



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE MECÁNICA**

**CARRERA MANTENIMIENTO INDUSTRIAL**

**“CARACTERIZACIÓN DEL ESPECTRO DE VIBRACIONES DE  
RODAMIENTOS DE LAS RUEDAS DELANTERAS DE UN  
AUTOMÓVIL SOMETIDOS A UNA FALLA INCIPIENTE,  
INTERMEDIA Y AVANZADA”**

**Trabajo de Integración Curricular**

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

**INGENIERO EN MANTENIMIENTO INDUSTRIAL**

**AUTORES:**

**CARRASCO CORAL WILSON BOLIVAR**

**NAULA PAUCAR BYRON DAVID**

Riobamba – Ecuador

2022



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE MECÁNICA**

**CARRERA MANTENIMIENTO INDUSTRIAL**

**“CARACTERIZACIÓN DEL ESPECTRO DE VIBRACIONES DE  
RODAMIENTOS DE LAS RUEDAS DELANTERAS DE UN  
AUTOMÓVIL SOMETIDOS A UNA FALLA INCIPIENTE,  
INTERMEDIA Y AVANZADA”**

**Trabajo de Integración Curricular**

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

**INGENIERO EN MANTENIMIENTO INDUSTRIAL**

**AUTORES: CARRASCO CORAL WILSON BOLIVAR**

**NAULA PAUCAR BYRON DAVID**

**DIRECTOR: ING. EDUARDO SEGUNDO HERNÁNDEZ DÁVILA**

Riobamba – Ecuador

2022

© 2022, Wilson Bolivar Carrasco Coral & Byron David Naula Paucar

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.

Nosotros, Wilson Bolivar Carrasco Coral y Byron David Naula Paucar, declaramos que el presente trabajo de integración curricular es de nuestra autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autores asumimos 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, 10 de junio de 2022



**Wilson Bolivar Carrasco Coral**  
**C.I. 0604408930**



**Byron David Naula Paucar**  
**C.I. 0604808691**

**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 “**CARACTERIZACIÓN DEL ESPECTRO DE VIBRACIONES DE RODAMIENTOS DE LAS RUEDAS DELANTERAS DE UN AUTOMÓVIL SOMETIDOS A UNA FALLA INCIPIENTE, INTERMEDIA Y AVANZADA**”, realizado por los señores: **WILSON BOLIVAR CARRASCO CORAL y BYRON DAVID NAULA PAUCAR** 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 Ordóñez Viñán <b>PRESIDENTE DEL TRIBUNAL</b>		2022-06-10
Ing. Eduardo Segundo Hernández Dávila <b>DIRECTOR DE TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR</b>		2022-06-10
Ing. Félix Antonio García Mora <b>MIEMBRO DEL TRIBUNAL</b>		2022-06-10

## **DEDICATORIA**

Con un sentimiento de lealtad, dedico este peldaño de logro a mi madre y hermanos por darme el apoyo necesario y forjarme como un ente de provecho en la sociedad.

*Wilson*

A toda mi familia que siempre me han brindado la fuerza y los consejos necesarios para poder convertirme en un profesional.

*Byron*

## AGRADECIMIENTO

Extiendo un agradecimiento sincero y amoroso a mi madre Gloria Coral, por ser quien jamás se dio por vencida con mis estudios priorizando los mismos, además agradecer a la carrera de Ingeniería de Mantenimiento Industrial por acogerme, formarme académicamente, y plantar la curiosidad del aprendizaje continuo.

*Wilson*

En primera instancia agradezco a mis padres Ángel y Clemencia que siempre me han brindado su apoyo incondicional y permitirme llegar a este punto de mi vida que me encuentro.

*Byron*

## TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	x
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xii
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	xiv
ÍNDICE DE ABREVIATURAS.....	xv
ÍNDICE DE ANEXOS .....	xvi
RESUMEN .....	xviii
SUMMARY .....	xx
INTRODUCCIÓN .....	1

### CAPÍTULO I

1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA .....	2
1.1. Antecedentes.....	2
1.2. Definición del problema .....	3
1.3. Justificación e importancia .....	4
1.4. Objetivos.....	5
1.4.1. <i>Objetivo general</i> .....	5
1.4.2. <i>Objetivos específicos</i> .....	5

### CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO.....	6
2.1. Vibraciones en máquinas rotatorias .....	6
2.2. Caracterización de vibraciones .....	6
2.3. Vibraciones en automóviles .....	6
2.3.1. <i>Vibraciones del vehículo y detección del conductor</i> .....	7
2.4. Como intuir de forma empírica si se requiere un cambio de rodamiento .....	9
2.5. Clasificación general de rodamientos .....	9
2.5.1. <i>Principales características del rodamiento de vehículo</i> .....	10
2.5.1.1. <i>Clasificación general de los rodamientos.</i> .....	11
2.5.1.2. <i>Cargas que soportan los rodamientos de rueda</i> .....	11
2.5.1.3. <i>Generaciones de rodamientos de rueda</i> .....	12
2.5.2. <i>Rodamientos de 1ª generación a utilizar</i> .....	12
2.6. Mantenimiento predictivo en rodamientos.....	13



2.6.1.	<i>Técnicas de mantenimiento predictivo aplicadas a los rodamientos</i> .....	13
2.6.2.	<i>Detección de fallos en rodamientos</i> .....	15
2.7.	<b>Problemas de rodamientos con elementos rodantes</b> .....	15
2.8.	<b>Fallos en rodamientos enfocado a las picaduras</b> .....	17
2.9.	<b>Tipos de análisis vibracionales</b> .....	17
2.9.1.	<i>Principales características de los métodos de análisis de vibraciones</i> .....	18
2.10.	<b>Tribología de rodamientos</b> .....	19
2.10.1.	<i>Importancia de la selección de lubricante y tiempo de cambio del mismo</i> .....	19
2.10.2.	<i>Selección del lubricante</i> .....	20
2.10.2.1.	<i>Volumen del espacio vacío dentro de un rodamiento</i> .....	21
2.10.2.2.	<i>Relación de velocidad</i> .....	21
2.10.2.3.	<i>Porcentaje de llenado de grasa en el espacio vacío del rodamiento</i> .....	21
2.10.2.4.	<i>Cantidad inicial de grasa a aplicar</i> .....	21
2.10.2.5.	<i>Cálculo de la cantidad de grasa para re-lubricación</i> .....	22
2.10.3.	<i>Tipo de lubricante a aplicar en el rodamiento</i> .....	22
2.11.	<b>Técnicas de monitoreo en rodamientos usando análisis de vibraciones</b> .....	22
2.11.1.	<i>Técnica de la envolvente</i> .....	23
2.11.1.1.	<i>Etapa de ataque</i> .....	23
2.11.1.2.	<i>Etapa de decaimiento</i> .....	23
2.11.1.3.	<i>Etapa de sostenimiento</i> .....	23
2.11.1.4.	<i>Etapa de relajación</i> .....	23
2.12.	<b>Software MAINTraQ Predictive</b> .....	24
2.12.1.	<i>Características principales</i> .....	24
2.12.2.	<i>Base de datos de rodamientos</i> .....	24
2.12.3.	<i>Fórmulas para el cálculo de frecuencias características</i> .....	25
2.12.3.1.	<i>Frecuencia de pista externa</i> .....	25
2.12.3.2.	<i>Frecuencia de pista interna</i> .....	25
2.12.3.3.	<i>Frecuencia de giro de bola</i> .....	25
2.12.3.4.	<i>Frecuencia fundamental de la jaula</i> .....	26

### CAPÍTULO III

3.	<b>ADAPTACIÓN DEL MÓDULO Y TOMA DE MEDIDAS</b> .....	27
3.1.	<b>Selección del rodamiento para el análisis de espectro</b> .....	27
3.1.1.	<i>Rodamiento más usado</i> .....	27
3.1.2.	<i>Características de los rodamientos seleccionados para el estudio</i> .....	28
3.2.	<b>Tribología del rodamiento</b> .....	30
3.2.1.	<i>Selección del tipo de lubricante</i> .....	30

3.2.2.	<i>Análisis para la frecuencia de cambio de lubricante .....</i>	33
3.2.3.	<i>Inspección visual del estado de las pistas en los rodamientos a ensayar.....</i>	34
3.3.	<b>Evaluación de la inspección .....</b>	34
3.3.1.	<i>Realizar un check list del módulo de pruebas en rodamientos .....</i>	35
3.3.2.	<i>Mantenimiento al módulo de pruebas.....</i>	35
3.3.2.1.	<i>Cambio de rodamientos del motor .....</i>	35
3.3.2.2.	<i>Colocación de prensaestopas, terminales y cable de conexión de energía.....</i>	37
3.3.2.3.	<i>Selección de pernos de anclaje y base de chumacera .....</i>	37
3.3.2.4.	<i>Cambio y lubricación de chumacera intermedia.....</i>	38
3.3.2.5.	<i>Empotrado de la mesa de trabajo al piso.....</i>	39
3.4.	<b>Diseño de la adaptación para los rodamientos.....</b>	39
3.4.1.	<i>Diseño de la chumacera para rodamientos de doble hilera .....</i>	40
3.4.2.	<i>Diseño y fabricación de bushing para rodamiento-eje.....</i>	40
3.5.	<b>Acoplamiento de la chumacera y colocación del rodamiento .....</b>	41
3.6.	<b>Preparación del módulo de pruebas para la toma de medidas.....</b>	41
3.6.1.	<i>Montaje del módulo de pruebas a la mesa de trabajo .....</i>	42
3.6.2.	<i>Alineación del módulo de pruebas .....</i>	42
3.6.2.1.	<i>Alineación del eje del módulo de pruebas.....</i>	43
3.7.	<b>Procedimiento para inducir la picadura en rodamientos .....</b>	44
3.8.	<b>Cálculo de las frecuencias características a 1 RPM.....</b>	45
3.8.1.	<i>Cálculo de velocidad de sincronismo .....</i>	46
3.8.2.	<i>Entrada de datos para rodamiento de doble hilera.....</i>	47
3.9.	<b>Muestreo para la caracterización.....</b>	48
3.10.	<b>Creación de base de datos para caracterización .....</b>	51
3.11.	<b>Forma de la base de datos .....</b>	52
3.12.	<b>Toma de mediciones de espectros.....</b>	52
3.12.1.	<i>Análisis de la frecuencia de rotación del eje del equipo.....</i>	53
3.13.	<b>Toma de espectros en los planos x, y, z.....</b>	54
3.14.	<b>Caracterización de los espectros obtenidos en las mediciones.....</b>	55

## **CAPÍTULO IV**

4.	<b>RESULTADOS DE LA CARACTERIZACIÓN DE ESPECTROS.....</b>	57
4.1.	<b>Test de normalidad de los datos obtenidos.....</b>	57
4.2.	<b>Cálculo de valores promedio experimentales de frecuencias de fallo .....</b>	59
4.3.	<b>Cálculo de valores promedio de los valores experimentales .....</b>	59
4.4.	<b>Cálculo para hallar el valor del error absoluto de frecuencia de falla .....</b>	60

4.5.	Cálculo para hallar el valor del error relativo de frecuencia de falla.....	60
4.6.	Caracterización SKF por uso normal .....	61
4.6.1.	<i>Promedios y errores porcentuales en rodamiento SKF uso normal</i> .....	61
4.7.	Caracterización SKF fallo incipiente .....	61
4.7.1.	<i>Promedios y errores porcentuales en rodamiento SKF falla incipiente</i> .....	62
4.8.	Caracterización SKF fallo intermedio .....	62
4.8.1.	<i>Promedios y errores porcentuales en rodamiento SKF fallo intermedio</i> .....	62
4.9.	Caracterización SKF fallo avanzado .....	63
4.9.1.	<i>Promedios y errores porcentuales en rodamiento SKF fallo avanzado</i> .....	63
4.10.	Caracterización NTN uso normal .....	64
4.10.1.	<i>Promedios y errores porcentuales en rodamiento NTN uso normal</i> .....	64
4.11.	Caracterización NTN fallo incipiente .....	64
4.11.1.	<i>Promedios y errores porcentuales en rodamiento NTN fallo incipiente</i> .....	65
4.12.	Caracterización NTN fallo intermedio .....	65
4.12.1.	<i>Promedios y errores porcentuales en rodamiento NTN fallo intermedio</i> .....	65
4.13.	Caracterización NTN fallo avanzado.....	66
4.13.1.	<i>Promedios y errores porcentuales en rodamiento NTN fallo avanzado</i> .....	66
CONCLUSIONES.....		67
RECOMENDACIONES.....		69
BIBLIOGRAFÍA		
ANEXOS		

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1-2:</b>	Vibraciones del vehículo y detección del conductor.....	7
<b>Tabla 2-2:</b>	Cargas del rodamiento y ubicación.....	11
<b>Tabla 3-2:</b>	Rodamientos de ruedas de vehículos .....	12
<b>Tabla 4-2:</b>	Rodamiento, corte y montaje .....	13
<b>Tabla 5-2:</b>	Aplicaciones de las técnicas de mantenimiento predictivo.....	14
<b>Tabla 6-2:</b>	Problemas de rodamientos con elementos rodantes.....	16
<b>Tabla 7-2:</b>	Principales características de los métodos de análisis de vibraciones. ....	18
<b>Tabla 8-2:</b>	Porcentaje de llenado de grasa.....	21
<b>Tabla 1-3:</b>	Muestreo de rodamientos más usados y criterio de cambio.....	27
<b>Tabla 2-3:</b>	Características del rodamiento SKF BAH 0092 KOREA M10L17.....	28
<b>Tabla 3-3:</b>	Características del rodamiento NTN AUO 701-4 JAPAN TN .....	29
<b>Tabla 4-3:</b>	Velocidades de trabajo en rodamientos .....	30
<b>Tabla 5-3:</b>	Volumen del espacio vacío para lubricar .....	31
<b>Tabla 6-3:</b>	Relación de velocidad.....	31
<b>Tabla 7-3:</b>	Porcentaje de llenado .....	32
<b>Tabla 8-3:</b>	Cantidad de grasa inicial a aplicar .....	32
<b>Tabla 9-3:</b>	Cantidad de grasa para re-lubricación.....	33
<b>Tabla 10-3:</b>	Frecuencia de cambio de lubricante.....	33
<b>Tabla 11-3:</b>	Estado de situación inicial del módulo de pruebas .....	36
<b>Tabla 12-3:</b>	Longitudes ingresadas en el OPTALING PLUS .....	43
<b>Tabla 13-3:</b>	Medidas tomadas para corregir los tipos de desalineación .....	44
<b>Tabla 14-3:</b>	Nomenclatura para la alineación.....	44
<b>Tabla 15-3:</b>	Valores calculados a razón de 1 rpm .....	46
<b>Tabla 16-3:</b>	Velocidad de sincronismo.....	46
<b>Tabla 17-3:</b>	Frecuencias características de fallo calculado .....	46
<b>Tabla 18-3:</b>	Frecuencias características de fallo calculado .....	46
<b>Tabla 19-3:</b>	Muestreo de envolvente .....	49
<b>Tabla 20-3:</b>	Muestreo para el plano x.....	50
<b>Tabla 21-3:</b>	Muestreo para el plano y.....	50
<b>Tabla 22-3:</b>	Muestreo para el plano z .....	50
<b>Tabla 23-3:</b>	Frecuencias de rotación del eje del motor.....	54
<b>Tabla 24-3:</b>	Caracterización rodamiento SKF por uso normal 1758,248 Hz (plano x).....	56
<b>Tabla 1-4:</b>	Códigos de programación en Rstudio .....	58
<b>Tabla 2-4:</b>	Caracterización del rodamiento SKF por uso normal .....	61

<b>Tabla 3-4:</b>	Promedios de frecuencias de fallo rodamiento SKF uso normal .....	61
<b>Tabla 4-4:</b>	Errores absolutos de frecuencias de fallo rodamiento SKF uso normal .....	61
<b>Tabla 5-4:</b>	Errores relativos de frecuencias de fallo rodamiento SKF uso normal.....	61
<b>Tabla 6-4:</b>	Caracterización del rodamiento SKF fallo incipiente .....	61
<b>Tabla 7-4:</b>	Promedios de frecuencias de fallo rodamiento SKF falla incipiente .....	62
<b>Tabla 8-4:</b>	Errores absolutos de frecuencias de fallo rodamiento SKF falla incipiente .....	62
<b>Tabla 9-4:</b>	Errores relativos de frecuencias de fallo rodamiento SKF falla incipiente.....	62
<b>Tabla 10-4:</b>	Caracterización del rodamiento SKF fallo intermedio.....	62
<b>Tabla 11-4:</b>	Promedios de frecuencias de rodamiento SKF fallo intermedio.....	62
<b>Tabla 12-4:</b>	Errores absolutos de frecuencias de fallo rodamiento SKF fallo intermedio.....	62
<b>Tabla 13-4:</b>	Errores relativos de frecuencias de fallo rodamiento SKF falla intermedia .....	63
<b>Tabla 14-4:</b>	Caracterización del rodamiento SKF fallo avanzado.....	63
<b>Tabla 15-4:</b>	Promedios de frecuencias de fallo rodamiento SKF fallo avanzado.....	63
<b>Tabla 16-4:</b>	Errores absolutos de frecuencias de fallo rodamiento SKF fallo avanzado .....	63
<b>Tabla 17-4:</b>	Errores relativos de frecuencias de fallo rodamiento SKF falla avanzada.....	63
<b>Tabla 18-4:</b>	Caracterización del rodamiento NTN uso normal .....	64
<b>Tabla 19-4:</b>	Promedios de frecuencias de fallo rodamiento NTN uso normal .....	64
<b>Tabla 20-4:</b>	Errores absolutos de frecuencias de fallo rodamiento NTN uso normal.....	64
<b>Tabla 21-4:</b>	Errores relativos de frecuencias de fallo rodamiento NTN uso normal.....	64
<b>Tabla 22-4:</b>	Caracterización del rodamiento NTN fallo incipiente .....	64
<b>Tabla 23-4:</b>	Promedios de frecuencias de fallo rodamiento NTN fallo incipiente .....	65
<b>Tabla 24-4:</b>	Errores absolutos de frecuencias de fallo rodamiento NTN fallo incipiente .....	65
<b>Tabla 25-4:</b>	Errores relativos de frecuencias de fallo rodamiento NTN fallo incipiente.....	65
<b>Tabla 26-4:</b>	Caracterización del rodamiento NTN fallo intermedio.....	65
<b>Tabla 27-4:</b>	Promedios de frecuencias de fallo rodamiento NTN fallo intermedio.....	65
<b>Tabla 28-4:</b>	Errores absolutos de frecuencias de fallo rodamiento NTN fallo intermedio .....	65
<b>Tabla 29-4:</b>	Errores relativos de frecuencias de fallo rodamiento NTN fallo intermedio .....	66
<b>Tabla 30-4:</b>	Caracterización del rodamiento NTN fallo avanzado.....	66
<b>Tabla 31-4:</b>	Promedios de frecuencias de fallo rodamiento NTN fallo avanzado.....	66
<b>Tabla 32-4:</b>	Errores absolutos de frecuencias de fallo rodamiento NTN fallo avanzado .....	66
<b>Tabla 33-4:</b>	Errores relativos de frecuencias de fallo rodamiento NTN fallo avanzado .....	66

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1-2:</b>	Despiece del sistema de la llanta PD 18'' .....	7
<b>Figura 2-2:</b>	Espectro de vibraciones típico .....	8
<b>Figura 3-2:</b>	Espectro para una máquina compleja.....	8
<b>Figura 4-2:</b>	Cambio de rodamiento en el brazo delantero el auto.....	9
<b>Figura 5-2:</b>	Clasificación de rodamientos .....	10
<b>Figura 6-2:</b>	Rodamiento SKF ABEC 1/3/5/7/9.....	11
<b>Figura 7-2:</b>	Evolución de la picadura en la pista externa.....	17
<b>Figura 8-2:</b>	Datos por detección de fallas y predicción de fallas de las máquinas.....	17
<b>Figura 9-2:</b>	Tabla de limpieza según ISO 4406:1999 .....	19
<b>Figura 10-2:</b>	Cálculo de la frecuencia de cambio de lubricante.....	20
<b>Figura 11-2:</b>	Base de datos de rodamientos. ....	24
<b>Figura 12-2:</b>	Cálculo de frecuencias características.....	25
<b>Figura 1-3:</b>	Rodamiento SKF-BAH 0092 KOREA M10L17 .....	29
<b>Figura 2-3:</b>	Rodamiento NTN-AUO-071-4 JAPAN TN .....	29
<b>Figura 3-3:</b>	Fuerzas de giro.....	34
<b>Figura 4-3:</b>	Evaluación de rodamientos VibraCHECK 200 .....	35
<b>Figura 5-3:</b>	Cambio de terminales y cables de conexión .....	37
<b>Figura 6-3:</b>	Pernos de sujeción para el módulo.....	38
<b>Figura 7-3:</b>	Cambio de chumacera CMB P204.....	38
<b>Figura 8-3:</b>	Empotrado de mesa de trabajo.....	39
<b>Figura 9-3:</b>	Chumacera y bushing anterior .....	39
<b>Figura 10-3:</b>	Diseño y construcción de la chumacera .....	40
<b>Figura 11-3:</b>	Bushing para el rodamiento-eje .....	40
<b>Figura 13-3:</b>	Chumacera en la placa base .....	41
<b>Figura 14-3:</b>	Colocación de rodamiento de prueba.....	41
<b>Figura 15-3:</b>	Módulo de pruebas en la mesa de trabajo .....	42
<b>Figura 16-3:</b>	Equipo OPTALING PLUS y shims .....	43
<b>Figura 17-3:</b>	Inducción de picadura en los rodamientos .....	45
<b>Figura 18-3:</b>	Ingreso del nuevo rodamiento en MAINTraQ Predictive.....	47
<b>Figura 19-3:</b>	Fabricante, Nuevo, Insertar nombre.....	48
<b>Figura 20-3:</b>	Nuevo, rodamiento, introducción de sus características fundamentales.....	48
<b>Figura 21-3:</b>	Evidencia de gE por VibraCHECK .....	51
<b>Figura 22-3:</b>	Base de datos MAINTraQ Predictive .....	51
<b>Figura 23-3:</b>	Velocidad, Aceleración, Envolverte.....	52

<b>Figura 24-3:</b> Cargar base de datos al VibraCHECK 200.....	52
<b>Figura 25-3:</b> Descargar mediciones tomadas al MAINTraQ Predictive.....	53
<b>Figura 1-4:</b> Test de normalizacion en Rstudio.....	57

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

<b>Gráfico 1-3:</b> Pareto-rodamientos con más frecuencia de fallo .....	28
<b>Gráfico 2-3:</b> Caracterización de muestreo .....	49
<b>Gráfico 3-3:</b> Onda del 1X del lado motriz lado en x .....	53
<b>Gráfico 4-3:</b> Espectro del 1X del lado motriz lado en x .....	54
<b>Gráfico 5-3:</b> Espectros rodamiento SKF por uso normal .....	55
<b>Gráfico 5-4:</b> Espectros rodamiento SKF por uso normal .....	55



## ÍNDICE DE ABREVIATURAS

<b>RMS</b>	ROOT MEDIUM SQUARE
<b>BPFO</b>	FRECUENCIA DE PISTA EXTERNA
<b>BPFI</b>	FRECUENCIA DE PISTA INTERNA
<b>BSF</b>	FRECUENCIA DE GIRO DE BOLAS
<b>FTF</b>	FRECUENCIA FUNDAMENTAL DE LA JAULA
<b>RPM</b>	REVOLUCIONES POR MINUTO
<b>CPM</b>	CICLOS POR MINUTO
<b>1X</b>	FRECUENCIA FUNDAMENTAL, FRECUENCIA EXCITADORA, FRECUENCIA DE ROTACIÓN DE LA MÁQUINA.
<b>gE</b>	VALOR NUMÉRICO DE LA ENVOLVENTE.
<b>x</b>	PLANO HORIZONTAL
<b>y</b>	PLANO VERTICAL
<b>z</b>	PLANO AXIAL

## ÍNDICE DE ANEXOS

- ANEXO A:** PLANO CHUMACERA
- ANEXO B:** ESPECTRO Y ONDA LADO MOTRIZ APOYO EN X
- ANEXO C:** ESPECTRO Y ONDA LADO CONDUCCION APOYO EN Y (CHUMACERA)
- ANEXO D:** ESPECTRO Y ONDA LADO CONDUCCION APOYO EN X (CHUMACERA)
- ANEXO E:** ESPECTRO Y ONDA LADO CONDUCCION APOYO EN Z (CHUMACERA)
- ANEXO F:** ÁNGULO DE CONTACTOS EN RODAMIENTOS (MANUAL SKF)
- ANEXO G:** CARACTERIZACIÓN SKF USO NORMAL 1758,248 rpm (PLANO X)
- ANEXO H:** CARACTERIZACIÓN NTN USO NORMAL 1748,751 rpm (PLANO X)
- ANEXO I:** CARACTERIZACIÓN SKF FALLA INCIPIENTE 1777,159 rpm (PLANO X)
- ANEXO J:** CARACTERIZACIÓN SKF FALLA INCIPIENTE 1491,456 rpm (PLANO X)
- ANEXO K:** CARACTERIZACIÓN SKF FALLA INCIPIENTE 1186,462 rpm (PLANO X)
- ANEXO L:** CARACTERIZACIÓN SKF FALLA INCIPIENTE 891,518 rpm (PLANO X)
- ANEXO M:** CARACTERIZACIÓN SKF FALLA INCIPIENTE 595,751 rpm (PLANO X)
- ANEXO N:** CARACTERIZACIÓN NTN FALLA INCIPIENTE 1778,185 rpm (PLANO X)
- ANEXO O:** CARACTERIZACIÓN NTN FALLA INCIPIENTE 1490,855 rpm (PLANO X)
- ANEXO P:** CARACTERIZACIÓN NTN FALLA INCIPIENTE 1187,972 rpm (PLANO X)
- ANEXO Q:** CARACTERIZACIÓN NTN FALLA INCIPIENTE 889,158 rpm (PLANO X)
- ANEXO R:** CARACTERIZACIÓN NTN FALLA INCIPIENTE 5866,157 rpm (PLANO X)
- ANEXO S:** CARACTERIZACIÓN SKF FALLA MEDIA 1724,195 rpm (PLANO X)
- ANEXO T:** CARACTERIZACIÓN SKF FALLA MEDIA 1425,405 rpm (PLANO X)
- ANEXO U:** CARACTERIZACIÓN SKF FALLA MEDIA 1128,826 rpm (PLANO X)
- ANEXO V:** CARACTERIZACIÓN SKF FALLA MEDIA 821,318 rpm (PLANO X)
- ANEXO W:** CARACTERIZACIÓN SKF FALLA MEDIA 518,080 rpm (PLANO X)
- ANEXO X:** CARACTERIZACIÓN NTN FALLA MEDIA 1784,246 rpm (PLANO X)
- ANEXO Y:** CARACTERIZACIÓN NTN FALLA MEDIA 1495,510 rpm (PLANO X)
- ANEXO Z:** CARACTERIZACIÓN NTN FALLA MEDIA 1126,508 rpm (PLANO X)
- ANEXO AA:** CARACTERIZACIÓN NTN FALLA MEDIA 811,924 rpm (PLANO X)
- ANEXO AB:** CARACTERIZACIÓN NTN FALLA MEDIA 517,294 rpm (PLANO X)
- ANEXO AC:** CARACTERIZACIÓN SKF FALLA AVANZADA 1771,280 rpm (PLANO X)
- ANEXO AD:** CARACTERIZACIÓN SKF FALLA AVANZADA 1452,786 rpm (PLANO X)
- ANEXO AE:** CARACTERIZACIÓN SKF FALLA AVANZADA 1128,425 rpm (PLANO X)
- ANEXO AF:** CARACTERIZACIÓN SKF FALLA AVANZADA 818,576 rpm (PLANO X)
- ANEXO AG:** CARACTERIZACIÓN SKF FALLA AVANZADA 512,482 rpm (PLANO X)
- ANEXO AH:** CARACTERIZACIÓN NTN FALLA AVANZADA 1748,709 rpm (PLANO X)

**ANEXO AI:** CARACTERIZACIÓN NTN FALLA AVANZADA 1450,468 rpm (PLANO X)

**ANEXO AJ:** CARACTERIZACIÓN NTN FALLA AVANZADA 1125,405 rpm (PLANO X)

**ANEXO AK:** CARACTERIZACIÓN NTN FALLA AVANZADA 821,349 rpm (PLANO X)

**ANEXO AL:** CARACTERIZACIÓN NTN FALLA AVANZADA 516,804 rpm (PLANO X)

## RESUMEN

El presente trabajo de integración curricular tuvo como objetivo la caracterización del espectro de vibraciones de rodamientos de las ruedas delanteras de un automóvil sometidos a una falla incipiente, intermedia y avanzada, de tal manera que se pueda seleccionar los rodamientos adecuados para realizar los respectivos ensayos en el módulo idóneo. Se realizó una investigación de campo en los diferentes talleres automotrices de la ciudad de Riobamba cuestionando el uso del rodamiento NTN AUO 701-4 JAPAN TN y SKF BAH-0092 KOREA M 10L 17 en las ruedas delanteras de los vehículos y su existencia en el mercado, además de la fundamentación de frecuencias de fallo calculadas y experimentales para centrarse en los rangos de valores para elementos rotacionales y criterios de frecuencias de rotación, no obstante se pudo tomar como referencia las cartas de Charlotte y crear una distribución de criticidad, las ondas espectrales que se analizan en el módulo de pruebas por medio del espectro de vibraciones serán la base para nuevas investigaciones o aplicaciones de monitoreo para el mantenimiento basado en la condición detallando la falla lo que dará paso a un mejor rendimiento y rentabilidad para el mantenimiento. Para fundamentar los valores recolectados, se debe realizar un promedio de valores experimentales de las frecuencias de fallo divididos para la frecuencia de rotación del eje, se debe calcular el error entre valores calculados y experimentales donde se obtuvo errores absolutos de alrededor 0,0000575 rpm y errores relativos de alrededor 0,05%. Se concluye que son errores mínimos, afirmando que son confiables las mediciones en los rodamientos y su aplicación para el diagnóstico técnico de flotas vehiculares. Por lo tanto, se recomienda seguir con el estudio del mantenimiento basado en la condición en las ruedas delanteras de vehículos aplicando cargas axiales, radiales u otras cargas físicas.

**Palabras clave:** <CARACTERIZACIÓN DE ESPECTROS>, <MÓDULO IDÓNEO>, <MEDICIONES VIBRACIONALES>, < FRECUENCIA DE ROTACIÓN >, <ONDA ESPECTRAL>, <FRECUENCIAS DE FALLO>, <DIAGNÓSTICO TÉCNICO>



Firmado electrónicamente por:  
HOLGER GERMAN  
RAMOS UVIDIA

1370-DBRA-UTP-2022

2022-06-28



## SUMMARY

The objective of this curricular integration work was to characterize the vibrations spectrum of the bearings front wheels of an automobile subjected to an incipient, intermediate and advanced failure, in such a way that the appropriate bearings can be selected to carry out the respective tests in the ideal module. A field investigation was carried out in the different automotive workshops of Riobamba city questioning the use of the bearing NTN AUO 701-4 JAPAN TN and SKF BAH-0092 KOREA M 10L 17 in the front wheels of the vehicles and its existence in the market. In addition to the foundation of calculated and experimental failure frequencies to focus on the ranges of values for rotational elements and rotation frequency criteria. However, the Charlotte charts could be taken as a reference and a criticality distribution, the spectral waves, could be created. that are analyzed in the testing module by means of the vibration spectrum will be the basis for new investigations or monitoring applications for condition-based maintenance detailing the failure, which will lead to better performance and profitability for maintenance. To substantiate the collected values, an average of experimental values of the failure frequencies divided by the shaft rotation frequency should be made, the error between calculated and experimental values should be calculated where absolute errors of around 0,0000575 rpm and relative errors of around 0,05%. It is concluded that they are minimal errors, affirming that the measurements in the bearings and their application for the technical diagnosis of vehicle fleets are reliable. Therefore, it is recommended to continue with the study of condition-based maintenance on the front wheels of vehicles applying axial, radial or other physical loads.

**Keywords:** <SPECTRUM CHARACTERIZATION>, <SUITABLE MODULE>, <VIBRATION MEASUREMENTS>, <ROTATION FREQUENCY>, <SPECTRAL WAVE>, <FAULT FREQUENCIES>, <TECHNICAL DIAGNOSIS>



Sandra Paulina Porras Pumalema

C.I. 0603357062

## **INTRODUCCIÓN**

En las diferentes industria de hidrocarburos, automotriz, farmacéutica, alimenticia, textil, viajes nacionales e internacionales, y demás, se han desarrollado bajo un régimen de distribución en el mercadeo, por tal razón es constante el uso de automóviles de pequeños y grandes tonelajes, mismos que conforman flotas, generando un consumo de repuestos de recambio, uno de esos son los rodamientos que podemos encontrar en cajas de cambios, acoples de accesorios del motor, topes de embragues y suspensión, transmisión transversales con juntas homocinéticas, módulos mecánicos, sin dejar de lado el principal objeto de estudio en las llantas delanteras de los automóviles y su desgaste en las pistas provocando picaduras en sus niveles de fallo ya sea incipiente, media y avanzada.

En el transcurso de la evolución en rodamientos se ha investigado su detección de fallos por medio de distintas técnicas como: la envolvente (aplicada en este trabajo), análisis de energía y señales difusas, después se han detallado evaluaciones de rodamientos por parte de fabricantes, para su mejoramiento en selección de materiales y en su tribología prestando las mejores garantías de uso.

La temática de este trabajo técnico es la necesidad de realizar cambios de rodamientos por medio de mantenimiento basado en la condición en automóviles, ya que no se tiene la precisión o un tiempo adecuado para realizar cambios de éstos, lo que no sucedería si es realizado un análisis vibracional e identificando la magnitud del espectro, para una explicación, se habla que para cierto elemento del automóvil como son los rodamiento se detectar un espectro similar tomado como patrón en este estudio, donde se podrá decir que existe una picadura y en qué etapa de daño se encuentra haciendo más fácil la programación y planificación de la tarea de mantenimiento, ayudando en el ahorro de recursos económicos a las entidades productivas.

# CAPÍTULO I

## 1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA

### 1.1. Antecedentes

Los rodamientos han sido parte fundamental de la historia principalmente en el desarrollo de la industria en cualquier parte del mundo, además que los estudios realizados son cada vez más significativos, uno de ellos que se realizó en el año de 2009 con detección de fallas en rodamientos utilizando métodos de prueba eléctricos o mecánicos de vibración proponiendo que al ser un conjunto de elementos rotativos y fijos pueden fallar en cuatro etapas que son la lubricación, operacional, maltrato y contaminación. (Aldama, 2019 pág. 68)

Para el siguiente año de 2010 se desarrolla una metodología para la detección y diagnóstico de fallas localizadas en sistemas de engranajes y rodamientos, detallando que se puede detectar fallas incipientes por el desarrollo de un estudio de envolvente [gE] en cuatro pasos desde el inicio de giro hasta el descanso del rodamiento, la base fundamental del estudio es la falla de rodamientos a razón de 5 coeficientes claros de espectros con magnitudes de 17 Hz con el primer armónico 1X, para un segundo caso se toma las mediciones directamente de los anillos con vibraciones inducidas y el movimiento asíncrono del motor por variaciones eléctricas usando un piezoeléctrico soportado en A y B a 30 Hz. (César San Martín, 2009 pág. 05)

Años más tarde se desarrolla un modelo de validación matemática para rodamientos de bola, exactamente en el año 2014, el cual nos indica que al detectar una falla visible en la pista exterior del rodamiento podría causar un aumento del área que dibuja la honda sinusoidal alterando el armónico y elevando la amplitud, es ahí donde se evalúa la falla y cada cuanto puede aparecer la falla en ciertas condiciones, el rodamiento al realizar giros a cierta frecuencia determina que puede desarrollar un desplazamiento en ambos planos. (Study on incipient fault bearing detection based on enveloping and cepstrum techniques, 2012 pág. 05)

Para años siguientes de 2015 hasta 2019 se han centrado en desarrollar análisis e investigaciones en rodamientos para ventiladores eólicos, equipos agrícolas, máquinas fijas en plantas de procesamiento y otros más, es el caso de 2019 en el que una revista Scielo IM Ingeniería mecánica Vol. 22 recita un análisis de los rodamientos usados en electro-ventiladores del sistema de refrigeración de motores Hyundai, base fundamental para dar a conocer que se necesita y se encuentra desarrollando a la par de este trabajo una necesidad de alargar o mantener en



condiciones óptimas el uso de rodamientos de acuerdo a la falla conocida o como conocerlas por medio del espectro arrojado. (Bearing analysis for the electro-fans in the water cooling system of Hyundai motors pág. 02)

El mantenimiento de flotas de vehículos particulares y privados dan a conocer que no se realiza cambios de rodamientos en las unidades a menos que ya se denote algún tipo de inconveniente o ruidos anormales, ya que la cultura del mantenimiento está basada en lubricar solo lo que se ve a simple vista y esperar la avería, pensando en esa problemática se analizará los espectros que mostrará la investigación. (Fajardo Tacuri Diego Fernando, 2017 pág. 81)

## **1.2. Definición del problema**

Con frecuencia se pregunta, si existe algún método para que los elementos llamados rodamientos comiencen a presentar síntomas de falla en función de las fuerzas axiales y radiales a las que están sometidas, además se encuentran como un par mecánico eficiente con el eje. Con una duración de la vida útil especificado o cambiarlas dentro de un tiempo de uso lógico de acuerdo a los planes de mantenimiento propuestos, en esta simulación para el diagnóstico vibracional de insipiencia de fallas, se encontrará solución al problema que presenta al desgastarse a corto o largo plazo.

El análisis vibracional se realizará en campo para caracterizar las fallas más comunes a corto mediano y largo plazo e identificar de manera correcta los daños que se avecinan si no se toman medidas preventivas, toda la temática para esta investigación se podrá cubrir con total disponibilidad del investigador en tiempos acorde a lo establecido con recursos propios, ya que todo se fundamentará en la investigación y diagnóstico técnico.

En el camino del estudio hacia la aplicación de caracterización del espectro vibracional se abordará ciertos puntos como el análisis de modos de fallas, que tratará de descubrir el desgaste de rodamientos o incluso el estado del mismo en función de la gráfica del espectro.

El presente proyecto técnico se desarrollará analizando espectros en los planos horizontal, vertical y axial, para el modo de fallo determinado *picadura* en fase incipiente, media y avanzada, llegando a una totalidad de 4200 mediciones espectrales.

Se podrá dejar constancia del tipo de rodamiento más común tanto como repuesto en el campo de la mecánica automotriz y comercial, al fijar la calidad del rodamiento aun teniendo un cambio de lubricante siempre y cuando se encuentre en una falla inicial, además de poder determinar con

mayor certeza el tipo de falla en el mismo, cabe recalcar que el estudio de rodamientos no se aplicaría si el vehículo ha sufrido algún percance ajeno al uso normal.

### **1.3. Justificación e importancia**

En la actualidad existen muchas empresas que trabajan con mantenimiento correctivo, esperando que el elemento falle e implicando la tarea al área de mantenimiento, debemos implementar técnicas de mantenimiento que mantenga los gastos equilibradamente en función del costo beneficio mostrando avances en cada una de las áreas de una planta, esto se lleva a cabo con metodologías de investigación o simulaciones. (Gomez, 2017 pág. 33)

De aquí surge la pregunta si un análisis vibracional basta para detectar el fallo ya que en esta metodología se analiza la sinusoidal compuesta de todos los elementos que puedan estar alrededor del rodamiento a estudiar, lo que dificulta establecer un patrón en el cual se pueda analizar el rodamiento de forma individual. (DESMONTAR Y MONTAR UN MOTOR, 2018 pág. 06)

De lo anterior mencionado nace la respuesta de porque caracterizar el espectro de vibraciones de los rodamientos es importante ya que al identificar el espectro descompone la sinusoidal compuesta y permite identificar la gráfica individual del rodamiento. Gracias a esto se podrá identificar los rangos en cual el rodamiento está en fallo incipiente, intermedio o avanzado con la finalidad de intervenir en el momento más adecuado dependiendo del costo beneficio que este tendría (Study on incipient fault bearing detection based on enveloping and cepstrum techniques, 2012 pág. 30)

Este documento técnico que será elaborado podrá solventar necesidades que reducirían de costos de mantenimiento aplicando de manera efectiva las herramientas de mantenimiento como programas computacionales de mantenimiento preventivo. (CEP, 2014 pág. 02)

Alinearse con las políticas de desarrollo nacional es el aporte más significativo dentro de los programas de desarrollo ante la planificación de manuales competitivos, autónomos y descentralizados en bien de la comunidad, con una significativa ayuda a los presupuestos institucionales, cantonales y parroquiales de los sectores públicos por la adquisición de elementos cambiables a tiempos correctos. (XAVIER, 2016 pág. 84)

En este documento se podrá identificar si los modos de fallos por picadoras en el par de pistas del rodamiento se producen de acuerdo a la marca del rodamiento, al tipo de grasa o si en el laboratorio podríamos inducir más modos de fallos e identificar el rodamiento más confiable del mercado.

## **1.4. Objetivos**

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

Caracterizar el espectro de vibraciones de rodamientos de las ruedas delanteras de un automóvil sometido a una falla incipiente, intermedia y avanzada.

### ***1.4.2. Objetivos específicos***

Seleccionar los rodamientos que van a ser sometidos a los ensayos.

Adaptar el módulo de ensayos de rodamientos a los requerimientos de los rodamientos seleccionados.

Inducir la picadura en los rodamientos de prueba en los tres niveles de falla

Recolectar las mediciones vibracionales correspondientes a los distintos niveles de severidad de picadura.

Caracterizar los espectros obtenidos en las mediciones y sintetizar los resultados

## **CAPÍTULO II**

### **2. MARCO TEÓRICO**

#### **2.1. Vibraciones en máquinas rotatorias**

Durante mucho tiempo los operarios o técnicos de mantenimiento han utilizado diferentes métodos para comprobar el estado de una máquina es normal o no. De aquí se ha establecido de forma casi tradicional, a las vibraciones como indicador de estado técnico de las máquinas más utilizado, a través de la medición y el análisis de vibraciones para detectar los fallos ya iniciados en periodos de desarrollo prematuros.

Así mismo en los rodamientos la técnica más usada es la de análisis de vibraciones ya que cada fallo genera excitación en frecuencias diferentes, debido a esto es muy fácil diferenciar entre los diferentes tipos de fallos que puede ocurrir en los rodamientos.

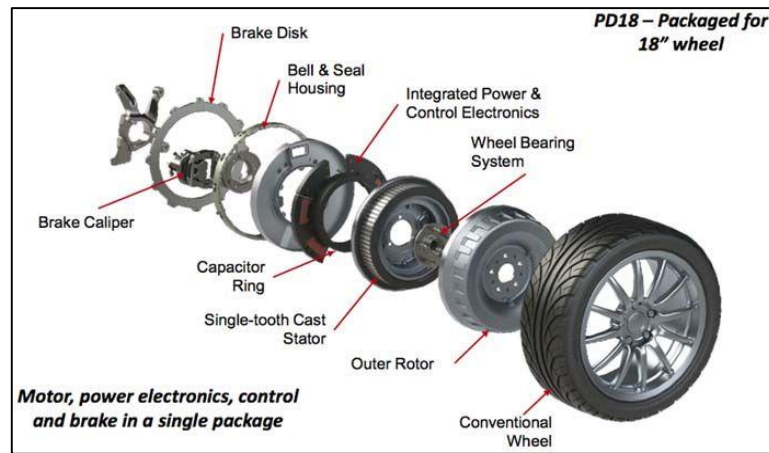
#### **2.2. Caracterización de vibraciones**

El estudio de las vibraciones está relacionado con el comportamiento oscilatorio de los cuerpos, teniendo en cuenta que la mayoría de las maquinarias y estructuras experimentan vibraciones de mayor o menor grado, por lo cual estas se deberían tener presentes al abordar los cálculos de diseño y/o comprobación, así como los controles periódicos de su estado técnico. (Cruz Ortega, 2018 pág. 10)

#### **2.3. Vibraciones en automóviles**

El escenario en el que los rodamientos NTN AUO 701-4 JAPAN TN y SKF BAH-0092 KOREA M 10L 17 cumplen funciones es dentro de un anillo retenedor con pernos de sujeción, entre el par mecánico formado por estator fundido de un solo diente y el rotor exterior, dando toda la movilidad al juego de discos de freno y otros elementos acoplados, este elemento al encontrarse en la parte inferior del vehículo soporta vibraciones propias desde la emanación de vibraciones desde el motor por funciones de combustión, el arranque del motor al iniciar la marcha, el tambor de freno al detener el vehículo, el movimiento interno del combustible, el paso del refrigerante por el sistema e incluso vibraciones externas al pasar por baches, piedras de diferentes geometrías, los pesos extras que se le añade al trabajo diario del activo, sobre cargas radiales, axiales, así

también puede vibraciones por la desalineación del neumático y demás causas de vibraciones que inciden en el día a día del rodamiento.



**Figura 1-2:** Despiece del sistema de la llanta PD 18''

Fuente: Motores en rueda de Protean y Volkswagen

### 2.3.1. Vibraciones del vehículo y detección del conductor

Por las diversas causas antes mencionadas un automóvil puede llegar a producir vibraciones desde que se enciende el motor y se pone en movimiento en este caso el principal sensor del automóvil será el conductor. Este sentirá las vibraciones desde el asiento y del volante el cual detectará si existe un cambio brusco en las vibraciones del automóvil. La tabla 1-2 se puede establecer una relación de causa y efecto de algunas excitaciones propias del vehículo inclusive en las ruedas.

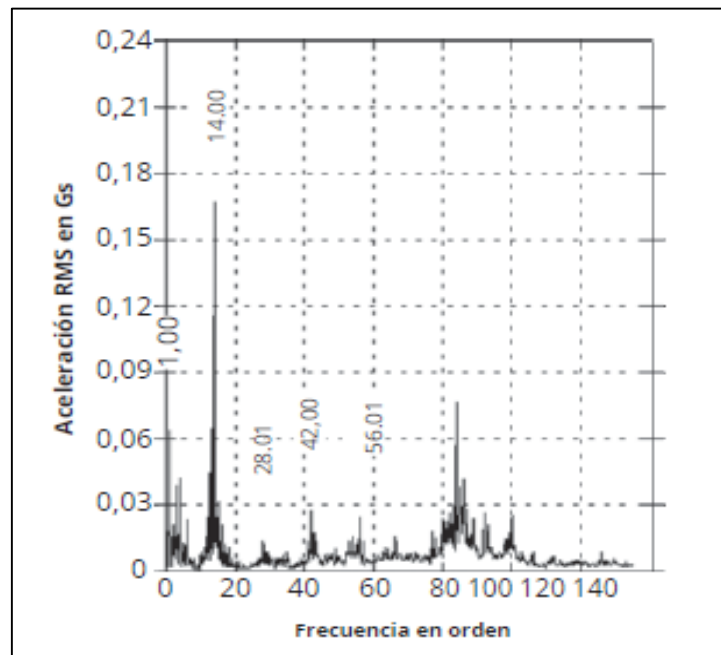
**Tabla 1-2: Vibraciones del vehículo y detección del conductor**

Vibración experimentada	Fuentes	Severidad / Acción
El volante oscila	Problema con la rueda delantera o alineación de ruedas	Alto (posible volante o dirección falla). Haga revisar y reparar las ruedas de inmediato.
Todo el coche tiembla al ralentí	El motor está funcionando punto de funcionamiento pico	Medio / Ponerse a punto / comprobar secuencia de encendido
Todo el coche se balancea cuando conduciendo por un camino suave	Carga de viento fuerte	Consecuencia baja. Ajustar la conducción nivel de alerta.
El coche cabecea y oscila durante más de 4 ciclos al pasar sobre un bache	Malos golpes bajos amortiguación en el sistema	Consecuencia baja. Vehículo operativo, pero no necesariamente cómodo de conducir. Programa el reemplazo del amortiguador.
Un chasquido desde el frente área del neumático al hacer un giro de 90 ° en un automóvil con tracción delantera	Junta homocinética dañada	Alto, falla de componentes no es fácilmente predecible y las consecuencias del fracaso son elevadas. Requiere reemplazo inmediato.

Fuente: Pérez y Conkey 2016

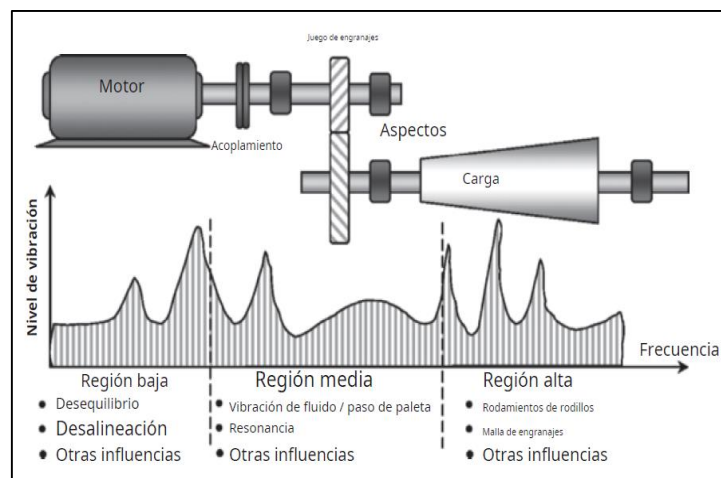
Elaborado por: Carrasco W. y Naula B.2021

De aquí surge la necesidad de establecer el estado de los elementos rotatorios en nuestro caso los rodamientos de las llantas delanteras, para detectar los fallos en una fase inicial y evitar daños en elementos contiguos o aledaños al mismo. El análisis de vibraciones es el método más eficiente al momento de detectar daños en los rodamientos debido a que estos generan una excitación muy alta referente a las otras vibraciones producidas por el automóvil, las figuras (Figuras 2-2 y 3-2) a continuación ilustran cómo una forma de onda de vibración de una máquina compleja se puede transformar en el dominio de la frecuencia que facilita la relación con las diversas características de la máquina. (Pérez, y otros, 2016 págs. 188-196)



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

Fuente: Pérez y Conkey 2016



**Figura 3-2:** Espectro para una máquina compleja

Fuente: Pérez y Conkey 2016

#### **2.4. Como intuir de forma empírica si se requiere un cambio de rodamiento**

La experiencia de los técnicos automotrices, es fundamental en el análisis de la condición del elemento que se encuentre en un estado de recambio, pero se lo hace porque el ruido que emite o la forma de rotar del elemento ya es evidente y por ende denotar la falla con el posible problema que lo causo, para tal caso no está por demás delimitar con criterio técnico como se podría detectar con mayor certeza un rodamiento que está en falla y que entraría en avería, los sentidos humanos es la clave para esto como al escuchar un zumbido, un sobrecalentamiento en la cara externa del elemento, al visualizar un posible cambio de coloración en la cara exterior, al sentir que con maniobras de manejo un empuje mínimo a cierto lado, cuando el auto se encuentra rodando a bajas revoluciones y el síntoma más detectable podría ser cuando el automóvil está a velocidades considerablemente altas en la calzada y genera ruidos provenientes del tren delantero.



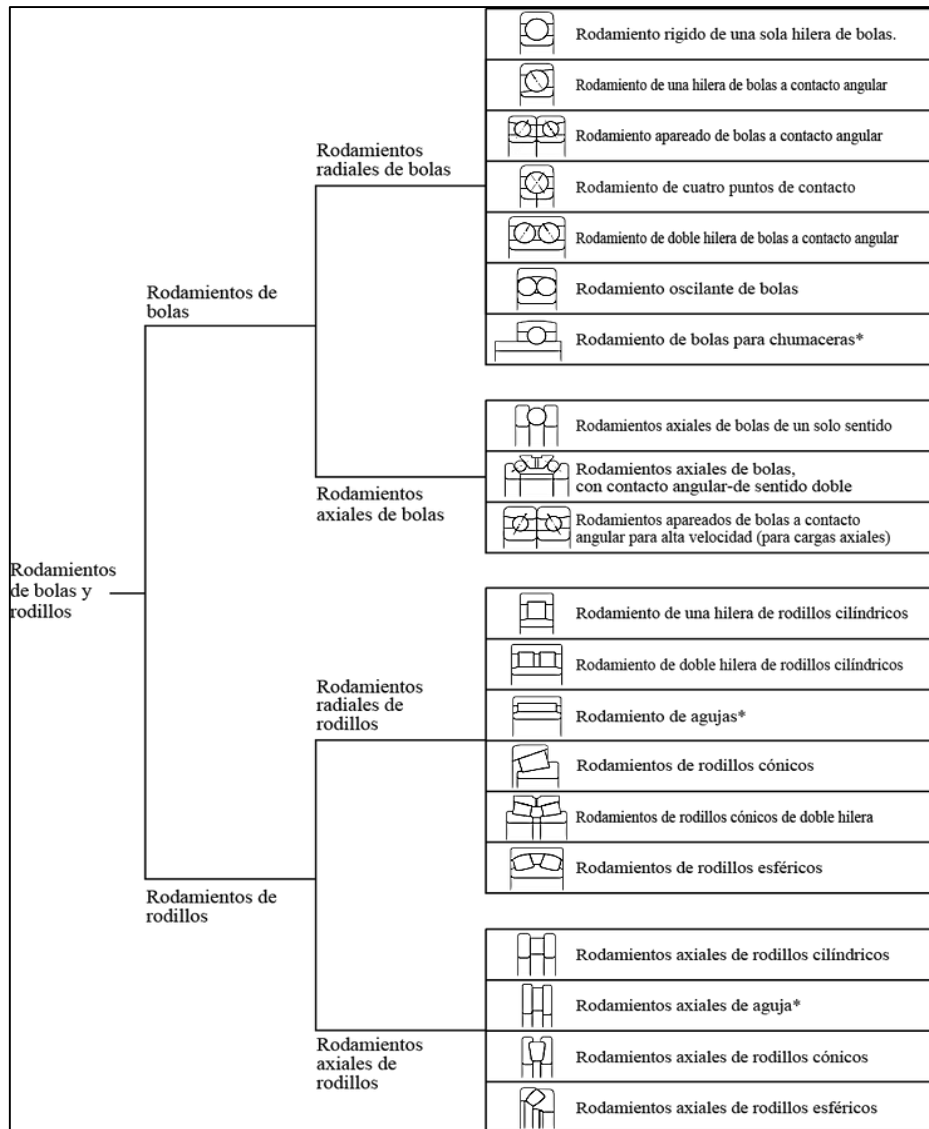
**Figura 4-2:** Cambio de rodamiento en el brazo delantero el auto

Fuente: OSCARO distribuidor y servicios automotrices

#### **2.5. Clasificación general de rodamientos**

La clasificación dentro de la familia de rodamientos se limita a dos tipos principales detallando a rodamientos de bola y rodamientos de aguja, hasta el momento se ha desarrollado rodamientos con pistas paralelamente circulares con movimiento acorde a la necesidad, las esferas metálicas que divide exactamente a una pista de otra se encuentran ubicadas de manera uniforme y sumergidas en elementos lubricantes como grasas o aceites.

El tipo de rodamiento a utilizar para la caracterización de espectros son denominados de clase 1 por su propiedad de construcción de doble hilera con esferas colocadas en una jaula plástica.



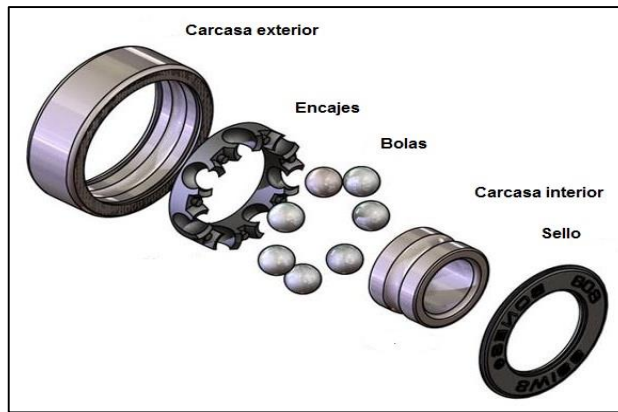
**Figura 5-2:** Clasificación de rodamientos

Fuente: NSK / Qodacentro Soluciones en movimiento

### 2.5.1. Principales características del rodamiento de vehículo

Los rodamientos principalmente están fabricados con elementos metálicos, aunque en la actualidad se pueden encontrar en PVC o cerámicos, no obstante, los elementos que lo conforman son de acero con aleación de cromo, acero al cromo molibdeno, acero al níquel, según normativa UNE-EN ISO 683-17:1999 especifica en su parte 17 denominada *Aceros para rodamientos* que, para rodamientos de acero al cromo (los más encontrados en el mercado), pueden estar compuestos de aproximadamente 1% de carbono y un 1,5% de cromo así como las bolas y agujas se encuentran fabricadas de alambre de acero mecanizadas en máquinas denominadas arroyuelo-rill-filling.





**Figura 6-2:** Rodamiento SKF ABEC 1/3/5/7/9

Fuente: C.D La Serena Patina

### 2.5.1.1. Clasificación general de los rodamientos.

Las ruedas y suspensiones de los vehículos deben soportar múltiples cargas fijadas por la misma construcción del vehículo y cargas extras añadidas durante los procesos de aceleración, frenado y toma de curvas del vehículo, por eso es importante conocer la derivación de elementos rodantes como se detalla a continuación:

- Aquellos en los que el contacto es puntual entre los elementos rodantes y los anillos, conocidos como rodamientos de bolas.
- Aquellos en los que tienen el contacto lineal, conocidos como rodamientos de rodillos.

### 2.5.1.2. Cargas que soportan los rodamientos de rueda

Se expuso anteriormente que los rodamientos deben soportar múltiples cargas, pero donde se ubican estas cargas de peso, arranque del vehículo, frenado y demás detalladas en la tabla 2-2, que a continuación nos explica el tipo de carga y la ubicación específica del automotor. (Fersa Group, 2021 pág. 7)

**Tabla 2-2: Cargas del rodamiento y ubicación**

Cargas	Ubicación
Gravitacional	Opuesta a la dirección de la carga axial (perpendicular a la rueda)
Aceleración	Ejercida entre el neumático y la carretera
Frenado	Ejercida entre el neumático y la carretera (contraria a la dirección de avance)
Giro	Ejercida entre el neumático y la carretera (En dirección axial)

Fuente: Fersa Group,2021

Realizado por: Carrasco W. y Naula B.2021

### 2.5.1.3. Generaciones de rodamientos de rueda

Estos rodamientos se clasifican en tres generaciones que difieren tanto en su forma, composición, uso, además de las ventajas que tienen cada uno a continuación en la tabla se explica rápidamente algunas características antes mencionadas.

**Tabla 3-2: Rodamientos de ruedas de vehículos**

Generación	Tipos	Ventajas
<b>1ª Generación</b>	Rodamientos de bolas	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lubricados de por vida.</li> <li>• Bajo coste.</li> <li>• Rueda delantera y trasera.</li> <li>• Sistema de sellado incluido.</li> <li>• Juego definido y preajustado.</li> </ul>
	Rodamiento de rodillo cónicos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lubricados de por vida.</li> <li>• Alta capacidad de carga.</li> <li>• Juego definido y preajustado.</li> <li>• Ahorro de espacio.</li> <li>• Sistema de sellado incluido.</li> </ul>
<b>2ª Generación</b>	Aro exterior rotatorio para eje no traccionados	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lubricados de por vida.</li> <li>• Montados en ejes delanteros y traseros.</li> <li>• Sistema de estanqueidad integrado.</li> <li>• Holgura definida y fijada desde fábrica.</li> <li>• Brida integrada a la rueda.</li> <li>• Posibilidad de integrar el sensor ABS.</li> <li>• Fácil montaje.</li> <li>• Mínima manipulación a la hora de montar.</li> <li>• Reducción del número de componentes</li> </ul>
	Aro interior rotatorio para eje no traccionados	
	Aro interior rotatorio para eje traccionados	
<b>3ª Generación</b>	Aro exterior rotatorio para eje no traccionados	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lubricados de por vida.</li> <li>• Montados en ejes delanteros y traseros.</li> <li>• Sistema de estanqueidad integrado.</li> <li>• Posibilidad de integrar sistemas ABS.</li> <li>• Fácil montaje.</li> <li>• Mínima manipulación a la hora de montar.</li> <li>• Reducción del número de componentes.</li> <li>• Alta precisión de la guía del disco de freno y llanta.</li> <li>• Reducción del coste de montaje debido a las dos bridas.</li> <li>• La precarga se define durante el proceso.</li> </ul>
	Aro interior rotatorio para eje no traccionados	
	Aro interior rotatorio para eje traccionados	


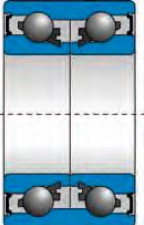
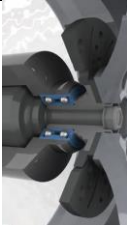
Fuente: Fersa Group, 2021

Realizado por: Carrasco W. y Naula B. 2021

### 2.5.2. Rodamientos de 1ª generación a utilizar

Los rodamientos de 1era generación son conjuntos precargados, que tienen la holgura definida, están lubricados de por vida con sus correspondientes elementos que garantizan la estanqueidad. Estos rodamientos de bolas de doble hilera de contacto angular son capaces de soportar grandes movimientos de torsión. (Fersa Group, 2021 pág. 10)

**Tabla 4-2: Rodamiento, corte y montaje**

<b>Rodamiento de 1ª generación de bolas</b>		
<b>Rodamiento</b>	<b>Corte del rodamiento</b>	<b>Montaje del rodamiento</b>
		

Fuente: Fersa Group,2021

Realizado por: Carrasco W. y Naula B.2021

## **2.6. Mantenimiento predictivo en rodamientos**

Cerca del 20% de fallos en cualquier tipo de máquina rodante incluyendo a los vehículos ocurren en los rodamientos por lo que hay que tomar muy en cuenta las técnicas que se deberán utilizar en el mantenimiento predictivo que se aplican en ellos, ya que en algunos casos el mantenimiento preventivo resulta costoso al no establecer el estado actual de los rodamientos y solo intercambiarlos en un intervalo de tiempo determinado.

### **2.6.1. Técnicas de mantenimiento predictivo aplicadas a los rodamientos**

Establecer una técnica de mantenimiento predictivo en los rodamientos no permitirá definir, en función de parámetros y a condiciones de funcionamiento, el tiempo correcto para el cambio de éstos. En la actualidad existen varios métodos y técnicas de mantenimiento predictivo como se muestra en la Tabla 5-2; pero al analizar los rodamientos entre los principales tenemos:

- Análisis de vibraciones.
- Análisis de temperaturas.
- Análisis por ultrasonido.
- Análisis por firma eléctrica.

Para el análisis de rodamientos la técnica más utilizada y consolidada es el análisis de vibraciones ya que es menos costosa que el análisis por ultrasonido que es otra de las técnicas más utilizadas actualmente. Este método consiste en que al producirse algún fallo en los rodamientos se producen frecuencias características para cada fallo que altera el nivel de vibración fundamental de la máquina en nuestro caso de estudio al automóvil. Por medio de esta técnica se puede detectar si existe juego en los rodamientos e irregularidades en alguna de las superficies

**Tabla 5-2: Aplicaciones de las técnicas de mantenimiento predictivo.**

Técnicas de mantenimiento predictivo	Bombas	Motores eléctricos	Generadores a diésel	Condensadores	Equipo pesado/Grúas	Elementos de protección	Válvulas	Intercambiadores de calor	Sistemas eléctricos	Transformadores	Tanques y tuberías
Análisis de vibraciones	X	X	X		X						
Análisis de lubricantes	X	X	X		X					X	
Análisis de partículas de desgaste	X	X	X		X						
Rodamiento, temperatura/ análisis	X	X	X		X						
Supervisión de rendimiento	X	X	X	X				X		X	
Detección de ruido ultrasónico.	X	X	X	X			X	X		X	
Flujo ultrasónico	X			X			X	X			
Termografía	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
Ensayos no destructivos (espesor)				X				X			X
Inspección visual	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Resistencia de aislamiento		X	X			X			X	X	
Espectro de corriente del motor		X									
Análisis del circuito del motor		X				X			X		
Índice del polarización		X	X						X		
Monitoreo eléctrico									X	X	

Fuente: Administración Nacional de Aeronáutica y del Espacio, 2000

Realizado por: Carrasco W. y Naula B.2021

### **2.6.2. Detección de fallos en rodamientos**

El análisis de vibraciones se basa en las frecuencias que se producen al momento en el que el rodamiento comienza a presentar fallos, la finalidad de este análisis es diagnosticar los fallos antes que se alcance o se agote la vida útil, para planificar el mantenimiento y ahorrar costos producidos por paros no planificados.

Los fallos de los juegos internos o discontinuidades en las superficies presentan un alto nivel de excitación en las frecuencias características de dichos fallos.

Para estimar la falla del rodamiento, hay dos aspectos. El primer aspecto implica tener en cuenta el valor de la amplitud de las frecuencias de excitación mencionadas anteriormente, mientras que el segundo aspecto depende del número de armónicos excitados. Como algunos expertos lo consideran mejor, en este trabajo el estado de los rodamientos vendrá determinado por la cantidad de armónicos excitados. Dado que la amplitud de las frecuencias de excitación depende de varios factores: tipo de máquina, velocidad, etc. (Graciá Soto, 2021 pág. 23)

Hay que tomar en cuenta que para la caracterización del espectro los rodamientos que van a ser objeto de estudio deberán tener siempre una velocidad y cargas constantes, para que las medidas tomadas no sean tan dispersas y que el resultado sea lo más concreto a fin de caracterizar el fallo por picadura.

### **2.7. Problemas de rodamientos con elementos rodantes**

En la tabla 6-2, se proporcionará información acerca del diagnóstico de rodamientos detallando los defectos típicos que pueden ocurrir, además de sus características que tiene cada uno. Como se puede observar cada tipo de fallos crea una excitación en diferentes frecuencias lo que permite diferenciales de una manera más fácil entre ellos.

Hay que considerar que:

- x: frecuencia de rotación
- FTF: frecuencia fundamental de la jaula (aproximado entre 0.38 hasta 0.42)
- BSF: frecuencia de rotación de bola (aproximado entre 1.5X hasta 3X)
- BPGI: frecuencia de paso de bola, anillo interior (aprox. 4X hasta 10X)
- BPGO: frecuencia de paso de bola, anillo exterior (aprox. 2X hasta 7X)

**Tabla 6-2: Problemas de rodamientos con elementos rodantes.**

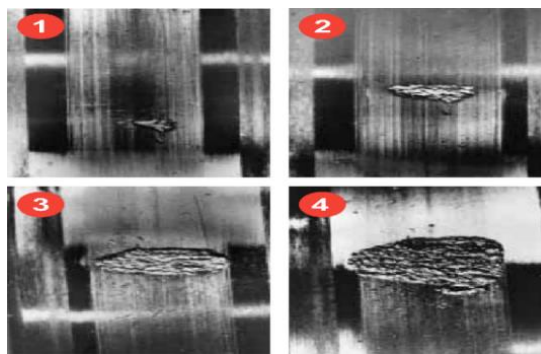
Fuente de vibración	Frecuencia excitación	Plano dominante	Amplitud	Carácter de la envolvente	Comentarios
Anillo interior defectuoso.	BPFI, armónicos de BPFI	Radial	Uniforme	Picos síncronos	Carga radial
Defecto interior defectuoso. Un defecto moderado	BPFI con armónicos y bandas laterales de 1X	Radial	Modulado en amplitud	Picos no síncronos con bandas laterales de 1X.	Niveles de carga radial incrementados
Anillo interior defectuoso. Dos o tres defectos pequeños.	BPFI y armónicos. Radial prominente	Radial	Alta, uniforme	Banda ancha	El ruido de banda ancha incrementa
Anillo interior defectuoso. Múltiples, Pequeños defectos, Asperidad alrededor del anillo.	BPFI y armónicos prominentes	Radial	Alta, uniforme	Picos no síncronos	El ruido de banda ancha incrementa
Anillo exterior defectuoso. Un pequeño defecto	BPFO y armónicos	Radial	Uniforme	Picos no síncronos	Los armónicos tienen un más alto que la frecuencia fundamental.
Anillo exterior defectuoso. Un solo defecto moderado	BPFO y armónicos	Radial	Uniforme	Picos no síncronos	El ruido de banda ancha incrementa
Bola o rodillo defectuoso. (único)	BSF y armónicos	Radial	Alta, uniforme	Banda angosta	
Bolas defectuosas (varias)	BSF y armónicos	Radial	Uniforme	Banda angosta	El ruido de banda ancha incrementa
Jaula defectuosa. Rota en un lugar.	Ruido de banda ancha	Radial	Uniforme	Banda ancha	Nivel de ruido bajo
Jaula rota en pedazos	Ruido de banda ancha	Radial	Uniforme	Banda ancha	Ruido causado por los pedazos de la jaula en el rodamiento
Precarga o lubricación inadecuada	Ruido de alta frecuencia "montón de heno"	Radial		Banda ancha	El ruido de banda ancha incrementa
Holgura del rodamiento girando en la flecha	Armónicos 1X	Radial		Banda angosta	Número y amplitud de los armónicos función de la holgura.
Holgura en el cárter	1X, 2X, 3X	Radial		Banda angosta	
Holgura extrema o falla	0.5X y Armónicos	Radial			Línea de base del ruido de baja frecuencia se va elevando.
Juega excesivo en un rodamiento	Armónicos 0.5X, 1X	Radial			4X hasta 8X o 7X hasta 15X
Rodamiento chueco	1X, 2X, Tonos de rodamiento	Radial	Elevado uniforme	Banda angosta	Diferencia de fase de 180° en medidas axiales en cada lado del cárter del rodamiento.

Fuente: White,2010

Realizado por: Carrasco W. y Naula B.,2021

## 2.8. Fallos en rodamientos enfocado a las picaduras

Los fallos en elementos rodantes de máquinas, evolucionan de acuerdo van desarrollando un trabajo requerido, no hay excepción en los automóviles que están expuestos a factores ambientales como el sol, la lluvia, cambios bruscos de temperatura, lodo, polvo, uso y abuso, acumulando sedimentos en lugares donde no pueden ser limpiados porque no se logra apreciar o están sellados, y es la falta de limpieza la causa de picadura en rodamientos iniciando con la resecaación del mismo porque el polvo acumulado forma grumos de lubricante dando paso a una corrosión seca y micro picaduras, por otro lado, puede ser que el exceso de líquidos como el agua igual provoque corrosión y por ende la picadura eminente.

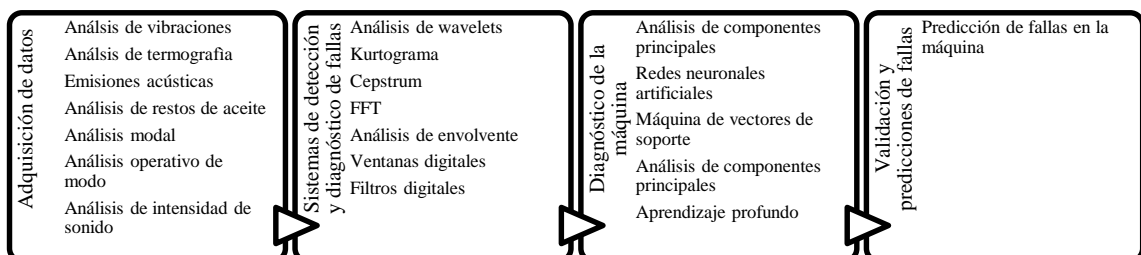


**Figura 7-2:** Evolución de la picadura en la pista externa

Fuente: Power-MI, defectos típicos en rodamientos

## 2.9. Tipos de análisis vibracionales

Por la exigencia de una alta disponibilidad de equipos existe una demanda creciente de monitoreo basado en la condición relacionado al análisis de vibraciones en rodamientos, para mejorar la fiabilidad y exactitud de fallos a ser evaluados. Debido a esto los investigadores han creado diferentes técnicas avanzadas de procesamiento digital de señales y métodos de inteligencia artificial para extraer las características de dichas fallas de los equipos en la industria. Este proceso se divide en cuatro etapas como se muestra en la figura 8-2. (Zurita, y otros, 2016 págs. 103-111)



**Figura 8-2:** Datos por detección de fallas y predicción de fallas de las máquinas.

Fuente: Zurita, Sánchez & Cabrera, 2016.

Realizado por: Carrasco W. y Naula B., 2021

Podemos establecer los métodos de análisis de vibraciones en rodamientos más relevantes como son:

- Kurtograma
- WPT (Análisis de wavelets)
- Cepstrum
- *Análisis de la envolvente*

### 2.9.1. Principales características de los métodos de análisis de vibraciones

La tabla (7-2) muestra los principales métodos de clasificación, pero no es sencillo comparar todos los métodos debido a que son muy extensos y no se podrán establecer en un mismo proyecto. Sin embargo, se estableció algunas pautas basadas en estudios bibliográficos. Para la caracterización de espectros podemos decir que la técnica de la envolvente es necesario filtrar ciertas derivaciones de vibraciones que alteran a los armónicos en función de la campana de resonancia que forma un solo conjunto en sí.

**Tabla 7-2: Principales características de los métodos de análisis de vibraciones.**

Método	Ventajas	Desventajas
<b>Kurtograma</b>	Se puede detectar y caracterizar señales transitorias.	Necesita un filtro de paso de banda preciso para desarrollarse e incorporado al método.
<b>Cepstrum</b>	Detectar señales de periodicidad y bandas laterales. Puede detectar muy bien la señal de eco.	Trabajar como un filtro de paso bajo podría ser ese método para promediar las fluctuaciones de la curva del espectro.
<b>FFT</b>	Funciona bien para señales periódicas.	No apto para señales no periódicas.
<b>Ondas</b>	Puede comprimir o eliminar el ruido y proporciona información precisa sobre el contenido de localización de energía en tiempo y frecuencia. Información detallada de señales en bandas de baja y alta frecuencia	Para un análisis fino, podría ser computacionalmente intensivo. Puede llevar tiempo elegir la ondulada correcta para una señal adecuada
<b>Análisis de envolvente</b>	Eficiente para detectar fallas, cuando las señales contenían ráfagas de frecuencia casi periódicas, lo que genera contenido de alta frecuencia para fuerzas de impulso repetitivas.	Es necesario mejorar la selección de filtros paso banda para realizar el procedimiento de demodulación

Fuente: Zurita y otros, 2016

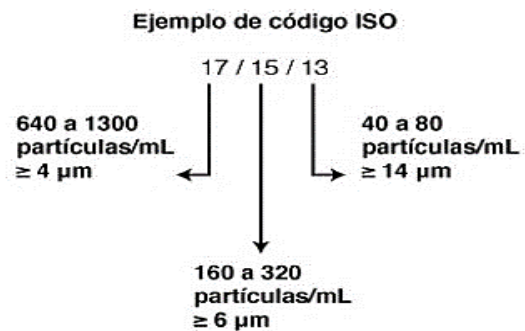
Realizado por: Carrasco W. y Naula B.2021



## 2.10. Tribología de rodamientos

Los rodamientos que se encuentran en la industria discrepan en su forma de fabricación, en comparación de los rodamientos para automóviles, por razones de distribución de cargas, no obstante ambos tipos de fabricación de rodamientos se debe aplicar una película del lubricante adecuado, una vez ya acabada la vida útil del elemento rodante el agente de lubricación ha perdido propiedades físicas y químicas por lo que tiende a transformarse en una pasta blanquecina y en ocasiones de mal olor, siendo más crítica la incrustación de sedimentos entre las hileras de los rodamientos para llantas de automóviles, según la norma ISO 4406:1999 nos da a conocer que tan limpio se encuentra el lubricante en relación de cantidad de partículas con medidas de 4  $\mu\text{m}$ , 6 $\mu\text{m}$  y 14 $\mu\text{m}$ .

Códigos de limpieza ISO 4406:1999		
Cantidad de partículas por 1 mL de fluido		
Código ISO	Mínimo	Máximo
1	0,01	0,02
2	0,02	0,04
3	0,04	0,08
4	0,08	0,16
5	0,16	0,32
6	0,32	0,64
7	0,64	1,3
8	1,3	2,5
9	2,5	5
10	5	10
11	10	20
12	20	40
13	40	80
14	80	160
15	160	320
16	320	640
17	640	1300
18	1300	2500
19	2500	5000
20	5000	10000
21	10000	20000
22	20000	40000
23	40000	80000
24	80000	160000
25	160000	320000
26	320000	640000
27	640000	1300000
28	1300000	2500000



**Figura 9-2:** Tabla de limpieza según ISO 4406:1999

Fuente: Widman International SRL

### 2.10.1. Importancia de la selección de lubricante y tiempo de cambio del mismo

A menudo los rodamientos llegan a fallar o presentan un desgaste por fatiga debido a una mala selección del lubricante, causando que los elementos rodantes se oscurezcan perdiendo

propiedades de acabado superficial rompiendo la película de lubricación y dejando un contacto directo entre las pistas y las bolas del rodamiento, además que puede provocar que al realizar un análisis de vibraciones el bloqueo de los elementos rodantes lo haga casi imposible.

$$T=K \left[ \left( \frac{14,000,000}{n\sqrt{d}} \right) - 4d \right] \quad (1)$$

Donde:

T= Frecuencia [h]

K= Producto de todos los factores de corrección - Ft\*Fc\*Fh\*Fv\*Fp\*Fd

n= Velocidad [RPM]

d= Diámetro interior [mm]

Factor	Condición	Rango de operación promedio	Factor de corrección
<b>Ft</b>	Temperatura en la cascara	<65°C	1.0
		65 a 80°C	0.5
		80 a 93°C	0.2
		>93°C	0.1
<b>Fc</b>	Contaminación solida	Ligera, polvo no abrasivo	1.0
		Severa, polvo no abrasivo Ligera, polvo abrasivo	0.7
		Severa, polvo abrasivo	0.4
			0.2
<b>Fh</b>	Humedad	Humedad inferior a 80%	1.0
		Entre 80% y 90%	0.7
		Condensación ocasional	0.4
		Agua ocasional en carcasa	0.1
<b>Fv</b>	Vibración	Velocidad pico <0.2 ips	1.0
		0.2 a 0.4 ips	0.6
		>0.4 ips	0.3
<b>Fp</b>	Posición del eje	Horizontal	1.0
		45 grados	0.5
		Vertical	0.3
<b>Fd</b>	Diseño del rodamiento	Rodamiento de bolas	10
		Rodillos cilíndricos/agujas	5
		Rodillos cónicos/esféricos	1
ips= Pulgadas por segundo (in/seg) 0.2 ips= 5 mm/seg			

**Figura 10-2:** Cálculo de la frecuencia de cambio de lubricante

Fuente: América 2015

### 2.10.2. Selección del lubricante

En el área de la tribología podemos encontrar varias fórmulas se utilizan para cambiar el lubricante en determinado tiempo de uso, y otras que permiten calcular la cantidad de grasa o aceite para un rodamiento, en el caso de los rodamientos de las ruedas delanteras este cálculo se lo debe multiplicar por dos ya que se encuentra dos hileras de rodamientos dentro de una misma pista exterior. Se debe tomar en cuenta que este método se debe utilizar para rodamientos que están compuestos por elementos rodantes de bolas, agujas, cónicos y demás.

2.10.2.1. *Volumen del espacio vacío dentro de un rodamiento*

$$V = \left[ \left( \frac{\pi}{4} * B * (D^2 - d^2) * 10^{-9} \right) - \frac{m}{7800} \right] * 10^6 \quad (2)$$

Donde:

V= Volumen del espacio vacío dentro de un rodamiento[cm<sup>3</sup>]

$\pi$ = Constante pi

B= Ancho del rodamiento por una hilera[mm]

D= Diámetro exterior del rodamiento[mm]

d= Diámetro interior del rodamiento[mm]

m= Peso del rodamiento [kg]

2.10.2.2. *Relación de velocidad*

$$n_r = \frac{n}{n_{m\acute{a}x}} \quad (3)$$

Donde:

$n_r$ = Relación de velocidad[Adimensional]

n= Velocidad de operación máxima[RPM]

$n_{m\acute{a}x}$ = Límite máximo de velocidad de diseño[RPM]

2.10.2.3. *Porcentaje de llenado de grasa en el espacio vacío del rodamiento*

**Tabla 8-2: Porcentaje de llenado de grasa**

Relación de velocidad ( $n_r$ )	% de llenado de grasa en el espacio vacío del rodamiento
<0,2	100%
0,2 < $n_r$ < 0,8	33%
$\geq 0,8$	10%

Fuente: NORIA 2021

Realizado por: Carrasco W y Naula B 2021

2.10.2.4. *Cantidad inicial de grasa a aplicar*

$$Q_{inicial} = V * \%_{llenado} \quad (4)$$

Donde:

$Q_{\text{inicial}}$ = Cantidad inicial de grasa a aplicar[gr]

$V$ = Volumen del espacio vacío dentro de un rodamiento[cm<sup>3</sup>]

% llenado= Porcentaje de llenado de grasa en el espacio vacío del rodamiento

#### 2.10.2.5. Cálculo de la cantidad de grasa para re-lubricación

$$Q_{\text{re-lub}}=(0.005*D*B)^2 \quad (5)$$

Donde:

$Q_{\text{re-lub}}$ = es el valor de la cantidad de grasa [kg]

$D$ =diámetro de la pista exterior[mm]

$B$ =ancho del rodamiento por una hilera[mm]

#### 2.10.3. Tipo de lubricante a aplicar en el rodamiento

La pregunta más frecuente con la que se encuentra al momento del montaje de un rodamiento es si debemos ponerle grasa o aceite, a continuación, se puede detallar una fórmula que tiene límites nominales con los que podemos hacer.

$$TL=n(dm) \quad (6)$$

Donde:

$TL$ =Tipo de lubricante 500 000 Grasa >  $TL$  < 500 000 Aceite

$n$ =Velocidad de trabajo [RPM]

$dm$ =Diámetro interior del rodamiento [mm]

#### 2.11. Técnicas de monitoreo en rodamientos usando análisis de vibraciones

La *envolvente*, para la detección de fallas en rodamientos, se inicia con una simulación del comportamiento dinámico del rodamiento cuando este presenta un defecto en su pista externa, para lo cual se simula la señal armónica a la frecuencia natural del conjunto de rodamiento con soporte, ver fórmula (7). La anterior señal decae como resultado del amortiguamiento asociado al sistema y oscila con un periodo de 0,05 segundos.

Posteriormente se aplica la técnica a datos que se obtienen del website. Los registros de vibraciones almacenados en este website corresponden a la señal de vibración de un banco que presenta diferentes severidades de falla en la pista externa e interna de rodamientos de bolas. Por último, se valida el algoritmo en un banco experimental implementado para este propósito, este proceso lo realiza automáticamente el equipo VibraCHECK 200 (Quiroga, Trujillo y Quintero 2012)

$$y=2e^{-400t} \sin(2\pi*100t) \quad (7)$$

### ***2.11.1. Técnica de la envolvente***

Entre los espectros de vibraciones que se caracterizan, la técnica de la envolvente es la que más se utiliza para identificar las etapas en el comportamiento de la sinusoidal derivada de la onda fundamental, misma que se puede dividir en cuatro etapas que cambian el valor de la amplitud en función del tiempo, el análisis de las etapas de la curva espectral se mantiene homogénea con patrones de medida similares si no existe provocación al fallo.

#### *2.11.1.1. Etapa de ataque*

Es el inicio de onda espectral que nos puede indicar desde su arranque con valor cero hasta el valor pico más alto.

#### *2.11.1.2. Etapa de decaimiento*

En esta etapa, podemos iniciar el seguimiento desde el valor pico del fin en la etapa de ataque de la honda hacia un quiebre de la curva con tendencia a normalizarse. Si en varias mediciones tomadas podemos encontrar variación de valores se podría deducir que existe alguna alteración del armónico.

#### *2.11.1.3. Etapa de sostenimiento*

Tenemos valores que se podrían normalizar en una toma de mediciones y que tienden a ser de amplitud constante en función del tiempo, además aquí se caracteriza los valores al tener algún valor pico dentro de este intervalo de mediciones. Lo que claramente se daría indicios que se está frente a una falla y la magnitud de esta.

#### *2.11.1.4. Etapa de relajación*

Esta parte de la curva espectral es aquella que cambia con pendiente positiva al paso del tiempo, lo que se lleva a analizar cuanto tardaría la curva en disminuir si frecuencia de velocidad o disminución del área del espectro en función del tiempo.

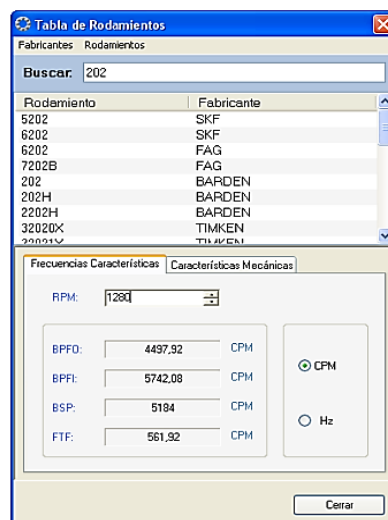
## 2.12. Software MAINTraQ Predictive

Este software de mantenimiento predictivo organiza la actividad de mantenimiento predictivo definiendo máquinas, planes de inspección, evaluando mediciones, mostrando tendencias, analizando vibraciones y realizando estadísticas. (IDEAR, 2014 pág. 25)

### 2.12.1. Características principales

- Opera junto a VibraCHECK
- Planifica las inspecciones
- Evalúa máquinas espectralmente y por valores globales de vibraciones
- Muestra tendencias
- Analiza vibraciones
- Realiza estadísticas
- Registra los diagnósticos y mantenimientos realizados en cada máquina
- Facilita la configuración de niveles de alarmas
- Genera informes

### 2.12.2. Base de datos de rodamientos



**Figura 11-2:** Base de datos de rodamientos.

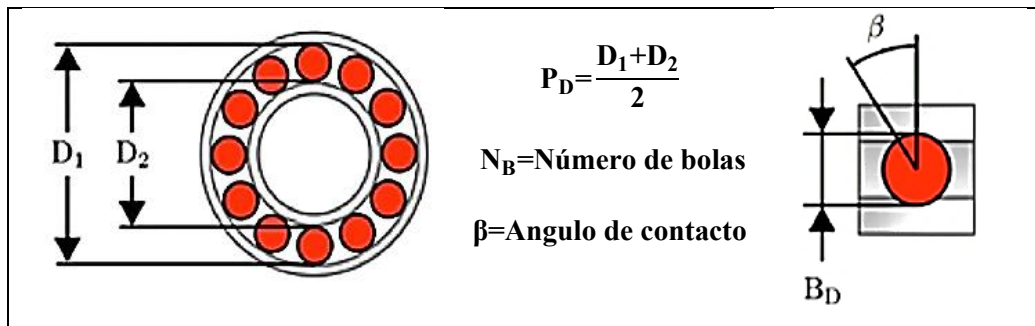
Fuente: IDEAR, 2014

MAINTraq Predictive incluye una base de datos con 4000 rodamientos para vincularlos a los puntos de medición y así poder ver a las frecuencias características (BPFO, BPFI, BSF y FTF) sobre los espectros.

Como se observa en la figura 11-2 en la base de datos existente en el MAINTraq Predictive se pueden elegir rodamientos más comunes en las marcas FAG Y SKF los cuales ya han sido objeto de estudio por los fabricantes y por ende se calculan y se muestran automáticamente sus frecuencias características.

### 2.12.3. Fórmulas para el cálculo de frecuencias características

Para poder ingresar el rodamiento de llanta de un vehículo se debe ingresar de forma manual sus características principales (Nombre, marca, fabricante, tipo de lubricante, etc..) y sus frecuencias características en función de sus pistas, giro de bola y canastilla; para estas últimas se deben utilizar fórmulas ya que el programa no calcula de forma automática.



**Figura 12-2:** Cálculo de frecuencias características

Fuente: IDEAR, 2014

#### 2.12.3.1. Frecuencia de pista externa

$$BPFO = \text{RPM} \frac{N_B}{2} \left( 1 - \frac{B_D}{P_D} \cos(\beta) \right) \quad (8)$$

#### 2.12.3.2. Frecuencia de pista interna

$$BPFI = \text{RPM} \frac{N_B}{2} \left( 1 + \frac{B_D}{P_D} \cos(\beta) \right) \quad (9)$$

#### 2.12.3.3. Frecuencia de giro de bola

$$\text{BSF}=\text{RPM} \frac{P_D}{B_D} \left[ 1 - \left( \frac{B_D}{P_D} \cos(\beta) \right)^2 \right] \quad (10)$$

2.12.3.4. *Frecuencia fundamental de la jaula*

$$\text{FTF}=\text{RPM} \frac{1}{2} \left( 1 - \frac{B_D}{P_D} \cos(\beta) \right) \quad (11)$$



## CAPÍTULO III

### 3. ADAPTACIÓN DEL MÓDULO Y TOMA DE MEDIDAS

#### 3.1. Selección del rodamiento para el análisis de espectro

Se realiza una encuesta de campo a quince talleres mecánicos en la ciudad de Riobamba, lo cual lleva a la selección de dos rodamientos por medio del método denominado *Pareto* en las marcas SKF y NTN, en función de repuestos más usados y adquiridos en el mercado, ya que en los centros automotrices manifiestan que en la mayoría de los casos es más conveniente cambiar el rodamiento cuando se detecte alguna anomalía con los sentidos, pero esta no es una manera muy técnica de establecer si un rodamiento está en un estado que aun pueda cumplir con su función requerida.

**Tabla 1-3: Muestreo de rodamientos más usados y criterio de cambio**

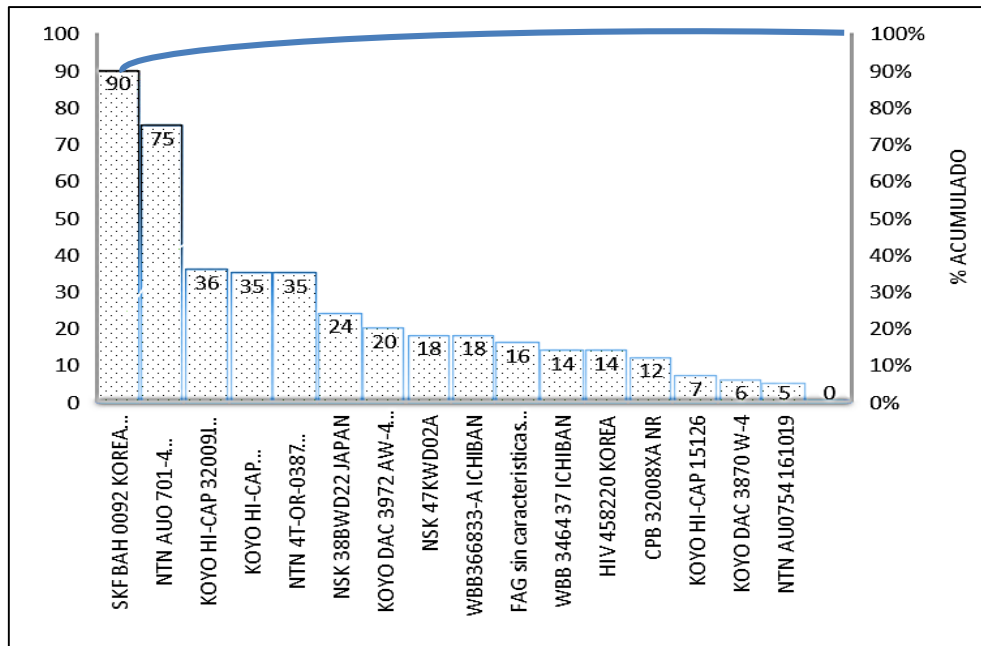
Marca de rodamiento más usado	NTN	SKF	Criterio de cambio
Promedio de cambio semestral	De 14 a 15	De 15 a 16	<ul style="list-style-type: none"><li>• Eje en mal estado</li><li>• Incrustación de lodos</li><li>• Choques</li></ul>
Rodamiento para análisis de espectro	<i>NTN AUO 701-4 JAPAN TN</i>	<i>SKF BAH 0092 KOREA M10L17</i>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Exceso de velocidad</li><li>• Ruptura de la araña</li><li>• Resecamiento</li><li>• Auto antiguo</li></ul>

Fuente: Autores

Realizado por: Carrasco W. y Naula B.2021

##### 3.1.1. Rodamiento más usado

Para seleccionar los rodamientos que se montaron en el banco de pruebas y desarrollar la caracterización de espectros, se aplicó la técnica de administración de mantenimiento denominada *PARETO*, misma que dio como resultado un 90% de ocurrencia al fallo en el rodamiento *SKF BAH 0092 KOREA M10L17* y un 75% para el rodamiento *NTN AUO 701-4 JAPAN TN*, así se muestra en el siguiente gráfico 1-3 denominado *Rodamientos con mayor frecuencia de fallo*, uno de los planos que se representa es el *tiempo total* que se requiere para cambiar un rodamiento de doble hilera para una frecuencia de seis meses, en el otro plano tenemos el porcentaje acumulativo para interpretar los elementos que tienden a mayores fallos.



**Gráfico 1-3:** Pareto-rodamientos con más frecuencia de fallo

Realizado por: Carrasco W. y Naula B.2021

### 3.1.2. Características de los rodamientos seleccionados para el estudio

Se detalla los rodamientos que han sido seleccionados bajo el análisis de Pareto.

**Tabla 2-3: Características del rodamiento SKF BAH 0092 KOREA M10L17**

Característica	Denominación
<b>Nombre de la marca</b>	HYIB
<b>Certificación</b>	ISO9001:2000
<b>Número del modelo</b>	BAH-0092
<b>Tipo de sellado</b>	Metálico
<b>Aplicación</b>	Llanta delantera para colocación en la araña, Chevrolet Aveo 1.4 y 1.6 2005-, Chevrolet Sail 1.4 y 1.6 2013-, Chevrolet Spark Gt 2011-, Daewoo Racer, Daewoo Cielo,
<b>Dimensiones</b>	(34x64x37) mm
<b>Materiales</b>	Aproximadamente 1% de carbono y 1,5% de cromo
<b>Opciones para reemplazo</b>	PW34640037CS; BAH-0092; VKBC20003
<b>Observaciones</b>	Se encuentra con doble hilera de elementos rodantes

Fuente: BAH-0092 - Rodamiento Rueda.2021

Realizado por: Carrasco W. y Naula B.2021



**Figura 1-3:** Rodamiento SKF-BAH 0092 KOREA M10L17

Fuente: BAH-0092 - Rodamiento Rueda.2021

**Tabla 3-3: Características del rodamiento NTN AUO 701-4 JAPAN TN**

Característica	Denominación
Nombre de la marca	4LL
Certificación	ISO9001:2000
Numero de modelo	AU0701-4/L588
Tipo de sellado	Plástico
Aplicaciones	Rueda delantera Chevrolet Aveo 2004-2011 / Chevrolet Spark 2013-2015 Pontiac G3 2009-2010 / Pontiac Wave 2005-2008 Suzuki Swift+ 2004-2009
Dimensiones	(34x64x37) mm
Material	Aproximadamente 1% de carbono y 1,5% de cromo
Opciones para reemplazo	NTN 1207SKC3; NTN JPU58-010-A1
Observaciones	Se encuentra con doble hilera de elementos rodantes

Fuente: NTN AUO 701-4 JAPAN TN

Realizado por: Carrasco W y Naula B 2021



**Figura 2-3:** Rodamiento NTN-AUO-071-4 JAPAN TN

Fuente: NTN AUO 701-4 JAPAN TN

### 3.2. Tribología del rodamiento

En los rodamientos *SKF BAH 0092 KOREA M10L17* y *NTN AUO 701-4 JAPAN TN* se observó que el lubricante que estaba inicialmente se encontraba de una tonalidad oscura con sedimentos de agua, lodo y pequeñas astillas tanto del mismo material como de escombros, por esta razón para el estudio de caracterización de espectros se ha seleccionado un lubricante adecuado de acuerdo al siguiente criterio técnico.

**Tabla 4-3: Velocidades de trabajo en rodamientos**

Rango de velocidad	Factor de velocidad para rodamientos de bola (mm/min)	Descripción	Aplicación
L baja	< 100 000	Temperatura Min=-30°C Max=120°C	Rodamientos para llantas en automotores. Transportadores y ventiladores. Pequeños motores eléctricos
M media	<300 000		

Fuente: Catalogo SKF Lubricación

Autores: Carrasco W y Naula B 2021

#### 3.2.1. Selección del tipo de lubricante

Para una selección efectiva del tipo de lubricante en nuestro caso grasa, se debe tener varias consideraciones para lograr un equilibrio de calidad, aplicación y accesibilidad de los mismos, para una correcta re-lubricación en los rodamientos de vehículo tenemos que seguir varios pasos que iremos detallando a continuación:

##### Paso 1 (Se aplica fórmula 2)

Para una selección efectiva del tipo de lubricante, se tendrá varias consideraciones de aplicación y accesibilidad de los mismos, en una correcta re-lubricación del rodamiento de vehículo para lo cual debemos seguir varios pasos en la aplicación de la fórmula 2 llegando a determinar el espacio vacío con un valor resultante de 19,04cm<sup>3</sup> y nomenclatura de (D), (d), (B), (m).

Desarrollo:

$$V = \left[ \left( \frac{\pi}{4} * B * (D^2 - d^2) * 10^{-9} \right) - \frac{m}{7800} \right] * 10^6$$

$$V = \left[ \left( \frac{\pi}{4} * (36) * (64^2 - 36^2) * 10^{-9} \right) - \frac{0,5}{7800} \right] * 10^6$$

$$V = 19,024 \text{ cm}^3$$

**Tabla 5-3: Volumen del espacio vacío para lubricar**

Diámetro exterior del rodamiento[mm]	Diámetro interior del rodamiento[mm]	Ancho del rodamiento[mm]	Peso del rodamiento[kg]	Espacio vacío para lubricación[cm <sup>3</sup> ]
64	36	36	0,5	19,024

Fuente: NORIA 2021

Realizado por: Carrasco W y Naula B 2021

**Paso 2** (Se aplica fórmula 3)

Los valores calculados para la relación de velocidad ( $n_r$ ), ayudaran a la selección de parámetros en la tabla 8-2 aplicando la fórmula 3 con datos como velocidad de operación máxima ( $n$ ) y límite máximo de diseño  $n_{\text{máx}}$  demostrado de la siguiente manera.

Desarrollo:

$$n_r = \frac{n}{n_{\text{máx}}}$$

$$n_r = \frac{1725}{1800}$$

$$n_r = 0,9583$$

**Tabla 6-3: Relación de velocidad**

Velocidad de operación máxima[rpm]	Límite máximo de velocidad de diseño[rpm]	Relación de velocidad
1725	1800	0,9583

Fuente: NORIA 2021

Realizado por: Carrasco W y Naula B 2021

**Paso 3** (Se aplica tabla 8-2)

El apartado de la tabla 8-2 muestra las características del porcentaje de llenado en función de la relación de velocidad  $n_r$  que posteriormente se utilizará en la fórmula 4 para hallar la cantidad inicial de lubricación.

**Tabla 7-3: Porcentaje de llenado**

Relación de velocidad	Rango para porcentaje de llenado	% de llenado calculado
0.958333333	>=0,8	10%

Fuente: NORIA 2021

Realizado por: Carrasco W y Naula B 2021

**Paso 4** (Se aplica fórmula 4)

Para el cálculo de la cantidad inicial de lubricante ( $Q_{inicial}$ ) se debe considerar la cantidad el volumen de espacio vacío dentro del rodamiento (V) y el % de llenado que debe ser dividido para 100%; estos serán remplazados a continuación:

Desarrollo:

$$Q_{inicial} = 19,024 \text{cm}^3 * \frac{10\%}{100\%}$$

$$Q_{inicial} = 19,024 \text{cm}^3 * 0,1$$

$$Q_{inicial} = 1,904 [\text{gr}]$$

**Tabla 8-3: Cantidad de grasa inicial a aplicar**

Vol. interno dentro del rodamiento	Porcentaje de llenado [%]	Cantidad inicial de lubricante[gr]
19,0239	10	1,904

Fuente: NORIA 2021

Realizado por: Carrasco W y Naula B 2021

Una vez reemplazados los datos en la fórmula 4 podemos aplicar una cantidad inicial de grasa a razón de 1,904 [gr] de grasa para rodamientos de alta presión.

**Paso 5** (Se aplica fórmula 5)

La aplicación de la fórmula de re-lubricación ( $Q_{re-lub}$ ), está determinada por una constante de 0,005 multiplicada por el diámetro externo del rodamiento (D) y el ancho del rodamiento (B), una vez ya reemplazados los valores como se muestra a continuación nos dará un valor de 11,52gr de grasa para rodamientos, se debe recordar que en este caso se debe multiplicar al doble ya que es un rodamiento de doble hilera.

Desarrollo:

$$Q_{\text{re-lub}} = (0.005 * D * B)^2$$

$$Q_{\text{re-lub}} = (0.005 * 64 * 36)^2$$

$$Q_{\text{re-lub}} = 11,52 \text{ gr}$$

**Tabla 9-3: Cantidad de grasa para re-lubricación**

Diámetro externo del rodamiento [mm]	Ancho del rodamiento [mm]	Cantidad de grasa de re-lubricación [gr]
64	36	11,52

Fuente: NORIA 2021

Realizado por: Carrasco W y Naula B 2021

### 3.2.2. Análisis para la frecuencia de cambio de lubricante

Se aplica fórmula 1

El funcionamiento del elemento rodante generará un determinado intervalo de tiempo que dará paso a un deterioro progresivo del lubricante a causa del aumento de temperatura y modo de fallo inducido denominado picadura, en tal caso se aplica la fórmula 1 que tiene valores de producto de los factores (K) estos factores de corrección se deben basar en los rangos establecidos en la figura 11-2 , velocidad (n) y el diámetro interior (d) con un valor resultante de 880,440 horas en condiciones ideales.

**Tabla 10-3: Frecuencia de cambio de lubricante**

Factor de corrección		Producto de los factores		Frecuencia [rpm]		Diámetro [mm]		Frecuencia de cambio en horas
Ft	0,5	K=	10	n=	1725	d=	34	880,4402451
Fc	0,7							
Fh	0,7							
Fv	0,6							
Fp	0,5							
Fd	10							

Fuente: NORIA 2021

Realizado por: Carrasco W y Naula B 2021

Desarrollo:

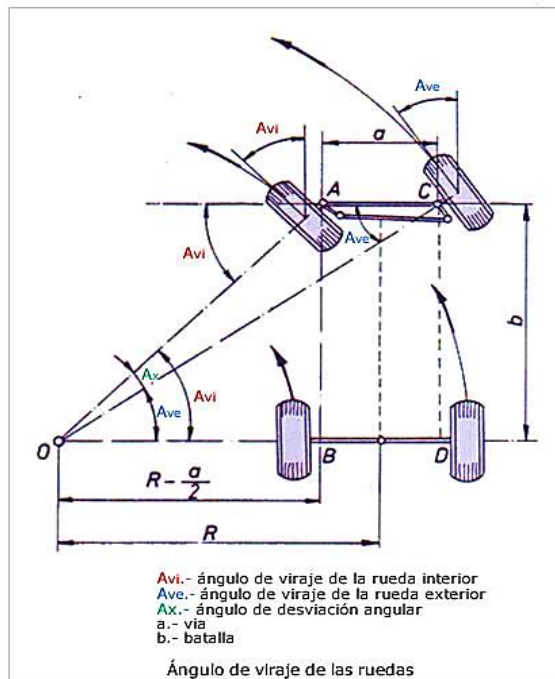
$$T=K \left[ \left( \frac{14,000,000}{n\sqrt{d}} \right) - 4d \right]$$

$$T=10 \left[ \left( \frac{14,000,000}{1725\sqrt{34}} \right) - 4(34) \right]$$

$$T=880,440h$$

### 3.2.3. Inspección visual del estado de las pistas en los rodamientos a ensayar

Bajo una inspección visual se detalla que, para los rodamientos desgastados por uso normal se observa a primera vista una desalineación de pistas, después se realiza una apertura de rodamientos en la cual se identifica que en la pista externa existen unas pequeñas grietas y huellas en forma de cráter, a causa de mala distribución de fuerzas centrípetas y tangenciales.



**Figura 3-3:** Fuerzas de giro

Fuente: Alineación de vehículos, 2007

### 3.3. Evaluación de la inspección

Para que se realice cualquier cambio en un módulo o banco de pruebas, se debe establecer el estado actual del mismo con la finalidad de implantar los diferentes cambios, modificaciones y



adaptaciones que se necesitara para desarrollar el presente trabajo. Siempre hay que tomar en cuenta que cualquier tipo de cambio a realizar no deberá llegar a un punto en el cual no se pueda realizar las practicas previas para las cuales el módulo fue construido.

### **3.3.1. Realizar un check list del módulo de pruebas en rodamientos**

Para establecer el estado actual del módulo de prueba en rodamientos utilizaremos un check list (tabla 11-3) que es un formato de control, para recolectar los datos iniciales de una forma ordenada y tener en cuenta los puntos en los cuales debemos realizar algún tipo de cambio, modificación u adaptación.

### **3.3.2. Mantenimiento al módulo de pruebas**

Una vez realizado el estado de situación se verificó el estado actual del módulo de pruebas se verifica que la mayoría de elementos se encuentran en buenas condiciones, pero para que el equipo este en excelentes condiciones para las pruebas se debieron realizar trabajos de mantenimiento correctivo y preventivo.

#### **3.3.2.1. Cambio de rodamientos del motor**



**Figura 4-3:** Evaluación de rodamientos VibraCHECK 200

**Fuente:** Carrasco W. y Naula B. 2022

- Evaluar las condiciones de los rodamientos del motor WEG mediante el VibraCHECK 200 el cual mide el valor de la envolvente (gE).
- Establecer el estado de los rodamientos, debido a que el valor arrojado es mayor a 10 gE en el plano y (Figura 4-3), para un estado malo, y en el plano x un valor mayor a 6 gE para un estado regular. Se debe considerar que para un valor arrojado mayor a 2 gE un rodamiento está considerado en un estado para un recambio.

**Tabla 11-3: Estado de situación inicial del módulo de pruebas**

Banco de pruebas					
Datos del equipo					
<b>Denominación:</b> Motor eléctrico de 0,75 kW			<b>Marca:</b> WEG		
<b>Código:</b>			<b>Serie:</b>		
<b>Ubicación:</b> Laboratorio de diagnóstico técnico			<b>Ambiente de trabajo:</b> Seco		
Verificación del estado					
N°	Parámetros a controlar (condiciones físicas del módulo)	Escala del estado			Observaciones
		Bueno	Regular	Malo	
1	Placa base del módulo	X			Los pernos de cabeza avellanada se instalan desde abajo
2	Pernos de anclaje de la base a la mesa de trabajo	X			
3	Carcasa del motor	X			
4	Rodamientos del motor				
5	Ventilador del motor	X			
6	Base del motor	X			De cabeza hexagonal
7	Pernos de la base del motor	X			
8	Cable de conexión y terminales de conexión	X			
9	Insertos para toma de medidas	X			
10	Chumacera intermedia	X			
11	Base metálica y pernos de sujeción	X			
12	Insertos para toma de medidas	X			
13	Matrimonio	X			Instalación con 1,5mm de separación
14	Eje motor-matrimonio	X			
15	Eje matrimonio-chumacera-rodamiento a prueba.	X			
16	Chaveta y cuña	X			
17	Chumacera para rodamiento a pruebas	X			
18	Pernos de sujeción	X			
19	Bushing	X			
20	Tablero de control		X		Intermitencias en el variador de frecuencia

Realizado por: Carrasco W y Naula B 2022

- Cambiar ambos rodamientos SKF 6202 identificados en la placa del motor WEG, ya que para unas correctas mediciones ambos rodamientos deben estar en una condición buena. A demás se detectaba un sonido de golpeteo en el rodamiento de la parte delantera del motor hay que tomar en cuenta que si un rodamiento está fallando se debe realizar el cambio de ambos rodamientos
- Después del cambio de rodamientos se procede nuevamente la verificación del estado en los planos x, y dándonos un valor de envolvente menor a 1 gE para un estado excelente.
- Tomar en cuenta los intervalos de re-lubricación.

### 3.3.2.2. *Colocación de prensaestopas, terminales y cable de conexión de energía*

- Evaluar las condiciones del sistema eléctrico del motor WEG
- Establecer la presencia de prensaestopas, estado de terminales y cable tripolar de conexión.
- Cambiar la conexión del motor trifásico de conexión estrella a conexión triángulo debido a que existe un aumento de temperatura en periodos cortos de funcionamiento.
- Colocar prensaestopas ya que no existe, cambiar cable de alimentación y terminales debido a sus malas condiciones.



**Figura 5-3:** Cambio de terminales y cables de conexión

Fuente: Carrasco W. y Naula B. 2022

### 3.3.2.3. *Selección de pernos de anclaje y base de chumacera*

- Evaluar las condiciones de sujeción de los elementos.
- Establecer el tipo de pernos y la presencia total o parcial de los mismos en los conjuntos motor-base, chumaceras-base y módulo-mesa.

- Establecer la presencia de los agujeros de sujeción necesarios.
- Realizar los agujeros avellanados en la placa base y agujeros normales en la mesa de trabajo para empotrar el módulo de pruebas.
- Obtener los pernos de sujeción adecuados que incluyen pernos avellanados, pernos hexagonales.



**Figura 6-3:** Pernos de sujeción para el módulo.

Fuente: Carrasco W. y Naula B. 2022

#### 3.3.2.4. Cambio y lubricación de chumacera intermedia

- Evaluar las condiciones de la chumacera mediante el VIBRACHECK 200 y debido a un ruido presente detectable con los sentidos
- Establecer el estado de la debido a que el valor arrojado es mayor a 9 gE en el plano y, para un estado malo, y en el plano x un valor mayor a 6 gE para un estado regular.
- Cambio de chumacera P204 milimétrica con diámetro interior de 20 mm.



**Figura 7-3:** Cambio de chumacera CMB P204

Fuente: Carrasco W. y Naula B. 2022

### 3.3.2.5. Empotrado de la mesa de trabajo al piso

- Establecer los pernos de expansión de 3/8 por 2 ½ pulgadas.
- Perforar las bases metálicas mediante un taladro pedestal
- Se perforo el piso tanto la cerámica como el concreto mediante taladros de mano.
- Se fijó la mesa teniendo en cuenta siempre que este a nivel



**Figura 8-3:** Empotrado de mesa de trabajo

Realizado por: Carrasco W. y Naula B. 2022

### 3.4. Diseño de la adaptación para los rodamientos

Una vez realizado el correspondiente mantenimiento al módulo de pruebas se estableció que la chumacera de pruebas en rodamientos no se podía modificar ni adaptar para los rodamientos de estudio, por ende, se empezó con la toma de medidas de la antigua chumacera como referencia para el diseño de la nueva y poder realizar las pruebas de los rodamientos previamente seleccionados.

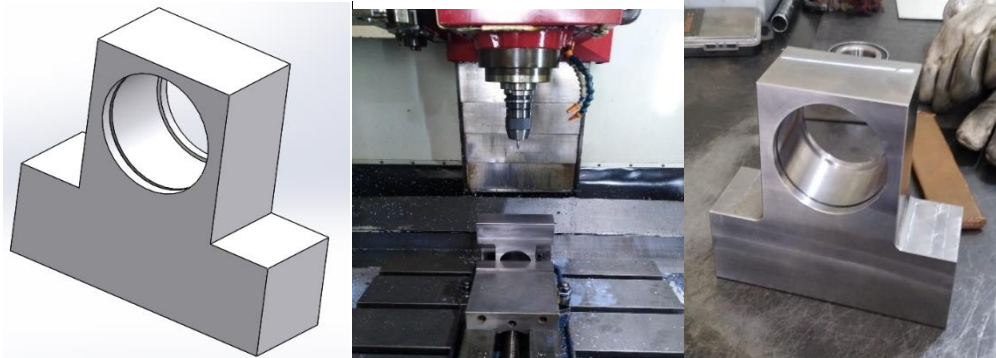


**Figura 9-3:** Chumacera y bushing anterior

Realizado por: Carrasco W. y Naula B. 2022

### 3.4.1. *Diseño de la chumacera para rodamientos de doble hilera*

Para el diseño de la chumacera se realizó un plano en 2D y en 3D (ANEXO A) utilizando el software SOLIDWORK academic y posterior a esto, se contó con la asesoría del Laboratorio de CAD-CAM para establecer el lugar donde finalmente se fabricaría la pieza de un material AISI 1018x6” metálico para que pueda usarse directamente el piezoeléctrico sin la necesidad de colocar insertos metálicos.



**Figura 10-3:** Diseño y construcción de la chumacera

**Realizado por:** Carrasco W. y Naula B. 2022

### 3.4.2. *Diseño y fabricación de bushing para rodamiento-eje*

Para fabricar el bushing que acoplara el eje motriz con el centro del rodamiento se utilizó aluminio debido a que un material más fuerte como de la chumacera antes mencionada podría causar daños en el eje o un desgaste excesivo en caso de existir algún tipo de juego bushing-eje. Al igual que el caso anterior se basó en las medidas del bushing anterior con la finalidad de obtener una pieza de alta precisión evitando la posibilidad de que exista interferencia en las medidas.



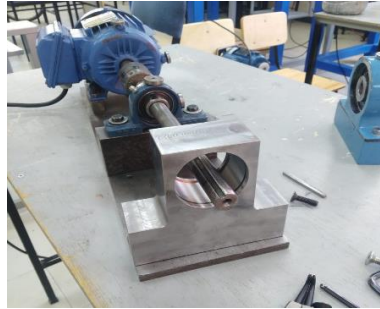
**Figura 11-3:** Bushing para el rodamiento-eje

**Realizado por:** Carrasco W. y Naula B. 2022



### 3.5. Acoplamiento de la chumacera y colocación del rodamiento

Ya con la chumacera fabricada para el rodamiento de doble hilera se establecen los puntos de anclaje en la placa base, que a diferencia de la chumacera anterior esta debe tener 4 puntos de anclaje en vez de 2. Estos puntos de anclaje en la chumacera se lo realizan mediante una fresadora que forma la rosca en su base, también produce el avellanado en la parte inferior de la placa base, para que los pernos avellanados ingresen y sujeten la chumacera.



**Figura 13-3:** Chumacera en la placa base

**Realizado por:** Carrasco W. y Naula B. 2022

Como la chumacera y el bushing son trabajos de alta precisión es necesario el uso de la prensa hidráulica del Laboratorio de Mecanizado para ingresar el bushing al rodamiento y el rodamiento en la chumacera ya que de forma manual es imposible. Hay que procurar usar un eje de aluminio y un cilindro para poder conducir la fuerza de la prensa en los puntos exactos para evitar dañar el rodamiento y así evitar variaciones en las medidas a tomar.



**Figura 14-3:** Colocación de rodamiento de prueba

**Realizado por:** Carrasco W. y Naula B. 2022

### 3.6. Preparación del módulo de pruebas para la toma de medidas

Una vez realizado el mantenimiento correspondiente, las adaptaciones de todos los elementos y los cambios correspondientes del módulo de pruebas se procede con su respectivo montaje realizando el siguiente orden.

### 3.6.1. *Montaje del módulo de pruebas a la mesa de trabajo*

- Colocar el motor WEG mediante pernos avellanados a la placa base.
- Montaje de la chumacera intermedia con pernos avellanados a la placa base
- Unir el matrimonio y ajustar todos los prisioneros correspondientes.
- Colocar la chumacera con el rodamiento de doble hilera.
- Colocar la cuña para ajustar el eje con el bushing para que no exista algún tipo de juego.
- Se empotra el módulo de pruebas por medio de pernos pasantes hexagonales.



**Figura 15-3:** Módulo de pruebas en la mesa de trabajo

Realizado por: Carrasco W. y Naula B. 2022

### 3.6.2. *Alineación del módulo de pruebas*

Una vez montado todos los elementos del módulo de pruebas y el mismo en la mesa de trabajo se procede con su alineación utilizando el equipo OPTALING PLUS. Hay que considerar que por Normativas de alineación un equipo rotativo está alineado el equipo muestra medidas menores a 0.05 mm para las siguientes desalineaciones:

- Desalineación paralelo y angular vertical
- Desalineación paralelo y angular horizontal

La alineación se consigue mediante un proceso de prueba y falla, primero ingresando medidas solicitadas por el equipo después siguiendo por el proceso de alineación de láser y posteriormente el equipo lanza las medidas de corrección en los diferentes tipos de desalineaciones. Estas correcciones se logran mediante shims o galgas que se colocan en las bases del motor o chumaceras así logrando la alineación del eje del motor.





**Figura 16-3:** Equipo OPTALING PLUS y shims

Realizado por: Carrasco W. y Naula B. 2022

Se considera que, nunca un sistema o equipo va a estar alineado si todos sus elementos no se encuentran en buenas condiciones ya que, por su desgaste los elementos pierden su centro de referencia y así se aproxime a la tolerancia de 0,05 mm al momento de encender el sistema se produce nuevamente una desalineación.

### 3.6.2.1. Alineación del eje del módulo de pruebas

- Se ingresan las longitudes solicitadas por el equipo OPTALING PLUS.
- Se produce la alineación laser dando como resultado las medidas de corrección en los tipos de desalineaciones utilizando shims o galgas.
- Se produce la verificación y cambio de elementos de presentarse dificultad de alineación
- La alineación de ejes se finaliza cuando sus 4 tipos de desalineaciones están bajo una tolerancia de 0,05 mm,

**Tabla 12-3: Longitudes ingresadas en el OPTALING PLUS**

Distancia entre reflectores [mm]	Distancia del centro del acople al reflector[mm]	Diámetro del acople[mm]	Distancia entre reflector y el apoyo del motor[mm]	Distancia entre puntos de apoyo del motor[mm]
70	36	45	150	90

Realizado por: Carrasco W y Naula B 2022

**Tabla 13-3: Medidas tomadas para corregir los tipos de desalineación**

Paralelo vertical	Angular vertical	paralelo horizontal	Angular horizontal
-0,17	-1,41	1,33	2,55
-0,11	-1,12	1,09	2,3
0,13	0,57	0,79	-0,27
0,11	0,21	0,69	-0,11
-0,13	0,18	0,23	0,14
-0,1	-0,34	0,01	0,16
-0,07	-0,3	0	0
⋮	⋮	⋮	⋮
-0,09	-0,24	0,04	-0,1
-0,01	-0,19	0,02	-0,12
-0,01	-0,19	-0,01	-0,01
0,03	0	0	0
0,11	-0,06	-0,09	0,07
0,25	0,38	-0,21	-0,22
0,04	-0,06	0	0,04
0,14	0,24	-0,07	0,08
-0,09	0,09	-0,04	0,1
-0,09	0,12	-0,01	0,14
0,11	0,16	-0,07	0,02
-0,01	0,04	-0,2	0
0,03	0,01	0,03	0,04
0	0	0	0,02

Realizado por: Carrasco W y Naula B 2022

**Tabla 14-3: Nomenclatura para la alineación**

	Tolerancias de desalineaciones > 0,1 mm
	Pernos flojos del motor en el lado de la caja de conexión
	Chumacera conducida con gE>10 con diagnóstico "malo"
	Falta de lubricación
	Desorbitación de pistas
	Cambio de rodamientos del motor
	Cambio de chumacera conducida
	Alineación del sistema tolerancias <0,05 mm

Realizado por: Carrasco W y Naula B 2022

### 3.7. Procedimiento para inducir la picadura en rodamientos

Para inducir la picadura en los rodamientos se debe considerar que estos vienen sellados de fábrica, por lo tanto, al momento del desmontaje y montaje de los sellos, pista interna y jaula se realiza en un lugar limpio, con guantes e instrumentos adecuados.



**Figura 17-3:** Inducción de picadura en los rodamientos

**Realizado por:** Carrasco W. y Naula B. 2022

Para la generación inducción se siguen los siguientes pasos:

- Extracción de sellos y pista interna mediante la utilización de un destornillado haciendo palanca, hay que tener cuidado de no rayar y dañar los elementos.
- Extracción de grasa y limpieza de las superficies para la inducción de la picadura.
- Sujeción de la pista externa a una entenalla cuidando de no rayar los costados del mismo.
- Inducción de la picadura mediante un rectificador manual.
- Limpieza de suciedad y restos de limallas de la picadura.
- Rellenado de grasa y montaje de los elementos del rodamiento

### **3.8. Cálculo de las frecuencias características a 1 RPM**

Como se especificó anteriormente al no existir el rodamiento de rueda de vehículo en la base de datos del software MAINTraQ Predictive, se debe realizar el cálculo de sus frecuencias características tomando en cuenta las RPM=1; ya que se debe colocar así y crear un factor de multiplicación para todas las frecuencias que se van a trabajar (30,25,20,15,10) Hz, mismos que son generadas mediante el variador de frecuencia del tablero de control del módulo.

Datos para el cálculo:

RPM= 1

$$D_1[\text{mm}]=58$$

$$D_2[\text{mm}]=40$$

$$P_D[\text{mm}]=49$$

$$B_D[\text{mm}]=10$$

$$N_B (\text{número de bolas}) =28$$

$$\beta(45^\circ) = 0.785398163 \text{ radianes. (ANEXO E)}$$

$$\text{Hz}=60,50,40,30,20$$

**Tabla 15-3: Valores calculados a razón de 1 rpm**

Cálculo de frecuencia	rpm	Hz	Fórmula
Cálculo del BPFO	11,9796	0,1996	$\text{BPFO}=\text{RPM}\frac{N_B}{2}\left(1-\frac{B_D}{P_D}\cos(\beta)\right)$
Cálculo del BPFI	16,0203	0,267	$\text{BPFI}=\text{RPM}\frac{N_B}{2}\left(1+\frac{B_D}{P_D}\cos(\beta)\right)$
Cálculo del BSF	4,7979	0,0799	$\text{BSF}=\text{RPM}\frac{P_D}{B_D}\left[1-\left(\frac{B_D}{P_D}\cos(\beta)\right)^2\right]$
Cálculo del FTF	0,4278	0,0071	$\text{FTF}=\text{RPM}\frac{1}{2}\left(1-\frac{B_D}{P_D}\cos(\beta)\right)$

Realizado por: Carrasco W y Naula B 2022

### 3.8.1. Cálculo de velocidad de sincronismo

**Tabla 16-3: Velocidad de sincronismo**

N° de polos	[rpm]	[Hz]
4	1800	30
4	1500	25
4	1200	20
4	900	15
4	600	10

Realizado por: Carrasco W y Naula B 2022

**Tabla 17-3: Frecuencias características de fallo calculado**

	29,60	24,67	19,73	14,80	9,87
BPFO [Hz]	5,909	4,924	3,939	2,954	0,070
BPFI [Hz]	7,903	6,586	5,268	3,951	2,634
BSF [Hz]	2,366	1,972	1,577	1,183	0,788
FTF [Hz]	0,211	0,175	0,140	0,105	0,070

Realizado por: Carrasco W y Naula B 2022

**Tabla 18-3: Frecuencias características de fallo calculado**

	1782,125	1489,926	1181,452	896,569	602,711
BPFO [rpm]	21349,313	17848,858	14153,434	10740,551	7220,293
BPFI [rpm]	28550,186	23869,069	18927,221	14363,212	9655,614
BSF [rpm]	8550,563	7148,604	5668,558	4301,672	2891,782
FTF [rpm]	762,475	637,459	505,479	383,591	257,867

Realizado por: Carrasco W y Naula B 2022

Los valores representados en las tablas 18-2 y 18-3, determina los valores totales calculados en (Hz) y sus semejantes en (rpm), para las frecuencias de fallo en este tipo de rodamientos de doble hilera, en los que se puede apreciar sin división para la frecuencia fundamental.

### 3.8.2. *Entrada de datos para rodamiento de doble hilera*

En el software MAINTraQ Predictive existe una opción en donde se puede ingresar los rodamientos de doble hilera desde su marca SKF o NTN, sus características principales hasta sus frecuencias fundamentales previamente calculadas. Todo esto será necesario para el análisis de los espectros tomados, donde se mostrarán las etiquetas de las frecuencias fundamentales en cada uno de los espectros.

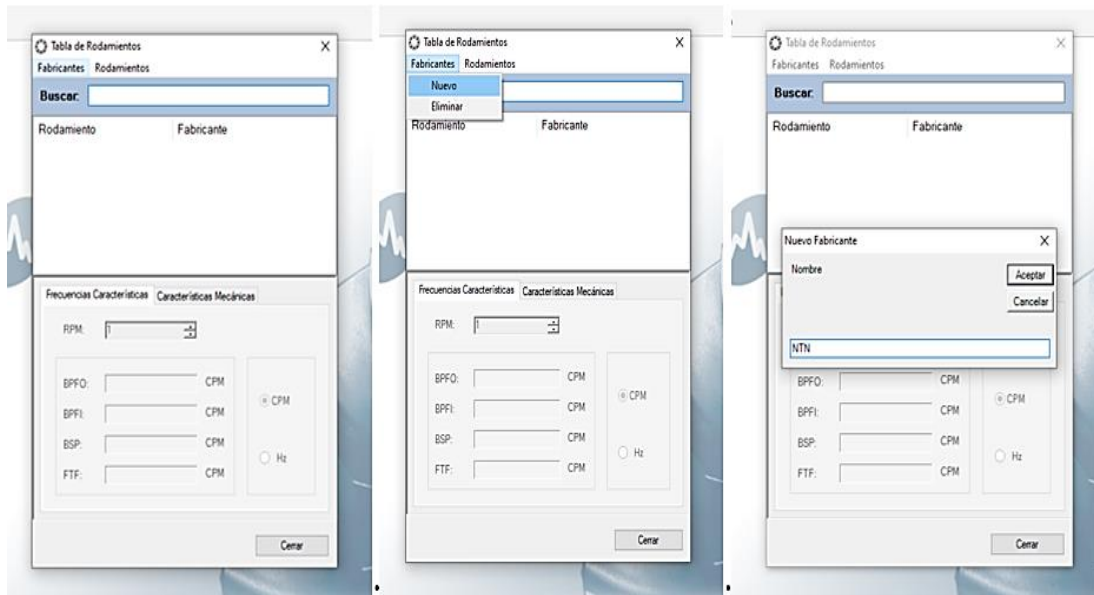
#### **Paso 1**



**Figura 18-3:** Ingreso del nuevo rodamiento en MAINTraQ Predictive

**Realizado por:** Carrasco W. y Naula B. 2022

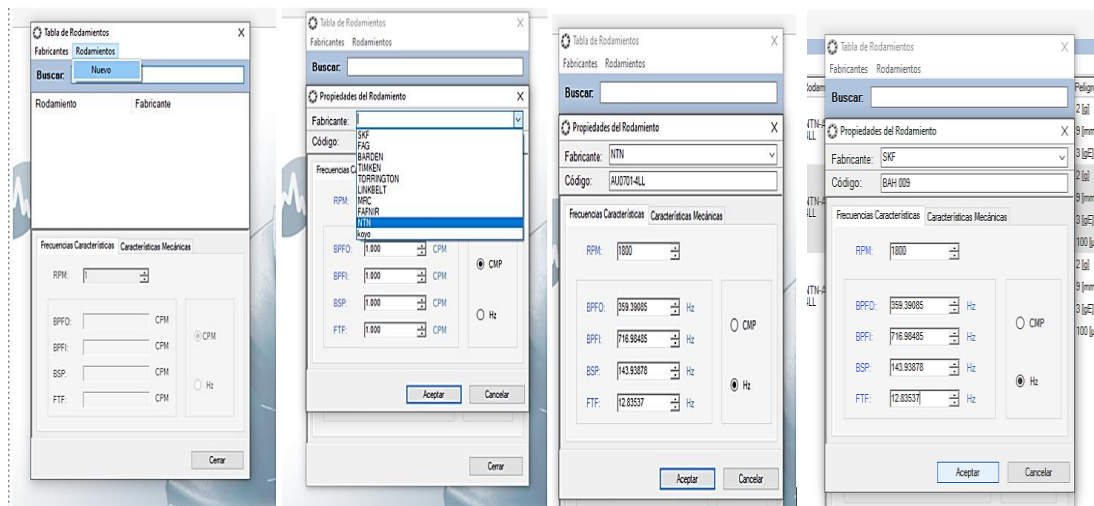
#### **Paso 2**



**Figura 19-3:** Fabricante, Nuevo, Insertar nombre

Realizado por: Carrasco W. y Naula B. 2022

### Paso 3

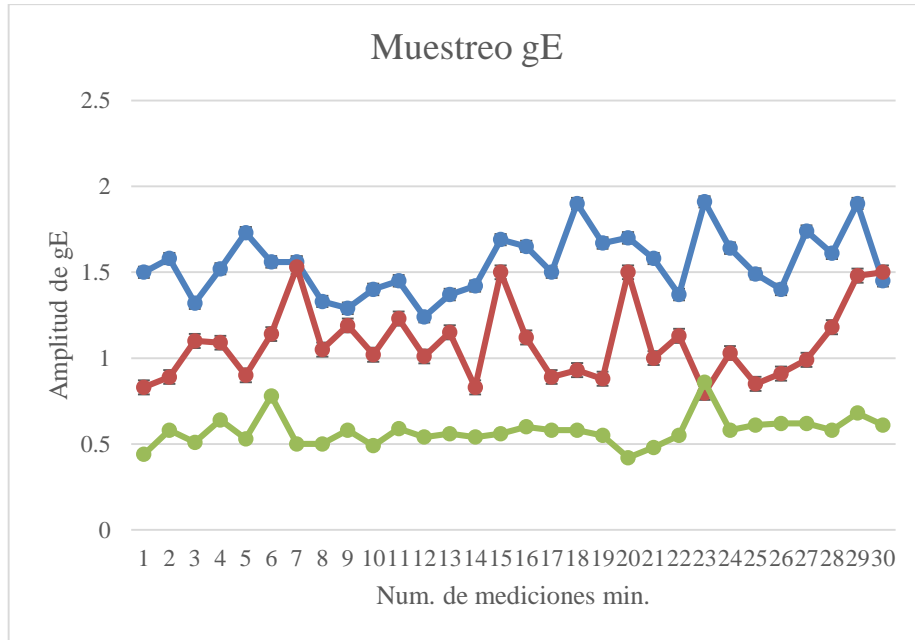


**Figura 20-3:** Nuevo, rodamiento, introducción de sus características fundamentales.

Realizado por: Carrasco W. y Naula B. 2022

### 3.9. Muestreo para la caracterización

El muestreo para la caracterización de los espectros se hizo en función de la envolvente con una base de datos como mínimo 30 mediciones para los planos horizontal, vertical y axial. Y tomando como referencia el tamaño de la muestra (n) de las tablas 19-3;20-3; 21-3 y 22-3 se llegó a un promedio de mínimo 35 espectros para la caracterización.



**Grafico 2-3:** Caracterización de muestreo

Realizado por: Carrasco W. y Naula B.2022

**Tabla 19-3:** Muestreo de envoltente

Fuente: Autores

Realizado por: Carrasco W. y Naula B.2022

N°	Planos		
	y	x	z
1	1.5	0.83	0.44
2	1.58	0.89	0.58
3	1.32	1.1	0.51
4	1.52	1.09	0.64
5	1.73	0.9	0.53
6	1.56	1.14	0.78
7	1.56	1.53	0.5
8	1.33	1.05	0.5
9	1.29	1.19	0.58
10	1.4	1.02	0.49
11	1.45	1.23	0.59
12	1.24	1.01	0.54
13	1.37	1.15	0.56
14	1.42	0.83	0.54
15	1.69	1.5	0.56
16	1.65	1.12	0.6
17	1.5	0.89	0.58
18	1.9	0.93	0.58
19	1.67	0.88	0.55
20	1.7	1.5	0.42
21	1.58	1	0.48
22	1.37	1.13	0.55
23	1.91	0.797	0.86
24	1.64	1.03	0.58
25	1.49	0.85	0.61
26	1.4	0.91	0.62
27	1.74	0.99	0.62
28	1.61	1.18	0.58
29	1.9	1.48	0.68
30	1.45	1.5	0.61

**Tabla 20-3: Muestreo para el plano x**

<b>P(X)=</b>	0.94
<b>Z=</b>	1.55477359
<b>Z<math>\alpha/2</math>=</b>	1.88079361
<b>S=</b>	0.18046587
<b>e=</b>	0.06
<b>n=</b>	32.0014716
<b>n=</b>	33

Fuente: Autores

Realizado por: Carrasco W. y Naula B.2021

**Tabla 21-3: Muestreo para el plano y**

<b>P(Y)=</b>	0.94
<b>Z=</b>	1.55477359
<b>Z<math>\alpha/2</math>=</b>	1.88079361
<b>S=</b>	0.19043684
<b>e=</b>	0.06
<b>n=</b>	35.6354065
<b>n=</b>	36

Fuente: Autores

Realizado por: Carrasco W. y Naula B.2021

**Tabla 22-3: Muestreo para el plano z**

<b>P(Z)=</b>	0.94
<b>Z=</b>	1.55477359
<b>Z<math>\alpha/2</math>=</b>	1.88079361
<b>S=</b>	0.18620708
<b>e=</b>	0.06
<b>n=</b>	34.0700023
<b>n=</b>	35

Fuente: Autores

Realizado por: Carrasco W. y Naula B.2022





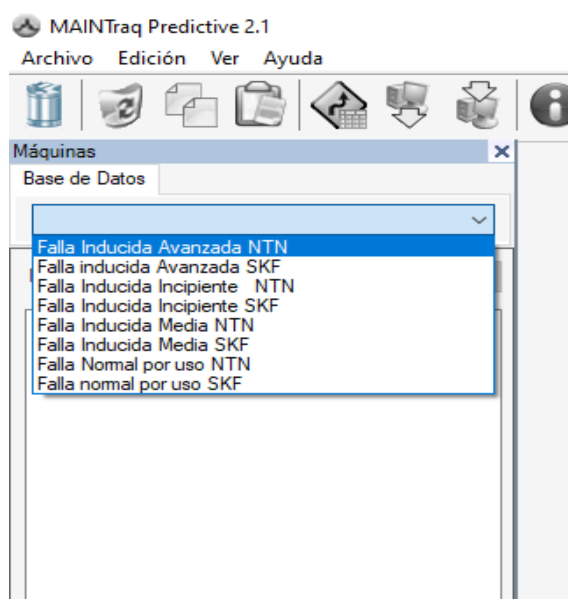
**Figura 21-3:** Evidencia de gE por VibraCHECK

**Realizado por:** Carrasco W. y Naula B.2021

El dato tomado por equipo de análisis de vibraciones nos dio valores entre (1.24 - 1.91) gE para el plano x, para el plano y con valores de (0.797 - 1.53) gE, y por ultimo valores para el plano axial de (0.42 - 0.86) gE, llegando a demostrar que si podemos caracterizar espectros tomando estas medidas como patrones de envolvente.

### 3.10. Creación de base de datos para caracterización

La caracterización de los rodamientos se realiza en 2 rodamientos de marcas SKF y dos en la marca NTN, con 8 carpetas con cinco frecuencias entre (1700 y 450) Hz

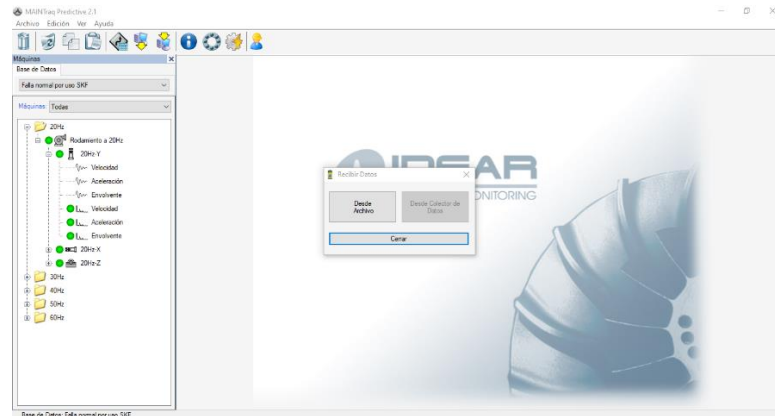


**Figura 22-3:** Base de datos MAINTraq Predictive

**Realizado por:** Carrasco W. y Naula B. 2022



La base de datos aparecerá en el equipo y se procede a la toma de medida colocando el transductor piezoeléctrico en cada plano y el equipo guardarán estas 3 mediciones. Una vez obtenida las 3 mediciones de los planos se procede a descargar desde el software las mediciones y se guardaran en la base de datos este proceso se repetirá en todas las bases de datos hasta obtener un total de 35 medidas por cada plano.

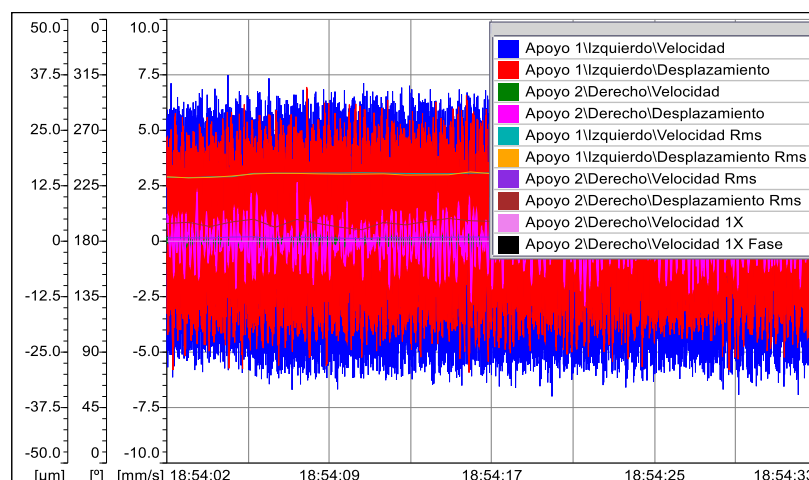


**Figura 25-3:** Descargar mediciones tomadas al MAINTraQ Predictive

Realizado por: MAINTraQ Predictive

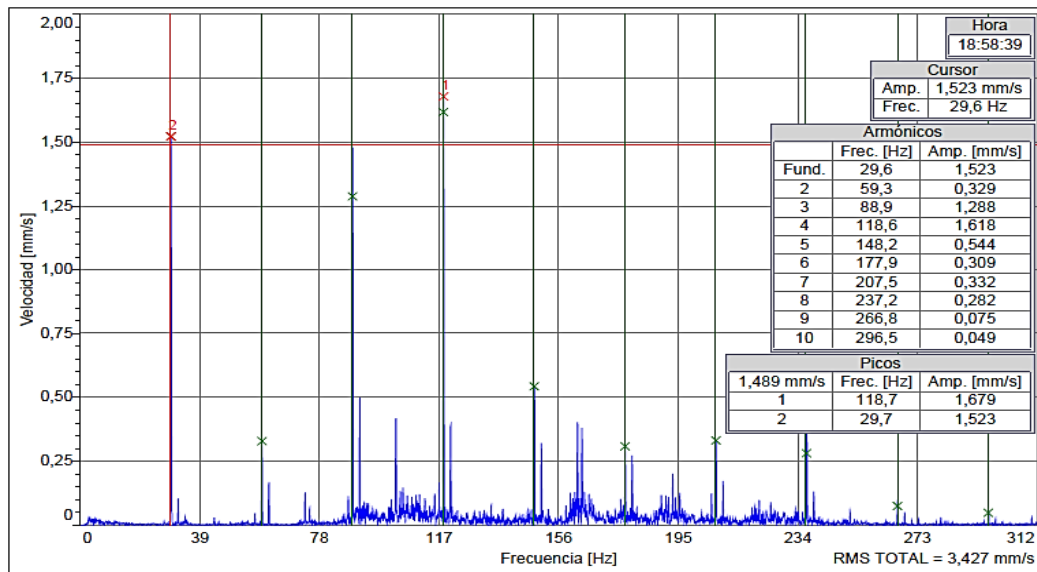
### 3.12.1. Análisis de la frecuencia de rotación del eje del equipo

El análisis de la frecuencia de rotación del eje se lo realiza mediante el software MAINTraQ Viewer en donde se observa una frecuencia máxima que puede alcanzar los elementos de caso contrario al sobrepasar este valor el equipo entrara en resonancia y sus elementos quedarían expuestos a ser destruidos a continuación se observa el espectro y onda del lado motriz plano y, y de los demás puntos (ANEXOS B, C, D, E)



**Gráfico 3-3:** Onda del 1X del lado motriz lado en x

Realizado por: Carrasco W. y Naula B. 2022



**Gráfico 4-3:** Espectro del 1X del lado motriz lado en x

Realizado por: Carrasco W. y Naula B. 2022

**Tabla 23-3: Frecuencias de rotación del eje del motor**

Elemento	Onda o espectro	Posición	Valor [Hz]
Motor	Espectro	y	29,6
Motor	Onda	y	29,6
Motor	Espectro	x	29,6
Motor	Onda	x	29,6
Motor	Espectro	z	29,6
Motor	Onda	z	29,6

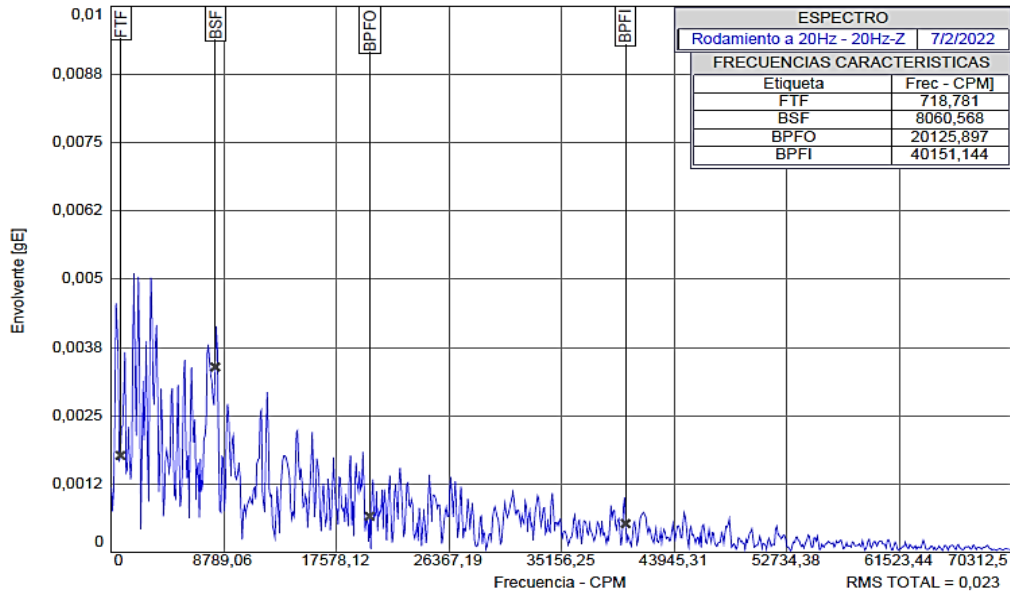
Realizado por: Carrasco W. y Naula B. 2022

### 3.13. Toma de espectros en los planos x, y, z

Una vez culminado el proceso de toma de las 35 medidas en cada plano y descargado a su vez el MAINTraQ Predictive se debe analizar uno por uno los espectros (gráfico 5-3) para proceder a llenar la tabla (24-3) para su posterior caracterización. Esto hay que realizar para cada una de las bases de datos anteriormente creadas.

Mediante los espectros de aceleración, velocidad y envolvente se procede a analizar los datos de cada espectro como son: sus frecuencias fundamentales (BPFO, BPFI, BSF y FTF); su frecuencia fundamental (1X) y la amplitud del espectro ( $V_{rms}$ ) que va creciendo en función de que inducimos la falla en los rodamientos

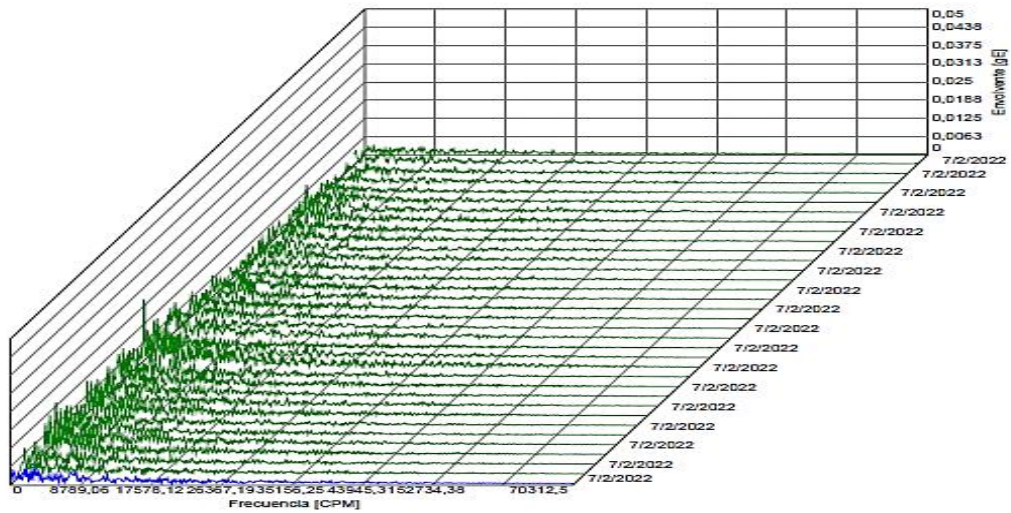
ESPECTRO: 20HZ-ZIENVOLVENTE  
 UBICACION: Falla Normal por uso NTN20Hz/Rodamiento a 20Hz



**Gráfico 5-3:** Espectros rodamiento SKF por uso normal

Realizado por: Carrasco W. y Naula B. 2022

CASCADA DE ESPECTROS DE :20HZ-ZIENVOLVENTE  
 UBICACION: Falla Normal por uso NTN20Hz/Rodamiento a 20Hz



**Gráfico 5-4:** Espectros rodamiento SKF por uso normal

Realizado por: Carrasco W. y Naula B. 2022

### 3.14. Caracterización de los espectros obtenidos en las mediciones

Para la caracterización de espectros se recoge datos de la frecuencia fundamental (1X), el  $V_{rms}$  (mm/s) y todas sus frecuencias características las tablas se encuentran a partir del ANEXO G.

**Tabla 24-3: Caracterización rodamiento SKF por uso normal 1758,248 Hz (plano x)**

N° de espectro	Frecuencia del 1X Hz	Vrms (mm/s)	Frecuencia del fallo				Frecuencia de fallo/Frecuencia 1X			
			BPFO	BPFI	BSF	FTF	BPFO	BPFI	BSF	FTF
1	1 758,111	3,018	21061,64	42017,959	8435,346	752,201	11,979700	23,89949	4,797959	0,42784
2	1758,802	2,734	21069,92	42034,473	8438,6613	752,4966	11,979700	23,89949	4,79795	0,42784
3	1755,953	2,683	21035,79	41966,383	8424,992	751,2777	11,979700	23,89949	4,797959	0,42784
4	1758,361	2,615	21064,63	42023,933	8436,5454	752,3079	11,979700	23,89949	4,797959	0,42784
5	1755,692	2,626	21032,66	41960,146	8423,7397	751,1660	11,979700	23,89949	4,797959	0,42784
6	1754,234	2,652	21015,19	41925,300	8416,7443	750,5422	11,979700	23,89949	4,797959	0,42784
7	1758,289	2,402	21063,77	42022,213	8436,2000	752,2771	11,979700	23,89949	4,797959	0,42784
8	1754,823	2,416	21022,25	41939,377	8419,5703	750,7942	11,979700	23,89949	4,797959	0,42784
9	1758,147	2,476	21062,07	42018,819	8435,5187	752,2164	11,979700	23,89949	4,797959	0,42784
10	1755,363	2,4	21028,72	41952,283	8422,1612	751,0252	11,979700	23,89949	4,797959	0,42784
11	1756,037	2,515	21036,79	41968,391	8425,3950	751,3136	11,979700	23,89949	4,797959	0,42784
12	1754,781	2,402	21021,75	41938,373	8419,3687	750,7762	11,979700	23,89949	4,797959	0,42784
13	1754,729	2,955	21021,12	41937,130	8419,1193	750,7540	11,979700	23,89949	4,797959	0,42784
14	1756,028	2,749	21036,69	41968,176	8425,3518	751,3098	11,979700	23,89949	4,797959	0,42784
15	1755,558	2,494	21031,06	41956,943	8423,0968	751,1087	11,979700	23,89949	4,797959	0,42784
16	1754,094	2,857	21013,52	41921,954	8416,0726	750,4823	11,979700	23,89949	4,797959	0,42784
17	1753,495	2,674	21006,34	41907,638	8413,1986	750,2260	11,979700	23,89949	4,797959	0,42784
18	1755,434	2,573	21029,57	41953,980	8422,5018	751,0556	11,979700	23,89949	4,797959	0,42784
19	1753,954	2,87	21011,84	41918,608	8415,4008	750,4224	11,979700	23,89949	4,797959	0,42784
20	1754,495	2,595	21018,32	41931,538	8417,9965	750,6539	11,979700	23,89949	4,797959	0,42784
21	1754,432	2,583	21017,57	41930,032	8417,6943	750,6269	11,979700	23,89949	4,797959	0,42784
22	1753,194	2,554	21002,74	41900,445	8411,7544	750,0972	11,979700	23,89949	4,797959	0,42784
23	1752,774	2,868	20997,70	41890,407	8409,7392	749,9175	11,979700	23,89949	4,797959	0,42784
24	1752,883	2,843	20999,01	41893,012	8410,2622	749,9642	11,979700	23,89949	4,797959	0,42784
25	1752,023	2,555	20988,71	41872,458	8406,1360	749,5962	11,979700	23,89949	4,797959	0,42784
26	1751,327	2,652	20980,37	41855,824	8402,7964	749,2849	11,979700	23,89949	4,797959	0,42784
27	1752,368	2,522	20992,84	41880,704	8407,7913	749,7438	11,979700	23,89949	4,797959	0,42784
28	1752,483	2,556	20994,22	41883,452	8408,3430	749,7930	11,979700	23,89949	4,797959	0,42784
29	1752,777	2,417	20997,74	41890,479	8409,7536	749,9188	11,979700	23,89949	4,797959	0,42784
30	1750,997	2,518	20976,42	41847,938	8401,2133	749,1573	11,979700	23,89949	4,797959	0,42784
31	1749,238	2,619	20955,34	41805,898	8392,7737	748,4047	11,979700	23,89949	4,797959	0,42784
32	1749,805	2,741	20962,14	41819,449	8395,4941	748,6473	11,979700	23,89949	4,797959	0,42784
33	1746,355	2,68	20920,81	41736,996	8378,9411	747,1712	11,979700	23,89949	4,7979598	0,42784
34	1745,916	2,628	20915,55	41726,504	8376,8348	746,9834	11,979700	23,89949	4,7979598	0,42784
35	1731,721	2,661	20745,5	41387,251	8308,7278	740,9101	11,979700	23,899491	4,7979598	0,42784

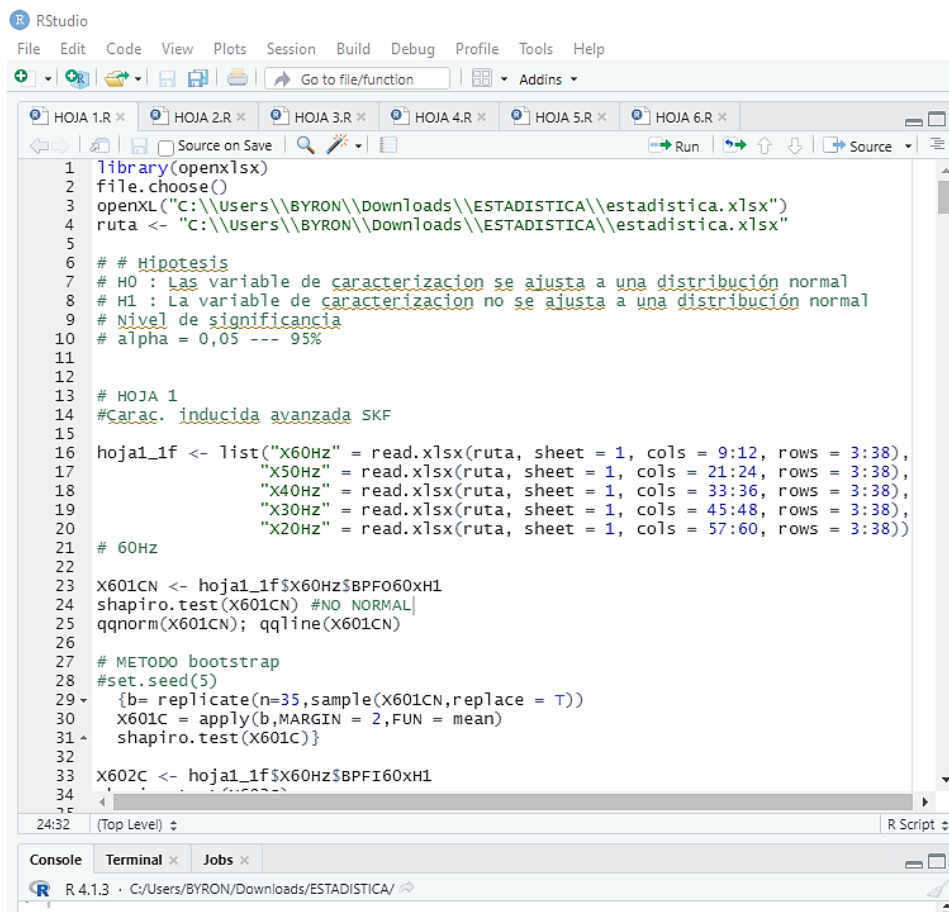
Realizado por: Carrasco W. y Naula B. 2022

## CAPÍTULO IV

### 4. RESULTADOS DE LA CARACTERIZACIÓN DE ESPECTROS

#### 4.1. Test de normalidad de los datos obtenidos

Para la caracterización de todas las tablas se necesita realizar un test de normalización para el cual se va a utilizar el programa Rstudio en donde se puede realizar estos tipos de test. Para esto se debe realizar una programación, para que el programa acepte los datos desde el Excel y nos permita analizarlos.



```
1 library(openxlsx)
2 file.choose()
3 openXL("C:\\Users\\BYRON\\Downloads\\ESTADISTICA\\estadistica.xlsx")
4 ruta <- "C:\\Users\\BYRON\\Downloads\\ESTADISTICA\\estadistica.xlsx"
5
6 ## Hipotesis
7 # H0 : Las variable de caracterizacion se ajusta a una distribución normal
8 # H1 : La variable de caracterizacion no se ajusta a una distribución normal
9 # Nivel de significancia
10 # alpha = 0,05 --- 95%
11
12
13 # HOJA 1
14 #Carac. inducida avanzada SKF
15
16 hoja1_1f <- list("X60Hz" = read.xlsx(ruta, sheet = 1, cols = 9:12, rows = 3:38),
17               "X50Hz" = read.xlsx(ruta, sheet = 1, cols = 21:24, rows = 3:38),
18               "X40Hz" = read.xlsx(ruta, sheet = 1, cols = 33:36, rows = 3:38),
19               "X30Hz" = read.xlsx(ruta, sheet = 1, cols = 45:48, rows = 3:38),
20               "X20Hz" = read.xlsx(ruta, sheet = 1, cols = 57:60, rows = 3:38))
21 # 60Hz
22
23 X601CN <- hoja1_1f$X60Hz$BPFO60xH1
24 shapiro.test(X601CN) #NO NORMAL
25 qqnorm(X601CN); qqline(X601CN)
26
27 # METODO bootstrap
28 #set.seed(5)
29 {b= replicate(n=35, sample(X601CN, replace = T))
30   X601C = apply(b, MARGIN = 2, FUN = mean)
31   shapiro.test(X601C)}
32
33 X602C <- hoja1_1f$X60Hz$BPFI60xH1
34
```

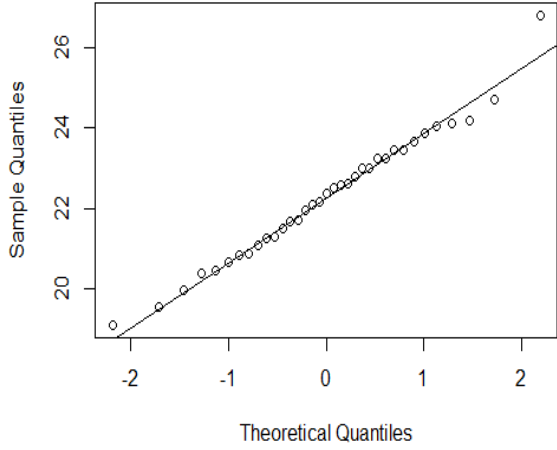
**Figura 1-4:** Test de normalización en Rstudio

Realizado por: Carrasco W. y Naula B. 2022

A continuación, en la tabla 1-4 se muestra los códigos que se utilizaron para realizar su análisis en Rstudio. Se debe tomar en cuenta que este programa analiza los datos separando hojas, separando columnas y finalmente separando filas por ende la programación se va a llevar de acuerdo a esta jerarquía.



**Tabla 1-4: Códigos de programación en Rstudio**

Códigos y descripciones para el análisis de los datos de Excel en Rstudio	
<pre>1 library(openxlsx) 2 file.choose() 3 openXL("C:\\Users\\BYRON\\Downloads\\ESTADISTICA\\estadística.xlsx") 4 ruta &lt;- "C:\\Users\\BYRON\\Downloads\\ESTADISTICA\\estadística.xlsx"</pre>	<p><b>Descripción:</b> Permite leer los datos recolectados del Excel para su posterior test de normalidad</p>
<pre>6 ## Hipotesis 7 # H0 : Las variable de caracterizacion se ajusta a una distribución normal 8 # H1 : La variable de caracterizacion no se ajusta a una distribución normal 9 # Nivel de significancia 10 # alpha = 0,05 --- 95%</pre>	<p><b>Descripción:</b> Solo texto para explicar si un test se ajusta a una distribución normal tanto que el valor p-value <math>\geq 0,05</math>.</p>
<pre>13 # HOJA 1 14 #Carac. inducida avanzada SKF 15 16 hoja1_1f &lt;- list("x60Hz" = read.xlsx(ruta, sheet = 1, cols = 9:12, rows = 3:38), 17                "x50Hz" = read.xlsx(ruta, sheet = 1, cols = 21:24, rows = 3:38), 18                "x40Hz" = read.xlsx(ruta, sheet = 1, cols = 33:36, rows = 3:38), 19                "x30Hz" = read.xlsx(ruta, sheet = 1, cols = 45:48, rows = 3:38), 20                "x20Hz" = read.xlsx(ruta, sheet = 1, cols = 57:60, rows = 3:38))</pre>	<p><b>Descripción:</b> Por motivos del programa se debe analizar individualmente una columna de datos y delimitados por un intervalo de filas. En este caso se analiza los mediciones de la falla inducida avanzada a 29.9 Hz del plano x</p>
<pre>21 # 60Hz 22 23 x601CN &lt;- hoja1_1f\$x60Hz\$BPFO60xH1 24 shapiro.test(x601CN) #NO NORMAL 25 qqnorm(x601CN); qqline(x601CN)</pre>	<p><b>Descripción:</b> Con el test de shapiro se puede comprobar si una columna de datos se ajustan a una distribución normal</p>
<pre>27 # METODO bootstrap 28 #set.seed(5) 29 {b= replicate(n=35,sample(x601CN,replace = T)) 30 x601C = apply(b,MARGIN = 2,FUN = mean) 31 shapiro.test(x601C)}</pre>	<p><b>Descripción:</b> Cuando una columna de datos no se ajustan a una distribución normal se utiliza el método de bootstrap para crear nuevos datos que se puedan ajustar a una distribución normal.</p>
<pre>33 x602C &lt;- hoja1_1f\$x60Hz\$BPFI60xH1 34 shapiro.test(x602C) 35 qqnorm(x602C); qqline(x602C)</pre>	<p><b>Descripción:</b> Si una distribución es normal ósea su p-value es mayor a 0,05 se procede a graficar para observar su grafica característica.</p>
<p><b>Normal Q-Q Plot</b></p> 	

Fuente: Rstudio

Realizado por: Carrasco W. y Naula B.



#### 4.2. Cálculo de valores promedio experimentales de frecuencias de fallo

Los valores presentados en cada una de las tablas denominadas “*caracterización del rodamiento*”, se determinaron al dividir la frecuencia de fallo, para cada una de las frecuencias fundamentales 1X, llegando a encontrar valores parecidos a los que podemos evidenciar en la tabla 15-3, por lo que detallamos a continuación de forma matemática.

*Nota: Para cada tabla de caracterización a diferente frecuencia de 1X se realizó el mismo procedimiento.*

**Desarrollo:**

$$F_{\text{BPFO}} = \frac{\text{Frecuencia de fallo (valores promedio)}}{\text{Frecuencia de 1X (valores promedio)}}$$

$$F_{\text{BPFO}} = \frac{20667,198 \text{ rpm}}{1776,121 \text{ rpm}}$$

$$F_{\text{BPFO}} = 11,63614$$

#### 4.3. Cálculo de valores promedio de los valores experimentales

Los valores promedios que se han encontrado en este apartado son el resultado de sumar la columna de valores de cada frecuencia y dividir para 5 frecuencias analizadas como se detalla a continuación.

*Nota: el procedimiento que se presenta esta aplicado para cada tabla promedio de frecuencias.*

**Desarrollo:**

$$\text{Val}_{\text{Prom}} = \frac{\sum \text{de valores promedio por columna}}{5}$$

$$\text{Val}_{\text{Prom}} = \frac{(11,97969863+11,97969849+11,97969941+11,9797005+11,97970494)}{5}$$

$$\text{Val}_{\text{Prom}} = 11,9797$$

#### 4.4. Cálculo para hallar el valor del error absoluto de frecuencia de falla

Para el desarrollo del cálculo del error entre la frecuencia de fallo experimental y la frecuencia de fallo calculada, se ha tomado en cuenta la diferencia entre los dos valores, así como se muestra a continuación en el siguiente desarrollo de ejemplo.

*Nota: Para cada frecuencia de fallo se está aplicando la misma metodología.*

##### Desarrollo:

$$\Delta_{\text{error}} = |\text{Valor calculado} - \text{valor experimental}|$$

$$\Delta_{\text{error}} = |11,9796 - 11,979|$$

$$\Delta_{\text{error}} = 0,000098772$$

#### 4.5. Cálculo para hallar el valor del error relativo de frecuencia de falla

El cálculo del valor relativo debemos aplicar la división entre el  $\Delta_{\text{error}}$  para el valor calculado y multiplicado por 100% para identificar de igual manera el porcentaje de error entre las mediciones, de igual manera se procede con el cálculo colocando los valores antes mencionados y obteniendo una nueva tabla.

*Nota: Para cada frecuencia de fallo se está aplicando la misma metodología.*

##### Desarrollo:

$$E_{\text{frec}} = \frac{|\text{Valor calculado} - \text{valor experimental}|}{\text{Valor calculado}} * 100\%$$

$$E_{\text{frec}} = \frac{|11,9796 - 11,979|}{11,9796} * 100\%$$

$$E_{\text{frec}} = 0,005009\%$$

#### 4.6. Caracterización SKF por uso normal

**Tabla 2-4: Caracterización del rodamiento SKF por uso normal**

Rodamiento	frecuencia Prom. 1X	Frecuencia de fallo / frecuencia 1X (Experimental Prom.) [rpm]			
		BPFO	BPFI	FTF	BSF
SKF uso normal	1755,728	11,97970094	23,8994916	4,79795986	0,427846137
	1489,573	11,97969773	23,750097	4,79795814	0,425171693
	1178,540	11,97969671	23,85661084	4,79795849	0,427078711
	898,924	11,9797046	24,35215769	4,797959004	0,435949485
	593,353	11,97969388	23,343165	4,79795	0,4178869

Realizado por: Carrasco W. y Naula B. 2022

##### 4.6.1. Promedios y errores porcentuales en rodamiento SKF uso normal

**Tabla 3-4: Promedios de frecuencias de fallo rodamiento SKF uso normal**

BPFO	BPFI	FTF	BSF
11,9796988	23,8403044	4,7979571	0,42678659

Realizado por: Carrasco W. y Naula B. 2022

**Tabla 4-4: Errores absolutos de frecuencias de fallo rodamiento SKF uso normal**

BPFO	BPFI	FTF	BSF
0,000098772	7,820004426	0,000057099	0,001013415

Realizado por: Carrasco W. y Naula B. 2022

Una vez realizado el cálculo de los errores en cada una de las frecuencias características se procede a colocarlos en una tabla (4-4) donde podemos observar el error absoluto. Los errores (tabla 5-4) nos dan en forma porcentual los valores del error relativo en las frecuencias características BPFO, FTF, BSF resultan menores a 1% que son errores muy pequeños y para la frecuencia característica BPFI igual a 48,81 % que es un error algo considerable.

**Tabla 5-4: Errores relativos de frecuencias de fallo rodamiento SKF uso normal**

BPFO	BPFI	FTF	BSF
0,00008%	48,8131%	0,00119%	0,23%

Realizado por: Carrasco W. y Naula B. 2022

#### 4.7. Caracterización SKF fallo incipiente

**Tabla 6-4: Caracterización del rodamiento SKF fallo incipiente**

Rodamiento	frecuencia analizada	Frecuencia de fallo / frecuencia 1X (Experimental Prom.) [rpm]			
		BPFO	BPFI	FTF	BSF
SKF fallo incipiente	1779,968	11,96565081	23,25594509	4,792332096	0,41633
	1492,411	11,96686432	22,1687849	4,792817039	0,39686321
	1186,768	11,97970226	23,55876143	4,79795911	0,42174364
	888,151	11,9796973	23,09900953	4,797959184	0,413515423
	608,032	11,97970372	26,455306	4,79796	0,4735992

Realizado por: Carrasco W. y Naula B. 2022

#### 4.7.1. Promedios y errores porcentuales en rodamiento SKF falla incipiente

**Tabla 7-4: Promedios de frecuencias de fallo rodamiento SKF falla incipiente**

BPFO	BPFI	FTF	BSF
11,9743237	23,7075614	4,79580549	0,42441029

Realizado por: Carrasco W. y Naula B. 2022

**Tabla 8-4: Errores absolutos de frecuencias de fallo rodamiento SKF falla incipiente**

BPFO	BPFI	FTF	BSF
0,005276318	7,687261390	0,002094514	0,003389705

Realizado por: Carrasco W. y Naula B. 2022

Una vez realizado el cálculo de los errores en cada una de las frecuencias características se procede a colocarlos en una tabla (8-4) donde podemos observar el error absoluto. Los errores (tabla 9-4) nos dan en forma porcentual los valores del error relativo en las frecuencias características BPFO, FTF, BSF resultan menores a 1% que son errores muy pequeños y para la frecuencia característica BPFI igual a 47,98 % que es un error algo considerable.

**Tabla 9-4: Errores relativos de frecuencias de fallo rodamiento SKF falla incipiente**

BPFO	BPFI	FTF	BSF
0,0044%	47,98%	0,04365%	0,7921%

Realizado por: Carrasco W. y Naula B. 2022

#### 4.8. Caracterización SKF fallo intermedio

**Tabla 10-4: Caracterización del rodamiento SKF fallo intermedio**

Rodamiento	frecuencia analizada	Frecuencia de fallo / frecuencia 1X (Experimental Prom.) [rpm]			
		BPFO	BPFI	FTF	BSF
SKF fallo intermedio	1723,937	11,97969863	25,382507	4,797959	0,45439485
	1432,668	11,97969849	22,904299	4,79795807	0,41003029
	1115,634	11,97969941	27,71221838	4,797958984	0,496101597
	818,869	11,9797005	23,72421826	4,797958544	0,42470883
	515,915	11,97970494	21,236143	4,79796	0,3801663

Realizado por: Carrasco W. y Naula B. 2022

#### 4.8.1. Promedios y errores porcentuales en rodamiento SKF fallo intermedio

**Tabla 11-4: Promedios de frecuencias de rodamiento SKF fallo intermedio**

BPFO	BPFI	FTF	BSF
11,9797	24,1919	4,7980	0,4331

Realizado por: Carrasco W. y Naula B. 2022

**Tabla 12-4: Errores absolutos de frecuencias de fallo rodamiento SKF fallo intermedio**

BPFO	BPFI	FTF	BSF
0,000100394	8,171577128	0,000058920	0,005280373

Realizado por: Carrasco W. y Naula B. 2022

Una vez realizado el cálculo de los errores en cada una de las frecuencias características se procede a colocarlos en una tabla (12-4) donde podemos observar el error absoluto. Los errores (tabla 13-4) nos dan en forma porcentual los valores del error relativo en las frecuencias características BPFO, FTF, BSF resultan menores a 2% que son errores muy pequeños y para la frecuencia característica BPFI igual a 51 % que es un error algo considerable.

**Tabla 13-4: Errores relativos de frecuencias de fallo rodamiento SKF falla intermedia**

BPFO	BPFI	FTF	BSF
0,000837%	51,0076%	0,001228%	1,23431%

Realizado por: Carrasco W. y Naula B. 2022

#### 4.9. Caracterización SKF fallo avanzado

**Tabla 14-4: Caracterización del rodamiento SKF fallo avanzado**

Rodamiento	frecuencia analizada	Frecuencia de fallo / frecuencia 1X (Experimental Prom.) [rpm]			
		BPFO	BPFI	FTF	BSF
SKF fallo avanzado	1756,028	11,97970094	23,8994916	4,79795986	0,427846
	1424,636	11,9397127	22,6455511	4,65412066	0,40539816
	1116,985	11,9797	27,2053011	4,79795871	0,48702628
	818,310	11,9797034	31,4584557	4,79795896	0,56316603
	517,518	11,8865474	21,239055	4,76256124	0,38021972

Realizado por: Carrasco W. y Naula B. 2022

##### 4.9.1. Promedios y errores porcentuales en rodamiento SKF fallo avanzado

**Tabla 15-4: Promedios de frecuencias de fallo rodamiento SKF fallo avanzado**

BPFO	BPFI	FTF	BSF
11,9531	25,2896	4,7621	0,4527

Realizado por: Carrasco W. y Naula B. 2022

**Tabla 16-4: Errores absolutos de frecuencias de fallo rodamiento SKF fallo avanzado**

BPFO	BPFI	FTF	BSF
0,026527112	9,269270900	0,035788114	0,024931238

Realizado por: Carrasco W. y Naula B. 2022

Una vez realizado el cálculo de los errores en cada una de las frecuencias características se procede a colocarlos en una tabla (16-4) donde podemos observar el error absoluto. Los errores (tabla 17-4) nos dan en forma porcentual los valores del error relativo en las frecuencias características BPFO, FTF, BSF resultan menores a 6% que son errores muy pequeños y para la frecuencia característica BPFI igual a 57,85 % que es un error algo considerable.

**Tabla 17-4: Errores relativos de frecuencias de fallo rodamiento SKF falla avanzada**

BPFO	BPFI	FTF	BSF
0,221432%	57,8578%	0,7457%	5,82048%

Realizado por: Carrasco W. y Naula B. 2022

#### 4.10. Caracterización NTN uso normal

**Tabla 18-4: Caracterización del rodamiento NTN uso normal**

Rodamiento	frecuencia analizada	Frecuencia de fallo / frecuencia 1X (Experimental Prom.) [rpm]			
		BPFO	BPMF	FTF	BSF
NTN uso normal	1 785,766	11,91835033	23,3189054	4,773387	0,417452816
	1491,083	11,97969773	25,586196	4,79795814	0,458041335
	1190,771	11,97969581	24,22679879	4,797957524	0,433705249
	896,5693	11,9797007	23,15585006	4,797958933	0,414533064
	608,32638	11,97970745	24,86506	4,79796	0,4451319

Realizado por: Carrasco W. y Naula B. 2022

##### 4.10.1. Promedios y errores porcentuales en rodamiento NTN uso normal

**Tabla 19-4: Promedios de frecuencias de fallo rodamiento NTN uso normal**

BPFO	BPMF	FTF	BSF
11,9674	24,2306	4,7930	0,4338

Realizado por: Carrasco W. y Naula B. 2022

**Tabla 20-4: Errores absolutos de frecuencias de fallo rodamiento NTN uso normal**

BPFO	BPMF	FTF	BSF
0,012169596	8,210262050	0,004855681	0,005972873

Realizado por: Carrasco W. y Naula B. 2022

Una vez realizado el cálculo de los errores en cada una de las frecuencias características se procede a colocarlos en una tabla (20-4) donde podemos observar el error absoluto. Los errores (tabla 21-4) nos dan en forma porcentual los valores del error relativo en las frecuencias características BPFO, FTF, BSF resultan menores a 2% que son errores muy pequeños y para la frecuencia característica BPMF igual a 51,24 % que es un error algo considerable.

**Tabla 21-4: Errores relativos de frecuencias de fallo rodamiento NTN uso normal**

BPFO	BPMF	FTF	BSF
0,101004%	51,2487%	0,101204%	1,39618%

Realizado por: Carrasco W. y Naula B. 2022

#### 4.11. Caracterización NTN fallo incipiente

**Tabla 22-4: Caracterización del rodamiento NTN fallo incipiente**

Rodamiento	frecuencia analizada	Frecuencia de fallo / frecuencia 1X (Experimental Prom.) [rpm]			
		BPFO	BPMF	FTF	BSF
NTN fallo incipiente	1775,689	11,97970165	22,4505176	4,7979583	0,401906749
	1492,3593	11,97969791	22,492718	4,79796001	0,402662169
	1185,907	11,97970369	24,44134658	4,797958989	0,437546618
	890,149	11,9797068	23,6449775	4,797960746	0,423289788
	597,699	11,97969124	23,265334	4,79795	0,4164933

Realizado por: Carrasco W. y Naula B. 2022

#### 4.11.1. Promedios y errores porcentuales en rodamiento NTN fallo incipiente

**Tabla 23-4: Promedios de frecuencias de fallo rodamiento NTN fallo incipiente**

BPFO	BPFI	FTF	BSF
11,9797	23,2590	4,7980	0,4164

Realizado por: Carrasco W. y Naula B. 2022

**Tabla 24-4: Errores absolutos de frecuencias de fallo rodamiento NTN fallo incipiente**

BPFO	BPFI	FTF	BSF
0,000100258	7,23867873	0,000057609	0,011420275

Realizado por: Carrasco W. y Naula B. 2022

Una vez realizado el cálculo de los errores en cada una de las frecuencias características se procede a colocarlos en una tabla (24-4) donde podemos observar el error absoluto. Los errores (tabla 25-4) nos dan en forma porcentual los valores del error relativo en las frecuencias características BPFO, FTF, BSF resultan menores a 3% que son errores muy pequeños y para la frecuencia característica BPFI igual a 45,18 % que es un error algo considerable.

**Tabla 25-4: Errores relativos de frecuencias de fallo rodamiento NTN fallo incipiente**

BPFO	BPFI	FTF	BSF
0,000837%	45,1844%	0,001201%	2,6648%

Realizado por: Carrasco W. y Naula B. 2022

#### 4.12. Caracterización NTN fallo intermedio

**Tabla 26-4: Caracterización del rodamiento NTN fallo intermedio**

Rodamiento	frecuencia analizada	Frecuencia de fallo / frecuencia 1X (Experimental Prom.) [rpm]			
		BPFO	BPFI	FTF	BSF
NTN fallo intermedio	1717,818	11,97682703	19,906484	4,796809	0,35636351
	1428,974	11,97969909	22,409	4,79796	0,40117
	1127,989	11,97295853	22,0755355	4,795258638	0,395193685
	818,065	11,7745682	17,34585422	4,715801812	0,310523319
	511,914	11,97437609	32,880548	4,79583	0,5886228

Realizado por: Carrasco W. y Naula B. 2022

#### 4.12.1. Promedios y errores porcentuales en rodamiento NTN fallo intermedio

**Tabla 27-4: Promedios de frecuencias de fallo rodamiento NTN fallo intermedio**

BPFO	BPFI	FTF	BSF
11,9357	22,9235	4,7803	0,4104

Realizado por: Carrasco W. y Naula B. 2022

**Tabla 28-4: Errores absolutos de frecuencias de fallo rodamiento NTN fallo intermedio**

BPFO	BPFI	FTF	BSF
0,043914212	6,903184344	0,017568110	0,017425337

Realizado por: Carrasco W. y Naula B. 2022

Una vez realizado el cálculo de los errores en cada una de las frecuencias características se procede a colocarlos en una tabla (28-4) donde podemos observar el error absoluto. Los errores (tabla 29-4) nos dan en forma porcentual los valores del error relativo en las frecuencias características BPFO, FTF, BSF resultan menores a 4% que son errores muy pequeños y para la frecuencia característica BPFI igual a 43,09 % que es un error algo considerable.

**Tabla 29-4: Errores relativos de frecuencias de fallo rodamiento NTN fallo intermedio**

<b>BPFO</b>	<b>BPFI</b>	<b>FTF</b>	<b>BSF</b>
0,366575%	43,0902%	0,3647%	4,072%

Realizado por: Carrasco W. y Naula B. 2022

#### 4.13. Caracterización NTN fallo avanzado

**Tabla 30-4: Caracterización del rodamiento NTN fallo avanzado**

<b>Rodamiento</b>	<b>frecuencia analizada</b>	<b>Frecuencia de fallo / frecuencia 1X (Experimental Prom.) [rpm]</b>			
		<b>BPFO</b>	<b>BPFI</b>	<b>FTF</b>	<b>BSF</b>
NTN fallo avanzado	1752,168	12,04982945	23,48694951	4,826047597	0,42046
	1432,826	11,9397127	24,9565801	4,65409005	0,44676995
	1118,28	11,9797	20,0572381	4,79795871	0,35906245
	819,313	11,9797085	25,5508467	4,79796134	0,4574079
	516,802	11,9797066	20,5623956	4,79796079	0,36810626

Realizado por: Carrasco W. y Naula B. 2022

##### 4.13.1. Promedios y errores porcentuales en rodamiento NTN fallo avanzado

**Tabla 31-4: Promedios de frecuencias de fallo rodamiento NTN fallo avanzado**

<b>BPFO</b>	<b>BPFI</b>	<b>FTF</b>	<b>BSF</b>
11,9857	22,9228	4,7748	0,4104

Realizado por: Carrasco W. y Naula B. 2022

**Tabla 32-4: Errores absolutos de frecuencias de fallo rodamiento NTN fallo avanzado**

<b>BPFO</b>	<b>BPFI</b>	<b>FTF</b>	<b>BSF</b>
0,006131450	6,902502002	0,023096303	0,017438688

Realizado por: Carrasco W. y Naula B. 2022

Una vez realizado el cálculo de los errores en cada una de las frecuencias características se procede a colocarlos en una tabla (28-4) donde podemos observar el error absoluto. Los errores (tabla 29-4) nos dan en forma porcentual los valores del error relativo en las frecuencias características BPFO, FTF, BSF resultan menores a 4% que son errores muy pequeños y para la frecuencia característica BPFI igual a 43,09 % que es un error algo considerable.

**Tabla 33-4: Errores relativos de frecuencias de fallo rodamiento NTN fallo avanzado**

<b>BPFO</b>	<b>BPFI</b>	<b>FTF</b>	<b>BSF</b>
0,05117%	43,086%	0,481252%	4,07433%

Realizado por: Carrasco W. y Naula B. 2022



## CONCLUSIONES

La caracterización de espectros se realizó exitosamente a 4200 datos en gravedades de envolvente [gE] divididos en muestras de 35 datos por plano X, Y y Z; en 6 tipos de escenarios como son: caracterización de espectros con modo de fallo por uso normal para SKF y NTN, de la misma manera se procedió en las mismas de marcas de rodamientos en 6 nivel de picadura a razón de falla incipiente (tomando de patrón los rodamientos de uso normal), falla intermedia y avanzada.

El modo de fallo inducido en rodamientos de doble hilera a nivel incipiente nos encamina en los patrones base para diagnosticar fallos de picaduras y evolución del mismo, con un valor de BPFO de 11,9857rpm con un error del 0,006131450%, no obstante, la falla de picadura crece más en BPFI con un promedio de 11,797 rpm y un fallo de 7,775342 %.

La base de datos espectrales recogidos de velocidad [v], aceleración [a] y envolvente [gE], en el laboratorio de diagnóstico técnico y eficiencia energética con el equipo analizador de vibraciones nos dieron la pauta para justificar la limitación de toma de mediciones a razón de 5 frecuencias (29,60; 24,67; 19,73; 14,80; 9,87) Hz

Con la caracterización de espectros y datos recolectados se pudo comprobar que los rodamientos de doble hilera si presentan un ligero incremento de honda espectral en los picos sin importar que se encuentre analizando a la honda en el plano X, Y o Z.

La caracterización de datos por medio de un análisis calculado o análisis experimental, muestra que, al dividir la frecuencia de fallo para la frecuencia de 1X siempre nos va a dar el valor espectral de fallo más aproximado pudiendo confiar en datos de BPFO por encima de 11,787 rpm para realizar un mantenimiento correctivo, y un aproximado del doble del valor mencionado para BPFI

Para el cálculo de frecuencias de fallo en la pista externa, interna, canastilla y esferas, no es necesario sumar los diámetros de ambas caras, pero si tomar en cuenta la totalidad de esferas ya que podríamos realizar un estudio a futuro si tendría las mismas características espectrales con un rodamiento de agujas con las mismas dimensiones de ancho.

Como hemos observado en el software de MAINTraQ Predictive para realizar un análisis de fallo en rodamientos tipo *SKF BAH 0092 KOREA M10L17* y *NTN AUO 701-4 JAPAN TN* se debe ingresar los datos adecuados con la frecuencia de rotación del eje valorada en 1 rpm ya que tenemos varias frecuencias de rotación dependiendo del tipo de motor.

Debido a que el módulo de caracterización de espectros tiene una chumacera de acero, no se pudo aplicar fuerzas externas para simular movimientos bruscos de giro o frenado, pero si para encaminar a nuevos temas de investigación y creación de módulos de pruebas que puedan ayudar a tomar decisiones de frecuencias de mantenimiento.

La caracterización de espectros se realizó a velocidades constantes generadas por el motor eléctrico a cinco frecuencias diferentes y no hubo ninguna alteración de velocidad o algún tipo de fuerza externa al momento de tomar las medidas vibracionales. Por ende, se consideró que fueron tomadas en condiciones ideales.

La evaluación de las condiciones del estado técnico del módulo de pruebas (motor eléctrico, chumacera conductora) se lo realizo mediante el equipo VibraCHECK 200 que tiene un apartado donde se puede evaluar el estado de los rodamientos obteniendo un estado regular de los mismos y procediendo con su cambio. Además, se utilizó el equipo OPTALING PLUS para realizar la alineación del eje mediante la utilización de arandelas y galgas de un espesor pequeño.

## RECOMENDACIONES

La inspección visual que se realizó a los rodamientos han demostrado que no es recomendable desarmar el rodamiento de doble hilera ya que al extraer las pistas llega a recorrer dejando huellas o pequeñas hendiduras a causa de la presión ejercida por las esferas.

Para próximas investigaciones podemos recomendar una toma de mediciones directamente en el rodamiento ubicado en la llanta del automóvil teniendo en cuenta que no existe superficie plana para poder colocar el acelerómetro se deberá colocar insertos ya sean de forma permanente o que puedan ser removidos con cada medición.

Al realizar este trabajo técnico, sustentado y caracterizado podemos sugerir que, para próximos desarrollos académicos en el área de diagnóstico técnico se trabaje en un análisis y diseño de un banco de pruebas para rodamientos de ruedas delanteras de automóviles sometido a cargas axiales, radiales y radio axial.

Extender el estudio del modo de fallo denominado picadura sometiéndolo a cargas puntuales o desalineación del par mecánico para determinar una apreciación y nueva caracterización de espectros.

Trabajar en un análisis de rodamientos de las ruedas delanteras de los automóviles en función del aumento de temperatura en intervalos de tiempo definidos y evolución del modo de fallo determinado.

Realizar un estudio de materiales óptimos para la mecanización de chumaceras de alta precisión y que la disipación del exceso de calor pueda circular sin afectar al lubricante.

Para fabricar la cuña y el canal de la cuña de dimensión de 2.5mm fue necesario realizarla a mano, debido a que no existe fresa en esa dimensión, por lo que es complicado hacerlo, pero al hacerlo de 3mm de fresa la pared del bushing queda muy fina, pero se puede solucionar con un elemento más largo y colocando prisioneros.

Para una buena toma de medidas se debe considerar el estado óptimo de todo el conjunto de elemento que forma un módulo de pruebas, además que en un estudio donde se debe varias la frecuencia el elemento debe estar muy bien calibrado para que no haya fluctuaciones en nuestro caso un variador de frecuencia.

## **BIBLIOGRAFÍA**

**ALDAMA MARTÍNEZ, Iván.** *Detección de fallos en rodamientos mediante análisis de energía y lógica difusa.* Madrid: UC III, 2019. pp. 68-131.

**ESTÉVEZ RODRÍGUEZ, Jorge & BERNAL DE LÁZARO, José.** *Bearing analysis for the electro-fans in the water cooling system of Hyundai motors.*2020, pp. 02-07.

**CEP.** *Vibraciones Mecánicas Factores relacionados con la fuente y medidas de control.* 2014, pp. 10-112.

**SAN MARTÍN, César** (ed). *Metodología para la detección y diagnóstico de fallas localizadas en sistemas de engranajes y rodamientos.* Argentina, 2009, pp. 3-9.

**CRUZ ORTEGA, Gilberto.** *Análisis de la influencia de las vibraciones en rodamientos de equipos rotatorios de la industria azucarera.* Santa Clara: Universidad Central "Marta Abreu", 2018, pp. 25-58.

**FAJARDO TACURI, Diego & PADILLA PADILLA, Jaime.** *Diagnóstico del estado actual del departamento de mantenimiento de la flota de vehículos del benemérito cuerpo de bomberos voluntarios de Cuenca.* Cuenca: s.n., 2017, pp. 81-123.

**FERSA GROUP.** *Catálogo de rodamientos de rueda.* Zaragoza: Fersa group, 2021, pp. 10-15.

**GÓMEZ SÁNCHEZ, Ana.** *Técnicas de mantenimiento predictivo, metodología de aplicación en las organizaciones.* 2017, pp. 37-72.

**GRACIÁ SOTO, Luis.** *Desarrollo de un sistema de diagnóstico de rodamiento mediante análisis de ruido.* Valencia: Universidad Politécnica de Valencia, 2021, pp. 13-48.

**IDEAR.** *MAINTraQ Predictive Software para mantenimiento predictivo.* Buenos Aires: s.n., 2014. págs. 25-150.

**PÉREZ, Robert X & CONKEY, Andrew P.** *Solución de problemas de maquinaria rotativa, incluidas bombas centrífugas y compresores, bombas y compresores alternativos, ventiladores,*

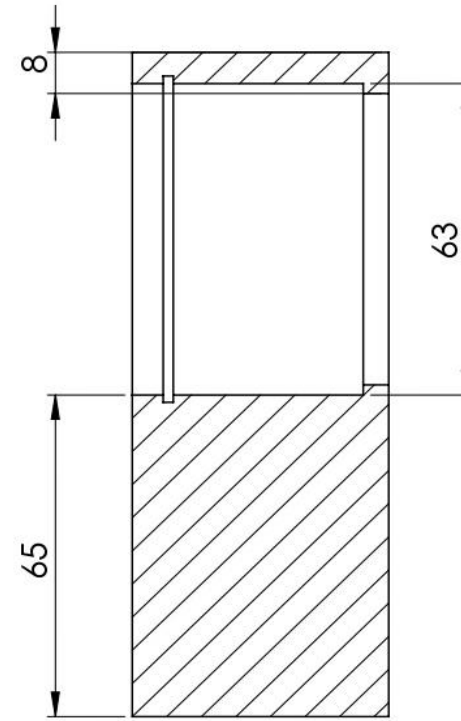
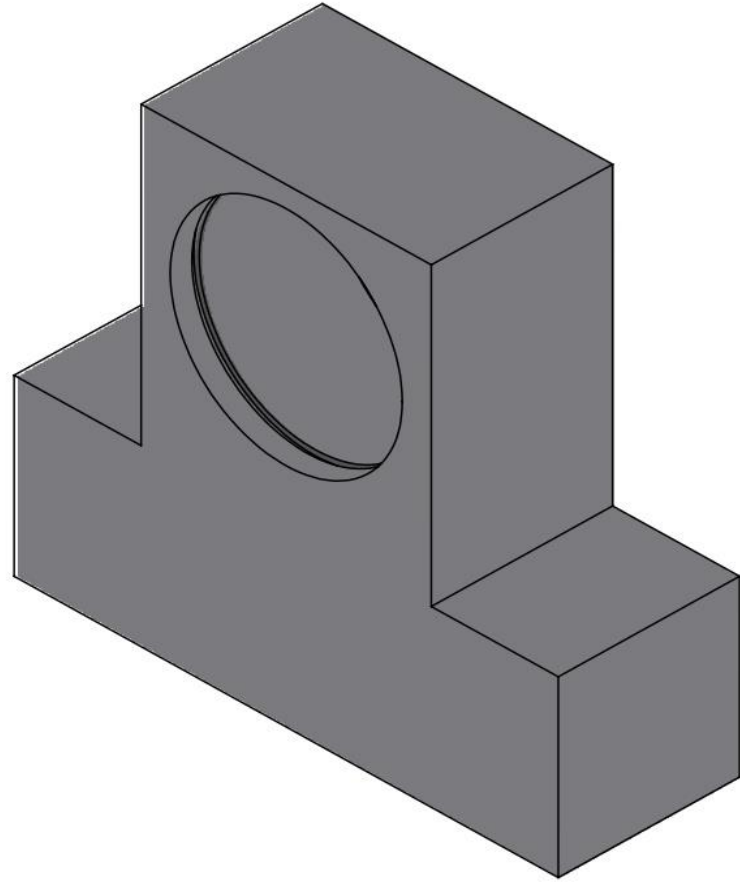
*turbinas de vapor, motores eléctricos y más*. New Jersey: Scrivener Publishing LLC, 2016, pp. 06-22.

**QUIROGA, Jabid.** (ed.) *Study on incipient fault bearing detection based on enveloping and cepstrum techniques*. Argentina: s.n., 2012, pp.1-10.

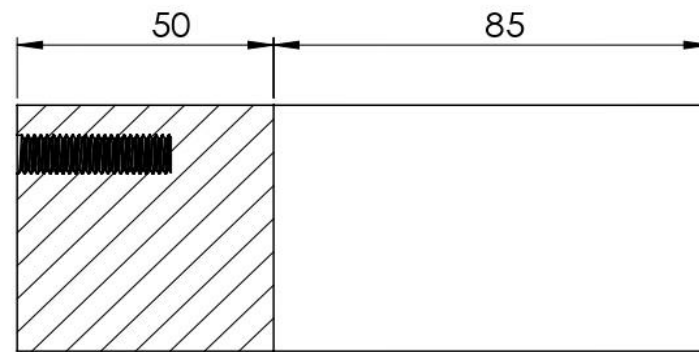
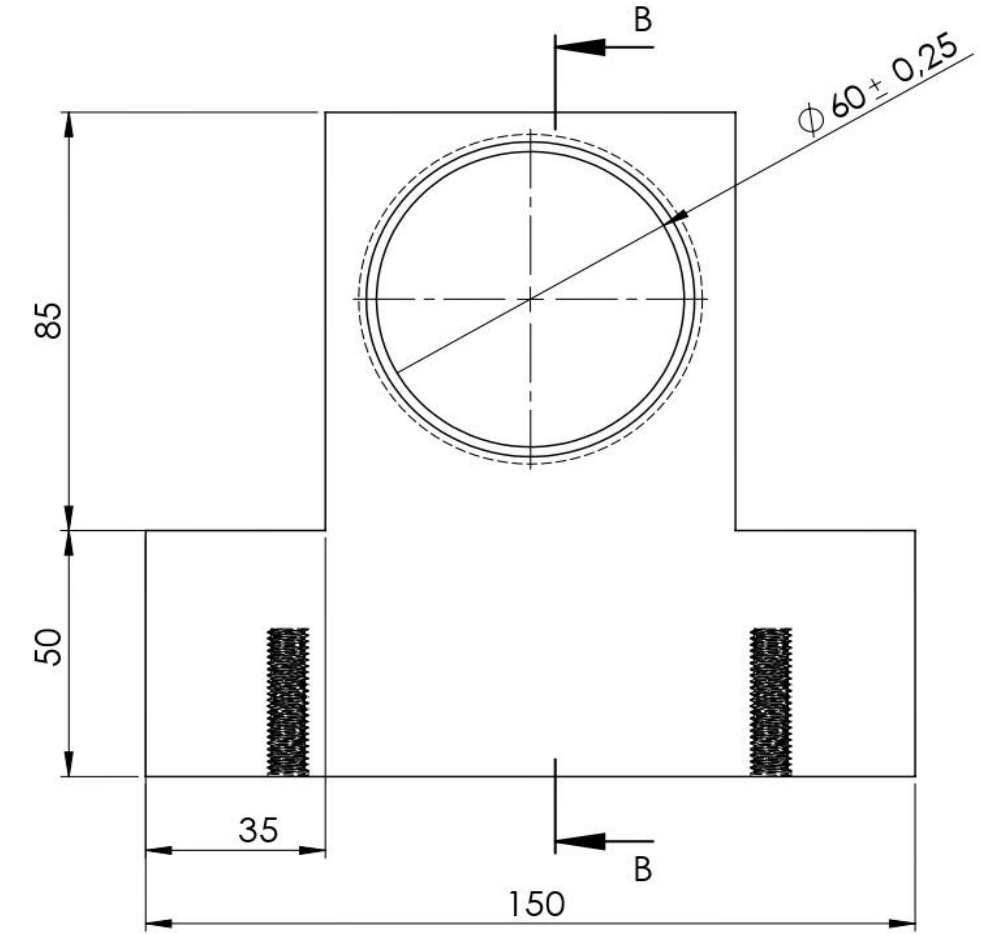
**MORA CEVALLOS, Xavier.** *Análisis de la efectividad de los modelos*. Riobamba: s.n., 2016, pp. 67-110.

**ZURITA, Grover.** (ed.) *Una revisión bibliográfica del análisis vibracional para el diagnóstico de máquinas mediante el uso de métodos de inteligencia artificial*. Cuenca: Universidad Privada Bolivariana, Bolivia, 2016, pp. 18-36.

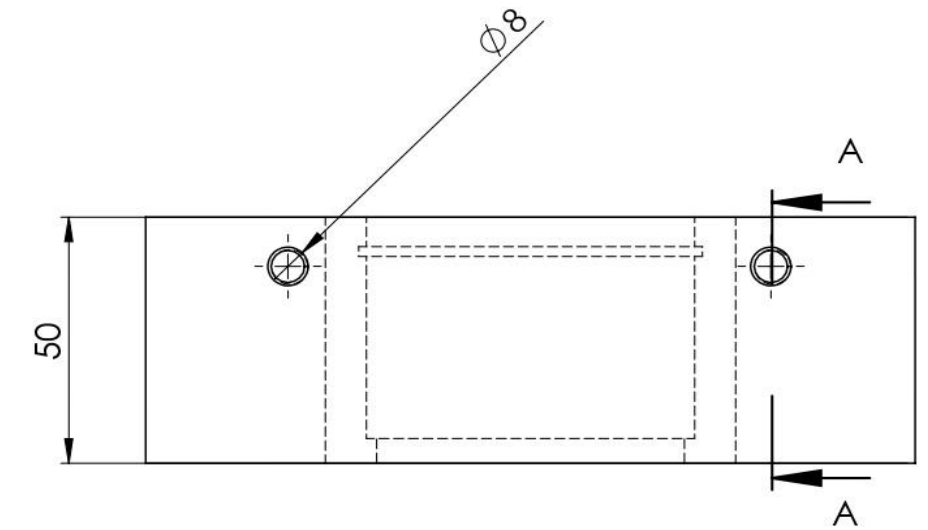
# **ANEXOS**



SECCIÓN B-B  
ESCALA 1 : 1.5

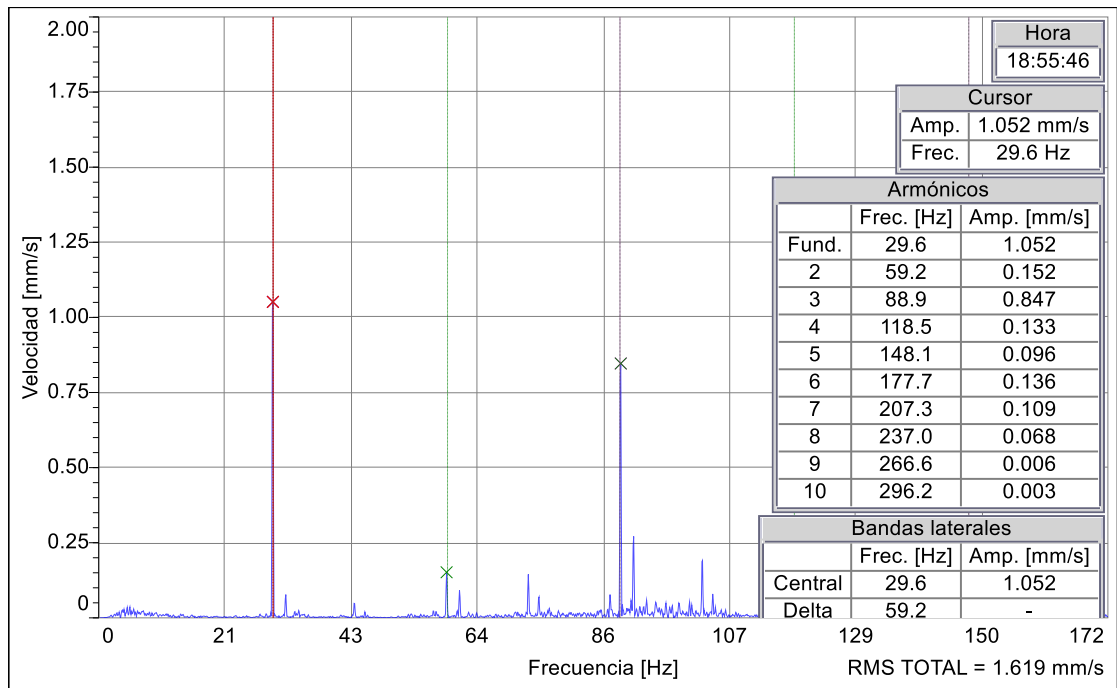
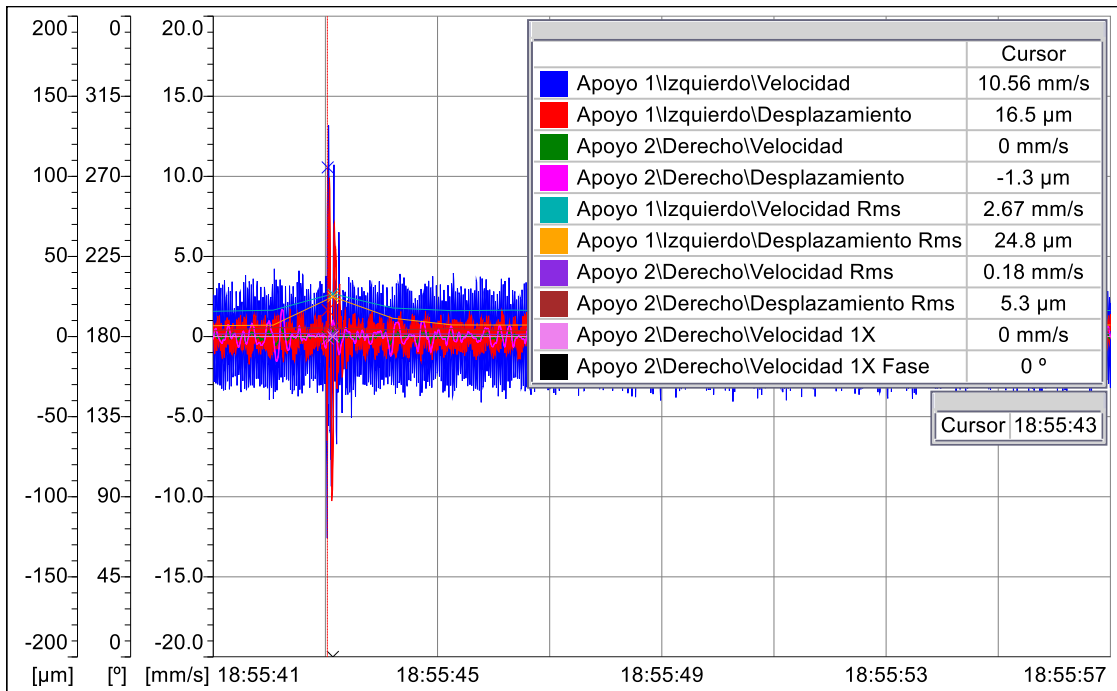


SECCIÓN A-A  
ESCALA 1 : 1.5



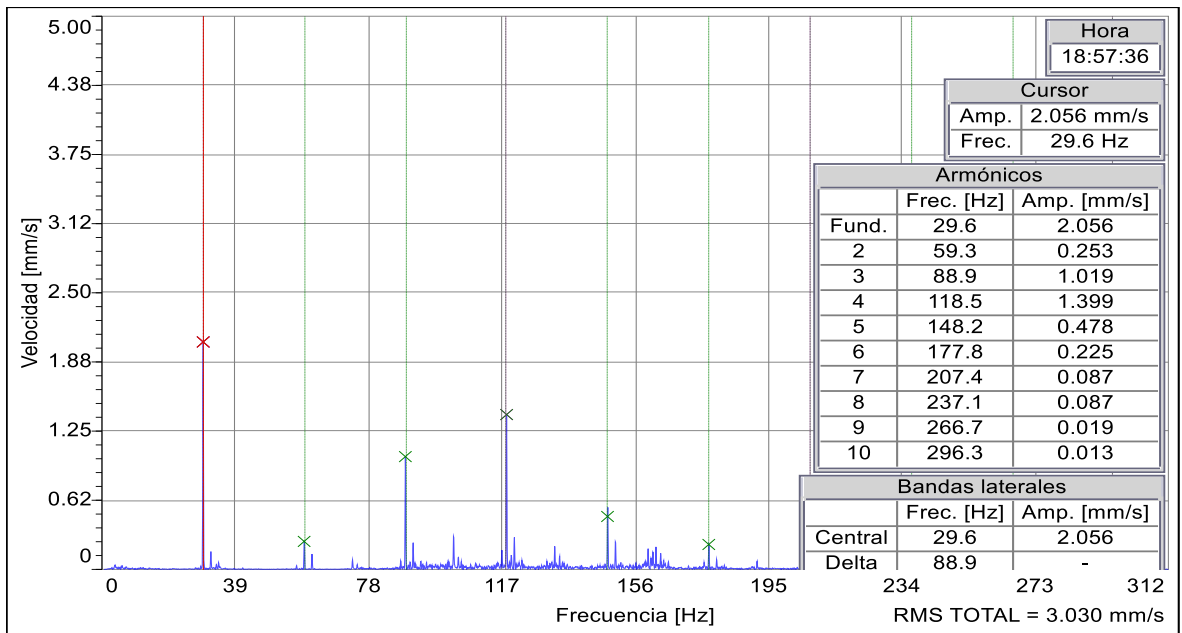
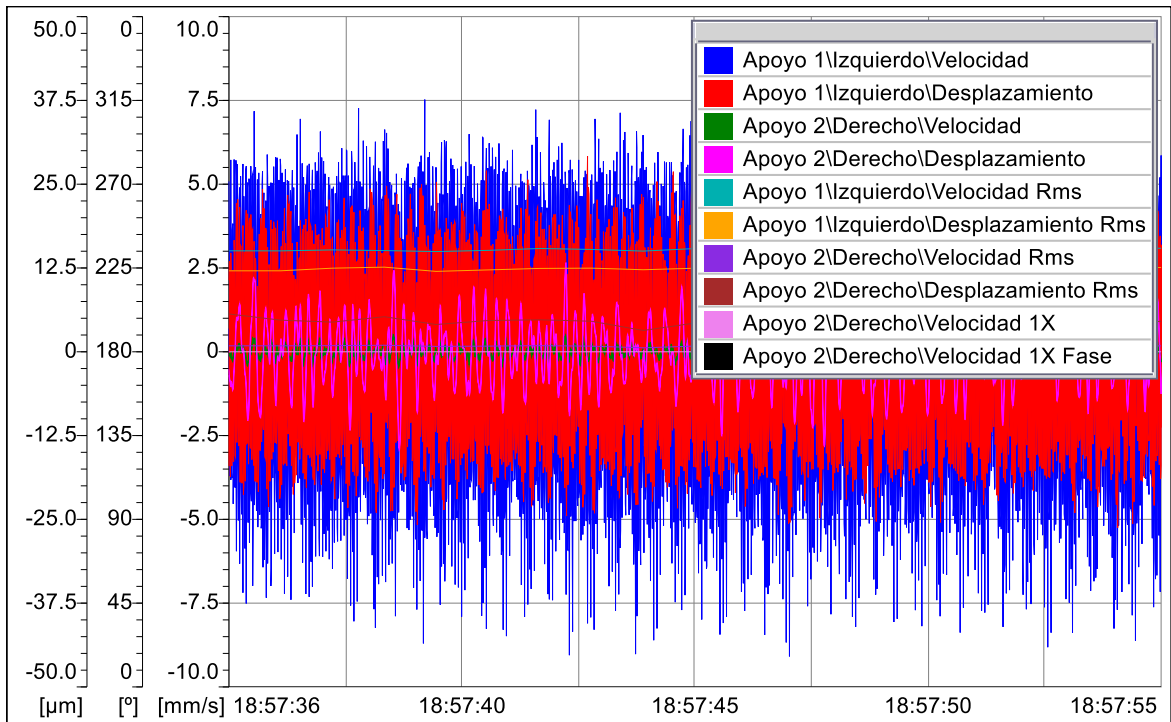
Nº. Lámina: 1 de 1		Nº. Hojas: 1		Sustitución:		Codificación: FM-EIMI-NC-2022		<b>ESPOCH</b> <b>FACULTAD DE MECÁNICA</b> INGENIERÍA MANTENIMIENTO INDUSTRIAL			
Email: byron.naula@esPOCH.edu.ec Teléfonos: 098-49-49409						Denominación:  <b>CHUMACERA</b>					
Datos	Nombre	Firma	Fecha	Materiales: Eje de transmision AISI 1018 Nombre de archivo: CHUMACERA.SLDprt				0,55	±0.3 [mm]	1.5	
Proyectó	Naula B. Carrasco W.	2537 2530	2022-06-02								
Dibujó	Naula B. Carrasco W.	2537 2530	2022-06-02								
Revisó	Ing. Hernandez E.		2022-06-02								
Aprobó	Ing. Hernandez E.		2022-06-02								

**ANEXO B: ESPECTRO Y ONDA LADO MOTRIZ APOYO EN X**

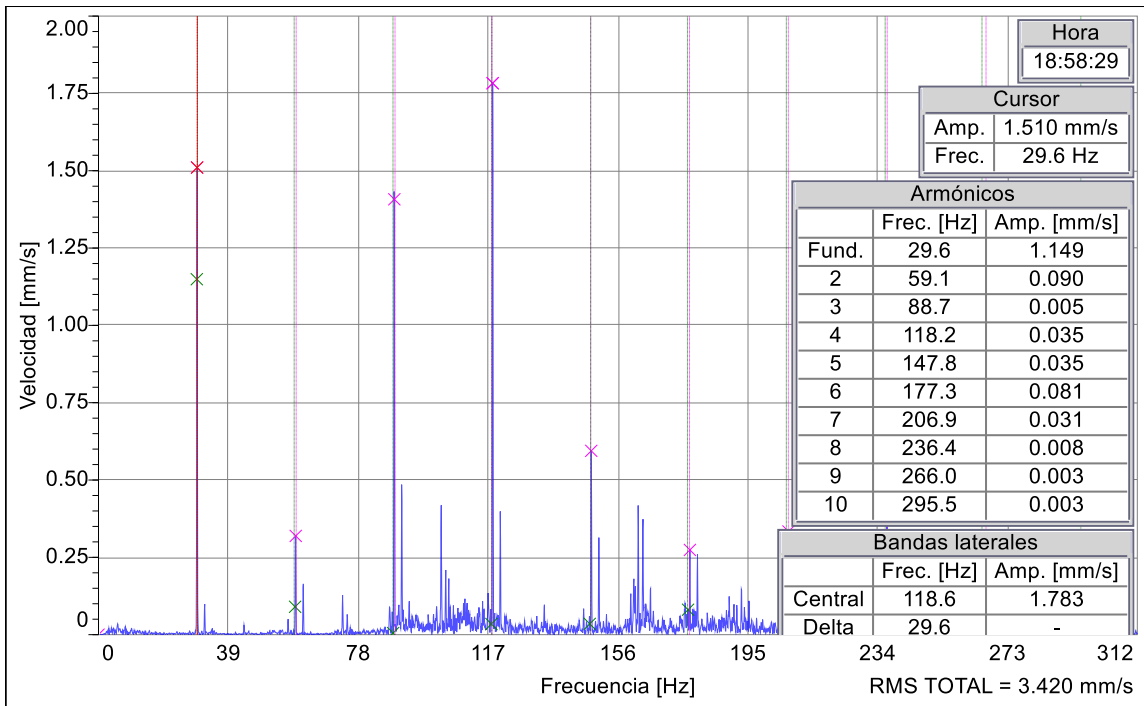
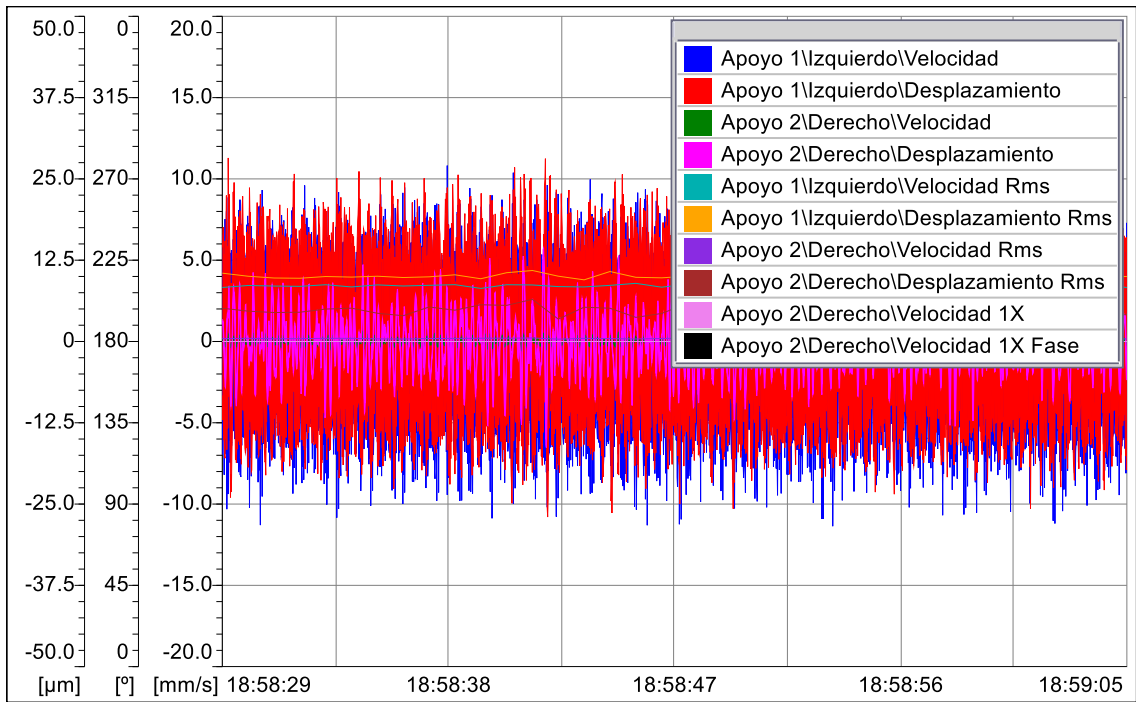




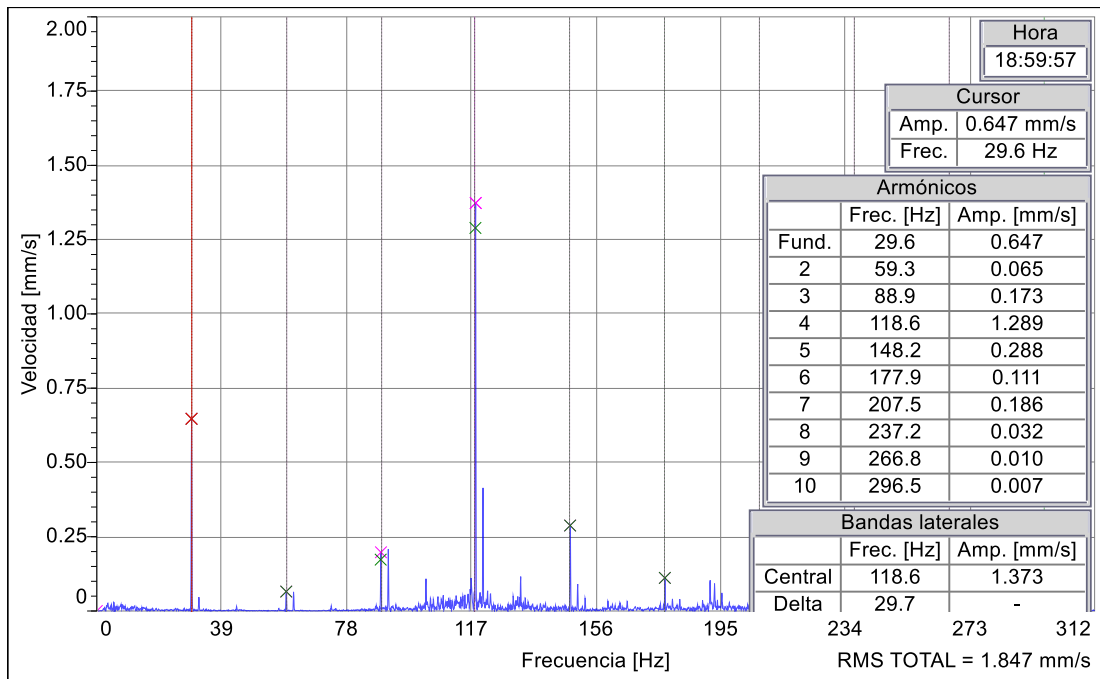
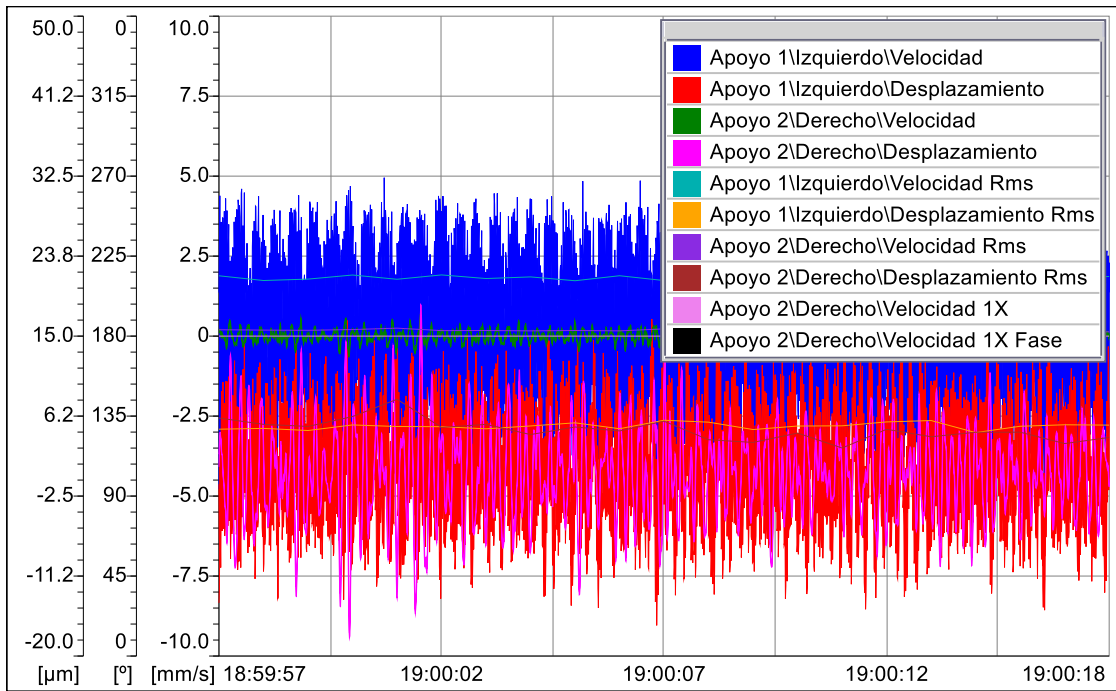
**ANEXO C: ESPECTRO Y ONDA LADO CONDUcido APOYO EN Y (CHUMACERA)**



**ANEXO D: ESPECTRO Y ONDA LADO CONDUCTIDO APOYO EN X (CHUMACERA)**



**ANEXO E: ESPECTRO Y ONDA LADO CONDUCTIDO APOYO EN Z (CHUMACERA)**

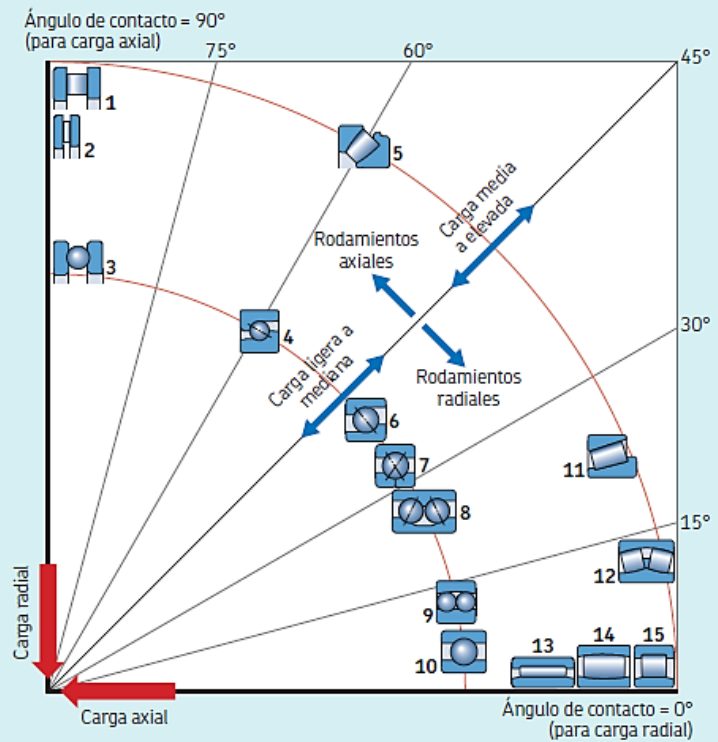


## ANEXO F: ÁNGULO DE CONTACTOS EN RODAMIENTOS (MANUAL SKF)

Diagrama 1

### Ángulos de contacto de diversos tipos de rodamiento

- 1 Rodamiento axial de rodillos cilíndricos
- 2 Rodamiento axial de agujas
- 3 Rodamiento axial de bolas
- 4 Rodamiento axial de bolas de contacto angular
- 5 Rodamiento axial de rodillos a rótula
- 6 Rodamiento de una hilera de bolas de contacto angular
- 7 Rodamiento de bolas con cuatro puntos de contacto
- 8 Rodamiento de dos hileras de bolas de contacto angular
- 9 Rodamiento de bolas a rótula
- 10 Rodamiento rígido de bolas  
El ángulo de contacto depende de la carga y del juego
- 11 Rodamiento de rodillos cónicos
- 12 Rodamiento de rodillos a rótula
- 13 Rodamiento de agujas
- 14 Rodamiento de rodillos toroidales CARB
- 15 Rodamientos de rodillos cilíndricos



**ANEXO G: CARACTERIZACIÓN SKF USO NORMAL 1758,248 rpm (PLANO X)**

N° de espectro	Frecuencia del 1X Hz	Vrms (mm/s)	Frecuencia del fallo				Frecuencia de fallo/Frecuencia 1X			
			BPFO	BPFI	BSF	FTF	BPFO	BPFI	BSF	FTF
1	1 758,111	3,018	21061,644	42017,959	8435,346	752,201	11,97970094	23,8994916	4,79795986	0,427846
2	1758,802	2,734	21069,922	42034,4735	8438,66139	752,49664	11,97970094	23,8994916	4,79795986	0,427846
3	1755,953	2,683	21035,792	41966,3839	8424,992	751,27771	11,97970094	23,8994916	4,79795986	0,427846
4	1758,361	2,615	21064,639	42023,9339	8436,54549	752,30796	11,97970094	23,8994916	4,79795986	0,427846
5	1755,692	2,626	21032,665	41960,1461	8423,73974	751,16604	11,97970094	23,8994916	4,79795986	0,427846
6	1754,234	2,652	21015,199	41925,3007	8416,74431	750,54224	11,97970094	23,8994916	4,79795986	0,427846
7	1758,289	2,402	21063,776	42022,2131	8436,20004	752,27716	11,97970094	23,8994916	4,79795986	0,427846
8	1754,823	2,416	21022,255	41939,3775	8419,57031	750,79424	11,97970094	23,8994916	4,79795986	0,427846
9	1758,147	2,476	21062,075	42018,8194	8435,51873	752,2164	11,97970094	23,8994916	4,79795986	0,427846
10	1755,363	2,4	21028,724	41952,2832	8422,16121	751,02528	11,97970094	23,8994916	4,79795986	0,427846
11	1756,037	2,515	21036,798	41968,3915	8425,39503	751,31365	11,97970094	23,8994916	4,79795986	0,427846
12	1754,781	2,402	21021,752	41938,3737	8419,36879	750,77627	11,97970094	23,8994916	4,79795986	0,427846
13	1754,729	2,955	21021,129	41937,1309	8419,1193	750,75402	11,97970094	23,8994916	4,79795986	0,427846
14	1756,028	2,749	21036,69	41968,1764	8425,35185	751,3098	11,97970094	23,8994916	4,79795986	0,427846
15	1755,558	2,494	21031,06	41956,9436	8423,09681	751,10871	11,97970094	23,8994916	4,79795986	0,427846
16	1754,094	2,857	21013,522	41921,9547	8416,0726	750,48234	11,97970094	23,8994916	4,79795986	0,427846
17	1753,495	2,674	21006,346	41907,6389	8413,19862	750,22606	11,97970094	23,8994916	4,79795986	0,427846
18	1755,434	2,573	21029,574	41953,9801	8422,50186	751,05566	11,97970094	23,8994916	4,79795986	0,427846
19	1753,954	2,87	21011,844	41918,6088	8415,40088	750,42244	11,97970094	23,8994916	4,79795986	0,427846
20	1754,495	2,595	21018,325	41931,5384	8417,99658	750,65391	11,97970094	23,8994916	4,79795986	0,427846
21	1754,432	2,583	21017,571	41930,0328	8417,69431	750,62695	11,97970094	23,8994916	4,79795986	0,427846
22	1753,194	2,554	21002,74	41900,4452	8411,75443	750,09728	11,97970094	23,8994916	4,79795986	0,427846
23	1752,774	2,868	20997,708	41890,4074	8409,73929	749,91759	11,97970094	23,8994916	4,79795986	0,427846
24	1752,883	2,843	20999,014	41893,0125	8410,26227	749,96422	11,97970094	23,8994916	4,79795986	0,427846
25	1752,023	2,555	20988,712	41872,4589	8406,13602	749,59627	11,97970094	23,8994916	4,79795986	0,427846
26	1751,327	2,652	20980,374	41855,8248	8402,79664	749,29849	11,97970094	23,8994916	4,79795986	0,427846
27	1752,368	2,522	20992,845	41880,7042	8407,79132	749,74388	11,97970094	23,8994916	4,79795986	0,427846
28	1752,483	2,556	20994,222	41883,4527	8408,34308	749,79308	11,97970094	23,8994916	4,79795986	0,427846
29	1752,777	2,417	20997,744	41890,4791	8409,75368	749,91887	11,97970094	23,8994916	4,79795986	0,427846
30	1750,997	2,518	20976,42	41847,938	8401,21331	749,1573	11,97970094	23,8994916	4,79795986	0,427846
31	1749,238	2,619	20955,348	41805,8988	8392,7737	748,40472	11,97970094	23,8994916	4,79795986	0,427846
32	1749,805	2,741	20962,141	41819,4498	8395,49415	748,64731	11,97970094	23,8994916	4,79795986	0,427846
33	1746,355	2,68	20920,811	41736,9966	8378,94118	747,17124	11,97970094	23,8994916	4,79795986	0,427846
34	1745,916	2,628	20915,552	41726,5047	8376,83488	746,98342	11,97970094	23,8994916	4,79795986	0,427846
35	1731,721	2,661	20745,5	41387,2514	8308,72784	740,91014	11,97970094	23,8994916	4,79795986	0,427846

**ANEXO H: CARACTERIZACIÓN NTN USO NORMAL 1748,751 rpm (PLANO X)**

N° de espectro	Frecuencia del 1X Hz	Vrms (mm/s)	Frecuencia del fallo				Frecuencia de fallo/Frecuencia 1X			
			BPFO	BPFI	BSF	FTF	BPFO	BPFI	BSF	FTF
1	1 748,498	1,803	20946,48	41788,213	8389,224	748,088	11,97969915	4,79796	4,798	0,427846
2	1749,52	1,862	20958,72325	43155,65868	8394,12752	772,567862	11,97969915	4,79796	4,798	0,441588
3	1749	1,843	20952,49381	42715,29482	8391,63258	764,684517	11,97969915	4,79796	4,798	0,437212
4	1749,258	1,83	20955,58457	42413,99323	8392,87045	759,290649	11,97969915	4,79796	4,798	0,434064
5	1748,845	1,895	20950,63696	43920,50118	8390,88889	786,259989	11,97969915	4,79796	4,798	0,449588
6	1749,371	1,884	20956,93828	43665,55368	8393,41262	781,695947	11,97969915	4,79796	4,798	0,446844
7	1749,528	1,917	20958,81909	44430,39618	8394,1659	795,388073	11,97969915	4,79796	4,798	0,45463
8	1748,94	2,117	20951,77503	49065,80528	8391,3447	878,370658	11,97969915	4,79796	4,798	0,50223
9	1748,814	2,217	20950,26558	51383,50983	8390,74016	919,86195	11,97969915	4,79796	4,798	0,525992
10	1748,403	2,34	20945,34193	54234,28642	8388,76819	970,89624	11,97969915	4,79796	4,798	0,555305
11	1748,982	2,308	20952,27817	53492,62097	8391,54621	957,619026	11,97969915	4,79796	4,798	0,547529
12	1749,039	2,367	20952,96102	54860,06665	8391,8197	982,098889	11,97969915	4,79796	4,798	0,561508
13	1749,063	2,347	20953,24853	54396,52574	8391,93485	973,80063	11,97969915	4,79796	4,798	0,556756
14	1748,802	2,425	20950,12183	56204,33529	8390,68258	1006,16384	11,97969915	4,79796	4,798	0,575345
15	1749,101	2,473	20953,70376	57316,83347	8392,11717	1026,07966	11,97969915	4,79796	4,798	0,586633
16	1749,394	2,398	20957,21381	55578,55506	8393,52297	994,961189	11,97969915	4,79796	4,798	0,568746
17	1749,199	2,556	20954,87777	59240,52825	8392,58737	1060,51743	11,97969915	4,79796	4,798	0,606287
18	1749,078	2,378	20953,42823	55115,01415	8392,00682	986,662931	11,97969915	4,79796	4,798	0,564105
19	1748,625	2,502	20948,00142	57988,96779	8389,83334	1038,11213	11,97969915	4,79796	4,798	0,593673
20	1749,179	2,694	20954,63818	62438,96052	8392,49141	1117,77541	11,97969915	4,79796	4,798	0,639029
21	1748,667	2,488	20948,50457	57664,48915	8390,03486	1032,30335	11,97969915	4,79796	4,798	0,590337
22	1748,36	2,425	20944,8268	56204,33529	8388,56188	1006,16384	11,97969915	4,79796	4,798	0,57549
23	1748,336	2,594	20944,53929	60121,25597	8388,44673	1076,28412	11,97969915	4,79796	4,798	0,615605
24	1748,87	2,446	20950,93645	56691,05324	8391,00884	1014,87701	11,97969915	4,79796	4,798	0,580304
25	1748,017	2,709	20940,71776	62786,6162	8386,91618	1123,99911	11,97969915	4,79796	4,798	0,643014
26	1748,7	2,587	20948,8999	59959,01666	8390,19319	1073,37973	11,97969915	4,79796	4,798	0,613816
27	1747,283	2,55	20931,92467	59101,46597	8383,39448	1058,02795	11,97969915	4,79796	4,798	0,605528
28	1743,401	3,028	20885,41947	70180,09371	8364,7688	1256,35633	11,97969915	4,79796	4,798	0,720635
29	1743,006	3,55	20880,68749	82278,51145	8362,8736	1472,94088	11,97969915	4,79796	4,798	0,845058
30	1742,704	3,028	20877,06962	70180,09371	8361,42462	1256,35633	11,97969915	4,79796	4,798	0,720924
31	1741,913	3,537	20867,59368	81977,20986	8357,62943	1467,54701	11,97969915	4,79796	4,798	0,842492
32	1741,53	3,405	20863,00546	78917,83986	8355,79181	1412,7785	11,97969915	4,79796	4,798	0,811228
33	1741,543	3,048	20863,16119	70643,63462	8355,85419	1264,65459	11,97969915	4,79796	4,798	0,726169
34	1739,181	2,891	20834,86514	67004,83848	8344,5214	1199,51326	11,97969915	4,79796	4,798	0,6897
35	1733,094	2,97	20761,94471	68835,82507	8315,31622	1232,29138	11,97969915	4,79796	4,798	0,711036

**ANEXO I: CARACTERIZACIÓN SKF FALLA INCIPIENTE 1777,159 rpm (PLANO X)**

N° de espectro	Frecuencia del 1X Hz	Vrms (mm/s)	Frecuencia del fallo				Frecuencia de fallo/Frecuencia 1X			
			BPFO	BPFI	BSF	FTF	BPFO	BPFI	BSF	FTF
1	1 778,216	3,464	21302,496	42498,457	8531,808	760,803	11,979701	23,89949084	4,797959303	0,427846
2	1778,372	3,336	21304,36483	40928,07522	8532,55648	732,6901871	11,979701	23,01434976	4,797959303	0,412001
3	1778,487	3,527	21305,7425	43271,37928	8533,10825	774,6397751	11,979701	24,33044452	4,797959303	0,435561
4	1780,187	3,271	21326,10799	40130,61572	8541,26478	718,4141492	11,979701	22,54292146	4,797959303	0,403561
5	1778,437	3,476	21305,14351	42645,68029	8532,86835	763,4385762	11,979701	23,97930334	4,797959303	0,429275
6	1778,317	3,29	21303,70595	40363,71926	8532,29259	722,5871449	11,979701	22,697707059	4,797959303	0,406332
7	1777,846	3,198	21298,06351	39235,00736	8530,03276	702,3810606	11,979701	22,06884475	4,797959303	0,395074
8	1780,39	3,803	21328,53987	46657,515	8542,23876	835,258028	11,979701	26,20634524	4,797959303	0,469143
9	1780,008	3,386	21323,96362	41541,5056	8540,40594	743,6717546	11,979701	23,33781961	4,797959303	0,417791
10	1780,014	3,255	21324,0355	39934,318	8540,43473	714,9000476	11,979701	22,43483366	4,797959303	0,401626
11	1778,448	3,535	21305,27529	43369,52815	8532,92113	776,3968259	11,979701	24,386166	4,797959303	0,436559
12	1778,075	3,48	21300,80686	42694,75472	8531,13149	764,3171016	11,979701	24,01178506	4,797959303	0,429857
13	1778,023	3,363	21300,18392	41259,32762	8530,88199	738,6202335	11,979701	23,20517093	4,797959303	0,415417
14	1778,445	3,607	21305,23935	44252,8679	8532,90673	792,2102832	11,979701	24,88289933	4,797959303	0,445451
15	1780,894	3,378	21334,57764	41443,35674	8544,65694	741,9147038	11,979701	23,27109684	4,797959303	0,416597
16	1778,369	3,429	21304,32889	42069,05573	8532,54209	753,1159027	11,979701	23,65597676	4,797959303	0,423487
17	1777,908	3,371	21298,80625	41357,47649	8530,33023	740,3772844	11,979701	23,26187659	4,797959303	0,416432
18	1777,897	3,301	21298,67448	40498,67395	8530,27745	725,0030898	11,979701	22,77897648	4,797959303	0,407787
19	1778,022	3,566	21300,17194	43749,85498	8530,8772	783,2053978	11,979701	24,60591319	4,797959303	0,440493
20	1778,295	3,515	21303,4424	43124,15599	8532,18704	772,0041989	11,979701	24,25028243	4,797959303	0,434126
21	1780,762	3,47	21332,99632	42572,06865	8544,0236	762,1207881	11,979701	23,9066583	4,797959303	0,427975
22	1778,382	3,497	21304,48463	42903,32105	8532,60446	768,0508346	11,979701	24,12491864	4,797959303	0,431882
23	1780,238	3,369	21326,71896	41332,93927	8541,50947	739,9380217	11,979701	23,21764802	4,797959303	0,41564
24	1778,432	3,462	21305,08362	42473,91978	8532,84436	760,3637373	11,979701	23,88279101	4,797959303	0,427547
25	1778,379	3,199	21304,44869	39247,27597	8532,59007	702,600692	11,979701	22,06912923	4,797959303	0,395079
26	1778,41	3,517	21304,82006	43148,69321	8532,7388	772,4434616	11,979701	24,26251157	4,797959303	0,434345
27	1778,106	3,607	21301,17823	44252,8679	8531,28022	792,2102832	11,979701	24,88764331	4,797959303	0,445536
28	1780,165	3,524	21325,84444	43234,57346	8541,15922	773,9808811	11,979701	24,28683491	4,797959303	0,43478
29	1780,228	3,55	21326,59916	43553,55726	8541,46149	779,6912962	11,979701	24,46515686	4,797959303	0,437973
30	1780,474	3,362	21329,54616	41247,05902	8542,64179	738,4006022	11,979701	23,16633605	4,797959303	0,414721
31	1780,157	3,356	21325,7486	41173,44737	8541,12084	737,0828141	11,979701	23,12911017	4,797959303	0,414055
32	1777,95	3,608	21299,3094	44265,13651	8530,53174	792,4299145	11,979701	24,89672741	4,797959303	0,445699
33	1780,235	3,576	21326,68302	43872,54106	8541,49508	785,4017113	11,979701	24,64424138	4,797959303	0,441179
34	1777,989	3,573	21299,77661	43835,73524	8530,71886	784,7428173	11,979701	24,65467179	4,797959303	0,441365
35	1780,012	3,824	21324,01154	46915,15576	8540,42513	839,8702864	11,979701	26,3566514	4,797959303	0,471834

**ANEXO J: CARACTERIZACIÓN SKF FALLA INCIPIENTE 1491,456 rpm (PLANO X)**

N° de espectro	Frecuencia del 1X Hz	Vrms (mm/s)	Frecuencia del fallo				Frecuencia de fallo/Frecuencia 1X			
			BPFO	BPFI	BSF	FTF	BPFO	BPFI	BSF	FTF
1	1 491,971	2,483	17873,364	35657,347	7158,414	638,334	11,97969934	23,899	4,79796	0,42785
2	1490,969	2,494	17861,36034	35815,3135	7153,606446	641,1619	11,97969934	24,022	4,79796	0,43003
3	1490,439	2,476	17855,0111	35556,82286	7151,063529	636,53443	11,97969934	23,859	4,79836	0,42711
4	1490,314	2,662	17853,51364	38227,89276	7150,463784	684,35163	11,97969934	25,645	4,7969	0,4591
5	1490,643	2,672	17857,45496	38371,49866	7152,042312	686,92245	11,97969934	25,738	4,79735	0,46076
6	1490,833	2,631	17859,7311	37782,71444	7152,953924	676,3821	11,97969934	25,342	4,79767	0,45367
7	1490,923	2,76	17860,80928	39635,23066	7153,38574	709,54565	11,97969934	26,584	4,7979	0,4759
8	1490,941	2,703	17861,02491	38816,67698	7153,472103	694,89199	11,97969934	26,01	4,79328	0,46562
9	1492,397	2,786	17878,46735	40008,60602	7160,45793	716,22977	11,97969934	26,829	4,80169	0,48029
10	1491,236	2,695	17864,55892	38701,79225	7154,887501	692,83533	11,97969934	25,955	4,79842	0,46465
11	1491,093	2,645	17862,84582	37983,76271	7154,201393	679,98124	11,97969934	25,482	4,79951	0,45618
12	1490,611	2,651	17857,07161	38069,92626	7151,888777	681,52373	11,97969934	25,529	4,79586	0,45701
13	1491,264	2,559	17864,89435	36748,7519	7155,021844	657,87221	11,97969934	24,652	4,79974	0,44131
14	1490,711	2,649	17858,26958	38041,20508	7152,368573	681,00957	11,97969934	25,513	4,79693	0,45674
15	1491,029	2,654	17862,07912	38113,00803	7153,894324	682,29498	11,97969934	25,566	4,79888	0,45769
16	1490,743	2,479	17858,65293	35599,90464	7152,522108	637,30567	11,97969934	23,885	4,79887	0,42759
17	1490,46	2,57	17855,26267	36906,7184	7151,164286	660,70011	11,97969934	24,735	4,79282	0,44281
18	1492,057	2,678	17874,39425	38457,66221	7158,826624	688,46494	11,97969934	25,788	4,80031	0,46165
19	1491,327	2,671	17865,64907	38357,13807	7155,324115	686,66537	11,97969934	25,732	4,80023	0,46066
20	1490,622	2,636	17857,20339	37854,5174	7151,941555	677,66751	11,97969934	25,412	4,80107	0,45492
21	1489,656	2,552	17845,631	36648,22777	7147,306728	656,07264	11,97969934	24,569	4,79151	0,43983
22	1491,662	2,598	17869,66227	37308,81494	7156,931431	667,8984	11,97969934	25,025	4,80047	0,44799
23	1490,881	2,759	17860,30613	39620,87007	7153,184226	709,28856	11,97969934	26,57	4,79702	0,47566
24	1491,171	2,612	17863,78024	37509,86322	7154,575634	671,49755	11,97969934	25,091	4,7859	0,44918
25	1494,929	2,742	17908,79995	39376,74002	7172,606359	704,91817	11,97969934	26,401	4,80902	0,47263
26	1491,491	2,858	17867,61374	41042,56856	7156,11098	734,73966	11,97969934	27,507	4,79599	0,49242
27	1492,104	2,814	17874,9573	40410,70256	7159,052128	723,42806	11,97969934	27,119	4,80436	0,48548
28	1490,115	2,738	17851,12968	39319,29766	7149,50899	703,88985	11,97969934	26,343	4,79005	0,47159
29	1492,574	2,374	17880,58776	34092,0426	7161,307169	610,31209	11,97969934	22,861	4,80218	0,40926
30	1491,263	2,47	17864,88237	35470,65932	7155,017046	634,99194	11,97969934	23,804	4,80176	0,42615
31	1490,083	2,713	17850,74633	38960,28289	7149,355456	697,4628	11,97969934	26,123	4,79362	0,46765
32	1491,431	2,677	17866,89496	38443,30162	7155,823103	688,20786	11,97969934	25,786	4,79978	0,46162
33	1490,866	2,575	17860,12643	36978,52136	7153,112257	661,98552	11,97969934	24,822	4,80156	0,44436
34	1489,748	2,623	17846,73313	37667,82971	7147,74814	674,32545	11,97969934	25,254	4,79212	0,45209
35	1491,562	2,717	17868,4643	39017,72525	7156,451635	698,49113	11,97969934	26,159	4,79796	0,4683



**ANEXO K: CARACTERIZACIÓN SKF FALLA INCIPIENTE 1186,462 rpm (PLANO X)**

N° de espectro	Frecuencia del 1X Hz	Vrms (mm/s)	Frecuencia del fallo				Frecuencia de fallo/Frecuencia 1X			
			BPFO	BPFI	BSF	FTF	BPFO	BPFI	BSF	FTF
1	1183,958	2,103	14183,46000	28295,99500	5680,58200	506,55200	11,97970	23,89949	4,797959	0,42785
2	1184,61	2,091	14191,27076	28134,53426	5683,71027	503,66155	11,97970	23,75004	4,797959	0,42517
3	1182,404	2,208	14164,84355	29708,77649	5673,12597	531,84347	11,97970	25,12574	4,797959	0,44980
4	1182,821	2,36	14169,83908	31753,94589	5675,12672	568,45588	11,97970	26,84594	4,797959	0,48059
5	1185,428	2,218	14201,07016	29843,32711	5687,63500	534,25218	11,97970	25,17515	4,797959	0,45068
6	1190,118	2,432	14257,25494	32722,71034	5710,13743	585,79860	11,97970	27,49535	4,797959	0,49222
7	1182,512	2,369	14166,13736	31875,04144	5673,64415	570,62372	11,97970	26,95536	4,797959	0,48255
8	1187,096	2,279	14221,05229	30664,08588	5695,63800	548,94532	11,97970	25,83118	4,797959	0,46243
9	1186,146	2,185	14209,67158	29399,31007	5691,07993	526,30343	11,97970	24,78557	4,797959	0,44371
10	1183,475	2,216	14177,67381	29816,41699	5678,26459	533,77044	11,97970	25,19396	4,797959	0,45102
11	1191,144	2,248	14269,54611	30246,97896	5715,06013	541,47831	11,97970	25,39322	4,797959	0,45459
12	1182,13	1,919	14161,56111	25820,26363	5671,81133	462,23171	11,97970	21,84215	4,797959	0,39102
13	1186,27	2,245	14211,15706	30206,61378	5691,67488	540,75570	11,97970	25,46352	4,797959	0,45585
14	1187,287	1,925	14223,34042	25900,99400	5696,55441	463,67694	11,97970	21,81528	4,797959	0,39053
15	1190,804	2,161	14265,47302	29076,38859	5713,42883	520,52253	11,97970	24,41744	4,797959	0,43712
16	1186,578	2,228	14214,84681	29977,87773	5693,15265	536,66089	11,97970	25,26414	4,797959	0,45228
17	1190,771	2,149	14265,07769	28914,92784	5713,27050	517,63207	11,97970	24,28253	4,797959	0,43470
18	1189,921	2,032	14254,89494	27340,68561	5709,19223	489,45015	11,97970	22,97689	4,797959	0,41133
19	1189,156	2,097	14245,73047	28215,26463	5705,52179	505,10677	11,97970	23,72713	4,797959	0,42476
20	1181,568	2,174	14154,82852	29251,30439	5669,11488	523,65385	11,97970	24,75634	4,797959	0,44319
21	1182,932	2,084	14171,16883	28040,34883	5675,65929	501,97545	11,97970	23,70411	4,797959	0,42435
22	1181,468	2,133	14153,63055	28699,64685	5668,63508	513,77813	11,97970	24,29151	4,797959	0,43486
23	1186,75	2,179	14216,90732	29318,57970	5693,97790	524,85821	11,97970	24,70493	4,797959	0,44227
24	1189,201	2,081	14246,26956	27999,98364	5705,73770	501,25283	11,97970	23,54521	4,797959	0,42150
25	1181,785	1,99	14157,42811	26775,57301	5670,15603	479,33356	11,97970	22,65689	4,797959	0,40560
26	1183,766	2,123	14181,15990	28565,09624	5679,66079	511,36942	11,97970	24,13069	4,797959	0,43199
27	1190,92	2,161	14266,86266	29076,38859	5713,98539	520,52253	11,97970	24,41506	4,797959	0,43708
28	1186,877	2,248	14218,42874	30246,97896	5694,58724	541,47831	11,97970	25,48451	4,797959	0,45622
29	1189,13	1,947	14245,41900	26197,00536	5705,39704	468,97610	11,97970	22,03040	4,797959	0,39439
30	1183,311	2,014	14175,70914	27098,49450	5677,47772	485,11447	11,97970	22,90057	4,797959	0,40996
31	1188,513	1,92	14238,02753	25833,71869	5702,43670	462,47258	11,97970	21,73617	4,797959	0,38912
32	1182,261	2,169	14163,13045	29184,02908	5672,43986	522,44950	11,97970	24,68493	4,797959	0,44191
33	1182,712	2,068	14168,53330	27825,06784	5674,60374	498,12151	11,97970	23,52649	4,797959	0,42117
34	1184,296	2,199	14187,50914	29587,68093	5682,20371	529,67563	11,97970	24,98335	4,797959	0,44725
35	1183,789	2,173	14181,43543	29237,84933	5679,77114	523,41298	11,97970	24,69853	4,797959	0,44215

**ANEXO L: CARACTERIZACIÓN SKF FALLA INCIPIENTE 891,518 rpm (PLANO X)**

N° de espectro	Frecuencia del 1X Hz	Vrms (mm/s)	Frecuencia del fallo				Frecuencia de fallo/Frecuencia 1X			
			BPFO	BPFI	BSF	FTF	BPFO	BPFI	BSF	FTF
1	891,310	1,571	10677,624	21301,855	4276,469	381,343	11,979697	23,8994906	4,79795918	0,4278455
2	888,385	1,55	10642,58339	21017,1071	4262,43497	376,24548	11,979697	23,6576564	4,79795918	0,4235162
3	891,864	1,534	10684,26075	20800,15631	4279,12707	372,36166	11,979697	23,3221167	4,79795918	0,4175095
4	892,389	1,515	10690,55009	20542,52726	4281,646	367,74961	11,979697	23,0197002	4,79795918	0,4120956
5	890,282	1,552	10665,30887	21044,22595	4271,5367	376,73096	11,979697	23,6377080	4,79795918	0,4231591
6	892,125	1,473	10687,38745	19973,03145	4280,37934	357,55458	11,979697	22,3881535	4,79795918	0,4007898
7	887,357	1,74	10630,26826	23593,39764	4257,50267	422,36589	11,979697	26,5883941	4,79795918	0,4759819
8	890,372	1,633	10666,38704	22142,53928	4271,96851	396,39282	11,979697	24,8688630	4,79795918	0,4451991
9	887,587	1,418	10633,02359	19227,26314	4258,6062	344,20393	11,979697	21,6623983	4,79795918	0,3877974
10	891,977	1,42	10685,61446	19254,38199	4279,66924	344,68941	11,979697	21,5861866	4,79795918	0,3864331
11	890,147	1,46	10663,69161	19796,75894	4270,88897	354,39897	11,979697	22,2398760	4,79795918	0,3981353
12	887,09	1,408	10627,06968	19091,6689	4256,22161	341,77654	11,979697	21,5216820	4,79795918	0,3852783
13	893,088	1,405	10698,9239	19050,99063	4284,99977	341,04832	11,979697	21,3315940	4,79795918	0,3818754
14	890,209	1,48	10664,43435	20067,94742	4271,18645	359,25375	11,979697	22,5429617	4,79795918	0,4035611
15	891,039	1,499	10674,3775	20325,57648	4275,16875	363,86579	11,979697	22,8110963	4,79795918	0,4083612
16	888,151	1,513	10639,78014	20515,40841	4261,31225	367,26414	11,979697	23,0990095	4,79795918	0,4135154
17	892,899	1,474	10696,65974	19986,59088	4284,09296	357,79732	11,979697	22,3839324	4,79795918	0,4007142
18	888,113	1,535	10639,32491	20813,71574	4261,12992	372,6044	11,979697	23,4358868	4,79795918	0,4195462
19	885,035	1,596	10602,4514	21640,8406	4246,36181	387,41148	11,979697	24,4519602	4,79795918	0,4377358
20	890,014	1,433	10662,09831	19430,6545	4270,25084	347,84502	11,979697	21,8318526	4,79795918	0,3908309
21	890,904	1,34	10672,76024	18169,62807	4274,52103	325,27029	11,979697	20,3945970	4,79795918	0,3651014
22	893,096	1,634	10699,01974	22156,09871	4285,03816	396,63556	11,979697	24,8081939	4,79795918	0,4441130
23	890,505	1,344	10667,98034	18223,86577	4272,60664	326,24124	11,979697	20,4646417	4,79795918	0,3663553
24	893,261	1,582	10700,99639	21451,00866	4285,82982	384,01313	11,979697	24,0142676	4,79795918	0,4299003
25	886,531	1,58	10620,37303	21423,88982	4253,53955	383,52765	11,979697	24,1659793	4,79795918	0,4326162
26	888,177	1,531	10640,09161	20759,47804	4261,43699	371,63344	11,979697	23,3731318	4,79795918	0,4184227
27	887,359	1,538	10630,29222	20854,39401	4257,51226	373,33261	11,979697	23,5016425	4,79795918	0,4207233
28	891,736	1,496	10682,72735	20284,8982	4278,51293	363,13757	11,979697	22,7476498	4,79795918	0,4072254
29	895,379	1,534	10726,36939	20800,15631	4295,9919	372,36166	11,979697	23,2305608	4,79795918	0,4158704
30	884,418	1,561	10595,05993	21166,26076	4243,40147	378,91561	11,979697	23,9324174	4,79795918	0,4284350
31	891,485	1,534	10679,72045	20800,15631	4277,30864	372,36166	11,979697	23,3320317	4,79795918	0,4176870
32	887,644	1,427	10633,70643	19349,29795	4258,87968	346,38858	11,979697	21,7984890	4,79795918	0,3902337
33	883,598	1,408	10585,23657	19091,6689	4239,46714	341,77654	11,979697	21,6067362	4,79795918	0,3868009
34	889,721	1,349	10658,58826	18291,66289	4268,84504	327,45494	11,979697	20,5588751	4,79795918	0,3680423
35	890,904	1,364	10672,76024	18495,05425	4274,52103	331,09602	11,979697	20,7598734	4,79795918	0,3716405

**ANEXO M: CARACTERIZACIÓN SKF FALLA INCIPIENTE 595,751 rpm (PLANO X)**

N° de espectro	Frecuencia del 1X Hz	Vrms (mm/s)	Frecuencia del fallo				Frecuencia de fallo/Frecuencia 1X			
			BPFO	BPFI	BSF	FTF	BPFO	BPFI	BSF	FTF
1	604,840	0,931	7245,804	14455,368	2901,998	258,77800	11,9797037	23,899491	4,79796	0,427845
2	544,936	1,181	6528,17183	18337,04577	2614,581	328,26726	11,9797037	33,649907	4,79796	0,602396
3	545,402	1,225	6533,75437	19020,22105	2616,8169	340,49737	11,9797037	34,873765	4,79796	0,624305
4	548,012	1,046	6565,0214	16240,93977	2629,3395	290,74306	11,9797037	29,636102	4,79796	0,530541
5	574,107	1,088	6877,63177	16893,06164	2754,5423	302,41725	11,9797037	29,424936	4,79796	0,526761
6	594,984	1,124	7127,73204	17452,02324	2854,7093	312,42371	11,9797037	29,33192	4,79796	0,525096
7	606,476	1,051	7265,4028	16318,57333	2909,8475	292,13284	11,9797037	26,907204	4,79796	0,481689
8	610,016	1,054	7307,81095	16365,15346	2926,8322	292,96672	11,9797037	26,827417	4,79796	0,480261
9	589,765	0,959	7065,20997	14890,11591	2829,6688	266,56080	11,9797037	25,247541	4,79796	0,451978
10	613,251	1,209	7346,56529	18771,79368	2942,3536	336,05006	11,9797037	30,610294	4,79796	0,547981
11	615,861	1,073	7377,83231	16660,16097	2954,8763	298,24790	11,9797037	27,05182	4,79796	0,484278
12	613,251	1,164	7346,56529	18073,09168	2942,3536	323,54199	11,9797037	29,470953	4,79796	0,527585
13	594,984	1,175	7127,73204	18243,8855	2854,7093	326,59952	11,9797037	30,662817	4,79796	0,548922
14	592,374	1,307	7096,46501	20293,41136	2842,1866	363,28985	11,9797037	34,257769	4,79796	0,613278
15	592,374	1,258	7096,46501	19532,60252	2842,1866	349,66995	11,9797037	32,97343	4,79796	0,590286
16	597,138	1,097	7153,53632	17032,80204	2865,0441	304,91887	11,9797037	28,524063	4,79796	0,510634
17	604,265	1,146	7238,91567	17793,61088	2899,2392	318,53876	11,9797037	29,446701	4,79796	0,527151
18	545,402	1,208	6533,75437	18756,26696	2616,8169	335,77210	11,9797037	34,389802	4,79796	0,615641
19	608,032	1,083	7284,04321	16815,42808	2917,3131	301,02747	11,9797037	27,655499	4,79796	0,495085
20	589,765	1,258	7065,20997	19532,60252	2829,6688	349,66995	11,9797037	33,119298	4,79796	0,592897
21	608,032	1,036	7284,04321	16085,67266	2917,3131	287,96349	11,9797037	26,455306	4,79796	0,473599
22	605,442	1,33	7253,01578	20650,52571	2904,8864	369,68286	11,9797037	34,108182	4,79796	0,610600
23	610,642	1,347	7315,31024	20914,4798	2929,8358	374,40813	11,9797037	34,249986	4,79796	0,613139
24	591,863	0,906	7090,34338	14067,20022	2839,7349	251,82907	11,9797037	23,767663	4,79796	0,425485
25	568,888	0,938	6815,10969	14564,05498	2729,5017	260,72370	11,9797037	25,600918	4,79796	0,458304
26	589,765	0,963	7065,20997	14952,22275	2829,6688	267,67263	11,9797037	25,352849	4,79796	0,453863
27	582,862	0,966	6982,51407	14998,80289	2796,5484	268,50650	11,9797037	25,733026	4,79796	0,460669
28	587,475	0,908	7037,77644	14098,25365	2818,6814	252,38499	11,9797037	23,998049	4,79796	0,429610
29	568,888	0,82	6815,10969	12731,90307	2729,5017	227,92477	11,9797037	22,380333	4,79796	0,400650
30	581,936	0,832	6971,42087	12918,2236	2792,1055	231,26025	11,9797037	22,198702	4,79796	0,397398
31	584,546	0,785	7002,68789	12188,46818	2804,6282	218,19627	11,9797037	20,85117	4,79796	0,373275
32	589,765	0,815	7065,20997	12654,26952	2829,6688	226,53498	11,9797037	21,456461	4,79796	0,384111
33	568,888	0,814	6815,10969	12638,74281	2729,5017	226,25703	11,9797037	22,216575	4,79796	0,397718
34	566,279	0,768	6783,85464	11924,5141	2716,9839	213,47100	11,9797037	21,057666	4,79796	0,376971
35	554,882	0,739	6647,32196	11474,23948	2662,3015	205,41025	11,9797037	20,678702	4,79796	0,370187

**ANEXO N: CARACTERIZACIÓN NTN FALLA INCIPIENTE 1778,185 rpm (PLANO X)**

N° de espectro	Frecuencia del 1X Hz	Vrms (mm/s)	Frecuencia del fallo				Frecuencia de fallo/Frecuencia 1X			
			BPFO	BPFI	BSF	FTF	BPFO	BPFI	BSF	FTF
1	1778,2884	3,464	21303,354	42500,171	8532,15	760,834	11,97969576	23,89948	4,798	0,427846
2	1 778,514	3,336	21306,058	40929,7259	8533,2329	732,72	11,97969576	23,01344	4,798	0,411984
3	1778,7398	3,527	21308,762	43273,1245	8534,3158	774,6713	11,97969576	24,32797	4,798	0,435517
4	1778,9655	3,271	21311,465	40132,2342	8535,3987	718,4434	11,97969576	22,55931	4,798	0,403855
5	1779,1912	3,476	21314,169	42647,4002	8536,48159	763,4697	11,97969576	23,97011	4,798	0,429111
6	1779,4169	3,29	21316,873	40365,3472	8537,56449	722,6166	11,97969576	22,68459	4,798	0,406097
7	1 779,643	3,198	21319,577	39236,5897	8538,64739	702,4097	11,97969576	22,04745	4,798	0,394691
8	1779,8683	3,803	21322,281	46659,3967	8539,73029	835,2921	11,97969576	26,21508	4,798	0,4693
9	1780,094	3,386	21324,985	41543,181	8540,81319	743,7021	11,97969576	23,33763	4,798	0,417788
10	1 780,320	3,255	21327,688	39935,9286	8541,89609	714,9292	11,97969576	22,43189	4,798	0,401573
11	1780,5454	3,535	21330,392	43371,2773	8542,97899	776,4285	11,97969576	24,35842	4,798	0,436062
12	1780,7711	3,48	21333,096	42696,4766	8544,06189	764,3482	11,97969576	23,9764	4,798	0,429223
13	1780,9968	3,363	21335,8	41260,9916	8545,14478	738,6503	11,97969576	23,16736	4,798	0,41474
14	1781,2225	3,607	21338,504	44254,6527	8546,22768	792,2426	11,97969576	24,8451	4,798	0,444775
15	1 781,448	3,378	21341,207	41445,0282	8547,31058	741,9449	11,97969576	23,2648	4,798	0,416484
16	1781,6739	3,429	21343,911	42070,7524	8548,39348	753,1466	11,97969576	23,61305	4,798	0,422719
17	1781,8996	3,371	21346,615	41359,1445	8549,47638	740,4075	11,97969576	23,2107	4,798	0,415516
18	1 782,125	3,301	21349,319	40500,3073	8550,55928	725,0326	11,97969576	22,72585	4,798	0,406836
19	1782,351	3,566	21352,023	43751,6195	8551,64218	783,2373	11,97969576	24,54714	4,798	0,439441
20	1782,5767	3,515	21354,727	43125,8952	8552,72508	772,0357	11,97969576	24,19301	4,798	0,433101
21	1782,8024	3,47	21357,43	42573,7856	8553,80797	762,1518	11,97969576	23,88026	4,798	0,427502
22	1783,0281	3,497	21360,134	42905,0514	8554,89087	768,0821	11,97969576	24,06303	4,798	0,430774
23	1 783,254	3,369	21362,838	41334,6063	8555,97377	739,9682	11,97969576	23,17932	4,798	0,414954
24	1783,4795	3,462	21365,542	42475,6328	8557,05667	760,3947	11,97969576	23,81616	4,798	0,426355
25	1783,7052	3,199	21368,246	39248,8588	8558,13957	702,6293	11,97969576	22,00412	4,798	0,393916
26	1 783,931	3,517	21370,949	43150,4334	8559,22247	772,4749	11,97969576	24,1884	4,798	0,433018
27	1784,1566	3,607	21373,653	44254,6527	8560,30537	792,2426	11,97969576	24,80424	4,798	0,444043
28	1784,3823	3,524	21376,357	43236,3171	8561,38827	774,0124	11,97969576	24,23041	4,798	0,433771
29	1784,608	3,55	21379,061	43555,3138	8562,47116	779,7231	11,97969576	24,4061	4,798	0,436916
30	1784,8337	3,362	21381,765	41248,7225	8563,55406	738,4307	11,97969576	23,11068	4,798	0,413725
31	1 785,059	3,356	21384,469	41175,1079	8564,63696	737,1128	11,97969576	23,06652	4,798	0,412935
32	1785,2851	3,608	21387,172	44266,9218	8565,71986	792,4622	11,97969576	24,79544	4,798	0,443886
33	1785,5108	3,576	21389,876	43874,3105	8566,80276	785,4337	11,97969576	24,57241	4,798	0,439893
34	1785,7365	3,573	21392,58	43837,5032	8567,88566	784,7748	11,97969576	24,5487	4,798	0,439468
35	1785,9622	3,824	21395,284	46917,0479	8568,96856	839,9045	11,97969576	26,2699	4,798	0,470281

**ANEXO O: CARACTERIZACIÓN NTN FALLA INCIPIENTE 1490,855 rpm (PLANO X)**

N° de espectro	Frecuencia del 1X Hz	Vrms (mm/s)	Frecuencia del fallo				Frecuencia de fallo/Frecuencia 1X			
			BPFO	BPFI	BSF	FTF	BPFO	BPFI	BSF	FTF
1	1491,126	2,483	17854,783	35620,28	7150,974	637,67	11,97402567	23,888	4,79569	0,42764
2	1491,056	2,494	17853,9378	35778,08	7150,6355	640,49496	11,97402567	23,995	4,79569	0,42956
3	1490,985	2,476	17853,0927	35519,86	7150,29701	635,8723	11,97402567	23,824	4,79591	0,4265
4	1490,914	2,662	17852,2475	38188,15	7149,95851	683,63977	11,97402567	25,615	4,79591	0,45856
5	1490,844	2,672	17851,4023	38331,61	7149,62002	686,20791	11,97402567	25,713	4,79591	0,4603
6	1490,773	2,631	17850,5572	37743,44	7149,28152	675,67852	11,97402567	25,319	4,79591	0,45326
7	1490,703	2,76	17849,712	39594,03	7148,94303	708,80757	11,97402567	26,562	4,79591	0,47551
8	1490,632	2,703	17848,8668	38776,33	7148,60453	694,16915	11,97402567	26,015	4,79591	0,46571
9	1490,561	2,786	17848,0217	39967,02	7148,26604	715,48474	11,97402567	26,815	4,79591	0,48003
10	1490,491	2,695	17847,1765	38661,56	7147,92754	692,11464	11,97402567	25,94	4,79591	0,46438
11	1490,420	2,645	17846,3313	37944,28	7147,58904	679,27392	11,97402567	25,46	4,79591	0,45578
12	1490,350	2,651	17845,4862	38030,35	7147,25055	680,81481	11,97402567	25,519	4,79591	0,45684
13	1490,279	2,559	17844,641	36710,55	7146,91205	657,18789	11,97402567	24,635	4,79591	0,441
14	1490,209	2,649	17843,7958	38001,66	7146,57356	680,30118	11,97402567	25,502	4,79591	0,45654
15	1490,138	2,654	17842,9507	38073,39	7146,23506	681,58525	11,97402567	25,551	4,79591	0,45742
16	1490,067	2,479	17842,1055	35562,9	7145,89657	636,64274	11,97402567	23,868	4,79591	0,42728
17	1489,997	2,57	17841,2603	36868,35	7145,55807	660,01285	11,97402567	24,745	4,79591	0,44298
18	1489,926	2,678	17840,4152	38417,68	7145,21958	687,7488	11,97402567	25,786	4,79591	0,46162
19	1489,856	2,671	17839,57	38317,26	7144,88108	685,9511	11,97402567	25,72	4,79591	0,46044
20	1489,785	2,636	17838,7248	37815,17	7144,54258	676,96259	11,97402567	25,384	4,79591	0,45442
21	1489,714	2,552	17837,8797	36610,13	7144,20409	655,39019	11,97402567	24,576	4,79591	0,43996
22	1489,644	2,598	17837,0345	37270,03	7143,86559	667,20365	11,97402567	25,021	4,79591	0,44792
23	1489,573	2,759	17836,1893	39579,68	7143,5271	708,55076	11,97402567	26,572	4,79591	0,4757
24	1489,503	2,612	17835,3442	37470,87	7143,1886	670,79905	11,97402567	25,158	4,79591	0,45037
25	1489,432	2,742	17834,499	39335,81	7142,85011	704,18491	11,97402567	26,411	4,79591	0,47281
26	1489,362	2,858	17833,6538	40999,9	7142,51161	733,97538	11,97402567	27,53	4,79591	0,49284
27	1489,291	2,814	17832,8087	40368,69	7142,17312	722,67555	11,97402567	27,107	4,79591	0,48527
28	1489,220	2,738	17831,9635	39278,42	7141,83462	703,15766	11,97402567	26,376	4,79591	0,47219
29	1489,150	2,374	17831,1183	34056,6	7141,49612	609,67724	11,97402567	22,871	4,79591	0,40943
30	1489,079	2,47	17830,2732	35433,79	7141,15763	634,33141	11,97402567	23,797	4,79591	0,42601
31	1489,009	2,713	17829,428	38919,78	7140,81913	696,7373	11,97402567	26,139	4,79591	0,46794
32	1488,938	2,677	17828,5828	38403,34	7140,48064	687,49198	11,97402567	25,794	4,79591	0,46175
33	1488,867	2,575	17827,7377	36940,08	7140,14214	661,29692	11,97402567	24,812	4,79591	0,44418
34	1488,797	2,623	17826,8925	37628,67	7139,80365	673,62401	11,97402567	25,276	4,79591	0,45248
35	1488,726	2,717	17826,0473	38977,17	7139,46515	697,76455	11,97402567	26,182	4,79569	0,4687

**ANEXO P: CARACTERIZACIÓN NTN FALLA INCIPIENTE 1187,972 rpm (PLANO X)**

N° de espectro	Frecuencia del 1X Hz	Vrms (mm/s)	Frecuencia del fallo				Frecuencia de fallo/Frecuencia 1X			
			BPFO	BPFI	BSF	FTF	BPFO	BPFI	BSF	FTF
1	1181,241	2,103	14150,91	28231,057	5667,545	505,389	11,97969581	23,89948599	4,797957524	0,427845735
2	1181,737	2,091	14156,854	28069,9668	5669,9256	502,50518	11,97969581	23,75313485	4,797957524	0,425225774
3	1182,234	2,208	14162,798	29640,59622	5672,3063	530,6224	11,97969581	25,07169297	4,797957524	0,448830444
4	1182,730	2,36	14168,742	31681,07205	5674,6869	567,15076	11,97969581	26,7864007	4,797957524	0,479526936
5	1183,226	2,218	14174,686	29774,83805	5677,0676	533,02558	11,97969581	25,16411975	4,797957524	0,450485057
6	1183,722	2,432	14180,63	32647,61323	5679,4482	584,45366	11,97969581	27,58047182	4,797957524	0,493742302
7	1184,218	2,369	14186,574	31801,8897	5681,8289	569,31362	11,97969581	26,85475392	4,797957524	0,480750587
8	1184,714	2,279	14192,518	30593,71322	5684,2095	547,68499	11,97969581	25,82370273	4,797957524	0,462292832
9	1185,211	2,185	14198,463	29331,84001	5686,5901	525,09509	11,97969581	24,74820917	4,797957524	0,443039475
10	1185,707	2,216	14204,407	29747,98969	5688,9708	532,54495	11,97969581	25,0888247	4,797957524	0,449137134
11	1186,203	2,248	14210,351	30177,56355	5691,3514	540,23513	11,97969581	25,44047221	4,797957524	0,455432285
12	1186,699	1,919	14216,295	25761,00731	5693,7321	461,17047	11,97969581	21,70811993	4,797957524	0,388616162
13	1186,270	2,245	14211,154	30137,291	5691,6731	539,51417	11,97969581	25,40508569	4,797957524	0,4547988
14	1187,287	1,925	14223,337	25841,55241	5696,5526	462,61238	11,97969581	21,76521129	4,797957524	0,389638205
15	1190,804	2,161	14265,47	29009,65962	5713,427	519,32745	11,97969581	24,36140592	4,797957524	0,43611497
16	1186,578	2,228	14214,843	29909,07988	5693,1508	535,42876	11,97969581	25,20616418	4,797957524	0,451237731
17	1190,771	2,149	14265,074	28848,56942	5713,2687	516,44363	11,97969581	24,22679879	4,797957524	0,433705249
18	1189,921	2,032	14254,892	27277,94	5709,1904	488,32641	11,97969581	22,92416051	4,797957524	0,410385575
19	1189,156	2,097	14245,727	28150,5119	5705,52	503,94709	11,97969581	23,67268205	4,797957524	0,423785518
20	1181,568	2,174	14154,825	29184,174	5669,1131	522,45159	11,97969581	24,69952978	4,797957524	0,442168023
21	1182,932	2,084	14171,166	27975,99752	5675,6575	500,82296	11,97969581	23,64970896	4,797957524	0,423374256
22	1181,468	2,133	14153,627	28633,78249	5668,6333	512,59854	11,97969581	24,23576643	4,797957524	0,433865787
23	1186,750	2,179	14216,904	29251,29491	5693,9761	523,65318	11,97969581	24,64823671	4,797957524	0,44124978
24	1181,053	2,081	14148,659	27935,72497	5666,6435	500,102	11,97969581	23,65322997	4,797957524	0,423437289
25	1179,796	1,99	14133,602	26714,12431	5660,613	478,23305	11,97969581	22,64299541	4,797957524	0,405352191
26	1178,540	2,123	14118,545	28499,54066	5654,5825	510,19536	11,97969581	24,18208355	4,797957524	0,432904762
27	1177,283	2,161	14103,488	29009,65962	5648,5519	519,32745	11,97969581	24,64120292	4,797957524	0,441123862
28	1176,026	2,248	14088,43	30177,56355	5642,5214	540,23513	11,97969581	25,6606324	4,797957524	0,459373567
29	1174,769	1,947	14073,373	26136,88444	5636,4909	467,89937	11,97969581	22,24853432	4,797957524	0,398290596
30	1173,512	2,014	14058,316	27036,30471	5630,4604	484,00069	11,97969581	23,03879837	4,797957524	0,412437808
31	1172,255	1,92	14043,259	25774,4315	5624,4299	461,41078	11,97969581	21,98705121	4,797957524	0,393609556
32	1170,998	2,169	14028,202	29117,05308	5618,3993	521,25	11,97969581	24,86515735	4,797957524	0,445133068
33	1169,741	2,068	14013,144	27761,21059	5612,3688	496,97787	11,97969581	23,73277902	4,797957524	0,424861366
34	1168,484	2,199	13998,087	29519,77857	5606,3383	528,45954	11,97969581	25,2633066	4,797957524	0,452260688
35	1167,227	2,173	13983,03	29170,74982	5600,3078	522,21127	11,97969581	24,99148684	4,797957524	0,447394603

**ANEXO Q: CARACTERIZACIÓN NTN FALLA INCIPIENTE 889,158 rpm (PLANO X)**

N° de espectro	Frecuencia del 1X Hz	Vrms (mm/s)	Frecuencia del fallo				Frecuencia de fallo/Frecuencia 1X			
			BPFO	BPFI	BSF	FTF	BPFO	BPFI	BSF	FTF
1	889,0449	1,571	10650,492	21247,722	4265,601	380,374	11,9797007	23,89949214	4,797958933	0,42784565
2	889,1535	1,55	10651,7928	20963,6977	4266,122	375,28943	11,9797007	23,5771413	4,797958933	0,422074966
3	889,2621	1,534	10653,0936	20747,2982	4266,643	371,41548	11,9797007	23,33091519	4,797958933	0,417667058
4	889,3707	1,515	10654,3944	20490,3239	4267,1639	366,81516	11,9797007	23,03912717	4,797958933	0,412443506
5	889,4793	1,552	10655,6952	20990,7476	4267,6849	375,77368	11,9797007	23,59891773	4,797958933	0,422464805
6	892,1250	1,473	10687,3905	19922,2753	4280,3791	356,64602	11,9797007	22,33125998	4,797958933	0,399771358
7	891,3879	1,74	10678,5598	23533,4413	4276,8424	421,29265	11,9797007	26,40089946	4,797958933	0,472625523
8	891,8589	1,633	10684,2026	22086,2699	4279,1024	395,38558	11,9797007	24,76430968	4,797958933	0,443327503
9	892,3299	1,418	10689,8455	19178,4022	4281,3624	343,3293	11,9797007	21,49250122	4,797958933	0,384756006
10	892,8010	1,42	10695,4884	19205,4521	4283,6224	343,81355	11,9797007	21,51145975	4,797958933	0,385095399
11	893,2720	1,46	10701,1312	19746,4507	4285,8824	353,49843	11,9797007	22,10575352	4,797958933	0,39573437
12	893,7430	1,408	10706,7741	19043,1525	4288,1424	340,90808	11,9797007	21,30718971	4,797958933	0,381438583
13	894,2141	1,405	10712,417	19002,5776	4290,4024	340,18171	11,9797007	21,25059102	4,797958933	0,380425361
14	894,6851	1,48	10718,0598	20016,9501	4292,6624	358,34088	11,9797007	22,37317892	4,797958933	0,400521786
15	895,1561	1,499	10723,7027	20273,9244	4294,9224	362,9412	11,9797007	22,64847815	4,797958933	0,405450157
16	895,6272	1,513	10729,3456	20463,274	4297,1824	366,33091	11,9797007	22,84798224	4,797958933	0,409021654
17	896,0982	1,474	10734,9884	19935,8003	4299,4425	356,88815	11,9797007	22,24733837	4,797958933	0,398269004
18	896,5693	1,535	10740,6313	20760,8232	4301,7025	371,6576	11,9797007	23,15585006	4,797958933	0,414533064
19	897,0403	1,596	10746,2742	21585,8462	4303,9625	386,42706	11,9797007	24,06340764	4,797958933	0,430780044
20	897,5113	1,433	10751,917	19381,2767	4306,2225	346,96113	11,9797007	21,59446472	4,797958933	0,386581344
21	897,9824	1,34	10757,5599	18123,4548	4308,4825	324,44377	11,9797007	20,18241736	4,797958933	0,361303053
22	898,4534	1,634	10763,2028	22099,7949	4310,7425	395,6277	11,9797007	24,59759733	4,797958933	0,440343039
23	898,9244	1,344	10768,8456	18177,5547	4313,0025	325,41226	11,9797007	20,2214491	4,797958933	0,362001794
24	899,3955	1,582	10774,4885	21396,4966	4315,2625	383,03734	11,9797007	23,78986484	4,797958933	0,425883116
25	899,8665	1,58	10780,1314	21369,4467	4317,5225	382,5531	11,9797007	23,74735208	4,797958933	0,425122058
26	900,3375	1,531	10785,7742	20706,7233	4319,7825	370,68911	11,9797007	22,99884481	4,797958933	0,411722376
27	900,8086	1,538	10791,4171	20801,3981	4322,0426	372,38397	11,9797007	23,0919184	4,797958933	0,413388568
28	901,2796	1,496	10797,06	20233,3495	4324,3026	362,21483	11,9797007	22,44958089	4,797958933	0,401889524
29	901,7506	1,534	10802,7028	20747,2982	4326,5626	371,41548	11,9797007	23,00779969	4,797958933	0,411882685
30	902,2217	1,561	10808,3457	21112,4723	4328,8226	377,95278	11,9797007	23,40053752	4,797958933	0,418913428
31	902,6927	1,534	10813,9886	20747,2982	4331,0826	371,41548	11,9797007	22,9837882	4,797958933	0,411452835
32	903,1638	1,427	10819,6314	19300,1269	4333,3426	345,5084	11,9797007	21,3694657	4,797958933	0,38255344
33	903,6348	1,408	10825,2743	19043,1525	4335,6026	340,90808	11,9797007	21,07394792	4,797958933	0,377263119
34	904,1058	1,349	10830,9172	18245,1795	4337,8626	326,62287	11,9797007	20,18035829	4,797958933	0,361266191
35	904,5769	1,364	10836,56	18448,054	4340,1226	330,2547	11,9797007	20,39412545	4,797958933	0,365093024

**ANEXO R: CARACTERIZACIÓN NTN FALLA INCIPIENTE 5866,157 rpm (PLANO X)**

N° de espectro	Frecuencia del 1X Hz	Vrms (mm/s)	Frecuencia del fallo				Frecuencia de fallo/Frecuencia 1X			
			BPFO	BPFI	BSF	FTF	BPFO	BPFI	BSF	FTF
1	568,757795	0,931	6813,552	13593,024	2728,877	243,341	11,97970745	23,899495	4,79796	0,4278464
2	572,766464	1,181	6861,5747	17243,1379	2748,1104	308,684985	11,97970745	30,105006	4,79796	0,5389369
3	576,775132	1,225	6909,5973	17885,5579	2767,3439	320,1855263	11,97970745	31,009586	4,79796	0,5551306
4	580,7838	1,046	6957,62	15272,0764	2786,5773	273,3992331	11,97970745	26,295631	4,79796	0,4707418
5	574,107	1,088	6877,6339	15885,2955	2754,5423	284,3770226	11,97970745	27,669573	4,79796	0,495338
6	580,252762	1,124	6951,2583	16410,9119	2784,0294	293,7865564	11,97970745	28,28235	4,79796	0,5063079
7	582,124336	1,051	6973,6792	15345,0787	2793,0091	274,7061128	11,97970745	26,360483	4,79796	0,4719028
8	583,995911	1,054	6996,1002	15388,88	2801,9889	275,4902406	11,97970745	26,351006	4,79796	0,4717332
9	585,867485	0,959	7018,5211	14001,8368	2810,9686	250,6595263	11,97970745	23,899324	4,79796	0,4278434
10	587,73906	1,209	7040,942	17651,9506	2819,9483	316,0035113	11,97970745	30,033652	4,79796	0,5376595
11	589,610635	1,073	7063,3629	15666,2887	2828,9281	280,4563835	11,97970745	26,570567	4,79796	0,4756637
12	591,482209	1,164	7085,7838	16994,9301	2837,9078	304,241594	11,97970745	28,732783	4,79796	0,5143715
13	593,353784	1,175	7108,2047	17155,5351	2846,8876	307,1167293	11,97970745	28,912827	4,79796	0,5175946
14	595,225358	1,307	7130,6257	19082,7952	2855,8673	341,6183534	11,97970745	32,059782	4,79796	0,5739311
15	597,096933	1,258	7153,0466	18367,3729	2864,847	328,8109323	11,97970745	30,761124	4,79796	0,5506827
16	598,968507	1,097	7175,4675	16016,6996	2873,8268	286,729406	11,97970745	26,74047	4,79796	0,4787053
17	600,840082	1,146	7197,8884	16732,1219	2882,8065	299,5368271	11,97970745	27,847879	4,79796	0,49853
18	602,711656	1,208	7220,3093	17637,3502	2891,7863	315,7421353	11,97970745	29,26333	4,79796	0,5238693
19	604,583231	1,083	7242,7302	15812,2932	2900,766	283,0701429	11,97970745	26,154039	4,79796	0,4682071
20	606,454805	1,258	7265,1512	18367,3729	2909,7457	328,8109323	11,97970745	30,286466	4,79796	0,5421854
21	608,32638	1,036	7287,5721	15126,0718	2918,7255	270,7854737	11,97970745	24,86506	4,79796	0,4451319
22	610,197955	1,33	7309,993	19418,6057	2927,7052	347,63	11,97970745	31,823453	4,79796	0,5697004
23	612,069529	1,347	7332,4139	19666,8135	2936,685	352,073391	11,97970745	32,131666	4,79796	0,575218
24	613,941104	0,906	7354,8348	13228,0126	2945,6647	236,8066015	11,97970745	21,546061	4,79796	0,3857155
25	615,812678	0,938	7377,2557	13695,2272	2954,6444	245,1706316	11,97970745	22,239274	4,79796	0,3981253
26	617,684253	0,963	7399,6766	14060,2386	2963,6242	251,7050301	11,97970745	22,762825	4,79796	0,4074979
27	619,555827	0,966	7422,0976	14104,0399	2972,6039	252,4891579	11,97970745	22,76476	4,79796	0,4075325
28	621,427402	0,908	7444,5185	13257,2135	2981,5837	237,3293534	11,97970745	21,333487	4,79796	0,38191
29	623,298976	0,82	7466,9394	11972,3734	2990,5634	214,3282707	11,97970745	19,208075	4,79796	0,3438611
30	625,170551	0,832	7489,3603	12147,5789	2999,5431	217,464782	11,97970745	19,430824	4,79796	0,3478487
31	627,042125	0,785	7511,7812	11461,3575	3008,5229	205,1801128	11,97970745	18,278449	4,79796	0,327219
32	628,9137	0,815	7534,2021	11899,3712	3017,5026	213,021391	11,97970745	18,920515	4,79796	0,3387132
33	630,785275	0,814	7556,6231	11884,7707	3026,4823	212,760015	11,97970745	18,84123	4,79796	0,3372939
34	632,656849	0,768	7579,044	11213,1498	3035,4621	200,7367218	11,97970745	17,723905	4,79796	0,3172916
35	634,528424	0,739	7601,4649	10789,7366	3044,4418	193,1568195	11,97970745	17,004339	4,79796	0,30441



**ANEXO S: CARACTERIZACIÓN SKF FALLA MEDIA 1724,195 rpm (PLANO X)**

N° de espectro	Frecuencia del 1X Hz	Vrms (mm/s)	Frecuencia del fallo				Frecuencia de fallo/Frecuencia 1X			
			BPFO	BPFI	BSF	FTF	BPFO	BPFI	BSF	FTF
1	1725,185	2,398	20667,198	41231,045	8277,366	738,144	11,97969957	23,899492	4,797958	0,42786368
2	1723,823	2,583	20650,88165	44411,92212	8270,831181	795,090055	11,97969957	25,763621	4,797958	0,46123648
3	1723,406	2,371	20645,88611	40766,80888	8268,830432	729,832954	11,97969957	23,654791	4,797958	0,42348289
4	1723,66	2,17	20648,92896	37310,82888	8270,049113	667,961835	11,97969957	21,646281	4,797958	0,38752529
5	1722,842	2,19	20639,12956	37654,70749	8266,124383	674,118165	11,97969957	21,856158	4,797958	0,39128264
6	1722,362	2,397	20633,37931	41213,85107	8263,821363	737,836183	11,97969957	23,928681	4,797958	0,42838624
7	1723,812	2,251	20650,74987	38703,53724	8270,778403	692,894972	11,97969957	22,452296	4,797958	0,40195507
8	1724,174	1,975	20655,08652	33958,01246	8272,515264	607,937615	11,97969957	19,695235	4,797958	0,35259644
9	1724,653	2,186	20660,8248	37585,93176	8274,813486	672,886899	11,97969957	21,79333	4,797958	0,39015785
10	1723,377	1,958	20645,5387	33665,71564	8268,691291	602,704734	11,97969957	19,534737	4,797958	0,34972309
11	1724,333	2,191	20656,9913	37671,90142	8273,278139	674,425982	11,97969957	21,847231	4,797958	0,39112282
12	1722,896	2,181	20639,77647	37499,96211	8266,383473	671,347817	11,97969957	21,765656	4,797958	0,38966242
13	1722,643	2,246	20636,7456	38617,56759	8265,16959	691,35589	11,97969957	22,417627	4,797958	0,4013344
14	1722,679	2,068	20637,17687	35557,04798	8265,342316	636,56455	11,97969957	20,640553	4,797958	0,36952012
15	1723,537	1,937	20647,45546	33304,6431	8269,458964	596,240587	11,97969957	19,323428	4,797958	0,34594011
16	1721,703	2,423	20625,48469	41660,89326	8260,659509	745,839413	11,97969957	24,197491	4,797958	0,43319865
17	1722,919	1,986	20640,052	34147,14569	8266,493826	611,323596	11,97969957	19,819356	4,797958	0,35481854
18	1723,169	2,022	20643,04693	34766,12719	8267,693316	622,404991	11,97969957	20,175692	4,797958	0,36119788
19	1721,704	2,072	20625,49667	35625,8237	8260,664307	637,795817	11,97969957	20,692188	4,797958	0,37044452
20	1719,946	2,201	20604,43635	37843,84072	8252,229496	677,504147	11,97969957	22,002924	4,797958	0,39391013
21	1719,826	1,969	20602,99879	33854,84888	8251,653741	606,090716	11,97969957	19,685043	4,797958	0,35241397
22	1716,558	2,001	20563,84913	34405,05465	8235,974012	615,940844	11,97969957	20,043048	4,797958	0,35882321
23	1719,654	2,17	20600,93828	37310,82888	8250,828492	667,961835	11,97969957	21,696707	4,797958	0,38842804
24	1719,436	1,989	20598,32671	34198,72748	8249,782537	612,247046	11,97969957	19,889503	4,797958	0,35607434
25	1716,886	2,38	20567,77847	40921,55425	8237,547743	732,603303	11,97969957	23,834753	4,797958	0,42670469
26	1714,179	2,103	20535,34943	36158,83554	8224,559669	647,338128	11,97969957	21,093967	4,797958	0,37763742
27	1714,314	2,046	20536,96669	35178,78151	8225,207393	629,792587	11,97969957	20,520617	4,797958	0,36737295
28	1714,305	2,019	20536,85887	34714,54539	8225,164212	621,481541	11,97969957	20,249924	4,797958	0,36252682
29	1710,861	1,883	20495,60078	32376,17087	8208,640043	579,618495	11,97969957	18,923905	4,797958	0,3387876
30	1703,545	2,203	20407,9573	37878,22858	8173,538178	678,11978	11,97969957	22,234945	4,797958	0,39806391
31	1707,866	2,514	20459,72158	43225,54092	8194,270157	773,850716	11,97969957	25,309679	4,797958	0,45310974
32	1705,899	2,54	20436,15751	43672,58311	8184,832573	781,853945	11,97969957	25,60092	4,797958	0,4583237
33	1689,774	3,054	20242,98486	52510,26332	8107,465492	940,071633	11,97969957	31,075317	4,797958	0,5563298
34	1721,831	3,162	20627,01809	54367,20779	8261,273647	973,315817	11,97969957	31,575229	4,797958	0,56527953
35	1717,468	2,951	20574,75066	50739,28849	8240,340154	908,366532	11,97969957	29,543076	4,797958	0,52889866

**ANEXO T: CARACTERIZACIÓN SKF FALLA MEDIA 1425,405 rpm (PLANO X)**

N° de espectro	Frecuencia del 1X Hz	Vrms (mm/s)	Frecuencia del fallo				Frecuencia de fallo/Frecuencia 1X			
			BPFO	BPFI	BSF	FTF	BPFO	BPFI	BSF	FTF
1	1 426,359	3,894	17087,353	34089,25	6843,612	610,262	11,97970006	23,899	4,79796	0,42785
2	1426,457	3,907	17088,527	34203,05592	6844,0822	612,29934	11,97970006	23,978	4,79796	0,42924
3	1426,053	3,994	17083,6872	34964,68015	6842,143825	625,93385	11,97970006	24,473	4,78909	0,43812
4	1428,693	4,039	17115,3136	35358,62372	6854,810436	632,98619	11,97970006	24,822	4,81216	0,44436
5	1424,478	3,872	17064,8192	33896,65537	6834,587039	606,81419	11,97970006	23,78	4,79474	0,4257
6	1425,435	4,209	17076,2838	36846,85497	6839,178686	659,62834	11,97970006	25,843	4,79669	0,46263
7	1425,812	3,914	17080,8001	34264,33603	6840,987516	613,39637	11,97970006	23,942	4,78009	0,42861
8	1431,143	4,025	17144,6639	35236,0635	6866,565436	630,79213	11,97970006	24,629	4,79945	0,4409
9	1430,698	3,559	17139,3329	31156,559	6864,430344	557,76129	11,97970006	21,842	4,81231	0,39102
10	1426,43	3,924	17088,2036	34351,87904	6843,952655	614,96356	11,97970006	24,074	4,79619	0,43096
11	1426,956	3,92	17094,5049	34316,86184	6846,476382	614,33668	11,97970006	23,968	4,7819	0,42908
12	1431,749	4,169	17151,9236	36496,68291	6869,472999	653,3596	11,97970006	25,481	4,79607	0,45616
13	1432,314	4,148	17158,6921	36312,84258	6872,183846	650,06851	11,97970006	25,419	4,81055	0,45505
14	1428,564	4,243	17113,7682	37144,50122	6854,1915	664,95677	11,97970006	25,944	4,78734	0,46444
15	1431,732	3,998	17151,7199	34999,69735	6869,391434	626,56073	11,97970006	24,453	4,79948	0,43776
16	1431,279	3,964	17146,2931	34702,0511	6867,217958	621,2323	11,97970006	24,281	4,80507	0,43468
17	1429,161	4,111	17120,9201	35988,93342	6857,055881	644,26992	11,97970006	25,13	4,78802	0,44987
18	1432,127	3,882	17156,4519	33984,19838	6871,286628	608,38138	11,97970006	23,786	4,80931	0,42581
19	1428,747	4,007	17115,9605	35078,48607	6855,069526	627,9712	11,97970006	24,503	4,78835	0,43865
20	1431,615	3,636	17150,3183	31830,64022	6868,830072	569,82862	11,97970006	22,249	4,80125	0,39831
21	1430,633	4,057	17138,5542	35516,20114	6864,118477	635,80712	11,97970006	24,811	4,79523	0,44417
22	1431,447	3,919	17148,3057	34308,10754	6868,024015	614,17996	11,97970006	23,962	4,79685	0,42896
23	1431,779	3,718	17152,283	32548,49294	6869,616938	582,67954	11,97970006	22,819	4,81612	0,4085
24	1426,38	4,008	17087,6046	35087,24037	6843,712757	628,12791	11,97970006	24,561	4,79063	0,43969
25	1428,563	4,08	17113,7563	35717,55008	6854,186702	639,41165	11,97970006	24,991	4,79582	0,44739
26	1429,199	3,513	17121,3753	30753,86113	6857,238204	550,55224	11,97970006	21,572	4,80991	0,38618
27	1425,647	3,74	17078,8235	32741,08757	6840,195853	586,12734	11,97970006	22,988	4,80254	0,41152
28	1424,286	3,614	17062,5191	31638,04558	6833,665831	566,38081	11,97970006	22,198	4,79472	0,39739
29	1425,249	3,878	17074,0555	33949,18118	6838,286266	607,7545	11,97970006	23,85	4,80399	0,42696
30	1423,459	3,681	17052,6119	32224,58378	6829,697919	576,88095	11,97970006	22,638	4,79781	0,40525
31	1423,503	3,304	17053,139	28924,21212	6829,909029	517,79806	11,97970006	20,309	4,79549	0,36356
32	1424,235	3,32	17061,9081	29064,28095	6833,421135	520,30556	11,97970006	20,456	4,80955	0,36621
33	1420,803	3,361	17020,7938	29423,20731	6816,95454	526,73102	11,97970006	20,728	4,80244	0,37107
34	1419,478	3,644	17004,9207	31900,67463	6810,597244	571,08236	11,97970006	22,567	4,81782	0,40398
35	1413,625	3,434	16934,8035	30062,27131	6782,51479	538,17147	11,97970006	21,266	4,79796	0,3807

**ANEXO U: CARACTERIZACIÓN SKF FALLA MEDIA 1128,826 rpm (PLANO X)**

N° de espectro	Frecuencia del 1X Hz	Vrms (mm/s)	Frecuencia del fallo				Frecuencia de fallo/Frecuencia 1X			
			BPFO	BPFI	BSF	FTF	BPFO	BPFI	BSF	FTF
1	1130,438	2,702	13542,306	27016,89	5423,795	483,653000	11,9703479	23,880835	4,7942140	0,4275117
2	1130,441	2,567	13542,34194	25667,04538	5423,809394	459,488250	11,9737136	22,693996	4,7955620	0,4062651
3	1131,321	2,498	13552,88407	24977,1248	5428,031598	447,137377	11,9829287	22,083794	4,7992527	0,3953413
4	1131,006	2,566	13549,11047	25657,04654	5426,520241	459,309252	11,9900025	22,704668	4,8020858	0,4064561
5	1131,016	2,489	13549,23027	24887,13516	5426,56822	445,526394	11,9973173	22,036592	4,8050154	0,3944963
6	1130,034	2,662	13537,4662	26616,93604	5421,856625	476,493074	11,9954510	23,585075	4,8042680	0,4222171
7	1129,355	2,512	13529,33199	25117,10869	5418,598811	449,643352	11,9815229	22,243612	4,7986897	0,3982024
8	1128,55	2,583	13519,68833	25827,02697	5414,736454	462,352220	11,9735127	22,873326	4,7954815	0,4094754
9	1129,183	2,713	13527,27148	27126,87734	5417,773562	485,621980	11,9943142	24,052766	4,8038127	0,4305896
10	1129,133	2,568	13526,67249	25677,04423	5417,533664	459,667248	12,0107053	22,799355	4,8103774	0,4081512
11	1127,807	2,444	13510,78741	24437,18696	5411,17157	437,471477	12,0096102	21,721983	4,8099388	0,3888642
12	1126,218	2,363	13491,75167	23627,28019	5403,547614	422,972627	11,9970297	21,009665	4,8049003	0,3761124
13	1124,998	2,294	13477,13644	22937,35961	5397,694104	410,621755	12,0505879	20,509451	4,8263507	0,3671576
14	1124,591	2,592	13472,26071	25917,01661	5395,741335	463,963204	11,9624447	23,012535	4,7910487	0,4119675
15	1118,38	2,331	13397,8548	23307,31702	5365,941212	417,244687	11,9058706	20,711816	4,7683904	0,3707803
16	1126,213	2,798	13491,69178	27976,7795	5403,523624	500,836822	11,9898652	24,862547	4,8020308	0,4450862
17	1125,315	3,224	13480,93401	32236,28918	5399,215057	577,090034	11,9735162	28,631676	4,7954829	0,5125607
18	1125,258	3,633	13480,25116	36325,81842	5398,941573	650,300277	11,9862171	32,299780	4,8005698	0,5782266
19	1125,896	2,992	13487,89421	29916,55621	5402,002671	535,562463	12,0263875	26,674890	4,8166583	0,4775306
20	1124,646	2,782	13472,91959	27816,79792	5396,005222	497,972852	12,0628237	24,905450	4,8312513	0,4458543
21	1121,525	3,342	13435,53095	33416,15336	5381,030793	598,211816	11,9091052	29,619707	4,7696858	0,5302483
22	1116,896	2,497	13380,07693	24967,12595	5358,821041	446,958379	11,9670228	22,330377	4,7928823	0,3997556
23	1128,173	3,233	13515,17198	32326,27882	5412,927623	578,701017	12,1006431	28,942936	4,8463982	0,5181328
24	1118,079	3,128	13394,24891	31276,39967	5364,497027	559,906212	11,9878467	27,992364	4,8012224	0,5011158
25	1116,897	3,088	13380,08891	30876,44571	5358,825839	552,746286	11,9821549	27,650515	4,7989428	0,4949961
26	1117,319	3,059	13385,14434	30586,47909	5360,850578	547,555339	12,0038171	27,429999	4,8076187	0,4910484
27	1116,668	2,848	13377,34556	28476,72195	5357,727107	509,786730	11,9925857	25,528946	4,8031204	0,4570160
28	1115,074	2,723	13358,24992	27226,86583	5350,07916	487,411961	11,9922811	24,442740	4,8029984	0,4375709
29	1115,468	2,406	13362,96992	24057,2307	5351,969556	430,669548	11,9995779	21,602729	4,8059208	0,3867294
30	1113,904	2,922	13344,23367	29216,63678	5344,465548	523,032593	11,9897299	26,251008	4,8019766	0,4699423
31	1113,62	2,866	13340,83144	28656,70124	5343,102928	513,008697	11,9910257	25,757258	4,8024956	0,4611032
32	1112,972	2,707	13333,06859	27066,88425	5339,993851	484,547991	11,9955849	24,351717	4,8043216	0,4359414
33	1112,568	3,048	13328,22879	30476,49175	5338,055475	545,586360	11,9882106	27,412390	4,7979588	0,0409637
34	1111,498	2,793	13315,41052	27926,78526	5332,921659	499,941832	11,9796981	25,125358	4,7979588	0,0375461
35	1111,778	2,862	13318,76483	28616,70584	5334,265088	512,292704	11,9796981	25,739586	4,7979588	0,03846398

**ANEXO V: CARACTERIZACIÓN SKF FALLA MEDIA 821,318 rpm (PLANO X)**

N° de espectro	Frecuencia del 1X Hz	Vrms (mm/s)	Frecuencia del fallo				Frecuencia de fallo/Frecuencia 1X			
			BPFO	BPFI	BSF	FTF	BPFO	BPFI	BSF	FTF
1	816,966	2,589	9787,008	19525,067	3919,769	349,536	11,9797005	23,899485	4,7979585	0,4278464
2	816,969	2,579	9787,043939	19449,65152	3919,783394	348,185919	11,9797005	23,807086	4,7979585	0,4261923
3	817,434	2,541	9792,6145	19163,07271	3922,014445	343,055611	11,9797005	23,442960	4,7979585	0,4196738
4	812,671	2,568	9735,555186	19366,6945	3899,161768	346,70083	11,9797005	23,830916	4,7979585	0,4266189
5	815,904	2,634	9774,285558	19864,43665	3914,673568	355,611365	11,9797005	24,346537	4,7979585	0,4358495
6	818,73	2,548	9808,140192	19215,86354	3928,232599	344,000667	11,9797005	23,470330	4,7979585	0,4201638
7	817,276	2,616	9790,721707	19728,68879	3921,256367	353,181219	11,9797005	24,139567	4,7979585	0,4321444
8	817,621	2,579	9794,854704	19449,65152	3922,911663	348,185919	11,9797005	23,788102	4,7979585	0,4258525
9	815,955	2,669	9774,896523	20128,39082	3914,918264	360,336649	11,9797005	24,668506	4,7979585	0,4416134
10	818,869	2,576	9809,80537	19427,02688	3928,899515	347,780895	11,9797005	23,724218	4,7979585	0,4247088
11	818,772	2,637	9808,643339	19887,06129	3928,434113	356,016389	11,9797005	24,288888	4,7979585	0,4348175
12	816,267	2,715	9778,634189	20475,30201	3916,415227	366,547022	11,9797005	25,084074	4,7979585	0,4490528
13	818,322	2,849	9803,252474	21485,8694	3926,275032	384,638109	11,9797005	26,256009	4,7979585	0,4700327
14	824,164	2,738	9873,237884	20648,75761	3954,304706	369,652209	11,9797005	25,054185	4,7979585	0,4485178
15	825,161	2,567	9885,181646	19359,15295	3959,08827	346,565822	11,9797005	23,461061	4,7979585	0,4199978
16	823,613	2,657	9866,637069	20037,89224	3951,66103	358,716552	11,9797005	24,329257	4,7979585	0,4355402
17	824,632	2,617	9878,844384	19736,23034	3956,55015	353,316227	11,9797005	23,933379	4,7979585	0,4284532
18	822,143	2,64	9849,026909	19909,68593	3944,608031	356,421414	11,9797005	24,216816	4,7979585	0,4335273
19	822,801	2,782	9856,909552	20980,58571	3947,765088	375,592565	11,9797005	25,498979	4,7979585	0,4564804
20	823,354	2,853	9863,534327	21516,03559	3950,418359	385,178141	11,9797005	26,132181	4,7979585	0,4678160
21	824,319	2,65	9875,094738	19985,10141	3955,048389	357,771495	11,9797005	24,244378	4,7979585	0,4340207
22	818,044	2,624	9799,922117	19789,02117	3924,941199	354,261284	11,9797005	24,190656	4,7979585	0,4330590
23	822,754	2,761	9856,346507	20822,2132	3947,539584	372,757395	11,9797005	25,307945	4,7979585	0,4530606
24	821,829	2,668	9845,265284	20120,84927	3943,101472	360,201641	11,9797005	24,483012	4,7979585	0,4382927
25	818,975	2,731	9811,075218	20595,96677	3929,408099	368,707152	11,9797005	25,148468	4,7979585	0,4502056
26	821,813	2,688	9845,073608	20271,68022	3943,024705	362,901803	11,9797005	24,667023	4,7979585	0,4415868
27	821,723	2,591	9843,995435	19540,1501	3942,592889	349,806016	11,9797005	23,779485	4,7979585	0,4256982
28	823,106	2,759	9860,563361	20807,13011	3949,228465	372,487379	11,9797005	25,278798	4,7979585	0,4525388
29	823,637	2,678	9866,924582	20196,26475	3951,776181	361,551722	11,9797005	24,520832	4,7979585	0,4389697
30	821,719	2,552	9843,947516	19246,02974	3942,573697	344,5407	11,9797005	23,421668	4,7979585	0,4192926
31	819,15	2,768	9813,171666	20875,00404	3930,247741	373,702452	11,9797005	25,483738	4,7979585	0,4562076
32	820,515	2,703	9829,523957	20384,80344	3936,796955	364,926925	11,9797005	24,843913	4,7979585	0,4447535
33	819,675	2,766	9819,461009	20859,92094	3932,76667	373,432436	11,9797005	25,449014	4,7979585	0,4555860
34	815,588	2,817	9770,499973	21244,53988	3913,157413	380,317849	11,9797005	26,048127	4,7979585	0,4663112
35	815,455	3,052	9768,906673	23016,80359	3912,519285	412,044756	11,9797005	28,225719	4,7979585	0,5052943

**ANEXO W: CARACTERIZACIÓN SKF FALLA MEDIA 518,080 rpm (PLANO X)**

N° de espectro	Frecuencia del 1X Hz	Vrms (mm/s)	Frecuencia del fallo				Frecuencia de fallo/Frecuencia 1X			
			BPFO	BPFI	BSF	FTF	BPFO	BPFI	BSF	FTF
1	519,702	1,462	6225,876	12420,612	2493,509	222,352	11,9797038	23,899489	4,79796	0,4278452
2	517,39	1,465	6198,178925	12446,09889	2482,416118	222,8082627	11,9797038	24,055546	4,79796	0,4306389
3	503,621	1,383	6033,230384	11749,45718	2416,353018	210,3370834	11,9797038	23,329959	4,79796	0,4176495
4	521,124	1,464	6242,911139	12437,60326	2500,331698	222,6561751	11,9797038	23,866879	4,79796	0,4272614
5	523,328	1,352	6269,314406	11486,09263	2510,9064	205,6223694	11,9797038	21,948171	4,79796	0,392913
6	513,983	1,457	6157,364074	12378,13385	2466,069471	221,5915622	11,9797038	24,082769	4,79796	0,4311262
7	519,913	1,417	6228,403717	12038,30862	2494,521369	215,5080602	11,9797038	23,154467	4,79796	0,4145079
8	521,318	1,435	6245,235201	12191,22997	2501,262502	218,2456361	11,9797038	23,3854	4,79796	0,418642
9	515,04	1,383	6170,026621	11749,45718	2471,140914	210,3370834	11,9797038	22,812708	4,79796	0,4083898
10	517,198	1,424	6195,878822	12097,77804	2481,49491	216,5726731	11,9797038	23,390999	4,79796	0,4187423
11	520,021	1,328	6229,697525	11282,19749	2495,039549	201,9722681	11,9797038	21,695657	4,79796	0,3883925
12	516,598	1,392	6188,691	11825,91785	2478,616135	211,7058714	11,9797038	22,891916	4,79796	0,4098078
13	516,406	1,365	6186,390896	11596,53583	2477,694926	207,5995075	11,9797038	22,456238	4,79796	0,4020083
14	518,524	1,304	6211,763909	11078,30236	2487,857004	198,3221669	11,9797038	21,365072	4,79796	0,3824744
15	519,233	1,439	6220,257519	12225,2125	2491,258757	218,8539863	11,9797038	23,544753	4,79796	0,4214948
16	517,558	1,362	6200,191515	11571,04894	2483,222175	207,1432449	11,9797038	22,357009	4,79796	0,4002319
17	518,065	1,431	6206,265225	12157,24745	2485,654741	217,6372859	11,9797038	23,466645	4,79796	0,4200965
18	516,761	1,404	6190,643691	11927,86542	2479,398202	213,530922	11,9797038	23,081977	4,79796	0,4132102
19	520,551	1,465	6236,046768	12446,09889	2497,582467	222,8082627	11,9797038	23,909471	4,79796	0,4280239
20	517,643	1,411	6201,20979	11987,33484	2483,630002	214,5955349	11,9797038	23,157533	4,79796	0,4145628
21	514,616	1,416	6164,947227	12029,81299	2469,106579	215,3559726	11,9797038	23,37629	4,79796	0,418479
22	515,783	1,473	6178,927541	12514,06394	2474,705798	224,0249631	11,9797038	24,262265	4,79796	0,4343396
23	515,357	1,459	6173,824187	12395,12511	2472,661867	221,8957373	11,9797038	24,051531	4,79796	0,430567
24	517,794	1,342	6203,018725	11401,13632	2484,354494	204,1014938	11,9797038	22,018672	4,79796	0,3941751
25	512,545	1,46	6140,13726	12403,62074	2459,170006	222,0478249	11,9797038	24,200062	4,79796	0,433226
26	514,969	1,461	6169,176062	12412,11637	2470,800259	222,1999124	11,9797038	24,102648	4,79796	0,4314821
27	517,613	1,486	6200,850399	12624,50714	2483,486063	226,0021012	11,9797038	24,389857	4,79796	0,4366237
28	514,09	1,564	6158,645903	13287,16633	2466,582853	237,8649302	11,9797038	25,845993	4,79796	0,4626912
29	506,982	1,711	6073,494168	14536,02403	2432,478959	260,2218003	11,9797038	28,671677	4,79796	0,5132762
30	500,843	1,522	5999,950767	12930,34984	2403,024287	231,4772531	11,9797038	25,817172	4,79796	0,4621753
31	499,597	1,357	5985,024056	11528,57078	2397,04603	206,3828071	11,9797038	23,075741	4,79796	0,4130986
32	506,875	1,637	6072,21234	13907,34736	2431,965577	248,9673215	11,9797038	27,43743	4,79796	0,4911809
33	500,807	1,353	5999,519498	11494,58826	2402,851561	205,7744569	11,9797038	22,952132	4,79796	0,4108857
34	508,708	1,423	6094,171137	12089,2824	2440,760236	216,4205855	11,9797038	23,764679	4,79796	0,4254318
35	508,975	1,27	6097,369718	10789,45092	2442,041291	193,1511902	11,9797038	21,198391	4,79796	0,3794905

**ANEXO X: CARACTERIZACIÓN NTN FALLA MEDIA 1784,246 rpm (PLANO X)**

N° de espectro	Frecuencia del 1X Hz	Vrms (mm/s)	Frecuencia del fallo				Frecuencia de fallo/Frecuencia 1X			
			BPFO	BPFI	BSF	FTF	BPFO	BPFI	BSF	FTF
1	1776,121	2,398	20667,198	41231,045	8277,366	738,144	11,63614244	23,214096	4,660361	0,41559329
2	1773,821	2,583	20640,43463	44411,92212	8266,647071	795,090055	11,63614244	25,037431	4,660361	0,44823577
3	1771,521	2,371	20613,67125	40766,80888	8255,928141	729,832954	11,63614244	23,01232	4,660361	0,41198097
4	1769,221	2,17	20586,90788	37310,82888	8245,209212	667,961835	11,63614244	21,088845	4,660361	0,37754572
5	1766,921	2,19	20560,14451	37654,70749	8234,490283	674,118165	11,63614244	21,310917	4,660361	0,38152139
6	1764,621	2,397	20533,38113	41213,85107	8223,771353	737,836183	11,63614244	23,355639	4,660361	0,41812729
7	1762,321	2,251	20506,61776	38703,53724	8213,052424	692,894972	11,63614244	21,961685	4,660361	0,39317184
8	1760,021	1,975	20479,85439	33958,01246	8202,333494	607,937615	11,63614244	19,294096	4,660361	0,34541499
9	1757,721	2,186	20453,09101	37585,93176	8191,614565	672,886899	11,63614244	21,383333	4,660361	0,38281782
10	1755,421	1,958	20426,32764	33665,71564	8180,895636	602,704734	11,63614244	19,178144	4,660361	0,34333916
11	1753,121	2,191	20399,56427	37671,90142	8170,176706	674,425982	11,63614244	21,488479	4,660361	0,38470022
12	1750,821	2,181	20372,80089	37499,96211	8159,457777	671,347817	11,63614244	21,418503	4,660361	0,38344746
13	1748,521	2,246	20346,03752	38617,56759	8148,738848	691,35589	11,63614244	22,085849	4,660361	0,39539471
14	1746,221	2,068	20319,27415	35557,04798	8138,019918	636,56455	11,63614244	20,362286	4,660361	0,3645384
15	1743,921	1,937	20292,51077	33304,6431	8127,300989	596,240587	11,63614244	19,097566	4,660361	0,3418966
16	1741,621	2,423	20265,7474	41660,89326	8116,582059	745,839413	11,63614244	23,92076	4,660361	0,42824444
17	1739,321	1,986	20238,98403	34147,14569	8105,86313	611,323596	11,63614244	19,63246	4,660361	0,35147261
18	1737,021	2,022	20212,22066	34766,12719	8095,144201	622,404991	11,63614244	20,014803	4,660361	0,35831754
19	1734,721	2,072	20185,45728	35625,8237	8084,425271	637,795817	11,63614244	20,536922	4,660361	0,36766484
20	1732,421	2,201	20158,69391	37843,84072	8073,706342	677,504147	11,63614244	21,844487	4,660361	0,39107369
21	1730,121	1,969	20131,93054	33854,84888	8062,987413	606,090716	11,63614244	19,567912	4,660361	0,35031702
22	1727,821	2,001	20105,16716	34405,05465	8052,268483	615,940844	11,63614244	19,912399	4,660361	0,35648425
23	1723,300	2,17	20052,56725	37310,82888	8031,201828	667,961835	11,63614244	21,6508	4,660361	0,38760618
24	1723,274	1,989	20052,26451	34198,72748	8031,08058	612,247046	11,63614244	19,845203	4,660361	0,35528126
25	1723,248	2,38	20051,96178	40921,55425	8030,959333	732,603303	11,63614244	23,746756	4,660361	0,4251293
26	1723,222	2,103	20051,65905	36158,83554	8030,838086	647,338128	11,63614244	20,983269	4,660361	0,37565563
27	1714,314	2,046	19948,0019	35178,78151	7989,32263	629,792587	11,63614244	20,520617	4,660361	0,36737295
28	1714,305	2,019	19947,89717	34714,54539	7989,280687	621,481541	11,63614244	20,249924	4,660361	0,36252682
29	1710,861	1,883	19907,8223	32376,17087	7973,230402	579,618495	11,63614244	18,923905	4,660361	0,3387876
30	1703,545	2,203	19822,69228	37878,22858	7939,135199	678,11978	11,63614244	22,234945	4,660361	0,39806391
31	1707,866	2,514	19872,97205	43225,54092	7959,27262	773,850716	11,63614244	25,309679	4,660361	0,45310974
32	1705,899	2,54	19850,08376	43672,58311	7950,105689	781,853945	11,63614244	25,60092	4,660361	0,4583237
33	1704,391	3,054	19832,5341	52510,26332	7943,076923	940,071633	11,63614244	30,808816	4,660361	0,55155874
34	1702,602	3,162	19811,71546	54367,20779	7934,7389	973,315817	11,63614244	31,931842	4,660361	0,57166385
35	1700,813	2,951	19790,89681	50739,28849	7926,400878	908,366532	11,63614244	29,832382	4,660361	0,53407799

**ANEXO Y: CARACTERIZACIÓN NTN FALLA MEDIA 1495,510 rpm (PLANO X)**

N° de espectro	Frecuencia del 1X Hz	Vrms (mm/s)	Frecuencia del fallo				Frecuencia de fallo/Frecuencia 1X			
			BPFO	BPFI	BSF	FTF	BPFO	BPFI	BSF	FTF
1	1472,134	3,894	17087,353	34089,25	6843,612	610,262	11,60720012	23,156	4,64877	0,41454
2	1470,496	3,907	17068,3422	34203,05592	6835,998015	612,29934	11,60720012	23,26	4,64877	0,41639
3	1468,858	3,994	17049,3313	34964,68015	6828,384029	625,93385	11,60720012	23,831	4,65396	0,42661
4	1467,220	4,039	17030,3205	35358,62372	6820,770044	632,98619	11,60720012	24,126	4,65397	0,4319
5	1465,583	3,872	17011,3096	33896,65537	6813,156058	606,81419	11,60720012	23,154	4,65397	0,41451
6	1463,945	4,209	16992,2988	36846,85497	6805,542073	659,62834	11,60720012	25,198	4,65398	0,45109
7	1462,307	3,914	16973,2879	34264,33603	6797,928088	613,39637	11,60720012	23,458	4,65398	0,41994
8	1460,669	4,025	16954,2771	35236,0635	6790,314102	630,79213	11,60720012	24,15	4,65399	0,43234
9	1459,031	3,559	16935,2662	31156,559	6782,700117	557,76129	11,60720012	21,378	4,65399	0,38271
10	1457,393	3,924	16916,2554	34351,87904	6775,086131	614,96356	11,60720012	23,597	4,654	0,42244
11	1455,755	3,92	16897,2445	34316,86184	6767,472146	614,33668	11,60720012	23,6	4,65401	0,42248
12	1454,118	4,169	16878,2337	36496,68291	6759,858161	653,3596	11,60720012	25,127	4,65401	0,44982
13	1452,480	4,148	16859,2228	36312,84258	6752,244175	650,06851	11,60720012	25,029	4,65402	0,44806
14	1450,842	4,243	16840,212	37144,50122	6744,63019	664,95677	11,60720012	25,631	4,65402	0,45884
15	1449,204	3,998	16821,2012	34999,69735	6737,016204	626,56073	11,60720012	24,178	4,65403	0,43284
16	1447,566	3,964	16802,1903	34702,0511	6729,402219	621,2323	11,60720012	24	4,65404	0,42964
17	1445,928	4,111	16783,1795	35988,93342	6721,788234	644,26992	11,60720012	24,918	4,65404	0,44608
18	1444,290	3,882	16764,1686	33984,19838	6714,174248	608,38138	11,60720012	23,557	4,65405	0,42171
19	1442,653	4,007	16745,1578	35078,48607	6706,560263	627,9712	11,60720012	24,343	4,65405	0,43578
20	1441,015	3,636	16726,1469	31830,64022	6698,946277	569,82862	11,60720012	22,114	4,65406	0,39589
21	1439,377	4,057	16707,1361	35516,20114	6691,332292	635,80712	11,60720012	24,703	4,65407	0,44223
22	1437,739	3,919	16688,1252	34308,10754	6683,718306	614,17996	11,60720012	23,89	4,65407	0,42767
23	1436,101	3,718	16669,1144	32548,49294	6676,104321	582,67954	11,60720012	22,69	4,65408	0,4062
24	1434,463	4,008	16650,1035	35087,24037	6668,490336	628,12791	11,60720012	24,488	4,65408	0,43838
25	1432,826	4,08	16631,0927	35717,55008	6660,87635	639,41165	11,60720012	24,957	4,65409	0,44677
26	1431,188	3,513	16612,0818	30753,86113	6653,262365	550,55224	11,60720012	21,513	4,6541	0,38512
27	1429,550	3,74	16593,071	32741,08757	6645,648379	586,12734	11,60720012	22,929	4,6541	0,41048
28	1427,912	3,614	16574,0601	31638,04558	6638,034394	566,38081	11,60720012	22,198	4,65746	0,39739
29	1425,249	3,878	16543,1504	33949,18118	6625,654795	607,7545	11,60720012	23,85	4,65462	0,42696
30	1423,459	3,681	16522,3735	32224,58378	6617,333497	576,88095	11,60720012	22,638	4,64863	0,40525
31	1423,503	3,304	16522,8842	28924,21212	6617,538043	517,79806	11,60720012	20,309	4,64638	0,36356
32	1424,235	3,32	16531,3807	29064,28095	6620,940943	520,30556	11,60720012	20,456	4,66	0,36621
33	1420,803	3,361	16491,5448	29423,20731	6604,986364	526,73102	11,60720012	20,76	4,66019	0,37164
34	1417,320	3,644	16451,1179	31900,67463	6588,795108	571,08236	11,60720012	22,545	4,65654	0,4036
35	1414,955	3,434	16423,666	30062,27131	6577,800417	538,17147	11,60720012	21,246	4,64877	0,38035

**ANEXO Z: CARACTERIZACIÓN NTN FALLA MEDIA 1126,508 rpm (PLANO X)**

N° de espectro	Frecuencia del 1X Hz	Vrms (mm/s)	Frecuencia del fallo				Frecuencia de fallo/Frecuencia 1X			
			BPFO	BPFI	BSF	FTF	BPFO	BPFI	BSF	FTF
1	1132,149	2,702	13542,306	27016,89	5423,795	483,653000	11,9745803	23,889279	4,7959091	0,4276629
2	1131,535	2,567	13534,96321	25667,04538	5420,854158	459,488250	11,9745874	22,708025	4,7959120	0,4065162
3	1130,921	2,498	13527,62042	24977,1248	5417,913317	447,137377	11,9745944	22,109649	4,7959148	0,3958042
4	1130,307	2,566	13520,27764	25657,04654	5414,972475	459,309252	11,9746015	22,723861	4,7959176	0,4067997
5	1129,693	2,489	13512,93485	24887,13516	5412,031633	445,526394	11,9746086	22,053958	4,7959204	0,3948072
6	1129,080	2,662	13505,59206	26616,93604	5409,090792	476,493074	11,9746157	23,599675	4,7959233	0,4224784
7	1128,466	2,512	13498,24927	25117,10869	5406,14995	449,643352	11,9746228	22,281993	4,7959261	0,3988895
8	1127,852	2,583	13490,90648	25827,02697	5403,209109	462,352220	11,9746299	22,924263	4,7959290	0,4103873
9	1127,238	2,713	13483,5637	27126,87734	5400,268267	485,621980	11,9746370	24,091146	4,7959318	0,4312767
10	1126,624	2,568	13476,22091	25677,04423	5397,327425	459,667248	11,9746441	22,816001	4,7959347	0,4084492
11	1126,010	2,444	13468,87812	24437,18696	5394,386584	437,471477	11,9746512	21,726144	4,7959375	0,3889387
12	1125,396	2,363	13461,53533	23627,28019	5391,445742	422,972627	11,9746583	21,017559	4,7959404	0,3762537
13	1124,783	2,294	13454,19254	22937,35961	5388,5049	410,621755	11,9746655	20,414990	4,7959432	0,3654666
14	1124,169	2,592	13446,84975	25917,01661	5385,564059	463,963204	11,9746726	23,079591	4,7959461	0,4131680
15	1123,555	2,331	13439,50697	23307,31702	5382,623217	417,244687	11,9746798	20,766957	4,7959490	0,3717675
16	1122,941	2,798	13432,16418	27976,7795	5379,682375	500,836822	11,9746869	24,941117	4,7959518	0,4464928
17	1122,327	3,224	13424,82139	32236,28918	5376,741534	577,090034	11,9746941	28,754178	4,7959547	0,5147537
18	1121,713	3,633	13417,4786	36325,81842	5373,800692	650,300277	11,9747013	32,419714	4,7959576	0,5803737
19	1121,099	2,992	13410,13581	29916,55621	5370,85985	535,562463	11,9747085	26,714274	4,7959604	0,4782356
20	1120,485	2,782	13402,79303	27816,79792	5367,919009	497,972852	11,9747157	24,852898	4,7959633	0,4449135
21	1119,872	3,342	13395,45024	33416,15336	5364,978167	598,211816	11,9747229	29,872021	4,7959662	0,5347652
22	1119,258	2,497	13388,10745	24967,12595	5362,037326	446,958379	11,9742053	22,330377	4,7957589	0,3997556
23	1118,644	3,233	13380,76466	32326,27882	5359,096484	578,701017	11,9803032	28,942936	4,7982012	0,5181328
24	1118,029	3,128	13374,00799	31276,39967	5356,390387	559,906212	11,9697311	27,992364	4,7939670	0,5011158
25	1116,897	3,088	13359,86939	30876,44571	5350,72777	552,746286	11,9640479	27,650515	4,7916908	0,4949961
26	1117,319	3,059	13364,91718	30586,47909	5352,749449	547,555339	11,9856773	27,429999	4,8003536	0,4910484
27	1116,668	2,848	13357,13018	28476,72195	5349,630698	509,786730	11,9744629	25,528946	4,7958621	0,4570160
28	1115,074	2,723	13338,0634	27226,86583	5341,994308	487,411961	11,9741588	24,442740	4,7957403	0,4375709
29	1115,468	2,406	13342,77627	24057,2307	5343,881848	430,669548	11,9814445	21,602729	4,7986583	0,3867294
30	1113,904	2,922	13324,06833	29216,63678	5336,38918	523,032593	11,9716114	26,251008	4,7947201	0,4699423
31	1113,620	2,866	13320,67124	28656,70124	5335,028618	513,008697	11,9729052	25,757258	4,7952382	0,4611032
32	1112,972	2,707	13312,92013	27066,88425	5331,924239	484,547991	11,9774576	24,351717	4,7970615	0,4359414
33	1112,568	3,048	13308,08764	30476,49175	5329,988793	545,586360	11,9700944	27,412390	4,7907083	0,0410257
34	1111,498	2,793	13295,28874	27926,78526	5324,862735	499,941832	11,9615948	25,125358	4,7907083	0,0376029
35	1111,778	2,862	13298,63798	28616,70584	5326,204134	512,292704	11,9615948	25,739586	4,7907083	0,0385222



**ANEXO AA: CARACTERIZACIÓN NTN FALLA MEDIA 811,924 rpm (PLANO X)**

N° de espectro	Frecuencia del 1X Hz	Vrms (mm/s)	Frecuencia del fallo				Frecuencia de fallo/Frecuencia 1X			
			BPFO	BPFI	BSF	FTF	BPFO	BPFI	BSF	FTF
1	811,77447	2,589	9787,008	19525,067	3919,769	349,536	12,056314	24,052329	4,8286429	0,4305826
2	812,470515	2,579	9795,399743	19449,65152	3923,129955	348,185919	12,056314	23,938901	4,8286429	0,4285521
3	813,166561	2,541	9803,791485	19163,07271	3926,49091	343,055611	12,056314	23,565987	4,8286429	0,4218762
4	813,862606	2,568	9812,183228	19366,6945	3929,851865	346,70083	12,056314	23,796024	4,8286429	0,4259943
5	814,558652	2,634	9820,574971	19864,43665	3933,21282	355,611365	12,056314	24,386748	4,8286429	0,4365694
6	815,254697	2,548	9828,966713	19215,86354	3936,573775	344,000667	12,056314	23,570381	4,8286429	0,4219548
7	815,950742	2,616	9837,358456	19728,68879	3939,93473	353,181219	12,056314	24,178774	4,8286429	0,4328462
8	816,646788	2,579	9845,750198	19449,65152	3943,295684	348,185919	12,056314	23,816480	4,8286429	0,4263605
9	815,955	2,669	9837,409787	20128,39082	3939,955288	360,336649	12,056314	24,668506	4,8286429	0,4416134
10	818,869	2,576	9872,541886	19427,02688	3954,025953	347,780895	12,056314	23,724218	4,8286429	0,4247088
11	818,772	2,637	9871,372423	19887,06129	3953,557575	356,016389	12,056314	24,288888	4,8286429	0,4348175
12	816,267	2,715	9841,171357	20475,30201	3941,461824	366,547022	12,056314	25,084074	4,8286429	0,4490528
13	818,322	2,849	9865,947082	21485,8694	3951,384685	384,638109	12,056314	26,256009	4,8286429	0,4700327
14	824,164	2,738	9936,380069	20648,75761	3979,593617	369,652209	12,056314	25,054185	4,8286429	0,4485178
15	825,161	2,567	9948,400214	19359,15295	3984,407774	346,565822	12,056314	23,461061	4,8286429	0,4199978
16	823,613	2,657	9929,73704	20037,89224	3976,933035	358,716552	12,056314	24,329257	4,8286429	0,4355402
17	824,632	2,617	9942,022424	19736,23034	3981,853422	353,316227	12,056314	23,933379	4,8286429	0,4284532
18	822,143	2,64	9912,014258	19909,68593	3969,83493	356,421414	12,056314	24,216816	4,8286429	0,4335273
19	822,801	2,782	9919,947313	20980,58571	3973,012177	375,592565	12,056314	25,498979	4,8286429	0,4564804
20	823,354	2,853	9926,614455	21516,03559	3975,682416	385,178141	12,056314	26,132181	4,8286429	0,4678160
21	824,319	2,65	9938,248798	19985,10141	3980,342057	357,771495	12,056314	24,244378	4,8286429	0,4340207
22	818,044	2,624	9862,595427	19789,02117	3950,042323	354,261284	12,056314	24,190656	4,8286429	0,4330590
23	822,754	2,761	9919,380666	20822,2132	3972,785231	372,757395	12,056314	25,307945	4,8286429	0,4530606
24	821,829	2,668	9908,228576	20120,84927	3968,318736	360,201641	12,056314	24,483012	4,8286429	0,4382927
25	820,884214	2,731	9896,837942	20595,96677	3963,756703	368,707152	12,056314	25,089978	4,8286429	0,4491585
26	820,528595	2,688	9892,550487	20271,68022	3962,039546	362,901803	12,056314	24,705635	4,8286429	0,4422781
27	820,172976	2,591	9888,263032	19540,1501	3960,322388	349,806016	12,056314	23,824426	4,8286429	0,4265027
28	819,817357	2,759	9883,975577	20807,13011	3958,605231	372,487379	12,056314	25,380202	4,8286429	0,4543541
29	819,461738	2,678	9879,688123	20196,26475	3956,888074	361,551722	12,056314	24,645769	4,8286429	0,4412063
30	819,106119	2,552	9875,400668	19246,02974	3955,170916	344,5407	12,056314	23,496381	4,8286429	0,4206301
31	818,7505	2,768	9871,113213	20875,00404	3953,453759	373,702452	12,056314	25,496173	4,8286429	0,4564302
32	818,394881	2,703	9866,825758	20384,80344	3951,736602	364,926925	12,056314	24,908273	4,8286429	0,4459057
33	818,039262	2,766	9862,538303	20859,92094	3950,019444	373,432436	12,056314	25,499902	4,8286429	0,4564970
34	817,683643	2,817	9858,250848	21244,53988	3948,302287	380,317849	12,056314	25,981368	4,8286429	0,4651161
35	817,328024	3,052	9853,963393	23016,80359	3946,585129	412,044756	12,056314	28,161036	4,8286429	0,5041363

**ANEXO AB: CARACTERIZACIÓN NTN FALLA MEDIA 517,294 rpm (PLANO X)**

N° de espectro	Frecuencia del 1X Hz	Vrms (mm/s)	Frecuencia del fallo				Frecuencia de fallo/Frecuencia 1X			
			BPFO	BPFI	BSF	FTF	BPFO	BPFI	BSF	FTF
1	517,882	1,462	6225,876	12420,612	2493,509	222,352	12,02180011	23,983471	4,81482	0,4293486
2	517,897	1,465	6226,050118	12446,09889	2493,578736	222,8082627	12,02180011	24,032012	4,81482	0,4302176
3	517,911	1,383	6226,224236	11749,45718	2493,648471	210,3370834	12,02180011	22,686241	4,81482	0,4061258
4	517,926	1,464	6226,398354	12437,60326	2493,718207	222,6561751	12,02180011	24,014265	4,81482	0,4298999
5	517,940	1,352	6226,572472	11486,09263	2493,787942	205,6223694	12,02180011	22,176488	4,81482	0,3970003
6	517,955	1,457	6226,74659	12378,13385	2493,857678	221,5915622	12,02180011	23,898106	4,81482	0,4278204
7	517,969	1,417	6226,920708	12038,30862	2493,927413	215,5080602	12,02180011	23,241365	4,81482	0,4160636
8	521,318	1,435	6267,180791	12191,22997	2510,051872	218,2456361	12,02180011	23,3854	4,81482	0,418642
9	515,040	1,383	6191,70793	11749,45718	2479,824438	210,3370834	12,02180011	22,812708	4,81482	0,4083898
10	517,198	1,424	6217,650975	12097,77804	2490,214817	216,5726731	12,02180011	23,390999	4,81482	0,4187423
11	520,021	1,328	6251,588517	11282,19749	2503,807052	201,9722681	12,02180011	21,695657	4,81482	0,3883925
12	516,598	1,392	6210,437895	11825,91785	2487,325926	211,7058714	12,02180011	22,891916	4,81482	0,4098078
13	517,874	1,365	6225,777137	11596,53583	2493,469405	207,5995075	12,02180011	22,392584	4,81482	0,4008688
14	517,859	1,304	6225,597279	11078,30236	2493,39737	198,3221669	12,02180011	21,392508	4,81482	0,3829656
15	517,844	1,439	6225,417421	12225,2125	2493,325336	218,8539863	12,02180011	23,607905	4,81482	0,4226253
16	517,829	1,362	6225,237563	11571,04894	2493,253301	207,1432449	12,02180011	22,345306	4,81482	0,4000224
17	517,814	1,431	6225,057705	12157,24745	2493,181267	217,6372859	12,02180011	23,478015	4,81482	0,4203
18	517,799	1,404	6224,877847	11927,86542	2493,109232	213,530922	12,02180011	23,035699	4,81482	0,4123818
19	517,784	1,465	6224,697988	12446,09889	2493,037198	222,8082627	12,02180011	24,037233	4,81482	0,4303111
20	517,769	1,411	6224,51813	11987,33484	2492,965163	214,5955349	12,02180011	23,151887	4,81482	0,4144617
21	517,754	1,416	6224,338272	12029,81299	2492,893129	215,3559726	12,02180011	23,2346	4,81482	0,4159424
22	517,739	1,473	6224,158414	12514,06394	2492,821094	224,0249631	12,02180011	24,170589	4,81482	0,4326984
23	517,724	1,459	6223,978556	12395,12511	2492,74906	221,8957373	12,02180011	23,941554	4,81482	0,4285982
24	517,709	1,342	6223,798698	11401,13632	2492,677025	204,1014938	12,02180011	22,022271	4,81482	0,3942395
25	517,694	1,46	6223,61884	12403,62074	2492,604991	222,0478249	12,02180011	23,959348	4,81482	0,4289168
26	517,679	1,461	6223,438981	12412,11637	2492,532956	222,1999124	12,02180011	23,976451	4,81482	0,429223
27	517,664	1,486	6223,259123	12624,50714	2492,460922	226,0021012	12,02180011	24,387431	4,81482	0,4365803
28	517,650	1,564	6223,079265	13287,16633	2492,388887	237,8649302	12,02180011	25,668267	4,81482	0,4595096
29	517,635	1,711	6222,899407	14536,02403	2492,316853	260,2218003	12,02180011	28,081633	4,81482	0,5027133
30	517,620	1,522	6222,719549	12930,34984	2492,244818	231,4772531	12,02180011	24,980409	4,81482	0,4471957
31	517,605	1,357	6222,539691	11528,57078	2492,172784	206,3828071	12,02180011	22,272927	4,81482	0,3987267
32	517,590	1,637	6222,359832	13907,34736	2492,100749	248,9673215	12,02180011	26,869444	4,81482	0,4810129
33	517,575	1,353	6222,179974	11494,58826	2492,028715	205,7744569	12,02180011	22,208558	4,81482	0,3975744
34	517,560	1,423	6222,000116	12089,2824	2491,95668	216,4205855	12,02180011	23,358234	4,81482	0,4181557
35	517,545	1,27	6221,820258	10789,45092	2491,884646	193,1511902	12,02180011	20,847375	4,81482	0,3732067

**ANEXO AC: CARACTERIZACIÓN SKF FALLA AVANZADA 1771,280 rpm (PLANO X)**

N° de espectro	Frecuencia del 1X Hz	Vrms (mm/s)	Frecuencia del fallo				Frecuencia de fallo/Frecuencia 1X			
			BPFO	BPFI	BSF	FTF	BPFO	BPFI	BSF	FTF
1	1780,342	5,427	21563,459	43019,081	8636,328	770,122	12,11197568	24,16338	4,850938	0,4325697
2	1725,681	5,831	20901,4063	46221,53332	8371,170898	827,451885	12,11197568	26,784518	4,850938	0,47949296
3	1783,649	5,171	21603,5133	40989,80428	8652,370051	733,794152	12,11197568	22,980869	4,850938	0,41140053
4	1766,531	5,502	21396,1805	43613,59566	8569,3317	780,764924	12,11197568	24,688837	4,850938	0,44197635
5	1768,185	5,374	21416,20766	42598,9573	8577,352726	762,601	12,11197568	24,091919	4,850938	0,4312904
6	1769,838	5,331	21436,23481	42254,1388	8585,373751	756,428104	12,11197568	23,87458	4,850938	0,42739963
7	1771,492	5,287	21456,26196	41909,3203	8593,394777	750,255208	12,11197568	23,657647	4,850938	0,42351612
8	1773,145	5,244	21476,28911	41564,50179	8601,415802	744,082312	12,11197568	23,441118	4,850938	0,41963986
9	1774,799	5,200	21496,31626	41219,68329	8609,436827	737,909416	12,11197568	23,224993	4,850938	0,41577081
10	1776,452	5,157	21516,34341	40874,86478	8617,457853	731,73652	12,11197568	23,009271	4,850938	0,41190897
11	1778,106	5,113	21536,37057	40530,04628	8625,478878	725,563624	12,11197568	22,793949	4,850938	0,40805432
12	1779,759	5,070	21556,39772	40185,22777	8633,499903	719,390728	12,11197568	22,579028	4,850938	0,40420682
13	1781,413	5,026	21576,42487	39840,40927	8641,520929	713,217832	12,11197568	22,364505	4,850938	0,40036647
14	1783,066	4,983	21596,45202	39495,59077	8649,541954	707,044936	12,11197568	22,150381	4,850938	0,39653324
15	1784,720	4,939	21616,47917	39150,77226	8657,562979	700,872039	12,11197568	21,936653	4,850938	0,39270711
16	1786,373	4,896	21636,50633	38805,95376	8665,584005	694,699143	12,11197568	21,723321	4,850938	0,38888807
17	1788,027	4,852	21656,53348	38461,13525	8673,60503	688,526247	12,11197568	21,510383	4,850938	0,38507609
18	1789,680	4,809	21676,56063	38116,31675	8681,626056	682,353351	12,11197568	21,297839	4,850938	0,38127115
19	1791,334	4,765	21696,58778	37771,49824	8689,647081	676,180455	12,11197568	21,085687	4,850938	0,37747324
20	1792,987	4,722	21716,61493	37426,67974	8697,668106	670,007559	12,11197568	20,873927	4,850938	0,37368233
21	1794,641	4,678	21736,64208	37081,86123	8705,689132	663,834663	12,11197568	20,662557	4,850938	0,36989841
22	1796,294	4,635	21756,66924	36737,04273	8713,710157	657,661767	12,11197568	20,451576	4,850938	0,36612145
23	1797,948	4,334	21776,69639	34355,02065	8721,731182	615,019117	12,11197568	19,107911	4,850938	0,34206734
24	1799,601	4,436	21796,72354	35159,59716	8729,752208	629,422541	12,11197568	19,53744	4,850938	0,34975672
25	1801,255	4,537	21816,75069	35964,17367	8737,773233	643,825965	12,11197568	19,966181	4,850938	0,35743198
26	1802,908	4,639	21836,77784	36768,75018	8745,794259	658,22939	12,11197568	20,394136	4,850938	0,36509317
27	1804,562	4,740	21856,80499	37573,32669	8753,815284	672,632814	12,11197568	20,821306	4,850938	0,37274031
28	1806,215	4,842	21876,83215	38377,9032	8761,836309	687,036238	12,11197568	21,247694	4,850938	0,38037345
29	1807,869	4,943	21896,8593	39182,47971	8769,857335	701,439662	12,11197568	21,673302	4,850938	0,38799263
30	1809,522	5,045	21916,88645	39987,05622	8777,87836	715,843086	12,11197568	22,098132	4,850938	0,39559789
31	1811,176	5,146	21936,9136	40791,63273	8785,899385	730,24651	12,11197568	22,522187	4,850938	0,40318926
32	1812,829	5,171	21956,94075	40989,80428	8793,920411	733,794152	12,11197568	22,61096	4,850938	0,40477847
33	1814,483	5,502	21976,96791	43613,59566	8801,941436	780,764924	12,11197568	24,036383	4,850938	0,4302962
34	1816,136	5,374	21996,99506	42598,9573	8809,962461	762,601	12,11197568	23,455819	4,850938	0,41990302
35	1817,790	5,331	22017,02221	42254,1388	8817,983487	756,428104	12,11197568	23,244792	4,850938	0,41612525

**ANEXO AD: CARACTERIZACIÓN SKF FALLA AVANZADA 1452,786 rpm (PLANO X)**

N° de espectro	Frecuencia del 1X Hz	Vrms (mm/s)	Frecuencia del fallo				Frecuencia de fallo/Frecuencia 1X			
			BPFO	BPFI	BSF	FTF	BPFO	BPFI	BSF	FTF
1	1472,134	3,894	17576,856	34089,25	6843,612	610,262	11,93971267	23,156	4,64877	0,41454
2	1470,496	3,907	17557,3005	34203,05592	6835,998015	612,29934	11,93971267	23,26	4,64877	0,41639
3	1468,858	3,994	17537,7451	34964,68015	6828,384029	625,93385	11,93971267	23,831	4,65396	0,42661
4	1467,220	4,039	17518,1896	35358,62372	6820,770044	632,98619	11,93971267	24,126	4,65397	0,4319
5	1465,583	3,872	17498,6342	33896,65537	6813,156058	606,81419	11,93971267	23,154	4,65397	0,41451
6	1463,945	4,209	17479,0787	36846,85497	6805,542073	659,62834	11,93971267	25,198	4,65398	0,45109
7	1462,307	3,914	17459,5233	34264,33603	6797,928088	613,39637	11,93971267	23,458	4,65398	0,41994
8	1460,669	4,025	17439,9678	35236,0635	6790,314102	630,79213	11,93971267	24,15	4,65399	0,43234
9	1459,031	3,559	17420,4124	31156,559	6782,700117	557,76129	11,93971267	21,378	4,65399	0,38271
10	1457,393	3,924	17400,8569	34351,87904	6775,086131	614,96356	11,93971267	23,597	4,654	0,42244
11	1455,755	3,92	17381,3015	34316,86184	6767,472146	614,33668	11,93971267	23,6	4,65401	0,42248
12	1454,118	4,169	17361,746	36496,68291	6759,858161	653,3596	11,93971267	25,127	4,65401	0,44982
13	1452,480	4,148	17342,1906	36312,84258	6752,244175	650,06851	11,93971267	25,029	4,65402	0,44806
14	1450,842	4,243	17322,6351	37144,50122	6744,63019	664,95677	11,93971267	25,631	4,65402	0,45884
15	1449,204	3,998	17303,0797	34999,69735	6737,016204	626,56073	11,93971267	24,178	4,65403	0,43284
16	1447,566	3,964	17283,5242	34702,0511	6729,402219	621,2323	11,93971267	24	4,65404	0,42964
17	1445,928	4,111	17263,9688	35988,93342	6721,788234	644,26992	11,93971267	24,918	4,65404	0,44608
18	1444,290	3,882	17244,4133	33984,19838	6714,174248	608,38138	11,93971267	23,557	4,65405	0,42171
19	1442,653	4,007	17224,8579	35078,48607	6706,560263	627,9712	11,93971267	24,343	4,65405	0,43578
20	1441,015	3,636	17205,3024	31830,64022	6698,946277	569,82862	11,93971267	22,114	4,65406	0,39589
21	1439,377	4,057	17185,747	35516,20114	6691,332292	635,80712	11,93971267	24,703	4,65407	0,44223
22	1437,739	3,919	17166,1915	34308,10754	6683,718306	614,17996	11,93971267	23,89	4,65407	0,42767
23	1436,101	3,718	17146,6361	32548,49294	6676,104321	582,67954	11,93971267	22,69	4,65408	0,4062
24	1434,463	4,008	17127,0806	35087,24037	6668,490336	628,12791	11,93971267	24,488	4,65408	0,43838
25	1432,826	4,08	17107,5252	35717,55008	6660,87635	639,41165	11,93971267	24,957	4,65409	0,44677
26	1431,188	3,513	17087,9697	30753,86113	6653,262365	550,55224	11,93971267	21,513	4,6541	0,38512
27	1429,550	3,74	17068,4143	32741,08757	6645,648379	586,12734	11,93971267	22,929	4,6541	0,41048
28	1427,912	3,614	17048,8588	31638,04558	6638,034394	566,38081	11,93971267	22,182	4,65411	0,39711
29	1426,274	3,878	17029,3033	33949,18118	6630,420409	607,7545	11,93971267	23,83	4,65411	0,4266
30	1424,636	3,681	17009,7479	32224,58378	6622,806423	576,88095	11,93971267	22,646	4,65412	0,4054
31	1422,998	3,304	16990,1924	28924,21212	6615,192438	517,79806	11,93971267	20,35	4,65413	0,3643
32	1421,361	3,32	16970,637	29064,28095	6607,578452	520,30556	11,93971267	20,472	4,65413	0,36648
33	1419,723	3,361	16951,0815	29423,20731	6599,964467	526,73102	11,93971267	20,749	4,65414	0,37144
34	1418,085	3,644	16931,5261	31900,67463	6592,350482	571,08236	11,93971267	22,522	4,65415	0,40318
35	1416,447	3,434	16911,9706	30062,27131	6584,736496	538,17147	11,93971267	21,224	4,64877	0,37994

**ANEXO AE: CARACTERIZACIÓN SKF FALLA AVANZADA 1128,425 rpm (PLANO X)**

N° de espectro	Frecuencia del 1X Hz	Vrms (mm/s)	Frecuencia del fallo				Frecuencia de fallo/Frecuencia 1X			
			BPFO	BPFI	BSF	FTF	BPFO	BPFI	BSF	FTF
1	1242,149	2,702	14880,576	29686,729	5959,780	531,448	13,15792545	26,25004348	5,269845799	0,469924898
2	1131,535	2,567	13555,455	28203,491	5429,059	504,895	11,99271646	24,95205678	4,803171038	0,446688508
3	1130,921	2,498	13548,101	27445,392	5426,114	491,324	11,99272353	24,29454906	4,80317387	0,434917889
4	1130,307	2,566	13540,747	28192,504	5423,169	504,699	11,9927306	24,96945801	4,803176705	0,447000022
5	1129,693	2,489	13533,393	27346,509	5420,223	489,554	11,99273769	24,23335496	4,803179543	0,4338224
6	1129,080	2,662	13526,039	29247,251	5417,278	523,581	11,99274478	25,93182072	4,803182384	0,464228115
7	1128,466	2,512	13518,685	27599,209	5414,333	494,077	11,99275189	24,4839247	4,803185229	0,438308067
8	1127,852	2,583	13511,331	28379,282	5411,387	508,042	11,992759	25,18966407	4,803188076	0,450942123
9	1127,238	2,713	13503,977	29807,585	5408,442	533,612	11,99276611	26,47186028	4,803190926	0,473895834
10	1126,624	2,568	13496,623	28214,478	5405,497	505,092	11,99277324	25,07070318	4,80319378	0,4488125
11	1126,010	2,444	13489,269	26852,097	5402,552	480,703	11,99278037	23,873146	4,803196637	0,427373986
12	1125,396	2,363	13481,916	25962,154	5399,606	464,771	11,99278751	23,09453702	4,803199496	0,413435428
13	1124,783	2,294	13474,562	25204,055	5396,661	451,200	11,99279466	22,43242208	4,803202359	0,401582332
14	1124,169	2,592	13467,208	28478,165	5393,716	509,812	11,99280181	25,36034147	4,803205225	0,453997567
15	1123,555	2,331	13459,854	25610,572	5390,770	458,477	11,99280898	22,81917023	4,803208094	0,408505847
16	1122,941	2,798	13452,500	30741,476	5387,825	550,330	11,99281615	27,40582561	4,803210967	0,490615561
17	1122,327	3,224	13445,146	35421,915	5384,880	634,119	11,99282333	31,59569756	4,803213842	0,565622109
18	1121,713	3,633	13437,792	39915,576	5381,934	714,564	11,99283052	35,62346649	4,803216721	0,63772671
19	1121,099	2,992	13430,438	32872,943	5378,989	588,487	11,99283771	29,35420784	4,803219602	0,525495249
20	1120,485	2,782	13423,084	30565,685	5376,044	547,183	11,99284491	27,30888871	4,803222487	0,488880209
21	1119,872	3,342	13415,730	36718,375	5373,099	657,328	11,99285213	32,82400758	4,803225375	0,587611157
22	1119,258	2,497	13408,377	27434,405	5370,153	491,127	11,99285934	24,53816535	4,803228267	0,439279076
23	1118,644	3,233	13401,023	35520,798	5367,208	635,889	11,99286657	31,78833413	4,803231161	0,569070664
24	1118,030	3,128	13393,669	34367,168	5364,263	615,237	11,99287381	30,77283148	4,803234059	0,550891267
25	1117,416	3,088	13386,315	33927,690	5361,317	607,369	11,99288105	30,39602455	4,803236959	0,544145718
26	1116,802	3,059	13378,961	33609,069	5358,372	601,665	11,9928883	30,1271385	4,803239863	0,539332154
27	1116,188	2,848	13371,607	31290,823	5355,427	560,164	11,99289556	28,06450817	4,803242771	0,502407212
28	1115,575	2,723	13364,253	29917,455	5352,482	535,578	11,99290283	26,84752573	4,803245681	0,480620949
29	1114,961	2,406	13356,899	26434,593	5349,536	473,229	11,9929101	23,73512679	4,803248595	0,424903184
30	1114,347	2,922	13349,545	32103,857	5346,591	574,719	11,99291738	28,84134991	4,803251511	0,516314132
31	1113,733	2,866	13342,191	31488,588	5343,646	563,705	11,99292467	28,30421595	4,803254431	0,506698429
32	1113,119	2,707	13334,837	29741,664	5340,700	532,431	11,99293197	26,74871368	4,803257355	0,478852028
33	1112,505	3,048	13327,484	33488,212	5337,755	599,502	11,99293928	30,13487849	4,797959548	0,045032056
34	1111,891	2,793	13320,130	30686,541	5334,810	549,347	11,97970423	27,59850658	4,797959548	0,041241829
35	1111,278	2,862	13312,776	31444,640	5331,864	562,918	11,97970423	28,29593906	4,797959548	0,042284037

**ANEXO AF: CARACTERIZACIÓN SKF FALLA AVANZADA 818,576 rpm (PLANO X)**

N° de espectro	Frecuencia del 1X Hz	Vrms (mm/s)	Frecuencia del fallo				Frecuencia de fallo/Frecuencia 1X			
			BPFO	BPFI	BSF	FTF	BPFO	BPFI	BSF	FTF
1	813,176	2,589	9741,606	19434,492	3901,585	347,914	11,9796962	23,89947913	4,797956607	0,427845677
2	813,624	2,579	9746,969	19359,426	3903,733	346,570	11,9796962	23,79406712	4,797956607	0,425958603
3	814,072	2,541	9752,333	19074,177	3905,881	341,464	11,9796962	23,43058282	4,797956607	0,41945155
4	814,520	2,568	9757,696	19276,854	3908,029	345,092	11,9796962	23,66653421	4,797956607	0,423675524
5	814,559	2,634	9758,165	19772,287	3908,217	353,961	11,9796962	24,27362021	4,797956607	0,434543506
6	815,255	2,548	9766,504	19126,723	3911,557	342,404	11,9796962	23,46103982	4,797956607	0,419996788
7	815,951	2,616	9774,842	19637,169	3914,896	351,542	11,9796962	24,06661111	4,797956607	0,430837654
8	816,647	2,579	9783,180	19359,426	3918,236	346,570	11,9796962	23,70599708	4,797956607	0,424381984
9	815,955	2,669	9774,893	20035,017	3914,917	358,665	11,9796962	24,55407106	4,797956607	0,439564105
10	816,918	2,576	9786,433	19336,907	3919,538	346,167	11,9796962	23,67055253	4,797956607	0,423747459
11	817,330	2,637	9791,359	19794,807	3921,512	354,364	11,9796962	24,21888168	4,797956607	0,433563584
12	817,741	2,715	9796,286	20380,319	3923,485	364,846	11,9796962	24,92271313	4,797956607	0,446163492
13	818,152	2,849	9801,213	21386,198	3925,458	382,853	11,9796962	26,13963823	4,797956607	0,467948743
14	818,563	2,738	9806,140	20552,970	3927,431	367,937	11,9796962	25,10858946	4,797956607	0,449491028
15	818,975	2,567	9811,066	19269,348	3929,404	344,958	11,9796962	23,52862775	4,797956607	0,421206739
16	819,386	2,657	9815,993	19944,938	3931,378	357,052	11,9796962	24,34132708	4,797956607	0,435755587
17	819,797	2,617	9820,920	19644,676	3933,351	351,677	11,9796962	23,96285155	4,797956607	0,428980162
18	820,208	2,64	9825,847	19817,327	3935,324	354,767	11,9796962	24,16133283	4,797956607	0,432533351
19	820,620	2,782	9830,773	20883,259	3937,297	373,850	11,9796962	25,44815974	4,797956607	0,455569976
20	821,031	2,853	9835,700	21416,225	3939,270	383,391	11,9796962	26,08455504	4,797956607	0,46696265
21	821,442	2,65	9840,627	19892,392	3941,244	356,111	11,9796962	24,21642604	4,797956607	0,433519623
22	821,853	2,624	9845,554	19697,222	3943,217	352,617	11,9796962	23,96683179	4,797956607	0,429051416
23	822,265	2,761	9850,481	20725,621	3945,190	371,028	11,9796962	25,20553587	4,797956607	0,451226552
24	822,676	2,668	9855,407	20027,510	3947,163	358,530	11,9796962	24,34435057	4,797956607	0,435809713
25	823,087	2,731	9860,334	20500,424	3949,136	366,996	11,9796962	24,90674742	4,797956607	0,445877676
26	823,498	2,688	9865,261	20177,642	3951,110	361,218	11,9796962	24,50234427	4,797956607	0,438638098
27	823,910	2,591	9870,188	19449,505	3953,083	348,183	11,9796962	23,60635595	4,797956607	0,42259822
28	824,321	2,759	9875,114	20710,608	3955,056	370,759	11,9796962	25,12444703	4,797956607	0,449774909
29	824,732	2,678	9880,041	20102,576	3957,029	359,874	11,9796962	24,37467118	4,797956607	0,436352509
30	825,143	2,552	9884,968	19156,749	3959,003	342,942	11,9796962	23,216265	4,797956607	0,415614857
31	825,555	2,768	9889,895	20778,167	3960,976	371,968	11,9796962	25,16873368	4,797956607	0,450567723
32	825,966	2,703	9894,821	20290,240	3962,949	363,234	11,9796962	24,56546732	4,797956607	0,439768119
33	826,377	2,766	9899,748	20763,154	3964,922	371,700	11,9796962	25,12551505	4,797956607	0,449794028
34	826,788	2,817	9904,675	21145,988	3966,895	378,553	11,9796962	25,57605544	4,797956607	0,45785955
35	827,200	3,052	9909,602	22910,031	3968,869	410,133	11,9796962	27,69588675	4,797956607	0,495808521

**ANEXO AG: CARACTERIZACIÓN SKF FALLA AVANZADA 512,482 rpm (PLANO X)**

N° de espectro	Frecuencia del 1X Hz	Vrms (mm/s)	Frecuencia del fallo				Frecuencia de fallo/Frecuencia 1X			
			BPFO	BPFI	BSF	FTF	BPFO	BPFI	BSF	FTF
1	518,882	1,462	6128,982	12227,316	2454,703	218,892	11,81189543	23,564725	4,73075	0,421853
2	519,897	1,465	6140,964973	12252,40625	2459,50227	219,3411628	11,81189543	23,567003	4,73075	0,4218938
3	517,911	1,383	6117,51226	11566,60604	2450,109284	207,0640465	11,81189543	22,333186	4,73075	0,3998061
4	517,926	1,464	6117,683338	12244,04283	2450,177802	219,1914419	11,81189543	23,640543	4,73075	0,4232103
5	517,440	1,352	6111,948468	11307,3401	2447,880943	202,4226977	11,81189543	21,852462	4,73075	0,3912002
6	516,955	1,457	6106,213598	12185,49891	2445,584085	218,1433953	11,81189543	23,571701	4,73075	0,4219779
7	516,469	1,417	6100,478728	11850,96222	2443,287227	212,1545581	11,81189543	22,946122	4,73075	0,4107788
8	515,984	1,435	6094,743858	12001,50373	2440,990369	214,8495349	11,81189543	23,259469	4,73075	0,4163883
9	515,498	1,383	6089,008988	11566,60604	2438,693511	207,0640465	11,81189543	22,43773	4,73075	0,4016777
10	515,013	1,424	6083,274118	11909,50615	2436,396653	213,2026047	11,81189543	23,124692	4,73075	0,4139756
11	514,527	1,328	6077,539248	11106,61809	2434,099794	198,8293953	11,81189543	21,586074	4,73075	0,3864314
12	514,041	1,392	6071,804378	11641,87679	2431,802936	208,4115349	11,81189543	22,647737	4,73075	0,4054372
13	513,556	1,365	6066,069509	11416,06453	2429,506078	204,3690698	11,81189543	22,229445	4,73075	0,397949
14	513,070	1,304	6060,334639	10905,89608	2427,20922	195,236093	11,81189543	21,256137	4,73075	0,3805249
15	512,585	1,439	6054,599769	12034,9574	2424,912362	215,4484186	11,81189543	23,478952	4,73075	0,4203175
16	512,099	1,362	6048,864899	11390,97428	2422,615503	203,919907	11,81189543	22,243677	4,73075	0,3982037
17	511,614	1,431	6043,130029	11968,05007	2420,318645	214,2506512	11,81189543	23,392738	4,73075	0,4187741
18	511,128	1,404	6037,395159	11742,2378	2418,021787	210,208186	11,81189543	22,973167	4,73075	0,411263
19	518,643	1,465	6126,155452	12252,40625	2453,570947	219,3411628	11,81189543	23,623975	4,73075	0,4229137
20	517,157	1,411	6108,608687	11800,78172	2446,543336	211,2562326	11,81189543	22,818551	4,73075	0,4084951
21	515,672	1,416	6091,061922	11842,59881	2439,515726	212,0048372	11,81189543	22,965378	4,73075	0,4111235
22	514,186	1,473	6073,515156	12319,31359	2432,488115	220,5389302	11,81189543	23,958851	4,73075	0,4289086
23	512,701	1,459	6055,968391	12202,22575	2425,460505	218,4428372	11,81189543	23,799895	4,73075	0,426063
24	511,215	1,342	6038,421626	11223,70593	2418,432895	200,9254884	11,81189543	21,954949	4,73075	0,393035
25	509,730	1,46	6020,87486	12210,58917	2411,405284	218,5925581	11,81189543	23,955024	4,73075	0,4288401
26	508,244	1,461	6003,328095	12218,95258	2404,377674	218,7422791	11,81189543	24,041496	4,73075	0,4303881
27	506,759	1,486	5985,781329	12428,03801	2397,350063	222,4853023	11,81189543	24,524565	4,73075	0,4390359
28	505,273	1,564	5968,234564	13080,38456	2390,322453	234,1635349	11,81189543	25,887745	4,73075	0,4634394
29	503,788	1,711	5950,687799	14309,80689	2383,294843	256,1725116	11,81189543	28,404438	4,73075	0,508493
30	502,302	1,522	5933,141033	12729,12103	2376,267232	227,8752558	11,81189543	25,34156	4,73075	0,4536617
31	500,817	1,357	5915,594268	11349,15719	2369,239622	203,1713023	11,81189543	22,6613	4,73075	0,40568
32	499,331	1,637	5898,047503	13690,91402	2362,212012	245,0931628	11,81189543	27,418505	4,73075	0,4908429
33	497,846	1,353	5880,500737	11315,70352	2355,184401	202,5724186	11,81189543	22,729341	4,73075	0,406898
34	496,360	1,423	5862,953972	11901,14273	2348,156791	213,0528837	11,81189543	23,97683	4,73075	0,4292305
35	494,875	1,27	5845,407207	10621,53989	2341,12918	190,1455814	11,81189543	21,463093	4,73075	0,3842298

**ANEXO AH: CARACTERIZACIÓN NTN FALLA AVANZADA 1748,709 rpm (PLANO X)**

N° de espectro	Frecuencia del 1X Hz	Vrms (mm/s)	Frecuencia del fallo				Frecuencia de fallo/Frecuencia 1X			
			BPFO	BPFI	BSF	FTF	BPFO	BPFI	BSF	FTF
1	1789,524	5,427	21563,459	43019,081	8636,328	770,122	12,04982945	24,039399	4,826048	0,43035019
2	1752,213	5,831	21113,86781	46221,53332	8456,263338	827,451885	12,04982945	26,378947	4,826048	0,47223248
3	1783,649	5,171	21492,66625	40989,80428	8607,97497	733,794152	12,04982945	22,980869	4,826048	0,41140053
4	1766,531	5,502	21286,39727	43613,59566	8525,362688	780,764924	12,04982945	24,688837	4,826048	0,44197635
5	1768,185	5,374	21306,32166	42598,9573	8533,342557	762,601	12,04982945	24,091919	4,826048	0,4312904
6	1763,512	5,331	21250,01884	42254,1388	8510,79285	756,428104	12,04982945	23,960222	4,826048	0,42893278
7	1760,676	5,287	21215,84431	41909,3203	8497,105696	750,255208	12,04982945	23,802973	4,826048	0,42611772
8	1757,840	5,244	21181,66979	41564,50179	8483,418543	744,082312	12,04982945	23,645216	4,826048	0,42329359
9	1755,004	5,200	21147,49527	41219,68329	8469,731389	737,909416	12,04982945	23,48695	4,826048	0,42046032
10	1752,168	5,157	21113,32075	40874,86478	8456,044236	731,73652	12,04982945	23,328171	4,826048	0,41761788
11	1749,332	5,113	21079,14623	40530,04628	8442,357082	725,563624	12,04982945	23,168877	4,826048	0,41476623
12	1746,495	5,070	21044,97171	40185,22777	8428,669928	719,390728	12,04982945	23,009066	4,826048	0,41190531
13	1743,659	5,026	21010,79719	39840,40927	8414,982775	713,217832	12,04982945	22,848735	4,826048	0,40903509
14	1740,823	4,983	20976,62267	39495,59077	8401,295621	707,044936	12,04982945	22,687882	4,826048	0,40615551
15	1737,987	4,939	20942,44814	39150,77226	8387,608468	700,872039	12,04982945	22,526503	4,826048	0,40326654
16	1735,151	4,896	20908,27362	38805,95376	8373,921314	694,699143	12,04982945	22,364598	4,826048	0,40036812
17	1732,315	4,852	20874,0991	38461,13525	8360,23416	688,526247	12,04982945	22,202162	4,826048	0,39746021
18	1729,479	4,809	20839,92458	38116,31675	8346,547007	682,353351	12,04982945	22,039193	4,826048	0,39454277
19	1726,643	4,765	20805,75006	37771,49824	8332,859853	676,180455	12,04982945	21,875689	4,826048	0,39161574
20	1723,807	4,722	20771,57554	37426,67974	8319,1727	670,007559	12,04982945	21,711647	4,826048	0,38867908
21	1720,971	4,678	20737,40102	37081,86123	8305,485546	663,834663	12,04982945	21,547064	4,826048	0,38573274
22	1718,134	4,635	20703,2265	36737,04273	8291,798392	657,661767	12,04982945	21,381938	4,826048	0,38277667
23	1715,298	4,334	20669,05197	34355,02065	8278,111239	615,019117	12,04982945	20,028598	4,826048	0,35854937
24	1712,462	4,436	20634,87745	35159,59716	8264,424085	629,422541	12,04982945	20,531605	4,826048	0,36755412
25	1709,626	4,537	20600,70293	35964,17367	8250,736932	643,825965	12,04982945	21,03628	4,826048	0,37658876
26	1706,790	4,639	20566,52841	36768,75018	8237,049778	658,22939	12,04982945	21,542633	4,826048	0,38565341
27	1703,954	4,740	20532,35389	37573,32669	8223,362625	672,632814	12,04982945	22,050671	4,826048	0,39474825
28	1701,118	4,842	20498,17937	38377,9032	8209,675471	687,036238	12,04982945	22,560403	4,826048	0,4038734
29	1698,282	4,943	20464,00485	39182,47971	8195,988317	701,439662	12,04982945	23,071838	4,826048	0,41302904
30	1695,446	5,045	20429,83032	39987,05622	8182,301164	715,843086	12,04982945	23,584983	4,826048	0,42221531
31	1692,610	5,146	20395,6558	40791,63273	8168,61401	730,24651	12,04982945	24,099849	4,826048	0,43143236
32	1689,773	5,171	20361,48128	40989,80428	8154,926857	733,794152	12,04982945	24,257575	4,826048	0,43425595
33	1686,937	5,502	20327,30676	43613,59566	8141,239703	780,764924	12,04982945	25,853715	4,826048	0,46282984
34	1684,101	5,374	20293,13224	42598,9573	8127,552549	762,601	12,04982945	25,294773	4,826048	0,45282374
35	1681,265	5,331	20258,95772	42254,1388	8113,865396	756,428104	12,04982945	25,132348	4,826048	0,44991602



**ANEXO AI: CARACTERIZACIÓN NTN FALLA AVANZADA 1450,468 rpm (PLANO X)**

N° de espectro	Frecuencia del 1X Hz	Vrms (mm/s)	Frecuencia del fallo				Frecuencia de fallo/Frecuencia 1X			
			BPFO	BPFI	BSF	FTF	BPFO	BPFI	BSF	FTF
1	1472,134	3,894	17576,856	34089,25	6843,612	610,262	11,93971267	23,156	4,64877	0,41454
2	1470,496	3,907	17557,3005	34203,05592	6835,998015	612,29934	11,93971267	23,26	4,64877	0,41639
3	1468,858	3,994	17537,7451	34964,68015	6828,384029	625,93385	11,93971267	23,831	4,65396	0,42661
4	1467,220	4,039	17518,1896	35358,62372	6820,770044	632,98619	11,93971267	24,126	4,65397	0,4319
5	1465,583	3,872	17498,6342	33896,65537	6813,156058	606,81419	11,93971267	23,154	4,65397	0,41451
6	1463,945	4,209	17479,0787	36846,85497	6805,542073	659,62834	11,93971267	25,198	4,65398	0,45109
7	1462,307	3,914	17459,5233	34264,33603	6797,928088	613,39637	11,93971267	23,458	4,65398	0,41994
8	1460,669	4,025	17439,9678	35236,0635	6790,314102	630,79213	11,93971267	24,15	4,65399	0,43234
9	1459,031	3,559	17420,4124	31156,559	6782,700117	557,76129	11,93971267	21,378	4,65399	0,38271
10	1457,393	3,924	17400,8569	34351,87904	6775,086131	614,96356	11,93971267	23,597	4,654	0,42244
11	1455,755	3,92	17381,3015	34316,86184	6767,472146	614,33668	11,93971267	23,6	4,65401	0,42248
12	1454,118	4,169	17361,746	36496,68291	6759,858161	653,3596	11,93971267	25,127	4,65401	0,44982
13	1452,480	4,148	17342,1906	36312,84258	6752,244175	650,06851	11,93971267	25,029	4,65402	0,44806
14	1450,842	4,243	17322,6351	37144,50122	6744,63019	664,95677	11,93971267	25,631	4,65402	0,45884
15	1449,204	3,998	17303,0797	34999,69735	6737,016204	626,56073	11,93971267	24,178	4,65403	0,43284
16	1447,566	3,964	17283,5242	34702,0511	6729,402219	621,2323	11,93971267	24	4,65404	0,42964
17	1445,928	4,111	17263,9688	35988,93342	6721,788234	644,26992	11,93971267	24,918	4,65404	0,44608
18	1444,290	3,882	17244,4133	33984,19838	6714,174248	608,38138	11,93971267	23,557	4,65405	0,42171
19	1442,653	4,007	17224,8579	35078,48607	6706,560263	627,9712	11,93971267	24,343	4,65405	0,43578
20	1441,015	3,636	17205,3024	31830,64022	6698,946277	569,82862	11,93971267	22,114	4,65406	0,39589
21	1439,377	4,057	17185,747	35516,20114	6691,332292	635,80712	11,93971267	24,703	4,65407	0,44223
22	1437,739	3,919	17166,1915	34308,10754	6683,718306	614,17996	11,93971267	23,89	4,65407	0,42767
23	1436,101	3,718	17146,6361	32548,49294	6676,104321	582,67954	11,93971267	22,69	4,65408	0,4062
24	1434,463	4,008	17127,0806	35087,24037	6668,490336	628,12791	11,93971267	24,488	4,65408	0,43838
25	1432,826	4,08	17107,5252	35717,55008	6660,87635	639,41165	11,93971267	24,957	4,65409	0,44677
26	1431,188	3,513	17087,9697	30753,86113	6653,262365	550,55224	11,93971267	21,513	4,6541	0,38512
27	1429,550	3,74	17068,4143	32741,08757	6645,648379	586,12734	11,93971267	22,929	4,6541	0,41048
28	1427,912	3,614	17048,8588	31638,04558	6638,034394	566,38081	11,93971267	22,182	4,65411	0,39711
29	1426,274	3,878	17029,3033	33949,18118	6630,420409	607,7545	11,93971267	23,83	4,65411	0,4266
30	1424,636	3,681	17009,7479	32224,58378	6622,806423	576,88095	11,93971267	22,646	4,65412	0,4054
31	1422,998	3,304	16990,1924	28924,21212	6615,192438	517,79806	11,93971267	20,35	4,65413	0,3643
32	1421,361	3,32	16970,637	29064,28095	6607,578452	520,30556	11,93971267	20,472	4,65413	0,36648
33	1419,723	3,361	16951,0815	29423,20731	6599,964467	526,73102	11,93971267	20,749	4,65414	0,37144
34	1418,085	3,644	16931,5261	31900,67463	6592,350482	571,08236	11,93971267	22,522	4,65415	0,40318
35	1416,447	3,434	16911,9706	30062,27131	6584,736496	538,17147	11,93971267	21,224	4,64877	0,37994

**ANEXO AJ: CARACTERIZACIÓN NTN FALLA AVANZADA 1125,405 rpm (PLANO X)**

N° de espectro	Frecuencia del 1X Hz	Vrms (mm/s)	Frecuencia del fallo				Frecuencia de fallo/Frecuencia 1X			
			BPFO	BPFI	BSF	FTF	BPFO	BPFI	BSF	FTF
1	1242,149	2,702	14880,576	29686,729	5959,780	531,448	13,15792545	26,25004348	5,269845799	0,469924898
2	1131,535	2,567	13555,455	28203,491	5429,059	504,895	11,99271646	24,95205678	4,803171038	0,446688508
3	1130,921	2,498	13548,101	27445,392	5426,114	491,324	11,99272353	24,29454906	4,80317387	0,434917889
4	1130,307	2,566	13540,747	28192,504	5423,169	504,699	11,9927306	24,96945801	4,803176705	0,447000022
5	1129,693	2,489	13533,393	27346,509	5420,223	489,554	11,99273769	24,23335496	4,803179543	0,4338224
6	1129,080	2,662	13526,039	29247,251	5417,278	523,581	11,99274478	25,93182072	4,803182384	0,464228115
7	1128,466	2,512	13518,685	27599,209	5414,333	494,077	11,99275189	24,4839247	4,803185229	0,438308067
8	1127,852	2,583	13511,331	28379,282	5411,387	508,042	11,992759	25,18966407	4,803188076	0,450942123
9	1127,238	2,713	13503,977	29807,585	5408,442	533,612	11,99276611	26,47186028	4,803190926	0,473895834
10	1126,624	2,568	13496,623	28214,478	5405,497	505,092	11,99277324	25,07070318	4,80319378	0,4488125
11	1126,010	2,444	13489,269	26852,097	5402,552	480,703	11,99278037	23,873146	4,803196637	0,427373986
12	1125,396	2,363	13481,916	25962,154	5399,606	464,771	11,99278751	23,09453702	4,803199496	0,413435428
13	1124,783	2,294	13474,562	25204,055	5396,661	451,200	11,99279466	22,43242208	4,803202359	0,401582332
14	1124,169	2,592	13467,208	28478,165	5393,716	509,812	11,99280181	25,36034147	4,803205225	0,453997567
15	1123,555	2,331	13459,854	25610,572	5390,770	458,477	11,99280898	22,81917023	4,803208094	0,408505847
16	1122,941	2,798	13452,500	30741,476	5387,825	550,330	11,99281615	27,40582561	4,803210967	0,490615561
17	1122,327	3,224	13445,146	35421,915	5384,880	634,119	11,99282333	31,59569756	4,803213842	0,565622109
18	1121,713	3,633	13437,792	39915,576	5381,934	714,564	11,99283052	35,62346649	4,803216721	0,63772671
19	1121,099	2,992	13430,438	32872,943	5378,989	588,487	11,99283771	29,35420784	4,803219602	0,525495249
20	1120,485	2,782	13423,084	30565,685	5376,044	547,183	11,99284491	27,30888871	4,803222487	0,488880209
21	1119,872	3,342	13415,730	36718,375	5373,099	657,328	11,99285213	32,82400758	4,803225375	0,587611157
22	1119,258	2,497	13408,377	27434,405	5370,153	491,127	11,99285934	24,53816535	4,803228267	0,439279076
23	1118,644	3,233	13401,023	35520,798	5367,208	635,889	11,99286657	31,78833413	4,803231161	0,569070664
24	1118,030	3,128	13393,669	34367,168	5364,263	615,237	11,99287381	30,77283148	4,803234059	0,550891267
25	1117,416	3,088	13386,315	33927,690	5361,317	607,369	11,99288105	30,39602455	4,803236959	0,544145718
26	1116,802	3,059	13378,961	33609,069	5358,372	601,665	11,9928883	30,1271385	4,803239863	0,539332154
27	1116,188	2,848	13371,607	31290,823	5355,427	560,164	11,99289556	28,06450817	4,803242771	0,502407212
28	1115,575	2,723	13364,253	29917,455	5352,482	535,578	11,99290283	26,84752573	4,803245681	0,480620949
29	1114,961	2,406	13356,899	26434,593	5349,536	473,229	11,9929101	23,73512679	4,803248595	0,424903184
30	1114,347	2,922	13349,545	32103,857	5346,591	574,719	11,99291738	28,84134991	4,803251511	0,516314132
31	1113,733	2,866	13342,191	31488,588	5343,646	563,705	11,99292467	28,30421595	4,803254431	0,506698429
32	1113,119	2,707	13334,837	29741,664	5340,700	532,431	11,99293197	26,74871368	4,803257355	0,478852028
33	1112,505	3,048	13327,484	33488,212	5337,755	599,502	11,99293928	30,13487849	4,797959548	0,045032056
34	1111,891	2,793	13320,130	30686,541	5334,810	549,347	11,97970423	27,59850658	4,797959548	0,041241829
35	1111,278	2,862	13312,776	31444,640	5331,864	562,918	11,97970423	28,29593906	4,797959548	0,042284037

**ANEXO AK: CARACTERIZACIÓN NTN FALLA AVANZADA 821,349 rpm (PLANO X)**

N° de espectro	Frecuencia del 1X Hz	Vrms (mm/s)	Frecuencia del fallo				Frecuencia de fallo/Frecuencia 1X			
			BPFO	BPFI	BSF	FTF	BPFO	BPFI	BSF	FTF
1	813,176	2,589	9741,606	19434,492	3901,585	347,914	11,9796962	23,89947913	4,797956607	0,427845677
2	813,624	2,579	9746,969	19359,426	3903,733	346,570	11,9796962	23,79406712	4,797956607	0,425958603
3	814,072	2,541	9752,333	19074,177	3905,881	341,464	11,9796962	23,43058282	4,797956607	0,41945155
4	814,520	2,568	9757,696	19276,854	3908,029	345,092	11,9796962	23,66653421	4,797956607	0,423675524
5	814,559	2,634	9758,165	19772,287	3908,217	353,961	11,9796962	24,27362021	4,797956607	0,434543506
6	815,255	2,548	9766,504	19126,723	3911,557	342,404	11,9796962	23,46103982	4,797956607	0,419996788
7	815,951	2,616	9774,842	19637,169	3914,896	351,542	11,9796962	24,06661111	4,797956607	0,430837654
8	816,647	2,579	9783,180	19359,426	3918,236	346,570	11,9796962	23,70599708	4,797956607	0,424381984
9	815,955	2,669	9774,893	20035,017	3914,917	358,665	11,9796962	24,55407106	4,797956607	0,439564105
10	816,918	2,576	9786,433	19336,907	3919,538	346,167	11,9796962	23,67055253	4,797956607	0,423747459
11	817,330	2,637	9791,359	19794,807	3921,512	354,364	11,9796962	24,21888168	4,797956607	0,433563584
12	817,741	2,715	9796,286	20380,319	3923,485	364,846	11,9796962	24,92271313	4,797956607	0,446163492
13	818,152	2,849	9801,213	21386,198	3925,458	382,853	11,9796962	26,13963823	4,797956607	0,467948743
14	818,563	2,738	9806,140	20552,970	3927,431	367,937	11,9796962	25,10858946	4,797956607	0,449491028
15	818,975	2,567	9811,066	19269,348	3929,404	344,958	11,9796962	23,52862775	4,797956607	0,421206739
16	819,386	2,657	9815,993	19944,938	3931,378	357,052	11,9796962	24,34132708	4,797956607	0,435755587
17	819,797	2,617	9820,920	19644,676	3933,351	351,677	11,9796962	23,96285155	4,797956607	0,428980162
18	820,208	2,64	9825,847	19817,327	3935,324	354,767	11,9796962	24,16133283	4,797956607	0,432533351
19	820,620	2,782	9830,773	20883,259	3937,297	373,850	11,9796962	25,44815974	4,797956607	0,455569976
20	821,031	2,853	9835,700	21416,225	3939,270	383,391	11,9796962	26,08455504	4,797956607	0,46696265
21	821,442	2,65	9840,627	19892,392	3941,244	356,111	11,9796962	24,21642604	4,797956607	0,433519623
22	821,853	2,624	9845,554	19697,222	3943,217	352,617	11,9796962	23,96683179	4,797956607	0,429051416
23	822,265	2,761	9850,481	20725,621	3945,190	371,028	11,9796962	25,20553587	4,797956607	0,451226552
24	822,676	2,668	9855,407	20027,510	3947,163	358,530	11,9796962	24,34435057	4,797956607	0,435809713
25	823,087	2,731	9860,334	20500,424	3949,136	366,996	11,9796962	24,90674742	4,797956607	0,445877676
26	823,498	2,688	9865,261	20177,642	3951,110	361,218	11,9796962	24,50234427	4,797956607	0,438638098
27	823,910	2,591	9870,188	19449,505	3953,083	348,183	11,9796962	23,60635595	4,797956607	0,42259822
28	824,321	2,759	9875,114	20710,608	3955,056	370,759	11,9796962	25,12444703	4,797956607	0,449774909
29	824,732	2,678	9880,041	20102,576	3957,029	359,874	11,9796962	24,37467118	4,797956607	0,436352509
30	825,143	2,552	9884,968	19156,749	3959,003	342,942	11,9796962	23,216265	4,797956607	0,415614857
31	825,555	2,768	9889,895	20778,167	3960,976	371,968	11,9796962	25,16873368	4,797956607	0,450567723
32	825,966	2,703	9894,821	20290,240	3962,949	363,234	11,9796962	24,56546732	4,797956607	0,439768119
33	826,377	2,766	9899,748	20763,154	3964,922	371,700	11,9796962	25,12551505	4,797956607	0,449794028
34	826,788	2,817	9904,675	21145,988	3966,895	378,553	11,9796962	25,57605544	4,797956607	0,45785955
35	827,200	3,052	9909,602	22910,031	3968,869	410,133	11,9796962	27,69588675	4,797956607	0,495808521

**ANEXO AL: CARACTERIZACIÓN NTN FALLA AVANZADA 516,804 rpm (PLANO X)**

N° de espectro	Frecuencia del 1X Hz	Vrms (mm/s)	Frecuencia del fallo				Frecuencia de fallo/Frecuencia 1X			
			BPFO	BPFI	BSF	FTF	BPFO	BPFI	BSF	FTF
1	518,882	1,462	6128,982	12227,316	2454,703	218,892	11,81189543	23,564725	4,73075	0,421853
2	519,897	1,465	6140,964973	12252,40625	2459,50227	219,3411628	11,81189543	23,567003	4,73075	0,4218938
3	517,911	1,383	6117,51226	11566,60604	2450,109284	207,0640465	11,81189543	22,333186	4,73075	0,3998061
4	517,926	1,464	6117,683338	12244,04283	2450,177802	219,1914419	11,81189543	23,640543	4,73075	0,4232103
5	517,440	1,352	6111,948468	11307,3401	2447,880943	202,4226977	11,81189543	21,852462	4,73075	0,3912002
6	516,955	1,457	6106,213598	12185,49891	2445,584085	218,1433953	11,81189543	23,571701	4,73075	0,4219779
7	516,469	1,417	6100,478728	11850,96222	2443,287227	212,1545581	11,81189543	22,946122	4,73075	0,4107788
8	515,984	1,435	6094,743858	12001,50373	2440,990369	214,8495349	11,81189543	23,259469	4,73075	0,4163883
9	515,498	1,383	6089,008988	11566,60604	2438,693511	207,0640465	11,81189543	22,43773	4,73075	0,4016777
10	515,013	1,424	6083,274118	11909,50615	2436,396653	213,2026047	11,81189543	23,124692	4,73075	0,4139756
11	514,527	1,328	6077,539248	11106,61809	2434,099794	198,8293953	11,81189543	21,586074	4,73075	0,3864314
12	514,041	1,392	6071,804378	11641,87679	2431,802936	208,4115349	11,81189543	22,647737	4,73075	0,4054372
13	513,556	1,365	6066,069509	11416,06453	2429,506078	204,3690698	11,81189543	22,229445	4,73075	0,397949
14	513,070	1,304	6060,334639	10905,89608	2427,20922	195,236093	11,81189543	21,256137	4,73075	0,3805249
15	512,585	1,439	6054,599769	12034,9574	2424,912362	215,4484186	11,81189543	23,478952	4,73075	0,4203175
16	512,099	1,362	6048,864899	11390,97428	2422,615503	203,919907	11,81189543	22,243677	4,73075	0,3982037
17	511,614	1,431	6043,130029	11968,05007	2420,318645	214,2506512	11,81189543	23,392738	4,73075	0,4187741
18	511,128	1,404	6037,395159	11742,2378	2418,021787	210,208186	11,81189543	22,973167	4,73075	0,411263
19	518,643	1,465	6126,155452	12252,40625	2453,570947	219,3411628	11,81189543	23,623975	4,73075	0,4229137
20	517,157	1,411	6108,608687	11800,78172	2446,543336	211,2562326	11,81189543	22,818551	4,73075	0,4084951
21	515,672	1,416	6091,061922	11842,59881	2439,515726	212,0048372	11,81189543	22,965378	4,73075	0,4111235
22	514,186	1,473	6073,515156	12319,31359	2432,488115	220,5389302	11,81189543	23,958851	4,73075	0,4289086
23	512,701	1,459	6055,968391	12202,22575	2425,460505	218,4428372	11,81189543	23,799895	4,73075	0,426063
24	511,215	1,342	6038,421626	11223,70593	2418,432895	200,9254884	11,81189543	21,954949	4,73075	0,393035
25	509,730	1,46	6020,87486	12210,58917	2411,405284	218,5925581	11,81189543	23,955024	4,73075	0,4288401
26	508,244	1,461	6003,328095	12218,95258	2404,377674	218,7422791	11,81189543	24,041496	4,73075	0,4303881
27	506,759	1,486	5985,781329	12428,03801	2397,350063	222,4853023	11,81189543	24,524565	4,73075	0,4390359
28	505,273	1,564	5968,234564	13080,38456	2390,322453	234,1635349	11,81189543	25,887745	4,73075	0,4634394
29	503,788	1,711	5950,687799	14309,80689	2383,294843	256,1725116	11,81189543	28,404438	4,73075	0,508493
30	502,302	1,522	5933,141033	12729,12103	2376,267232	227,8752558	11,81189543	25,34156	4,73075	0,4536617
31	500,817	1,357	5915,594268	11349,15719	2369,239622	203,1713023	11,81189543	22,6613	4,73075	0,40568
32	499,331	1,637	5898,047503	13690,91402	2362,212012	245,0931628	11,81189543	27,418505	4,73075	0,4908429
33	497,846	1,353	5880,500737	11315,70352	2355,184401	202,5724186	11,81189543	22,729341	4,73075	0,406898
34	496,360	1,423	5862,953972	11901,14273	2348,156791	213,0528837	11,81189543	23,97683	4,73075	0,4292305
35	494,875	1,27	5845,407207	10621,53989	2341,12918	190,1455814	11,81189543	21,463093	4,73075	0,3842298