acelerómetro ya que tiene un peso muy ligero, rango dinámico.

El preprocesamiento de la señal es necesario para reducir el ruido generado por otros elementos, por lo que se recomienda el filtrado para eliminar las frecuencias no deseadas, haciendo del dominio del tiempo la base para la obtención de datos sin procesar. Al final de la fase de filtrado, los datos deben dividirse en dos clases: datos en condiciones normales y datos en condiciones de error. Para realizar diagnósticos, se utilizan datos en condiciones normales, tome algunos de estos datos para el entrenamiento del modelo, el otro para la validación.

El modelo que se vaya a utilizar debe identificar en condiciones normales y de fallo, para realizar se utilizan técnicas como la inteligencia artificial y aprendizaje automático. (Guamán 2019, p. 34)

## CAPÍTULO III

### 3. MARCO METODOLÓGICO

En este capítulo se presenta la metodología que se ha llevado a cabo para la recolección de datos de fallas de engranajes a través del análisis pasivo de ultrasonidos, temperatura, energía y vibraciones, a través del módulo de falla de engranajes encontrados que se encuentra en el Laboratorio de Ingeniería de Diagnóstico Técnico.

#### 3.1. Sistemas del simulador de modos de fallas de engranajes

Entre los sistemas que componen el módulo de prueba de engranajes tenemos los siguientes: el sistema de dinámica, el sistema de transmisión, el sistema de carga y el sistema de lubricación.

##### 3.1.1. Sistema de potencia

Para el sistema de potencia se utiliza un motor trifásico de ½ Hp, debido a que su potencia es mínima, aunque estos motores son eficientes y de buena calidad. (Alarcón y Gaibor 2017, p. 29)



**Figura 1-3:** Motor eléctrico trifásico de ½ Hp

**Fuente:** Cuzco Gabriela, 2022

En la tabla 1-3, se detalla las especificaciones técnicas que el motor eléctrico necesita para su funcionamiento.

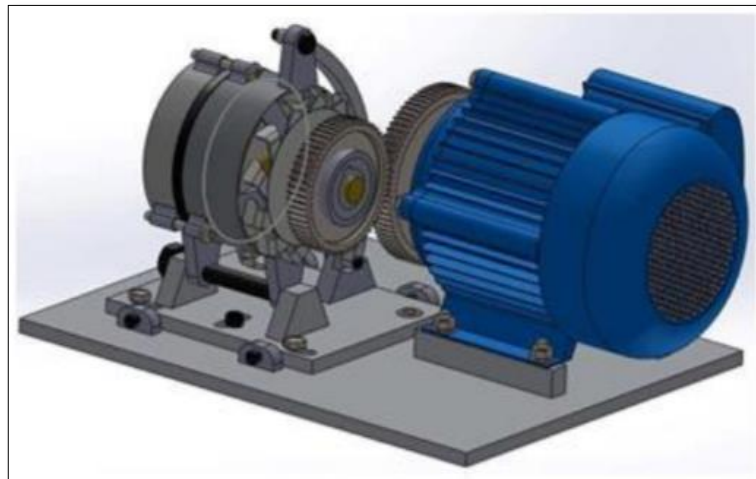
**Tabla 1-3:** Especificaciones del motor eléctrico

Datos	Descripción
Modelo	TE1BF
Serial	20FEV12
Potencia mecánica	½ Hp
Intensidad	2,10 / 1,22 A
Factor de potencia	0,69
Frecuencia	60 HZ
Velocidad	1680 RPM
Voltaje	220 / 380 V
Eficiencia	72%

Realizado por: Cuzco Gabriela, 2022

### 3.1.2. Sistema de transmisión

Se encuentra formado por un engranaje y un piñón, las cuales han sido diseñadas de acuerdo al número de dientes necesario para la simulación.



**Figura 2-3:** Sistema de transmisión

Fuente: (Alarcón y Gaibor 2017, p. 30)

#### 3.1.2.1. Selección y cálculo de los engranajes.

Se ha construido dos engranajes de 64 dientes y dos piñones de 24 dientes, el material del que se construyó los engranajes y piñones es de acero AISI SAE 1045, debido a su alta resistencia y presencia de una correcta actuación a la fatiga. Con la elaboración de estos engranajes se podrá realizar el análisis correspondiente a las tomas de mediciones con distintos equipos.

A continuación, se calculan los diámetros principales utilizados en los engranajes, los mismos diámetros establecidos por los autores del banco de pruebas de engranajes que existe en el Laboratorio de Ingeniería de Diagnóstico. Los mismos que fueron elaborados con un módulo igual a 2. (Alarcón y Gaibor 2017)

### **Cálculos para la rueda conductora.**

#### **Diámetro primitivo.**

A partir de la ecuación 3

$$D_{p_1} = m \cdot z_1$$

Cómo:

$$m = 2$$

$$z_1 = 24$$

$$D_{p_1} = 2 \cdot 24 = 48 \text{ mm}$$

#### **Altura del diente.**

Partiendo de la ecuación 2.

$$h = m + 1,25 \cdot M$$

Cómo:

$$m = 2$$

$$h = 2 + 1,25 \cdot 2 = 4,5 \text{ mm}$$

#### **Diámetro exterior.**

Del reemplazo de la ecuación 4.

$$D_e = D_p + 2 \cdot m$$

Cómo:

$$D_p = 48 \text{ mm}$$

$$m = 2$$

$$D_e = 48 + 2(2) = 52 \text{ mm}$$

**Cálculos para la rueda conducida.**

**Diámetro primitivo.**

Partiendo de la ecuación 3.

$$D_{p_2} = m * z_2 \text{ Cómo:}$$

$$m = 2$$

$$z_2 = 64$$

$$D_{p_2} = 2 * 64 = 128 \text{ mm}$$

**Diámetro exterior.**

Se aplica la ecuación número 4.

$$D_{e_2} = D_{p_2} + 2 * m \text{ Cómo:}$$

$$D_{p_2} = 128 \text{ mm}$$

$$m = 2$$

$$D_{e_2} = 128 + 2 * 2 = 132 \text{ mm}$$

### **3.1.3. Sistema de lubricación.**

El lubricante que se ha utilizado para la protección de los engranajes es el aceite SAE 140, que se encuentra formulado a base de aceites para sistemas de engranes, son apropiados para la protección en contra de la humedad debido a sus propiedades antiherrumbrantes, por lo que se encarga de proteger los engranajes gracias a su película de lubricante. (Madero 2019)



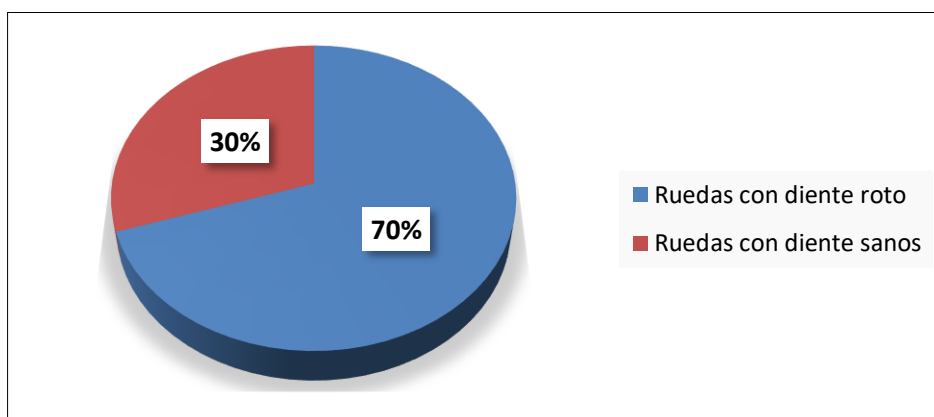
**Tabla 2-3:** Características fisicoquímicas del lubricante SAE 140

Grado SAE	140
Aspecto.	Brillante
Coloración ASTM	L5.5
Densidad cinemática a 100°C	27,50
Viscosidad cinemática a 40°C	341,8
Índice de viscosidad	108
Consistencia a 15,6°C	0,8867
Punto de inflamación	252

Fuente: (Madero 2019, p.1)

Realizado por: Cuzco Gabriela, 2022

### 3.2. Cálculo de mediciones a tomar.



**Gráfico 1-3:** Porcentaje de mediciones a tomar.

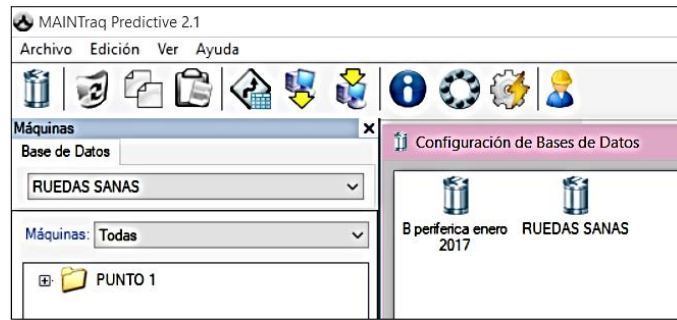
Realizado por: Cuzco Gabriela, 2022

Se realizarán 2000 mediciones las cuales se distribuyen de la siguiente manera:

El 30% de las mediciones se realizarán sin desgaste en las ruedas dentadas, lo que corresponde a 600 mediciones de 2000. El 70% de las mediciones se realizará con desgaste en ruedas dentadas, lo que corresponde a 1400 de 2000. El cual se distribuye para el modo de fallo en diente roto progresivamente en rueda conductora y conducida, con y sin lubricante

#### 3.2.1. Procedimiento para la toma de mediciones de vibraciones

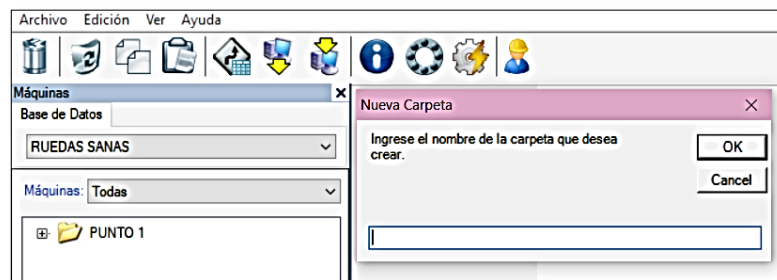
Mediante el Software MAINtraq predictive se selecciona en la opción crear una nueva base datos en configuración, donde se crea el nombre del archivo donde se almacenará las mediciones tomadas.



**Figura 3-3:** Creación de una base del software Maintraq predictive

Realizado por: Cuzco Gabriela, 2022

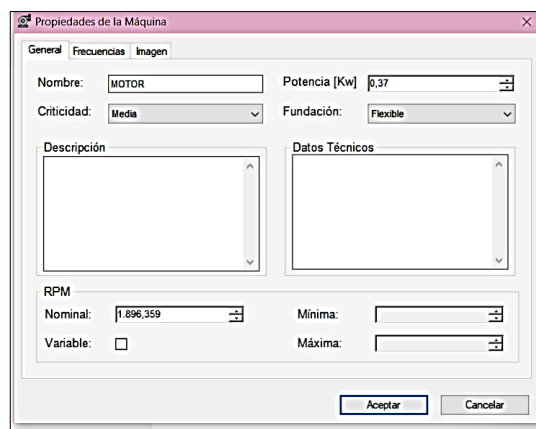
Al momento que la carpeta ha sido creada, esta aparecerá en la lista del programa, por lo que se crea una nueva carpeta dentro de la carpeta matriz, en donde se indicará la máquina que se utilizará para el proceso de medición.



**Figura 4-3:** Creación de la carpeta de archivo.

Realizado por: Cuzco Gabriela, 2022

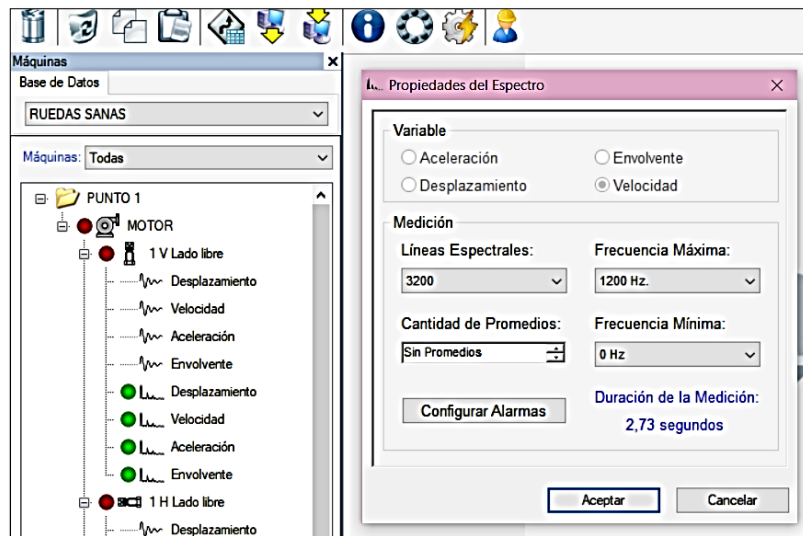
Al estar dentro de la carpeta creada, en este caso la carpeta punto 1, se da clic derecho para seleccionar una nueva máquina en donde se llenarán los datos y la imagen de la máquina a ser analizada.



**Figura 5-3:** Creación de la máquina analizar

Realizado por: Cuzco Gabriela, 2022

Luego se configura los puntos a realizar las mediciones con el analizador en las dos direcciones en los ejes verticales y horizontales. Dando clic derecho en la carpeta motor, nuevo punto de vibraciones y se configura los parámetros en el punto 1 vertical, punto 1 horizontal, punto 2 vertical y punto 2 horizontal.



**Figura 6-3:** Configuración de puntos a medir

Realizado por: Cuzco Gabriela, 2022

### 3.2.1.1. *Recolección de datos.*

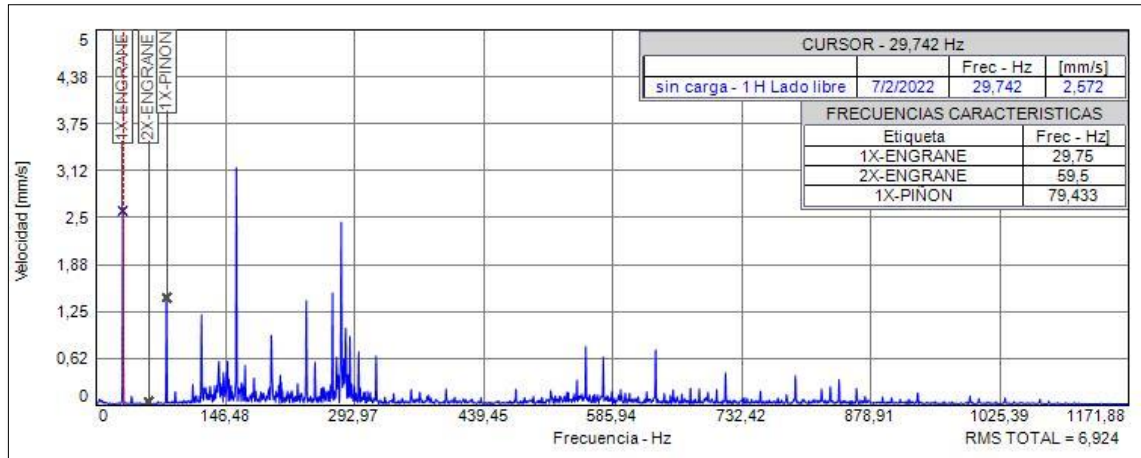
Para realizar la transferencia de la base datos hacía el colector, se selecciona la opción envió de datos, en configuración se selecciona carpeta y se transfiere la carpeta del punto 1 antes creada, se da clic en agregar ruta y aceptar y borrar y en el equipo realizar los siguientes pasos:

- Conectar el acelerómetro en los puntos que se realizará las mediciones
- Encender el vibraCHECK y colocarlo sobre un lugar fijo.
- Ir a la opción comunicar
- Seleccionar las rutas que se crearon en la base de datos y darle enter
- Comenzar con las mediciones en los cuatro puntos creados.
- Presionar enter y grabar las mediciones tanto de espectros como las formas de onda
- Ir a la opción comunicar y descargar las mediciones tomadas

Al haber realizado los pasos anteriores se procede con la extracción de los datos de frecuencia de los espectros de velocidad, aceleración, envolvente y desplazamiento, tanto del punto 1 vertical, punto 1 horizontal, punto 2 vertical y punto 2 horizontal en los engranajes con dientes sanos y luego con modos de fallos en los dientes de los engranajes.

### Frecuencia de engranajes mediante espectros.

Al haber realizado las mediciones en engranajes como caso de estudio se presenta el siguiente espectro en ruedas dentadas en condiciones sanas.



**Figura 7-3:** Espectro de velocidad en condiciones normales en el Punto 1 horizontal

Fuente: MAINtraq predictive 2.1

Realizado por: Cuzco Gabriela, 2022

En la figura 7-3, se puede observar que los espectros para los engranajes en condiciones normales dado a las características del capítulo 2.7.1, en donde corresponde claramente a un espectro en condiciones sanas ya que se observa las frecuencias tanto para la rueda conductora y conducida coinciden con los valores expresados a continuación.

Aplicando la fórmula:

$$1XE = \frac{\text{RPM eje motor}}{60} \quad (9)$$

Reemplazando en la ecuación:

$$1XE = 30 \text{ Hz} \quad (10)$$

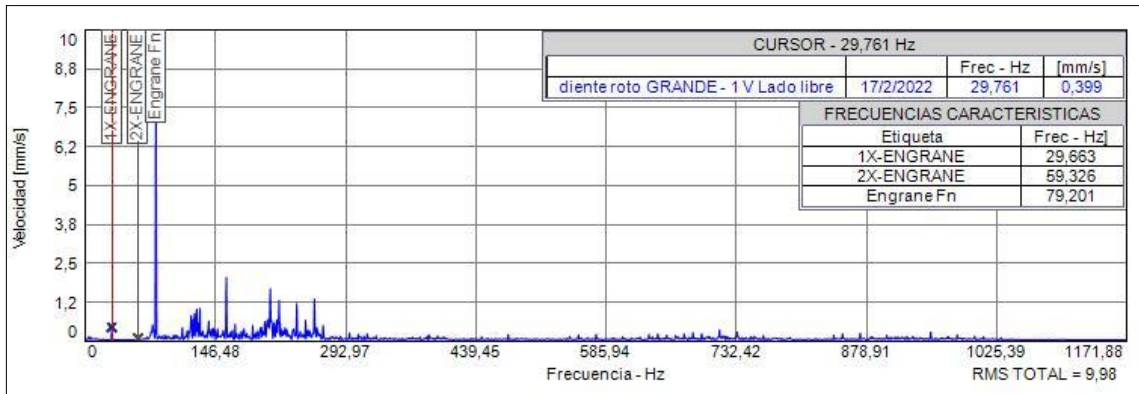
Aplicando la fórmula

$$1XP = \frac{\text{RPM eje alterndor}}{60} = \frac{Z_1}{Z_2} * XE \quad (11)$$

**Reemplazando en la ecuación:**

$$1XP=80 \text{ Hz} \quad (12)$$

Para el análisis del espectro en diente roto como se observa en la figura, se puede determinar que existe un nivel de severidad alto, ya que al existir una falla en uno de los dientes de la rueda se observa que el espectro hace referencia a un fallo en engranajes, debido a que el valor del pico 1x del engrane es menor al pico de la frecuencia natural según lo indica en las cartas de Charlotte.



**Figura 8-3:**Espectro de velocidad con diente roto en el punto 1 vertical

**Fuente:** MAINtraq predictive 2.1

**Realizado por:** Cuzco Gabriela, 2022

$$2XE=2*XE \quad (13)$$

$$2XE=2*29,761 \quad (14)$$

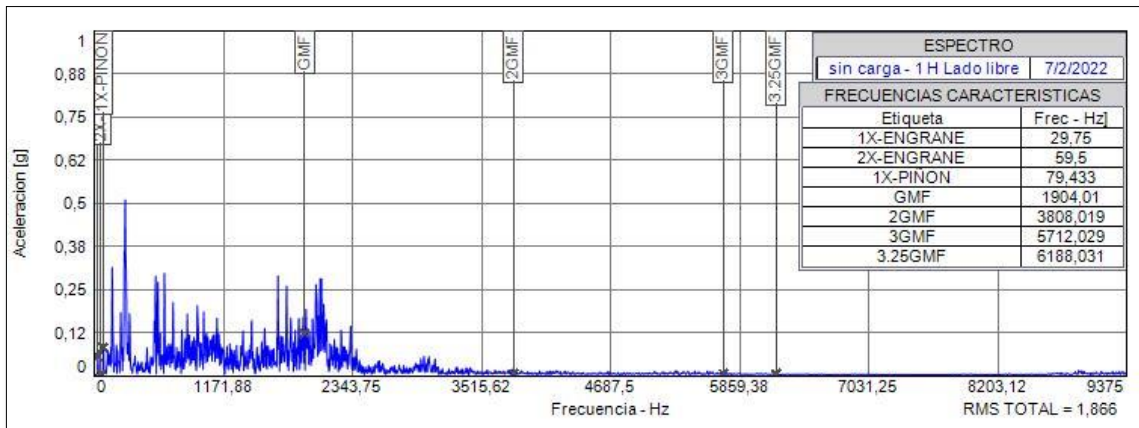
$$2XE=59,522 \quad (15)$$

$$\text{Engrane Fn} = \frac{64}{24} * 1XE \quad (16)$$

$$\text{Engrane Fn} = 79,36\text{Hz} \quad (17)$$

En la figura 9-3. Se muestra el espectro de aceleración del cual se pudo extraer mediciones que conforman la base de datos correspondiente a vibraciones, variables como frecuencias del

engrane y piñon, armónicos, amplitudes y RMS total para ruedas sanas y con el modo de fallo por diente roto.



**Figura 9-3:** Espectro de aceleración en condiciones normales en el punto 1 horizontal.

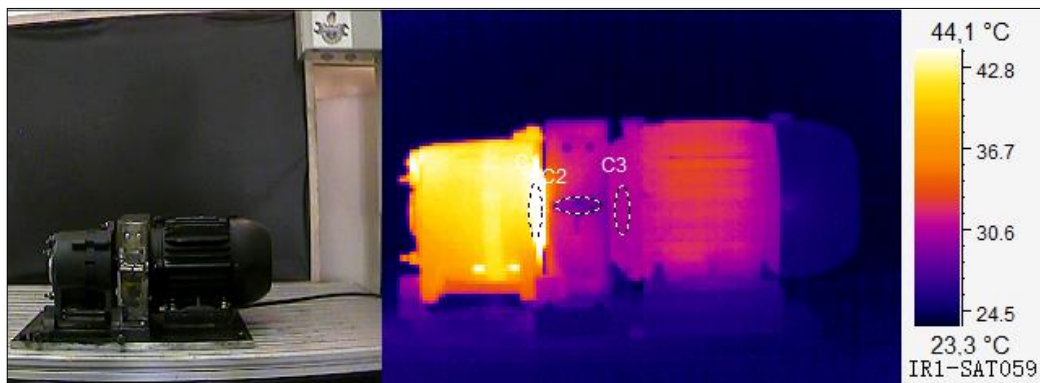
**Fuente:** MAINtraq predictive 2.1

**Realizado por:** Cuzco Gabriela, 2022

### 3.2.2. Procedimiento para la toma de mediciones de temperatura

El análisis de termografía se realiza en los elementos del motor eléctrico del módulo de fallos de engranajes. Antes de realizar la toma de mediciones es recomendable seguir los siguientes pasos:

- Es necesario configurar la cámara termográfica con los parámetros adecuados.
- Tomar las termografías a la distancia de 1m, y a una posición paralela al módulo
- Para la toma de capturas de termografía se ha establecido la secuencia de un minuto.
- Pasar las termografías al pc para proceder analizarlas en el software SATIR report



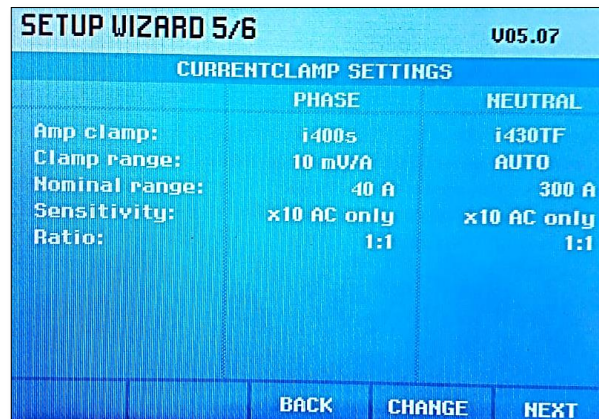
**Figura 10-3:** Termografía del punto más caliente del motor

**Realizado por:** Cuzco Gabriela, 2022

### 3.2.3. Procedimiento para la toma de mediciones de energía

Para lograr una correcta medición con el analizador de la calidad de energía FLUKE 345 serie II, es necesario seguir el siguiente procedimiento:

Encender el equipo, y presionar la tecla SETUP, configurar la fecha, hora, frecuencia, tipo de corriente, tensión y normativa del equipo.



**Figura 11-3:** Configuración del Fluke 435 serie II

Realizado por: Cuzco Gabriela, 2022

Para una correcta toma de datos, es necesario determinar en donde se realizará, además establecer el sentido en el que la corriente fluye para la conexión de las pinzas amperimétricas, aunque las pinzas indican cual es el sentido.



**Figura 12-3:** (a) Pinza amperimétrica. (b). Sentido del flujo de corriente

Realizado por: Cuzco Gabriela, 2022

Este tipo de pinzas son conectadas en los conductores en la cual el motor es alimentado, conectándolas de manera que el conductor quede en medio de la pinza, asegurándose que las pinzas no tengan roce entre ellas, ya que puede existir una variación en las mediciones.

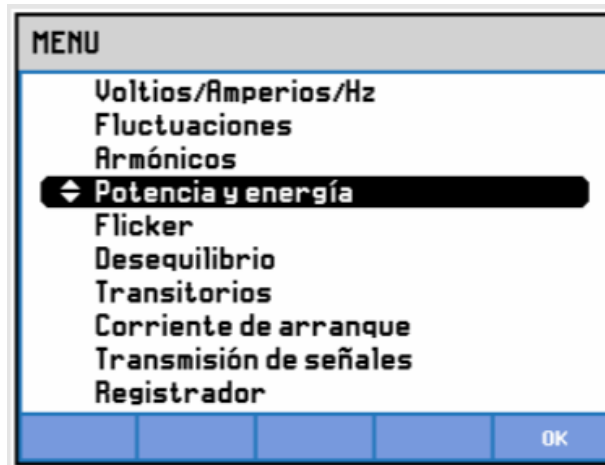
Conectar las entradas de las pinzas amperimétricas y las entradas tipo banana para las tensiones en el equipo según el código de colores como se muestra en la figura a continuación.



**Figura 13-3:** Entradas de conexión del equipo.

Realizado por: Cuzco Gabriela, 2022

Presionar la tecla SETUP y la tecla de funciones F3, del menú y seleccionar la opción potencia y energía para comenzar con la toma de mediciones.



**Figura 14-3:** Configuración en potencia y energía

Realizado por: Cuzco Gabriela, 2022

La pantalla del medidor muestra datos de potencia total y por fase: potencia activa o Potencia Activa (kW), Potencia Aparente (kVA, producto rms de corriente y tensión), Potencia reactiva (kVAR, componente de potencia reactiva causado por cambios en la potencia aparente entre voltaje CA y corriente en inductores y capacitores), factor de potencia (PF, correspondencia entre la potencia activa y la potencia aparente en valor eficaz bruto, incluidos armónicos), factor de potencia de desplazamiento (DPF o  $\cos \phi$ , relación Potencia real relativa al cálculo base aparente) y 12 o 10 valores Tensión y corriente rms periódica.





**Figura 15-3:** Obtención de mediciones.

Realizado por: Cuzco Gabriela, 2022

Una vez que se obtiene las mediciones se procede a descargar desde el equipo hacia el programa Power Log 430 serie II, presionando la opción descarga.

Proceder a descargar los datos, en el programa y transferirlos hacia la base de datos para realizar el compilado de los mismos.

Función	L1N(V) L1(A) Min	L1N(V)/L1(A) Med	L1N(V)/L1(A) Max	L2N(V)/L2(A) Min
Vrms ph-ph	215,08 V	215,69 V	216,12 V	213,51 V
Arms	1,294 A	1,307 A	1,316 A	1,333 A
Frecuencia	59,97 Hz	60,009 Hz	60,034 Hz	
THD V	1,39%	1,45%	1,58%	1,64%
THD A	1,12%	1,36%	1,67%	1,29%
Potencia activa	54 W	56W	58 W	51W
Energía Activa			0,00 Wh	
Corriente de pico	1,912 A	1,932A	1,962 A	1,934 A
W fund	54 W	56W	58 W	51 W
Potencia aparente	160 VA	162VA	164 VA	165 VA
Energía Aparente			1,00 Vah	
Frecuencia 10s				

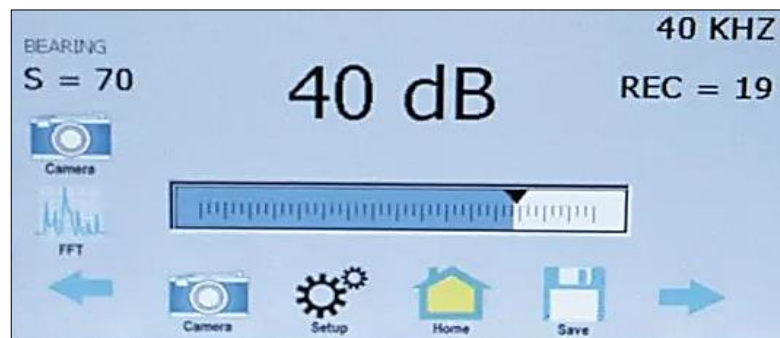
**Tabla 3-3:** Obtención de datos sin desgaste en ruedas dentadas

Realizado por: Cuzco Gabriela, 2022

### 3.2.4. Procedimiento para la toma de mediciones de ultrasonido.

Para realizar mediciones ultrasónicas pasivas, el Ultraprobe 15000 que se encuentra en el laboratorio de diagnóstico, cuenta con componentes como baterías, tarjeta micro SD, módulo de contacto y colector de datos. Antes de la toma de mediciones es necesario seguir los siguientes pasos:

Configurar el equipo en la opción aplicación genérica y establecer a una sensibilidad de 29



**Figura 16-3:** Configuración del colector.

**Realizado por:** Cuzco Gabriela, 2022

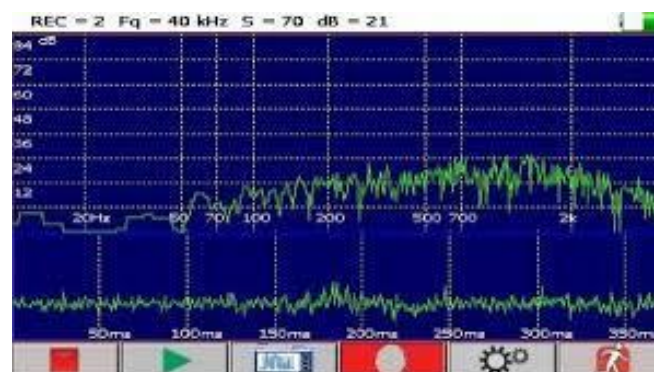
Ubique el módulo de contacto o el acelerómetro en el receptor de datos.



**Figura 17-3:** Conexión del contacto al colector.

**Realizado por:** Cuzco Gabriela, 2022

Colocar la punta del módulo de contacto en el punto más cercano al motor eléctrico para que los datos sean de calidad. Presionar en la pantalla del equipo FFT y presionar el botón grabar y guardar para tomar las mediciones de los espectros.



**Figura 18-3:** Espectro de ultrasonido.

**Realizado por:** Cuzco Gabriela, 2022

Pasar las mediciones mediante la tarjeta SD al computador y analizarlas con el software UE Spectralyzer 4.2 y pasar los datos a la base de datos para su respectiva tabulación.

### 3.3. Nomenclatura para los puntos de mediciones de los engranajes.

Para diferenciar los puntos de mediciones a tomar se ha establecido la siguiente nomenclatura de acuerdo a la posición del acelerómetro, estado de las ruedas y lubricación de los engranajes.

**Tabla 4-3:** Nomenclatura para puntos de mediciones

Simbología	Significado
Z1-Z2	Ruedas dentadas conductora y conducida
0	Ruedas sanas
1	Rueda rota
P1 V	Punto 1 vertical
P1 H	Punto 1 horizontal
P2 V	Punto 2 vertical
P2 H	Punto 2 horizontal
CL	Con lubricante
SL	Sin lubricante

Realizado por: Cuzco Gabriela, 2022

### 3.4. Obtención de gráficas utilizando Python.

#### 3.4.1. Manejo del software e importación de librerías.

Para realizar gráficas en Python fue necesario utilizar Jupyter Notebook una aplicación que fue creada para Python, gracias a que se es de fácil manejo para quien desee utilizarla.

El primer paso para iniciar en el programa es la importación de distintas librerías como lo son: pandas, seaborn, matplotlib, numpy y scipy; como se observa en la línea de programación número uno del Anexo B, para llamar datos, visualizarlos y realizar gráficas con la base de datos obtenida mediante el análisis de vibración, temperatura, energía y ultrasonido.

#### 3.4.2. Llamar al conjunto de datos

Para llamar el archivo de datos es necesario conocer el formato y la ubicación del documento con el que se va a trabajar. Y a su vez especificar el número de columnas que se quiere observar, por lo que se ha seleccionado seis columnas para la visualización en el programa.

Item	LUBRICACIÓN	ESTADO	PUNTO	VELOCIDAD ANGULAR EJE DEL MOTOR (RPM)	1X-ENGRANE (Hz)	2X-ENGRANE (Hz)	1X-PIÑÓN (Hz)	GMF (Hz)	2GMF (Hz)
1	Ruedas sanas/con lub	0	P1V	1786,931	29,782	59,564	79,518	1906,060	3812,120
2	Ruedas sanas/con lub	0	P1V	1783,438	29,724	59,448	79,363	1902,334	3804,668
3	Ruedas sanas/con lub	0	P1V	1785,139	29,752	59,505	79,439	1904,148	3808,297
4	Ruedas sanas/con lub	0	P1V	1786,097	29,768	59,537	79,481	1905,170	3810,340
5	Ruedas sanas/con lub	0	P1V	1785,339	29,756	59,511	79,448	1904,362	3808,723

**Tabla 5-3:** Llamando al archivo de datos.

Realizado por: Cuzco Gabriela, 2022

### 3.4.3. Eliminación de variables.

Con el comando drop realizamos la eliminación de variables que no son necesarias, como son las siguientes: (estado, termografía de referencia y la emisividad), debido a que no son datos necesarios para el análisis de las gráficas de dispersión, pero con las que se puede identificar la división de la base de datos en Excel, además del detalle de la existencia de 2040 filas y 98 columnas, como se observa en la línea de programación número tres del Anexo B.

Item	LUBRICACIÓN	PUNTO	VELOCIDAD ANGULAR EJE DEL MOTOR (RPM)	1X-ENGRANE (Hz)	2X-ENGRANE (Hz)	1X-PIÑÓN (Hz)	GMF (Hz)	2GMF (Hz)	3GMF (Hz)
1	Ruedas sanas/con lub	P1V	1786,931	29,782	59,564	79,518	1906,060	3812,120	5718,179
2	Ruedas sanas/con lub	P1V	1783,438	29,724	59,448	79,363	1902,334	3804,668	5707,001
3	Ruedas sanas/con lub	P1V	1785,139	29,752	59,505	79,439	1904,148	3808,297	5712,445
4	Ruedas sanas/con lub	P1V	1786,097	29,768	59,537	79,481	1905,170	3810,340	5715,511
5	Ruedas sanas/con lub	P1V	1785,339	29,756	59,511	79,448	1904,362	3808,723	5713,085

**Tabla 6-3:** Eliminación de variables.

Realizado por: Cuzco Gabriela, 2022

### 3.4.4. Información de variables.

Mediante el comando data info se logra conocer las diferentes variables con la que cuenta la base de datos como se muestra en la línea de programación número cuatro del Anexo B, además se observa que existen 72 variables que contienen valores numéricos que se encuentran separados por comas, 22 variables que contienen números enteros y cuatro variables que contienen números y texto.

0	Item	2040	non-null	int64
1	Lubricación	2040	non-null	object
2	Punto	2040	non-null	object
3	Velocidad angular eje del motor RPM	2040	non-null	float64
4	1X-ENGRANE (Hz)	2040	non-null	float64
5	2X-ENGRANE (Hz)	2040	non-null	float64
6	1X-PIÑON (HZ)	2040	non-null	float64
7	GMF (Hz)	2040	non-null	float64
8	2GMF (Hz)	2040	non-null	float64
9	3GMF (Hz)	2040	non-null	object
10	3,25 GMF	2040	non-null	object
11	AMPLITUD (mm/s)	2040	non-null	float64
12	RMS total (g)	2040	non-null	float64
13	Distancia (1m)	2040	non-null	int64
14	Humedad relativa	2040	non-null	float64
15	Temperatura ambiente	2040	non-null	float64
16	C1: Temperatura máxima	2040	non-null	float64

**Tabla 7-3:** Información de variables

Realizado por: Cuzco Gabriela, 2022

### 3.4.5. Variables faltantes.

Con el paquete pandas que fue importado en la línea uno del anexo B, se procede a leer la base de datos que se encuentra en formato “.xlsx” utilizando el comando print(valores faltantes) deberá arrojar un resultado “NaN” en el caso de existir valores faltantes dentro de la base de datos.

En el caso de análisis de nuestra base datos se muestra como resultado que existen cero valores faltantes.

```
Valores faltantes: 0
No existen valores faltantes
```

**Figura 19-3:**Código de valores faltantes

Realizado por: Cuzco Gabriela, 2022

### 3.4.6. Filas duplicadas.

Para verificar si existen filas duplicadas se utiliza el comando “print(filas duplicadas)” que se observa en la línea de programación número seis del anexo B, dando como resultado que en ninguna de las filas y columnas existe información que se encuentre duplicada dentro de la base

de datos, lo que brinda confianza al utilizar dichos datos para los análisis posteriores en programación de Python.

```

Filas duplicadas : 0

No existen filas duplicadas
    
```

**Figura 20-3:** Código filas duplicadas

Realizado por: Cuzco Gabriela, 2022

### 3.4.7. Análisis estadístico de los datos.

En la línea de programación número siete, del Anexo B, se utiliza el método “describe ()” el cual brinda información que consiste en el análisis de problemas matemáticos como son extremos atípicos y desviaciones. En la figura 24-3. Se observa la columna de la izquierda la cual nos indica los siguientes parámetros:

- **Count:** se refiere al número de parámetros de la columna
- **Mean:** Se refiere al valor promedio de la columna
- **Std:** es la desviación estándar de la columna
- Valores máximos y mínimos y el límite de cada uno de los cuartiles.

Además, se observa que no se encuentran todas las columnas de la base de datos debido a que la función utilizada omite filas y columnas que no contienen números.

	Item	Velocidad angular eje del motor RPM	1X- ENGRANE (Hz)	2X- ENGRANE (Hz)	1X-PIÑON (Hz)	GMF (Hz)
<b>count</b>	2040,000000	2040,000000	2040,000000	2040,000000	2040,000000	2040,000000
<b>mean</b>	1020,500000	1784,423926	29,738830	59,478508	79,405000	1903,343491
<b>std</b>	589,041594	1,929688	0,056932	0,111899	0,119462	4,135829
<b>min</b>	1,000000	1775,473000	27,727000	56,510000	75,650000	1808,331000
<b>25%</b>	510,750000	1783,640000	29,727000	59,454000	79,372000	1902,551250
<b>50%</b>	1020,500000	1784,613500	29,744000	59,487000	79,415000	1903,590500
<b>75%</b>	1530,250000	1785,592750	29,760000	59,520000	79,459000	1904,640000
<b>max</b>	2040,000000	1791,530000	29,859000	59,910000	79,723000	1998,419000

**Tabla 8-3:** Cálculos de medidas estadísticas básicas

Realizado por: Cuzco Gabriela, 2022

### 3.4.8. Histogramas de variables.

En la línea de programación número ocho, del Anexo B, se observa cuál es la distribución que tienen los datos, es necesario realizar un gráfico general de histogramas en donde gracias a una representación de barras nos indica las distintas variables de la base de datos, es decir, puede ver si hay lagunas en los valores o si los valores se repiten la misma cantidad de veces.

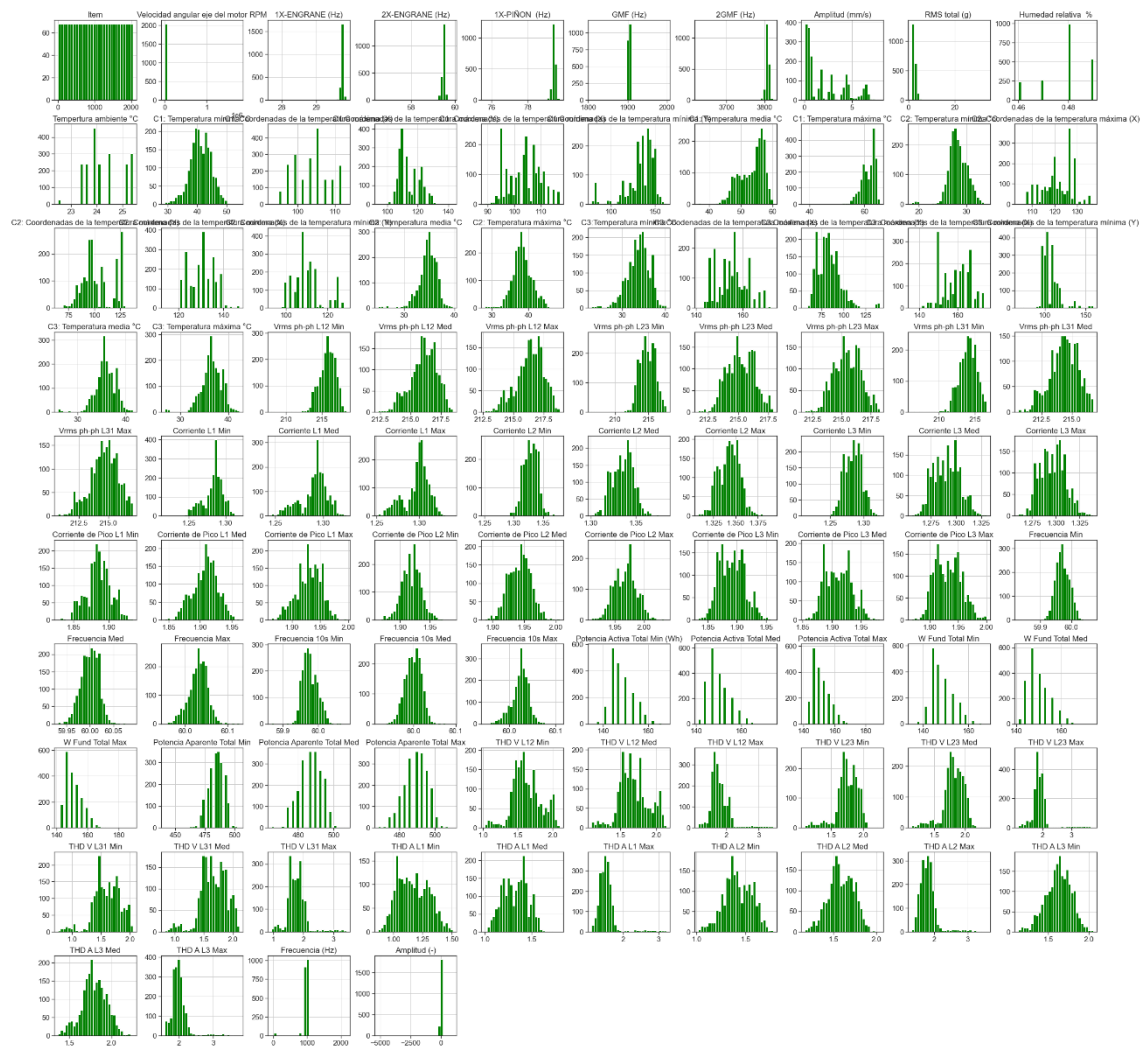


Figura 21-3: Histogramas generales de las variables.

Realizado por: Cuzco Gabriela, 2022

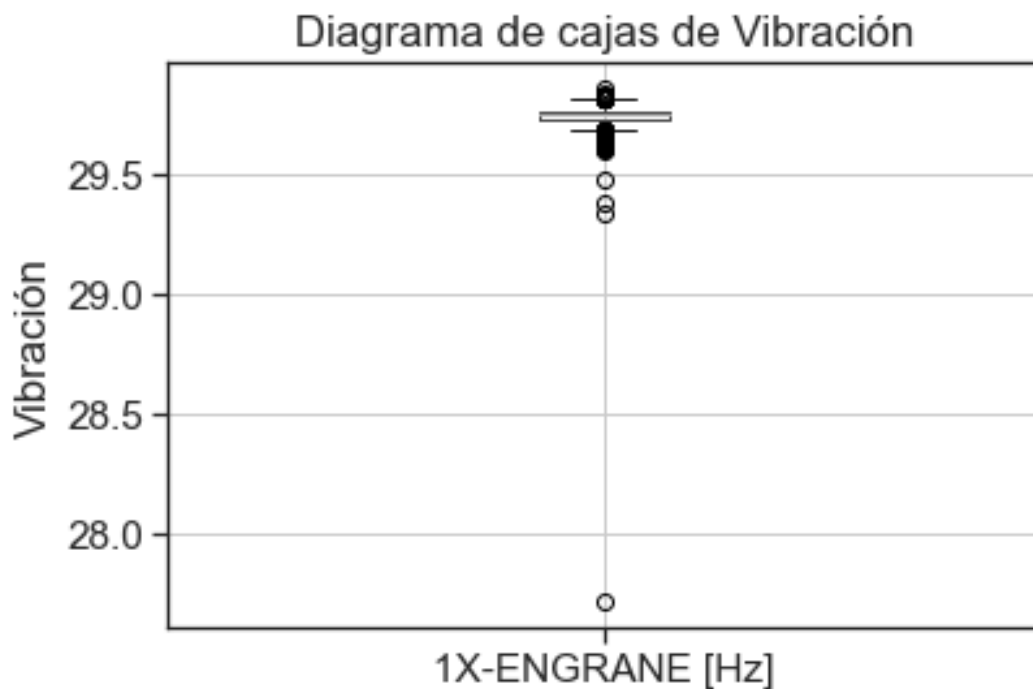
### 3.5. Chequeando valores atípicos.

Se utiliza los diagramas de cajas para mostrar la distribución de datos, donde se muestra un resumen de cinco números con valores que cuentan con propiedades desde el mínimo, primero, medio y tercer cuartil. Por lo que en el diagrama de cajas se presenta una línea vertical que pasa a través de la caja en la mediana.

### 3.5.1. Diagrama de cajas de vibración.

En el diagrama de cajas de la línea de programación nueve del Anexo C, se puede observar que en la figura 22-3, muestra los datos generales de la variable frecuencia “1X Engrane” donde la media de los datos obtenidos se encuentra entre 29,7 Hz. Observando datos atípicos por debajo del primer cuartil.

Los datos atípicos que se observan en el diagrama por debajo del cuartil inferior y cuartil superior corresponden a los datos con el modo de fallo por diente roto con y sin lubricación. Ya que se observa una variación con el modo de fallo seleccionado debido al ruido y vibraciones que marcan una notable diferencia entre los datos, por esta razón que los generales se encuentran dentro del rango de los 29,2 Hz hasta los 30 Hz.



**Figura 22-3:** Diagrama de caja de la frecuencia 1X del engrane.

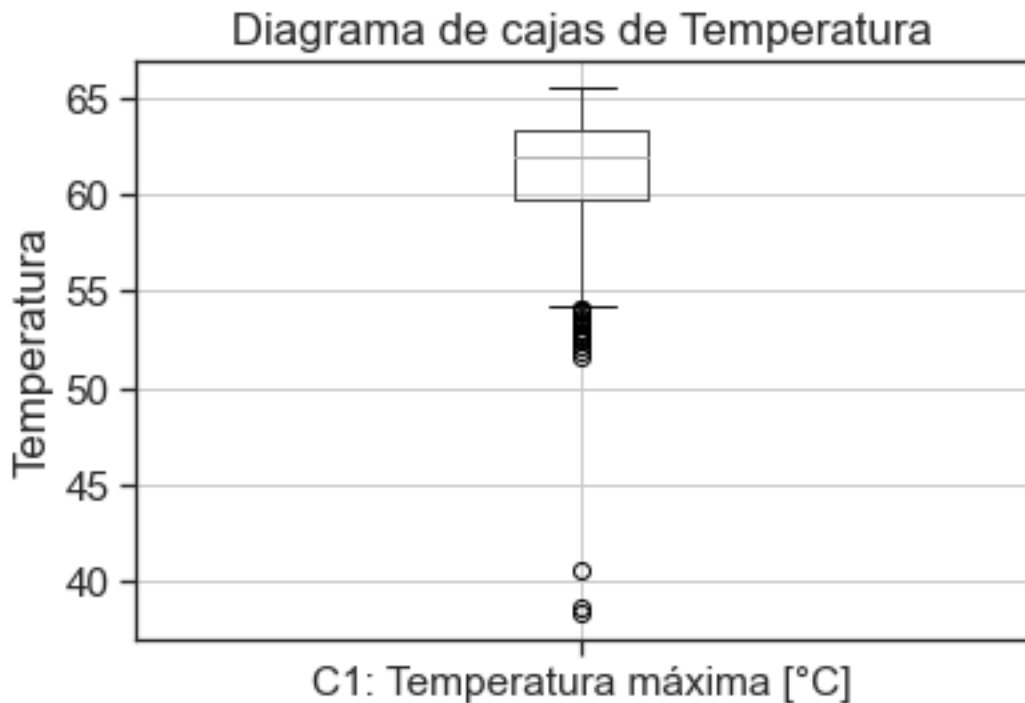
Realizado por: Cuzco Gabriela, 2022

### 3.5.2. Diagrama de cajas de temperatura

En el diagrama de cajas de la línea de programación diez del Anexo C, se observa que en la figura 23-3 se muestra los datos de la variable temperatura en el alternador del módulo de mediciones, donde la media de los datos generales obtenidos se encuentra entre los 63 °C.



Además, se observa que existen datos atípicos que se encuentran por debajo del primer cuartil esto se debe a que en la gráfica se encuentran los datos generales tanto en ruedas sanas como diente roto, se observan estas mediciones que indican que existe una notable diferencia entre ellos debido al modo de fallo seleccionado, además de la lubricación que se utilizó, sabiendo que las mediciones con ruedas sanas fueron un total de 600 mediciones lo que equivale a los datos atípicos que se encuentran entre los 50-55 °C y los datos que se encuentran entre la temperatura de los 60-66 °C corresponden a los 1400 datos con el modo de fallo seleccionado.



**Figura 23-3:** Diagrama de cajas de temperatura

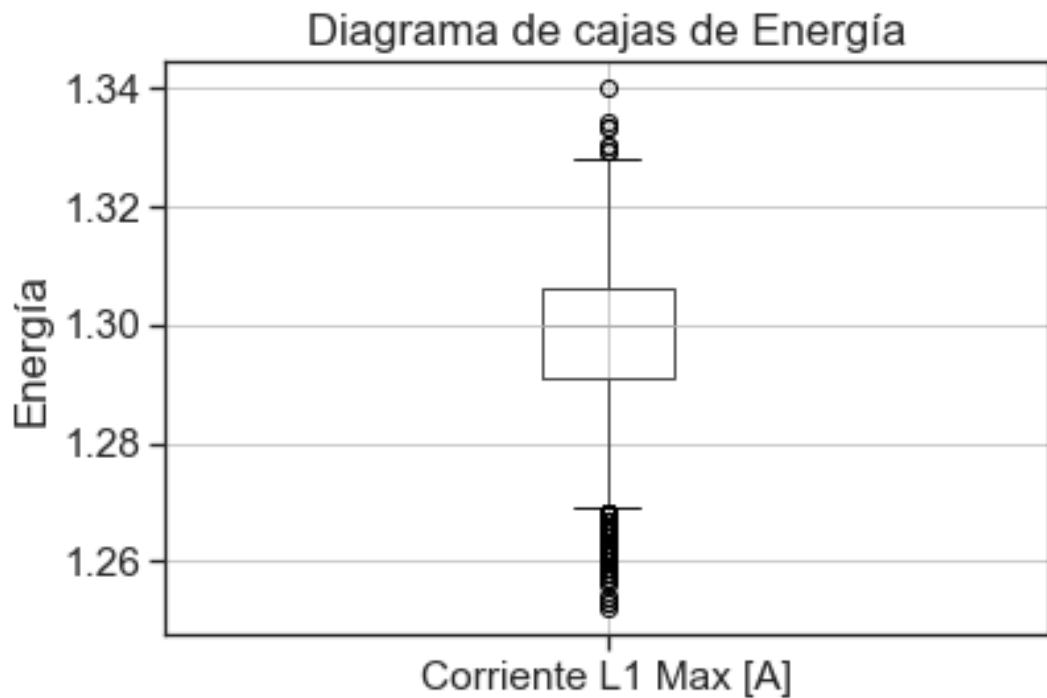
Realizado por: Cuzco Gabriela, 2022

### 3.5.3. Diagrama de cajas de energía.

En el diagrama de cajas de la línea de programación once del Anexo C, que se observa que en la figura 24-3 muestra los datos generales de la variable “Corriente en la Línea 1 máxima “de la base de datos donde la mayoría de los datos se encuentran entre 1,29-1,31 A, dando como mediana los valores que se encuentran en el rango de 1,30 Amperios.

Mientras que los datos atípicos que se encuentran por debajo del extremo inferior y sobre el extremo superior se deben a que el diagrama de cajas muestra los datos generales tanto de ruedas sanas sin desgaste y modo de fallo por diente roto, por lo que las variaciones se deben a que los datos varían con respecto al modo de fallo, ya que son datos que arroja directamente el programa

Power Log que fue utilizado para el diagnóstico de la calidad de energía eléctrica.



**Figura 24-3:** Diagrama de cajas de energía

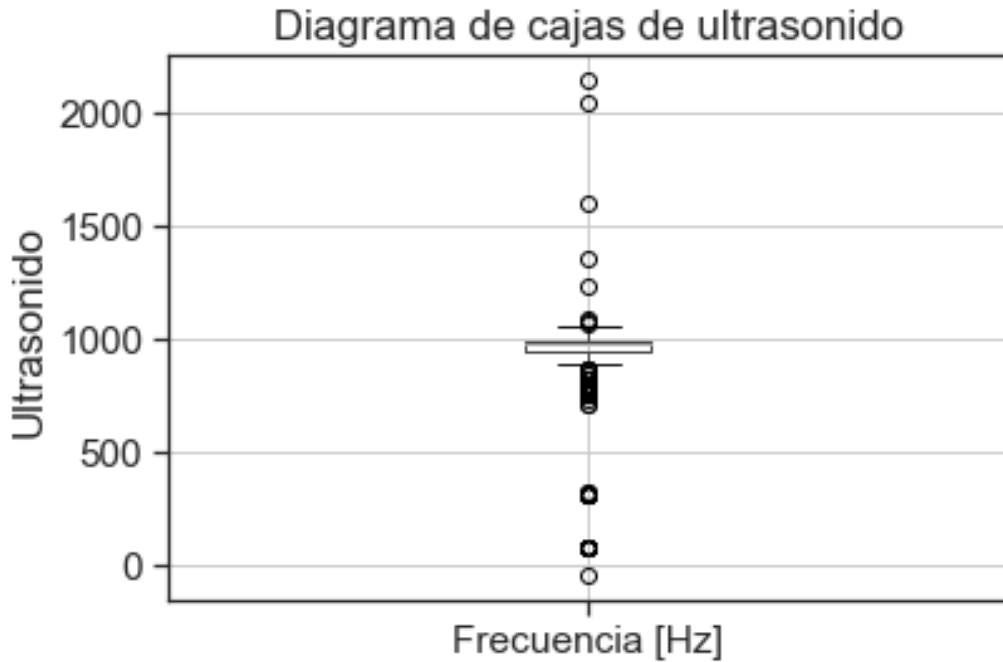
Realizado por: Cuzco Gabriela, 2022

#### 3.5.4. Diagrama de cajas de ultrasonido

En el diagrama de cajas de la línea de programación doce del Anexo C, que se observa que en la figura 25-3 muestra las mediciones de la variable “Frecuencia” obtenidos mediante el diagnóstico general de los datos obtenidos por ultrasonido pasivo, donde la mediana de los datos se encuentra entre los 900 Hz.

Además, en la gráfica del diagrama de cajas analizado se observa que los datos se encuentran dispersos que van desde los 0-2000 Hz, debido a que son datos generales tanto de las mediciones en ruedas sanas con y sin lubricante y con el modo de fallo seleccionado por diente roto con y sin lubricante.

Observándose que los datos varían notablemente ya que se encuentran distribuidos en diferentes rangos debido al ruido excesivo que produce al chocar los engranajes en ruedas sanas y aún más al presentar el modo de fallo por diente roto lo que hace que exista variaciones en las mediciones.



**Figura 25-3:** Diagrama de cajas de ultrasonido

Realizado por: Cuzco Gabriela, 2022

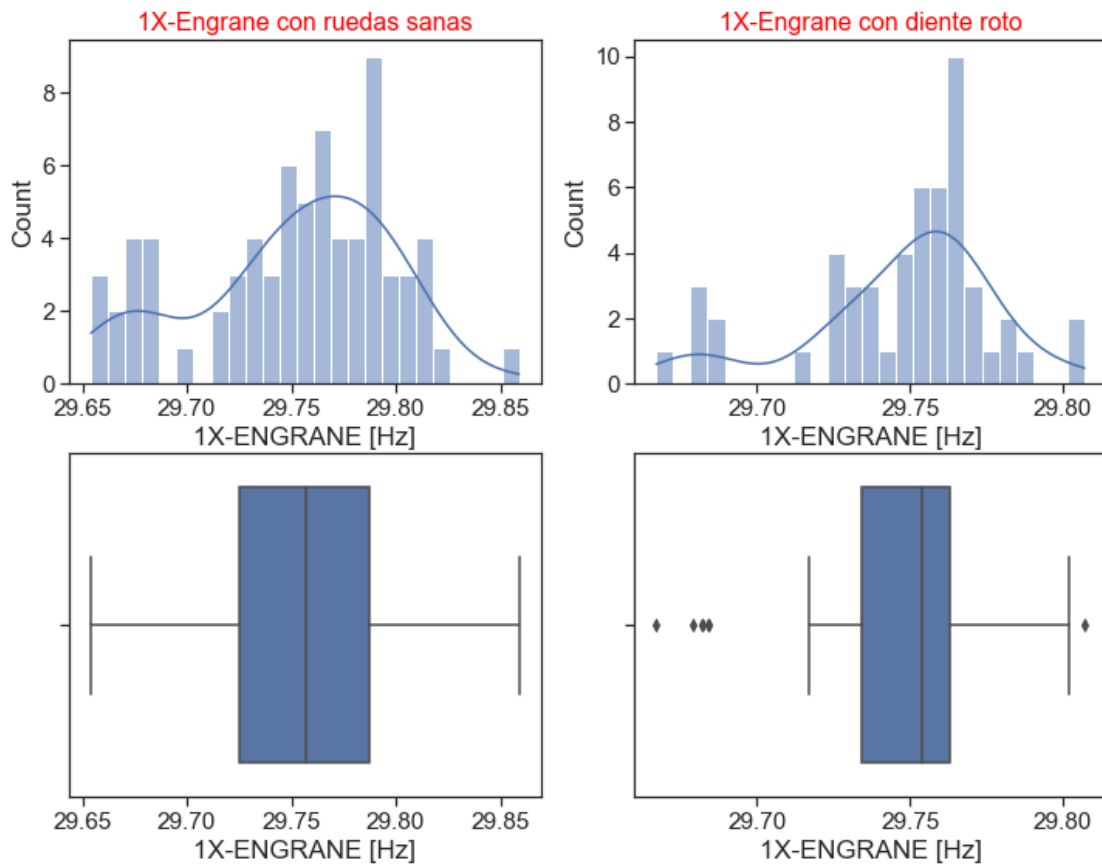
### 3.6. Comparación de variables

Mediante histogramas se realiza la comparación entre variables de ruedas dentadas sanas y ruedas con el modo de fallo diente roto, en donde muestran las distintas tendencias permitiendo la diferenciación entre las variables.

#### 3.6.1. Análisis de vibración.

En la Figura 26-3, se muestra la gráfica entre la comparación de ruedas dentadas sanas vs. Rueda dentada con diente roto de la Frecuencia 1X Engrane; En el histograma con ruedas sanas se muestran datos que varían desde 29,65 hasta los 29,85 Hz por lo que los datos se encuentran entre la media de 29,76 Hz.

Mientras que en el histograma de la derecha de rueda dentada con diente roto se puede observar que los datos se encuentran entre los 29,69 hasta los 29,80 con una media entre 29,7, existiendo valores atípicos de los datos debido a que varían considerablemente a causa del modo de fallo ya que al engranar las ruedas dentadas estas chocan entre si existiendo mayores vibraciones en comparación con ruedas sanas.



**Figura 26-3:** (a) Vibración ruedas sanas vs. (b) Vibración diente roto.

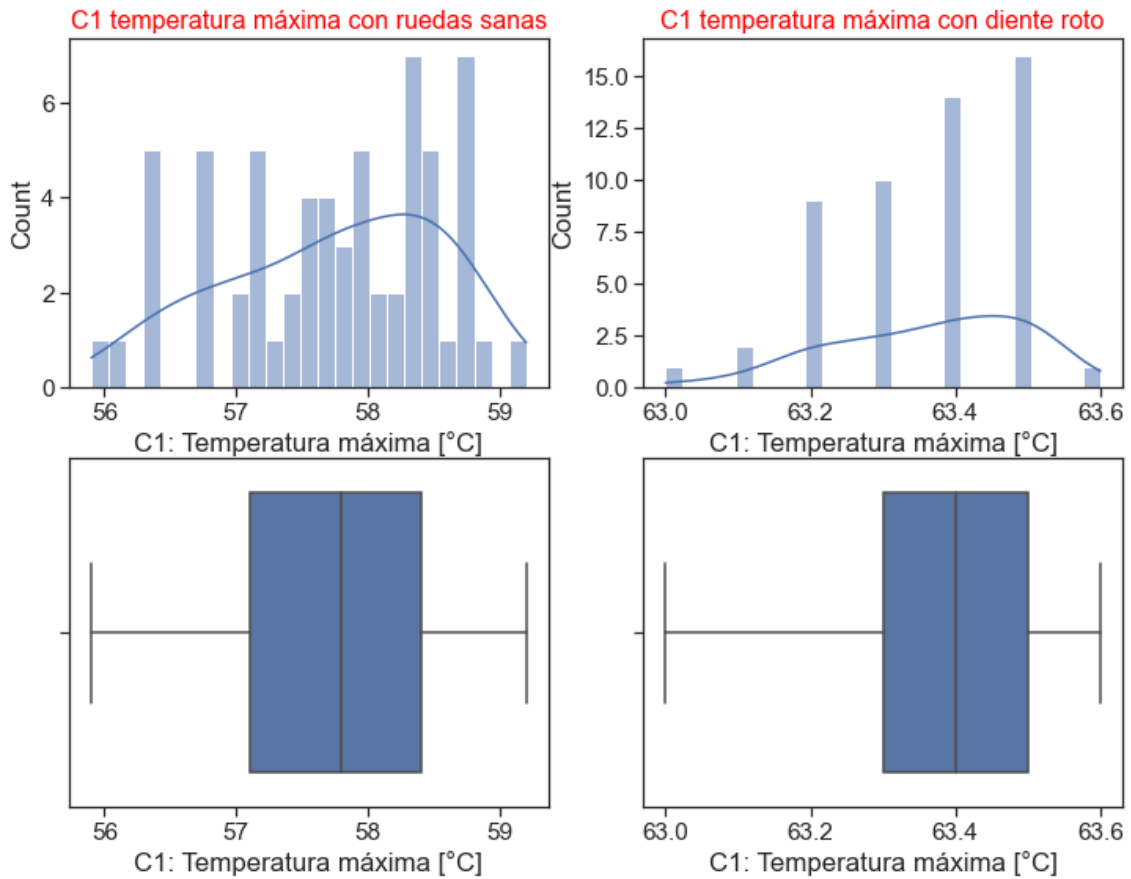
Realizado por: Cuzco Gabriela, 2022

### 3.6.2. Análisis de temperatura.

En la Figura 27-3, representa las gráficas entre la comparación de ruedas dentadas sanas vs. Rueda dentada con el modo de fallo por diente roto de la temperatura del alternador del módulo de simulación de engranajes.

En el histograma con ruedas sanas de la izquierda se muestran datos que varían desde los 56 °C hasta los 59 °C por lo que la media de los datos se encuentra entre los 57,5 °C, tomando en cuenta que las mediciones fueron tomadas una vez que el motor eléctrico se encuentre a una temperatura estable.

Mientras que en el histograma de rueda dentada con diente roto de la derecha se observa que los datos se encuentran entre los 63-63,6 °C con una media entre 63,4 °C, existiendo un incremento de temperatura ya que los datos se obtuvieron con el módulo a una temperatura estable, por lo que se observa una notable diferencia a comparación con ruedas y diente roto.



**Figura 27-3:** Temperatura ruedas sanas (a) vs. Temperatura diente roto (b)

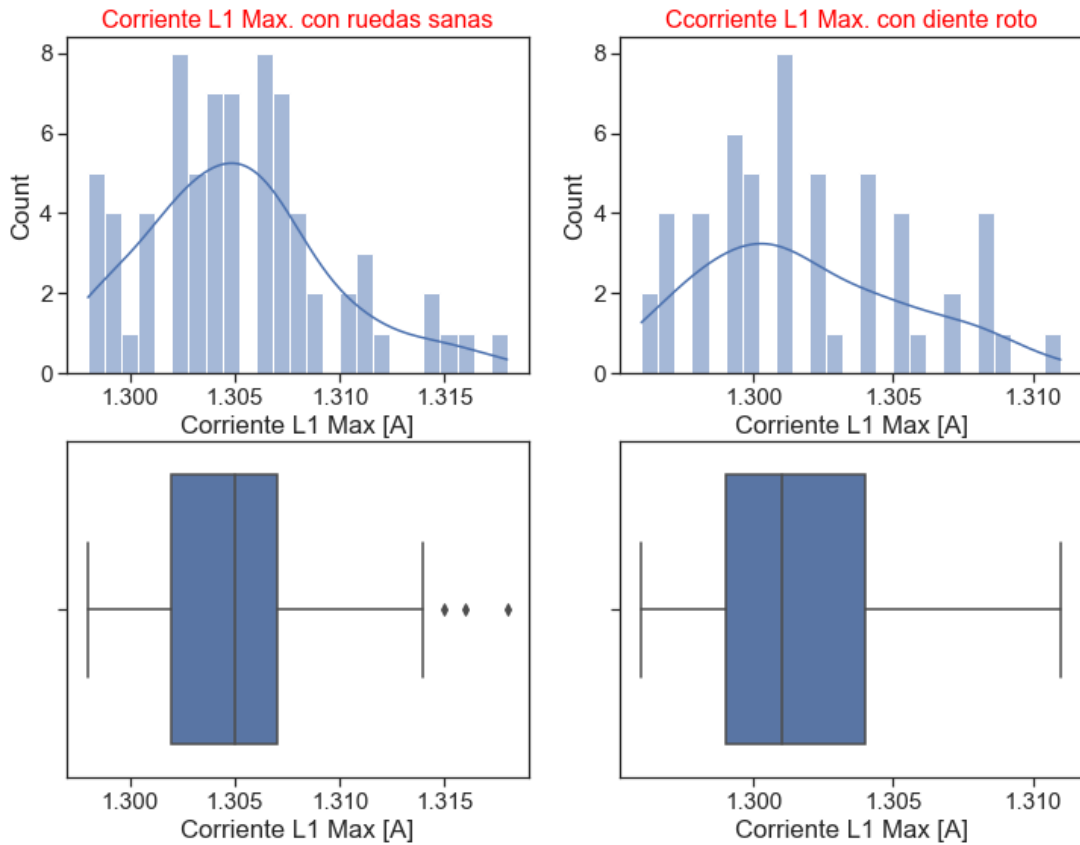
Realizado por: Cuzco Gabriela, 2022

### 3.6.3. Análisis de energía.

En la Figura 28-3, se muestra la gráfica entre la comparación de ruedas dentadas sanas vs. rueda dentada con el modo de fallo por diente roto de la corriente máxima en la línea 1. Donde se logra evidenciar diferentes rangos de temperatura para el respectivo análisis, con los datos que se obtuvieron por medio del analizador de energía eléctrica y su software el cual permitió obtener datos exactos de la corriente en las diferentes líneas de mediciones.

En el histograma con ruedas sanas se muestran datos que varían desde 1,28 A hasta 1,318 por lo que la media de los datos se encuentra entre 1,305, existiendo ciertos valores atípicos sobre el extremo superior de los cuartiles.

Mientras que, en el histograma de rueda dentada con diente roto de la derecha, se observa que los datos se encuentran entre 1,295 A hasta 1,310 A con una media entre 1,301 A.



**Figura 28-3:** Corriente L1 ruedas sanas (a) vs. Corriente L1 sin lubricante (b)

Realizado por: Cuzco Gabriela, 2022

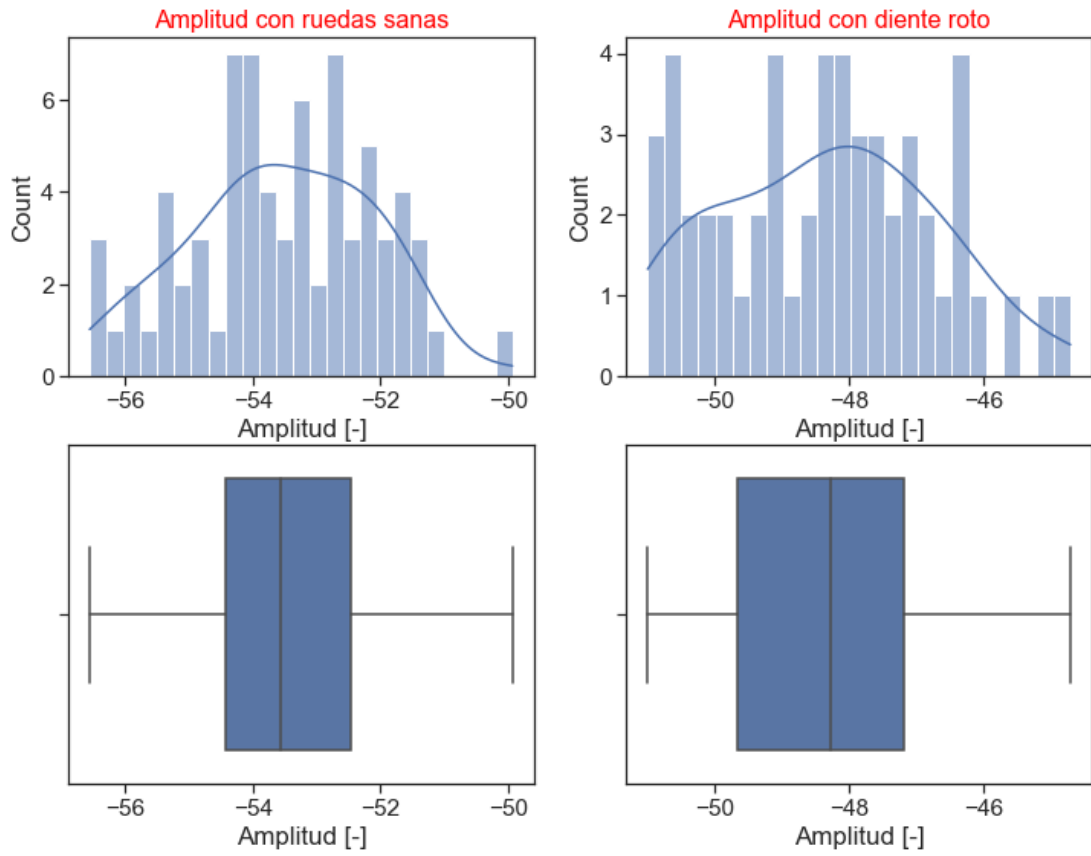
### 3.6.4. Análisis de ultrasonido

En la Figura 29-3, se muestra la gráfica entre la comparación de ruedas dentadas sanas vs. Rueda dentada con diente roto de ultrasonido

En el cual el histograma con ruedas sanas se muestran datos que varían desde -56 hasta -50 dB por lo que la media de los datos se encuentra entre los 54,5 dB.

Mientras que en el histograma de rueda dentada con diente roto que se observa a la derecha los datos se encuentran entre -55 dB hasta los -45 dB con una media entre -48 dB, existiendo varios valores atípicos por debajo del primer cuartil.

Estos valores debido al sonido que se produce al momento del choque que existe entre el diente roto ya que emite un sonido el cual se ve reflejado en las mediciones obtenidas a comparación con las mediciones sin el modo de fallo.



**Figura 29-3:** Decibeles ruedas sanas (a) vs. Decibeles diente roto (b)

Realizado por: Cuzco Gabriela, 2022

## CAPÍTULO IV

### 4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

En el presente proyecto técnico se realizó una base de datos del desgaste en ruedas dentadas mediante la utilización de equipos para el diagnóstico de vibración, temperatura, energía y ultrasonido, el cual será de provecho para los estudiantes de la carrera ya que podrán acceder a la base de datos y realizar la interpretación de los mismos.

#### 4.1. Selección de las ruedas dentadas a fallas por desgaste.

Se pudo estudiar que existen diferentes materiales apropiados para la fabricación de engranajes. Entre los cuales se utilizó el Acero AISI 1040 para la construcción de dos pares de engranajes, gracias a que es un material con gran resistencia al desgaste y fatiga. Los cálculos para los diámetros principales se encuentran desarrollados en el capítulo 3.2.1.



**Figura 1-4:** Ruedas dentadas a someter a fallas

Realizado por: Cuzco Gabriela, 2022

#### 4.2. Análisis de los tipos de fallas que se producen en las ruedas dentadas.

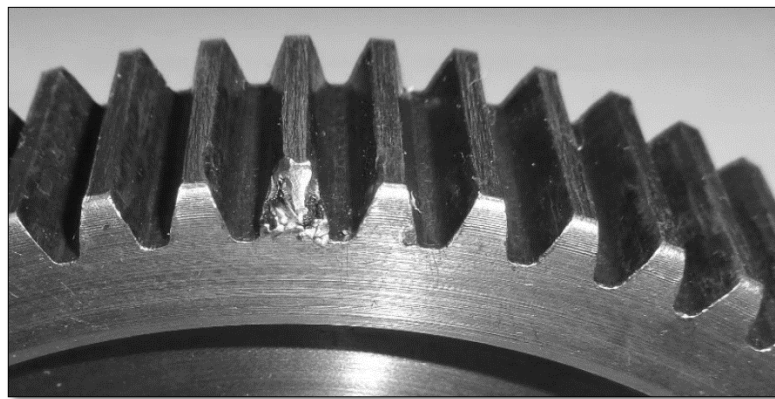
Mediante el estudio del estado del arte se pudo determinar que pueden producirse diferentes modos de fallos a los engranajes, como se muestra en la Tabla 2-2; estos pueden deberse por un cálculo erróneo de los datos, una mala construcción o por un tratamiento térmico incorrecto. Por lo que es importante conocer a que potencia, velocidad, y sobrecarga a la que estarán sometidos



los engranajes, ya que al ser un elemento principal dentro de las máquinas rotativas puede generar daños.

#### **4.3. Someter a fallas las ruedas dentadas para la simulación y obtención de datos.**

El modo de fallo realizado para la rueda conductora y rueda conducida consiste en diente roto, producido en muchas ocasiones por un exceso de carga a lo largo de la longitud de los dientes de las ruedas dentadas. El aceite que se utilizó para el cuidado de las ruedas dentadas fue el lubricante para transmisiones mecánicas SAE 140. Que fue utilizado para ruedas sanas con lubricante y diente roto con lubricante.



**Figura 2-4:** Modo de fallo diente roto.

Realizado por: Cuzco Gabriela, 2022

#### **4.4. Generar una base de datos obtenidos de los modos de fallas de las ruedas dentadas utilizando un formato (.xlsx), para su análisis.**

Para obtener la base de datos se tomaron distintas muestras en diferentes puntos del módulo de pruebas de engranajes, la base de datos cuenta con un total de 2040 filas y 102 columnas; la cual contiene información de cuatro equipos para el diagnóstico de engranajes (vibración, temperatura, energía y ultrasonido).

El análisis de vibraciones se realizó colocando el acelerómetro en los puntos P1 y P2 (vertical y horizontal) del motor eléctrico con diente sano y diente roto con y sin lubricante, mientras que el análisis de temperatura fue realizado a una distancia de un metro para lograr un completo enfoque del módulo de pruebas. Para el análisis de ultrasonido se colocó el equipo lo más cercano a los engranajes colocando el módulo el módulo de largo alcance de forma radial vertical y horizontal.

#### **4.5. Determinar la dispersión que existe entre los datos obtenidos de fallas en ruedas dentadas.**

Los datos que se presentan para el análisis de dispersión se encuentran tomados de la siguiente manera: en el eje de las ordenadas se encuentra tomados valores de “Item” los cuales equivalen al número de mediciones realizadas. Como se mencionó en el capítulo tres y se detalla la información a continuación.

Las primeras 600 mediciones equivalen a ruedas dentadas sanas con y sin lubricante es decir las primeras 300 mediciones corresponden a ruedas sanas con lubricante, mientras que las 300 siguientes mediciones corresponde a ruedas sanas sin lubricante.

Las 240 mediciones siguientes corresponden al modo de fallo seleccionado por diente roto en la rueda motriz con lubricante, y 240 mediciones en rueda motriz sin lubricante.

Las siguientes 240 mediciones corresponden a la rueda conducida con el modo de fallo por diente roto con lubricante y 240 mediciones obtenidas con el modo de fallo diente roto sin lubricante.

Las últimas mediciones se realizaron 240 mediciones con el modo de fallo diente roto para ambas ruedas dentadas con lubricante y las ultimas 240 mediciones correspondientes a ambas ruedas rotas sin lubricante dando un total de 2040 mediciones.

Mientras que los valores que se detallan en el eje de las abscisas corresponden a las variables analizar es decir una variable de vibraciones, temperatura, energía y ultrasonido. De las cuales en los diagramas de dispersión se detalla de mejor manera.

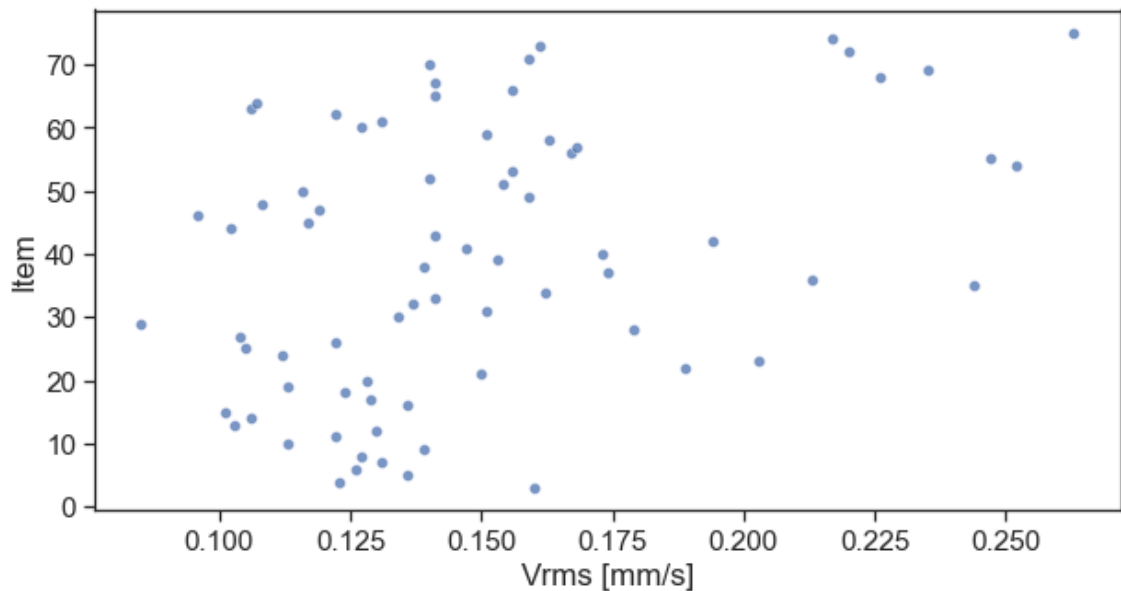
##### **4.5.1. *Dispersión de vibraciones***

En la figura 3-4. Se observa la gráfica de dispersión obtenida muestra que en el eje de las ordenadas corresponden datos del P1 V con ruedas sanas con lubricante, mientras que en el eje de las abscisas corresponde a la velocidad global de vibración rms, en el cual los datos van desde 0,1-0,250 mm/s.

En la figura 4-4. Se observa la gráfica donde presenta datos para el eje de las ordenadas datos que van entre los 1563:1613 que corresponden en la columna de mediciones a ruedas dentadas con el modo de fallo con diente roto con lubricante. Mientras que para el eje de las abscisas se tomó la

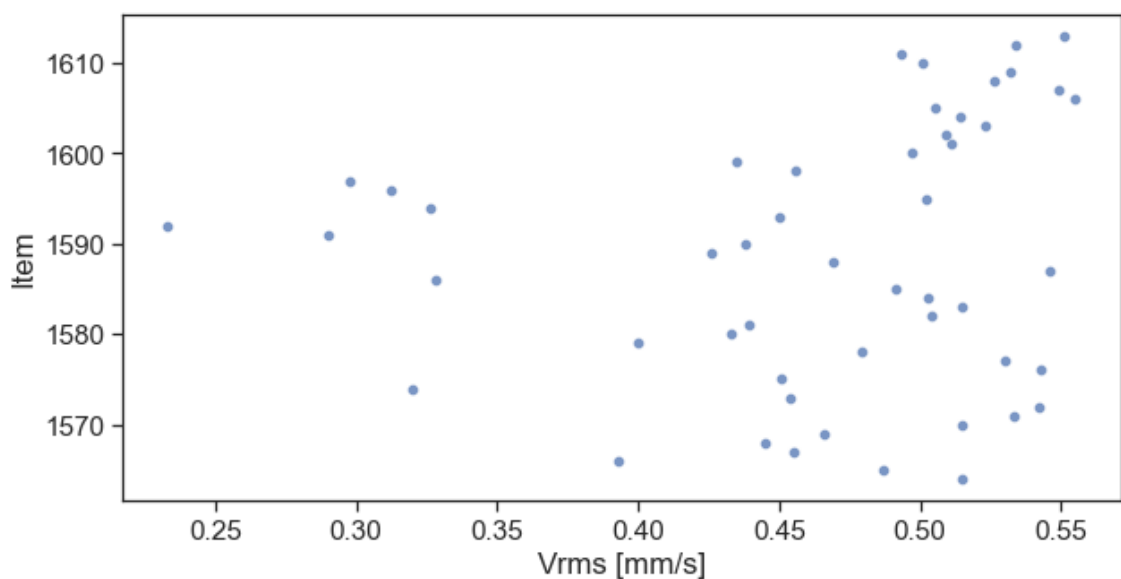
variable de la velocidad global de vibración rms para el mismo análisis. En el cual se observa que los datos varían entre los 0,25-0,55 mm/s.

Claramente se observa que debido al golpeteo que existe por el modo de fallo en ambos dientes rotos se incrementa la velocidad global de vibración por el sonido y las vibraciones que se produce en comparación con ruedas dentadas sanas.



**Figura 3-4:** Dispersión en ruedas sanas en la variable Vrms [mm/s]

Realizado por: Cuzco Gabriela, 2022



**Figura 4-4:** Dispersión en diente roto en la variable Vrms [mm/s]

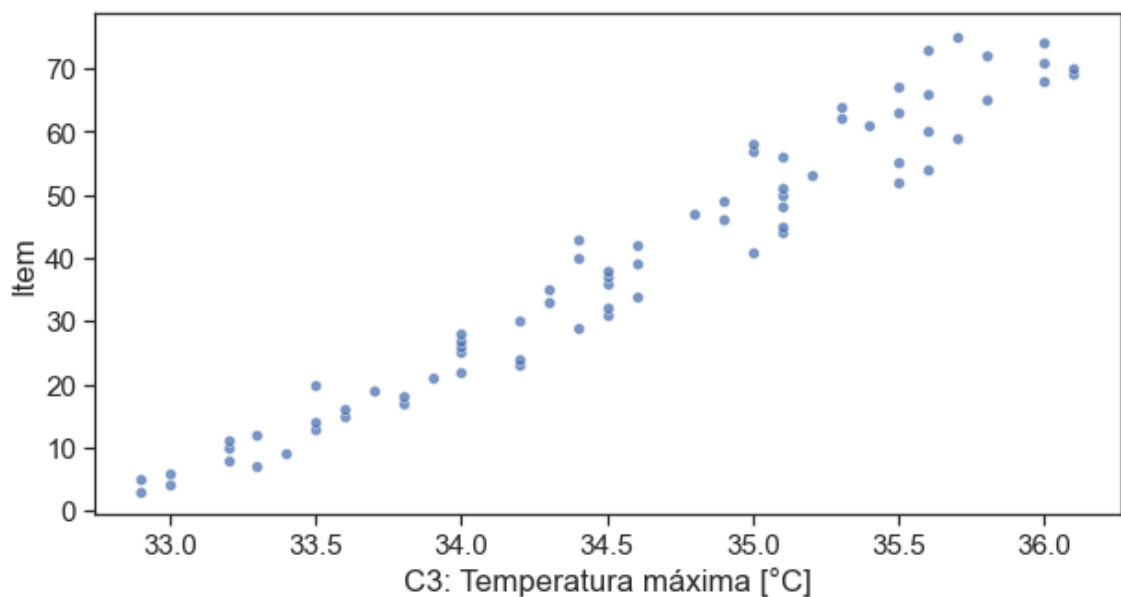
Realizado por: Cuzco Gabriela, 2022

#### 4.5.2. *Dispersión de temperatura*

En la figura 5-4 se muestra los datos de la variable temperatura en el motor eléctrico (punto 3), de los cuales se toma para el eje de las ordenadas los datos en ruedas con lubricante, mientras que los datos que se tomaron para el análisis del eje de las abscisas corresponden a datos del modo de fallo en diente roto para ambas ruedas dentadas. En el cual se observa que los datos se encuentran en el rango de 33-36 °C datos que se mantienen constantes ya que fueron tomados una vez que la temperatura se estabiliza.

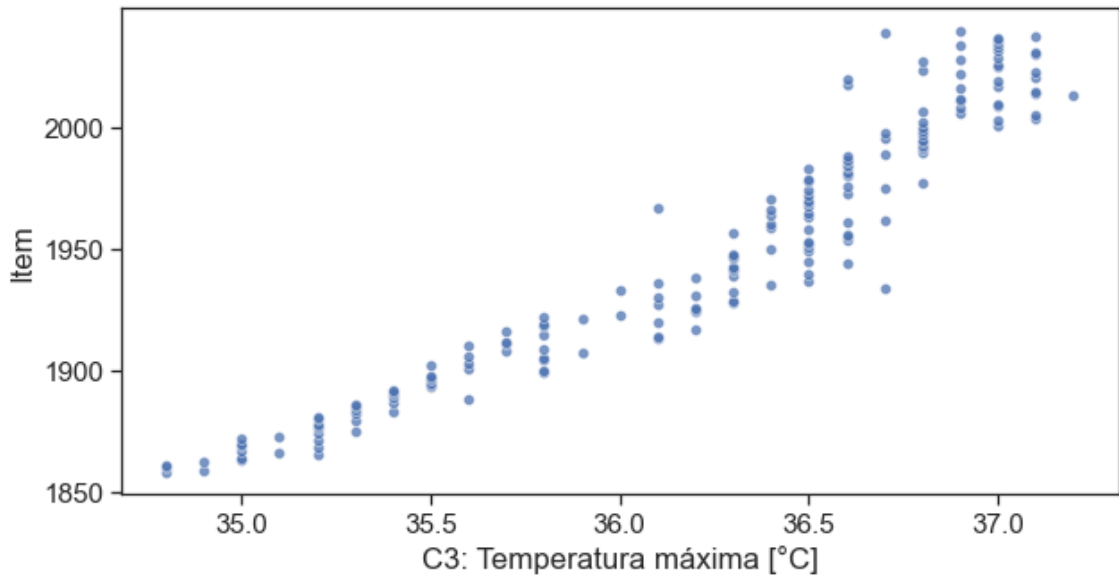
En la figura 6-4. Tomando como datos para el análisis los puntos para el eje de las ordenadas ambas ruedas dentadas con el modo de fallo diente roto y para el eje de las abscisas la variable temperatura en el punto tres del motor eléctrico. En el cual se identifican valores que van desde los 35-38 °C.

Una vez realizado el respectivo análisis en entre los distintos puntos: con ruedas sanas y modo de fallo diente roto, claramente se observa que al estar con ruedas sanas el motor eléctrico tiene una temperatura que se mantiene en los 34 °C, mientras que con el modo de fallo evidentemente la temperatura aumenta considerablemente y esta se mantiene en los 36,5 °C. Esto se debe a que al existir engranajes con diente roto el motor eléctrico realiza mayor fuerza razón por la cual tiende a calentarse mucho más rápido que sin modo de fallo.



**Figura 5-4:** Dispersión de temperatura en el motor eléctrico con ruedas sanas

Realizado por: Cuzco Gabriela, 2022



**Figura 6-4:** Dispersión de temperatura con diente roto en el motor eléctrico.

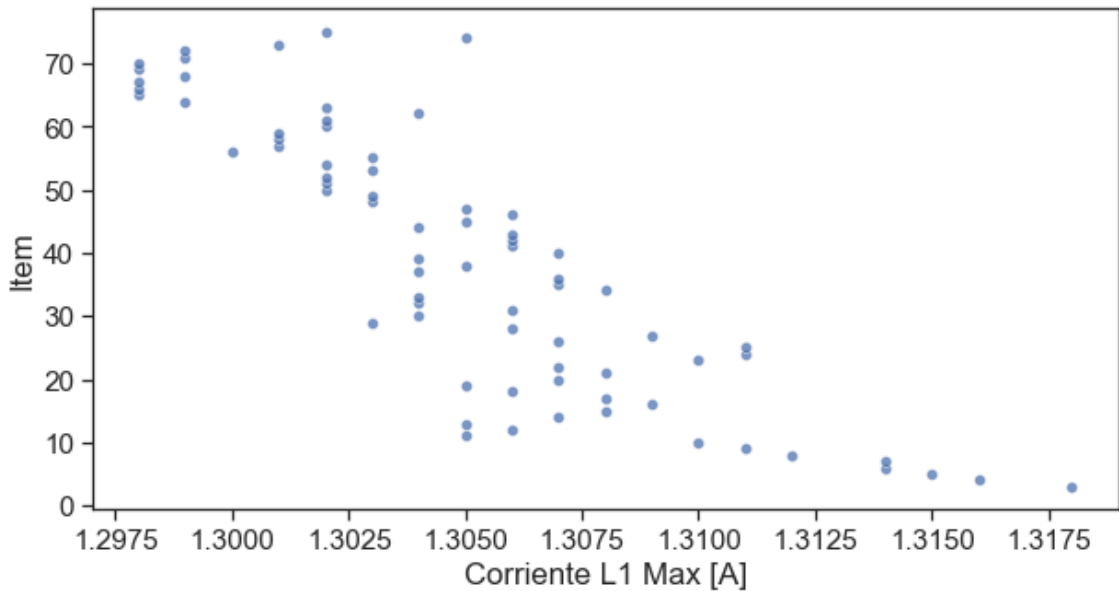
Realizado por: Cuzco Gabriela, 2022

#### 4.5.3. *Dispersión de energía*

En la figura 7-4. Se observa los datos de la variable corriente en la línea uno máxima, del cual para el eje de las ordenadas correspondiente a Item que equivale a ruedas sanas sin desgaste, con lubricante. Mientras que para el eje de las abscisas corresponde a la corriente en la línea uno máxima. En el que se puede evidenciar que los valores van desde 1,2075 A, hasta 1,3 A. valores que se mantienen dentro de dicho rango con una media que se encuentra entre los 1,3050 A.

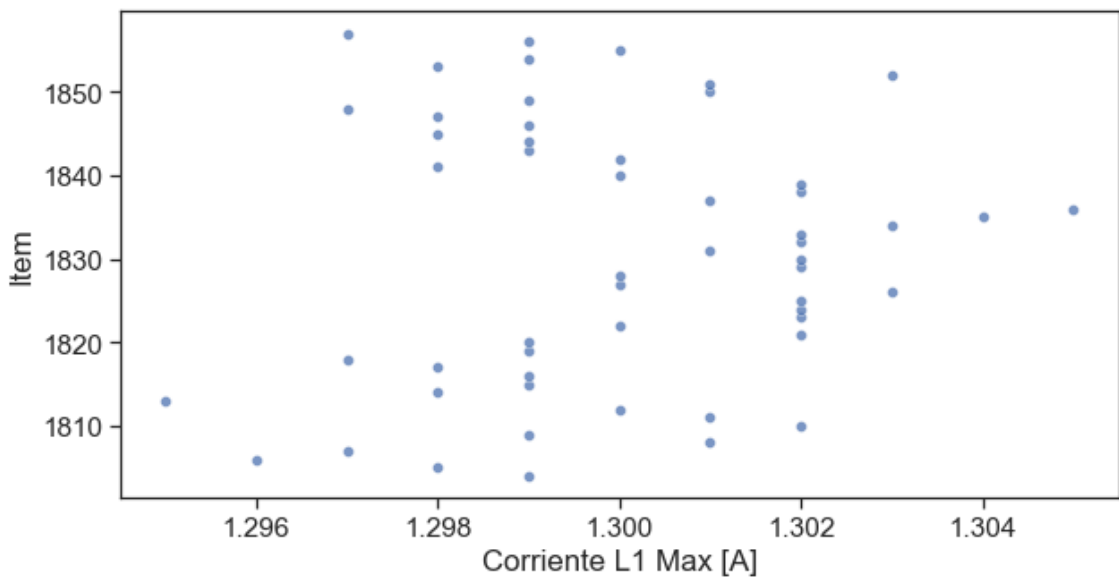
En la figura 8-4. Se tomó las mediciones para el caso de este análisis en el eje de las ordenadas representado por Item el cual consiste en el número de mediciones obtenidas en este caso se toma ambas ruedas dentadas con el modo de fallo por diente roto el cual se utiliza lubricante. Mientras que en el eje de las abscisas se tomó la misma variable analizar con modo de fallo diente roto es decir corriente en la línea uno máxima. En lo que se puede observar de acuerdo a la gráfica de dispersión es que los datos van en un rango de 1,29-1,305 A.

Por lo que se puede determinar que sin el modo de fallo seleccionado la corriente se mantiene en una media de 1,3050 A, mientras que con diente roto la media se encuentra entre 1,302 A, con esto se puede evidenciar que a medida que el tiempo aumenta se reduce el tiempo de amperaje y no se dispara la corriente, ya que esto depende de la caída de tensión que exista en el momento de la toma de mediciones.



**Figura 7-4:** Dispersión de corriente ruedas sanas de corriente.

Realizado por: Cuzco Gabriela, 2022



**Figura 8-4:** Dispersión de corriente dientes rotos de corriente.

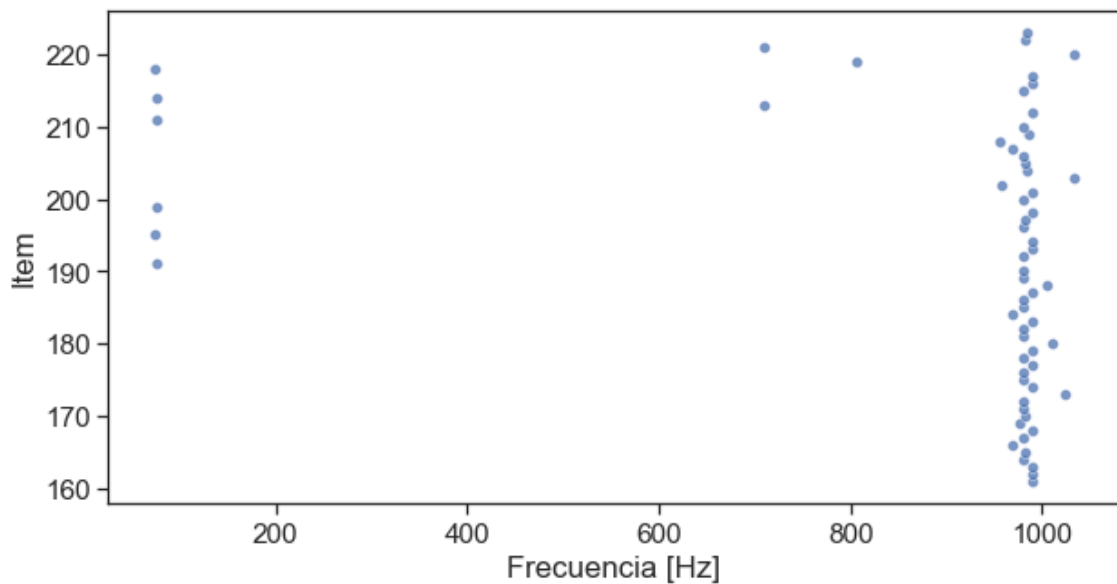
Realizado por: Cuzco Gabriela, 2022

#### 4.5.4. *Dispersión de ultrasonido*

En la gráfica 9-4, se evidencia se observa la gráfica de dispersión de ultrasonido el cual los datos que se obtuvieron para este estudio en el eje de las ordenadas corresponden a ruedas sanas con lubricante, mientras que los datos del eje de las abscisas fueron obtenidos de la frecuencia, valores que arrojó el programa para el análisis de los espectros. Por lo que los datos se encuentran entre los 100-1000 Hz.

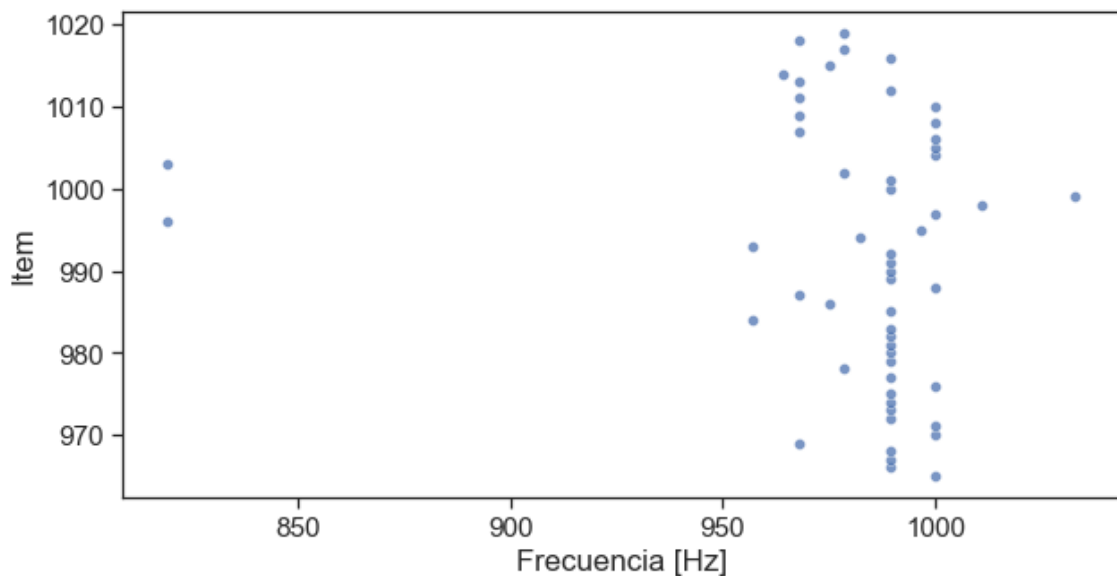
Mientras que los datos que se obtuvo en el eje de las ordenadas corresponden al modo de fallo por diente roto en la rueda conductora, y en el eje de las abscisas valores obtenidos por la frecuencia captada por el equipo de mediciones, el cual los valores van en un rango de 700-1050 Hz

Se puede determinar mediante las gráficas de dispersión de ultrasonido que a medida que se produce el modo de fallo la frecuencia aumenta debido al ruido excesivo que se produce al existir choque entre dientes.



**Figura 9-4:** Dispersión de ultrasonido ruedas sanas.

Realizado por: Cuzco Gabriela, 2022



**Figura 10-4:** Dispersión de ultrasonido dientes rotos

Realizado por: Cuzco Gabriela, 2022

## CONCLUSIONES

Gracias al aporte teórico desarrollado en el proyecto técnico, se optó por utilizar el acero AISI 1045 para la construcción de dos pares de ruedas dentadas de dientes rectos debido su alta resistencia al desgaste y fatiga.

Mediante el estudio del estado del arte de los diferentes modos de fallos que se producen en engranajes se determinó que estos pueden ocurrir por consecuencia de diferentes factores, tales como: una mala fabricación, cálculos erróneos e incluso por un rectificado incorrecto.

Para el estudio de vibración, temperatura, energía y ultrasonido se realizó el modo de fallo de diente roto en dos ruedas dentadas, utilizando el lubricante para transmisiones mecánicas grado SAE 140, para protección de los engranajes.

Se obtuvo una base de datos en formato (.xlsx), que cuenta con 2040 filas y 102 columnas; la misma que contiene información de engranajes con diente sano y roto, lo que representa un valioso aporte para el desarrollo de futuros temas de investigación en el campo de vibración, temperatura, energía y ultrasonido.

En la gráfica de dispersión de datos de vibración se analizó la amplitud con ruedas sanas y diente roto. Pudiendo evidenciarse que en la gráfica diente roto existe una considerable variación correspondiente en los datos a comparación de ruedas sanas.

La gráfica de dispersión de temperatura con ruedas sanas muestra una correlación positiva; es decir a medida que el motor trabaja la temperatura aumenta lentamente; mientras que con diente roto en la rueda dentada la temperatura aumenta rápidamente.

En la gráfica de dispersión de potencia activa total con ruedas en dientes sanos se observa que los datos se encuentran en un rango de 147 hasta 159 A; mientras que con diente roto los datos se encuentran dispersos en el rango 153 hasta 168 A.

Con los datos extraídos de ultrasonido se evidencia que en ruedas sanas los datos permanecen constantes en el rango de los 980 Hz aproximadamente, mientras que con diente roto existen datos dispersos entre 960-1000 Hz aproximadamente, debido al sonido producido por el choque entre ruedas dentadas.



## **RECOMENDACIONES**

Realizar un tratamiento térmico para endurecer los dientes de los engranajes, con el fin de hacerlos más resistentes al desgaste.

Revisar literatura acertada para obtener información confiable acerca de los modos de fallos en ruedas dentadas.

Trabajar con modos de fallos en engranajes por picadura y desalineación para obtener datos que ayuden al mantenimiento predictivo; con el fin de conversar los equipos.

Elaborar una base de datos que sea confiable; ya que, al estar afectada por ruidos externos, malas conexiones de los equipos e incluso el incorrecto montaje del banco de pruebas, se obtendrían datos erróneos.

Realizar una limpieza y tratamiento a los datos para lograr analizarlos de mejor manera.

Se recomienda utilizar la base de datos para realizar trabajos de investigación en ruedas dentadas con diente roto y diente sano utilizando el aprendizaje de máquinas.

## BIBLIOGRAFÍA

**ALARCÓN, C. & GAIBOR, F.** *Construcción de un simulador para el diagnóstico de modos de fallas en engranajes mediante el análisis de vibraciones y ultrasonido pasivo para la facultad de mecánica.* [en línea]. Riobamba: ESPOCH, 2017. Disponible en: <http://dspace.espoch.edu.ec/handle/123456789/6489>.

**BARBOSA, J.** *Análisis numérico computacional del fluido de una película de aceite en un sistema de transmisión automotriz por engranes.* [en línea]. S.l.: Universidad autónoma de nuevo león, facultad de ingeniería mecánica y eléctrica, 2019. Disponible en: <http://eprints.uanl.mx/17994/>.

**CARANGUI, M.R.** *Establecimiento de una base de datos de señales de vibraciones mecánicas de una caja reductora combinando fallos de rodamientos y engranajes rectos para fines investigativos en la Universidad Politécnica Salesiana.* [en línea], 2014, pp. 111. Disponible en: <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/6281>.

**CHACHA, D.** *Determinación de pérdidas energéticas que se producen en motores trifásicos asincrónicos tipo jaula de ardilla (maja3f) por la evolución de modos de fallo mediante termografía.* [en línea], 2016, Disponible en: <http://dspace.espoch.edu.ec/bitstream/123456789/6459/1/25T00284.pdf>.

**CZECH, P. & MIKULSKI, J.** *Transport System Telematics Application of genetic algorithms in the task of choosing inputs for probabilistic neural network classifier of faults of gear-tooth.* [en línea], 2015, vol. 8, pp. 15-17. Disponible en: <https://yadda.icm.edu.pl/baztech/element/bwmeta1.element.baztech-970aff5f-4e95-44f7-a2bd-da4b282aca2c>.

**DÍAZ, A.** *Estudio de esfuerzos de transmisión de engranajes en un torno mediante método de elementos finitos para incrementar su resistencia en senati-chiclazo* [en línea], 2016, S.l.: s.n. Disponible en: <https://repositorioslatinoamericanos.uchile.cl/handle/2250/3234464>.

**FERNÁNDEZ, N.** *Perfeccionamiento del diseño de los engranajes cilíndricos metálicos a las tensiones de contacto .* [en línea], 2018, S.l.: Universidad Central «Marta Abreu» de las Villas. Disponible en: <https://1library.co/document/y6e0847z-perfeccionamiento-diseno-engranajes->

cilindricos-metalicos-tensiones-contacto.html.

**FLIR**, Cámaras termográficas FLIR para mantenimiento predictivo. [en línea], 2019. Disponible en: <http://www.mra.pt/repositorio/6625/pdf/7291/2/camaras-termograficas-flir-para-mantenimiento-predictivo.pdf>.

**GRANDE, J.M.** *Diseño, Inspección Y Análisis De Engranajes Cónicos* [en línea]. S.l.: UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR DISEÑO, 2017. Disponible en: [https://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/28181/TFG\\_Juan-Manuel\\_Grande\\_Verbo.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/28181/TFG_Juan-Manuel_Grande_Verbo.pdf?sequence=1&isAllowed=y).

**GUAMÁN, A.** *Desarrollo de un modelo basado en datos a partir de señales de vibración para la detección de fallos en un compresor recíprocante de simple efecto doble etapa* [en línea], 2019. S.l.: Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Disponible en: <https://cybertesis.unmsm.edu.pe/handle/20.500.12672/10361?show=full>.

**GUIRACOCHA, R.** *Establecimiento de una base de datos de señales de vibraciones acústicas e imágenes termográficas infrarrojas para un sistema mecánico rotativo con la combinación de diferentes tipos de fallos y elaboración de guías de prácticas para detección de fallos e* [en línea], 2015. S.l.: UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE CUENCA CARRERA. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/7587>.

**HASSAN, A.R.** *Dignosis of Pulley-Belt System Faults Using Vibration Analysis Technique*. Journal of Univerisity Babylon [en línea], 2018, vol. 26, no. 2, pp. 167-180. Disponible en: <https://www.journalofbabylon.com/index.php/JUBES/article/view/1156>.

**LLIVICURA, H.F.** *Señales de vibración: Evaluación de indicadores de condición extraídos del dominio de frecuencia para el Diagnóstico de fallos en Cajas de engranajes rectos*. Universidad politécnica salesiana sede cuenca, 2019.

**LOAIZA, W.** *Detección y diagnóstico de fallos de caja de engranajes rectos utilizando un algoritmo de clasificación basado en similaridad difusa aplicado en señales de vibración* [en línea], 2021. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/21212>.

**LOJANO, F.J.** *Señales acústicas y de vibración: estudio comparativo para la detección de severidad de fallos en engranes rectos* [en línea]. S.l.: s.n. ISBN 0104944897, 2019. Disponible

en: <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/18212>.

**MADERO, G.** Aceite Gear Oil API GL-1 SAE 90, SAE 140 y SAE 250. , 2019.

**MUÑOZ, C. & VERA, A.** *Establecimiento de una base de datos de señales de vibraciones mecánicas y acústicas de un sistema mecánico rotativo con la combinación de fallos de rodamientos y engranajes helicoidales, y elaboración de guía de práctica para desbalanceo estático* [en línea]. S.l.: Universidad politécnica salesiana sede cuenca carrera, 2015. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/8920>.

**PETRESCU, R.: et al.** Gears-Part I. *American Journal of Engineering and Applied Sciences*, 2017, vol. 10, no. 2, pp. 457-472. ISSN 1941-7020. DOI 10.3844/ajeassp.2017.457.472.

**PULIDO, E.: et al.** *Base de Datos* [en línea]. Editorial. Ciudad de México, 2019. Disponible en: <https://elibro.net/es/ereader/epoch/121283?page=1%0A>.

**RAHMAN, A.: et al.** Investigation of Machinery Health Analysing Characteristics of Vibration Using Comprehensive Experimental Setup. *International Journal of Scientific Research and Engineering Development* [en línea], 2019, vol. 2, no. May. ISSN 2581-7175. DOI 10.13140/RG.2.2.32888.80649. Disponible en: [www.ijred.com](http://www.ijred.com).

**RAOUDI, M.: et al.** Gear fault detection using artificial neural networks with discrete wavelet transform and principal component analysis. *Journal of Mechanical Engineering and Sciences*, 2016, vol. 10, no. 2. ISSN 22318380. DOI 10.15282/jmes.10.2.2016.6.0190.

**RODA, V.** Simulación del engrane y análisis del contacto en sistemas de transmisión por engranajes mediante la modelización avanzada del conjunto ejes-engranajes. [en línea], 2015, pp. 328. Disponible en: <http://repositori.uji.es/xmlui/handle/10803/371447>.

**RODRÍGUEZ, C.: et al.** Diseño y desarrollo de banco de transmisión con engranes rectos modulares M3 para prácticas de laboratorio. [en línea], 2019, no. 33, pp. 12-15. Disponible en: <https://revista.utnay.edu.mx/index.php/ut/article/view/24>.

**RODRÍGUEZ, D.A.** *Aplicación de la termografía infrarroja como método de inspección no destructivo para el mantenimiento predictivo del proceso de extrusión de tubería en PVC*. [en línea]. S.l.: Universidad Nacional de Colombia, 2017. Disponible en:

<https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/60891/TESIS- MAESTRÍA EN Ingeniería mecánica -didier aldana rodríguez -79953235.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

**SÁNCHEZ, R.** Diagnóstico de fallos en cajas de engranajes mediante la aplicación de diferentes técnicas de inteligencia artificial. *Universidad Compluense de Madrid* [en línea], 2017, pp. 1-85. Disponible en: <https://docplayer.es/77540368-Tesis-doctoral-tesis-doctoral.html>.

**SÁNCHEZ, A.M.** Técnicas De Mantenimiento Predictivo. Metodología De Aplicación En Las Organizaciones. *Development*, 2017, vol. 134, no. 4, pp. 635-646.

**SUÁREZ, J.** *Deterioro y modo de fallo en engranajes* [en línea]. S.l.: Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas Facultad de Ingeniería Mecánica e Industrial. Departamento de Ingeniería Mecánica, 2017. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/282133669\\_Deterioro\\_y\\_modos\\_de\\_fallo\\_en\\_engranajes#:~:text=El modo de fallo más,abrasivo del diente \(10%25\)](https://www.researchgate.net/publication/282133669_Deterioro_y_modos_de_fallo_en_engranajes#:~:text=El modo de fallo más,abrasivo del diente (10%25)).

**VACA, C.: et al.** Selección de materiales mediante uso de multicriterio aplicado a un engranaje helicoidal de la caja de cambios de Dmax 3.0. *CienciAmérica*, 2020, vol. 9, no. 1, pp. 34. ISSN 1390-681X. DOI 10.33210/ca.v9i1.171.

**VALENCIA, A.** *Diseñar una metodología para determinar los niveles de degradación mediante señales de vibración en rodamientos, usando fusión de datos y conglomerados, con optimización de parámetros por algoritmos genéticos.* [en línea]. S.l.: Universidad Tecnológica de Pereira Facultad de Ingeniería Eléctrica Pereira, Risaralda, Colombia, 2018. Disponible en: <https://repositorio.utp.edu.co/items/9f97b97f-ad2f-43c0-9045-07e71f41cfe7>.

**VILLARREAL, C. & LEÓN, E.** *Análisis de espectros de frecuencia de vibraciones de engranajes en el reductor planetario Flender de la transmisión del molino 3 del área de Extracción de la Agroindustrial Cartavio S.A.A.* [en línea]. S.l.: Universidad nacional de trujillo facultad de ingeniería escuela profesional de ingeniería mecánica, 2020. Disponible en: <https://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/16062>.

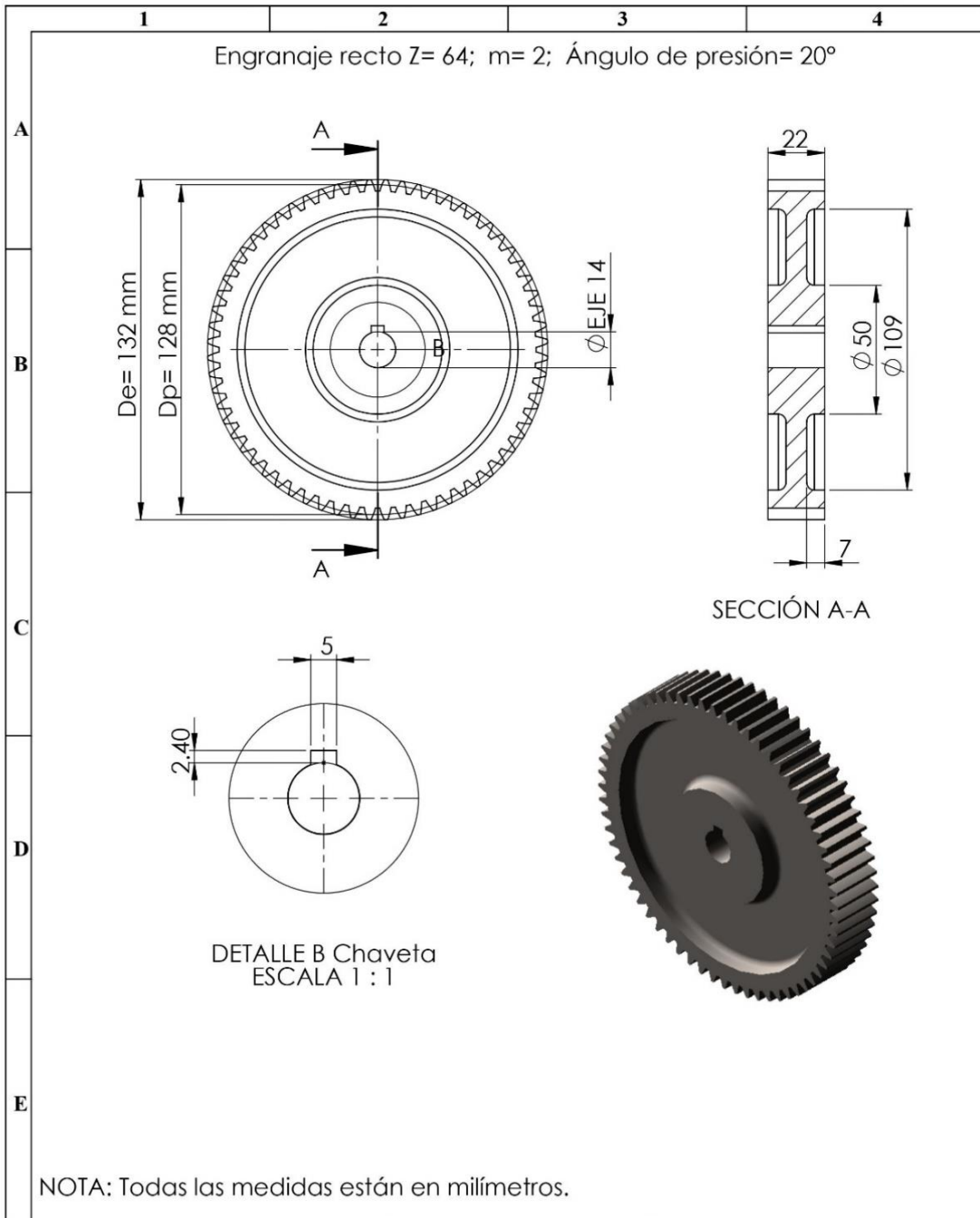
**WHITE, G.** Introducción al Análisis de Vibraciones. *International Computer Music Conference*, 2010, pp. 18-30.

**ZHAO, X.: et al.** Deep Laplacian Auto-encoder and its application into imbalanced fault

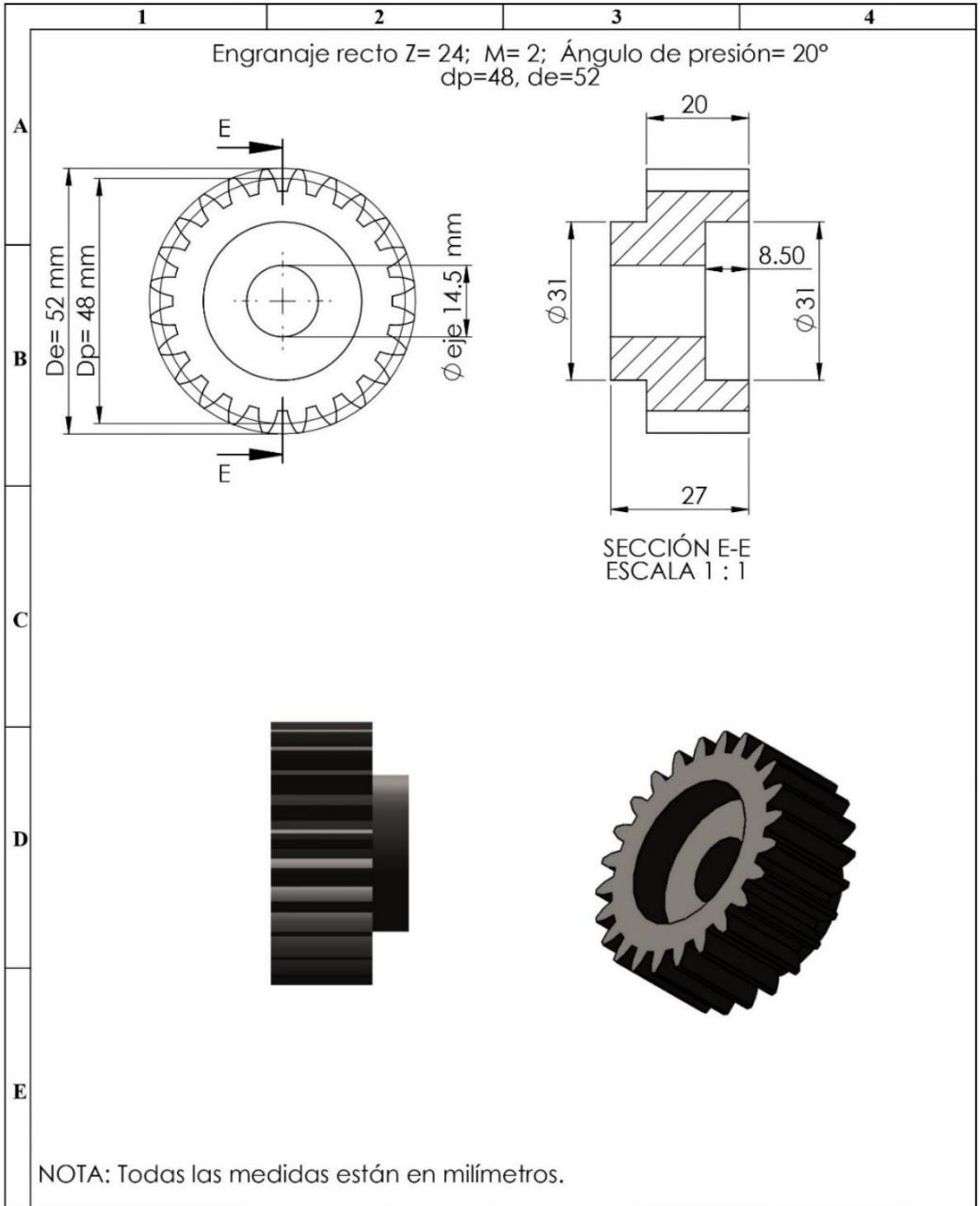
diagnosis of rotating machinery. *Measurement: Journal of the International Measurement Confederation* [en línea], 2020, vol. 152, pp. 107320. ISSN 02632241. DOI 10.1016/j.measurement.2019.107320. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2019.107320>.

# ANEXOS

## ANEXO A: Planos de ruedas dentadas



Nº. Lámina: 1 de 2	Nº. Hojas: 2	Sustitución:	Codificación: FM-EIM-MER-D-001-01-2015	<b>ESPOCH</b> <b>FACULTAD DE MECÁNICA</b> INGENIERIA DE MANTENIMIENTO INDUSTRIAL			
Email: Teléfonos:			Denominación:		Peso [Kg]	Tolerancia	Registro
Datos	Nombre	Firma	Fecha			1:2	
Proyectó				Materiales:		ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD INTELLECTUAL EXCLUSIVA DE LA ESPOCH CUALQUIER USO Y REPRODUCCION TOTAL O PARCIAL NO AUTORIZADA CONSTITUYE VIOLACION DE LOS DERECHOS DEL AUTOR PENADA POR LA LEY	
Dibujó				Nombre de archivo:			
Revisó							
Aprobó							



NOTA: Todas las medidas están en milímetros.

Nº. Lámina: 2 de 2	Nº. Hojas: 2	Sustitución:	Codificación: FM-EIM-MER-D-001-01-2015	<b>ESPOCH</b> <b>FACULTAD DE MECÁNICA</b>			
Email: Teléfonos:			Denominación:	INGENIERIA DE MANTENIMIENTO INDUSTRIAL			
Datos	Nombre	Firma		Fecha	Peso [Kg]	Tolerancia	Escala
Proyectó						1:1	
Dibujó				Materiales:	ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD INTELLECTUAL EXCLUSIVA DE LA ESPOCH CUALQUIER USO Y REPRODUCCION TOTAL O PARCIAL NO AUTORIZADA CONSTITUYE VIOLACION DE LOS DERECHOS DEL AUTOR PENADA POR LA LEY		
Revisó							
Aprobó				Nombre de archivo:			



**ANEXO B:** Base de datos en formato excel.

Item	LUBRICACIÓN	ESTADO	PUNTO	Velocidad angular eje del motor RPM	1X-ENGRANE (Hz)	2X-ENGRANE (Hz)	1X-PINON (Hz)	GMF (Hz)	2GMF (Hz)	3GMF (Hz)
1	Ruedas sanas/con lub.	0	P1 V	1786,931	29,782	59,564	79,518	1906,060	3812,120	5718,179
2	Ruedas sanas/con lub.	0	P1 V	1783,438	29,724	59,448	79,363	1902,334	3804,668	5707,001
3	Ruedas sanas/con lub.	0	P1 V	1785,139	29,752	59,505	79,439	1904,148	3808,297	5712,445
4	Ruedas sanas/con lub.	0	P1 V	1786,097	29,768	59,537	79,481	1905,170	3810,340	5715,511
5	Ruedas sanas/con lub.	0	P1 V	1785,339	29,756	59,511	79,448	1904,362	3808,723	5713,085
6	Ruedas sanas/con lub.	0	P1 V	1784,304	29,738	59,477	79,402	1903,258	3806,514	5709,772
7	Ruedas sanas/con lub.	0	P1 V	1791,53	29,859	59,718	79,723	1910,965	3821,931	5732,896
1991	Ambas ruedas rotas sin lub	0	P2 H	1784,981	29,750	59,499	79,432	1903,980	3807,959	5711,939
1992	Ambas ruedas rotas sin lub	0	P2 H	1786,057	29,768	59,535	79,480	1905,127	3810,255	5715,382
1993	Ambas ruedas rotas sin lub	0	P2 H	1785,283	29,755	59,509	79,445	1904,302	3808,604	5712,905
1994	Ambas ruedas rotas sin lub	0	P2 H	1784,057	29,734	59,469	79,391	1902,994	3805,988	5708,982
1995	Ambas ruedas rotas sin lub	0	P2 H	1784,078	29,735	59,469	79,391	1903,016	3806,033	5709,050
1996	Ambas ruedas rotas sin lub	0	P2 H	1784,801	29,747	59,493	79,424	1903,788	3807,575	5711,363
1997	Ambas ruedas rotas sin lub	0	P2 H	1785,150	29,753	59,505	79,439	1904,160	3808,320	5712,480
1998	Ambas ruedas rotas sin lub	0	P2 H	1785,924	29,765	59,531	79,474	1904,986	3809,971	5714,957
1999	Ambas ruedas rotas sin lub	0	P2 H	1785,069	29,751	59,502	79,436	1904,074	3808,147	5712,221
2000	Ambas ruedas rotas sin lub	0	P2 H	1784,336	29,739	59,478	79,403	1903,292	3806,583	5709,875

3,25 GMF	AMPLITUD (mm/s)	RMS total (g)	Termografía de referencia	Distancia (1m)	Humedad Relativa	Emisividad	Temperatura ambiente	C1:Temperatura máxima	C1:Coordenadas de la temperatura máxima (X)	C1:Coordenadas de la temperatura máxima (Y)	C1: Temperatura media	C1:Coordenadas de la temperatura mínima (X)	C1:Coordenadas de la temperatura mínima (Y)
6194,694	0,139	1,683	4163	1	0,46	0,95	23,1	45,2	97	108	38	99	81
6182,585	0,148	1,707	4164	1	0,46	0,95	23,1	47,7	99	110	39	103	135
6188,482	0,16	1,683	4165	1	0,46	0,95	23,1	49,7	101	110	40	94	118
6191,803	0,123	1,683	4166	1	0,46	0,95	23,1	50,0	101	110	40	107	102
6189,175	0,136	1,696	4167	1	0,46	0,95	23,1	51,1	99	112	41	103	86
6185,587	0,126	1,600	4168	1	0,46	0,95	23,1	51,7	101	108	44	103	87
6210,637	0,131	1,745	4169	1	0,46	0,95	23,1	52,3	99	108	44	94	116
6187,934	6,513	2,156	7308	1	0,44	0,95	23,9	57,4	101	114	50	103	84
6191,664	4,025	2,174	7309	1	0,44	0,95	23,9	57,9	101	112	51	98	127
6188,981	3,936	2,294	7310	1	0,44	0,95	23,9	58,1	101	114	52	98	127
6184,731	6,7	2,190	7311	1	0,44	0,95	23,9	58,4	101	116	52	103	88
6184,804	6,67	2,161	7312	1	0,44	0,95	23,9	58,5	101	112	51	103	86
6187,310	6,577	2,207	7313	1	0,44	0,95	23,9	59,0	103	116	52	103	88
6188,520	4,152	2,002	7314	1	0,44	0,95	23,9	59,1	103	114	52	105	91
6191,203	4,014	1,923	7315	1	0,44	0,95	23,9	59,4	103	112	53	105	91
6188,239	6,539	2,091	7316	1	0,44	0,95	23,9	59,9	101	116	54	103	86
6185,698	6,166	2,233	7317	1	0,44	0,95	23,9	59,7	103	116	54	105	91

C1:Temperatura mínima	C2:Temperatura máxima	C2:Coordenadas de la temperatura máxima (X)	C2:Coordenadas de la temperatura máxima (Y)	C2:Temperatura media	C2:Coordenadas de la temperatura mínima (X)	C2:Coordenadas de la temperatura mínima (Y)	C2:Temperatura mínima	C3:Temperatura máxima	C3:Coordenadas de la temperatura máxima (X)	C3:Coordenadas de la temperatura máxima (Y)	C3:Temperatura media	C3:Coordenadas de la temperatura mínima (X)	C3:Coordenadas de la temperatura mínima (Y)	C3:Temperatura mínima
26	29	106	100	27	121	100	26	29	159	98	28,60	148	123	28,10
25	28	114	100	26	133	106	25	29	146	93	27,90	153	106	27,50
34	29	115	99	27	127	102	26	30	155	90	29,10	142	108	27,40
31	29	114	99	27	125	100	26	30	157	92	29,20	153	123	28,80
28	32	108	102	29	127	106	27	31	155	94	30,20	142	106	28,30
35	32	110	101	29	125	102	27	31	151	86	30,50	143	102	29,90
37	33	110	99	29	133	104	27	31	145	92	30,80	141	104	29,00
29	36	117	105	33	125	106	30	36	148	81	35,3	155	106	34,7
43	37	123	114	33	125	106	31	36	146	78	35,5	144	106	33,3
44	37	123	114	34	125	114	31	36	148	82	35,6	155	106	35
36	36	123	114	33	125	108	31	36	147	82	35,6	144	106	33,2
39	38	123	112	34	125	106	31	36	146	81	35,6	144	108	33,2
44	37	123	114	34	127	108	31	37	150	79	35,9	146	114	34,7
35	39	124	114	34	127	114	32	37	148	86	35,9	144	106	33,8
38	40	123	114	34	127	114	32	37	146	77	36,2	144	116	33,7
30	38	121	114	34	135	110	32	37	147	80	36,4	144	118	34,9
33	39	123	116	34	127	108	32	37	150	82	36,2	157	106	35,6

C3: Temperatura a minima	Vrms ph-ph	Vrms ph-ph	Vrms ph-ph	Vrms ph-ph	Vrms ph-ph	Vrms ph-ph	Vrms ph-ph	Vrms ph-ph	Vrms ph-ph	Vrms ph-ph	Corriente	Corriente	Corriente	Corriente	Corriente
	L12 Min	L12 Med	L12 Max	L23 Min	L23 Med	L23 Max	L31 Min	L31 Med	L31 Max	L1 Min	L1 Med	L1 Max	L2 Min	L2 Med	L2 Max
28.10	216.76	217.10	217.25	216.02	216.27	216.47	214.92	215.22	215.48	1.30	1.32	1.33	1.37	1.38	
27.50	216.90	217.08	217.28	216.00	216.23	216.48	214.98	215.23	215.50	1.30	1.31	1.32	1.37	1.37	
27.40	216.88	217.08	217.31	216.09	216.29	216.51	215.06	215.28	215.49	1.30	1.31	1.32	1.36	1.37	
28.80	216.94	217.13	217.34	216.05	216.31	216.50	214.98	215.25	215.46	1.30	1.31	1.32	1.36	1.37	
28.30	216.88	217.21	217.44	216.03	216.37	216.55	215.04	215.30	215.48	1.30	1.31	1.32	1.36	1.37	
29.90	216.72	217.00	217.18	215.83	216.16	216.37	214.91	215.20	215.41	1.30	1.31	1.31	1.36	1.36	
29.00	216.71	216.93	217.21	215.79	216.06	216.50	215.07	215.24	215.63	1.30	1.31	1.31	1.35	1.36	
34.7	215.29	215.52	215.86	214.54	214.81	215.16	213.68	213.93	214.26	1.281	1.287	1.292	1.328	1.334	
33.3	215.34	215.52	215.74	214.69	214.91	215.11	213.73	213.95	214.13	1.279	1.284	1.289	1.329	1.334	
35	215.38	215.55	215.67	214.73	214.91	215.05	213.78	213.98	214.13	1.28	1.285	1.29	1.329	1.334	
33.2	215.28	215.56	215.99	214.58	214.85	215.28	213.75	214	214.4	1.281	1.287	1.293	1.327	1.333	
33.2	215.5	215.71	215.84	214.7	214.93	215.11	213.94	214.1	214.29	1.282	1.287	1.292	1.328	1.334	
34.7	215.68	215.86	216.19	214.81	215.06	215.42	213.96	214.18	214.5	1.284	1.288	1.295	1.331	1.336	
33.8	215.66	215.91	216.12	214.91	215.07	215.21	214.06	214.25	214.4	1.285	1.29	1.294	1.332	1.337	
33.7	215.92	216.03	216.12	215.02	215.18	215.36	214.21	214.38	214.63	1.285	1.289	1.294	1.332	1.336	
34.9	215.84	216.05	216.29	215.04	215.25	215.57	214.18	214.44	214.79	1.285	1.289	1.294	1.329	1.335	
35.6	215.99	216.14	216.29	215.15	215.29	215.45	214.35	214.51	214.67	1.285	1.289	1.293	1.33	1.334	

Corriente	Corriente	Corriente	Corriente	Corriente	Corriente	Corriente	Corriente	Corriente	Corriente	Corriente	Corriente	Corriente	Corriente	Corriente	Frecuencia
L2 Med	L2 Max	L3 Min	L3 Med	L3 Max	de Pico L1	de Pico L1	de Pico L1	de Pico L2	de Pico L2	de Pico L2	de Pico L2	de Pico L3	de Pico L3	de Pico L3	Min
1.38	1.39	1.31	1.32	1.33	1.93	1.95	1.99	1.98	2.01	2.04	1.95	1.97	2.00	59.99	
1.37	1.38	1.31	1.32	1.32	1.92	1.94	1.97	1.97	2.00	2.03	1.94	1.96	1.97	59.94	
1.37	1.37	1.31	1.31	1.32	1.91	1.94	1.97	1.97	2.02	2.02	1.94	1.96	1.97	59.98	
1.37	1.37	1.31	1.31	1.32	1.91	1.94	1.96	1.96	1.99	2.02	1.94	1.95	1.97	59.95	
1.37	1.37	1.30	1.31	1.32	1.90	1.93	1.96	1.96	1.99	2.01	1.93	1.95	1.97	59.95	
1.36	1.37	1.30	1.31	1.31	1.91	1.94	1.96	1.96	1.98	2.01	1.93	1.95	1.97	60.00	
1.36	1.36	1.30	1.31	1.32	1.91	1.94	1.97	1.96	1.98	2.00	1.93	1.95	1.96	60.01	
1.334	1.341	1.288	1.293	1.297	1.886	1.91	1.926	1.926	1.946	1.972	1.896	1.912	1.932	59.931	
1.334	1.339	1.289	1.294	1.297	1.888	1.906	1.922	1.926	1.946	1.972	1.89	1.914	1.928	59.971	
1.334	1.339	1.29	1.293	1.296	1.886	1.904	1.92	1.93	1.946	1.968	1.896	1.912	1.932	59.979	
1.333	1.341	1.288	1.293	1.298	1.892	1.908	1.926	1.926	1.944	1.962	1.896	1.912	1.928	59.949	
1.334	1.339	1.288	1.291	1.295	1.894	1.908	1.924	1.928	1.944	1.964	1.896	1.91	1.93	59.969	
1.336	1.343	1.289	1.292	1.297	1.89	1.91	1.93	1.932	1.95	1.974	1.894	1.91	1.928	59.942	
1.337	1.342	1.289	1.293	1.296	1.898	1.91	1.928	1.936	1.95	1.97	1.896	1.91	1.922	59.933	
1.336	1.341	1.289	1.292	1.296	1.89	1.912	1.932	1.934	1.95	1.972	1.894	1.912	1.93	59.96	
1.335	1.342	1.288	1.293	1.298	1.892	1.91	1.93	1.93	1.948	1.974	1.894	1.912	1.93	59.984	
1.334	1.34	1.288	1.291	1.295	1.894	1.912	1.93	1.934	1.948	1.968	1.896	1.91	1.93	60.026	

Frecuencia	Frecuencia	Frecuencia	Frecuencia	Frecuencia	Frecuencia	Potencia	Potencia	Potencia	W Fund	W Fund	W Fund	Potencia	Potencia	Potencia
Min	Med	Max	10s Min	10s Med	10s Max	Activa Total	Activa Total	Activa Total	Total Min	Total Med	Total Max	Aparente	Aparente	Aparente
Min	Med	Max	Min	Med	Max	Min (Wh)	Med	Max	Min	Med	Max	Total Min	Total Med	Total Max
59.99	60.01	60.06	59.99	60.01	60.03	162.00	168.00	180.00	162.00	168.00	180.00	498.00	501.00	507.00
59.94	59.97	60.01	59.95	59.98	60.03	156.00	159.00	162.00	156.00	159.00	162.00	498.00	498.00	501.00
59.98	60.00	60.03	59.98	60.00	60.03	156.00	159.00	159.00	156.00	159.00	159.00	495.00	498.00	501.00
59.95	60.00	60.04	59.96	60.01	60.03	156.00	156.00	159.00	153.00	156.00	159.00	495.00	498.00	498.00
59.95	60.00	60.04	59.96	59.99	60.02	153.00	156.00	156.00	153.00	153.00	156.00	495.00	498.00	501.00
60.00	60.02	60.05	60.01	60.02	60.03	153.00	153.00	156.00	153.00	153.00	156.00	495.00	495.00	498.00
60.01	60.03	60.05	60.01	60.03	60.04	153.00	153.00	156.00	153.00	153.00	156.00	495.00	495.00	498.00
59.931	59.956	59.988	59.938	59.964	59.987	150	150	150	147	150	150	483	486	489
59.971	59.983	59.998	59.963	59.979	59.992	150	150	150	150	150	150	483	486	486
59.979	59.993	60.001	59.975	59.988	59.998	147	150	150	147	150	150	483	486	486
59.949	59.961	59.989	59.954	59.969	59.991	147	150	150	147	150	150	483	486	489
59.969	59.994	60.033	59.96	59.976	60.027	147	150	150	147	150	150	483	486	486
59.942	59.977	60.02	59.952	59.997	60.027	147	150	150	147	150	150	486	486	489
59.933	59.968	59.997	59.946	59.97	59.991	147	150	150	147	150	150	486	486	489
59.96	59.991	60.04	59.946	59.968	60.03	147	150	150	147	150	150	486	486	489
59.984	60.012	60.066	59.988	60.006	60.048	147	150	150	147	147	150	486	486	489
60.026	60.037	60.05	60.03	60.043	60.048	147	147	150	147	147	150	486	486	489

THD	THD	THD	THD	THD	THD	THD	THD	THD	THD	THD	THD	THD	THD	THD	FRECUENCIA	AMPLITUD
V L12	V L23	V L23	V L23	V L31	V L31	A L1	A L1	A L1	A L2	A L2	A L2	A L3	A L3	A L3	(Hz)	
Max	Min	Med	Max	Min	Max	L1 Min	L1 Med	L1 Max	L2 Min	L2 Med	L2 Max	L3 Min	L3 Med	L3 Max		
1.88	1.91	1.98	2.07	1.74	1.79	1.86	1.29	1.45	1.66	1.68	1.99	2.36	1.93	2.19	2.47	-56.68
1.82	1.90	1.95	2.03	1.74	1.78	1.84	1.23	1.40	1.59	1.63	1.87	2.21	1.84	2.09	2.37	-56.74
1.91	1.90	2.00	2.14	1.74	1.82	1.92	1.28	1.44	1.63	1.63	1.90	2.17	1.83	2.12	2.41	-56.04
1.92	1.90	1.99	2.12	1.75	1.81	1.89	1.24	1.43	1.67	1.64	1.88	2.19	1.83	2.11	2.36	-56.56
1.81	1.92	1.96	2.02	1.75	1.81	1.86	1.24	1.40	1.57	1.60	1.85	2.15	1.81	2.09	2.35	-56.33
1.86	1.96	2.02	2.07	1.80	1.88	1.94	1.26	1.43	1.57	1.65	1.87	2.16	1.86	2.11	2.35	-54.95
1.84	1.94	2.02	2.06	1.78	1.86	1.92	1.24	1.42	1.58	1.61	1.85	2.11	1.84	2.08	2.31	-55.29
1.9	1.7	1.76	1.8	1.71	1.76	1.82	1.25	1.35	1.45	1.41	1.53	1.62	1.63	1.72	1.8	-45.56
1.91	1.71	1.75	1.8	1.72	1.78	1.82	1.28	1.36	1.44	1.42	1.55	1.66	1.61	1.72	1.84	-47.83
1.92	1.73	1.77	1.82	1.71	1.76	1.82	1.27	1.36	1.46	1.44	1.55	1.64	1.63	1.71	1.82	-45.81
1.95	1.72	1.79	1.85	1.7	1.76	1.83	1.28	1.36	1.48	1.42	1.55	1.66	1.64	1.73	1.83	-45.96
1.95	1.72	1.78	1.84	1.72	1.79	1.85	1.28	1.39	1.52	1.4	1.54	1.69	1.64	1.75	1.86	-46.79
1.94	1.75	1.79	1.83	1.75	1.8	1.85	1.33	1.4	1.49	1.43	1.53	1.62	1.63	1.75	1.86	-44.82
1.94	1.72	1.79	1.83	1.76	1.82	1.87	1.3	1.4	1.5	1.39	1.53	1.62	1.68	1.76	1.88	-47.24
1.93	1.74	1.78	1.81	1.75	1.8	1.86	1.3	1.4	1.49	1.42	1.52	1.63	1.65	1.77	1.89	-46.55
1.93	1.74	1.78	1.83	1.71	1.77	1.81	1.28	1.39	1.51	1.36	1.52	1.65	1.62	1.75	1.87	-46.05
1.94	1.78	1.8	1.83	1.75	1.78	1.82	1.34	1.4	1.49	1.41	1.51	1.61	1.66	1.74	1.84	-45.56

## ANEXO C: Programación de gráficas en Python

### OBTENCIÓN DE UNA BASE DE DATOS DE VIBRACIÓN, TEMPERATURA, ENERGÍA Y ULTRASONIDO DE LA EVOLUCIÓN DEL DÉSgaste EN RUEDAS DENTADAS

#### Importando librerías

```
In [1]: 1 import pandas as pd # Librería para manipulación y análisis de datos
2 import seaborn as sns # Librería para visualización de datos basada en matplotlib
3 import matplotlib.pyplot as plt # Librería para visualización de datos
4 import numpy as np # Librería para crear vectores y matrices
5 from scipy.stats import shapiro # Importar test shapiro
```

#### Llamar al archivo de datos

```
In [2]: 1 data= pd.read_excel(("C:/Users/Admin/Desktop/Documentos finales Gabriela Cuzco/BASE DE DATOS TESIS.xlsx"),header= 0) # LLama
2 print(data.shape) # Imprimir la dimensión del dataset (filas y columnas)
3 data[:6] # Mostrar las primeras 6 filas de la base de datos
```

(2040, 102)

Out[2]:

Item	Lubricación	Estado	Punto	Velocidad angular eje del motor RPM	1X- ENGRANE [Hz]	2X- ENGRANE [Hz]	1X- PIÑON [Hz]	GMF [Hz]	2GMF [Hz]	...	THD A L1 Med [%]	THD A L1 Max [%]	THD A L2 Min [%]	THD A L2 Med [%]	THD A L2 Max [%]	THD A L3 Min [%]	THD A L3 Med [%]	THD A L3 Max [%]	Frecuen [Hz]	
0	1	Ruedas sanas/con lub.	0	P1 V	1786.931	29.782	59.564	79.518	1906.060	3812.120	...	1.45	1.66	1.68	1.99	2.36	1.93	2.19	2.47	991
1	2	Ruedas sanas/con lub.	0	P1 V	1783.438	29.724	59.448	79.363	1902.334	3804.668	...	1.40	1.59	1.63	1.87	2.21	1.84	2.09	2.37	971
2	3	Ruedas sanas/con lub.	0	P1 V	1785.139	29.752	59.505	79.439	1904.148	3808.297	...	1.44	1.63	1.63	1.90	2.17	1.83	2.12	2.41	1031
3	4	Ruedas sanas/con lub.	0	P1 V	1786.097	29.768	59.537	79.481	1905.170	3810.340	...	1.43	1.67	1.64	1.88	2.19	1.83	2.11	2.36	1031
4	5	Ruedas sanas/con lub.	0	P1 V	1785.339	29.756	59.511	79.448	1904.362	3808.723	...	1.40	1.57	1.60	1.85	2.15	1.81	2.09	2.35	981
5	6	Ruedas sanas/con lub.	0	P1 V	1784.304	29.738	59.477	79.402	1903.258	3806.514	...	1.43	1.57	1.65	1.87	2.16	1.86	2.11	2.35	1031

6 rows x 102 columns

#### Eliminación de variables no necesarias

```
In [3]: 1 data1= data.drop(['Estado','termograma de referencia','Emisividad'], axis= 1) # Eliminación de 3 variables y guardar en una
2 data1 # Mostrar el nuevo dataset con variables eliminadas
```

Out[3]:

Item	Lubricación	Punto	Velocidad angular eje del motor RPM	1X- ENGRANE [Hz]	2X- ENGRANE [Hz]	1X- PIÑON [Hz]	GMF [Hz]	2GMF [Hz]	3GMF [Hz]	...	THD A L1 Med [%]	THD A L1 Max [%]	THD A L2 Min [%]	THD A L2 Med [%]	THD A L2 Max [%]	THD A L3 Min [%]	THD A L3 Med [%]	THD A L3 Max [%]	Frec
0	1	Ruedas sanas/con lub.	P1 V	1786.931	29.782	59.564	79.518	1906.060	3812.120	5718.179	...	1.45	1.66	1.68	1.99	2.36	1.93	2.19	2.47
1	2	Ruedas sanas/con lub.	P1 V	1783.438	29.724	59.448	79.363	1902.334	3804.668	5707.001	...	1.40	1.59	1.63	1.87	2.21	1.84	2.09	2.37
2	3	Ruedas sanas/con lub.	P1 V	1785.139	29.752	59.505	79.439	1904.148	3808.297	5712.445	...	1.44	1.63	1.63	1.90	2.17	1.83	2.12	2.41
3	4	Ruedas sanas/con lub.	P1 V	1786.097	29.768	59.537	79.481	1905.170	3810.340	5715.511	...	1.43	1.67	1.64	1.88	2.19	1.83	2.11	2.36
4	5	Ruedas sanas/con lub.	P1 V	1785.339	29.756	59.511	79.448	1904.362	3808.723	5713.085	...	1.40	1.57	1.60	1.85	2.15	1.81	2.09	2.35
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
2035	2036	Ambas ruedas rotas sin lub	P2 H	1785.895	29.765	59.530	79.472	1904.955	3809.909	5714.864	...	1.38	1.48	1.38	1.48	1.59	1.61	1.69	1.81
2036	2037	Ambas ruedas rotas sin lub	P2 H	1787.328	29.789	59.578	79.536	1906.483	3812.966	5719.45	...	1.39	1.52	1.37	1.50	1.63	1.59	1.71	1.83
2037	2038	Ambas ruedas rotas sin lub	P2 H	1783.312	29.722	59.444	79.357	1902.199	3804.399	5706.599	...	1.37	1.44	1.43	1.52	1.60	1.63	1.71	1.80
2038	2039	Ambas ruedas rotas sin lub	P2 H	1783.108	29.718	59.437	79.348	1901.982	3803.964	5705.946	...	1.39	1.49	1.40	1.52	1.62	1.63	1.72	1.83



```

68 Frecuencia 10s Med                2040 non-null float64
69 Frecuencia 10s Max                2040 non-null float64
70 Potencia Activa Total Min [W]      2040 non-null int64
71 Potencia Activa Total Med [W]     2040 non-null int64
72 Potencia Activa Total Max [W]     2040 non-null int64
73 W Fund Total Min [W]              2040 non-null int64
74 W Fund Total Med [W]              2040 non-null int64
75 W Fund Total Max [W]              2040 non-null int64
76 Potencia Aparente Total Min [VA]  2040 non-null int64
77 Potencia Aparente Total Med [VA]  2040 non-null int64
78 Potencia Aparente Total Max [VA]  2040 non-null int64
79 THD V L12 Min [%]                 2040 non-null float64
80 THD V L12 Med [%]                 2040 non-null float64
81 THD V L12 Max [%]                 2040 non-null float64
82 THD V L23 Min [%]                 2040 non-null float64
83 THD V L23 Med [%]                 2040 non-null float64
84 THD V L23 Max [%]                 2040 non-null float64
85 THD V L31 Min [%]                 2040 non-null float64
86 THD V L31 Med [%]                 2040 non-null float64
87 THD V L31 Max [%]                 2040 non-null float64
88 THD A L1 Min [%]                  2040 non-null float64
89 THD A L1 Med [%]                  2040 non-null float64
90 THD A L1 Max [%]                  2040 non-null float64
91 THD A L2 Min [%]                  2040 non-null float64
92 THD A L2 Med [%]                  2040 non-null float64
93 THD A L2 Max [%]                  2040 non-null float64
94 THD A L3 Min [%]                  2040 non-null float64
95 THD A L3 Med [%]                  2040 non-null float64
96 THD A L3 Max [%]                  2040 non-null float64
97 Frecuencia [Hz]                   2040 non-null float64
98 Amplitud [-]                       2040 non-null float64

```

dtypes: float64(72), int64(23), object(4)  
memory usage: 1.5+ MB

### Valores faltantes

```
In [5]: 1 print('Valores faltantes: ',data1.isna().sum().sum()) # Imprime valores faltantes en caso de existirLos
```

Valores faltantes: 0

No existen valores faltantes

```
In [6]: 1 print("Filas duplicadas : ",data1.duplicated().sum()) # Imprime filas duplicadas en caso de existirLas
```

Filas duplicadas : 0

No existen filas duplicadas

### Estadísticos básicos

```
In [7]: 1 data1.describe() #Cálculo de las medidas estadísticas básicas
```

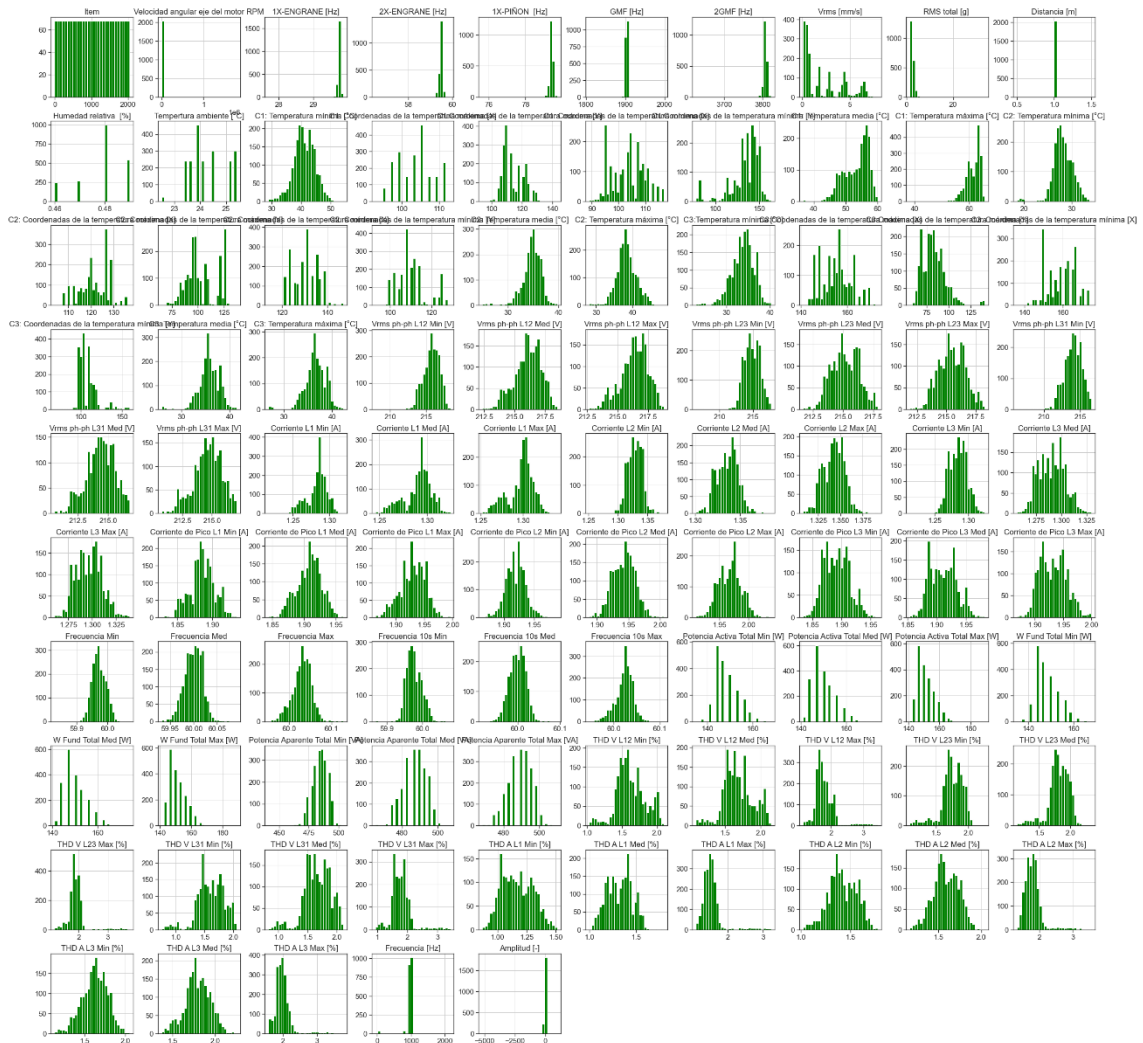
Out[7]:

	Item	Velocidad angular eje del motor RPM	1X- ENGRANE [Hz]	2X- ENGRANE [Hz]	1X-PIÑÓN [Hz]	GMF [Hz]	2GMF [Hz]	Vrms [mm/s]	RMS total [g]	Distancia [m]	THD A L1 Med [%]	T
count	2040.000000	2.0400000e+03	2040.000000	2040.000000	2040.000000	2040.000000	2040.000000	2040.000000	2040.000000	2040.0	2040.000000	2040
mean	1020.500000	2.657375e+03	29.738830	59.478508	79.405000	1903.343491	3806.506381	2.189780	2.410494	1.0	1.321574	1
std	589.041594	3.942710e+04	0.056932	0.111899	0.119462	4.135829	7.201031	2.128007	1.050844	0.0	0.131238	0
min	1.000000	1.775473e+03	27.709000	56.510000	75.650000	1808.331000	3626.667000	0.085000	1.408000	1.0	1.000000	1
25%	510.750000	1.783634e+03	29.727000	59.454000	79.372000	1902.551250	3805.086750	0.413000	1.904750	1.0	1.220000	1
50%	1020.500000	1.784646e+03	29.744000	59.487000	79.415000	1903.590500	3807.176000	1.460000	2.176500	1.0	1.330000	1
75%	1530.250000	1.785606e+03	29.760000	59.520000	79.459000	1904.640000	3809.270250	4.183750	2.785250	1.0	1.410000	1
max	2040.000000	1.782563e+06	29.859000	59.910000	79.723000	1998.419000	3821.931000	7.930000	33.548000	1.0	1.800000	1

8 rows x 95 columns

### Histograma de variables

```
In [8]: 1 sns.set(style="ticks", font_scale=1.4) # Definiendo el estilo y fondo de escala de los histogramas
2 data1.hist(bins=30, figsize=(40,40),color='green') # Definiendo el tamaño de la figura, el color y tamaño de parcelas
3 plt.show() # Mostrando histogramas
```

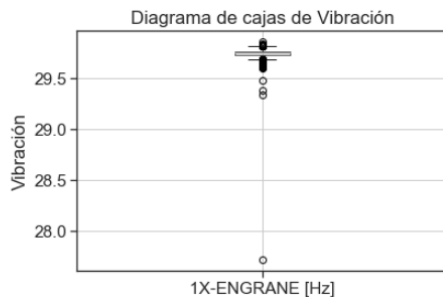


## Chequeando valores atípicos

## Diagramas de cajas para algunas variables

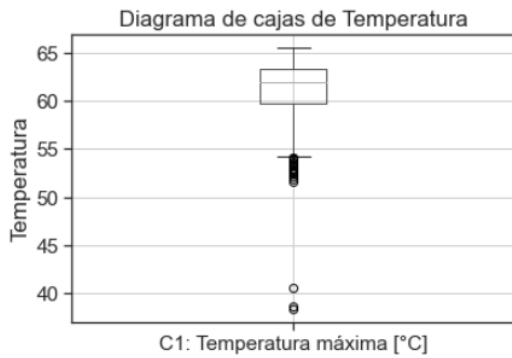
### Diagrama de cajas de vibraciones

```
In [9]: 1 data1.boxplot(column='1X-ENGRANE [Hz]') # Creando gráfico y definiendo variable a graficar
2 plt.ylabel('Vibración') # Definiendo nombre al eje y
3 plt.title('Diagrama de cajas de Vibración') # Definiendo título del gráfico
4 plt.show() # Mostrando gráfica
```



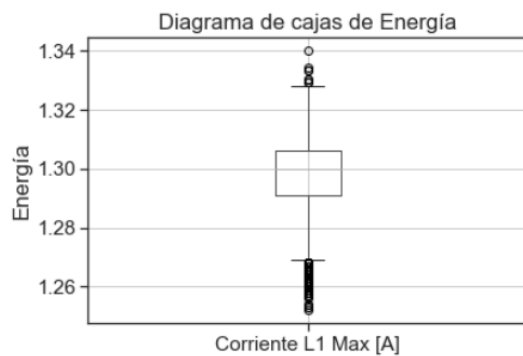
### Diagrama de cajas de temperatura

```
In [10]: 1 data1.boxplot(column='C1: Temperatura máxima [°C]') # Creando gráfico y definiendo variable a graficar
2 plt.ylabel('Temperatura') # Definiendo nombre al eje y
3 plt.title('Diagrama de cajas de Temperatura') # Definiendo título del gráfico
4 plt.show() # Mostrando gráfica
```



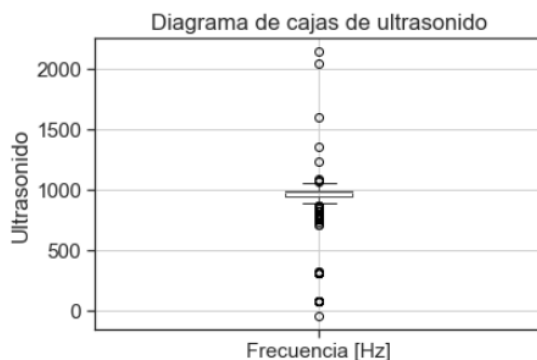
### Diagrama de caja de energía

```
In [11]: 1 data1.boxplot(column= 'Corriente L1 Max [A]') # Creando gráfico y definiendo variable a graficar
2 plt.ylabel('Energía') # Definiendo nombre al eje y
3 plt.title('Diagrama de cajas de Energía') # Definiendo título del gráfico
4 plt.show() # Mostrando gráfica
```



### Diagrama de cajas de ultrasonido

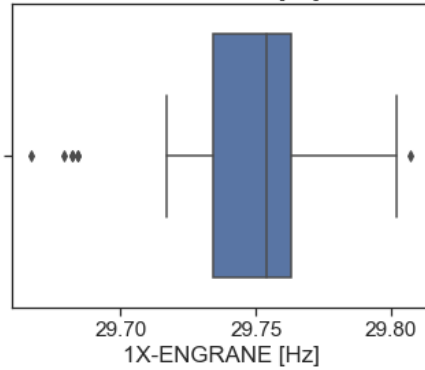
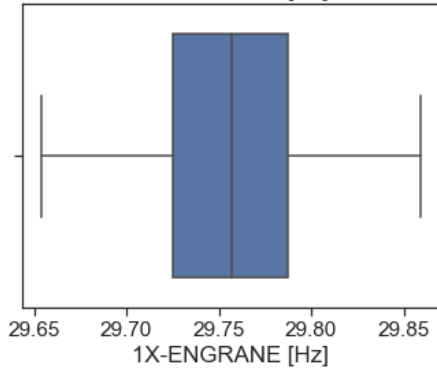
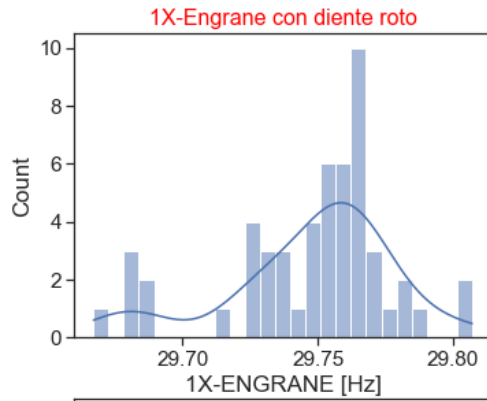
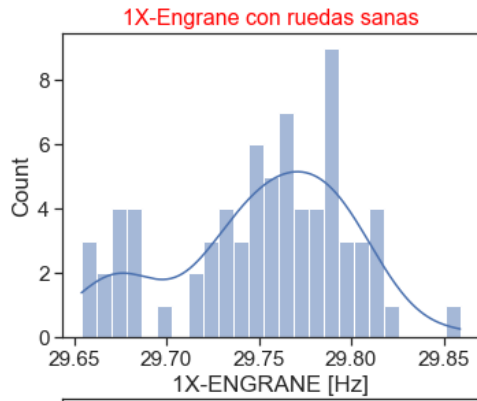
```
In [12]: 1 data1.boxplot(column= 'Frecuencia [Hz]') # Creando gráfico y definiendo variable a graficar
2 plt.ylabel('Ultrasonido') # Definiendo nombre al eje y
3 plt.title('Diagrama de cajas de ultrasonido') # Definiendo título del gráfico
4 plt.show() # Mostrando gráfica
```



## Comparación de variables con y sin lubricante

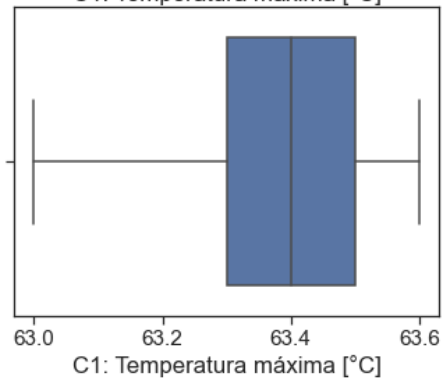
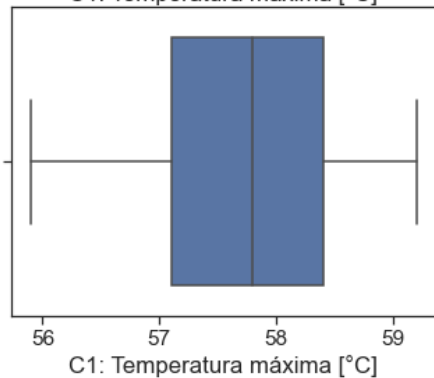
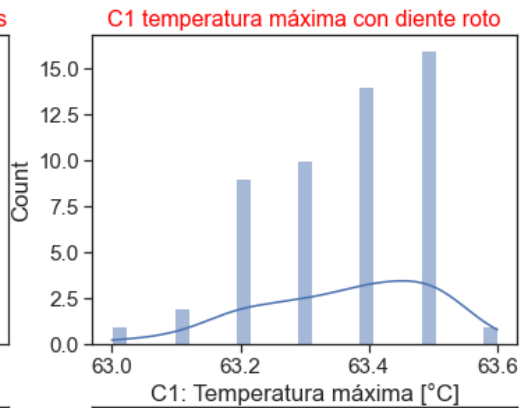
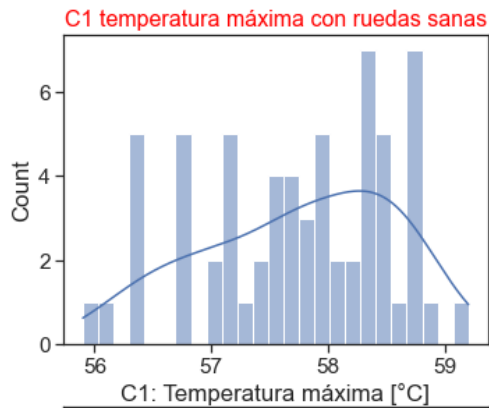
### Vibración

```
In [13]: 1 fig, ax = plt.subplots(2, 2, figsize=(12,9)) # Sirve para dar tamaño a la imagen
2 sns.histplot(data=data1.iloc[2:75], x='1X-ENGRANE [Hz]', kde=True, ax=ax[0,0], bins=25) #Gráfica del histograma de 1x piñón
3 sns.histplot(data=data1.iloc[1683:1736], x='1X-ENGRANE [Hz]', kde=True, ax=ax[0,1], bins=25) #Gráfica del histograma de 1x piñ
4 sns.boxplot(data=data1.iloc[2:75], x='1X-ENGRANE [Hz]', ax=ax[1,0]) #Diagrama de cajas con Lubricante 1x piñon
5 sns.boxplot(data=data1.iloc[1683:1736], x='1X-ENGRANE [Hz]', ax=ax[1,1]) #Diagrama de cajas sin lubricante 1x piñon
6 ax[0,0].set_title('1X-Engrane con ruedas sanas',fontsize= 16, color= 'red')
7 ax[0,1].set_title('1X-Engrane con diente roto',fontsize= 16, color= 'red')
8 plt.show()
```



### Temperatura

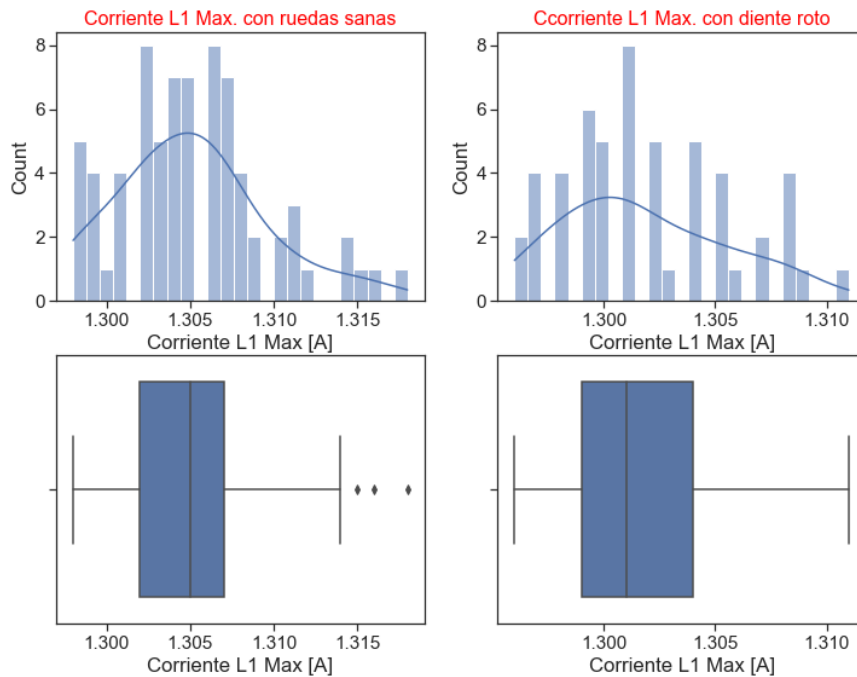
```
In [14]: 1 fig, ax = plt.subplots(2, 2, figsize=(12,9)) # Sirve para dar tamaño a la imagen
2 sns.histplot(data=data1.iloc[10:74], x='C1: Temperatura máxima [°C]', kde=True, ax=ax[0,0],bins=25,) #Gráfica del histograma
3 sns.histplot(data=data1.iloc[1683:1736], x='C1: Temperatura máxima [°C]', kde=True, ax=ax[0,1],bins=25)#Gráfica del histogra
4 sns.boxplot(data=data1.iloc[10:74], x='C1: Temperatura máxima [°C]', ax=ax[1,0]) #Diagrama de cajas con Lubricante C1 temp.
5 sns.boxplot(data=data1.iloc[1683:1736], x='C1: Temperatura máxima [°C]', ax=ax[1,1]) #Diagrama de cajas sin Lubricante C3 te
6 ax[0,0].set_title('C1 temperatura máxima con ruedas sanas',fontsize= 16, color= 'red')
7 ax[0,1].set_title('C1 temperatura máxima con diente roto',fontsize= 16, color= 'red')
8 plt.show()
```





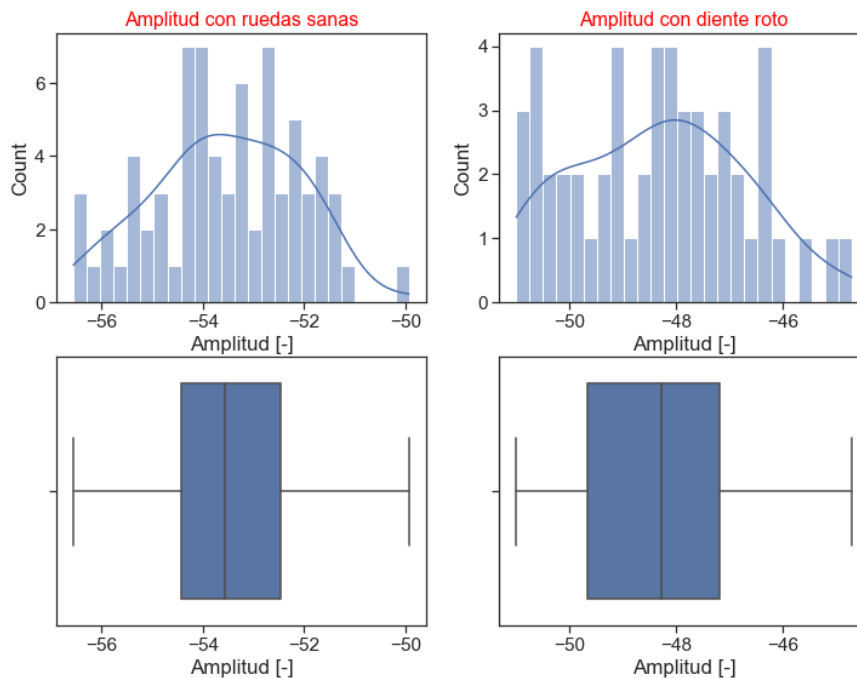
## Energía

```
In [15]: 1 fig, ax = plt.subplots(2, 2, figsize=(12,9)) # Sirve para dar tamaño a la imagen
2         sns.histplot(data=data1.iloc[2:75], x='Corriente L1 Max [A]', kde=True, ax=ax[0,0], bins=25) #Gráfica del histograma de Corr
3         sns.histplot(data=data1.iloc[1683:1736], x='Corriente L1 Max [A]', kde=True, ax=ax[0,1], bins=25) #Gráfica del histograma de c
4         sns.boxplot(data=data1.iloc[2:75], x='Corriente L1 Max [A]', ax=ax[1,0]) #Diagrama de cajas con Lubricante Corriente en L1 m
5         sns.boxplot(data=data1.iloc[1683:1736], x='Corriente L1 Max [A]', ax=ax[1,1]) #Diagrama de cajas sin Lubricante Corriente en
6         ax[0,0].set_title('Corriente L1 Max. con ruedas sanas', fontsize= 16, color= 'red')
7         ax[0,1].set_title('Corriente L1 Max. con diente roto', fontsize= 16, color= 'red')
8         plt.show()
```



## Ultrasonido

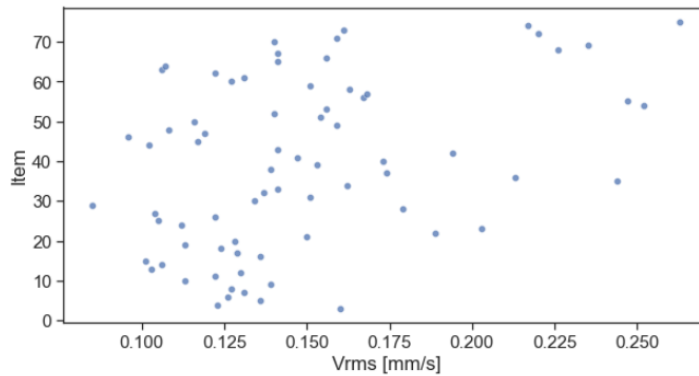
```
In [16]: 1 fig, ax = plt.subplots(2, 2, figsize=(12,9)) # Sirve para dar tamaño a la imagen
2         sns.histplot(data=data1.iloc[2:75], x='Amplitud [-]', kde=True, ax=ax[0,0], bins=25) #Gráfica del histograma de Decibeles co
3         sns.histplot(data=data1.iloc[1683:1736], x='Amplitud [-]', kde=True, ax=ax[0,1], bins=25) #Gráfica del histograma de Decibeles
4         sns.boxplot(data=data1.iloc[2:75], x='Amplitud [-]', ax=ax[1,0]) #Diagrama de cajas de Decibeles con Lubricante
5         sns.boxplot(data=data1.iloc[1683:1736], x='Amplitud [-]', ax=ax[1,1]) #Diagrama de cajas de Decibeles sin Lubricante
6         ax[0,0].set_title('Amplitud con ruedas sanas', fontsize= 16, color= 'red')
7         ax[0,1].set_title('Amplitud con diente roto', fontsize= 16, color= 'red')
8         plt.show()
```



# Graficos de dispersion con ruedas sanas

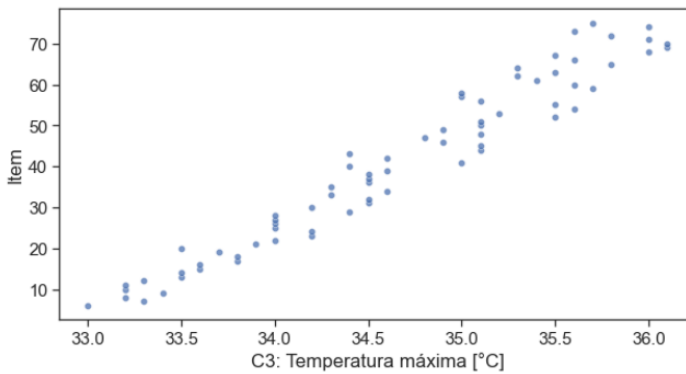
## Vibración

```
In [17]: 1 plt.figure(figsize=(10,5)) #configurar el tamaño de la gráfica
2 sns.scatterplot(x='Vrms [mm/s]', y='Item',
3 alpha=0.75, data=data1.iloc[2:75])
4 plt.xlabel('Vrms [mm/s]')
5 plt.ylabel('Item')
6 plt.show()
```



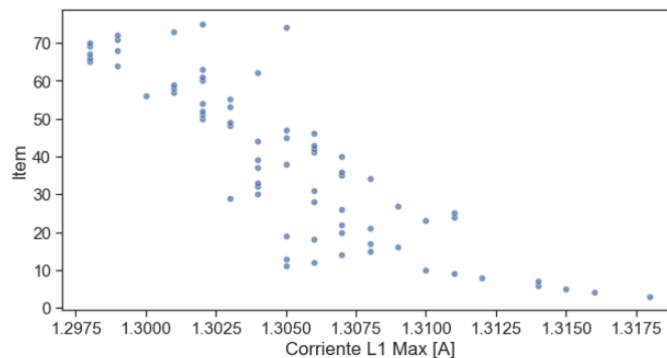
## Temperatura

```
In [18]: 1 plt.figure(figsize=(10,5))
2 sns.scatterplot(x='C3: Temperatura máxima [°C]', y='Item',
3 alpha=0.75, data=data1.iloc[5:75])
4 plt.xlabel('C3: Temperatura máxima [°C]')
5 plt.ylabel('Item')
6 plt.show()
```



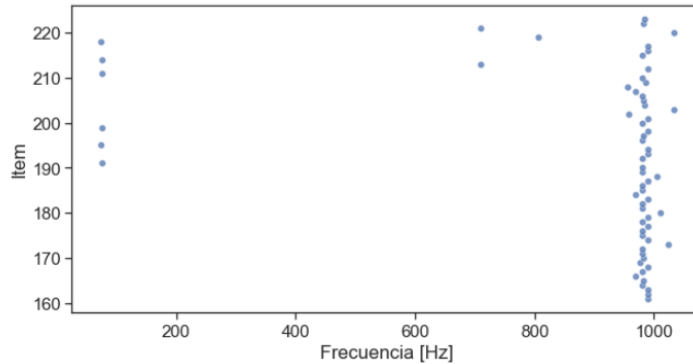
## Energía

```
In [19]: 1 plt.figure(figsize=(10,5))
2 sns.scatterplot(x='Corriente L1 Max [A]', y='Item',
3 alpha=0.75, data=data1.iloc[2:75])
4 plt.xlabel('Corriente L1 Max [A]')
5 plt.ylabel('Item')
6 plt.show()
```



## ultrasonido

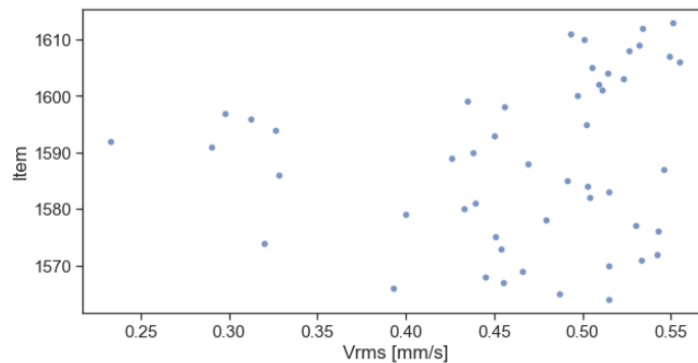
```
In [20]: 1 plt.figure(figsize=(10,5))
2 sns.scatterplot(x='Frecuencia [Hz]', y='Item',
3 alpha=0.75, data=data1.iloc[160:223])
4 plt.xlabel('Frecuencia [Hz]')
5 plt.ylabel('Item')
6 plt.show()
```



## Graficos de dispersión sin lubricante diente roto

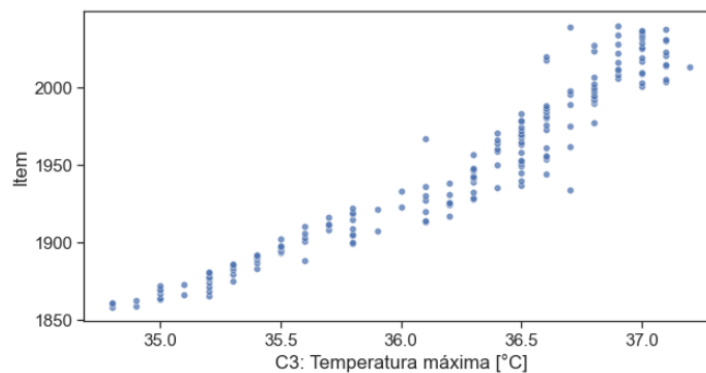
### Vibración

```
In [21]: 1 plt.figure(figsize=(10,5)) #configurar el tamaño de la gráfica
2 sns.scatterplot(x='Vrms [mm/s]', y='Item',
3 alpha=0.75, data=data1.iloc[1563:1613])
4 plt.xlabel('Vrms [mm/s]')
5 plt.ylabel('Item')
6 plt.show()
```



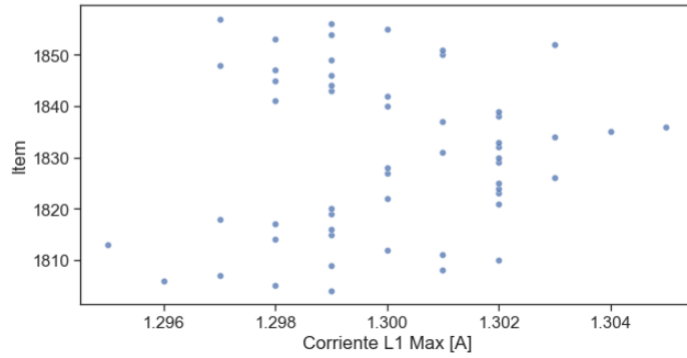
### Temperatura

```
In [22]: 1 plt.figure(figsize=(10,5))
2 sns.scatterplot(x='C3: Temperatura máxima [°C]', y='Item',
3 alpha=0.75, data=data1.iloc[1857:2041])
4 plt.xlabel('C3: Temperatura máxima [°C]')
5 plt.ylabel('Item')
6 plt.show()
```



## Energía

```
In [23]: 1 plt.figure(figsize=(10,5))
2 sns.scatterplot(x='Corriente L1 Max [A]', y='Item',
3 alpha=0.75, data=data1.iloc[1803:1857])
4 plt.xlabel('Corriente L1 Max [A]')
5 plt.ylabel('Item')
6 plt.show()
```



## Ultrasonido

```
In [24]: 1 plt.figure(figsize=(10,5))
2 sns.scatterplot(x='Frecuencia [Hz]', y='Item',
3 alpha=0.75, data=data1.iloc[964:1019])
4 plt.xlabel('Frecuencia [Hz]')
5 plt.ylabel('Item')
6 plt.show()
```

