



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECÁNICA
CARRERA MANTENIMIENTO INDUSTRIAL

**MEJORA DEL MÓDULO DE ENSAYOS DE LA VIDA
ACCELERADA EN RODAMIENTOS DEL LABORATORIO DE
DIAGNÓSTICO TÉCNICO Y EFICIENCIA ENERGÉTICA DE LA
FACULTAD DE MECÁNICA DE LA ESPOCH.**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERA EN MANTENIMIENTO INDUSTRIAL

AUTORES:

LADY MARIELA GUANUCHE CHACÓN

VIVIAN ALEJANDRA PEÑAFIEL BRONCANO

Riobamba - Ecuador

2023



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECÁNICA
CARRERA MANTENIMIENTO INDUSTRIAL

**MEJORA DEL MÓDULO DE ENSAYOS DE LA VIDA
ACCELERADA EN RODAMIENTOS DEL LABORATORIO DE
DIAGNÓSTICO TÉCNICO Y EFICIENCIA ENERGÉTICA DE LA
FACULTAD DE MECÁNICA DE LA ESPOCH.**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERA EN MANTENIMIENTO INDUSTRIAL

AUTORES: LADY MARIELA GUANUCHE CHACÓN

VIVIAN ALEJANDRA PEÑAFIEL BRONCANO

DIRECTOR: ING. EDUARDO SEGUNDO HERNÁNDEZ DÁVILA

Riobamba - Ecuador

2023

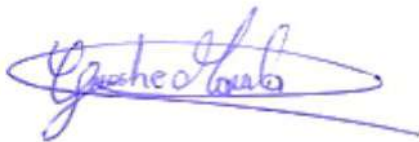
© 2023. Lady Mariela Guanuche Chacón & Vivian Alejandra Peñafiel Broncano

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

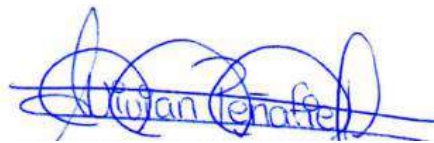
Nosotras, Lady Mariela Guanuche Chacón y Vivian Alejandra Peñafiel Broncano, declaramos que el presente Trabajo de Integración Curricular es de nuestra autoría y los resultados de este son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autoras 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, 17 de noviembre de 2023



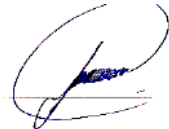


Lady Mariela Guanuche Chacón
CI: 080456489-6



Vivian Alejandra Peñafiel Broncano
CI: 060460997-4

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, **MEJORA DEL MÓDULO DE ENSAYOS DE LA VIDA ACELERADA EN RODAMIENTOS DEL LABORATORIO DE DIAGNÓSTICO TÉCNICO Y EFICIENCIA ENERGÉTICA DE LA FACULTAD DE MECÁNICA DE LA ESPOCH**, realizado por las señoritas **LADY MARIELA GUANUCHE CHACÓN y VIVIAN ALEJANDRA PEÑAFIEL BRONCANO**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal de 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 PRESIDENTE DEL TRIBUNAL		2023-11-17
Ing. Eduardo Segundo Hernández Dávila DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR		2023-11-17
Ing. Félix Antonio García Mora ASESOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR		2023-11-17

DEDICATORIA

El presente trabajo dedico a mi madre Norma, hermanas Carolina y Jenniffer, abuelos maternos Julio y Angelita, porque ellos estuvieron a mi lado en todo momento brindándome su apoyo, consejos y compañía para ser de mí una mejor persona, a mi padre Oswaldo, abuelos paternos Eulogio y Deli aunque no se encuentre físicamente en este momento con nosotros, sé que desde el cielo me han cuidado y guiado para que todo salga bien durante mi proceso académico, aquellas personas que de una u otra manera han contribuido para este logro.

Lady Mariela

El presente trabajo se lo dedicó a mis padres José Peñafiel y Jannet Broncano por su entrega, apoyo, amor y sacrificio en toda mi vida académica y ser el motor que me incentivaba a seguir cuando no podía más, a mis hermanos Patricia y Francisco por ser mis compañeros de vida y mostrarme un apoyo incondicional en todo este proceso, por ser mi fuerza y alentarme a seguir adelante a pesar de las adversidades, a mis abuelos Rosa, Juan, Rosa, Miguel por brindarme sus consejos y darme la mano cuando más lo necesite, a mis sobrinos Jaime, Melany, José Daniel y Rommel por brindarme alegría en los malos momentos con sus ocurrencias, y a mi familia por su apoyo constante. Finalmente quiero dedicar este trabajo a mis amigos/as, profesores/as y a todas las personas que contribuyeron a este logro, por apoyarme cuando lo necesitaba, por extender su mano en momentos difíciles y mostrarme el camino correcto, alentarme a ser mejor y cumplir mis metas.

Vivian Alejandra

AGRADECIMIENTO

Primeramente doy gracias a Dios por permitirme cruzar este proceso académico que me ha traído a este día, a mi madre Norma gracias darme fortaleza y palabras de aliento, estar presente en todo momento ofreciéndome lo mejor, cada situación vivida durante estos años son únicos que me han permitido corregir mis equivocaciones dándome cada día la oportunidad de empezar de nuevo, mi hermana Jenniffer por ser ese apoyo incondicional durante mi proceso de formación y sobre todo a mi hermana Carolina por ser mi compañera, guía y soporte durante esta trayectoria como estudiante

Lady Mariela

Agradezco a Dios por caminar conmigo en cada uno de mis pasos, por brindarme sus bendiciones y concederme la familia que tengo, los que han creído en mí y me ayudado en este camino en bases al sacrificio, superación y humildad. Agradezco a mi familia por brindarme su apoyo incondicional para cumplir todos mis sueños y objetivos. De igual manera quiero agradecer a la prestigiosa Facultad de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo y especialmente a la Carrera de Mantenimiento Industrial y todo su personal docente por difundir todo el conocimiento necesario para hoy poder formarme como profesional. Así mismo, agradezco al Ing. Eduardo Hernández y al Ing. Edison Calderón por su paciencia, apoyo y conocimiento brindado para la culminación de este Proyecto Técnico.

Vivian Alejandra

ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	xiv
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	xvi
ÍNDICE DE ANEXOS	xxi
RESUMEN.....	xxii
SUMMARY	xxiii
INTRODUCCIÓN	1

CAPÍTULO I

1.	DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA.....	2
1.1.	Planteamiento del problema.....	2
1.2.	Justificación	2
1.3.	Objetivos	3
1.3.1.	<i>Objetivo general</i>	3
1.3.2.	<i>Objetivos específicos.....</i>	3

CAPÍTULO II

2.	MARCO TEÓRICO	4
2.1.	Ensayos de la vida acelerada.....	4
2.2.	Rodamientos	4
2.2.1.	<i>Clasificación de rodamiento</i>	4
2.2.1.1.	<i>Rodamientos de bolas</i>	5
2.2.2.	<i>Fallas en rodamientos</i>	5
2.2.2.1.	<i>Fallo en la pista externa</i>	6
2.2.2.2.	<i>Fallo en la pista interna.....</i>	7
2.2.2.3.	<i>Fallo en el elemento rodante.....</i>	7
2.2.2.4.	<i>Desgaste de la jaula.....</i>	8
2.2.3.	<i>Métodos de análisis para la detección de fallas en rodamientos</i>	8
2.2.3.1.	<i>Análisis de vibraciones</i>	9
2.2.3.2.	<i>Termografía infrarroja</i>	9
2.2.4.	<i>Selección de rodamiento</i>	9
2.3.	Desgaste.....	10
2.3.1.	<i>Mecanismos de desgaste</i>	10

2.3.1.1.	<i>Desgaste adhesivo</i>	10
2.3.1.2.	<i>Desgaste abrasivo</i>	11
2.4.	Lubricación	11
2.4.1.	Importancia de la lubricación	11
2.4.2.	Tipos de lubricantes	12
2.4.3.	Funciones del lubricante	12
2.4.4.	Pares tribológicos	12
2.4.5.	Grasa	12
2.4.6.	Tipos de grasa	13
2.4.6.1.	<i>Grasas para aplicaciones a temperaturas medias (MT)</i>	13
2.4.6.2.	<i>Grasas para aplicaciones a altas temperaturas (HT)</i>	13
2.4.7.	Selección de lubricante	13
2.4.8.	Cantidad de grasa para re-lubricación de rodamientos	14
2.4.9.	Alimentación de grasa para rodamiento	14
2.5.	Chumacera	14
2.5.1.	Tipos de chumacera	15
2.5.1.1.	<i>Tensora</i>	15
2.5.1.2.	<i>Pared</i>	15
2.5.1.3.	<i>Brida</i>	15
2.6.	Ejes	15
2.7.	Tipos de desalineación	15
2.7.1.	Desalineación paralela	15
2.7.2.	Desalineación angular	16
2.7.3.	Desbalanceo estático	16
2.7.4.	Diseño y selección de ejes	16
2.7.5.	Alineación de ejes	17
2.7.6.	Consecuencia de una mala alineación	18
2.7.7.	Tipos de alineación de ejes	18
2.7.7.1.	<i>Alineación perfecta</i>	18
2.7.7.2.	<i>Desalineación combinada</i>	18
2.7.8.	Tolerancias de desalineación	18
2.8.	Termografía	19
2.9.	Análisis de vibraciones	19
2.10.	Etapas de daño en rodamiento	19
2.10.1.	Etapas 1:	19
2.10.2.	Etapas 2:	19
2.10.3.	Etapas 3:	20

2.10.4.	Etapa 4:	20
2.11.	Bomba hidráulica manual	20
2.11.1.	Modos de fallo	20

CAPÍTULO III

3.	MEJORA DEL MÓDULO DE ENSAYOS DE LA VIDA ACELERADA	21
3.1.	Descripción del módulo de ensayos de vida acelerada de rodamientos	21
3.2.	Diagnóstico técnico inicial del módulo	22
3.2.1.	Análisis termográfico	22
3.2.2.	Resultados análisis termográfico	24
3.2.2.1.	<i>Reporte termográfico; motor</i>	24
3.2.2.2.	<i>Reporte termográfico; chumacera 1</i>	25
3.2.2.3.	<i>Reporte termográfico; chumacera 2</i>	25
3.2.2.4.	<i>Reporte termográfico; caja de rodamiento</i>	26
3.2.3.	Análisis vibracional	26
3.2.3.1.	<i>Configuración del software MAINTraq Predictive 2.1</i>	27
3.2.4.	Resultados análisis vibracional	32
3.2.4.1.	<i>Reporte vibracional; motor</i>	32
3.2.4.2.	<i>Reporte vibracional; chumacera 1</i>	33
3.2.4.3.	<i>Reporte vibracional; chumacera 2</i>	34
3.2.4.4.	<i>Reporte vibracional; caja de rodamientos</i>	35
3.3.	Selección y dimensionamiento de los componentes del módulo	35
3.3.1.	Descripción de las partes del módulo	36
3.3.1.1.	<i>Motor</i>	36
3.3.1.2.	<i>Eje</i>	36
3.3.1.3.	<i>Acople</i>	37
3.3.1.4.	<i>Chumaceras</i>	37
3.3.1.5.	<i>Rodamientos y caja de rodamientos</i>	38
3.3.1.6.	<i>Bomba hidráulica de mano</i>	38
3.3.2.	Propuesta de mejora	38
3.4.	Sistemas del módulo de ensayos de vida acelera de rodamientos	39
3.4.1.	Sistema motriz	39
3.4.2.	Sistema de transmisión	40
3.4.2.1.	<i>Selección del eje</i>	40
3.4.2.2.	<i>Selección del acople</i>	42
3.4.2.3.	<i>Selección de las chumaceras</i>	43

3.4.2.4.	<i>Selección del rodamiento</i>	45
3.5.	Modelado de elementos	46
3.5.1.	<i>Diseño placa base</i>	46
3.5.2.	<i>Diseño bases del motor</i>	47
3.5.3.	<i>Diseño bases de las chumaceras</i>	47
3.5.4.	<i>Diseño de la caja de rodamiento</i>	48
3.5.5.	<i>Diseño del eje</i>	48
3.5.6.	<i>Diseño soporte superior sistema carga del rodamiento</i>	48
3.5.7.	<i>Diseño soporte inferior sistema carga del rodamiento</i>	49
3.5.8.	<i>Diseño soporte bases de la caja de rodamientos</i>	49
3.5.9.	<i>Diseño del motor eléctrico</i>	50
3.5.10.	<i>Diseño de las chumaceras, rodamiento y acople</i>	50
3.5.11.	<i>Diseño de la bomba hidráulica</i>	51
3.5.12.	<i>Ensamblaje del módulo</i>	52
3.6.	Adquisición de elementos	52
3.6.1.	<i>Adquisición de las placas para la estructura del módulo.</i>	52
3.6.2.	<i>Adquisición del material del eje.</i>	53
3.6.3.	<i>Adquisición de chumaceras y rodamiento</i>	53
3.6.4.	<i>Adquisición del elastómero.</i>	54
3.6.5.	<i>Adquisición de los pernos, arandelas y tuercas</i>	54
3.7.	Mecanizado de elementos y construcción del módulo	55
3.7.1.	<i>Placa base</i>	55
3.7.1.1.	<i>Corte de la placa</i>	55
3.7.1.2.	<i>Mecanizado del material</i>	55
3.7.2.	<i>Bases del motor</i>	55
3.7.2.1.	<i>Corte de la placa</i>	56
3.7.2.2.	<i>Mecanizado del material</i>	56
3.7.3.	<i>Bases de las chumaceras</i>	56
3.7.3.1.	<i>Corte de la placa</i>	56
3.7.3.2.	<i>Mecanizado del material</i>	56
3.7.4.	<i>Bases caja de rodamientos</i>	57
3.7.4.1.	<i>Corte de la placa</i>	57
3.7.4.2.	<i>Mecanizado del material</i>	57
3.7.5.	<i>Soporte superior e inferior de la bomba hidráulica</i>	57
3.7.5.1.	<i>Corte de la placa</i>	58
3.7.5.2.	<i>Mecanizado del material</i>	58
3.7.6.	<i>Caja de rodamientos</i>	58

3.7.6.1.	<i>Corte de la placa</i>	59
3.7.6.2.	<i>Mecanizado del material</i>	59
3.8.	Acabado del material	59
3.9.	Montaje del módulo de ensayos de la vida acelerada en rodamientos	59
3.9.1.	<i>Montaje de las bases del motor</i>	59
3.9.2.	<i>Montaje de las bases de las chumaceras</i>	60
3.9.3.	<i>Montaje de las bases del rodamiento en el soporte inferior</i>	61
3.9.4.	<i>Montaje del módulo en la mesa</i>	61
3.9.5.	<i>Montaje del acople</i>	62
3.9.6.	<i>Montaje del eje</i>	62
3.9.7.	<i>Montaje de chumaceras</i>	63
3.9.8.	<i>Montaje de los ejes del soporte del sistema de carga</i>	63
3.9.9.	<i>Montaje del rodamiento y su caja</i>	63
3.9.10.	<i>Montaje de la bomba hidráulica</i>	64
3.9.11.	<i>Montaje del soporte superior de la bomba hidráulica</i>	64
3.9.12.	<i>Montaje de los insertos</i>	65
3.9.13.	<i>Conexiones eléctricas</i>	65
3.10.	Puesta en marcha del módulo	65
3.10.1.	<i>Verificar el ajuste de los insertos</i>	66
3.10.2.	<i>Prueba de pata coja</i>	66
3.10.3.	<i>Alineación de eje</i>	67

CAPÍTULO IV

4.	MARCO DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	68
4.1.	Recolección de datos	68
4.2.	Mediciones obtenidas	68
4.2.1.	Mediciones obtenidas de termografía	68
4.2.1.1.	<i>Medición termográfica caja de rodamiento sin carga</i>	68
4.2.1.2.	<i>Medición termográfica caja de rodamiento con una carga de 100 psi</i>	69
4.2.1.3.	<i>Medición termográfica caja de rodamiento con una carga de 200 psi</i>	69
4.2.1.4.	<i>Medición termográfica caja de rodamiento con una carga de 300 psi</i>	70
4.2.1.5.	<i>Medición termográfica caja de rodamiento con una carga de 400 psi</i>	70
4.2.1.6.	<i>Medición termográfica caja de rodamiento con una carga de 500 psi</i>	71
4.2.1.7.	<i>Medición termográfica caja de rodamiento con una carga de 600 psi</i>	71
4.2.1.8.	<i>Medición termográfica caja de rodamiento con una carga de 700 psi</i>	72
4.2.1.9.	<i>Medición termográfica caja de rodamiento con una carga de 800 psi</i>	72

4.2.1.10.	<i>Medición termográfica caja de rodamiento con una carga de 900 psi</i>	73
4.2.1.11.	<i>Medición termográfica caja de rodamiento con una carga de 1000 psi</i>	73
4.2.2.	Mediciones obtenidas de vibración	74
4.2.2.1.	<i>Medición caja de rodamiento sin carga</i>	74
4.2.2.2.	<i>Medición caja de rodamiento con una carga de 100 psi</i>	75
4.2.2.3.	<i>Medición caja de rodamiento con una carga de 200 psi</i>	77
4.2.2.4.	<i>Medición caja de rodamiento con una carga de 300 psi</i>	78
4.2.2.5.	<i>Medición caja de rodamiento con una carga de 400 psi</i>	79
4.2.2.6.	<i>Medición caja de rodamiento con una carga de 500 psi</i>	81
4.2.2.7.	<i>Medición caja de rodamiento con una carga de 600 psi</i>	83
4.2.2.8.	<i>Medición caja de rodamiento con una carga de 700 psi</i>	84
4.2.2.9.	<i>Medición caja de rodamiento con una carga de 800 psi</i>	85
4.2.2.10.	<i>Medición caja de rodamiento con una carga de 900 psi</i>	86
4.2.2.11.	<i>Medición caja de rodamiento con una carga de 1000 psi</i>	88
4.2.3.	Medición deflexión del eje	89
4.3.	Interpretación de resultados	89
4.3.1.	Interpretación del análisis termográfico	89
4.3.1.1.	<i>Carga vs temperatura máxima del rodamiento</i>	90
4.3.1.2.	<i>Carga vs temperatura máxima de la caja del rodamiento</i>	90
4.3.1.3.	<i>Diferencia de temperatura del rodamiento</i>	91
4.3.1.4.	<i>Diferencia de temperatura de la caja del rodamiento</i>	92
4.3.2.	Interpretación del análisis vibracional	93
4.3.2.1.	<i>Carga vs Amplitud del 1x del plano vertical</i>	93
4.3.2.2.	<i>Carga vs Amplitud del 2x del plano vertical</i>	94
4.3.2.3.	<i>Carga vs Amplitud del 3x del plano vertical</i>	95
4.3.2.4.	<i>Carga vs Amplitud del RMS del plano vertical</i>	96
4.3.2.5.	<i>Carga vs Amplitud del 1x del plano horizontal</i>	97
4.3.2.6.	<i>Carga vs Amplitud del 2x del plano horizontal</i>	98
4.3.2.7.	<i>Carga vs Amplitud del 3x del plano horizontal</i>	99
4.3.2.8.	<i>Carga vs Amplitud del RMS del plano horizontal</i>	100
4.3.2.9.	<i>Carga vs Amplitud del 1x del plano axial</i>	101
4.3.2.10.	<i>Carga vs Amplitud del 2x del plano axial</i>	102
4.3.2.11.	<i>Carga vs Amplitud del 3x del plano axial</i>	103
4.3.2.12.	<i>Carga vs Amplitud del RMS del plano axial</i>	104
4.3.2.13.	<i>Diferencia de amplitud del 1x del plano vertical para los módulos</i>	105
4.3.2.14.	<i>Diferencia de amplitud del 2x del plano vertical para los módulos</i>	106
4.3.2.15.	<i>Diferencia de amplitud del 3x del plano vertical para los módulos</i>	106

4.3.2.16.	<i>Diferencia de amplitud del RMS del plano vertical para los módulos</i>	107
4.3.2.17.	<i>Diferencia de amplitud del 1x del plano horizontal para los módulos</i>	108
4.3.2.18.	<i>Diferencia de amplitud del 2x del plano horizontal para los módulos</i>	108
4.3.2.19.	<i>Diferencia de amplitud del 3x del plano horizontal para los módulos</i>	109
4.3.2.20.	<i>Diferencia de amplitud del RMS del plano horizontal para los módulos</i>	110
4.3.3.	<i>Carga VS Deformación</i>	110
4.4.	Manual de operación	111
4.5.	Plan de mantenimiento	111
4.5.1.	<i>AMEF (Análisis de Modo y Efecto de Falla)</i>	112
4.5.2.	<i>Tareas de mantenimiento</i>	112

CAPÍTULO V

5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	113
5.1.	Conclusiones	113
5.2.	Recomendaciones	114

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3-1:	Componentes del módulo	22
Tabla 3-2:	Características de la cámara termográfica Satir HotFind VR.....	23
Tabla 3-3:	Características del colector de datos VibraCheck 200ABG	27
Tabla 3-4:	Frecuencias y amplitudes plano vertical (Motor)	32
Tabla 3-5:	Frecuencias y amplitudes plano horizontal (Chumacera 1).....	34
Tabla 3-6:	Frecuencias y amplitudes plano vertical (Chumacera 2).....	35
Tabla 3-7:	Frecuencias y amplitudes plano horizontal (Caja de rodamientos)	35
Tabla 3-8:	Elementos del módulo de ensayos.....	39
Tabla 3-9:	Características del motor	40
Tabla 3-10:	Composición química del acero ASTM 4340	41
Tabla 3-11:	Propiedades del acero ASTM 4340.....	41
Tabla 3-12:	Características del acople elástico L110 marca LoveJoy Jaw	43
Tabla 3-13:	Características y dimensiones del rodamiento.....	46
Tabla 3-14:	Disposición de pernos.....	54
Tabla 4- 1:	Amplitud de la caja de rodamiento (Sin carga)	75
Tabla 4- 2:	Amplitud de la caja de rodamiento (Carga de 100 psi)	76
Tabla 4- 3:	Amplitud de la caja de rodamiento (Carga de 200 psi)	78
Tabla 4- 4:	Amplitud de la caja de rodamiento (Carga de 300 psi)	79
Tabla 4- 5:	Amplitud de la caja de rodamiento (Carga de 400 psi)	80
Tabla 4- 6:	Amplitud de la caja de rodamiento (Carga de 400 psi)	82
Tabla 4- 7:	Amplitud de la caja de rodamiento (Carga de 600 psi)	84
Tabla 4- 8:	Amplitud de la caja de rodamiento (Carga de 700 psi)	85
Tabla 4- 9:	Amplitud de la caja de rodamiento (Carga de 800 psi)	86
Tabla 4- 10:	Amplitud de la caja de rodamiento (Carga de 900 psi)	87
Tabla 4- 11:	Amplitud de la caja de rodamiento (Carga de 1000 psi)	89
Tabla 4- 12:	Temperatura del rodamiento.....	90
Tabla 4- 13:	Temperatura de la caja de rodamiento.....	91
Tabla 4- 14:	Módulo antes vs módulo después (Rodamiento).....	92
Tabla 4- 15:	Módulo antes vs módulo después (Caja de rodamiento).....	92
Tabla 4- 16:	Carga vs Amplitud del 1x del plano vertical	93
Tabla 4- 17:	Carga vs Amplitud del 2x del plano vertical	94
Tabla 4- 18:	Carga vs Amplitud del 3x del plano vertical	95
Tabla 4- 19:	Carga vs Amplitud del RMS del plano vertical.....	96
Tabla 4- 20:	Carga vs Amplitud del 1x del plano horizontal	97

Tabla 4- 21:	Carga vs Amplitud del 2x del plano horizontal	98
Tabla 4- 22:	Carga vs Amplitud del 3x del plano horizontal	99
Tabla 4- 23:	Carga vs Amplitud del RMS del plano horizontal	100
Tabla 4- 24:	Carga vs Amplitud del 1x del plano axial	101
Tabla 4- 25:	Carga vs Amplitud del 2x del plano axial	102
Tabla 4- 26:	Carga vs Amplitud del 3x del plano axial	103
Tabla 4- 27:	Carga vs Amplitud del RMS del plano axial.....	104
Tabla 4- 28:	Diferencia de amplitud del 1x del plano vertical para los módulos.....	105
Tabla 4- 29:	Diferencia de amplitud del 2x del plano vertical para los módulos.....	106
Tabla 4- 30:	Diferencia de amplitud del 3x del plano vertical para los módulos.....	106
Tabla 4- 31:	Diferencia de amplitud del RMS del plano vertical para los módulos	107
Tabla 4- 32:	Diferencia de amplitud del 1x del plano horizontal para los módulos	108
Tabla 4- 33:	Diferencia de amplitud del 2x del plano horizontal para los módulos	108
Tabla 4- 34:	Diferencia de amplitud del 1x del plano horizontal para los módulos	109
Tabla 4- 35:	Diferencia de amplitud del RMS del plano horizontal para los módulos.....	110
Tabla 4- 36:	Carga vs Deflexión.....	111

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 2-1:	Rodamiento de bolas.....	5
Ilustración 2-2:	Espectro falla en la pista externa	6
Ilustración 2-3:	Espectro falla en la pista interna	7
Ilustración 2-4:	Espectro fallo en el elemento rodante	7
Ilustración 2-5:	Espectro desgaste de la jaula.....	8
Ilustración 2-6:	Lubricación	11
Ilustración 2-7:	Grasa en rodamientos.....	13
Ilustración 3- 1:	Estado inicial del módulo	21
Ilustración 3-2:	Cámara termográfica Satir HotFind VR	22
Ilustración 3-3:	Pruebas estado inicial del módulo (termográfica).....	23
Ilustración 3-4:	Termograma del motor	24
Ilustración 3-5:	Termograma de la chumacera 1	25
Ilustración 3-6:	Termograma chumacera 2.....	25
Ilustración 3- 7:	Termograma rodamiento y caja de rodamiento	26
Ilustración 3- 8:	Colector de datos VibraCheck 200 ABG.....	26
Ilustración 3- 9:	Pruebas estado inicial del módulo (vibración).....	27
Ilustración 3- 10:	Crear una base de datos.....	28
Ilustración 3- 11:	Crear carpetas (MAINTraq Predictive).....	28
Ilustración 3- 12:	Crear máquinas (MAINTraq Predictive)	29
Ilustración 3- 13:	Puntos de medición (MAINTraq Predictive)	29
Ilustración 3- 14:	Formas de onda y espectros (MAINTraq Predictive)	30
Ilustración 3- 15:	Máquinas y puntos de medición (MAINTraq Predictive)	30
Ilustración 3- 16:	Envío de datos (MAINTraq Predictive).....	31
Ilustración 3- 17:	Recepción de datos (MAINTraq Predictive)	31
Ilustración 3- 18:	Espectro plano vertical (Motor).....	32
Ilustración 3- 19:	Espectro envolvente del motor.....	33
Ilustración 3- 20:	Rodamiento motor	33
Ilustración 3- 21:	Espectro plano vertical (Chumacera 1).....	34
Ilustración 3- 22:	Espectro plano vertical (Chumacera 2).....	34
Ilustración 3- 23:	Espectro plano horizontal (Caja de rodamientos).....	35
Ilustración 3- 24:	Estado inicial del motor	36
Ilustración 3- 25:	Estado inicial del eje	37
Ilustración 3- 26:	Estado inicial del acople	37
Ilustración 3- 27:	Estado inicial de las chumaceras.....	37

Ilustración 3- 28:	Estado inicial del rodamiento y caja de rodamiento	38
Ilustración 3- 29:	Estado inicial de la bomba hidráulica.	38
Ilustración 3- 30:	Disposición de los elementos del módulo.....	43
Ilustración 3- 31:	Diagrama de reacciones	44
Ilustración 3- 32:	Posición de elementos.....	45
Ilustración 3- 33:	Diseño placa base del módulo.....	46
Ilustración 3- 34:	Diseño bases del motor	47
Ilustración 3- 35:	Diseño bases de las chumaceras	47
Ilustración 3- 36:	Diseño de la caja de rodamiento	48
Ilustración 3- 37:	Diseño del eje.....	48
Ilustración 3- 38:	Diseño soporte inferior sistema carga.....	49
Ilustración 3- 39:	Diseño soporte inferior sistema carga.....	49
Ilustración 3- 40:	Diseño soporte bases.....	50
Ilustración 3- 41:	Diseño del motor eléctrico	50
Ilustración 3- 42:	Diseño de las chumaceras	50
Ilustración 3- 43:	Diseño del acople.....	51
Ilustración 3- 44:	Diseño del rodamiento	51
Ilustración 3- 45:	Diseño bomba hidráulica	51
Ilustración 3- 46:	Ensamble módulo de ensayos de vida acelerada de rodamientos	52
Ilustración 3- 47:	Planchas de acero ASTM A36.....	53
Ilustración 3- 48:	Eje acero ASTM 4340	53
Ilustración 3- 49:	Adquisición de las chumaceras y rodamiento.....	53
Ilustración 3- 50:	Adquisición del elastómero.....	54
Ilustración 3- 51:	Corte placa base	55
Ilustración 3- 52:	Bases del motor.....	56
Ilustración 3- 53:	Mecanizado bases chumaceras	57
Ilustración 3- 54:	Bases caja de rodamiento.....	57
Ilustración 3- 55:	Soporte superior e inferior de la bomba.....	58
Ilustración 3- 56:	Caja de rodamiento	58
Ilustración 3- 57:	Acabados del material.....	59
Ilustración 3- 58:	Montaje de las bases del motor	60
Ilustración 3- 59:	Montaje del motor.....	60
Ilustración 3- 60:	Montaje de las bases de las chumaceras	60
Ilustración 3- 61:	Montaje de las bases de la caja de rodamiento	61
Ilustración 3- 62:	Montaje del soporte inferior de la bomba hidráulica	61
Ilustración 3- 63:	Montaje del módulo de la mesa	62
Ilustración 3- 64:	Montaje del acople.....	62

Ilustración 3- 65:	Montaje del acople.....	62
Ilustración 3- 66:	Montaje de chumaceras.....	63
Ilustración 3- 67:	Montaje de los ejes del soporte del sistema de carga.....	63
Ilustración 3- 68:	Montaje del rodamiento y su caja	64
Ilustración 3- 69:	Montaje de la bomba hidráulica.....	64
Ilustración 3- 70:	Montaje del soporte superior de la bomba hidráulica	64
Ilustración 3- 71:	Montaje de insertos	65
Ilustración 3- 72:	Conexiones eléctricas.....	65
Ilustración 3- 73:	Verificación del ajuste de los insertos	66
Ilustración 3- 74:	Prueba pata coja	66
Ilustración 3- 75:	Alineación de eje	67
Ilustración 3- 76:	Toma de mediciones	67
Ilustración 4- 1:	Medición termográfica caja de rodamiento sin carga	69
Ilustración 4- 2:	Medición termográfica caja de rodamiento con una carga de 100 psi	69
Ilustración 4- 3:	Medición termográfica caja de rodamiento con una carga de 200 psi	70
Ilustración 4- 4:	Medición termográfica caja de rodamiento con una carga de 300 psi	70
Ilustración 4- 5:	Medición termográfica caja de rodamiento con una carga de 400 psi	71
Ilustración 4- 6:	Medición termográfica caja de rodamiento con una carga de 500 psi	71
Ilustración 4- 7:	Medición termográfica caja de rodamiento con una carga de 600 psi	72
Ilustración 4- 8:	Medición termográfica caja de rodamiento con una carga de 700 psi	72
Ilustración 4- 9:	Medición termográfica caja de rodamiento con una carga de 800 psi	73
Ilustración 4- 10:	Medición termográfica caja de rodamiento con una carga de 900 psi	73
Ilustración 4- 11:	Medición termográfica caja de rodamiento con una carga de 1000 psi	74
Ilustración 4- 12:	Mediciones de vibración plano vertical sin carga.....	74
Ilustración 4- 13:	Mediciones de vibración plano horizontal sin carga.....	75
Ilustración 4- 14:	Mediciones de vibración plano axial sin carga	75
Ilustración 4- 15:	Mediciones de vibración plano vertical (Carga de 100 psi).....	76
Ilustración 4- 16:	Mediciones de vibración plano horizontal (Carga de 100 psi)	76
Ilustración 4- 17:	Mediciones de vibración plano axial (Carga de 100 psi).....	76
Ilustración 4- 18:	Mediciones de vibración plano vertical (Carga de 200 psi).....	77
Ilustración 4- 19:	Mediciones de vibración plano horizontal (Carga de 200 psi)	77
Ilustración 4- 20:	Mediciones de vibración plano axial (Carga de 200 psi).....	77
Ilustración 4- 21:	Mediciones de vibración plano vertical (Carga de 300 psi).....	78
Ilustración 4- 22:	Mediciones de vibración plano horizontal (Carga de 300 psi)	78
Ilustración 4- 23:	Mediciones de vibración plano axial (Carga de 300 psi).....	79
Ilustración 4- 24:	Mediciones de vibración plano vertical (Carga de 400 psi).....	79
Ilustración 4- 25:	Mediciones de vibración plano horizontal (Carga de 400 psi)	80

Ilustración 4- 26:	Mediciones de vibración plano axial (Carga de 400 psi).....	80
Ilustración 4- 27:	Espectro envolvente a 400 psi.....	81
Ilustración 4- 28:	Rodamiento a los 400 psi.....	81
Ilustración 4- 29:	Mediciones de vibración plano vertical (Carga de 500 psi).....	82
Ilustración 4- 30:	Mediciones de vibración plano horizontal (Carga de 500 psi)	82
Ilustración 4- 31:	Mediciones de vibración plano axial (Carga de 500 psi).....	82
Ilustración 4- 32:	Mediciones de vibración plano vertical (Carga de 600 psi).....	83
Ilustración 4- 33:	Mediciones de vibración plano horizontal (Carga de 600 psi)	83
Ilustración 4- 34:	Mediciones de vibración plano axial (Carga de 600 psi).....	83
Ilustración 4- 35:	Mediciones de vibración plano vertical (Carga de 700 psi).....	84
Ilustración 4- 36:	Mediciones de vibración plano horizontal (Carga de 700 psi)	84
Ilustración 4- 37:	Mediciones de vibración plano axial (Carga de 700 psi).....	85
Ilustración 4- 38:	Mediciones de vibración plano vertical (Carga de 800 psi).....	85
Ilustración 4- 39:	Mediciones de vibración plano horizontal (Carga de 800 psi)	86
Ilustración 4- 40:	Mediciones de vibración plano axial (Carga de 800 psi).....	86
Ilustración 4- 41:	Mediciones de vibración plano vertical (Carga de 900 psi).....	87
Ilustración 4- 42:	Mediciones de vibración plano horizontal (Carga de 900 psi)	87
Ilustración 4- 43:	Mediciones de vibración plano axial (Carga de 900 psi).....	87
Ilustración 4- 44:	Mediciones de vibración plano vertical (Carga de 1000 psi).....	88
Ilustración 4- 45:	Mediciones de vibración plano horizontal (Carga de 1000 psi)	88
Ilustración 4- 46:	Mediciones de vibración plano axial (Carga de 1000 Psi).....	88
Ilustración 4- 47:	Medición deflexión del eje.....	89
Ilustración 4- 48:	Presión vs Temperatura de rodamiento.....	90
Ilustración 4- 49:	Presión vs Temperatura de la caja de rodamiento.....	91
Ilustración 4- 50:	Temperatura del rodamiento entre el módulo antes vs después.....	92
Ilustración 4- 51:	Temperatura de la caja entre el módulo antes vs después.....	93
Ilustración 4- 52:	Carga vs Amplitud 1x del plano vertical	94
Ilustración 4- 53:	Carga vs Amplitud 2x del plano vertical	95
Ilustración 4- 54:	Carga vs Amplitud 3x del plano vertical	96
Ilustración 4- 55:	Carga vs Amplitud RMS del plano vertical.....	97
Ilustración 4- 56:	Carga vs Amplitud 1x del plano horizontal	98
Ilustración 4- 57:	Carga vs Amplitud 2x del plano horizontal	99
Ilustración 4- 58:	Carga vs Amplitud 3x del plano horizontal	100
Ilustración 4- 59:	Carga vs Amplitud RMS del plano horizontal.....	101
Ilustración 4- 60:	Carga vs Amplitud 1x del plano axial.....	102
Ilustración 4- 61:	Carga vs Amplitud 2x del plano axial.....	103
Ilustración 4- 62:	Carga vs Amplitud 3x del plano axial.....	104

Ilustración 4- 63:	Carga vs Amplitud RMS del plano axial	105
Ilustración 4- 64:	Diferencia de amplitud del 1x del plano vertical para los módulos.....	105
Ilustración 4- 65:	Diferencia de amplitud del 2x del plano vertical para los módulos.....	106
Ilustración 4- 66:	Diferencia de amplitud del 3x del plano vertical para los módulos.....	107
Ilustración 4- 67:	Diferencia de amplitud del RMS del plano vertical para los módulos	107
Ilustración 4- 68:	Diferencia de amplitud del 1x del plano horizontal para los módulos.....	108
Ilustración 4- 69:	Diferencia de amplitud del 2x del plano horizontal para los módulos.....	109
Ilustración 4- 70:	Diferencia de amplitud del 3x del plano horizontal para los módulos.....	109
Ilustración 4- 71:	Diferencia de amplitud del RMS del plano horizontal para los módulos	110
Ilustración 4- 72:	Carga Vs Deformación	111

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A:	INFORME DE TERMOGRAFÍA
ANEXO B:	INFORME VIBRACIONAL
ANEXO C:	SELECCIÓN DEL ACOUPLE
ANEXO D:	SELECCIÓN CHUMACERAS
ANEXO E:	SELECCIÓN RODAMIENTO
ANEXO F:	MANUAL DE OPERACIÓN
ANEXO G:	PLAN DE MANTENIMIENTO
ANEXO H:	PLANOS DE MÓDULO DE ENSAYOS DE VIDA ACELERADA

RESUMEN

Los ensayos de vida acelerada de rodamientos realizados en el Laboratorio de Diagnóstico Técnico determinaron que debido a la sobrecarga ejercida sobre los rodamientos alcanzaron niveles de temperatura de 100°C y superiores, por esto se deduce que las características del lubricante fueron comprometidas. Por lo tanto, el objetivo del presente Trabajo de Integración Curricular fue mejorar el módulo de ensayos de la vida acelerada en rodamientos del Laboratorio de Diagnóstico Técnico y Eficiencia Energética de la Facultad de Mecánica de la ESPOCH, para la realización de este proyecto se analizó la situación inicial del módulo mediante pruebas de funcionamiento con la ayuda del VibraCheck 200 ABG, se obtuvo los espectros de vibración característicos de la desalineación por el incremento del 2x y la cámara termográfica SATIR visualizó el incremento de temperatura en el rodamiento y chumaceras, de este modo se identificaron los elementos útiles para la mejora de este, en la reconstrucción se utilizó un software de diseño con el que se dimensionaron las piezas para su estructura y se seleccionaron los elementos adicionales en base a sus fichas técnicas, además, otros elementos adicionales para el montaje del módulo y su puesta en marcha. Los resultados obtenidos mediante análisis termográfico demostraron una reducción de la variación de temperatura del rodamiento sin carga de 15,3°C a 7,7°C respecto a la temperatura ambiente; y el análisis vibracional demostró reducción de los armónicos de vibraciones del 1x, 2x y 3x de 3,269mm/s; 1,883mm/s; 0,356mm/s a 2,071mm/s; 0,718mm/s; 0,219mm/s respectivamente al aplicar una carga demostrando las fallas que experimenta el rodamiento. De tal manera se concluye que la mejora del módulo permitió disminuir la temperatura y la amplitud de los armónicos indeseables.

Palabras Clave: <MÓDULO DE ENSAYOS> <SIMULADOR DE VIDA ACELERADA>
<RODAMIENTOS> <ANÁLISIS TERMOGRÁFICO> <ANÁLISIS VIBRACIONAL>.

2126-DBRA-UPT-2023



SUMMARY

The accelerated life tests of bearings carried out in the Technical Diagnostic Laboratory determined that due to the overload exerted on the bearings, they reached temperature levels of 100°C and higher. Therefore, it is deduced that the characteristics of the lubricant were compromised. Thus, the objective of this Curricular Integration Work was to improve the accelerated life testing module in bearings of the Technical Diagnostic and Energy Efficiency Laboratory of the Faculty of Mechanics of ESPOCH. To carry out this project, the initial situation of the module through functional tests with the help of the VibraCheck 200 ABG, the characteristic vibration spectra of the misalignment due to the 2x increment were obtained, and the SATIR thermal imaging camera visualized the increase in temperature in the bearing and pillow blocks. In this way, useful elements for its improvement were identified in the reconstruction. A design software was used with which the pieces were sized for their structure, and the additional elements were selected based on their technical sheets, in addition to other different aspects for the Assembly of the module and its commissioning. The results obtained through thermographic analysis demonstrated a reduction in the temperature variation of the bearing without load from 15.3°C to 7.7°C concerning ambient temperature, and the vibrational analysis showed reduction of the 1x, 2x and 3x vibration harmonics of 3.269mm/s; 1,883 mm/s; 0.356 mm/s to 2.071 mm/s; 0.718mm/s; 0.219 mm/s respectively when applying a load demonstrating the failures experienced by the bearing. In this way, it is concluded that the improvement of the module made it possible to reduce the temperature and the amplitude of the undesirable harmonics.

Keywords: <TEST MODULE> <ACCELERATED LIFE SIMULATOR> <BEARINGS>
<THERMOGRAPHIC ANALYSIS> <VIBRATIONAL ANALYSIS>.



Lic. Sandra Leticia Guijarro Paguay

C.I.: 0603366113

INTRODUCCIÓN

En la actualidad el estudio de la vida acelerada en rodamientos es de suma importancia en el diagnóstico de los diferentes equipos, éste estudio se rige a someter a un funcionamiento forzado un elemento mediante una sola variable operacional, las otras variables y condiciones deben ser normales o similares a las de un trabajo habitual, en el caso de la variable a la que se aplica estrés es la sobre carga, esto permite descubrir las características y funcionamiento adecuado para su aplicación.

Los rodamientos al ser elementos ampliamente usados en las industrias, cuyo fallo implica un gran impacto en la producción de toda la empresa de manufactura. Su funcionamiento es vital para equipos electromecánicos con elementos rotativos, ya sea en ejes o en las chumaceras de máquinas industriales. El presente estudio plantea la implementación de un sistema de sobrecarga a los rodamientos, éstos serán sometidos a elevadas cargas en el módulo de prueba de vida acelerada reduciendo significativamente la vida útil de los mismos y tomar muestras de los niveles de temperatura y vibración antes y después que se genere la fractura de los rodamientos.

Con la reconstrucción del módulo de la vida acelerada en rodamientos del Laboratorio de Diagnóstico Técnico y Eficiencia Energética de la ESPOCH, los discentes aprenderán a diagnosticar y apreciar de manera clara el sistema dinámico, que está constituido por un sistema motriz, de transmisión y de carga, el módulo será impulsado por un motor WEG W22 de 5 hp el cual se encuentra articulado por un acople tipo mandíbula, además, se encuentra apoyado en dos chumaceras tipo UCP 208, el sistema de carga está constituido por una caja de rodamiento y en su interior albergará el rodamiento NTN 6008Z, éste se acopla con un eje al sistema hidráulico que se anclará a un placa superior e inferior por medio de cuatro soportes.

Para las pruebas se aplica diferentes cargas que varían desde 0 psi hasta los 1000 psi, en el que se aprecia mediante las pruebas de termografía y análisis vibracional, los termogramas y espectros que indica alteraciones en el rodamiento causado por la carga aplicada. Para la toma de mediciones se utilizará el VibraCheck 200 ABG y el análisis e interpretación de los espectros se emplea el software MAINTraQ Predictive y los termogramas obtenidos con la cámara termográfica Satir HotFind VR se analizará con el software SATIR Report.

CAPÍTULO I

1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA

1.1. Planteamiento del problema

En los ensayos de vida acelerada de rodamientos realizados en el laboratorio de Diagnóstico Técnico se empleó grasa multipropósito que tiene una temperatura de trabajo superior a los estándares establecidos; mientras que, debido a la sobrecarga ejercida sobre los rodamientos, la temperatura de éstos alcanzó niveles de 100°C y superiores, por lo que es fácil deducir que las características del lubricante fueron comprometidas.

Puesto que al aumentar la temperatura en los mecanismos se vuelven más propensos a tener diversos modos de fallas debido a la pérdida del lubricante en los rodamientos por el exceso de calor, esto afecta las propiedades del lubricante, causando picaduras en las pistas del rodamiento y otros fallos. Éstos afectan los análisis de vida acelerada ya que los ensayos que se realizan ya no corresponden a una condición normal que puede presentar una máquina.

1.2. Justificación

El avance continuo que ha tomado la industria en los últimos años y que cada vez los procesos son más exigentes, además, que deben cubrir mayor demanda de productos debido a esto no se puede detener la producción, por tal motivo dentro del mantenimiento es de vital importancia establecer estrategias cuyos periodos de ejecución se establecen mediante análisis de pronóstico de vida y distribución de los intervalos P-F (Intervalos entre la falla potencial y falla funcional).

Esta problemática ha sido tomada en cuenta por la carrera de Ingeniería en Mantenimiento Industrial, Facultad de Mecánica de la ESPOCH, para la mejora del módulo de ensayos de vida acelerada de rodamientos se pretende reducir el índice de error de las mediciones, así aportando a los futuros procesos de investigación sobre la vida útil de rodamientos. Puesto que la vida acelerada es un estudio que se rige a someter a un funcionamiento estresado un elemento mediante una sola variable operacional, las otras variables y condiciones deben ser normales o similares a las de un trabajo habitual en este caso la variable que provoca estrés es la sobre carga mediante la aplicación de una elevada carga por medio de una bomba hidráulica.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Mejorar del módulo de ensayos de la vida acelerada en rodamientos del Laboratorio de Diagnóstico Técnico y Eficiencia Energética de la Facultad de Mecánica de la ESPOCH

1.3.2. Objetivos específicos

Diagnosticar técnicamente la situación inicial del módulo de ensayos de la vida acelerada en rodamientos del Laboratorio de Diagnóstico Técnico y Eficiencia Energética de la Facultad de Mecánica de la ESPOCH.

Seleccionar y dimensionar los componentes necesarios para mejorar el módulo mediante la utilización de un software de diseño.

Realizar el montaje del módulo de ensayos de la vida acelerada en rodamientos.

Ejecutar las pruebas de funcionamiento y realizar los ajustes correspondientes en el módulo de ensayos de la vida acelerada en rodamientos.

Elaborar el manual de mantenimiento del módulo de ensayos de la vida acelerada en rodamientos.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Ensayos de la vida acelerada

Las pruebas de vida acelerada consisten en una variedad de métodos para acortar la vida de un producto o para aligerar su degradación. El principal objetivo de tales pruebas es obtener datos rápidamente, los cuales, modelados adecuadamente y analizados, proporcionan información deseada sobre la vida de un producto bajo condiciones normales de uso.

Los ensayos son muy usados en la industria manufacturera, particularmente para obtener información de la confiabilidad de sus componentes y materiales, estos ensayos consisten en someter a un esfuerzo en condiciones ambientales mayores a las que típicamente estará operando. Los principales objetivos de acelerar la vida de un producto son: estimar la distribución de vida de dicho producto, identificar fallas en el diseño, medir y demostrar la confiabilidad.(Jiménez Hernández y López Cerino, 2009)

2.2. Rodamientos

Los rodamientos son elementos de las máquinas utilizadas para transmitir el movimiento y la fuerza entre dos componentes mecánicos a través del eje, reduciendo la fricción entre el componente y aumentando la confiabilidad del equipo. Entre sus componentes principales destacan: el anillo exterior e interno, elementos rodantes, jaula y sello (Ausay Baquero y Estrada Tualombo, 2020).

2.2.1. Clasificación de rodamiento

Los rodamientos se clasifican teniendo en cuenta las siguientes consideraciones:

- Rodamientos de carga radial
- Rodamientos de carga axial
- Rodamientos de carga mixtas.
- La constitución de su elemento rodante: Rodamiento de bolas cilíndricos

2.2.1.1. Rodamientos de bolas

Tiene cuatro partes: anillo exterior e interno, bolas y jaulas o separador, para aumentar el área de contacto y favorecer la resistencia de la transmisión a cargas más altas, las bolas corren en muecas construidas en anillos. El separador por otro lado mantiene las ruedas separadas evitan los contactos entre sí (García Vallejos, 2022).



Ilustración 2-1: Rodamiento de bolas

Fuente: <https://www.skf.com/co>

La selección de un tipo de rodamiento de bola dependerá de la aplicación industrial para la que se utilizará y la carga a la que este expuesta. Los más comunes son:

- Rodamientos axiales.
- Rodamientos de contacto angular.
- Rodamientos rígidos de bolas.
- Rodamientos de bolas autoalineables.
- Rodamientos de bolas de contacto angular de alta velocidad.

Ventajas

- Altas velocidades de funcionamiento
- Requieren poco mantenimiento y son de fácil diseño
- Aumentan la capacidad de carga radial
- Tienen baja capacidad axial debido a los choques de las bolas con las ranuras del anillo

2.2.2. Fallas en rodamientos

Debido a las grandes cargas que soportan los rodamientos, el fallo de estos elementos causan pérdidas de producción y genera daños en las partes de contacto, además de costos por reparación.

El daño físico se suele asociar a la pérdida del material, fractura o cambio en la estructura de éste (Navarro Carmona, 2016).

Los daños físicos en los rodamientos se clasifican en:

- Desgaste
- Estriado
- Aparición de grietas
- Agrietamiento o rotura
- Oxidación o corrosión
- Cambios de calor

Los rodamientos con defectos en máquinas rotativas ocasionan vibraciones en los componentes en cuatro frecuencias:

- Frecuencia fundamental de jaula (FTF).
- Frecuencia de paso por el aro exterior (BPFO).
- Frecuencia de paso por el aro interior (BPFI).
- Frecuencia de giro de bola/de rodillo (BSF).

2.2.2.1. Fallo en la pista externa

En rodamientos de bolas que tengan un ángulo de contacto, el defecto en la pista externa generará una frecuencia de paso por el aro exterior (BPFO) y armónicos. Estos armónicos son generados porque una gran área de la pista externa está en zona de carga. Cuantos más armónicos generen las picaduras por fatiga, mayor será el área de picaduras; entonces, la longitud del defecto se puede determinar por el contenido de los armónicos en el caso de picaduras poco profundas por fatiga (Navarro Carmona, 2016).

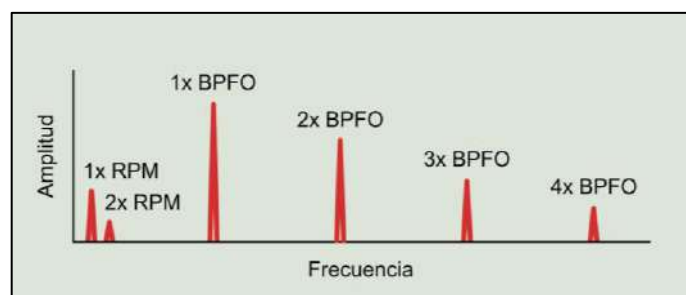


Ilustración 2-2: Espectro falla en la pista externa

Fuente: <https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/objetos/tutorial215.pdf>

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

2.2.2.2. Fallo en la pista interna

Similar a la falla en la pista externa se generan una frecuencia de paso por el aro interior (BPFI), y armónicos; el contenido de los armónicos puede ser usado para determinar el tamaño del defecto; los defectos en la pista interna de los rodamientos de bolas y rodillos generan una señal única porque los elementos rodantes que están frente a la zona de carga tienen un espacio vacío.

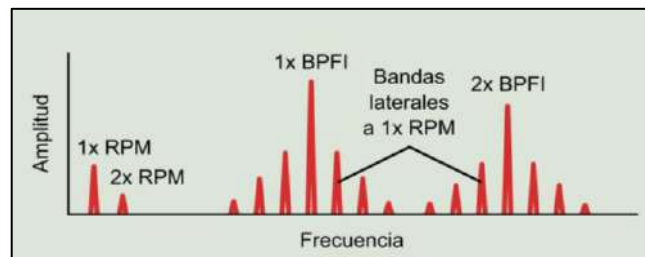


Ilustración 2-3: Espectro falla en la pista interna

Fuente: <https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/objetos/tutorial215.pdf>

Ecuación
$$\mathbf{BPFI} = \text{RPM} \frac{N_b}{2} \left(1 + \frac{B_D}{P_D} \cos(\beta) \right) \quad (2-2)$$

2.2.2.3. Fallo en el elemento rodante

Cuando un defecto en el elemento rodante golpea la pista de un rodamiento genera la frecuencia de paso de los elementos rodantes (BSF), si el elemento rodante rota de una manera que permita al defecto golpear la pista interna y externa genera dos veces la BSF; esta frecuencia se debe a condiciones mecánicas y no puede ser estimable en algunos casos. Los defectos en los elementos rodantes golpean o se agarran de la jaula sin importar de su rotación, y generan la frecuencia de paso de la jaula (FTF), esta frecuencia producida por elementos rodantes con defectos se presenta rara vez como una frecuencia discreta (Navarro Carmona, 2016).

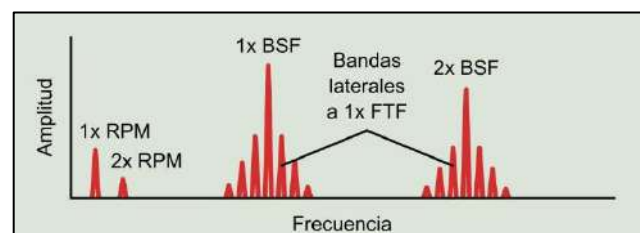


Ilustración 2-4: Espectro fallo en el elemento rodante

Fuente: <https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/objetos/tutorial215.pdf>

Ecuación
$$\mathbf{BSF} = \text{RPM} \frac{P_D}{2B_D} \left[1 - \left(\frac{B_D}{P_D} \cos(\beta) \right)^2 \right] \quad (2-3)$$

2.2.2.4. *Desgaste de la jaula*

El desgaste de la jaula produce la frecuencia de paso de la jaula (FTF), esta frecuencia no sucede muy a menudo, pero aparece cuando algunos defectos perjudican la rotación de la jaula. La gran variedad de problemas que ocasionan la aparición de la FTF se deriva principalmente de la mala lubricación que se da al rodamiento y por la falta de alguno de los componentes internos (Navarro Carmona, 2016)

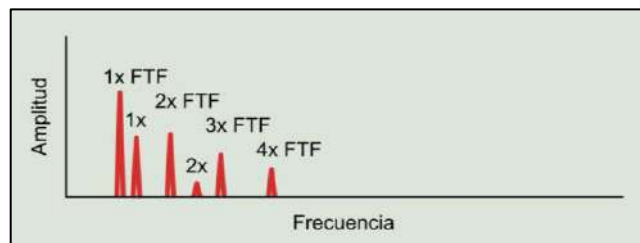


Ilustración 2-5: Espectro desgaste de la jaula

Fuente: <https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/objetos/tutorial215.pdf>

Ecuación
$$\mathbf{FTF} = \text{RPM} \frac{1}{2} \left(1 - \frac{B_D}{P_D} \cos(\beta) \right) \quad (2-4)$$

Donde:

N_b : el número de bolas del rodamiento.

P_D : diámetro primitivo (medida aritmética de los diámetros de la pista exterior e interior).

B_D : diámetro de la bola.

β : ángulo de contacto.

2.2.3. *Métodos de análisis para la detección de fallas en rodamientos*

Para la detección de fallas en los rodamientos se puede utilizar diversos métodos con la finalidad de determinar con exactitud los daños que puedan presentar máquinas, equipos o componentes. Estos métodos se validan gracias a normas predeterminadas como es la norma ISO 18434-1 para análisis termográfico y la ISO 20816-1:2016 (Vibración mecánica: medición y evaluación de la vibración de la máquina) para análisis de vibraciones mecánicas, cartas de Charlotte, etc. (Guamán Ortega y Huerta Romero, 2022).

2.2.3.1. *Análisis de vibraciones*

Este análisis se utiliza para medir vibraciones anormales o cambios en el modo de vibraciones características de cada máquina, debido a esto el monitoreo de las vibraciones se pueden determinar diferentes tipos de fallos. Las vibraciones se miden con la ayuda de acelerómetros los cuales se colocan en tres posiciones (horizontal, vertical y axial) con respecto al elemento a medir.

El diagnóstico de vibraciones requiere diversas técnicas porque puede presentarse diferentes problemas con síntomas similares. El análisis vibracional no puede determinar el tipo, la causa o gravedad del fallo (Guamán Ortega y Huerta Romero, 2022).

2.2.3.2. *Termografía infrarroja*

El estudio de la termografía se basa en observar el comportamiento térmico de los componentes, diagnosticar sus defectos y evaluar la severidad. En general los rodamientos en un equipo rotativo se calientan cuando tienen problemas

La inspección termográfica se realiza con cámaras termográficas ya que éstas miden las emisiones naturales de radiación infrarroja que emite un objeto generando una imagen térmica sin contacto físico (Guamán Ortega y Huerta Romero, 2022).

2.2.4. *Selección de rodamiento*

Para elegir los rodamientos se deben tener en cuenta aspectos como: equipos o maquinaria donde se utilizarán, el diseño, características y elementos relacionados con el rodamiento, ya que cada una de estas decisiones de selección permitirá obtener la eficiencia y confiabilidad que debe lograrse.

En la selección del rodamiento hay varios factores que deben tenerse en cuenta para que la máquina o equipo donde son utilizados para satisfacer las solicitudes requeridas, no hay reglas fijas en la selección de tipos de rodamientos. Algunos de estos factores a considerar son la carga, espacio requerido, velocidad, temperatura y rigidez (García Vallejos, 2022).

Carga de diseño P_d

Ecuación $P_d = V * R$ (2-5)

Donde:

V: Factor de rotación (1, si gira en la pista interior)

R: Carga radial

Duración de diseño L_d

Ecuación
$$L_d = h * RPM * \left(60 \frac{\text{min}}{h} \right) \quad (2-6)$$

h: Duración del diseño (para motores eléctricos).

Capacidad de carga dinámica básica (C)

Ecuación
$$C = P_d * \left(\frac{L_d}{10^6} \right)^{\frac{1}{k}} \quad (2-7)$$

k: Constante **k=3** (para rodamientos de bolas).

2.3. Desgaste

El desgaste se realiza por el contacto entre superficies luego de una determinada condición de trabajo, en el cual se genera pérdida de material causando una disminución en la tolerancia de las piezas en las propiedades del material. Por consecuencia del desgaste las piezas son el rayado, picado o agrietamiento superficial o sub-superficial. De darse un desgaste continuo sin prevención de los elementos en contacto puede generar resultados como la rotura parcial o total de las piezas (Ballesteros Ospina, 2019).

2.3.1. Mecanismos de desgaste

2.3.1.1. Desgaste adhesivo

Se da cuando dos superficies en contacto presentan una afinidad superficial alta generando una atracción tal que ambas piezas se adhieran una contra la otra. Existen otras propiedades que influyen en el desgaste adhesivo entre ellos se encuentran la topografía de la superficie (asperezas), textura superficial (rugosa o lisa) o las propiedades mecánicas de los materiales como el módulo de Young (E), dureza, ductilidad.

2.3.1.2. *Desgaste abrasivo*

Este se genera cuando cuerpos de diferentes durezas entran en contacto, generando rayados o arados en la superficie del material duro sobre el blando. La calidad de la superficie forma una parte importante en el desgaste abrasivo no solo en la textura sino en su rugosidad, porque, dependiendo de los picos de la rugosidad, especialmente en el material rígido, esto puede ser un promotor para producir surcos abrasivos de una manera más rápida. Si la dureza de una superficie es una secuencia de 25% más alta que las otras se generan las condiciones necesarias para un desgaste abrasivo severo.

Con el finde disminuir los efectos del desgaste por abrasión en pares deslizantes, la implementación de pares tribológicos con durezas similares ayuda a disminuir este fenómeno (Ballesteros Ospina, 2019).

2.4. **Lubricación**

La lubricación es un proceso mediante el cual se reduce la fricción entre dos partes móviles introduciendo un fluido para separar las dos superficies de contacto.(García Vallejos, 2022).



Ilustración 2-6: Lubricación

Fuente: <https://ingenieromarino.com/introduccion-al-circuito-de-lubricacion/>

2.4.1. *Importancia de la lubricación.*

- Reducir la fricción.
- Reducir el desgaste de las piezas.
- Absorber/mitigar choques.
- Reducir/controlar la temperatura.

- Proteger de la corrosión.
- Aislar los componentes de la contaminación.
- Limpiar/eliminar los contaminantes.

2.4.2. Tipos de lubricantes

- Lubricantes gaseosos: aire.
- Lubricantes líquidos: aceite.
- Lubricantes semisólidos: grasas.
- Lubricantes sólidos: grafito.

2.4.3. Funciones del lubricante

- Reducción de fricción y desgaste.
- Control de la temperatura.
- Control de contaminación.
- Prevención de ataques químicos.
- Transmisión de potencia.

2.4.4. Pares tribológicos

La lubricación en los pares tribológicos es quizás la parte más fundamental dentro de la tribo operación. El aceite seleccionado por recomendación del fabricante o por el profesional encargado del mantenimiento, lubrica las partes sometidas a fricción, protege contra la corrosión, absorbe y neutraliza los contaminantes, reduce el desgaste, disminuye el calor de las superficies friccionantes y evita el gripado (Granizo, 2017).

2.4.5. Grasa

Las grasas se las define como sólidos obtenidos de combinar en un lubricante líquido un agente espesante. Contienen del 65 al 95% en peso de aceite lubricante, del 5 al 35% de espesante y del 0 al 10% de aditivos (líquidos y/o sólidos).

Dependiendo de la cantidad de sólidos, el producto resultante se clasifica como grasa (< 10% sólidos), grasa-pasta (del 10 al 40% de sólidos) y pasta (>40 % sólidos) (García Vallejos 2022).



Ilustración 2-7: Grasa en rodamientos

Fuente: <https://eissa.mx/lubricacion/>

2.4.6. Tipos de grasa

Los tipos de grasa se clasifican por el empleo de un espesante comúnmente son:

2.4.6.1. Grasas para aplicaciones a temperaturas medias (MT)

Son denominadas grasas multiuso. Su uso es recomendable para equipos que trabajan con temperaturas de -30 a $+110$ °C; por lo cual, éstos se pueden emplear en la mayoría de los casos. La viscosidad del aceite base debe estar entre 75 y 220 mm²/s a 40 °C. La consistencia según la escala NLGI es normalmente 2 o 3. (García Vallejos, 2022).

2.4.6.2. Grasas para aplicaciones a altas temperaturas (HT)

Permite su aplicación a temperaturas de hasta $+150$ °C. La estabilidad a la oxidación se mejora con ciertos aditivos.

La viscosidad del aceite base es de unos 110 mm²/s a 40 °C, no debe disminuirse mucho de este valor, debido a que la grasa se puede volver rígida a temperatura de ambiente y aumentar del par de rozamiento (García Vallejos, 2022).

2.4.7. Selección de lubricante

La selección de la lubricación adecuada es uno de los factores más importantes para proteger sus componentes permitiendo crear una base sólida para la confiabilidad de los equipos. Ésta se debe involucrar los requisitos de la maquinaria, en su entorno operacional, precio, etc.

La pregunta más habitual que se realizan en maquinarias nuevas es el tipo de lubricantes se utilizará para el funcionamiento adecuado y las protecciones necesarias para aumentar su vida

útil, como punto de partida inicial se deben consultar manuales de operación y mantenimiento del equipo y considerar las recomendaciones del fabricante. Sin embargo, la decisión final del lubricante debe recaer en la compañía que el equipo adquirió porque conoce el entorno operativo y las condiciones bajo las cuales funcionará.

Es necesario que las empresas comprendan sus lubricantes para enfatizar este proceso, en el cual sus características técnicas se detallaran, propiedades físicas y químicas, grado de viscosidad, aditivos, sus requisitos de desempeño, sus aplicaciones, entre otros, dependiendo de las necesidades de cada empresa para garantizar que el lubricante correcto llegue a sus equipos (García Vallejos, 2022).

2.4.8. Cantidad de grasa para re-lubricación de rodamientos

Un exceso de grasa en un rodamiento aumenta la temperatura de operación y puede ocasionar un daño al rodamiento. Por otra instancia la falta de lubricación es un factor determinante para la falla del rodamiento.

Los fabricantes de rodamientos han establecido una fórmula para calcular la cantidad necesaria para re-lubricar un rodamiento basados en las dimensiones de este.(García Vallejos, 2022).

2.4.9. Alimentación de grasa para rodamiento

$$\text{Ecuación} \qquad \qquad \qquad \mathbf{Grs=0.005*D*B} \qquad \qquad \qquad (2-8)$$

Donde:

Grs: Cantidad en gramos a dosificar (considerar la densidad promedio de las grasas es de aproximadamente 1 gr/cm³, por lo cual 1gr ~ 1cm³)

D: Diámetro exterior del rodamiento, mm

B: Ancho del rodamiento, mm

2.5. Chumacera

Se conoce como chumacera a un cuerpo de acero moldeado, que consiste en algunos agujeros diseñados para fijar el cuerpo en una máquina o superficie. Se encuentra dentro del cuerpo de la chumacera alojado el rodamiento (García Vallejos, 2022).

2.5.1. Tipos de chumacera

2.5.1.1. Tensora

A menudo se usa en cintas transportadoras para alinear la banda y eje. Por tal motivo se mantiene la banda todo el tiempo centrado correctamente. Tiene una guía para aflojar o apretar la pista (García Vallejos, 2022).

2.5.1.2. Pared

Suele instalarse fija a la máquina y en ella se colocan los ejes. Posee cuatro agujeros para fijarla en el soporte.

2.5.1.3. Brida

Permite alinear los ejes de forma vertical y está sujeta a dos tornillos. Su ventaja principal es la poderse calibrar a voluntad según su uso.

2.6. Ejes

Los ejes son dispositivos mecánicos que transmiten movimiento, éstos son parte de cualquier sistema mecánico donde se necesite transmitir potencia a partir de un motor a otros elementos giratorios (García Vallejos, 2022).

2.7. Tipos de desalineación

2.7.1. Desalineación paralela

Es un estado en el cual los ejes geométricos de los ejes mecánicos son paralelos, aunque no coincidentes. La desalineación paralela se cuantifica midiendo la distancia entre los ejes en cada plano de alineación. (Sancho Bru, 2007).

Produce una fuerza de cizallamiento y un momento de flexión en la extremidad acoplada de cada flecha, niveles de vibración altos en 2x y 1x. Se producen en las direcciones radiales o tangenciales en los rodamientos en cada lado del acoplamiento, los cuales son de fase opuesta. En la mayoría de los casos, los componentes 2x estarán más altos que los 1x. Los niveles axiales

1x y 2x estarán bajos solamente en desalineación paralela. y su fase estará opuesta.(SERNAN LÓPEZ, 2023).

2.7.2. Desalineación angular

Condición en que los ejes geométricos no son paralelos, pero se cortan en el punto medio entre los platos del acoplamiento. No existe la desalineación paralela. El valor que determina este tipo de desalineación es el ángulo que forman el eje, el cual se mide en los dos planos de alineación(Sancho Bru, 2007).

Produce un momento de flexión en cada flecha, esto genera una fuerte vibración en 1x y algo de vibración en 2x en la dirección axial en ambos rodamientos y de fase opuesta. También habrá niveles relativamente fuertes en direcciones radiales o transversales 1x y 2x, pero en fase (SERNAN LÓPEZ, 2023).

2.7.3. Desbalanceo estático

Resulta en fuerzas 1x en los dos rodamientos de soporte del rotor, y las fuerzas de ambos rodamientos están en la misma dirección, sus señales de vibración son en fase una con otra. El desbalanceo estático puro, producirá un fuerte pico 1x en el espectro de vibraciones y su amplitud será proporcional a la gravedad del desbalanceo y al cuadrado de las RPM. Los niveles relativos de la vibración 1x en los rodamientos dependen de la ubicación del punto pesado en el rotor (SERNAN LÓPEZ, 2023).

2.7.4. Diseño y selección de ejes

El diseño del diámetro del eje se debe relacionar éste con un valor estándar cercano a las condiciones necesarias para el módulo, el momento de torsión se toma en cuenta la transmisión de potencia.(Guamán Ortega y Huerta Romero, 2022).

Torque nominal (T_n)

Ecuación
$$T_n = \frac{60 * P}{2\pi * N} \quad (2-9)$$

Donde:

T_n : Torque nominal [Nm]

P: Potencia del motor [W] [Joule/s]

n: Velocidad de giro del motor [rpm] [rad/s]

Momento de torsión

Ecuación
$$\mathbf{M_T} = \frac{\tau_{adm} * \mathbf{J}}{\mathbf{c}} \quad (2-10)$$

Donde:

M_T: Momento de torsión [Nm]

τ_{adm}: Esfuerzo admisible en el eje [Pa]

J: Momento polar de inercia [N]

c: Radio del eje [mm]

d: diámetro del eje

Momento polar de inercia (J)

Ecuación
$$\mathbf{J} = \frac{\pi * \mathbf{c}^4}{2} \quad (2-11)$$

Ecuación
$$\mathbf{c} = \frac{\mathbf{d}}{2} \quad (2-12)$$

2.7.5. Alineación de ejes

La desalineación se la define como la falta de coincidencia espacial de los ejes geométricos correspondientes a dos ejes de transmisión acoplados. Este concepto puede ser aplicado a otros tipos de transmisiones en las que los ejes están dispuestos paralelamente, la desalineación denota ausencia de paralelismo entre los ejes geométricos.

Dada una máquina con dos partes conductora y conducida conectadas mediante un acoplamiento, la alineación de los ejes es un procedimiento que consiste en la recolocación de las partes con el objetivo de que coincidan en el espacio los ejes geométricos de ambas partes.

El procedimiento de alineación de ejes se realiza moviendo sólo una de las partes parte móvil mientras que se mantiene fija la posición de la otra parte fija. (Sancho Bru, 2007).

2.7.6. Consecuencia de una mala alineación

- Desgaste y fallo prematuro del acoplamiento.
- Recalentamiento, desgaste y fallo prematuro en cojinetes y rodamientos.
- Sobrecarga y curvado de rotores y cigüeñales.
- Desgaste en empaquetaduras y sellos mecánicos.
- Fallo prematuro del eje por fatiga del material.
- Ruido.
- Vibraciones que disminuyen la vida de todos los elementos mecánicos y alimentan la desalineación.
- Mayor consumo de energía.

2.7.7. Tipos de alineación de ejes

2.7.7.1. Alineación perfecta

Este es un estado en el que los dos ejes son completamente colineales y funcionan como un solo eje sólido cuando se acoplan. La alineación completa solo ocurre cuando los ejes coinciden con la proyección del plano (horizontal y vertical).

2.7.7.2. Desalineación combinada

Ocurre cuando los ejes no son paralelos y no intersecan en el centro del acoplamiento. Al trabajar en los planos horizontal y vertical, cuando hay una desalineación combinada ésta es presentada en cada plano. Una magnitud es la desalineación paralela DP la cual es igual a la distancia entre los ejes en el centro del acoplamiento.

2.7.8. Tolerancias de desalineación

En el caso de acoplamientos sin eje intermedio o con un eje corto menor que 500 mm, existe una tolerancia en la desalineación paralela y en desalineación angular. Así como en la: desalineación paralela (mm), desalineación angular (mrad) y velocidad de giro del eje (rpm). Como es lógico, el criterio considera que la combinación de un valor de desalineación paralela con un valor de desalineación angular es más perjudicial para la máquina que la sola existencia del mismo valor de desalineación paralela o la sola existencia del mismo valor de desalineación angular. (Sancho Bru, 2007).

2.8. Termografía

La termografía está relacionada con las diferencias de temperatura y emisividad de las superficies examinadas. En general se trata de determinar las temperaturas y poder medir compensar parcialmente el efecto de la emisividad.

La flexión en la superficie de partes del sistema de radiaciones provenientes de otra parte o de la misma; así como el efecto de los flujos convectivos representan inconvenientes que dificultan la interpretación de las imágenes termográficas. (LOOR FERNÁNDEZ, QUIROZ FERNÁNDEZ y LLOSAS ALBUERNE, 2021).

2.9. Análisis de vibraciones

El análisis vibracional permite analizar cada uno de los problemas más habituales de un equipo de trabajo antes de que falle, las frecuencias de vibración se pueden observar utilizando herramientas de análisis como el software Maintraq Predictive, que se configura con los parámetros específicos que el operador desea obtener de la máquina. (ROBLES SANGURIMA, 2022).

2.10. Etapa de daño en rodamiento

2.10.1. Etapa 1:

Las indicaciones iniciales en los rodamientos son las frecuencias ultrasónicas que oscilan entre 250,000 - 350,000 Hz, a medida que se incrementa el desgaste oscilan aproximadamente 20,000 - 60,000 Hz. Éstas son frecuencias evaluadas por el filtro Spike Energy (gSE), por HFD(g) y por el Pulso de Choque (dB). El valor real depende de la ubicación de la lectura y de la velocidad de giro de la máquina. La adquisición de espectros envolventes de alta frecuencia corrobora si el cojinete se encuentra en la etapa 1. (CHARLOTTE, 1961).

2.10.2. Etapa 2:

Los defectos ligeros del rodamiento comienzan a excitar las frecuencias naturales (f_n) de sus componentes, que generalmente ocurren en un rango de 30.000 y 120.000CPM. Dichas frecuencias naturales también pueden ser resonancias de las estructuras de apoyo del rodamiento. Las frecuencias de la banda lateral aparecen por encima y por debajo del pico de frecuencia natural al final de la etapa 2, el pico de energía crece. (CHARLOTTE, 1961).

2.10.3. Etapa 3:

Aparecen los armónicos y las frecuencias de los defectos de los rodamientos a medida que se produce el desgaste, aparecen más armónicos de la frecuencia defectuosa y aumenta el número de bandas laterales, tanto alrededor de ellos como alrededor de las frecuencias naturales del componente del cojinete. El pico de energía sigue creciendo en esta etapa el desgaste suele ser perceptible y se puede extender a toda la periferia del cojinete, especialmente cuando varían las bandas laterales bien formadas acompañan a los armónicos de frecuencia del defecto del cojinete. Los espectros demodulados de alta frecuencia y envolventes ayudan a confirmar la etapa 3. (CHARLOTTE, 1961).

2.10.4. Etapa 4:

Se afecta la amplitud 1x RPM. Crece, y normalmente causa el crecimiento de muchas armónicas de 1x. Las frecuencias naturales discretas de rodamientos y de componentes comienzan a desaparecer y se reemplazan con piso de ruido de alta frecuencia, de banda ancha y aleatorio. Además, las amplitudes tanto del piso de ruido de alta frecuencia y pico de energía pueden en efecto disminuir; sin embargo, justo previo al paro catastrófico, el pico de energía y HFD por lo general crecen a amplitudes excesivas. (CHARLOTTE, 1961).

2.11. Bomba hidráulica manual

Se utiliza para aumentar la presión del aceite mediante la aplicación de energía permitiendo así que dicho fluido se mueva de una zona de mejor presión hacia otra de mayor presión. Ésta se basa en crear un vacío en la entrada de la bomba, forzando el aceite desde el tanque hacia la entrada y hacia la bomba. La acción mecánica transporta el aceite a la salida de la bomba al hacerlo, lo introduce en el sistema hidráulico. (CABRERA REINOSO y SALAS LARGO, 2022).

2.11.1. Modos de fallo

Contaminación del lubricante hidráulico es una de las muchas causas de las fallas en los equipos hidráulicos es la contaminación del fluido hidráulico. La contaminación en el sistema produce el desgaste de componentes lo que ocasiona las fallas en el sistema hidráulico y daño en sus accesorios. Profundidad de inserción incorrecta uno de los errores más comunes es causado por empalmes que no se insertan a la profundidad adecuada, lo que compromete la conexión, exponiendo al operador del sistema a una condición peligrosa. (CABRERA REINOSO y SALAS LARGO, 2022)

CAPÍTULO III

3. MEJORA DEL MÓDULO DE ENSAYOS DE LA VIDA ACELERADA

En este capítulo se realiza el diagnóstico técnico del estado inicial del módulo de ensayos de la vida acelerada de rodamientos, además del diseño, selección y montaje de los elementos de éste, con todos los requerimientos, cálculos y parámetros para su construcción. Para la representación global del sistema se emplea un software de diseño mecánico.

3.1. Descripción del módulo de ensayos de vida acelerada de rodamientos

El módulo de ensayos de vida acelerada se encuentra en el Laboratorio de Diagnóstico Técnico y Eficiencia Energética de la Facultad de Mecánica, el cual cuenta con un motor que se encuentra acoplado a un eje con dos chumaceras y el rodamiento donde se toman mediciones de vibración, para analizar los espectros de vibración como se muestra en la Ilustración 3-1. Para esto el módulo se encuentra conectado a un tablero eléctrico para proteger los componentes de mando y control del sistema eléctrico.



Ilustración 3- 1: Estado inicial del módulo

Realizado por: Guanuche Lady, Peñafiel Vivian, 2023

El módulo actualmente se encuentra fuera de funcionamiento, pero cabe mencionar que éste cuenta con su mesa de trabajo y conexiones que se hallan en buen estado. Además, cada elemento cuenta con su soporte y también se encuentran los puntos para las mediciones de vibración. Los componentes del módulo se indican en la Tabla 3-1.

Tabla 3-1: Componentes del módulo

Cantidad	Descripción
1	Motor eléctrico de 5 hp
1	Acople tipo mandíbula L110
2	Chumacera
1	Rodamiento 6206
1	Eje
1	Bomba hidráulica SYK-8
2	Soporte de la bomba hidráulica
2	Soporte del motor
2	Soporte de la chumacera
1	Caja de rodamiento

Realizado por: Guanuche Lady, Peñafiel Vivian, 2023

3.2. Diagnóstico técnico inicial del módulo

Para determinar el estado técnico inicial, se realiza pruebas preliminares en el módulo existente, se emplea dos métodos de diagnóstico técnico: análisis termográfico y análisis vibracional, para así determinar actividades de mantenimiento y repotenciación de éste. El motivo fundamental es conocer los datos técnicos, funciones y características de todos los elementos del módulo.

3.2.1. Análisis termográfico

Se realiza el análisis termográfico en todos los elementos del módulo para determinar su estado técnico actual y verificar si éstos sirven o se deben reemplazar. Para realizar esta prueba se debe tener el equipo prendido por un tiempo pertinente.



Ilustración 3-2: Cámara termográfica Satir HotFind VR

Realizado por: Guanuche Lady, Peñafiel Vivian, 2023

Los termogramas se obtienen con la cámara termográfica Satir HotFind VR, la cámara percibe la intensidad de la radiación térmica y obtiene señales eléctricas las cuales generan una imagen con temperaturas distribuidas así se obtiene una matriz termométrica y después se genera una imagen en diferentes tonalidades de colores, donde se debe medir la temperatura de cada pixel. Las características de la cámara se muestran en la Tabla 3-2.

Tabla 3-2: Características de la cámara termográfica Satir HotFind VR

Característica	Valor
FOC/Mín. (Distancia de enfoque)	20° x 15° / 0,1 m
Resolución espacial	2,2 mrad
Sensibilidad térmica	≤ 0,08 °C @ 30 °C 100 mk
Resolución	160 x 120 Pixeles
Rango espacial	8 – 14 μm
Enfoque	Manual
Rango de medida	-20 °C + 250 °C hasta +1500 °C (opcional)
Precisión	± 2 °C, ± 2% de las lecturas

Realizado por: Guanuche Lady, Peñafiel Vivian, 2023

Fuente: Catálogo WEG

Para realizar las mediciones se siguen estos pasos:



Ilustración 3-3: Pruebas iniciales (termográfica).

Realizado por: Guanuche Lady, Peñafiel Vivian, 2023

- Revisar las conexiones y funcionamiento del módulo.
- Energizar el módulo
- Encender la cámara termográfica Satir HotFind VR.
- Retirar la protección del lente de la cámara termográfica Satir HotFind VR.
- Configurar la cámara termográfica con valores como; la temperatura ambiente y humedad relativa, además de la emisividad de 95% (por las características del material).
- Enfocar la cámara colocando una mano contra la pared a una distancia de 1 metro del lente.

- Verificar que la cámara termográfica este con la configuración “MIX” para obtener la imagen real y la termográfica del mismo.
- Realizar un barrido por todo el módulo con el uso de la cámara para hacer una evaluación general.
- Tener precaución que los termogramas deben ser registrados a un metro del lente de la cámara y de forma perpendicular al elemento analizado.
- Extraer la tarjeta de memoria y copiar los archivos (Termogramas) a una computadora.
- Abrir los archivos con la aplicación SATIR Report y obtener el valor de temperatura máxima deseada.

3.2.2. *Resultados análisis termográfico*

Con el uso de la cámara termográfica Satir HotFind VR y el software SATIR Report en base a la norma ISO 18434-1 se realiza el análisis termográfico, tomando en cuenta aspectos como la humedad y temperatura ambiente a las que se encuentra el espacio físico del módulo, además, de la emisividad del material. Tomando como criterios de severidad los rangos de temperatura que pueden alcanzar los rodamientos. Para más información el informe completo se encuentra en el ANEXO A.

3.2.2.1. *Reporte termográfico; motor*

Para el motor marca WEG 22 de 5 hp se evidencia un incremento en la temperatura en el rodamiento interno y según WEG el rango de temperatura a la que puede trabajar la grasa de un rodamiento de motor antes de perder sus características físicas se debe a dos factores su temperatura ambiente y la temperatura del elemento, ésta debe variar entre 60 °C y 65 °C. por ende considerando la temperatura del motor y la temperatura ambiente obtendrá una temperatura de 61,5 °C. Debido a esto se recomienda cambiar el rodamiento.

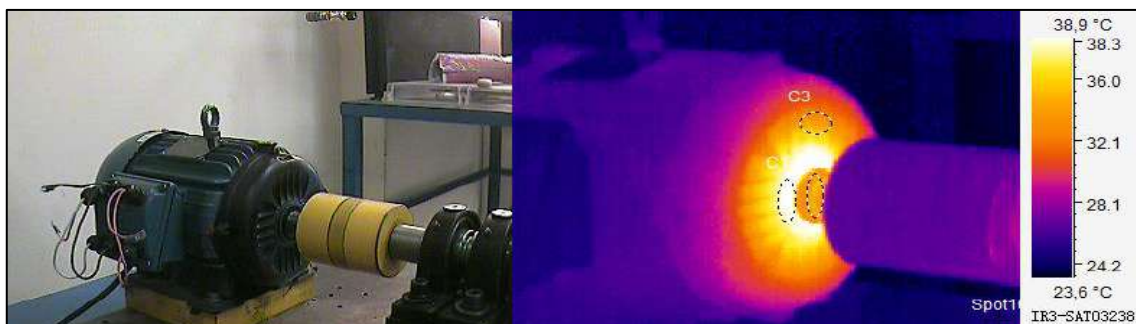


Ilustración 3-4: Termograma del motor

Fuente: Software SATIR Report

Realizado por: Guanuche Lady, Peñafiel Vivian, 2023

3.2.2.2. Reporte termográfico; chumacera 1.

La chumacera seleccionada anteriormente es la UCP 208 de diámetro de 40 mm, donde se evidencia un incremento de temperatura en ésta de 57,2 °C y según SKF los rangos de temperatura a la que puede trabajar la grasa de un rodamiento antes de perder sus características físicas debe variar entre -40°C a +120°C. Se recomienda el cambio de ésta debido al incremento en la temperatura.

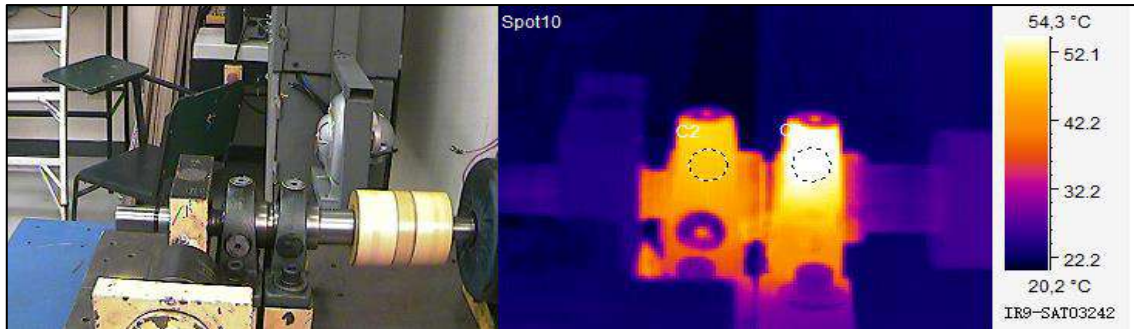


Ilustración 3-5: Termograma de la chumacera 1

Fuente: Software SATIR Report

Realizado por: Guanuche Lady, Peñafiel Vivian, 2023

3.2.2.3. Reporte termográfico; chumacera 2

La chumacera seleccionada anteriormente es la UCP 208 de diámetro de 40 mm, donde se evidencia un incremento de temperatura en ésta de 48,7 °C y según SKF los rangos de temperatura a la que puede trabajar la grasa de un rodamiento antes de perder sus características físicas debe variar entre -40°C a +120°C. Se recomienda el cambio de ésta debido al incremento en la temperatura.

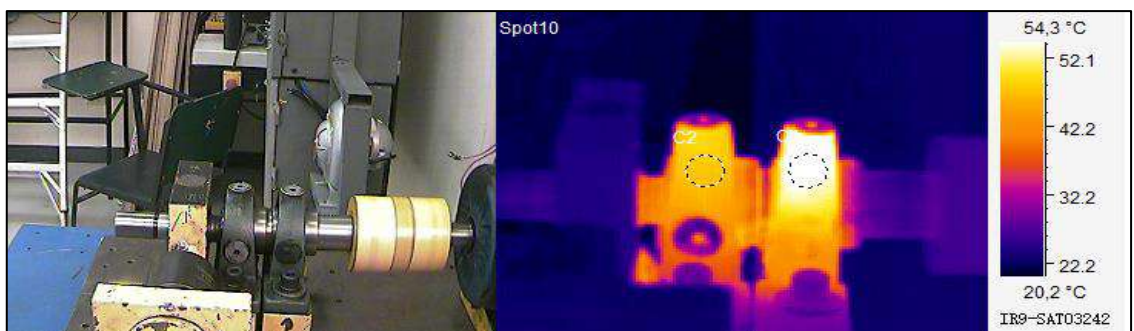


Ilustración 3-6: Termograma chumacera 2

Fuente: Software SATIR Report

Realizado por: Guanuche Lady, Peñafiel Vivian, 2023

3.2.2.4. Reporte termográfico; caja de rodamiento

Los rodamientos colocados anteriormente son de tipo SKF 6206 rígido de bolas de simple hilera de diámetro de 30 mm, no se evidencia un incremento de temperatura ya que según SKF los rangos de temperatura a la que puede trabajar la grasa de un rodamiento antes de perder sus características físicas debe variar entre $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $+100\text{ }^{\circ}\text{C}$, por ende, el rodamiento está en condiciones óptimas.

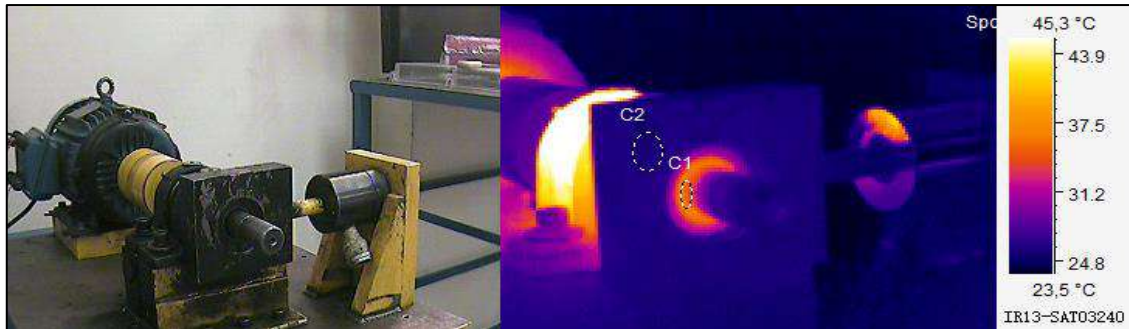


Ilustración 3- 7: Termograma rodamiento y caja de rodamiento

Fuente: Software SATIR Report

Realizado por: Guanuche Lady, Peñafiel Vivian, 2023

3.2.3. Análisis vibracional

Se realiza un análisis vibracional de todos los elementos del módulo como es: el motor, las chumaceras y el rodamiento. Las mediciones se obtuvieron con el colector de datos VibraCheck ABG 200 es un analizador de vibraciones mecánicas de dos canales, colector de datos y balanceador, ideal para controlar la confiabilidad de las máquinas.



Ilustración 3- 8: Colector de datos VibraCheck 200 ABG

Realizado por: Guanuche Lady, Peñafiel Vivian, 2023

Tabla 3-3: Características del colector de datos VibraCheck 200ABG

Característica	Valor
Rango de tensión de entrada	± 22 V
Rango de frecuencia	DC a 10 kHz
Rango de frecuencia acelerómetro	2 Hz – 10Hz
Sensibilidad acelerómetro	100 mV/g
Rango de temperatura	-50 °C a 120 °C

Realizado por: Guanuche Lady, Peñafiel Vivian, 2023

Fuente: Catálogo IDEAR

Para esto se siguieron los siguientes pasos:



Ilustración 3- 9: Pruebas estado inicial (vibración).

Realizado por: Guanuche Lady, Peñafiel Vivian, 2023

- Revisar las conexiones y el funcionamiento del módulo.
- Energizar el módulo
- Configurar el software MAINTraQ Predictive 2.1
- Cargar la configuración en el analizador de vibraciones.
- Encender el analizador de vibraciones y colocar el acelerómetro en el canal 1.
- Colocar en el acelerómetro en tres puntos; horizontal, vertical y axial respecto; considerando el elemento analizar.
- Transferir los datos al software.

3.2.3.1. Configuración del software MAINTraQ Predictive 2.1

- **Paso 1.** Al iniciar el programa, se da clic en el botón “Configurar Base de Datos” y se crea una nueva base de datos.

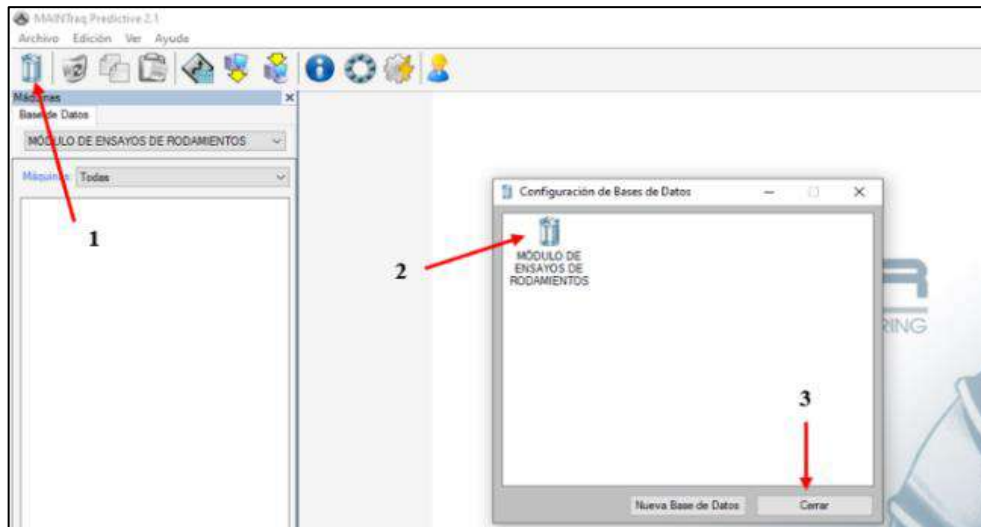


Ilustración 3- 10: Crear una base de datos.

Fuente: Software MAINTraq Predictive 2.1

Realizado por: Guanuche Lady, Peñafiel Vivian, 2023

- Paso 2.** Se procede a crear una carpeta dando clic derecho y se selecciona la opción en “Nueva Carpeta”, dentro de ésta se crea una “Máquina” donde se puedan registrar los datos.

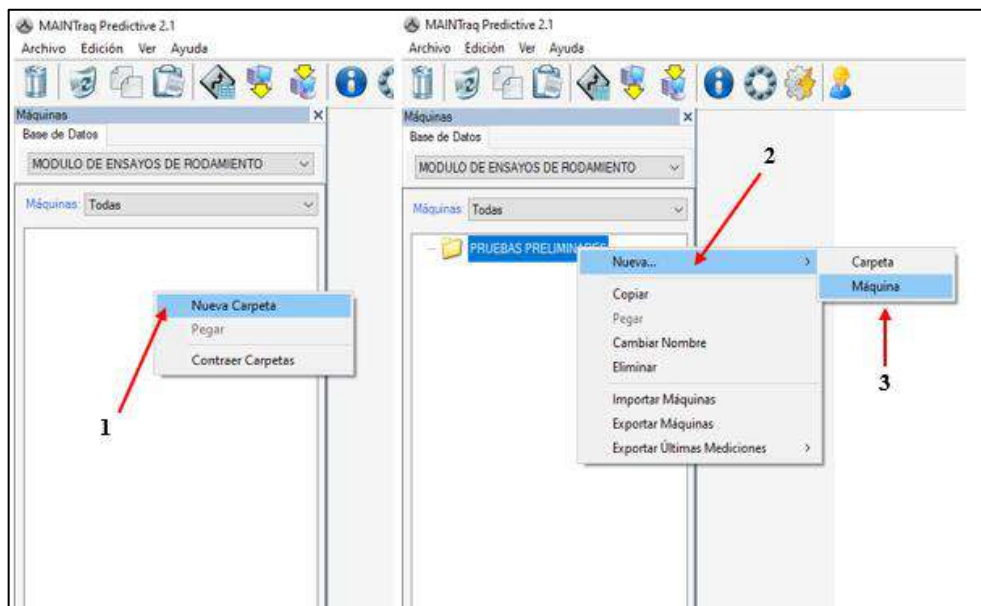


Ilustración 3- 11: Crear carpetas (MAINTraq Predictive).

Fuente: Software MAINTraq Predictive 2.1

Realizado por: Guanuche Lady, Peñafiel Vivian, 2023

- Paso 3.** Con la máquina creada se debe configurar ésta, con las especificaciones técnicas de la misma, como el nombre, potencia, rpm, etc. Además de esto se puede agregar una imagen del motor y crear etiquetas según el análisis.

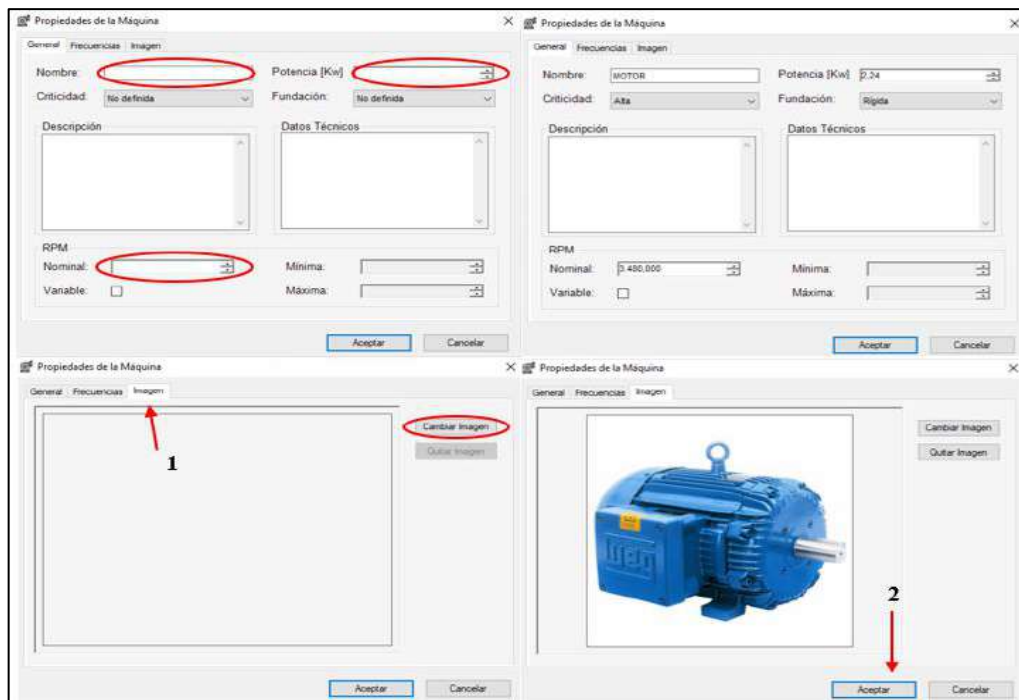


Ilustración 3- 12: Crear máquinas (MAINTraQ Predictive)

Fuente: Software MAINTraQ Predictive 2.1

Realizado por: Guanuche Lady, Peñafiel Vivian, 2023

- Paso 4.** Dar clic derecho sobre la máquina y se despliega una pantalla seleccione en “Nuevo Punto” y se marca en “De Vibraciones”, entonces se configura la dirección, ubicación, tipo de apoyo y su lubricación (se selecciona el tipo de “Apoyos”). Aquí se crear las tres direcciones para el análisis vertical, horizontal y axial, ya sea para la unidad motriz o conducida dependiendo del caso.

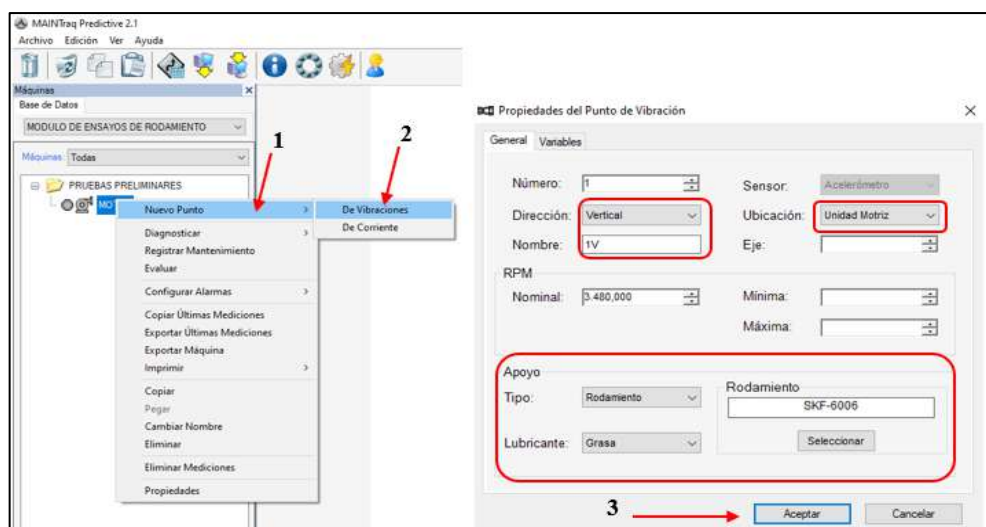


Ilustración 3- 13: Puntos de medición (MAINTraQ Predictive)

Fuente: Software MAINTraQ Predictive 2.1

Realizado por: Guanuche Lady, Peñafiel Vivian, 2023

- Paso 5.** Una vez creados los puntos de apoyo se da clic derecho sobre el punto y se crean las “Formas de Onda” y “Espectros” tanto para velocidad, aceleración, envolvente y desplazamiento. Se recomienda usar las 8000 muestras y 3200 líneas espectrales para una mejor toma de datos.

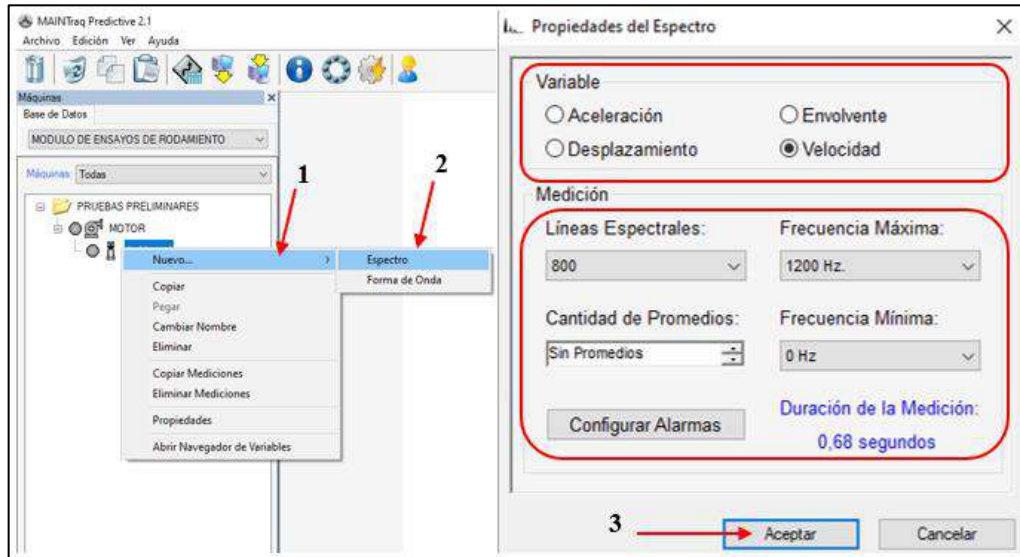


Ilustración 3- 14: Formas de onda y espectros (MAINTraQ Predictive)

Fuente: Software MAINTraQ Predictive 2.1

Realizado por: Guanuche Lady, Peñafiel Vivian, 2023

- Paso 6.** Se crea las otras máquinas para las mediciones en todos los elementos necesarios para realizar el análisis.

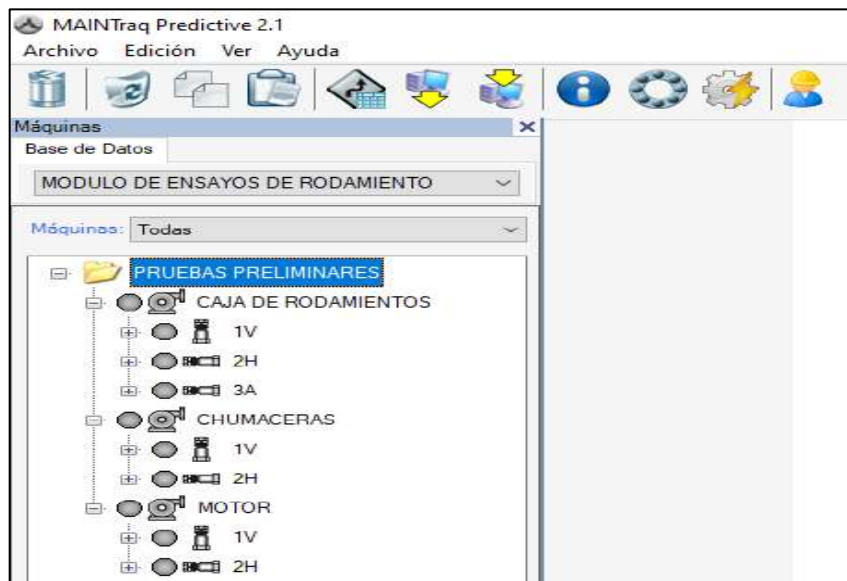


Ilustración 3- 15: Máquinas y puntos de medición (MAINTraQ Predictive)

Fuente: Software MAINTraQ Predictive 2.1

Realizado por: Guanuche Lady, Peñafiel Vivian, 2023

- Paso 7.** Para configurar el VibraCheck 200ABG se da clic en “Envío de datos” después en máquinas se selecciona la carpeta y se elige el signo “>” para “Enviar al Colector de Datos” y para finalizar se cierra la pestaña.

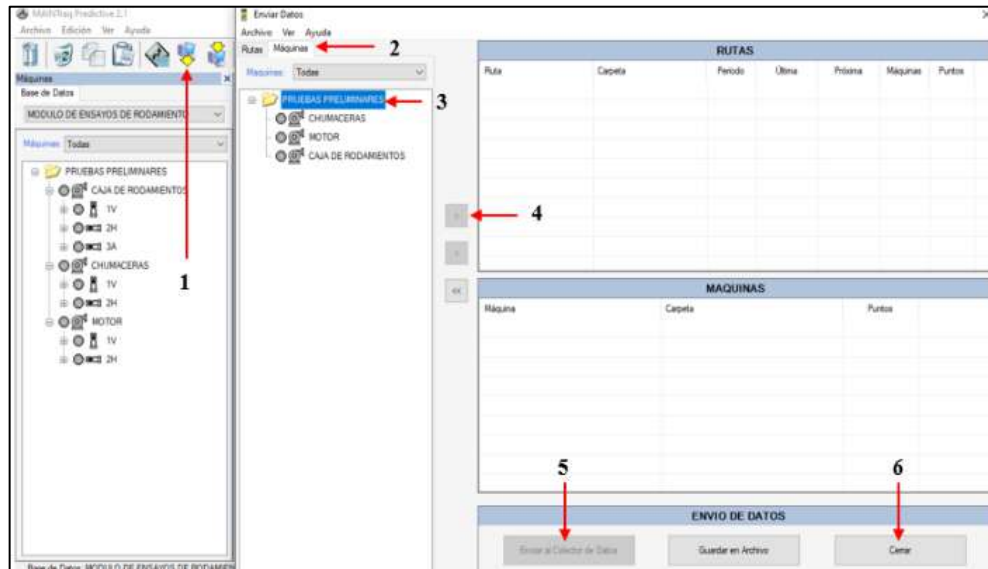


Ilustración 3- 16: Envío de datos (MAINTraQ Predictive)

Fuente: Software MAINTraQ Predictive 2.1

Realizado por: Guanuche Lady, Peñafiel Vivian, 2023

- Paso 8.** Una vez tomados los datos se selecciona en “Recibir datos” y se selecciona “Desde el Colector de Datos” entonces se guardará la información en la base de datos.

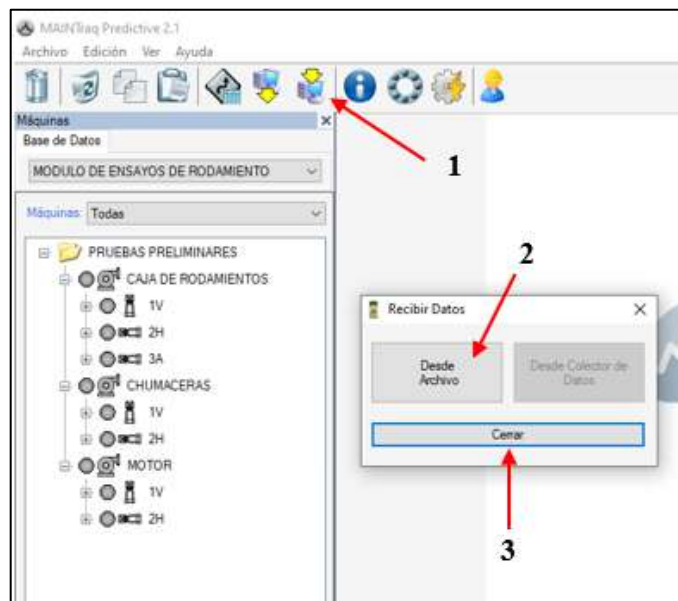


Ilustración 3- 17: Recepción de datos (MAINTraQ Predictive)

Fuente: Software MAINTraQ Predictive 2.1

Realizado por: Guanuche Lady, Peñafiel Vivian, 2023

3.2.4. Resultados análisis vibracional

Con el uso del analizador de vibraciones VibraCheck 200 ABG y el software MAINTraq Predictive de IDEAR en base a la norma ISO 20816-1: 2016, se realiza el análisis de vibraciones mecánicas. El análisis se basa en una inspección de equipos mecánicos con la obtención de espectros, esto se lo realiza en el motor, las chumaceras y el rodamiento. El informe completo se encuentra en el ANEXO B.

3.2.4.1. Reporte vibracional; motor.

Para el motor marca WEG 22 de 5 hp se observó el 1x con una amplitud de 8,582, 2x con una amplitud de 1,699, 3x con una amplitud de 0,407 y 4x con una amplitud de 0,552, debido a esto se recomienda revisar la carga que se está aplicando en el motor.

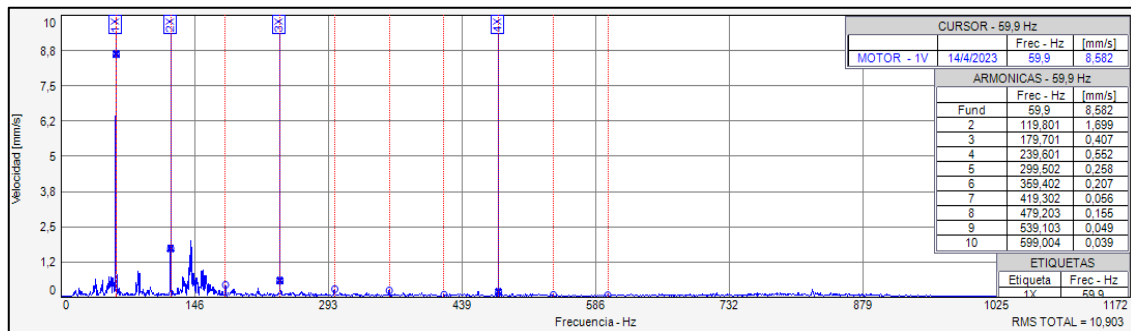


Ilustración 3- 18: Espectro plano vertical (Motor)

Fuente: Software MAINTraq Predictive 2.1

Realizado por: Guanuche Lady, Peñafiel Vivian, 2023

Tabla 3-4: Frecuencias y amplitudes plano vertical (Motor)

Múltiplo	Frecuencia (Hz)	Amplitud (mm/s)
1x	59,900	8,582
2x	119,801	1,699
3x	179,701	0,407
4x	239,601	0,552
RMS		10,903

Realizado por: Guanuche Lady, Peñafiel Vivian, 2023

$$BPFO=RPM \frac{N_b}{2} \left(1 - \frac{B_D}{P_D} \cos(\beta) \right)$$

$$N_b=8$$

$$P_D=46mm$$

$B_D=16\text{mm}$

$\beta=45^\circ$.

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

$$\text{BPFO}=3600 \frac{8}{2} \left(1 - \frac{16\text{mm}}{46\text{mm}} \cos(45)\right)$$

$$\text{BPFO}=2945,47\text{ CPM}$$

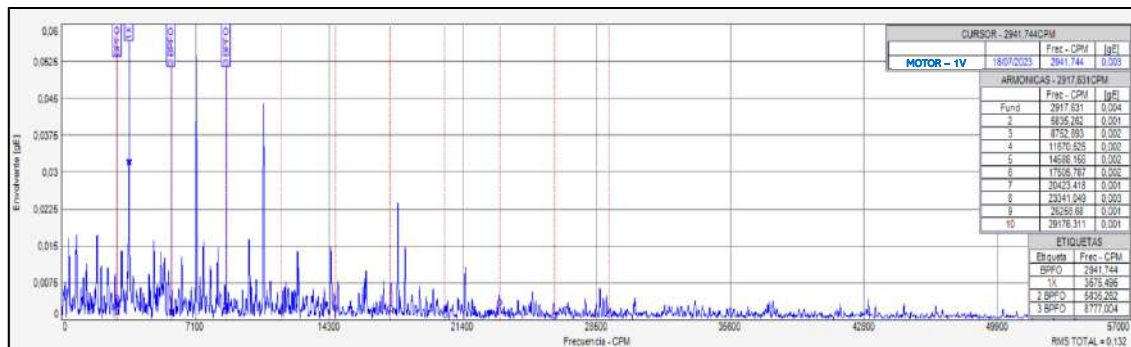


Ilustración 3- 19: Espectro envolvente del motor

Fuente: Software MAINTraQ Predictive 2.1

Realizado por: Guanuche Lady, Peñafiel Vivian, 2023



Ilustración 3- 20: Rodamiento motor

Fuente: <https://www.skf.com/co>

3.2.4.2. Reporte vibracional; chumacera 1.

La chumacera del tipo UCP 208 de diámetro de 40 mm presenta desalineación como se observa en el plano horizontal un 1x con una amplitud de 2,646, 2x con una amplitud de 3,598, 3x con una amplitud de 0,492 y 4x con una amplitud de 0,679, debido a esto se recomienda reemplazar la chumacera.

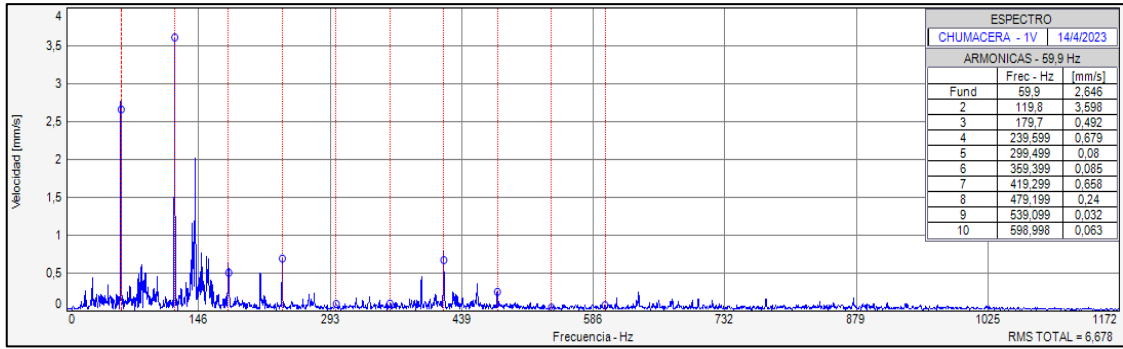


Ilustración 3- 21: Espectro plano vertical (Chumacera 1)

Fuente: Software MAINTraQ Predictive 2.1

Realizado por: Guanuche Lady, Peñafiel Vivian, 2023

Tabla 3-5: Frecuencias y amplitudes plano horizontal (Chumacera 1)

Múltiplo	Frecuencia (Hz)	Amplitud (mm/s)
1x	59,900	2,646
2x	119,800	3,598
3x	179,701	0,492
4x	239,599	0,679
RMS		6,678

Realizado por: Guanuche Lady, Peñafiel Vivian, 2023

3.2.4.3. Reporte vibracional; chumacera 2.

La chumacera del tipo UCP 208 de diámetro de 40 mm presenta desalineación como se observa en el plano vertical un 1x con una amplitud de 2,646, 2x con una amplitud de 3,598, 3x con una amplitud de 0,492 y 4x con una amplitud de 0,679, debido a esto se recomienda reemplazar la chumacera.

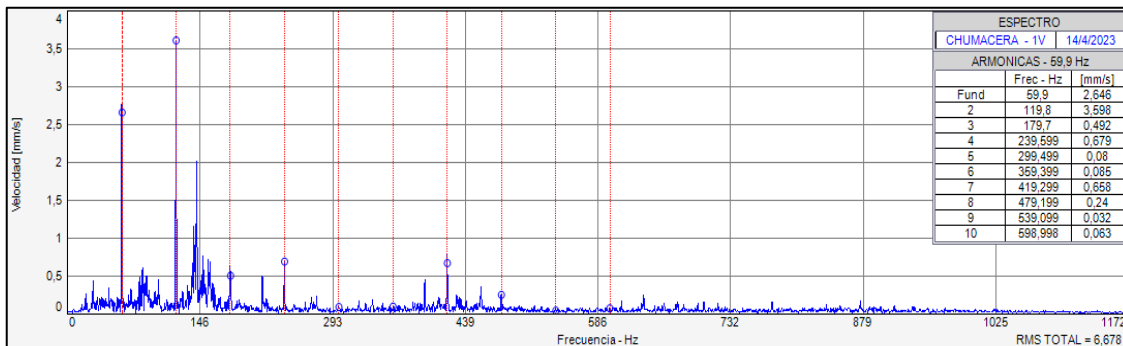


Ilustración 3- 22: Espectro plano vertical (Chumacera 2)

Fuente: Software MAINTraQ Predictive 2.1

Realizado por: Guanuche Lady, Peñafiel Vivian, 2023

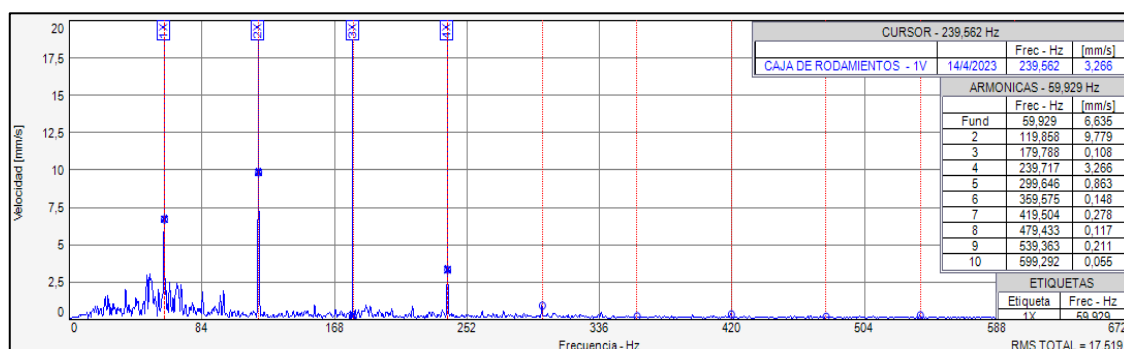
Tabla 3-6: Frecuencias y amplitudes plano vertical (Chumacera 2)

Múltiplo	Frecuencia (Hz)	Amplitud (mm/s)
1x	59,900	2,646
2x	119,800	3,598
3x	179,701	0,492
4x	239,599	0,679
RMS		6,678

Realizado por: Guanuche Lady, Peñafiel Vivian, 2023

3.2.4.4. Reporte vibracional; caja de rodamientos

El rodamiento que se hallan en el módulo son de tipo SKF 6206 rígido de bolas de simple hilera de diámetro de 30 mm se observó desalineación en el plano horizontal se encuentra un 1x con una amplitud de 6,635, 2x con una amplitud de 9,779, 3x con una amplitud de 0,108 y 4x con una amplitud de 3,266, debido a esto se recomienda alinear el eje con el rodamiento.

**Ilustración 3- 23:** Espectro plano horizontal (Caja de rodamientos)

Fuente: Software MAINTraQ Predictive 2.1

Realizado por: Guanuche Lady, Peñafiel Vivian, 2023

Tabla 3-7: Frecuencias y amplitudes plano horizontal (Caja de rodamientos)

Múltiplo	Frecuencia (Hz)	Amplitud (mm/s)
1x	59,889	6,635
2x	119,799	9,779
3x	179,698	0,108
4x	239,598	3,266
RMS		17,519

Realizado por: Guanuche Lady, Peñafiel Vivian, 2023

3.3. Selección y dimensionamiento de los componentes del módulo

El diseño es lo fundamental para disminuir el exceso de vibraciones en el módulo, para esto la selección y dimensionamiento de los componentes de este son de suma importancia.

Los elementos deben ser correctamente dimensionados y de ser el caso reemplazados por elementos de la misma calidad.

3.3.1. Descripción de las partes del módulo

Actualmente, el módulo se encuentra compuesto por elementos descritos en la Tabla 3-1.

Éstos se hallaron en condiciones no aptos para su funcionamiento, debido a que la mayoría de sus elementos presentaron corrosión, incremento de temperatura y desalineación.

3.3.1.1. Motor

Al realizar el análisis de termografía del ítem 3.2.2.1, el motor presenta un incremento en la temperatura de los rodamientos, esto indica sobrecarga en el módulo, por ello se considera realizar el cambio de los rodamientos.

Al realizar el despiece del motor se encontraron los rodamientos quemados y uno de ellos se encontró picaduras en la pista externa.



Ilustración 3- 24: Estado inicial del motor

Realizado por: Guanuche Lady, Peñafiel Vivian, 2023

3.3.1.2. Eje

Al realizar el desmontaje del módulo, se aprecia que el eje se encuentra con un exceso de corrosión principalmente enfocado en la posición de las chumaceras; además, que se encontró deformación plástica en el lugar del rodamiento debido a la carga que se aplica en el rodamiento, esto causa que el eje pierda totalmente su funcionalidad ya que causa un exceso de vibración en la caja de rodamientos.



Ilustración 3- 25: Estado inicial del eje

Realizado por: Guanuche Lady, Peñafiel Vivian, 2023

3.3.1.3. Acople

Al analizar el acople se determina que éste se encuentra en buenas condiciones a excepción del elastómero el cual esta desgastado, esto causa una desalineación que no permite contar con medidas confiables.



Ilustración 3- 26: Estado inicial del acople

Realizado por: Guanuche Lady, Peñafiel Vivian, 2023

3.3.1.4. Chumaceras

Las chumaceras después del análisis termográfico de los ítems 3.2.2.2 y 3.2.2.3 se observa un incremento en la temperatura debido a la mala lubricación de ésta por el mal funcionamiento de los graseros, y el análisis vibracional de los ítems 3.2.4.2 y 3.2.4.3 se determina una desalineación, estos aspectos que provocan vibraciones excesivas e incrementos en la temperatura.



Ilustración 3- 27: Estado inicial de las chumaceras

Realizado por: Guanuche Lady, Peñafiel Vivian, 2023

3.3.1.5. Rodamientos y caja de rodamientos

Con el análisis vibracional del ítem 3.2.4.4 determina que no presenta ningún tipo de fallo. A pesar de esto la caja de rodamiento se encuentra en mal estado y no puede ser reutilizada. Debido a que el material que se encuentra realizada causa una carga excesiva adicional al rodamiento lo que provoca el desgaste de material en el eje.



Ilustración 3- 28: Estado inicial del rodamiento y caja de rodamiento

Realizado por: Guanuche Lady, Peñafiel Vivian, 2023

3.3.1.6. Bomba hidráulica de mano

Se determina que la bomba hidráulica no ejerce una carga sobre la caja de rodamientos debido a que ésta se encontraba con escoria y aceite en su interior, esto causó que se remuerda y por el exceso de aceite en su interior aumentó la presión, a causa de esto la bomba debe ser despresurizada y limpiar para encontrar posibles desperfectos en su interior.



Ilustración 3- 29: Estado inicial de la bomba hidráulica.

Realizado por: Guanuche Lady, Peñafiel Vivian, 2023

3.3.2. Propuesta de mejora

Una vez que se realiza las pruebas preliminares se inspecciona cada elemento del módulo para revisar la situación de cada elemento. Así se determinó que se deben realizar los siguientes cambios:

- Cambiar las placas base y la caja de rodamiento por: ASTM A36
- Cambiar los rodamientos de motor por: NTN 6205Z y NTN 6206Z
- Cambiar las chumaceras por: UCP 208 de un diámetro de 40mm
- Cambiar el eje por: acero de transmisión ASTM 4340
- Cambiar rodamiento por: NTN 6008Z
- Cambiar el elastómero del acople por un nuevo elastómero L 110

El módulo cuenta con los elementos detallados en la Tabla 3-8.

Tabla 3-8: Elementos del módulo de ensayos

Cantidad	Descripción
1	Motor eléctrico de 5 hp
1	Acople tipo mandíbula L110
2	Chumacera UCP 2008
1	Rodamiento NTN 6008Z
1	Eje
1	Bomba hidráulica SYK-8
1	Placa base del módulo
2	Placa base del motor
2	Placa base de la chumacera
2	Bases caja de rodamiento
1	Soporte superior de la bomba hidráulica
1	Soporte inferior de la bomba hidráulica
1	Caja de rodamiento

Realizado por: Guanuche Lady, Peñafiel Vivian, 2023

3.4. Sistemas del módulo de ensayos de vida acelera de rodamientos

Considerando los elementos que se encuentran en el módulo es pertinente dividirlo en sistemas para una mejor comprensión de éste. El sistema se encuentra constituido por el sistema motriz, transmisión y carga.

3.4.1. Sistema motriz

El sistema motriz esta dado por un motor eléctrico marca WEG W22 de 5 hp trifásico. La elección de éste se dio por la exigencia necesaria para el desarrollo de las pruebas, además, de su fácil manipulación durante su arranque y toma de datos.

Tabla 3-9: Características del motor

Característica	Valor
Modelo	W22
Número de serie	3096
Potencia (kW/hp)	3,7 kW / 5hp
Frecuencia	60Hz
Tensión	220/380/440 V
Número de polos	2
Factor de potencia	0,85
Conexión	Triángulo
Velocidad	3480

Realizado por: Guanuche Lady, Peñafiel Vivian, 2023

3.4.2. Sistema de transmisión

El sistema de transmisión se compone: un eje, un acople, un rodamiento, dos chumaceras.

3.4.2.1. Selección del eje

Para la selección del eje se debe calcular el par de torsión con la ecuación (2-9)

$$T_n = \frac{60 \cdot P}{2\pi \cdot n}$$

Para un motor de potencia de 5 hp y una velocidad de 3600 rpm. Para esto se debe hacer un cambio de unidades de hp a Watts.

$$5 \text{ hp} \cdot \frac{0,75 \text{ kW}}{1 \text{ hp}} \cdot \frac{1000 \text{ W}}{1 \text{ kW}} = 3750 \text{ Watts}$$

Aplicando la ecuación (2-9) se obtiene:

$$T_n = \frac{60 \cdot (3750 \text{ Watts})}{2 \cdot \pi \cdot (3600 \text{ rpm})} = 9,97 \text{ Nm}$$

Debido a las propiedades del acero de transmisión AISI 4340 (Acero al molibdeno + cromo + níquel), es un acero altamente resistente a la tracción, torsión y flexión. Debido a que se suministra un tratamiento térmico bonificado aportando al material de templabilidad y resistente a la fatiga. Además, que su fácil adquisición en el mercado.

Tabla 3-10: Composición química del acero ASTM 4340

%C	%Si	%Mn	%P	%S
0,34	0,1 – 0,35	0,60 – 0,80	0,04 – 0,30	0,002 – 0,03

Realizado por: Guanuche Lady, Peñafiel Vivian, 2023

Tabla 3-11: Propiedades del acero ASTM 4340

Diámetro (mm)	Resistencia mecánica (N/mm ²)	Punto de Fluencia (N/mm ²)	Elongación % Mín.	Dureza Rockwell B
16 o menos	2000 – 1800	1000	9	240 - 380
16 – 40	1100 – 1700	900	10	240 - 380
41 – 100	1000 – 1200	800	11	240 - 380

Realizado por: Guanuche Lady, Peñafiel Vivian, 2023

Para dimensionar el diámetro del eje se utiliza el momento polar de inercia la ecuación (2-11) y lo reemplaza en la ecuación (2-10) obteniendo:

$$M_T = \frac{\tau_{adm} * \pi * c^4}{c}$$

$$\tau_{adm} = \frac{2 * M_T}{\pi * c^3}$$

Reemplaza la ecuación (2-12) en la ecuación del esfuerzo admisible en el eje

$$\tau_{adm} = \frac{2 * M_T}{\pi * \left(\frac{d}{2}\right)^3}$$

$$\tau_{adm} = \frac{16 * M_T}{\pi * d^3}$$

Despejando el diámetro se obtuvo:

$$d = \sqrt[3]{\frac{16 * M_T}{\pi * \tau_{adm}}}$$

Para el acero AISI 4043 el valor de τ_{adm} con un rango de 2 MPa debido al esfuerzo que se va a aplicar.

El momento de torsión (MT) utilizando el torque nominal se obtiene con la siguiente fórmula:

$$M_T = 2,2 T_n$$

$$M_T = 2,2(9,97 \text{ Nm})$$

$$M_T = 21,934$$

Reemplazando en la ecuación del diámetro se obtiene el diámetro del eje:

$$d = \sqrt[3]{\frac{16 * M_T}{\pi * \tau_{adm}}}$$
$$d = \sqrt[3]{\frac{16 * 21,934}{\pi * 2 \times 10^6}}$$

$$d = 0,03822 \text{ m} = 38,22 \text{ mm}$$

Con el diámetro de 38,22 mm se le suma el coeficiente de seguridad de 4%, obteniendo un valor de 39,75 debido a esto se seleccionó un diámetro de 40 mm aumentando la resistencia del eje.

3.4.2.2. Selección del acople

Para seleccionar el acople se utiliza el torque nominal calculado del motor siendo de 9,97 Nm, debido a esto se elige el acople tipo mandíbula L110 de la marca LoveJoy Jaw puesto que este acople soporta un torque máximo de 105 Nm siendo superior al calculado para así satisfacer a las necesidades del módulo. Como se muestra en los cálculos:

En el catálogo de LoveJoy Jaw se especifica el valor torque máximo del acoplamiento el cual debe ser mayor o igual al valor del torque de la aplicación, esto se cumple con la siguiente ecuación.

$$\text{Ecuación} \quad T_{k_{m\acute{a}x}} \geq T_{N_{m\acute{a}x}} \quad (3-13)$$

Donde:

$T_{k_{m\acute{a}x}}$: Torque máximo del acople

$T_{k_{m\acute{a}x}}$: Torque máximo de la aplicación

$$T_{k_{m\acute{a}x}} \geq T_{N_{m\acute{a}x}}$$

$$9,97 \text{ Nm} \geq 105 \text{ Nm}$$

Para realizar la selección del acople se toma en cuenta el catálogo de LoveJoy, tomando en cuenta el diámetro superior que puede alcanzar el acople y el torque máximo que puede alcanzar el acople que es de 105 Nm, se selecciona el acople L110, como se muestra en el ANEXO C.

Tabla 3-12: Características del acople elástico L110 marca LoveJoy Jaw

Tipo de acople	Tamaño del acoplamiento (mm)	Torque nominal (Nm)	Velocidad máxima (rev/min)
L110	110	105	5000

Realizado por: Guanuche Lady, Peñafiel Vivian, 2023

Fuente: Catálogo LoveJoy

3.4.2.3. Selección de las chumaceras

Las chumaceras seleccionadas son las UCP 208 de la marca CMS, debido al anillo externo del rodamiento lo que ayuda acoplarse de manera directa en el soporte. Para el diseño se contempla el uso de dos chumaceras, una se colocó en el lado de la carga y la segunda en el lado libre. Para esto, ambas chumaceras son idénticas en tamaño, forma, peso; debido al esfuerzo que se va a aplicar. Tomando en cuenta la disminución de las vibraciones en el módulo se realiza el cálculo de distancia entre la chumaceras y rodamiento, para esto se debe tomar en cuenta el cálculo de las reacciones y momentos en cada punto: La selección de éstas se encuentra en el ANEXO D.

- **Cálculo para la disposición de las chumaceras y caja de rodamiento.**

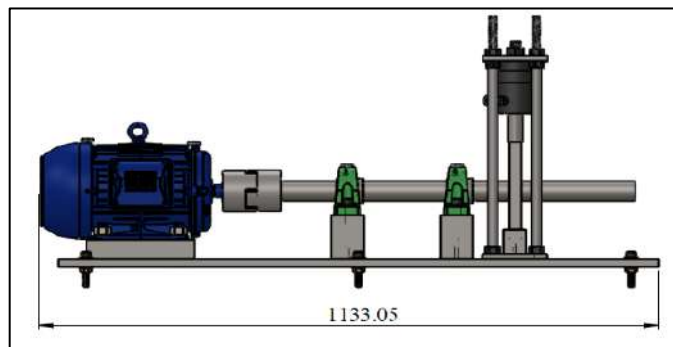


Ilustración 3- 30: Disposición de los elementos del módulo

Realizado por: Guanuche Lady, Peñafiel Vivian, 2023

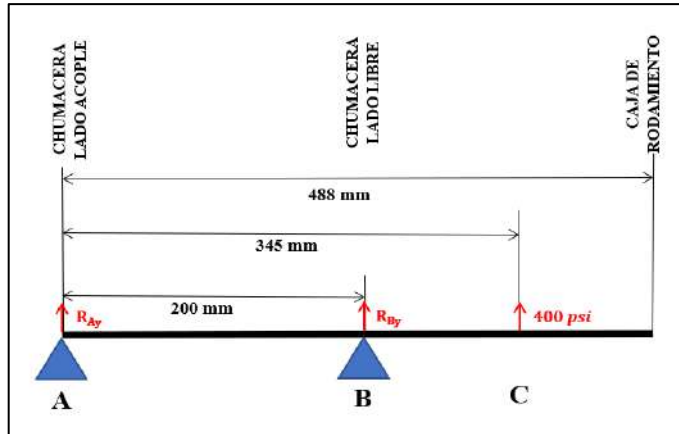


Ilustración 3- 31: Diagrama de reacciones

Realizado por: Guanuche Lady, Peñafiel Vivian, 2023

Primero se calcula la fuerza aplicada en el punto C, para esto se toma en cuenta que $F=Ty$. Para esto se debe hallar el valor de la fuerza (F) y el área de trabajo, para este caso es el eje:

$$A=\pi*r^2$$

$$A=\pi*(0,04)^2$$

$$A=5,026 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

Se transforma los 400 psi a N/m^2 :

$$400 \text{ psi} * \frac{6\,894,74 \text{ N/m}^2}{1 \text{ psi}} = 2759,09 \text{ N/m}^2$$

Reemplazar la presión y el área:

$$F=P*A$$

$$F= 2759,09 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} * 5,026 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$F=13\,867,22 \text{ N}$$

Con el momento en A se calcula la reacción en B (R_{By})

$$\sum M_A = 0$$

$$d_{AB}R_{By} + d_{AC}T_y = 0$$

$$R_{By} = - \frac{d_{AC}T_y}{d_{AB}}$$

$$R_{By} = - \frac{(345 \text{ mm})(13\ 867,22 \text{ N})}{(200 \text{ mm})}$$

$$R_{By} = - 23\ 920,95 \text{ N} \rightarrow - 23,92 \text{ kN}$$

Con la sumatoria de fuerzas en y se calcula la reacción en A (R_{Ay})

$$\sum F_y = 0$$

$$R_{Ay} + R_{By} = - T_y$$

$$R_{Ay} + R_{By} = - 13\ 867,22 \text{ N}$$

$$R_{Ay} = - 13\ 867,22 \text{ N} - R_{By}$$

$$R_{Ay} = - 13\ 867,22 \text{ N} - (- 23\ 920,95 \text{ N})$$

$$R_{Ay} = 10\ 053,73 \text{ N} \rightarrow 10,05 \text{ kN}$$

Finalmente calculamos el momento que se generó en el punto B

$$M_B = d_{BC} R_{By}$$

$$M_B = (0,115\text{m})(-23\ 920,95 \text{ N})$$

$$M_B = -2\ 750,91 \text{ N}$$

A continuación, se detallan la posición de las chumaceras y la caja de rodamiento:

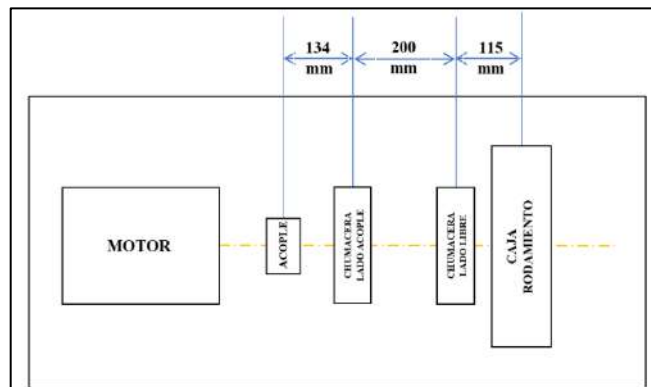


Ilustración 3- 32: Posición de elementos

Realizado por: Guanuche Lady, Peñafiel Vivian, 2023

3.4.2.4. Selección del rodamiento

Para esta aplicación se selecciona el rodamiento rígido de bolas de una hilera 6008Z ya que, debido al diámetro del eje de 40 mm para tener un acople directo por sus propiedades mecánicas,

capacidad de alta velocidad y soporta cargas radiales y axiales en ambos sentidos. La selección completa se encuentra en el ANEXO E.

Tabla 3-13: Características y dimensiones del rodamiento

Dimensiones			Carga límite de fatiga (kN)	Capacidad de carga básica (kN)		Masa (kg)
d	D	B		Dinámica	Estática	
40	68	15	0,49	17,8	11	0,19
d ₁	D ₂	r _{1,2}				
49,25	61,10	min. 1				

Realizado por: Guanuche Lady, Peñafiel Vivian, 2023

Fuente: Catálogo NTN

3.5. Modelado de elementos

El diseño es de suma importancia puesto que brindará una mejor precepción de las dimensiones del módulo. Además, que ayuda a comprender la esquematización del módulo y sus elementos. La modelación de las piezas se realiza con el software de diseño para comprender de mejor manera las dimensiones de cada elemento.

3.5.1. Diseño placa base

La placa base se la realiza en una plancha de acero laminada en caliente fabricada según la norma NTE INEN 115 y calidad de ASTM A36 de 1100 mm x 600 mm y por 15 mm de espesor, sobre ésta se fijarán las bases del motor, chumaceras y el soporte de la bomba hidráulica las mismas que serán ajustadas por pernos avellanos y la placa será fijada a la mesa por medio de pernos hexagonales (Allen). El plano se puede observar completo en el ANEXO H.

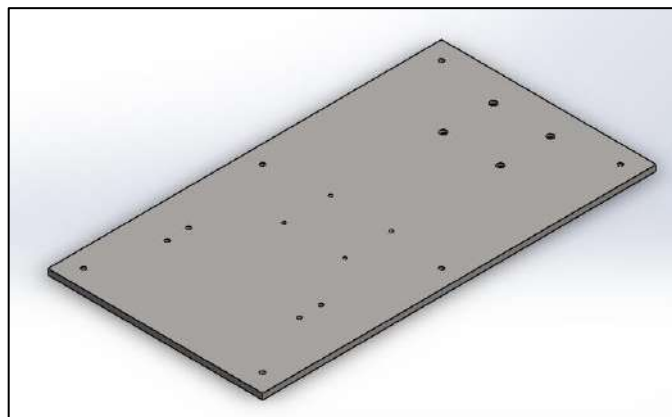


Ilustración 3- 33: Diseño placa base del módulo

Realizado por: Guanuche Lady, Peñafiel Vivian, 2023

3.5.2. *Diseño bases del motor*

El diseño cuenta con dos bases del acero laminada en caliente fabricada según la norma NTE INEN 115 y calidad de ASTM A36 de 200 mm x 60 mm y 42 mm de espesor, sobre éstas se asentará el motor que es ajustado por pernos avellanos, arandelas de presión y tuercas para que permanezca fijo en la placa base El plano se puede observar completo en el ANEXO H.

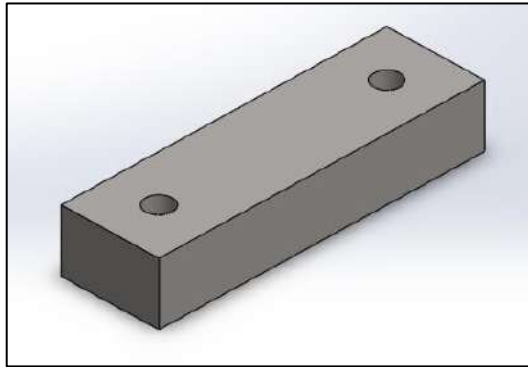


Ilustración 3- 34: Diseño bases del motor

Realizado por: Guanuche Lady, Peñafiel Vivian, 2023

3.5.3. *Diseño bases de las chumaceras*

El diseño cuenta con dos bases de acero laminada en caliente fabricada según la norma NTE INEN 115 y calidad de ASTM A36 de 200 mm x 60 mm y por 101 mm de espesor, sobre éstas se asienta las chumaceras las cuales se fijan a las bases por medio de pernos hexagonales (Allen) y las bases se ajustan con pernos avellanos a la placa base del módulo. El plano se puede observar completo en el ANEXO H.

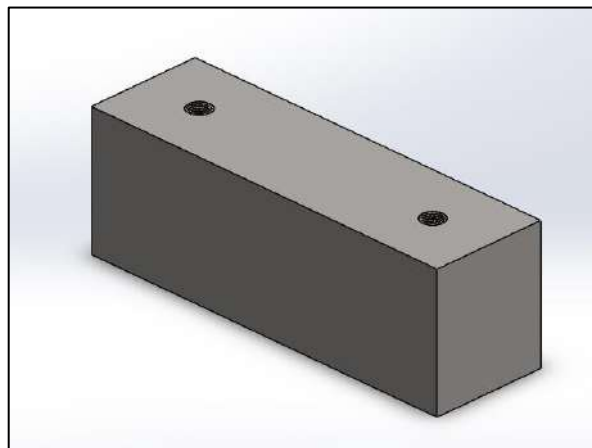


Ilustración 3- 35: Diseño bases de las chumaceras

Realizado por: Guanuche Lady, Peñafiel Vivian, 2023

3.5.4. *Diseño de la caja de rodamiento*

El diseño se realiza con el acero laminada en caliente fabricada según la norma NTE INEN 115 y calidad de ASTM A36 de 210 mm x 210 mm y por 22 mm de espesor, en ésta ingresará el rodamiento y sobre la misma se aplica la carga de la bomba hidráulica. El plano se puede observar completo en el ANEXO H.

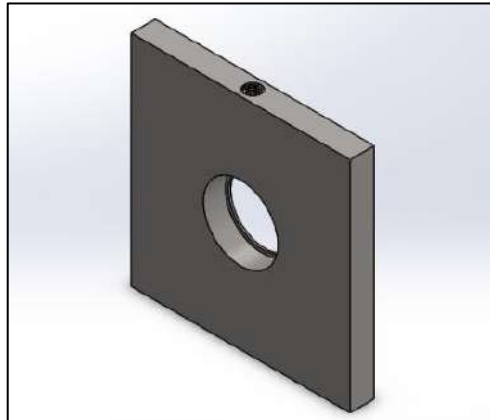


Ilustración 3- 36: Diseño de la caja de rodamiento

Realizado por: Guanuche Lady, Peñafiel Vivian, 2023

3.5.5. *Diseño del eje*

El eje se fabrica del acero ASTM 4340 de un diámetro de 40 mm y una longitud de 700 mm teniendo en cuenta los cálculos que se realizaron en el ítem 3.4.2.1., éste se acopló al motor por medio de un acople LoveJoy L110. El plano se puede observar completo en el ANEXO H.

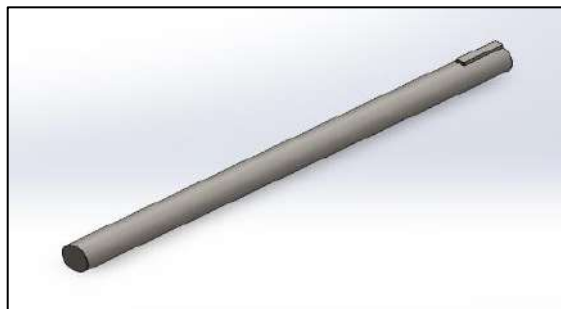


Ilustración 3- 37: Diseño del eje

Realizado por: Guanuche Lady, Peñafiel Vivian, 2023

3.5.6. *Diseño soporte superior sistema carga del rodamiento*

El diseño se realiza del acero laminada en caliente fabricada según la norma NTE INEN 115 y calidad de ASTM A36 de 400 mm x 120 mm y por 10 mm de espesor, sobre éstas se anclarán

unos ejes para sostener la bomba hidráulica, la placa se ajusta con tuercas a los ejes. El plano se puede observar completo en el ANEXO H.

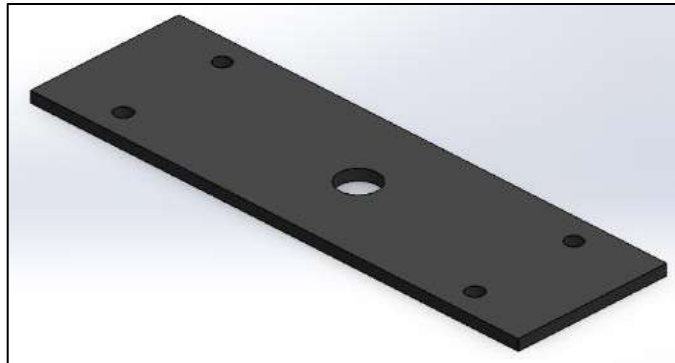


Ilustración 3- 38: Diseño soporte inferior sistema carga

Realizado por: Guanuche Lady, Peñafiel Vivian, 2023

3.5.7. *Diseño soporte inferior sistema carga del rodamiento*

El diseño se realiza del acero laminada en caliente fabricada según la norma NTE INEN 115 y calidad de ASTM A36 de 400 mm x 120 mm y por 10 mm de espesor, sobre éstas se anclarán unos ejes para sostener la bomba hidráulica, la placa se ajusta a la placa base. El plano se puede observar completo en el ANEXO H.

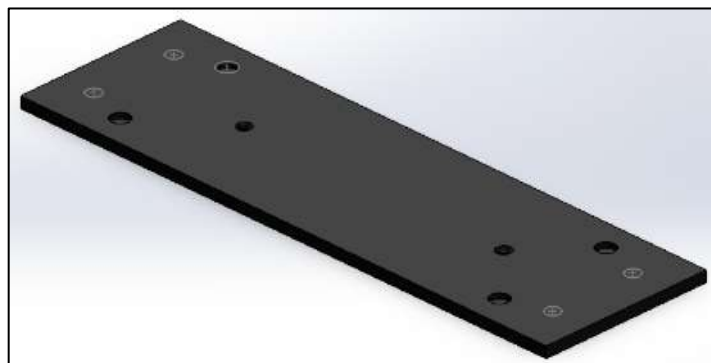


Ilustración 3- 39: Diseño soporte inferior sistema carga

Realizado por: Guanuche Lady, Peñafiel Vivian, 2023

3.5.8. *Diseño soporte bases de la caja de rodamientos*

El diseño cuenta con dos bases de acero laminado en caliente fabricada según la norma NTE INEN 115 y calidad de ASTM A36 de 35 mm x 23 mm y por 26 mm de espesor, éstas ayudarán a disminuir las vibraciones en la caja de rodamientos, éstas se fijan al soporte inferior del sistema de carga para el rodamiento por medio pernos avellanados. El plano se puede observar completo en el ANEXO H.

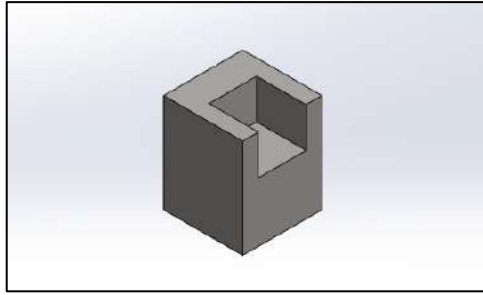


Ilustración 3- 40: Diseño soporte bases

Realizado por: Guanuche Lady, Peñafiel Vivian, 2023

3.5.9. *Diseño del motor eléctrico*

El motor eléctrico se selecciona de la librería del fabricante de acuerdo con las características técnicas de la placa del motor que se eligió. Siendo el caso de un motor trifásico WEG 22 de 5hp.

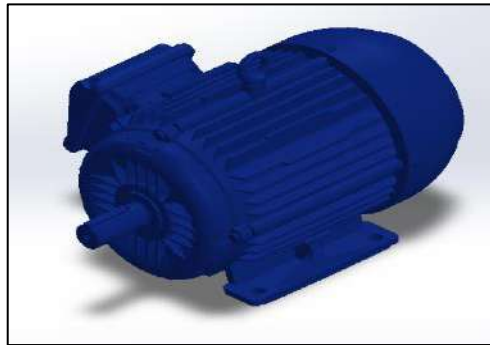


Ilustración 3- 41: Diseño del motor eléctrico

Realizado por: Guanuche Lady, Peñafiel Vivian, 2023

3.5.10. *Diseño de las chumaceras, rodamiento y acople*

El diseño de estos elementos se realiza en base a las dimensiones del eje según los cálculos realizados, con este dato se seleccionó los elementos de la librería del fabricante.

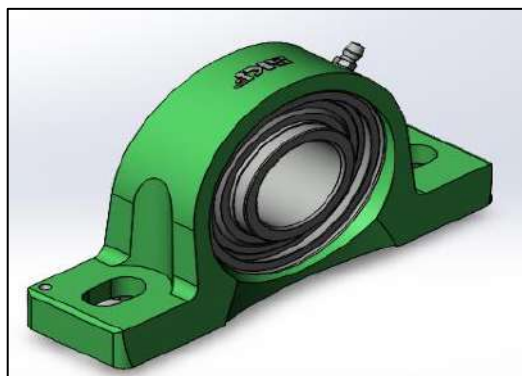


Ilustración 3- 42:Diseño de las chumaceras

Realizado por: Guanuche Lady, Peñafiel Vivian, 2023

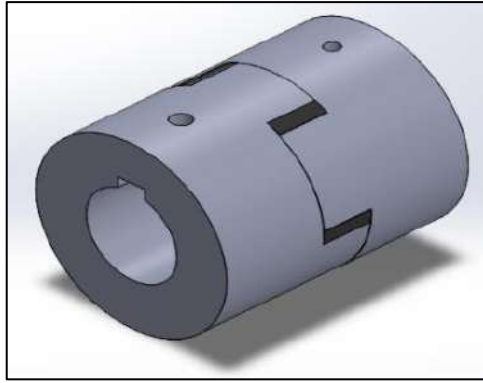


Ilustración 3- 43: Diseño del acople

Realizado por: Guanuche Lady, Peñafiel Vivian, 2023



Ilustración 3- 44: Diseño del rodamiento

Realizado por: Guanuche Lady, Peñafiel Vivian, 2023

3.5.11. Diseño de la bomba hidráulica

La bomba hidráulica se selecciona de la librería del fabricante de acuerdo con las características técnicas del elemento.

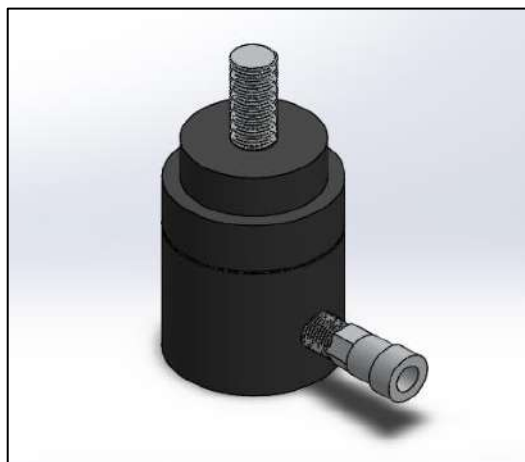


Ilustración 3- 45: Diseño bomba hidráulica

Realizado por: Guanuche Lady, Peñafiel Vivian, 2023

3.5.12. *Ensamblaje del módulo*

Con el diseño base se los componentes del módulo, se realiza el ensamblaje con la ayuda de un software de diseño, las cual trabaja con una escala de 1:1 para todos los elementos del módulo como se observa en la Ilustración 3-46. El plano se puede observar completo en el ANEXO H.

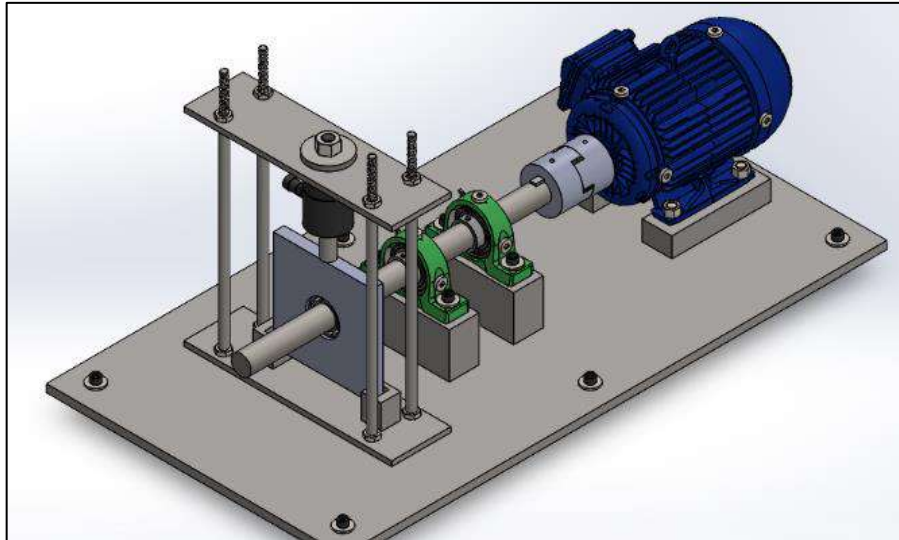


Ilustración 3- 46: Ensamble módulo de ensayos de vida acelerada de rodamientos

Realizado por: Guanuche Lady, Peñafiel Vivian, 2023

3.6. **Adquisición de elementos**

Teniendo en cuenta los elementos que se encontraron en malas condiciones fue necesario la adquisición de nuevos componentes debido a los cambios en el diseño de la estructura para la mejora del módulo.

3.6.1. *Adquisición de las placas para la estructura del módulo.*

Debido a sus características y fácil adquisición del elemento se obtuvo el acero ASTM A36 que es un acero al carbono adecuado para la construcción, son utilizados para estructuras de acero soldadas y atornilladas, además, que se utiliza para la fabricación de artículos y piezas para el sector de la ingeniería.

El material seleccionado fue comprado en planchas laminadas en caliente ya que al pasar por un proceso de laminado en temperaturas altas proporciona una mayor resistencia a la corrosión. Las planchas se fabrican según la norma NTE INEN 115 y calidad de ASTM A36 – SAE J 403 1008.



Ilustración 3- 47: Planchas de acero ASTM A36

Realizado por: Guanuche Lady, Peñafiel Vivian, 2023

3.6.2. *Adquisición del material del eje.*

El material del eje fue determinado por el trabajo al cual va a ser sometido debido a esto se eligió el acero ASTM 4340, al ser un acero bonificado al cromo, níquel y molibdeno es altamente resistente a la tracción, torsión y flexión. Por estas características es apto para piñones, embragues, muñones, rodillos de transportación y ejes.



Ilustración 3- 48: Eje acero ASTM 4340

Realizado por: Guanuche Lady, Peñafiel Vivian, 2023

3.6.3. *Adquisición de chumaceras y rodamiento*

Debido a las pruebas se realizadas se determina el cambio de dimensión del eje esto causó que las chumaceras y el rodamiento deben ser remplazadas, en virtud de esto se adquirió las chumaceras de la marca CMS UCP 208 y el rodamiento 6008Z de la marca NTN.



Ilustración 3- 49: Adquisición de las chumaceras y rodamiento

Realizado por: Guanuche Lady, Peñafiel Vivian, 2023

Para el motor debido a que presentó un sobrecalentamiento en sus rodamientos se realiza el cambio respectivo, se utilizaron los rodamientos NTN 6206Z para el lado del eje y NTN 6205Z para el ventilador.

3.6.4. Adquisición del elastómero.

Al encontrarse el en buenas condiciones del acople solo se recomienda cambiar el elastómero debido a que ya no proporciona el suficiente agarre causando una desalineación lo cual afecta en el consumo de energía, el elastómero que se seleccionó fue el L110 de la marca SKF.



Ilustración 3- 50: Adquisición del elastómero

Realizado por: Guanuche Lady, Peñafiel Vivian, 2023

3.6.5. Adquisición de los pernos, arandelas y tuercas

Los pernos que se utilizaron son pernos hexagonales milimétricos y pernos tipo avellanados de grado 12,9; además de sus respectivas tuercas y arandelas, la disposición se muestra en la siguiente Tabla 3-14:

Tabla 3-14: Disposición de pernos

Cantidad	Tipos de perno	Rosca	Longitud (mm)	Ubicación
6	Pernos Allen y arandelas planas	M12 x 1,75	50	Placa base
4	Pernos avellanos cabeza hexagonal	5/8 x 2 1/2	80	Placas motor
4	Tuerca pesada hexagonal	5/8 x 2 1/2	10	Anclaje del motor a las bases
4	Pernos avellanos cabeza hexagonal	M8 x 1,25	30	Anclaje de las chumaceras a las bases
4	Pernos Allen y arandelas planas	M10 x 1,50	40	Bases chumaceras
4	Pernos avellanos cabeza hexagonal	M10 x 1,50	10	Placas base bomba hidráulica
2	Pernos avellanos cabeza hexagonal	M8 x 1,25	10	Bases pequeñas
1	Tuerca pesada hexagonal	M20 x 2,0	10	Soporte bomba hidráulica

Realizado por: Guanuche Lady, Peñafiel Vivian, 2023

3.7. Mecanizado de elementos y construcción del módulo

En este ítem se detallará la construcción de cada elemento del módulo de ensayos de vida acelerada de rodamientos.

3.7.1. Placa base

Debido a que esta será la placa donde se posarán todos los elementos se tuvo un especial cuidado en elegir el tipo de material y los procesos de mecanizado para que ésta se encuentra en óptimas condiciones para evitar desalineación entre los componentes.

3.7.1.1. Corte de la placa

Una vez determinado el tamaño de las piezas según el software de diseño y eligió las planchas de acero ASTM A36 debido a su calidad estructural, estas fueron cortadas mediante oxicorte.



Ilustración 3- 51: Corte placa base

Realizado por: Guanuche Lady, Peñafiel Vivian, 2023

3.7.1.2. Mecanizado del material

Al tener las placas cortadas se debe realizar el mecanizado en las caras para obtener un acabado superficial liso así disminuir las vibraciones, el acabo se obtuvo con la fresadora. Posteriormente se elaboraron los agujeros para anclar los elementos sobre la placa base.

3.7.2. Bases del motor

Las bases del motor al igual que la placa base son de suma importancia ya que son a las que el motor va estar anclado.



Ilustración 3- 52: Bases del motor

Realizado por: Guanuche Lady, Peñafiel Vivian, 2023

3.7.2.1. Corte de la placa

Al igual que la placa base se eligió planchas de acero ASTM A36, los cuales fueron cortado con oxicorte a la medida que especificó el software de diseño.

3.7.2.2. Mecanizado del material

Con las placas cortadas se realiza el mecanizado principalmente en la parte superior e inferior de las bases, debido a que estas partes van a estar en contacto con la placa base y las patas del motor y las irregularidades en éste afectaría a las futuras mediciones, posterior a ellos se realizaron los agujeros para el anclaje del motor a las bases por medio de pernos avellanados.

3.7.3. Bases de las chumaceras

La construcción de las bases de las chumaceras se detalla a continuación.

3.7.3.1. Corte de la placa

Considerando las dimensiones de la placa base de las chumaceras se elige las planchas con un mayor espesor de las otras placas, se procedió a cortarlo mediante el oxicorte las dos bases del acero ASTM A36.

3.7.3.2. Mecanizado del material

Después de determinar las irregularidades de las bases, se realiza el mecanizado en la parte superior e inferior de las bases de las chumaceras, además, se realiza los agujeros tanto para el anclaje a la placa base y los agujeros de para ajustar las chumaceras.



Ilustración 3- 53: Mecanizado bases chumaceras

Realizado por: Guanuche Lady, Peñafiel Vivian, 2023

3.7.4. Bases caja de rodamientos

La construcción de las bases de la caja de rodamientos se detalla a continuación:



Ilustración 3- 54: Bases caja de rodamiento

Realizado por: Guanuche Lady, Peñafiel Vivian, 2023

3.7.4.1. Corte de la placa

Teniendo en cuenta las dimensiones que fueron obtenidos del software de diseño los cortes del material se realizaron mediante oxicorte.

3.7.4.2. Mecanizado del material

Al ser unas piezas pequeñas necesitan una mejor precisión, por ello se realiza un mecanizado de todas las caras del material para después realizar los agujeros en la parte inferior de la base.

3.7.5. Soporte superior e inferior de la bomba hidráulica

La construcción de los soportes superior e inferior para la bomba hidráulica se menciona a continuación:



Ilustración 3- 55: Soporte superior e inferior de la bomba

Realizado por: Guanuche Lady, Peñafiel Vivian, 2023

3.7.5.1. Corte de la placa

Teniendo en cuentas las medidas de software, se realiza el corte de las placas mediante oxicorte del material elegido anteriormente.

3.7.5.2. Mecanizado del material

Después de realizar el corte de las piezas se realiza el mecanizado de las cara superior e inferior para poder anclar la bomba hidráulica. Además, se elaboraron los agujeros para anclar la pieza a la placa base y para aplicar la carga al rodamiento.

3.7.6. Caja de rodamientos

La caja de rodamiento al ser el elemento más importante del módulo puesto que es el lugar donde se van a tomar las mediciones se requiere una mayor precisión.



Ilustración 3- 56:Caja de rodamiento

Realizado por: Guanuche Lady, Peñafiel Vivian, 2023

3.7.6.1. Corte de la placa

La caja se elabora de planchas de acero ASTM A36 las cuales fueron cortadas mediante oxicorte, se realizó agujero en la placa para que ingrese el rodamiento.

3.7.6.2. Mecanizado del material

Teniendo en cuenta la precisión que debe tener la caja de rodamiento se realizó un proceso de mecanizado en todas las caras del elemento, después de ellos se realizaron los agujeros para el rodamiento con un tope para evitar que exista holgura entra la caja y el rodamiento.

3.8. Acabado del material

Se aplicó pintura anticorrosiva para así evitar la corrosión de las partes del módulo como capa base se colocó pintura de color blanco nácar para dar un acabado final se pintó de gris mate.



Ilustración 3- 57: Acabados del material

Realizado por: Guanuche Lady, Peñafiel Vivian, 2023

3.9. Montaje del módulo de ensayos de la vida acelerada en rodamientos

Después de realizar el proceso de mecanizado de los elementos se procedió a realizar el montaje de todo el módulo.

3.9.1. Montaje de las bases del motor

Debido a las características del módulo las piezas que deben colocarse primero son las bases que se ajustan con pernos avellanados a la placa base. Es por esto que se coloca en primer lugar las bases del motor y estas se ajustan a la placa base con pernos avellanados de $5/8 \times 2 1/2$ debido a

que los pernos M16 x 2,0 no se encuentran con facilidad en el comercio local, para después anclar el motor.

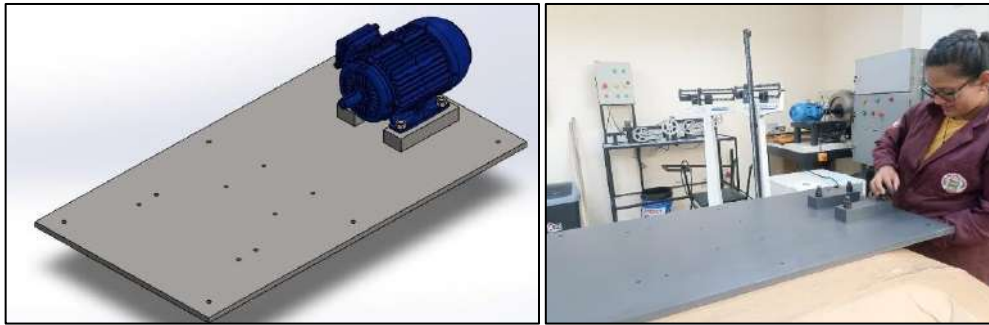


Ilustración 3- 58: Montaje de las bases del motor

Realizado por: Guanuche Lady, Peñafiel Vivian, 2023

Una vez ya montadas las bases se debe montar el motor para realizar el ajuste se utiliza tuercas y arandelas de presión para los pernos M 5/8 x 2 1/2 con longitud de 80mm.



Ilustración 3- 59: Montaje del motor

Realizado por: Guanuche Lady, Peñafiel Vivian, 2023

3.9.2. *Montaje de las bases de las chumaceras*

Se coloca las bases de las chumaceras y estas se ajustan a la placa base con 4 pernos avellanados M8 x 1,25, como se observa en la Ilustración 3-60.

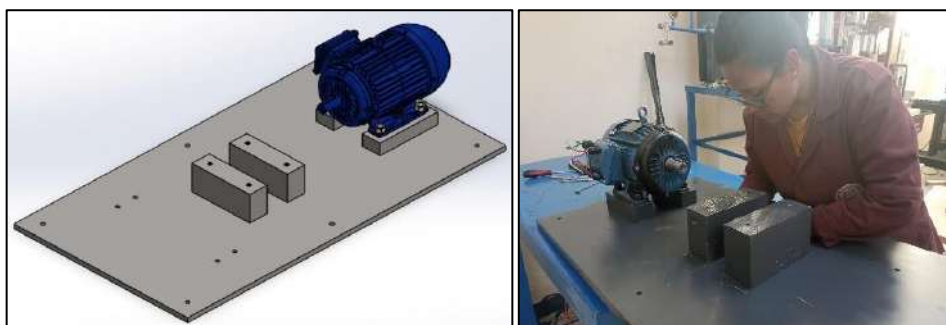


Ilustración 3- 60: Montaje de las bases de las chumaceras

Realizado por: Guanuche Lady, Peñafiel Vivian, 2023

3.9.3. *Montaje de las bases del rodamiento en el soporte inferior*

Se coloca dos bases (dados) en las esquinas en la parte inferior de la caja porta rodamiento los cuales están sujetos a la placa base con dos pernos avellanados M8x1,25. Como se observa en la Ilustración 3-61.

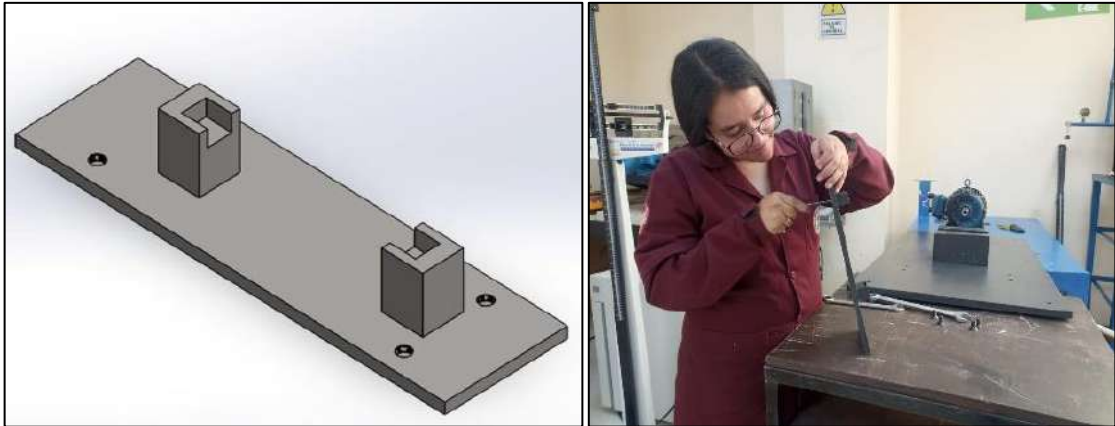


Ilustración 3- 61: Montaje de las bases de la caja de rodamiento

Realizado por: Guanuche Lady, Peñafiel Vivian, 2023

A su vez tendrá dos placas inferior y superior sostendrá a la caja porta rodamientos y bomba hidráulica con la ayuda de cuatro ejes, todo esto se encontrará fijo a la mesa con pernos M10x1,5 como se observa en la Ilustración 3-62.

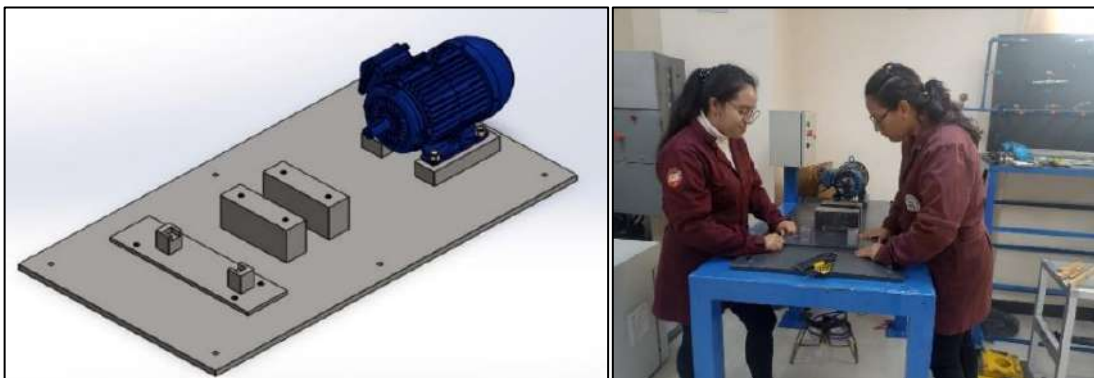


Ilustración 3- 62: Montaje del soporte inferior de la bomba hidráulica

Realizado por: Guanuche Lady, Peñafiel Vivian, 2023

3.9.4. *Montaje del módulo en la mesa*

Una vez colocada las bases de las chumaceras, motor, caja porta rodamiento y bomba hidráulica en la placa base ésta se ajusta en la mesa con pernos Allen de cabeza hexagonal M12X2.

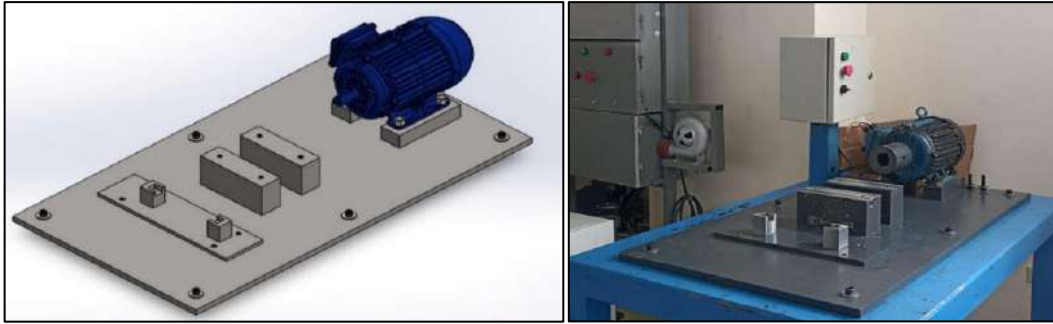


Ilustración 3- 63: Montaje del módulo de la mesa

Realizado por: Guanuche Lady, Peñafiel Vivian, 2023

3.9.5. *Montaje del acople*

El montaje del acople se lo realizó uniendo la brida de 20mm al eje del motor y la brida de 40mm al eje conductor lo que permite la transmisión de las bridas a través del elastómero, las bridas tienen dientes internos que engranan al elastómero.

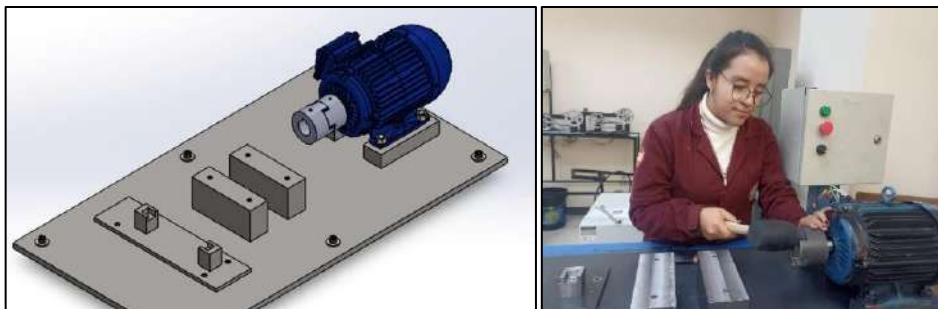


Ilustración 3- 64: Montaje del acople

Realizado por: Guanuche Lady, Peñafiel Vivian, 2023

3.9.6. *Montaje del eje*

El montaje del eje conductor se lo realizó acoplado la brida al eje, para luego atravesar las dos chumaceras y rodamiento.

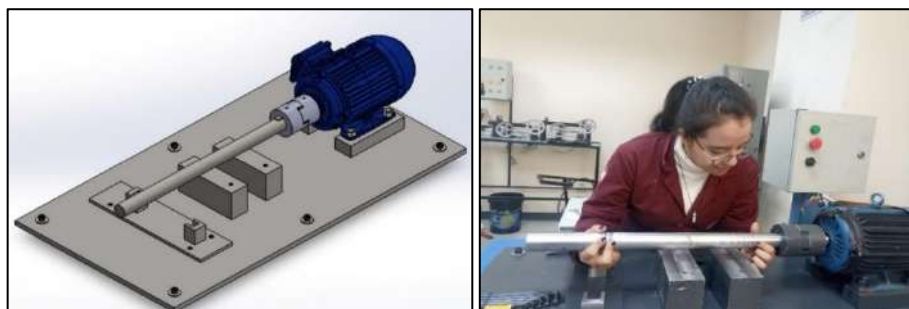


Ilustración 3- 65: Montaje del acople

Realizado por: Guanuche Lady, Peñafiel Vivian, 2023

3.9.7. *Montaje de chumaceras*

Una vez ya montadas las bases de las chumaceras y ajustadas se coloca las chumaceras sobre cada base se realizó el ajuste con pernos Allen M12X1,75 de 80mm.

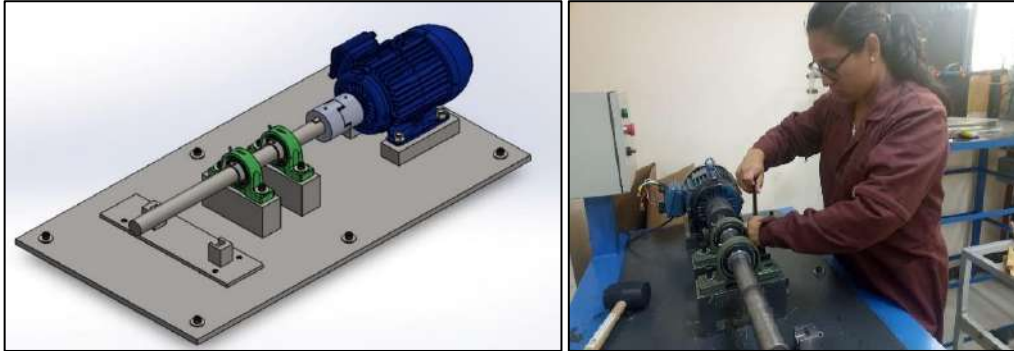


Ilustración 3- 66: Montaje de chumaceras

Realizado por: Guanuche Lady, Peñafiel Vivian, 2023

3.9.8. *Montaje de los ejes del soporte del sistema de carga*

Para dar un soporte a la bomba hidráulica se diseñaron cuatro ejes de acero inoxidable 304 con una rosca de media y tuercas para sostener el soporte superior. Los ejes tienen un diámetro de 16mm con una rosca de 1/2.

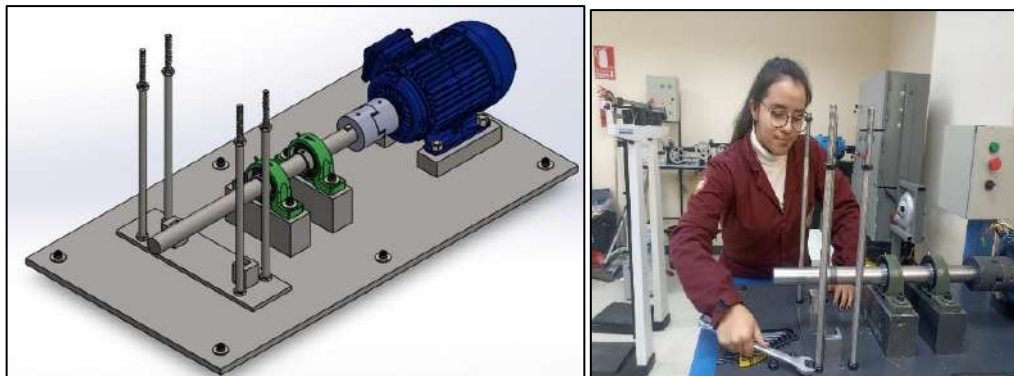


Ilustración 3- 67: Montaje de los ejes del soporte del sistema de carga

Realizado por: Guanuche Lady, Peñafiel Vivian, 2023

3.9.9. *Montaje del rodamiento y su caja*

El rodamiento se debe colocar en la caja para después ser encajado en el eje, para esto se debe ingresar el rodamiento de forma uniforme para evitar atascamiento al momento del ingreso.

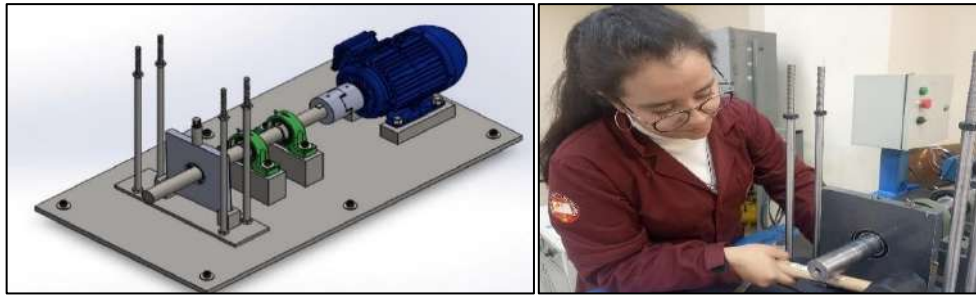


Ilustración 3- 68: Montaje del rodamiento y su caja

Realizado por: Guanuche Lady, Peñafiel Vivian, 2023

3.9.10. *Montaje de la bomba hidráulica*

La bomba se enrosca a la caja del rodamiento por medio de un eje roscado M 20 para obtener mejor agarre.

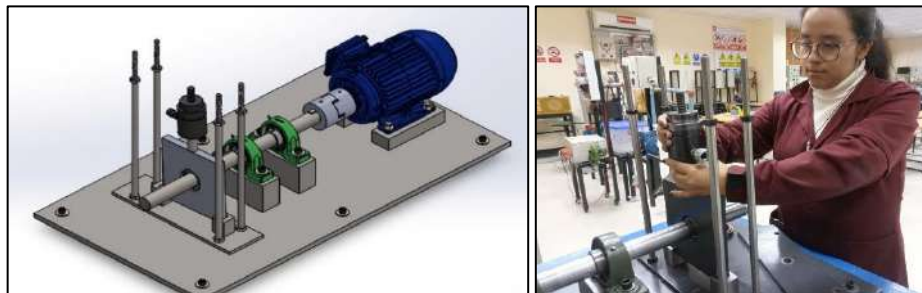


Ilustración 3- 69: Montaje de la bomba hidráulica

Realizado por: Guanuche Lady, Peñafiel Vivian, 2023

3.9.11. *Montaje del soporte superior de la bomba hidráulica*

Se coloca cuatro ejes al soporte superior y se sostiene con tuercas en la parte superior e inferior, el montaje de la bomba hidráulica se lo realizó en la placa superior que se encuentra sujeta por los cuatro ejes, la placa tiene una perforación mecánica en el que entra el eje roscado de la bomba hidráulica el cual será ajustado con una tuerca. Como observa en la Ilustración 3-70.

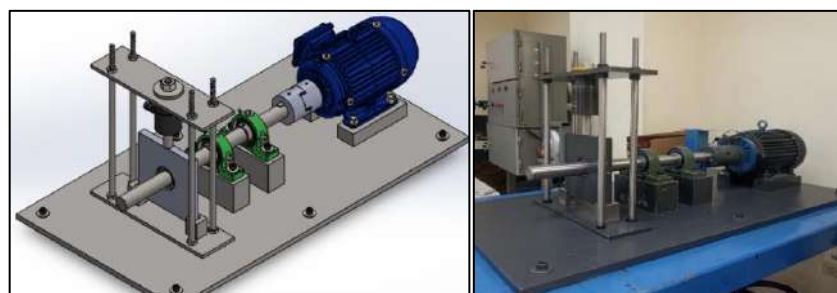


Ilustración 3- 70: Montaje del soporte superior de la bomba hidráulica

Realizado por: Guanuche Lady, Peñafiel Vivian, 2023

3.9.12. *Montaje de los insertos*

El montaje de los insertos son los elementos más importantes en el módulo ya que son las bases donde se van a ubicar los acelerómetros, el inserto tiene un diámetro de 22 mm por un espesor de 6 mm, para ser fijados se utiliza los pernos avellanados con cabeza plana para destornillador tipo mandíbula M5 X 0,80, éstos se fijan en el motor y chumaceras.



Ilustración 3- 71: Montaje de insertos

Realizado por: Guanuche Lady, Peñafiel Vivian, 2023

3.9.13. *Conexiones eléctricas*

Para energizar el módulo se debe conecta al tablero eléctrico con una conexión en triángulo, además, tomando en cuenta el buen funcionamiento de los elementos del tablero se opta por mantenerlos. La conexión con el tomacorriente y enchufe para 3P + T con una corriente de 16 A y un voltaje de 380 – 415 V.

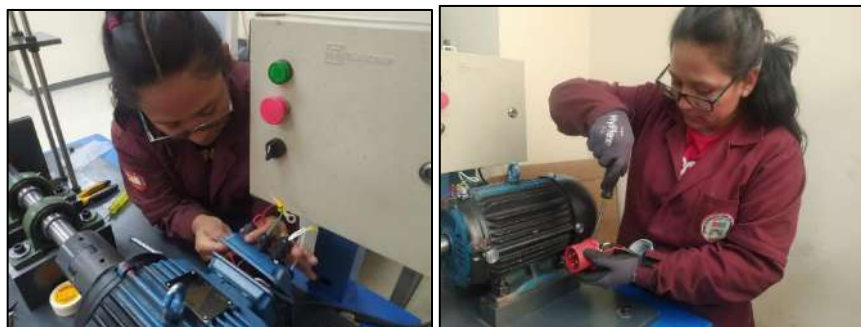


Ilustración 3- 72: Conexiones eléctricas

Realizado por: Guanuche Lady, Peñafiel Vivian, 2023

3.10. **Puesta en marcha del módulo**

Finalizado el montaje del módulo de ensayos de vida acelerada de rodamientos en el Laboratorio de Diagnóstico Técnico y Eficiencia Energética se realiza las pruebas de funcionamiento.

3.10.1. *Verificar el ajuste de los insertos*

Con la ayuda del VibraCheck se realizan mediciones de los espectros de vibración para verificar el ajuste de los insertos en el motor y las chumaceras.

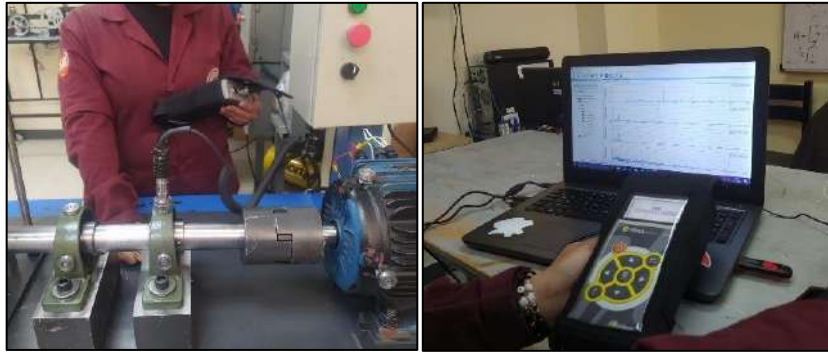


Ilustración 3- 73: Verificación del ajuste de los insertos

Realizado por: Guanuche Lady, Peñafiel Vivian, 2023

3.10.2. *Prueba de pata coja*

Esta prueba consiste en atornillar o desatornillar pernos y buscar elevaciones en placas o elementos anclados a una superficie fija, considerando las elevaciones de al menos 0,0508 mm. Considerando esto se realiza la prueba en cada punto anclaje de la placa bases.



Ilustración 3- 74: Prueba pata coja

Realizado por: Guanuche Lady, Peñafiel Vivian, 2023

Para el estudio se toma en cuenta los seis puntos de anclaje en la mesa como se muestra en la Ilustración 3-74, ésta se encuentra fija por pernos de cabeza hexagonal y una contratuerca en la base de la mesa.

3.10.3. Alineación de eje

La alineación es de suma importancia en todos los elementos con dos o más ejes ya que la desalineación en equipos aumenta el consumo eléctrico, debido a esto se realiza alineación en el eje para disminuir todos los posibles desajustes entre el sistema motriz y el sistema conducido.



Ilustración 3- 75: Alineación de eje

Realizado por: Guanuche Lady, Peñafiel Vivian, 2023

El proceso de alineación se lo realiza con el equipo SKF TKSA 11 que consta con una aplicación para celular, éste toma en cuenta valores como distancias y tolerancias. La alineación permite realizar una evaluación horizontal y vertical.

Para realizar el procedimiento se debe montar los dos soportes en V con la cadena de bloqueo, después se coloca el soporte de barra magnética y sobre ésta la barra de referencia. Después se colocan los sensores de proximidad inductivos. El proceso de medición se realiza en tres posiciones [Posición 9 (90°), Posición 12 (0°) y Posición 3 (-90°)].



Ilustración 3- 76: Toma de mediciones

Realizado por: Guanuche Lady, Peñafiel Vivian, 2023

CAPÍTULO IV

4. MARCO DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En este capítulo se realiza la recolección de los datos del módulo de ensayos de vida acelerada de rodamiento con el uso de la cámara termográfica Satir HotFind VR y VibraCheck 200 ABG, además, de la metodología empleada para obtener los datos y el análisis de los termogramas y espectros para determinar los modos de fallo.

4.1. Recolección de datos

Para el análisis termográfico, la recolección de datos se lo realiza en la caja de rodamiento y las chumaceras donde se presenta un incremento considerable en la temperatura de las medidas iniciales. Y para el análisis de vibración se toma en cuenta la frecuencia a la que trabaja el motor para encontrar los espectros característicos.

4.2. Mediciones obtenidas

Las mediciones de vibración se realizaron con el VibraCheck 200 ABG y para el análisis se usó software MAINTraQ Predictive con la finalidad de encontrar el espectro característico, además, que las mediciones de termografía se las realizó con la cámara termográfica y el análisis se emplea el software SATIR Report.

4.2.1. *Mediciones obtenidas de termografía*

Los termogramas se obtuvieron con la cámara teniendo en cuenta factores como temperatura ambiente y humedad a las que se encuentra el módulo, para tomar en cuenta los criterios de severidad según los rangos de funcionamiento del rodamiento. Para tomar las mediciones se debe calibrar la cámara; los termogramas se toman después de aplicar la carga en la caja del rodamiento.

4.2.1.1. *Medición termográfica caja de rodamiento sin carga*

Para el rodamiento NTN 6008 rígido de bolas de simple hilera de diámetro de 40 mm, sin aplicar carga en éste muestra un incremento en la temperatura de 29,6°C y según SKF los rangos de temperatura a la que puede trabajar la grasa de un rodamiento antes de perder sus características

físicas debe variar entre $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $+100\text{ }^{\circ}\text{C}$, por ende, el rodamiento está en condiciones óptimas. Y la caja de rodamiento presenta una temperatura máxima de $25,8\text{ }^{\circ}\text{C}$.

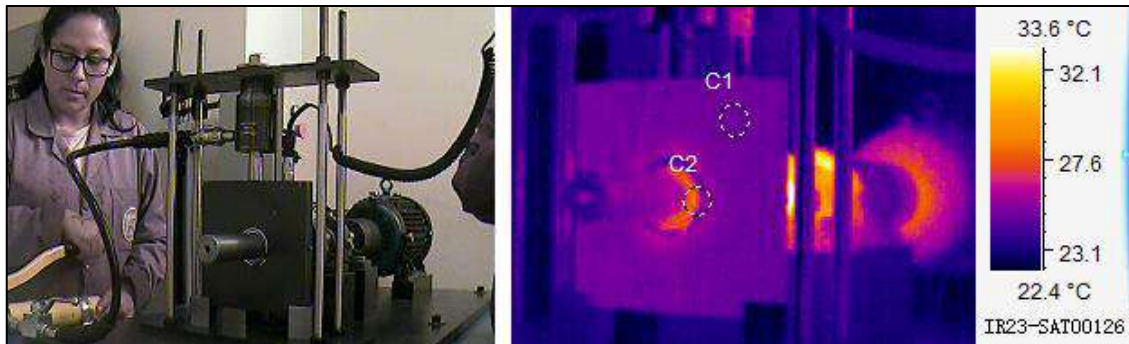


Ilustración 4- 1: Medición termográfica caja de rodamiento sin carga

Fuente: SATIR Report

Realizado por: Guanuche Lady, Peñafiel Vivian, 2023

4.2.1.2. Medición termográfica caja de rodamiento con una carga de 100 psi

Para el rodamiento NTN 6008 rígido de bolas de simple hilera de diámetro de 40 mm, se aplica una carga de 100 psi esto muestra un incremento en la temperatura de $31,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ y según SKF los rangos de temperatura a la que puede trabajar la grasa de un rodamiento antes de perder sus características físicas debe variar entre $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $+100\text{ }^{\circ}\text{C}$, por ende, el rodamiento está en condiciones óptimas. Y la caja de rodamiento presenta una temperatura máxima de $26,5\text{ }^{\circ}\text{C}$.

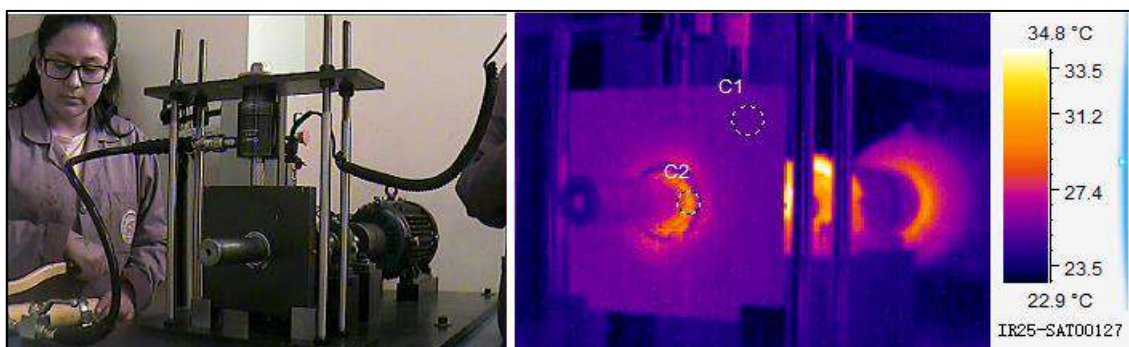


Ilustración 4- 2: Medición termográfica caja de rodamiento con una carga de 100 psi

Fuente: SATIR Report

Realizado por: Guanuche Lady, Peñafiel Vivian, 2023

4.2.1.3. Medición termográfica caja de rodamiento con una carga de 200 psi

Para el rodamiento NTN 6008 rígido de bolas de simple hilera de diámetro de 40 mm, se aplica una carga de 200 psi esto muestra un incremento en la temperatura de $32,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ y según SKF los rangos de temperatura a la que puede trabajar la grasa de un rodamiento antes de perder sus

características físicas debe variar entre $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $+100\text{ }^{\circ}\text{C}$, por ende, el rodamiento está en condiciones óptimas. Y la caja de rodamiento presenta una temperatura máxima de $29,9\text{ }^{\circ}\text{C}$.

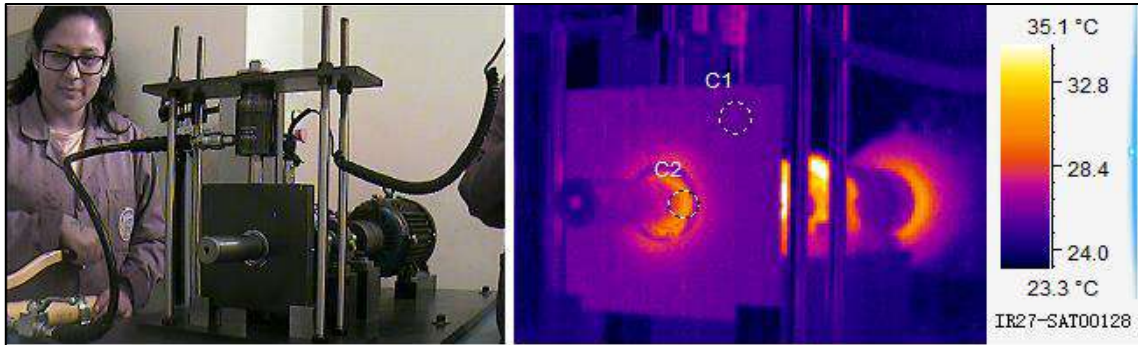


Ilustración 4- 3: Medición termográfica caja de rodamiento con una carga de 200 psi

Fuente: SATIR Report

Realizado por: Guanuche Lady, Peñafiel Vivian, 2023

4.2.1.4. Medición termográfica caja de rodamiento con una carga de 300 psi

Para el rodamiento NTN 6008 rígido de bolas de simple hilera de diámetro de 40 mm, se aplica una carga de 300 psi esto muestra un incremento en la temperatura de $34,7^{\circ}\text{C}$ y según SKF los rangos de temperatura a la que puede trabajar la grasa de un rodamiento antes de perder sus características físicas debe variar entre $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $+100\text{ }^{\circ}\text{C}$, por ende, el rodamiento está en condiciones óptimas. Y la caja de rodamiento presenta una temperatura máxima de $28,9\text{ }^{\circ}\text{C}$.

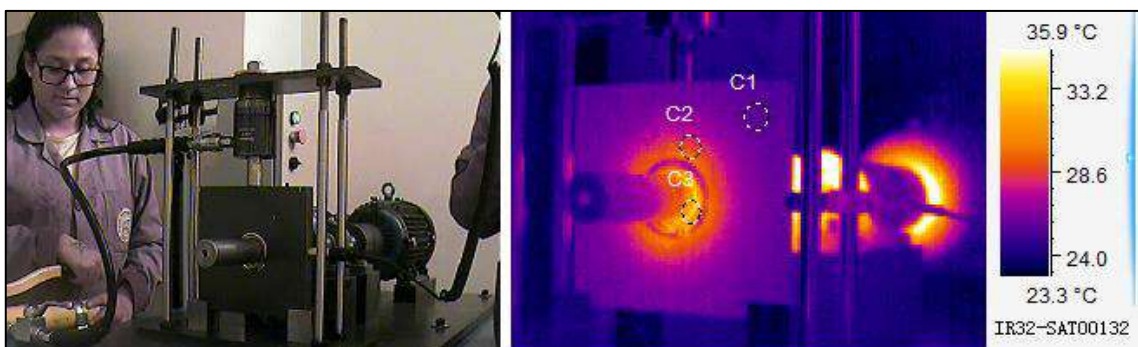


Ilustración 4- 4: Medición termográfica caja de rodamiento con una carga de 300 psi

Fuente: SATIR Report

Realizado por: Guanuche Lady, Peñafiel Vivian, 2023

4.2.1.5. Medición termográfica caja de rodamiento con una carga de 400 psi

Para el rodamiento NTN 6008 rígido de bolas de simple hilera de diámetro de 40 mm, se aplica una carga de 400 psi esto muestra un incremento en la temperatura de $34,7^{\circ}\text{C}$ y según SKF los rangos de temperatura a la que puede trabajar la grasa de un rodamiento antes de perder sus

características físicas debe variar entre $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $+100\text{ }^{\circ}\text{C}$, por ende, el rodamiento está en condiciones óptimas. Y la caja de rodamiento presenta una temperatura máxima de $28,9\text{ }^{\circ}\text{C}$.

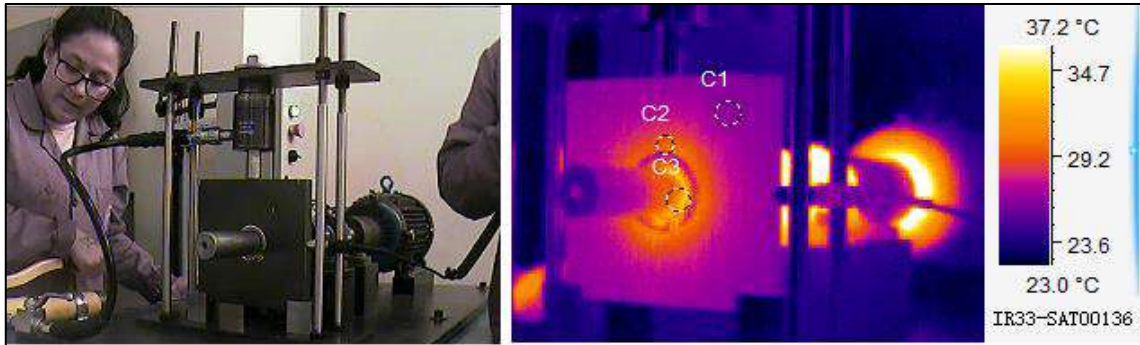


Ilustración 4- 5: Medición termográfica caja de rodamiento con una carga de 400 psi

Fuente: SATIR Report

Realizado por: Guanuche Lady, Peñafiel Vivian, 2023

4.2.1.6. Medición termográfica caja de rodamiento con una carga de 500 psi

Para el rodamiento NTN 6008 rígido de bolas de simple hilera de diámetro de 40 mm, se aplica una carga de 500 psi esto muestra un incremento en la temperatura de $35,9^{\circ}\text{C}$ y según SKF los rangos de temperatura a la que puede trabajar la grasa de un rodamiento antes de perder sus características físicas debe variar entre $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $+100\text{ }^{\circ}\text{C}$, por ende, el rodamiento está en condiciones óptimas. Y la caja de rodamiento presenta una temperatura máxima de $32,6\text{ }^{\circ}\text{C}$.

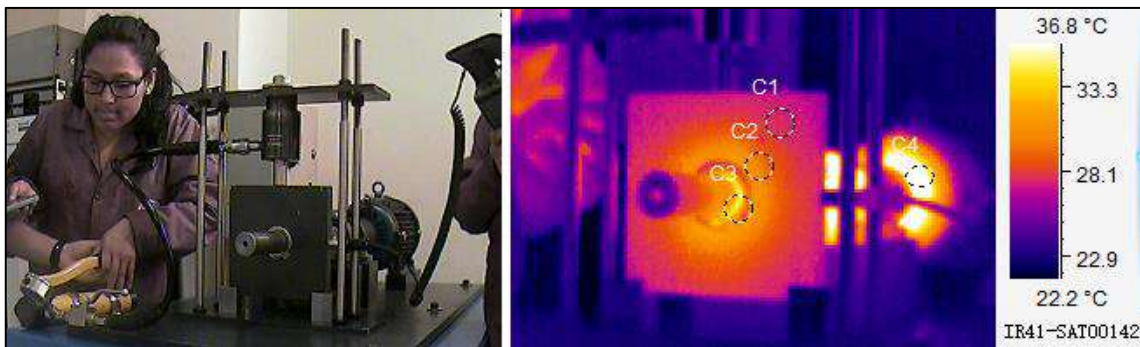


Ilustración 4- 6: Medición termográfica caja de rodamiento con una carga de 500 psi

Fuente: SATIR Report

Realizado por: Guanuche Lady, Peñafiel Vivian, 2023

4.2.1.7. Medición termográfica caja de rodamiento con una carga de 600 psi

Para el rodamiento NTN 6008 rígido de bolas de simple hilera de diámetro de 40 mm, se aplica una carga de 600 psi esto muestra un incremento en la temperatura de $36,8^{\circ}\text{C}$ y según SKF los rangos de temperatura a la que puede trabajar la grasa de un rodamiento antes de perder sus

características físicas debe variar entre $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $+100\text{ }^{\circ}\text{C}$, por ende, el rodamiento está en condiciones óptimas. Y la caja de rodamiento presenta una temperatura máxima de $33,9\text{ }^{\circ}\text{C}$.

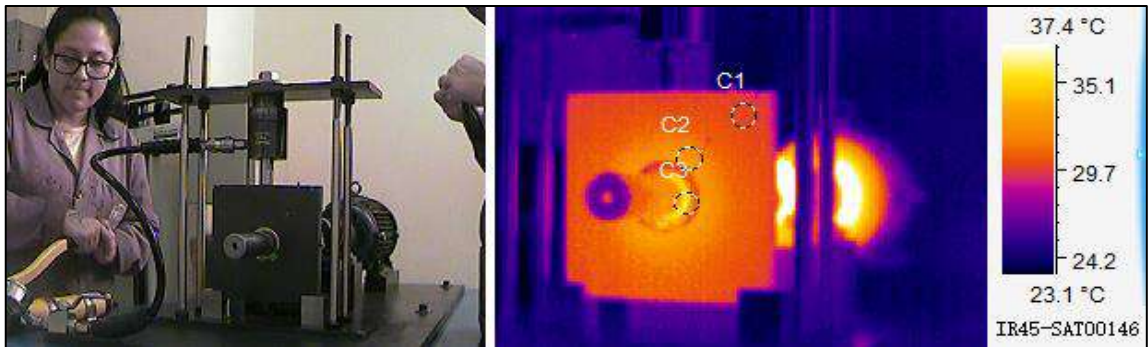


Ilustración 4- 7: Medición termográfica caja de rodamiento con una carga de 600 psi

Fuente: SATIR Report

Realizado por: Guanuche Lady, Peñafiel Vivian, 2023

4.2.1.8. Medición termográfica caja de rodamiento con una carga de 700 psi

Para el rodamiento NTN 6008 rígido de bolas de simple hilera de diámetro de 40 mm, se aplica una carga de 700 psi esto muestra un incremento en la temperatura de $37,4\text{ }^{\circ}\text{C}$ y según SKF los rangos de temperatura a la que puede trabajar la grasa de un rodamiento antes de perder sus características físicas debe variar entre $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $+100\text{ }^{\circ}\text{C}$, por ende, el rodamiento está en condiciones óptimas. Y la caja de rodamiento presenta una temperatura máxima de $34,3\text{ }^{\circ}\text{C}$.

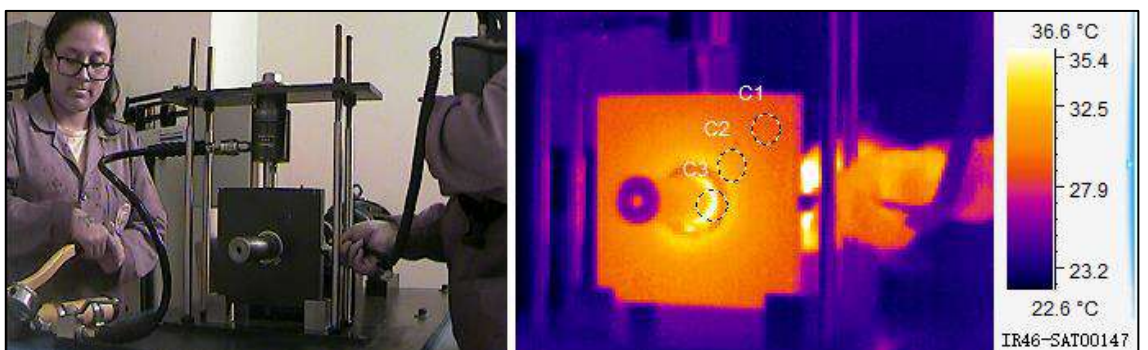


Ilustración 4- 8: Medición termográfica caja de rodamiento con una carga de 700 psi

Fuente: SATIR Report

Realizado por: Guanuche Lady, Peñafiel Vivian, 2023

4.2.1.9. Medición termográfica caja de rodamiento con una carga de 800 psi

Para el rodamiento NTN 6008 rígido de bolas de simple hilera de diámetro de 40 mm, se aplica una carga de 800 psi esto muestra un incremento en la temperatura de $39,4\text{ }^{\circ}\text{C}$ y según SKF los rangos de temperatura a la que puede trabajar la grasa de un rodamiento antes de perder sus

características físicas debe variar entre $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $+100\text{ }^{\circ}\text{C}$, por ende, el rodamiento está en condiciones óptimas. Y la caja de rodamiento presenta una temperatura máxima de $35,6\text{ }^{\circ}\text{C}$.

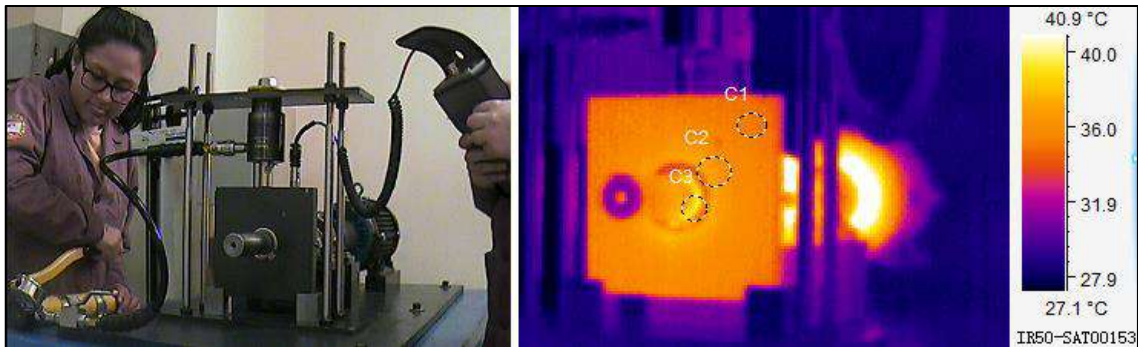


Ilustración 4- 9: Medición termográfica caja de rodamiento con una carga de 800 psi

Fuente: SATIR Report

Realizado por: Guanuche Lady, Peñafiel Vivian, 2023

4.2.1.10. Medición termográfica caja de rodamiento con una carga de 900 psi

Para el rodamiento NTN 6008 rígido de bolas de simple hilera de diámetro de 40 mm, se aplica una carga de 900 psi esto muestra un incremento en la temperatura de $43,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ y según SKF los rangos de temperatura a la que puede trabajar la grasa de un rodamiento antes de perder sus características físicas debe variar entre $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $+100\text{ }^{\circ}\text{C}$, por ende, el rodamiento está en condiciones óptimas. Y la caja de rodamiento presenta una temperatura máxima de $39,1\text{ }^{\circ}\text{C}$.

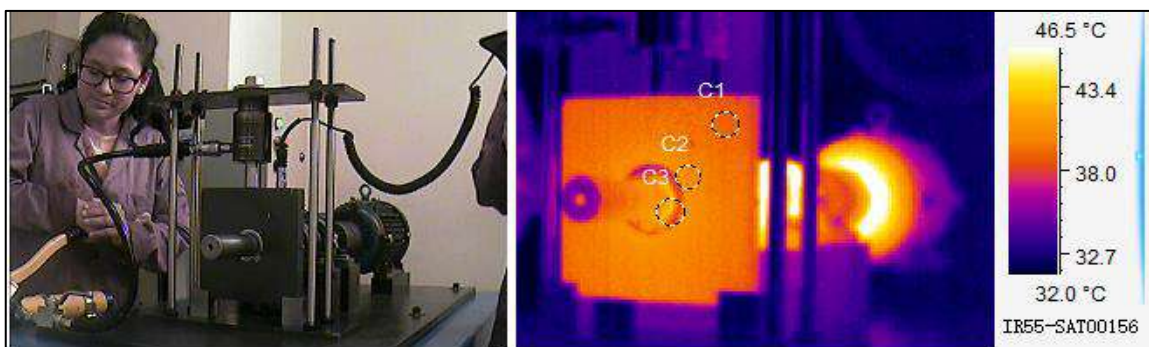


Ilustración 4- 10: Medición termográfica caja de rodamiento con una carga de 900 psi

Fuente: SATIR Report

Realizado por: Guanuche Lady, Peñafiel Vivian, 2023

4.2.1.11. Medición termográfica caja de rodamiento con una carga de 1000 psi

Para el rodamiento NTN 6008 rígido de bolas de simple hilera de diámetro de 40 mm, se aplica una carga de 1000 psi esto muestra un incremento en la temperatura de $34,7\text{ }^{\circ}\text{C}$ y según SKF los rangos de temperatura a la que puede trabajar la grasa de un rodamiento antes de perder sus

características físicas debe variar entre $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $+100\text{ }^{\circ}\text{C}$, por ende, el rodamiento está en condiciones óptimas. Y la caja de rodamiento presenta una temperatura máxima de $28,9\text{ }^{\circ}\text{C}$.

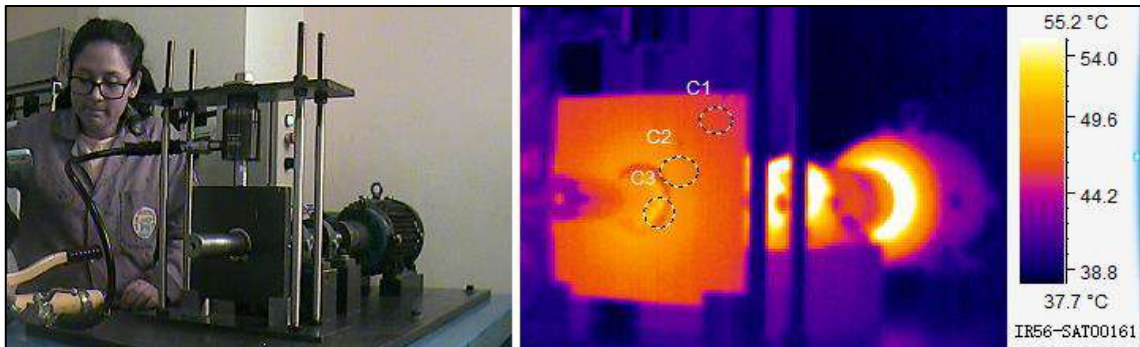


Ilustración 4- 11: Medición termográfica caja de rodamiento con una carga de 1000 psi

Fuente: SATIR Report

Realizado por: Guanuche Lady, Peñafiel Vivian, 2023

4.2.2. Mediciones obtenidas de vibración

Para las mediciones de vibración se tomó en cuenta diez muestras, la carga que se aplicó fue mediante la bomba hidráulica.

4.2.2.1. Medición caja de rodamiento sin carga

Las mediciones realizadas en el módulo se realizan en los tres planos (vertical, horizontal y axial), en la primera prueba se lo realiza sin aplicar ningún esfuerzo sobre el rodamiento.

El tiempo que requiere la obtención de los datos en todos los planos es un aproximado de 3 minutos.

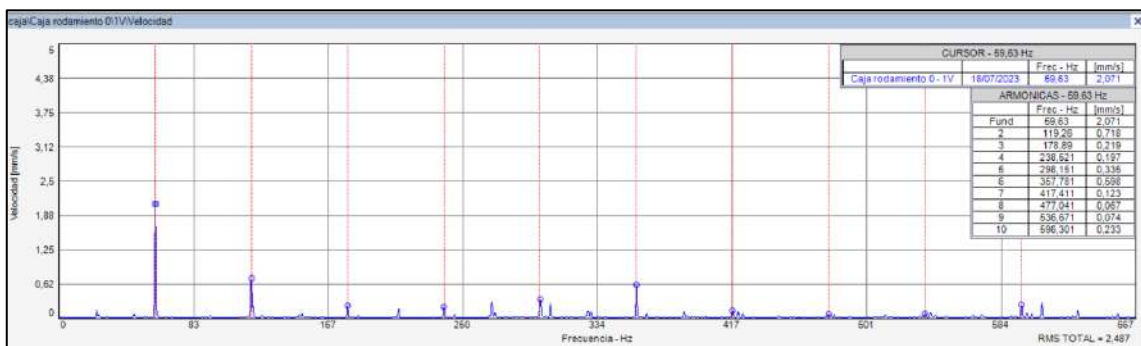


Ilustración 4- 12: Mediciones de vibración plano vertical sin carga

Fuente: Software MAINTraQ Predictive 2.1

Realizado por: Guanuche Lady, Peñafiel Vivian, 2023

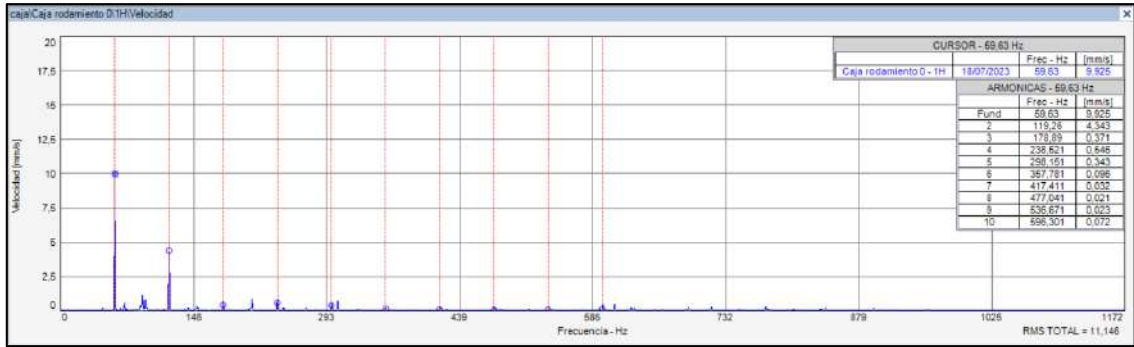


Ilustración 4- 13: Mediciones de vibración plano horizontal sin carga

Fuente: Software MAINTraq Predictive 2.1

Realizado por: Guanuche Lady, Peñafiel Vivian, 2023

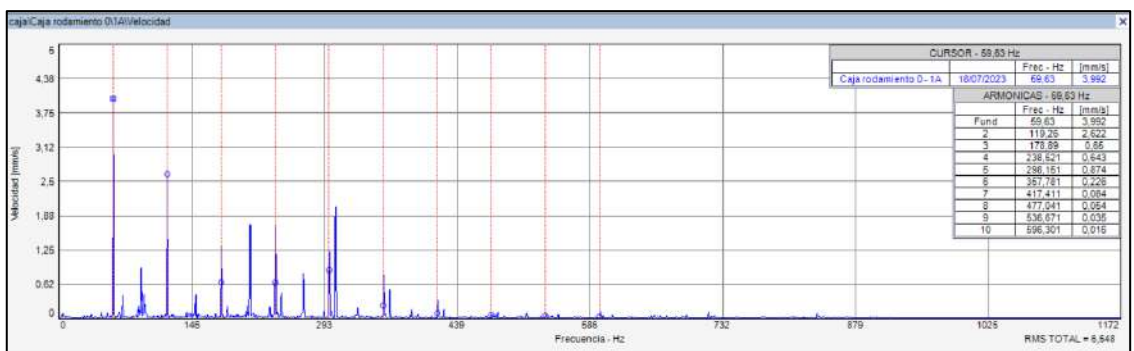


Ilustración 4- 14: Mediciones de vibración plano axial sin carga

Fuente: Software MAINTraq Predictive 2.1

Realizado por: Guanuche Lady, Peñafiel Vivian, 2023

Tabla 4- 1: Amplitud de la caja de rodamiento (Sin carga)

	Vertical	Horizontal	Axial
Múltiplos	Amplitud (mm/s)	Amplitud (mm/s)	Amplitud (mm/s)
1x	2,071	9,925	3,992
2x	0,718	4,343	2,622
3x	0,219	0,371	0,650
RMS TOTAL	2,487	11,146	6,548

Realizado por: Guanuche Lady, Peñafiel Vivian, 2023

4.2.2.2. Medición caja de rodamiento con una carga de 100 psi

Las mediciones realizadas en el módulo se realizan en los tres planos (vertical, horizontal y axial), en la segunda prueba se lo realiza con una carga de 100 psi sobre el rodamiento la cual fue aplicada por la bomba hidráulica.

El tiempo que requiere la obtención de los datos en todos los planos es un aproximado de 3 minutos.

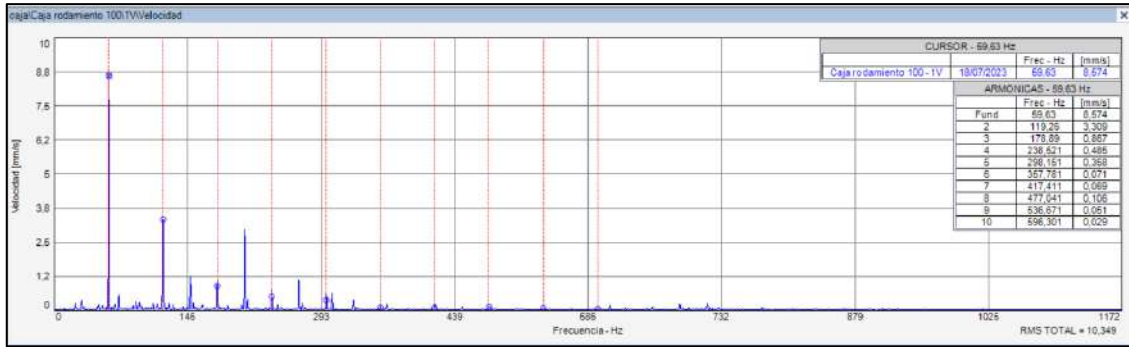


Ilustración 4- 15: Mediciones de vibración plano vertical (Carga de 100 psi)

Fuente: Software MAINTraq Predictive 2.1

Realizado por: Guanuche Lady, Peñafiel Vivian, 2023

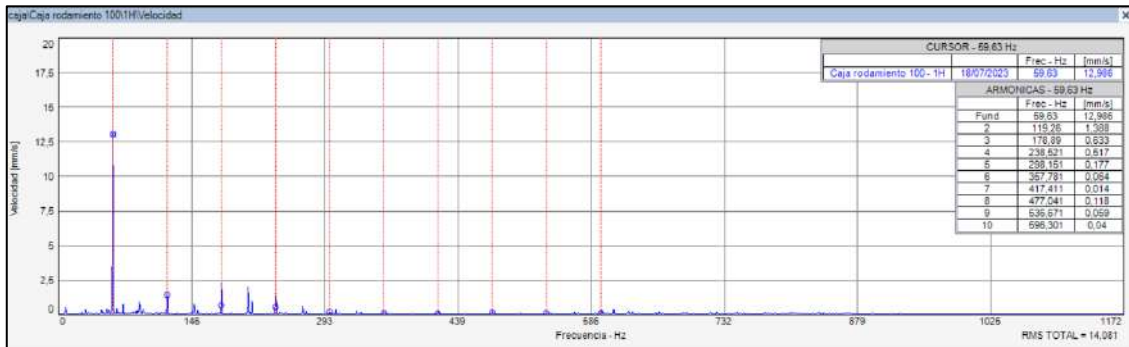


Ilustración 4- 16: Mediciones de vibración plano horizontal (Carga de 100 psi)

Fuente: Software MAINTraq Predictive 2.1

Realizado por: Guanuche Lady, Peñafiel Vivian, 2023

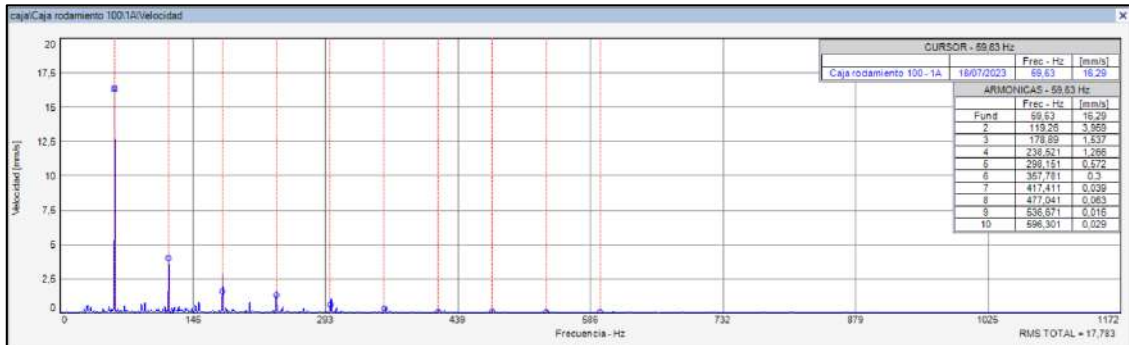


Ilustración 4- 17: Mediciones de vibración plano axial (Carga de 100 psi)

Fuente: Software MAINTraq Predictive 2.1

Realizado por: Guanuche Lady, Peñafiel Vivian, 2023

Tabla 4- 2: Amplitud de la caja de rodamiento (Carga de 100 psi)

Múltiplos	Vertical Amplitud (mm/s)	Horizontal Amplitud (mm/s)	Axial Amplitud (mm/s)
1x	8,574	12,986	16,290
2x	3,309	1,388	3,959
3x	0,867	0,633	1,537
RMS TOTAL	10,349	14,081	17,783

Realizado por: Guanuche Lady, Peñafiel Vivian, 2023

4.2.2.3. Medición caja de rodamiento con una carga de 200 psi

Las mediciones realizadas en el módulo se realizan en los tres planos (vertical, horizontal y axial), en la primera prueba se lo realiza con una carga de 200 psi sobre el rodamiento la cual fue aplicada por la bomba hidráulica. El tiempo que requiere la obtención de los datos en todos los planos es un aproximado de 3 minutos.

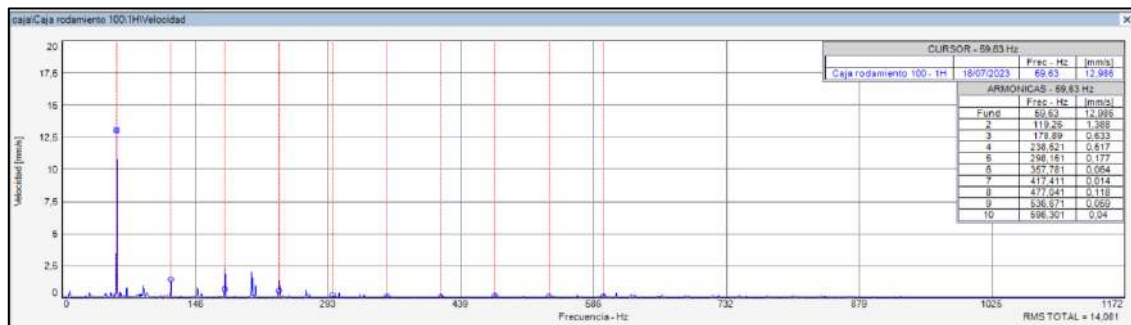


Ilustración 4- 18: Mediciones de vibración plano vertical (Carga de 200 psi)

Fuente: Software MAINTraq Predictive 2.1

Realizado por: Guanuche Lady, Peñafiel Vivian, 2023

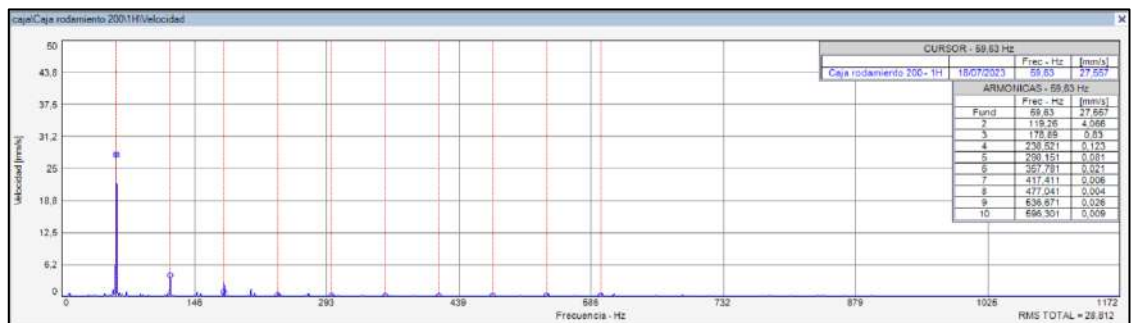


Ilustración 4- 19: Mediciones de vibración plano horizontal (Carga de 200 psi)

Fuente: Software MAINTraq Predictive 2.1

Realizado por: Guanuche Lady, Peñafiel Vivian, 2023

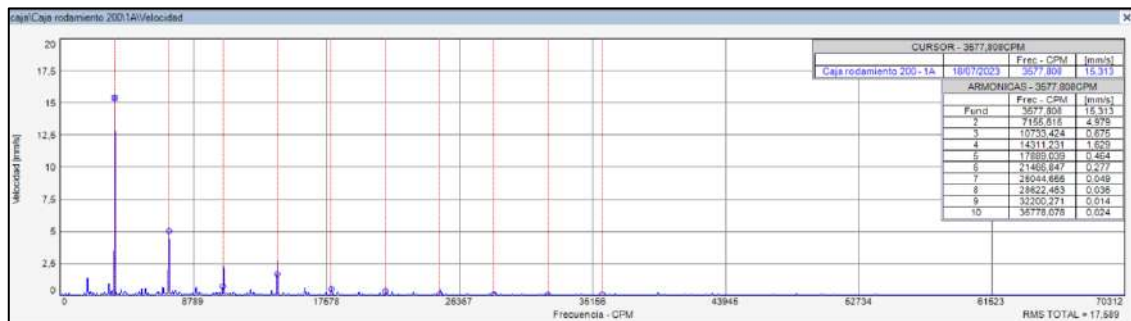


Ilustración 4- 20: Mediciones de vibración plano axial (Carga de 200 psi)

Fuente: Software MAINTraq Predictive 2.1

Realizado por: Guanuche Lady, Peñafiel Vivian, 2023

Tabla 4- 3: Amplitud de la caja de rodamiento (Carga de 200 psi)

	Vertical	Horizontal	Axial
Múltiplos	Amplitud (mm/s)	Amplitud (mm/s)	Amplitud (mm/s)
1x	12,986	27,557	15,313
2x	1,388	4,066	4,979
3x	0,633	0,830	0,675
RMS TOTAL	14,081	28,812	17,584

Realizado por: Guanuche Lady, Peñafiel Vivian, 2023

4.2.2.4. *Medición caja de rodamiento con una carga de 300 psi*

Las mediciones realizadas en el módulo se realizan en los tres planos (vertical, horizontal y axial), en la primera prueba se lo realiza con una carga de 300 psi sobre el rodamiento la cual fue aplicada por la bomba hidráulica.

El tiempo que requiere la obtención de los datos en todos los planos es un aproximado de 3 minutos.

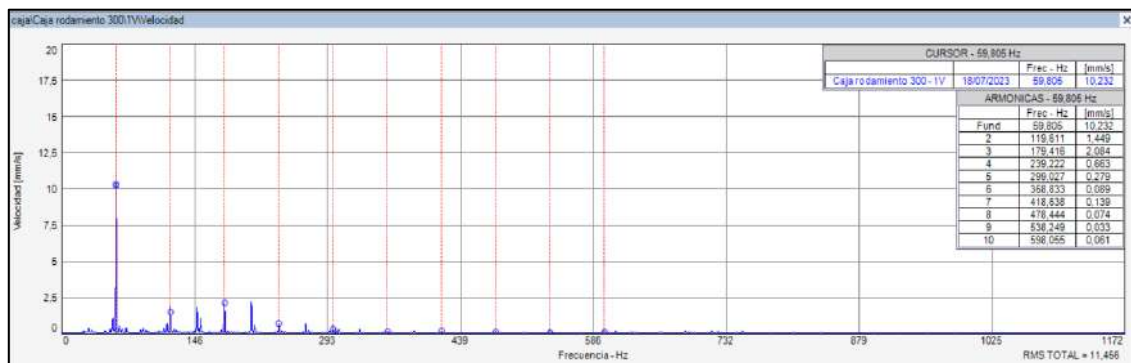


Ilustración 4- 21: Mediciones de vibración plano vertical (Carga de 300 psi)

Fuente: Software MAINTraq Predictive 2.1

Realizado por: Guanuche Lady, Peñafiel Vivian, 2023

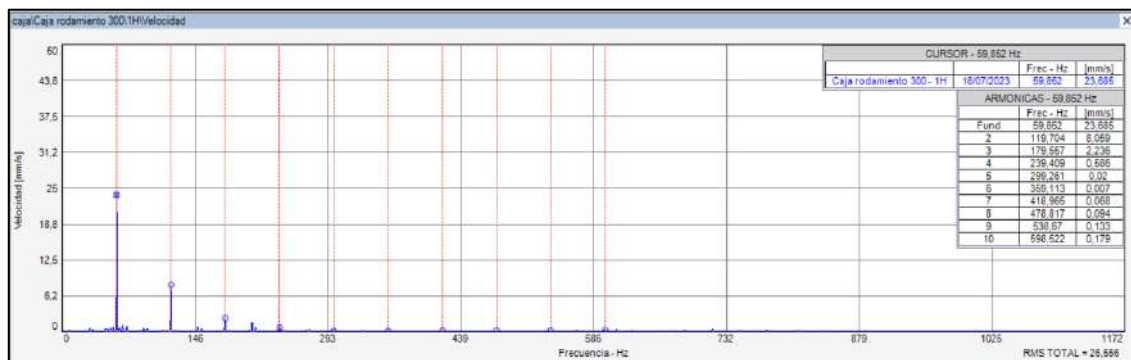


Ilustración 4- 22: Mediciones de vibración plano horizontal (Carga de 300 psi)

Fuente: Software MAINTraq Predictive 2.1

Realizado por: Guanuche Lady, Peñafiel Vivian, 2023

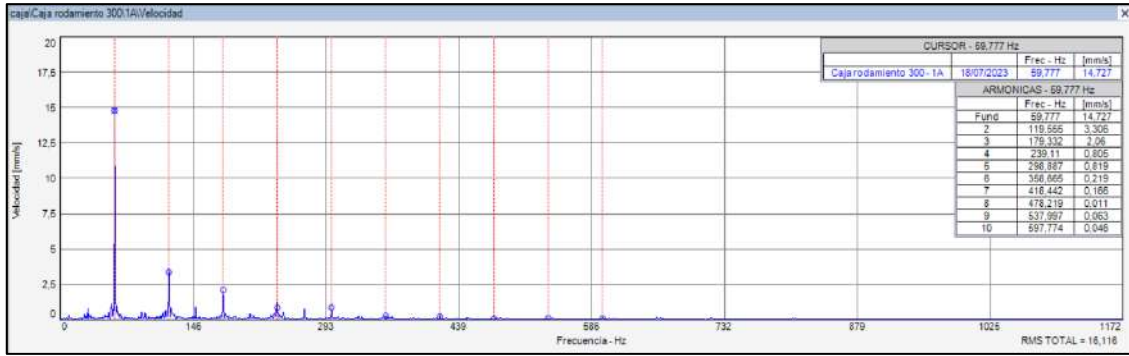


Ilustración 4- 23: Mediciones de vibración plano axial (Carga de 300 psi)

Fuente: Software MAINTraQ Predictive 2.1

Realizado por: Guanuche Lady, Peñafiel Vivian, 2023

Tabla 4- 4: Amplitud de la caja de rodamiento (Carga de 300 psi)

Múltiplos	Vertical Amplitud (mm/s)	Horizontal Amplitud (mm/s)	Axial Amplitud (mm/s)
1x	10,232	23,685	14,727
2x	1,449	8,059	3,306
3x	2,084	2,236	2,060
RMS TOTAL	11,456	26,556	16,116

Realizado por: Guanuche Lady, Peñafiel Vivian, 2023

4.2.2.5. Medición caja de rodamiento con una carga de 400 psi

Las mediciones realizadas en el módulo se realizan en los tres planos (vertical, horizontal y axial), en la primera prueba se lo realiza con una carga de 400 psi sobre el rodamiento la cual fue aplicada por la bomba hidráulica.

El tiempo que requiere la obtención de los datos en todos los planos es un aproximado de 3 minutos.

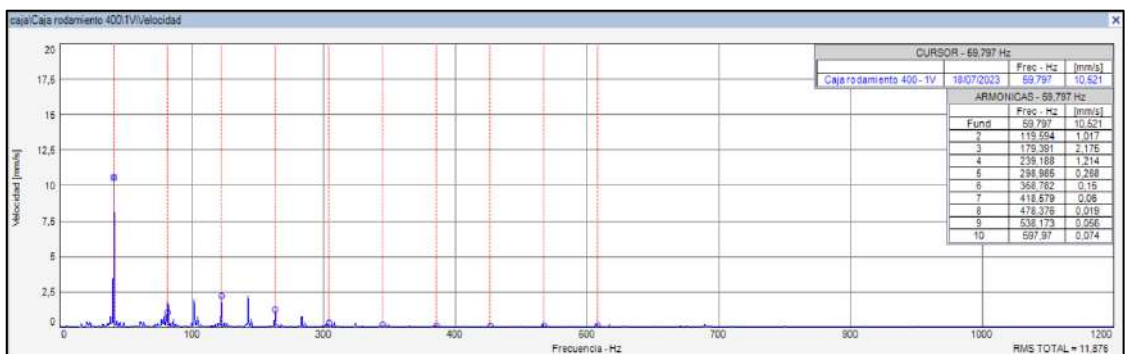


Ilustración 4- 24: Mediciones de vibración plano vertical (Carga de 400 psi)

Fuente: Software MAINTraQ Predictive 2.1

Realizado por: Guanuche Lady, Peñafiel Vivian, 2023

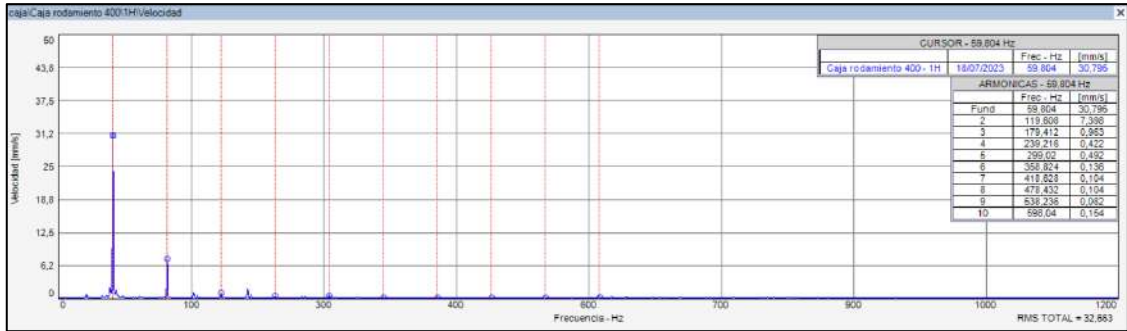


Ilustración 4- 25: Mediciones de vibración plano horizontal (Carga de 400 psi)

Fuente: Software MAINTraQ Predictive 2.1

Realizado por: Guanuche Lady, Peñafiel Vivian, 2023

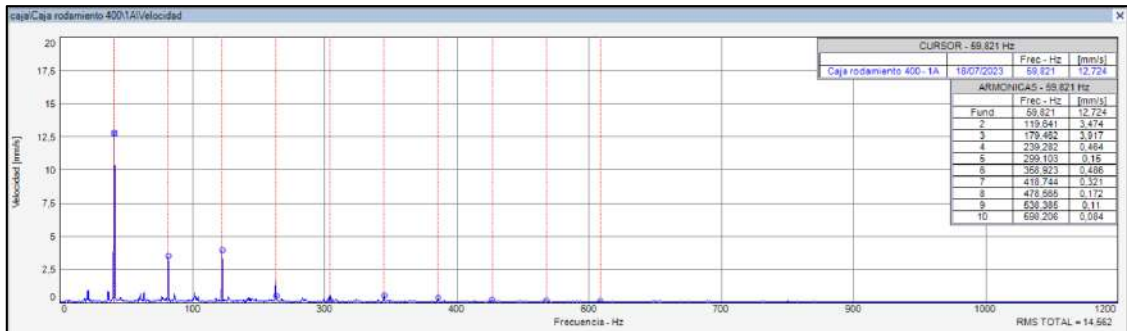


Ilustración 4- 26: Mediciones de vibración plano axial (Carga de 400 psi)

Fuente: Software MAINTraQ Predictive 2.1

Realizado por: Guanuche Lady, Peñafiel Vivian, 2023

Tabla 4- 5: Amplitud de la caja de rodamiento (Carga de 400 psi)

	Vertical	Horizontal	Axial
Múltiplos	Amplitud (mm/s)	Amplitud (mm/s)	Amplitud (mm/s)
1x	10,521	30,795	12,724
2x	1,017	7,398	3,474
3x	2,175	0,953	3,917
RMS TOTAL	11,876	32,663	14,562

Realizado por: Guanuche Lady, Peñafiel Vivian, 2023

Determinación del tipo de falla en el rodamiento

Empleando la ecuación 2-1.

$$BPFO = RPM \frac{N_b}{2} \left(1 - \frac{B_D}{P_D} \cos(\beta) \right)$$

$$N_b = 12$$

$$P_D = 54 \text{ mm}$$

$$B_D = 18 \text{ mm}$$

$$\beta = 45^\circ$$

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

$$\mathbf{BPFO} = 3600 \frac{12}{2} \left(1 - \frac{18 \text{ mm}}{54 \text{ mm}} \cos(45) \right)$$

$$\mathbf{BPFO} = 17\,817,68 \text{ CPM}$$

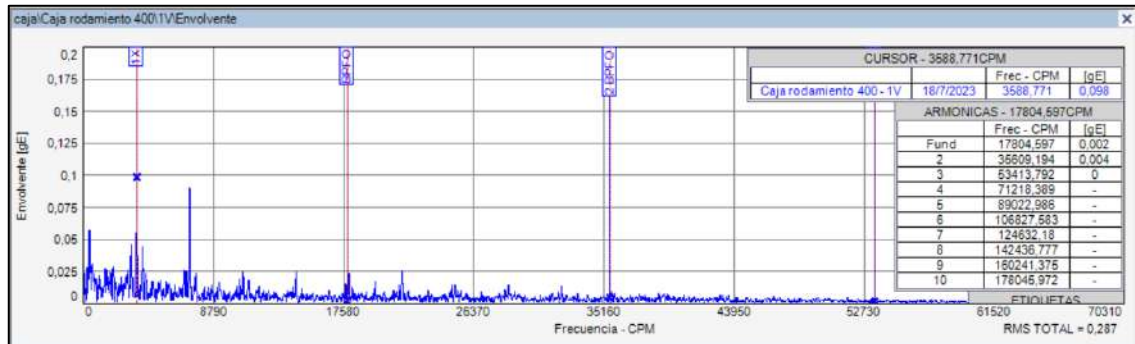


Ilustración 4- 27: Espectro envolvente a 400 psi

Fuente: Software MAINTraQ Predictive 2.1

Realizado por: Guanuche Lady, Peñafiel Vivian, 2023



Ilustración 4- 28: Rodamiento a los 400 psi

Fuente: <https://www.skf.com/co>

4.2.2.6. Medición caja de rodamiento con una carga de 500 psi

Las mediciones realizadas en el módulo se realizan en los tres planos (vertical, horizontal y axial), en la primera prueba se lo realiza con una carga de 500 psi sobre el rodamiento la cual fue aplicada por la bomba hidráulica.

El tiempo que requiere la obtención de los datos en todos los planos es un aproximado de 3 minutos.

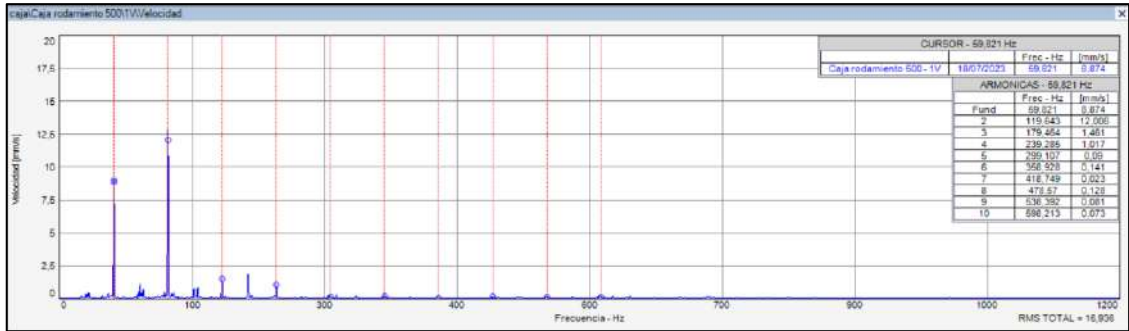


Ilustración 4- 29: Mediciones de vibración plano vertical (Carga de 500 psi)

Fuente: Software MAINTraQ Predictive 2.1

Realizado por: Guanuche Lady, Peñafiel Vivian, 2023

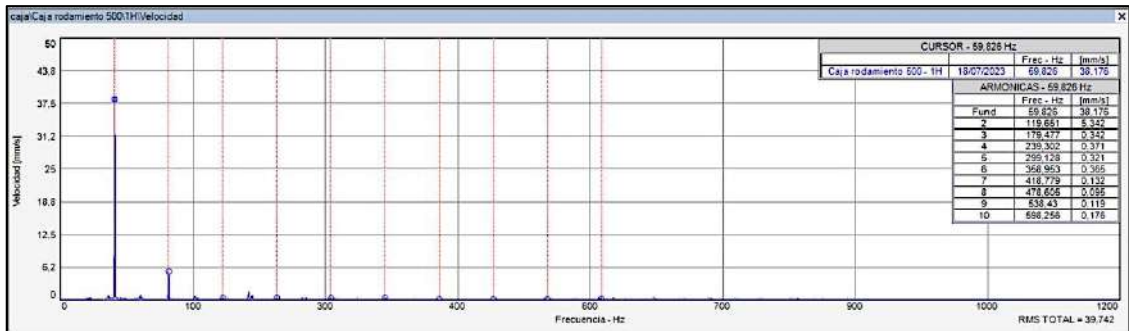


Ilustración 4- 30: Mediciones de vibración plano horizontal (Carga de 500 psi)

Fuente: Software MAINTraQ Predictive 2.1

Realizado por: Guanuche Lady, Peñafiel Vivian, 2023

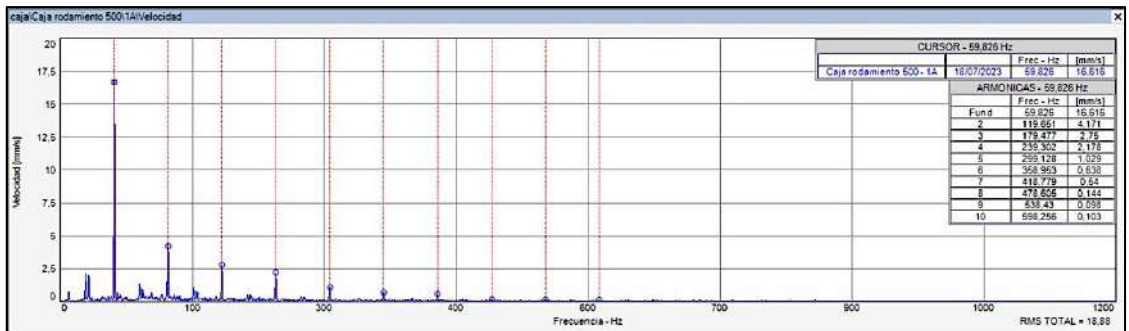


Ilustración 4- 31: Mediciones de vibración plano axial (Carga de 500 psi)

Fuente: Software MAINTraQ Predictive 2.1

Realizado por: Guanuche Lady, Peñafiel Vivian, 2023

Tabla 4- 6: Amplitud de la caja de rodamiento (Carga de 400 psi)

	Vertical	Horizontal	Axial
Múltiplos	Amplitud (mm/s)	Amplitud (mm/s)	Amplitud (mm/s)
1x	8,874	38,176	16,616
2x	12,006	5,342	4,171
3x	1,461	0,342	2,750
RMS TOTAL	16,936	39,742	18,880

Realizado por: Guanuche Lady, Peñafiel Vivian, 2023

4.2.2.7. Medición caja de rodamiento con una carga de 600 psi

Las mediciones realizadas en el módulo se realizan en los tres planos (vertical, horizontal y axial), en la primera prueba se lo realiza con una carga de 600 psi sobre el rodamiento la cual fue aplicada por la bomba hidráulica. El tiempo que requiere la obtención de los datos en todos los planos es un aproximado de 3 minutos.

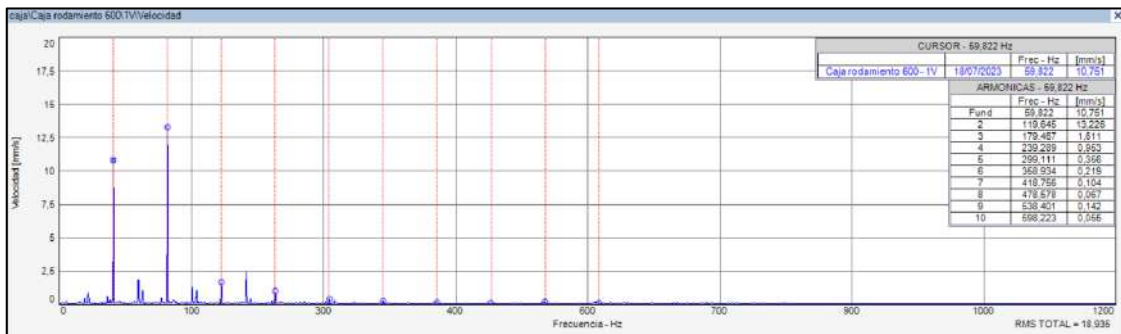


Ilustración 4- 32: Mediciones de vibración plano vertical (Carga de 600 psi)

Fuente: Software MAINTraq Predictive 2.1

Realizado por: Guanuche Lady, Peñafiel Vivian, 2023

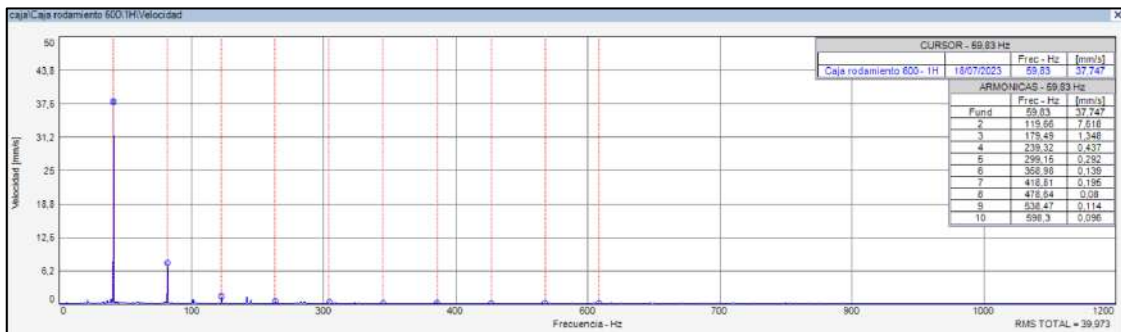


Ilustración 4- 33: Mediciones de vibración plano horizontal (Carga de 600 psi)

Fuente: Software MAINTraq Predictive 2.1

Realizado por: Guanuche Lady, Peñafiel Vivian, 2023

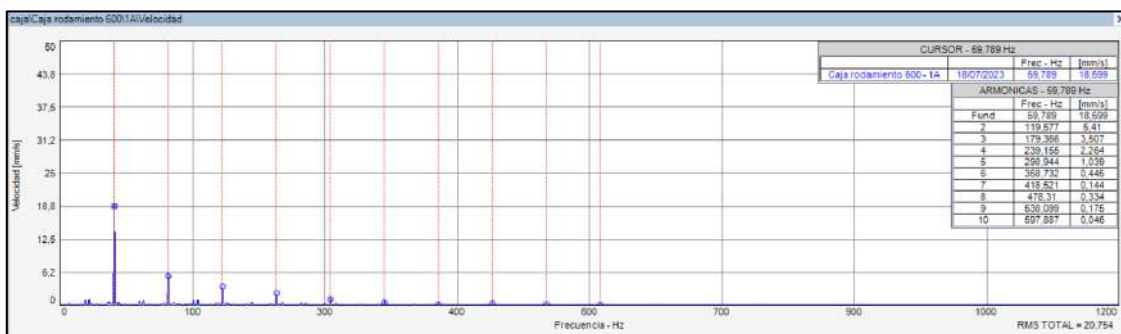


Ilustración 4- 34: Mediciones de vibración plano axial (Carga de 600 psi)

Fuente: Software MAINTraq Predictive 2.1

Realizado por: Guanuche Lady, Peñafiel Vivian, 2023

Tabla 4- 7: Amplitud de la caja de rodamiento (Carga de 600 psi)

	Vertical	Horizontal	Axial
Múltiplos	Amplitud (mm/s)	Amplitud (mm/s)	Amplitud (mm/s)
1x	10,751	37,747	18,599
2x	13,226	7,618	5,410
3x	1,611	1,348	3,507
RMS TOTAL	18,935	39,973	20,754

Realizado por: Guanuche Lady, Peñafiel Vivian, 2023

4.2.2.8. *Medición caja de rodamiento con una carga de 700 psi*

Las mediciones realizadas en el módulo se realizan en los tres planos (vertical, horizontal y axial), en la primera prueba se lo realiza con una carga de 700 psi sobre el rodamiento la cual fue aplicada por la bomba hidráulica.

El tiempo que requiere la obtención de los datos en todos los planos es un aproximado de 3 minutos.

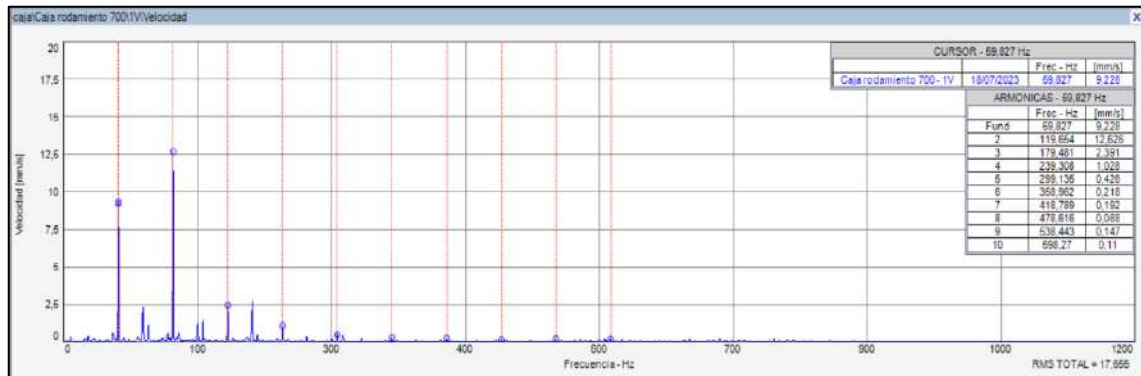


Ilustración 4- 35: Mediciones de vibración plano vertical (Carga de 700 psi)

Fuente: Software MAINTraQ Predictive 2.1

Realizado por: Guanuche Lady, Peñafiel Vivian, 2023

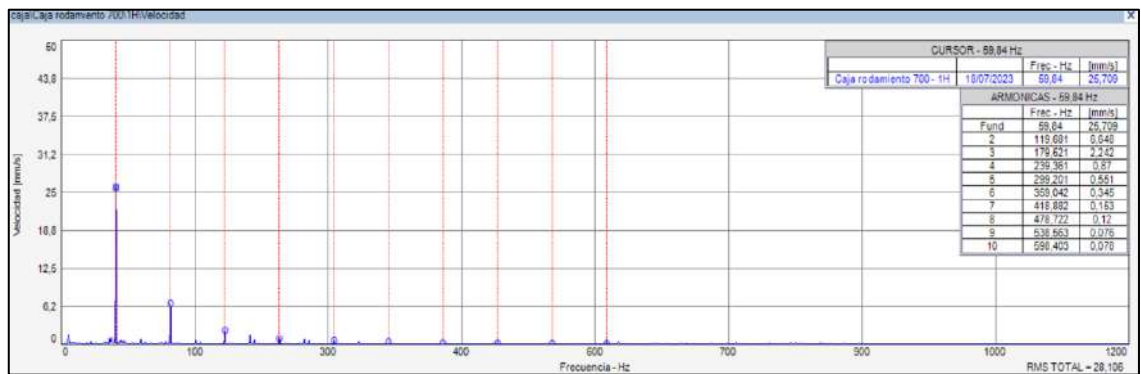


Ilustración 4- 36: Mediciones de vibración plano horizontal (Carga de 700 psi)

Fuente: Software MAINTraQ Predictive 2.1

Realizado por: Guanuche Lady, Peñafiel Vivian, 2023

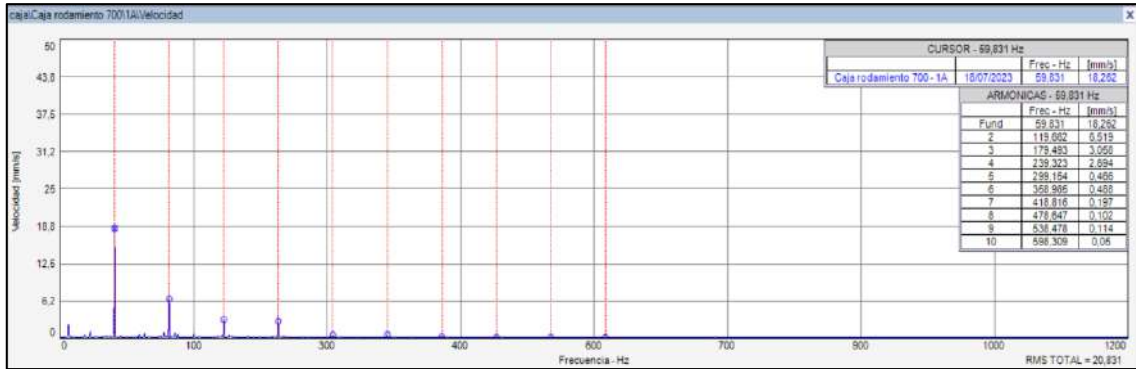


Ilustración 4- 37: Mediciones de vibración plano axial (Carga de 700 psi)

Fuente: Software MAINTraQ Predictive 2.1

Realizado por: Guanuche Lady, Peñafiel Vivian, 2023

Tabla 4- 8: Amplitud de la caja de rodamiento (Carga de 700 psi)

	Vertical	Horizontal	Axial
Múltiplos	Amplitud (mm/s)	Amplitud (mm/s)	Amplitud (mm/s)
1x	9,228	25,709	18,262
2X	12,626	6,648	6,519
3x	2,391	2,242	3,058
RMS TOTAL	17,655	28,106	20,831

Realizado por: Guanuche Lady, Peñafiel Vivian, 2023

4.2.2.9. Medición caja de rodamiento con una carga de 800 psi

Las mediciones realizadas en el módulo se realizan en los tres planos (vertical, horizontal y axial), en la primera prueba se lo realiza con una carga de 800 psi sobre el rodamiento la cual fue aplicada por la bomba hidráulica.

El tiempo que requiere la obtención de los datos en todos los planos es un aproximado de 3 minutos.

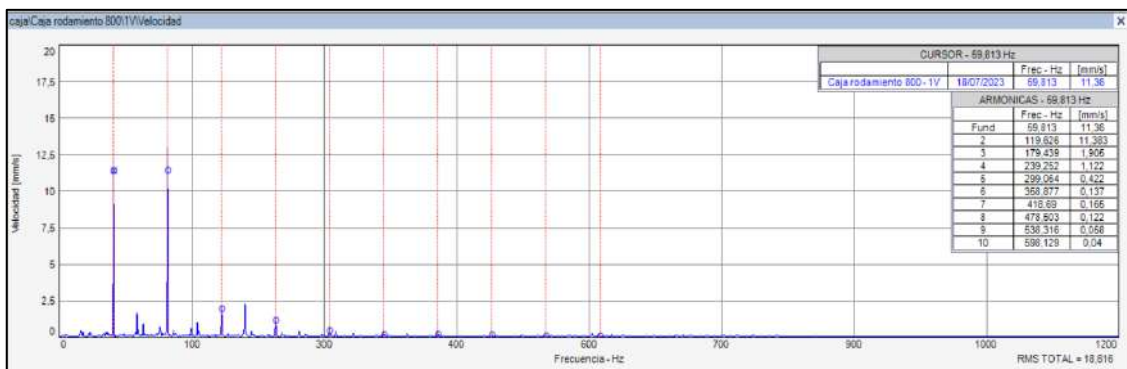


Ilustración 4- 38: Mediciones de vibración plano vertical (Carga de 800 psi)

Fuente: Software MAINTraQ Predictive 2.1

Realizado por: Guanuche Lady, Peñafiel Vivian, 2023

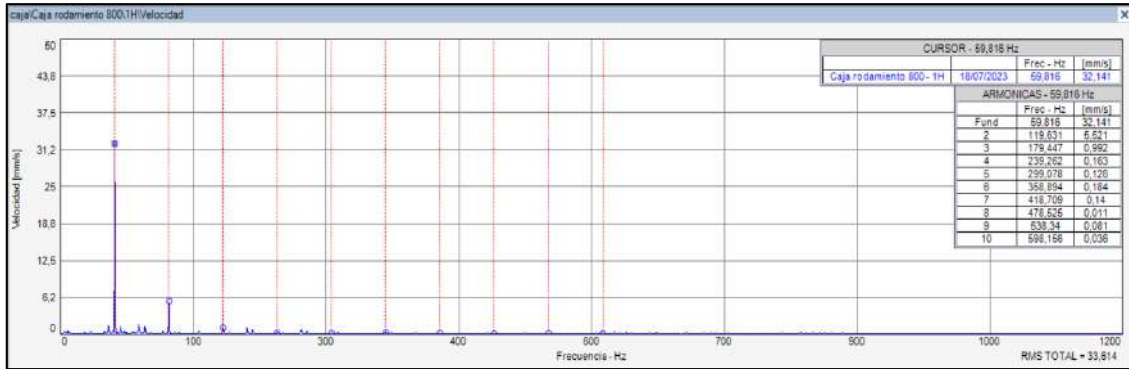


Ilustración 4- 39: Mediciones de vibración plano horizontal (Carga de 800 psi)

Fuente: Software MAINTraQ Predictive 2.1

Realizado por: Guanuche Lady, Peñafiel Vivian, 2023

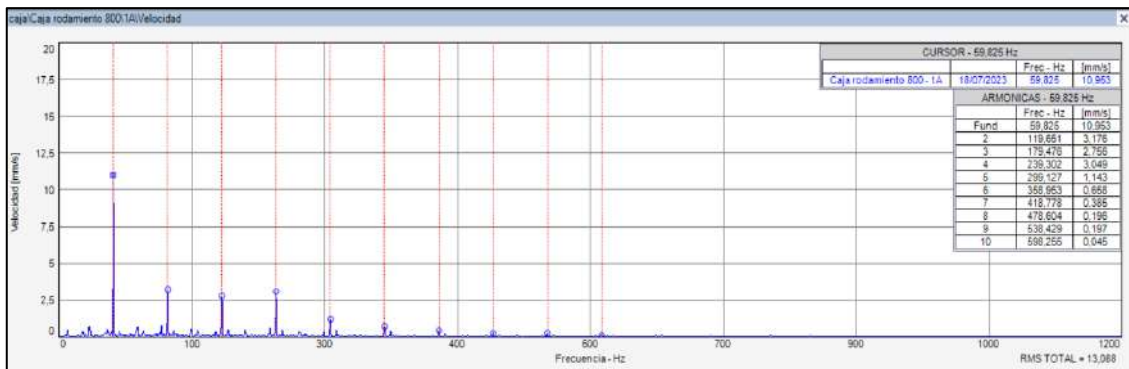


Ilustración 4- 40: Mediciones de vibración plano axial (Carga de 800 psi)

Fuente: Software MAINTraQ Predictive 2.1

Realizado por: Guanuche Lady, Peñafiel Vivian, 2023

Tabla 4- 9: Amplitud de la caja de rodamiento (Carga de 800 psi)

	Vertical	Horizontal	Axial
Múltiplos	Amplitud (mm/s)	Amplitud (mm/s)	Amplitud (mm/s)
1x	11,360	32,141	10,953
2x	11,383	5,521	3,176
3x	1,905	0,992	2,756
RMS TOTAL	18,616	33,614	13,088

Realizado por: Guanuche Lady, Peñafiel Vivian, 2023

4.2.2.10. Medición caja de rodamiento con una carga de 900 psi

Las mediciones realizadas en el módulo se realizan en los tres planos (vertical, horizontal y axial), en la primera prueba se lo realiza con una carga de 900 psi sobre el rodamiento la cual fue aplicada por la bomba hidráulica.

El tiempo que requiere la obtención de los datos en todos los planos es un aproximado de 3 minutos.

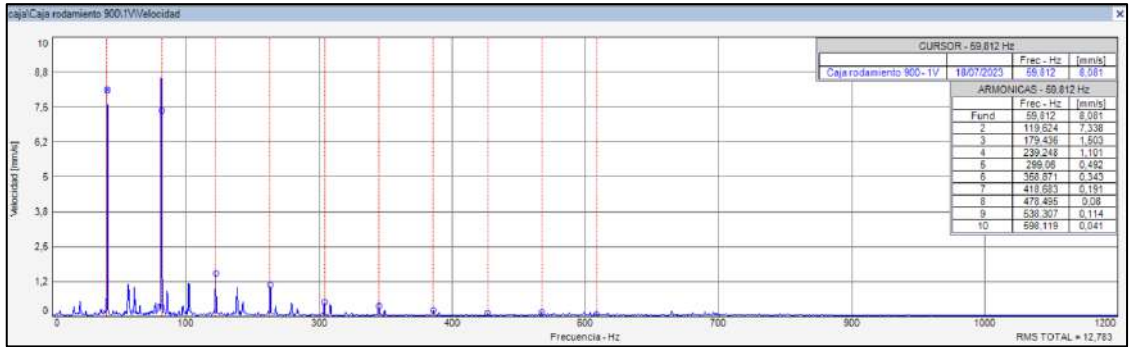


Ilustración 4- 41: Mediciones de vibración plano vertical (Carga de 900 psi)

Fuente: Software MAINTraq Predictive 2.1

Realizado por: Guanuche Lady, Peñafiel Vivian, 2023

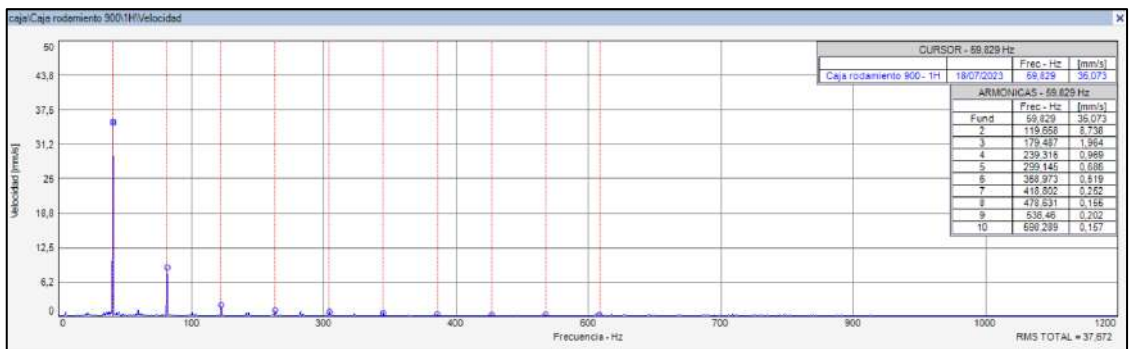


Ilustración 4- 42: Mediciones de vibración plano horizontal (Carga de 900 psi)

Fuente: Software MAINTraq Predictive 2.1

Realizado por: Guanuche Lady, Peñafiel Vivian, 2023

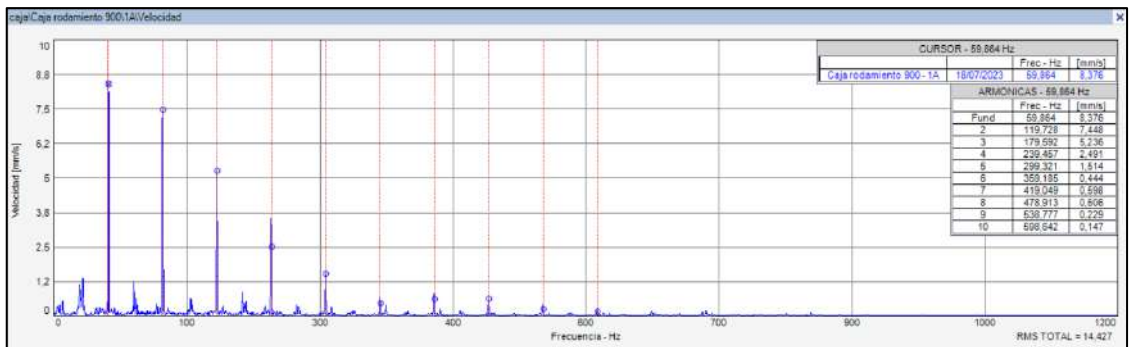


Ilustración 4- 43: Mediciones de vibración plano axial (Carga de 900 psi)

Fuente: Software MAINTraq Predictive 2.1

Realizado por: Guanuche Lady, Peñafiel Vivian, 2023

Tabla 4- 10: Amplitud de la caja de rodamiento (Carga de 900 psi)

	Vertical	Horizontal	Axial
Múltiplos	Amplitud (mm/s)	Amplitud (mm/s)	Amplitud (mm/s)
1x	8,081	35,073	8,376
2X	7,338	8,738	7,448
3x	1,503	1,964	5,236
RMS TOTAL	12,783	37,672	14,427

Realizado por: Guanuche Lady, Peñafiel Vivian, 2023

4.2.2.11. Medición caja de rodamiento con una carga de 1000 psi

Las mediciones realizadas en el módulo se realizan en los tres planos (vertical, horizontal y axial), en la primera prueba se lo realiza con una carga de 1000 psi sobre el rodamiento la cual fue aplicada por la bomba hidráulica. El tiempo que requiere la obtención de los datos en todos los planos es un aproximado de 3 minutos.

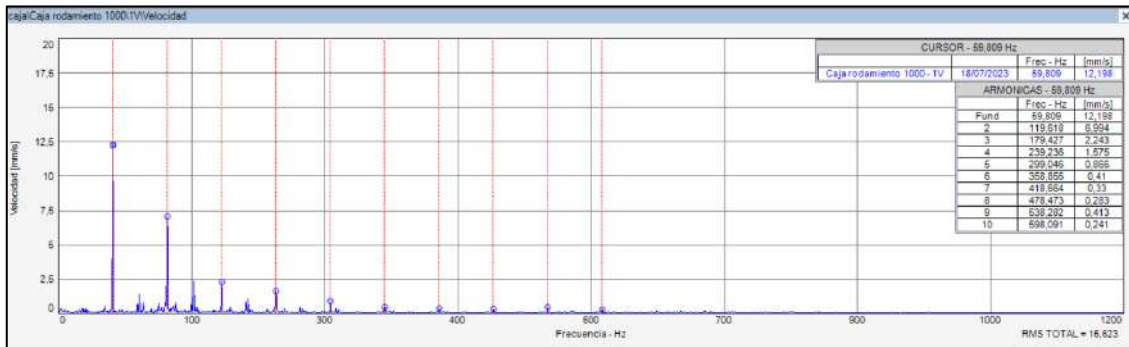


Ilustración 4- 44: Mediciones de vibración plano vertical (Carga de 1000 psi)

Fuente: Software MAINTraQ Predictive 2.1

Realizado por: Guanuche Lady, Peñafiel Vivian, 2023

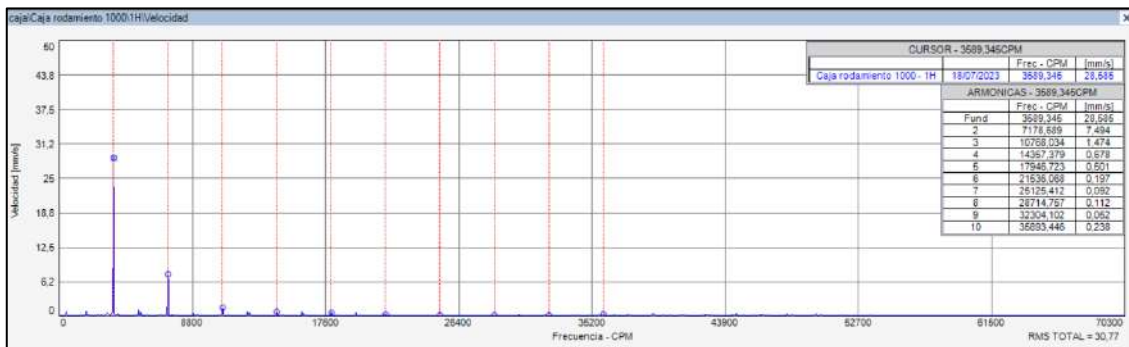


Ilustración 4- 45: Mediciones de vibración plano horizontal (Carga de 1000 psi)

Fuente: Software MAINTraQ Predictive 2.1

Realizado por: Guanuche Lady, Peñafiel Vivian, 2023

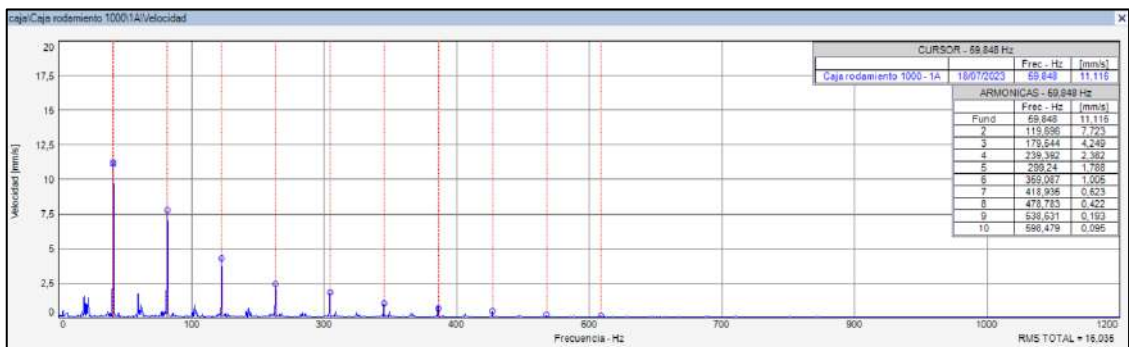


Ilustración 4- 46: Mediciones de vibración plano axial (Carga de 1000 Psi)

Fuente: Software MAINTraQ Predictive 2.1

Realizado por: Guanuche Lady, Peñafiel Vivian, 2023

Tabla 4- 11: Amplitud de la caja de rodamiento (Carga de 1000 psi)

	Vertical	Horizontal	Axial
Múltiplos	Amplitud (mm/s)	Amplitud (mm/s)	Amplitud (mm/s)
1x	12,198	28,585	11,116
2X	6,994	7,494	7,723
3x	2,243	1,474	4,249
RMS TOTAL	15,623	30,770	16,035

Realizado por: Guanuche Lady, Peñafiel Vivian, 2023

4.2.3. Medición deflexión del eje

Se realizó un estudio adicional en el eje aplicando carga sobre la caja de rodamiento la carga aplicada se varió desde 0 psi hasta 1000 psi. Para el estudio se utilizó el reloj comparador y se aplicó la carga con la ayuda de la bomba de mano. El reloj se colocó sobre la placa base con la ayuda de una base magnética la punta de contacto se colocó lo más cercano posible al rodamiento y se empezó a aplicar la carga en el rodamiento.



Ilustración 4- 47: Medición deflexión del eje

Realizado por: Guanuche Lady, Peñafiel Vivian, 2023

4.3. Interpretación de resultados

Teniendo en cuenta las mediciones obtenidas se realiza un análisis comparativo entre el módulo antiguo y el nuevo. Para esto se toma en cuenta el diagnóstico termográfico y vibracional.

4.3.1. Interpretación del análisis termográfico

Las mediciones de temperatura que se obtuvieron, se analizan en base a la carga que se aplicó sobre el rodamiento, además, se realiza una relación entre el módulo antiguo y el mejorado.

4.3.1.1. Carga vs temperatura máxima del rodamiento

En la Tabla 4-12 se observa las medidas realizadas con la cámara termográfica, se toma en cuenta la temperatura máxima a la que se encuentra el rodamiento.

Tabla 4- 12: Temperatura del rodamiento

Carga aplicada (psi)	Temperatura máxima del rodamiento (°C)
0	29,6
100	31,3
200	32,2
300	34,7
400	35,1
500	35,9
600	36,8
700	37,4
800	39,4
900	43,6
1000	51,9

Realizado por: Guanuche Lady, Peñafiel Vivian, 2023

En la Ilustración 4-48 se observa la variación de la temperatura y la carga, ésta que se aplicó en el rodamiento vario entre 29,6 °C y 51,9 °C. Lo cual muestra una tendencia creciente, pero el incremento de la temperatura no afectó el correcto funcionamiento del módulo.

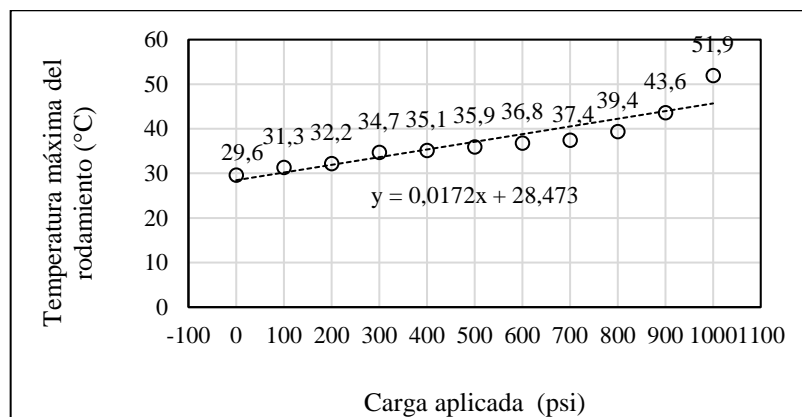


Ilustración 4- 48: Presión vs Temperatura de rodamiento.

Realizado por: Guanuche Lady, Peñafiel Vivian, 2023

4.3.1.2. Carga vs temperatura máxima de la caja del rodamiento

En la Tabla 4-13 se observa las medidas realizadas con la cámara termográfica, se toma en cuenta la temperatura máxima a la que se encuentra la caja del rodamiento.

Tabla 4- 13: Temperatura de la caja de rodamiento.

Carga aplicada (psi)	Temperatura máxima de la caja del rodamiento (°C)
0	25,8
100	26,5
200	29,9
300	31,3
400	32,0
500	32,6
600	33,9
700	34,3
800	35,6
900	39,1
1000	46,5

Realizado por: Guanuche Lady, Peñafiel Vivian, 2023

En la Ilustración 4-49 se observa la variación de la temperatura y la carga, ésta que se aplicó en el rodamiento, debido a la conducción de temperatura la caja del rodamiento mostro una variación entre 25,8°C y 46,5 °C. Lo cual muestra una tendencia creciente, pero el incremento de la temperatura no afecto el correcto funcionamiento del módulo.

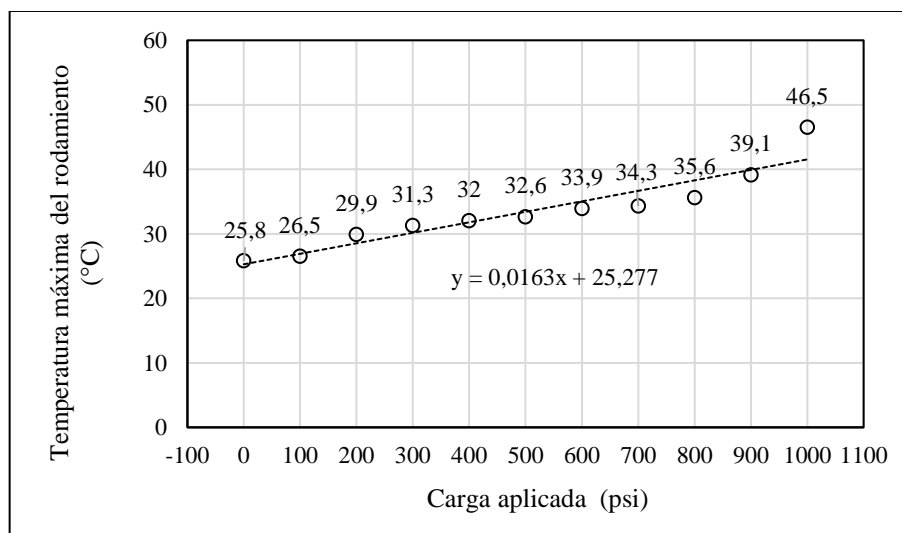


Ilustración 4- 49: Presión vs Temperatura de la caja de rodamiento

Realizado por: Guanuche Lady, Peñafiel Vivian, 2023

4.3.1.3. Diferencia de temperatura del rodamiento

Teniendo en cuenta las características del módulo antiguo solo se realizó solo la toma de un dato, debido a esto la temperatura que se tomó en cuenta de los módulos fue sin carga. Esto se muestra en la Ilustración 4-50.

Tabla 4- 14: Módulo antes vs módulo después (Rodamiento)

Carga aplicada (psi)	Módulo antes Temperatura máxima del rodamiento (°C)	Módulo después Temperatura máxima de rodamiento (°C)
Sin carga	37,2	29,6

Realizado por: Guanuche Lady, Peñafiel Vivian, 2023

Teniendo en cuenta la Tabla 4-14 se encuentra una temperatura de 37,2 °C para el módulo antiguo y para el mejorado de 29,6 °C obteniendo una diferencia de temperatura de 7,6 °C.

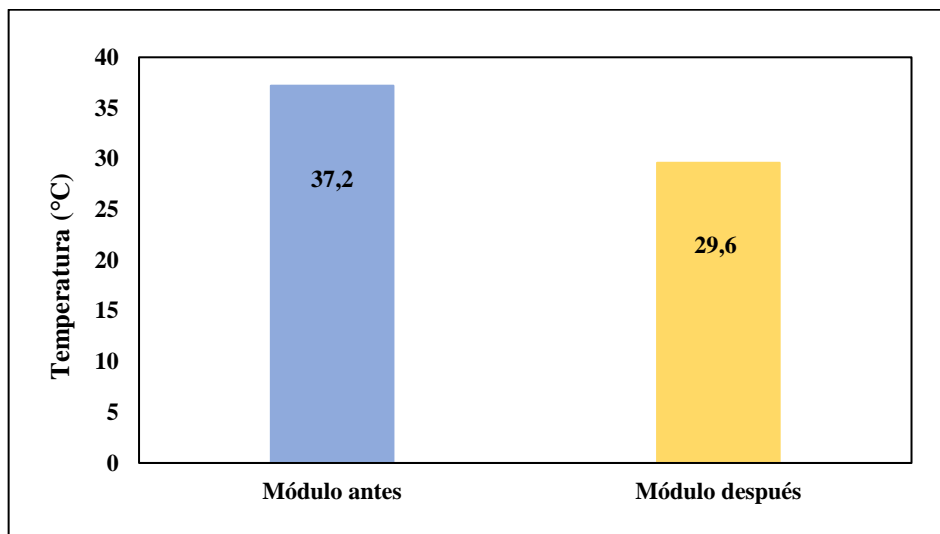


Ilustración 4- 50: Temperatura del rodamiento entre el módulo antes vs después

Realizado por: Guanuche Lady, Peñafiel Vivian, 2023

4.3.1.4. Diferencia de temperatura de la caja del rodamiento

Teniendo en cuenta las características del módulo antiguo solo se realizó como un dato (sin carga), debido a esto la temperatura que se tomó en cuenta del módulo mejorado fue sin carga. Esto se muestra en la Ilustración 4-51, la diferencia de temperatura es de 1,0 °C.

Tabla 4- 15: Módulo antes vs módulo después (Caja de rodamiento)

Carga aplicada (psi)	Módulo antes Temperatura máxima de la caja de rodamiento (°C)	Módulo después Temperatura máxima de la caja de rodamiento (°C)
Sin carga	26,8	25,8

Realizado por: Guanuche Lady, Peñafiel Vivian, 2023

Teniendo en cuenta la Tabla 4-15 se encuentra una temperatura de 26,8 °C para el módulo antiguo y para el mejorado de 25,8 °C. Así se puede observar una disminución en la temperatura.

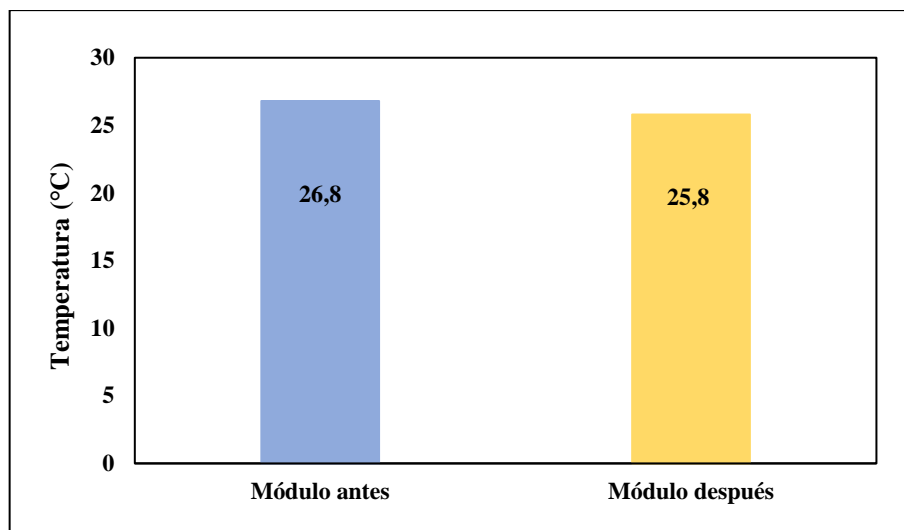


Ilustración 4- 51: Temperatura de la caja entre el módulo antes vs después

Realizado por: Guanuche Lady, Peñafiel Vivian, 2023

4.3.2. Interpretación del análisis vibracional

Las mediciones de vibración que se obtuvo se analizaron en base a la carga que se aplicó en el rodamiento, además, de una relación entre el módulo antiguo y el mejorado.

4.3.2.1. Carga vs Amplitud del 1x del plano vertical

En la Tabla 4-16 se observa las mediciones realizadas con la VibraCheck, se toma en cuenta la amplitud del 1x según la carga que se aplicó en el rodamiento.

Tabla 4- 16: Carga vs Amplitud del 1x del plano vertical

Carga aplicada (psi)	1x (mm/s)
0	2,071
100	8,574
200	12,986
300	10,232
400	10,521
500	8,874
600	10,751
700	9,228
800	11,360
900	8,081
1000	12,198

Realizado por: Guanuche Lady, Peñafiel Vivian, 2023

En la Ilustración 4-52 se observa la variación de la amplitud del 1x y la carga, debido al aumento de la carga sobre el rodamiento causa una deflexión el eje lo cual se evidencia por un incremento del 1x considerando las cartas de Charlotte.

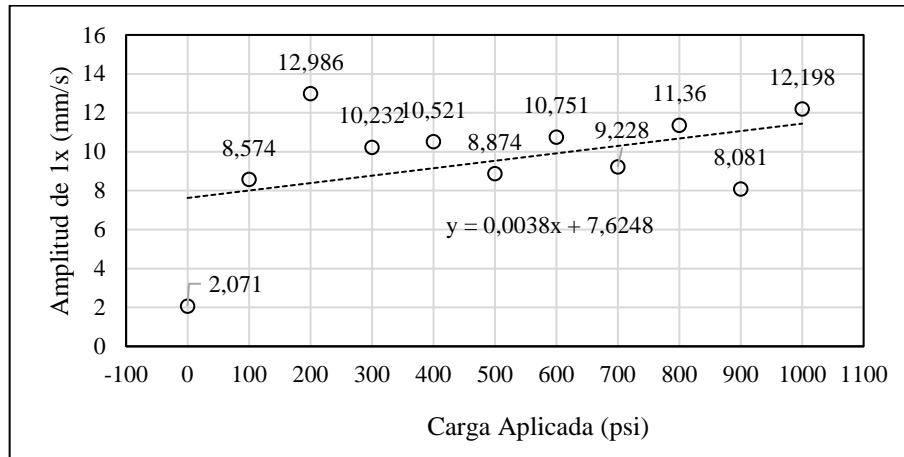


Ilustración 4- 52: Carga vs Amplitud 1x del plano vertical

Realizado por: Guanuche Lady, Peñafiel Vivian, 2023

4.3.2.2. Carga vs Amplitud del 2x del plano vertical

En la Tabla 4-17 se observa las mediciones realizadas con la VibraCheck, se toma en cuenta la amplitud del 2x según la carga que se aplicó en el rodamiento.

Tabla 4- 17: Carga vs Amplitud del 2x del plano vertical

Carga aplicada (Psi)	2x (mm/s)
0	0,718
100	3,309
200	1,388
300	1,449
400	1,017
500	12,006
600	13,226
700	12,626
800	11,383
900	7,338
1000	6,994

Realizado por: Guanuche Lady, Peñafiel Vivian, 2023

En la Ilustración 4-53 se observa la variación de la amplitud del 2x y la carga, debido a que el aumento de la carga en el rodamiento provocando un incremento del 2x específicamente cuando se aplica la carga de 500 psi.

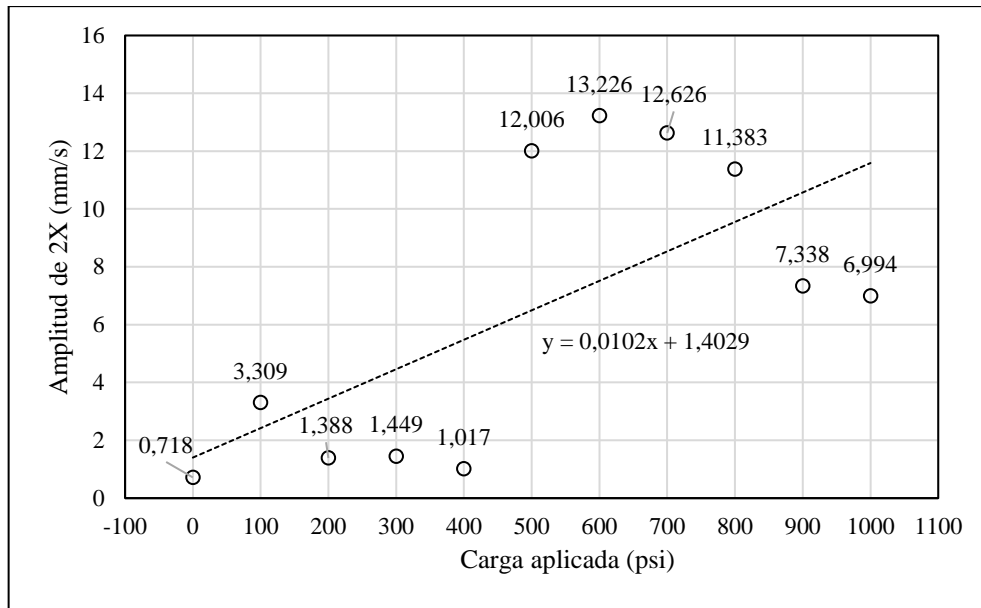


Ilustración 4- 53: Carga vs Amplitud 2x del plano vertical

Realizado por: Guanuche Lady, Peñafiel Vivian, 2023

4.3.2.3. Carga vs Amplitud del 3x del plano vertical

En la Tabla 4-18 se observa las mediciones realizadas con la VibraCheck, se toma en cuenta la amplitud del 3x según la carga que se aplicó en el rodamiento.

Tabla 4- 18: Carga vs Amplitud del 3x del plano vertical

Carga aplicada (psi)	3x (mm/s)
0	0,219
100	0,867
200	0,633
300	2,084
400	2,175
500	1,461
600	1,611
700	2,391
800	1,905
900	1,503
1000	2,243

Realizado por: Guanuche Lady, Peñafiel Vivian, 2023

En la Ilustración 4-54 se observa la variación de la amplitud del 3x y la carga, debido a que el aumento de la carga en el rodamiento provocando una variación del 3x entre los 500 psi a 1000 psi. Considerando las cartas de Charlotte se puede decir que al aumentar el valor de éste es debido al incremento de la desalineación.

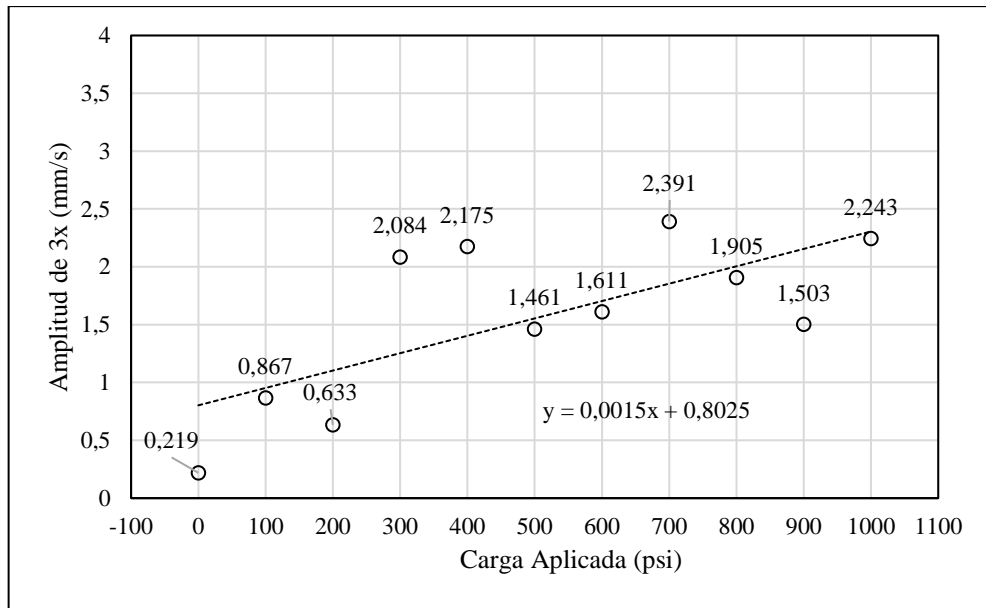


Ilustración 4- 54: Carga vs Amplitud 3x del plano vertical

Realizado por: Guanuche Lady, Peñafiel Vivian, 2023

4.3.2.4. Carga vs Amplitud del RMS del plano vertical

En la Tabla 4-19 se observa las mediciones realizadas con la VibraCheck, se toma en cuenta la amplitud del RMS según la carga que se aplicó en el rodamiento.

Tabla 4- 19: Carga vs Amplitud del RMS del plano vertical

Carga aplicada (psi)	RMS (mm/s)
Sin carga	2,487
100	10,349
200	14,081
300	11,456
400	11,876
500	16,936
600	18,935
700	17,655
800	18,616
900	12,783
1000	15,623

Realizado por: Guanuche Lady, Peñafiel Vivian, 2023

En la Ilustración 4-55 se observa la variación de la amplitud del RMS y la carga, debido a que el aumento de la carga en el rodamiento provoca un incremento en la amplitud global para el plano vertical.

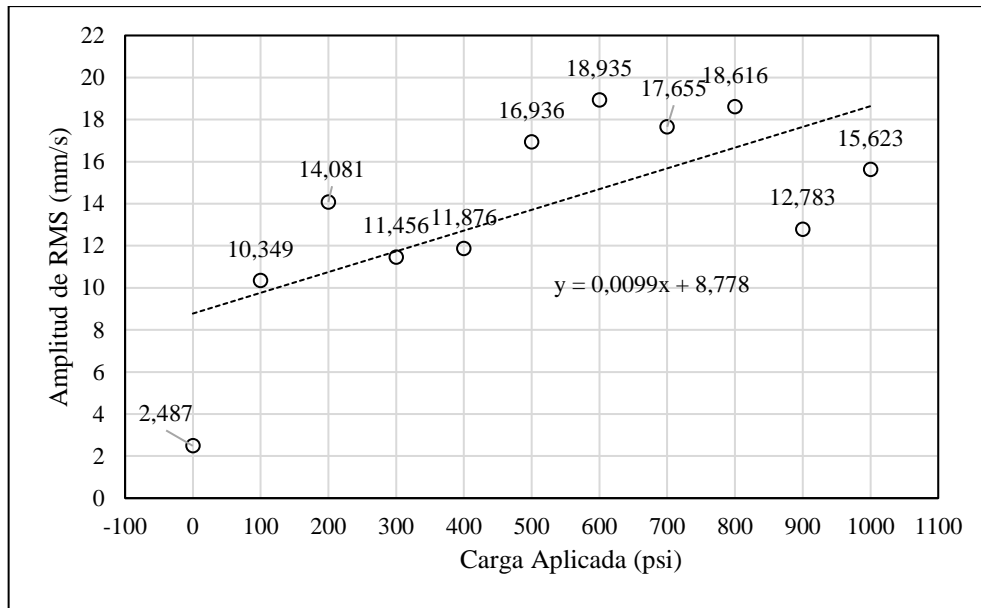


Ilustración 4- 55: Carga vs Amplitud RMS del plano vertical

Realizado por: Guanuche Lady, Peñafiel Vivian, 2023

4.3.2.5. Carga vs Amplitud del 1x del plano horizontal

En la Tabla 4-20 se observa las mediciones realizadas con la VibraCheck, se toma en cuenta la amplitud del 1x según la carga que se aplicó en el rodamiento.

Tabla 4- 20: Carga vs Amplitud del 1x del plano horizontal

Carga aplicada (psi)	1x (mm/s)
Sin carga	9,925
100	12,986
200	27,557
300	23,685
400	30,795
500	38,176
600	37,747
700	25,709
800	32,141
900	35,073
1000	28,585

Realizado por: Guanuche Lady, Peñafiel Vivian, 2023

En la Ilustración 4-56 se observa la variación de la amplitud del 1x y la carga, debido a que el aumento de la carga en el rodamiento flexiona el eje lo cual provocando un incremento del 1x al aplicar la carga en el rodamiento.

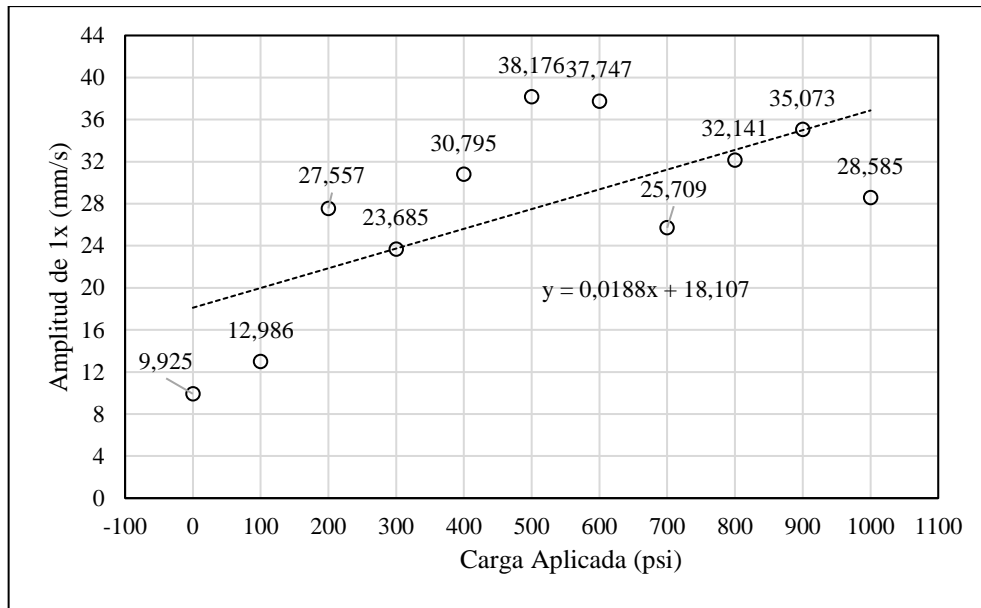


Ilustración 4- 56: Carga vs Amplitud 1x del plano horizontal

Realizado por: Guanuche Lady, Peñafiel Vivian, 2023

4.3.2.6. Carga vs Amplitud del 2x del plano horizontal

En la Tabla 4-21 se observa las mediciones realizadas con la VibraCheck, se toma en cuenta la amplitud del 2x según la carga que se aplicó en el rodamiento.

Tabla 4- 21: Carga vs Amplitud del 2x del plano horizontal

Carga aplicada (psi)	2x (mm/s)
Sin carga	4,343
100	1,388
200	4,066
300	8,059
400	7,398
500	5,342
600	7,618
700	6,648
800	5,521
900	8,738
1000	7,494

Realizado por: Guanuche Lady, Peñafiel Vivian, 2023

En la Ilustración 4-57 se observa la variación de la amplitud del 2x y la carga, debido a que el aumento de la carga en el rodamiento provocando un incremento del 2x proporcional lo cual desencadena una desalineación paralela.

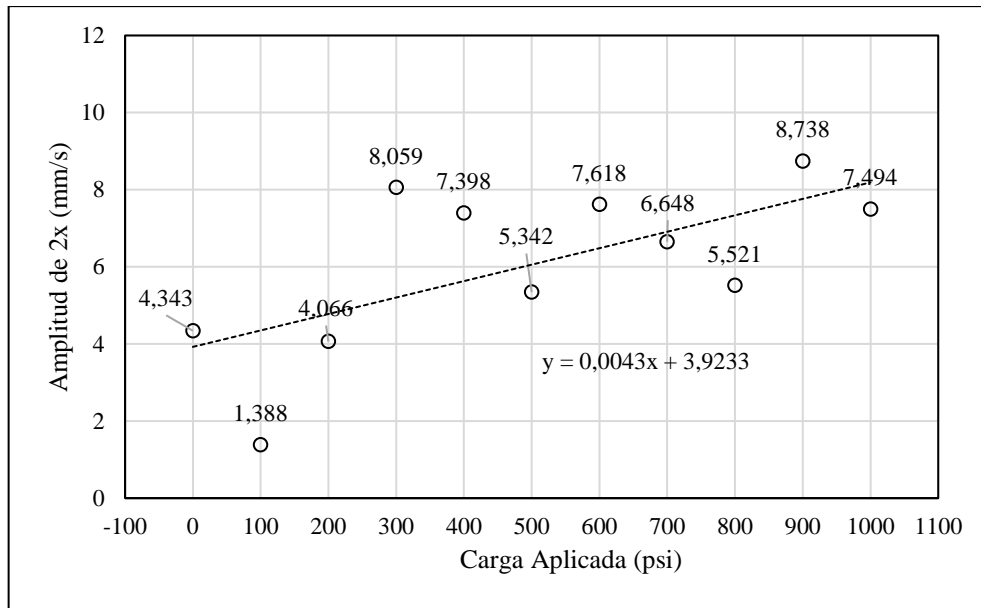


Ilustración 4- 57: Carga vs Amplitud 2x del plano horizontal

Realizado por: Guanuche Lady, Peñafiel Vivian, 2023

4.3.2.7. Carga vs Amplitud del 3x del plano horizontal

En la Tabla 4-22 se observa las mediciones realizadas con la VibraCheck, se toma en cuenta la amplitud del 3x según la carga que se aplicó en el rodamiento.

Tabla 4- 22: Carga vs Amplitud del 3x del plano horizontal

Carga aplicada (psi)	3x (mm/s)
Sin carga	0,371
100	0,633
200	0,830
300	2,236
400	0,953
500	0,342
600	1,348
700	2,242
800	0,992
900	1,964
1000	1,474

Realizado por: Guanuche Lady, Peñafiel Vivian, 2023

En la Ilustración 4-58 se observa la variación de la amplitud del 3x y la carga, presenta una dispersión de los datos a partir de los 300 psi, debido a que el aumento de la carga en el rodamiento.

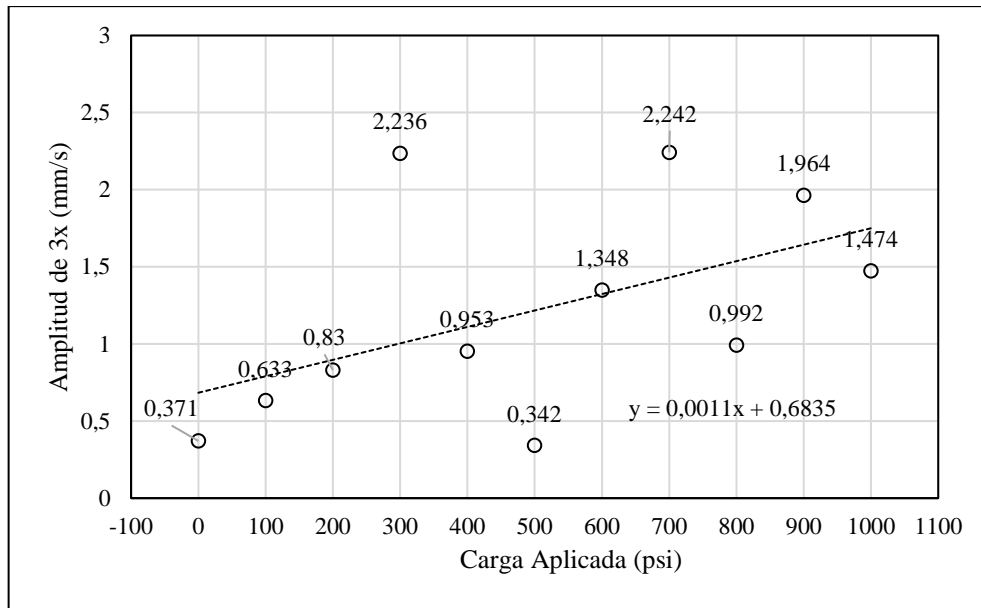


Ilustración 4- 58: Carga vs Amplitud 3x del plano horizontal

Realizado por: Guanuche Lady, Peñafiel Vivian, 2023

4.3.2.8. Carga vs Amplitud del RMS del plano horizontal

En la Tabla 4-23 se observa las mediciones realizadas con la VibraCheck, se toma en cuenta la amplitud del RMS según la carga que se aplicó en el rodamiento.

Tabla 4- 23:Carga vs Amplitud del RMS del plano horizontal

Carga aplicada (psi)	RMS (mm/s)
Sin carga	11,146
100	14,081
200	28,812
300	26,556
400	32,663
500	39,176
600	39,973
700	28,106
800	33,614
900	37,672
1000	30,770

Realizado por: Guanuche Lady, Peñafiel Vivian, 2023

En la Ilustración 4-59 se observa la variación de la amplitud del RMS y la carga, debido a que el aumento de la carga en el rodamiento provoca un incremento en la amplitud global para el plano horizontal.

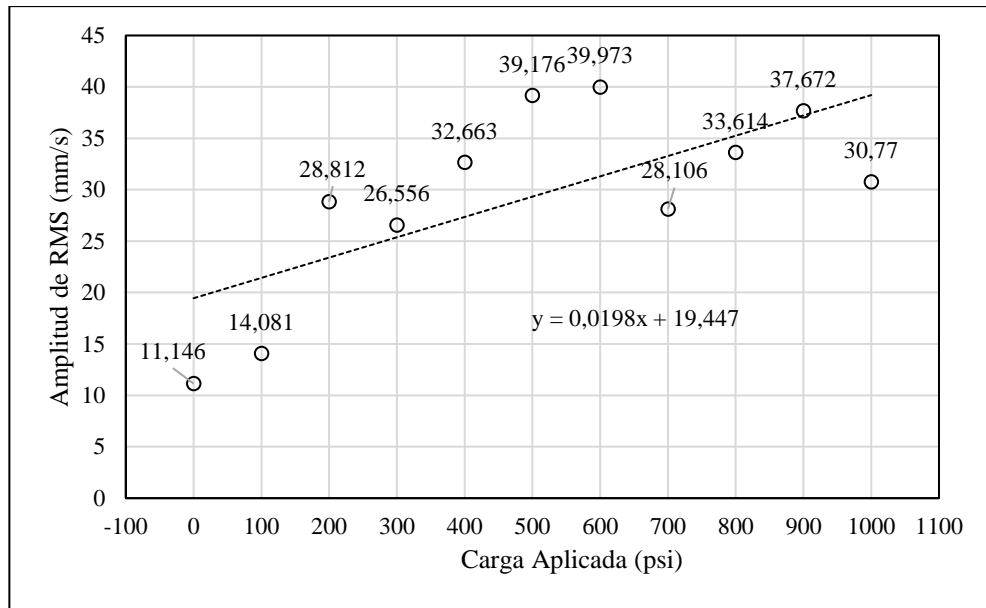


Ilustración 4- 59: Carga vs Amplitud RMS del plano horizontal

Realizado por: Guanuche Lady, Peñafiel Vivian, 2023

4.3.2.9. Carga vs Amplitud del 1x del plano axial

En la Tabla 4-24 se observa las mediciones realizadas con la VibraCheck, se toma en cuenta la amplitud del 1x según la carga que se aplicó en el rodamiento.

Tabla 4- 24: Carga vs Amplitud del 1x del plano axial

Carga aplicada (psi)	1x (mm/s)
Sin carga	3,992
100	16,290
200	15,313
300	14,727
400	12,724
500	16,616
600	18,599
700	18,262
800	10,953
900	8,376
1000	11,116

Realizado por: Guanuche Lady, Peñafiel Vivian, 2023

En la Ilustración 4-60 se observa la variación de la amplitud del 1x y la carga, debido a que el aumento de la carga en el rodamiento flexiona el eje lo cual provocando un aumento del 1x. Lo cual desencadena una pequeña desalineación angular.

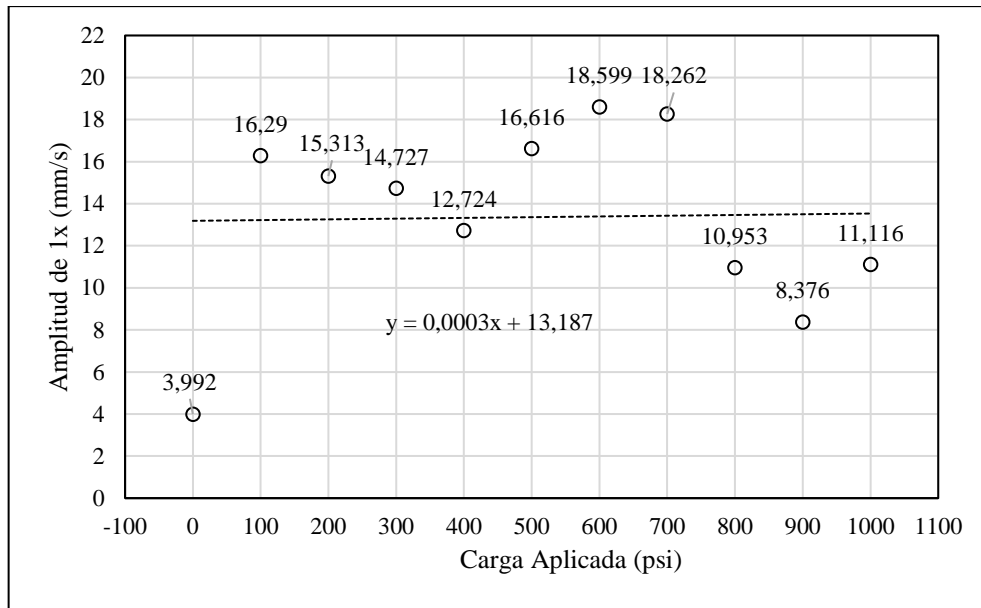


Ilustración 4- 60: Carga vs Amplitud 1x del plano axial

Realizado por: Guanuche Lady, Peñafiel Vivian, 2023

4.3.2.10. Carga vs Amplitud del 2x del plano axial

En la Tabla 4-25 se observa las mediciones realizadas con la VibraCheck, se toma en cuenta la amplitud del 2x según la carga que se aplicó en el rodamiento.

Tabla 4- 25: Carga vs Amplitud del 2x del plano axial

Carga aplicada (psi)	2x (mm/s)
0	2,622
100	3,959
200	4,979
300	3,306
400	3,474
500	4,171
600	5,410
700	6,519
800	3,176
900	7,448
1000	7,723

Realizado por: Guanuche Lady, Peñafiel Vivian, 2023

En la Ilustración 4-61 se observa la variación de la amplitud del 2x y la carga, debido a que el aumento de la carga en el rodamiento provocando un incremento del 2x proporcional lo cual desencadena una desalineación angular.

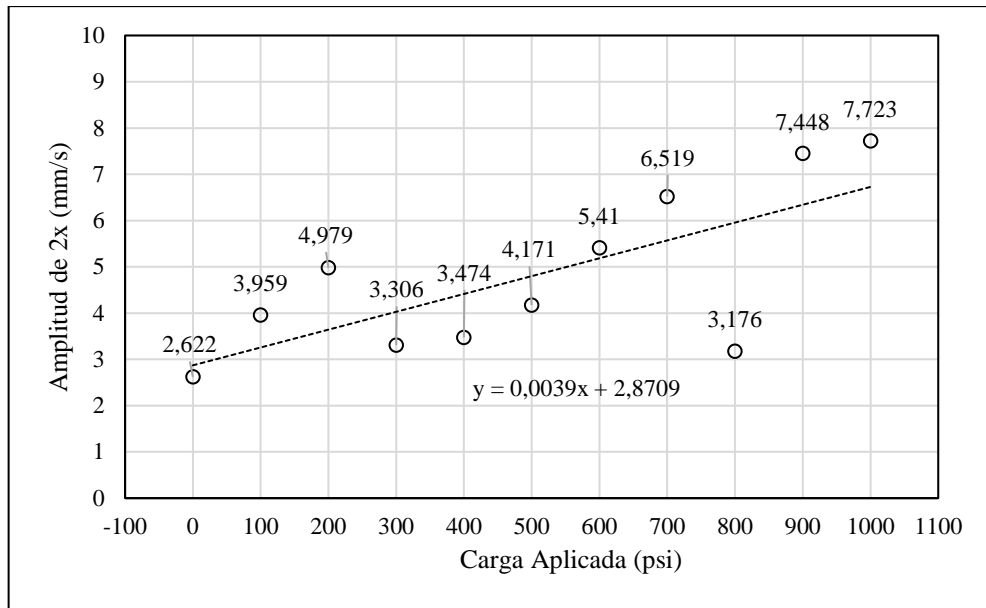


Ilustración 4- 61:Carga vs Amplitud 2x del plano axial

Realizado por: Guanuche Lady, Peñafiel Vivian, 2023

4.3.2.11. Carga vs Amplitud del 3x del plano axial

En la Tabla 4-26 se observa las mediciones realizadas con la VibraCheck, se toma en cuenta la amplitud del 3x según la carga que se aplicó en el rodamiento.

Tabla 4- 26: Carga vs Amplitud del 3x del plano axial

Carga aplicada (psi)	3x (mm/s)
Sin carga	0,650
100	1,537
200	0,675
300	2,060
400	3,917
500	2,750
600	3,507
700	3,058
800	2,756
900	5,236
1000	4,249

Realizado por: Guanuche Lady, Peñafiel Vivian, 2023

En la Ilustración 4-62 se observa la variación de la amplitud del 3x y la carga, presenta una dispersión de los datos a partir de los 400 psi, debido a que el aumento de la carga en el rodamiento.

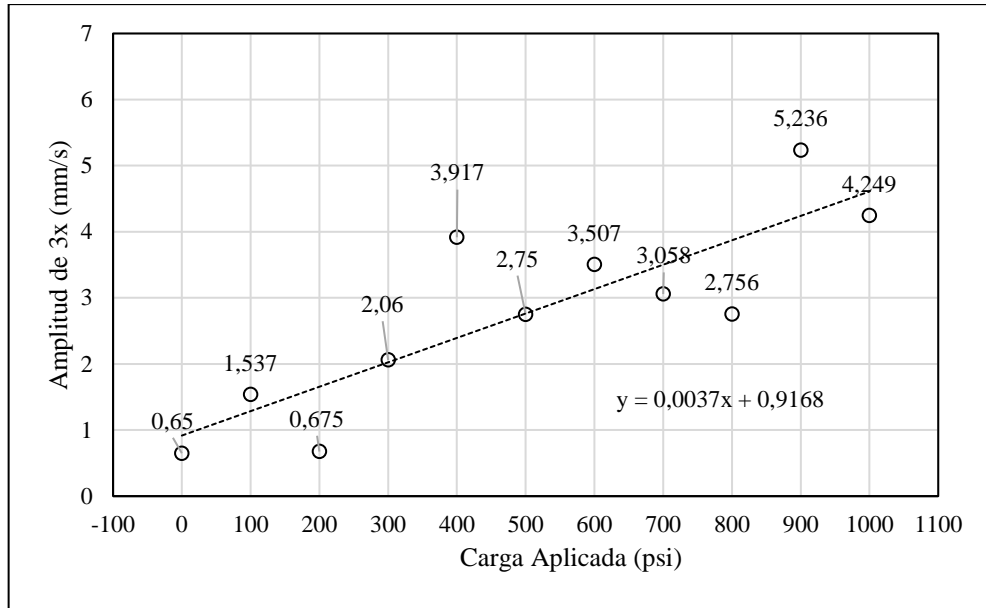


Ilustración 4- 62: Carga vs Amplitud 3x del plano axial

Realizado por: Guanuche Lady, Peñafiel Vivian, 2023

4.3.2.12. Carga vs Amplitud del RMS del plano axial

En la Tabla 4-27 se observa las mediciones realizadas con la VibraCheck, se toma en cuenta la amplitud del RMS según la carga que se aplicó en el rodamiento.

Tabla 4- 27: Carga vs Amplitud del RMS del plano axial

Carga aplicada (psi)	RMS (mm/s)
Sin carga	6,548
100	17,783
200	11,458
300	16,116
400	14,562
500	18,880
600	20,754
700	20,831
800	13,088
900	14,427
1000	16,035

Realizado por: Guanuche Lady, Peñafiel Vivian, 2023

En la Ilustración 4-63 se observa la variación de la amplitud del RMS y la carga, debido a que el aumento de la carga en el rodamiento provoca un incremento en la amplitud global para el plano axial.

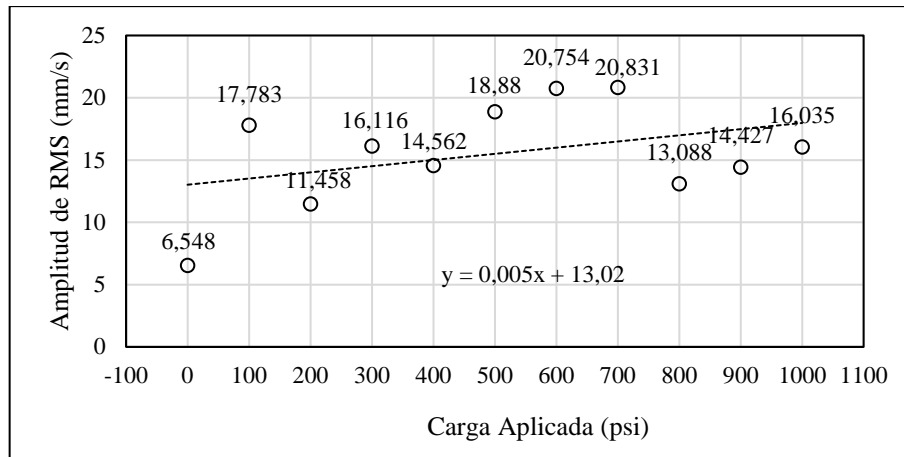


Ilustración 4- 63: Carga vs Amplitud RMS del plano axial

Realizado por: Guanuche Lady, Peñafiel Vivian, 2023

4.3.2.13. Diferencia de amplitud del 1x del plano vertical para los módulos

Considerando las características del módulo antiguo se realizó la toma de un dato, debido la amplitud del 1x como se tomó en cuenta de los módulos fue sin carga. Teniendo en cuenta la Tabla 4-28 se encuentra una amplitud del 1x de 3,269 mm/s para el módulo antiguo y para el mejorado de 2,071 mm/s obteniendo una diferencia de 1,198.

Tabla 4- 28: Diferencia de amplitud del 1x del plano vertical para los módulos

Carga aplicada (psi)	Módulo antes Amplitud del 1x (mm/s)	Módulo después Amplitud del 1x (mm/s)
Sin carga	3,269	2,071

Realizado por: Guanuche Lady, Peñafiel Vivian, 2023

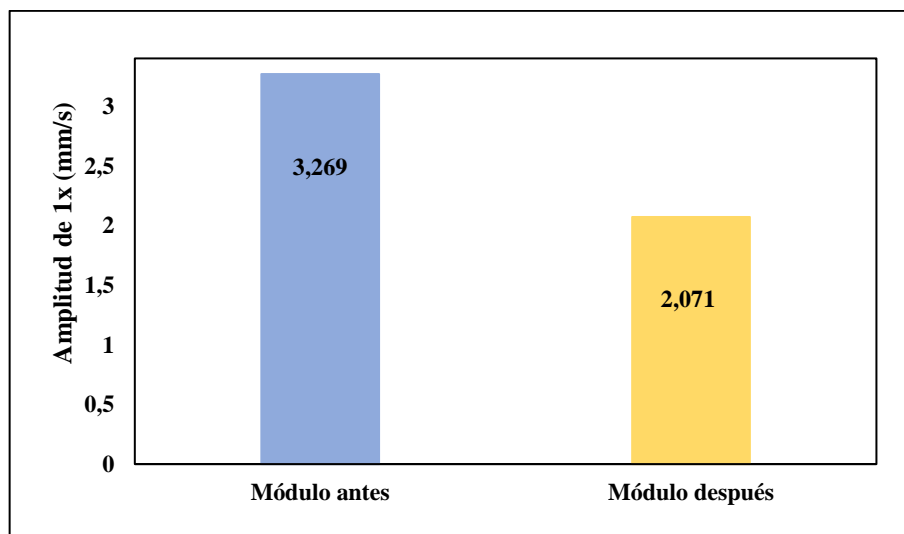


Ilustración 4- 64: Diferencia de amplitud del 1x del plano vertical para los módulos

Realizado por: Guanuche Lady, Peñafiel Vivian, 2023

4.3.2.14. Diferencia de amplitud del 2x del plano vertical para los módulos

Considerando las características del módulo antiguo se realizó la toma de un dato, debido la amplitud del 2x. Como se muestra en la Ilustración 4-65.

Tabla 4- 29: Diferencia de amplitud del 2x del plano vertical para los módulos

Carga aplicada (psi)	Módulo antes Amplitud del 2x (mm/s)	Módulo después Amplitud del 2x (mm/s)
Sin carga	1,883	0,718

Realizado por: Guanuche Lady, Peñafiel Vivian, 2023

Teniendo en cuenta la Tabla 4-29 se encuentra una amplitud del 2x de 1,883 mm/s para el módulo antiguo y para el mejorado de 0,718 mm/s obteniendo una diferencia de 1,165.

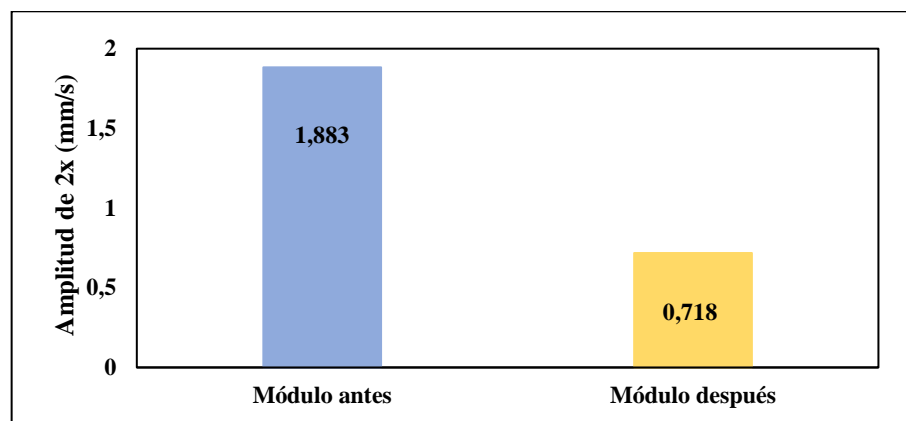


Ilustración 4- 65: Diferencia de amplitud del 2x del plano vertical para los módulos

Realizado por: Guanuche Lady, Peñafiel Vivian, 2023

4.3.2.15. Diferencia de amplitud del 3x del plano vertical para los módulos

Considerando las características del módulo antiguo se realizó la toma de un dato, debido a esto la amplitud del 3x. Esto se muestra en la Ilustración 4-66. Teniendo en cuenta la Tabla 4-30 se encuentra una amplitud del 3x de 0,356 mm/s para el módulo antiguo y para el mejorado de 0,219 mm/s obteniendo una diferencia de 1,198.

Tabla 4- 30:Diferencia de amplitud del 3x del plano vertical para los módulos

Carga aplicada (psi)	Módulo antes Amplitud del 3x (mm/s)	Módulo después Amplitud del 3x (mm/s)
Sin carga	0,356	0,137

Realizado por: Guanuche Lady, Peñafiel Vivian, 2023

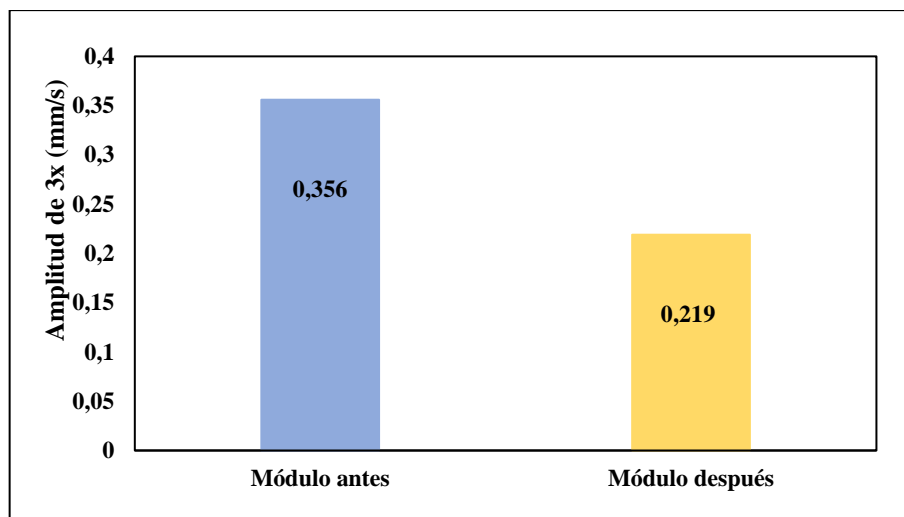


Ilustración 4- 66: Diferencia de amplitud del 3x del plano vertical para los módulos

Realizado por: Guanuche Lady, Peñafiel Vivian, 2023

4.3.2.16. Diferencia de amplitud del RMS del plano vertical para los módulos

Considerando las características del módulo antiguo se realizó la toma de un dato, debido la amplitud del RMS. Esto se muestra en la Ilustración 4-67. Teniendo en cuenta la Tabla 4-31 se encuentra una amplitud del RMS de 17,519 mm/s para el módulo antiguo y para el mejorado de 2,487 mm/s obteniendo una diferencia considerable de 15,032.

Tabla 4- 31: Diferencia de amplitud del RMS del plano vertical para los módulos

Carga aplicada (psi)	Módulo antes	Módulo después
	Amplitud del RMS Global (mm/s)	Amplitud del RMS Global (mm/s)
Sin carga	17,519	2,487

Realizado por: Guanuche Lady, Peñafiel Vivian, 2023

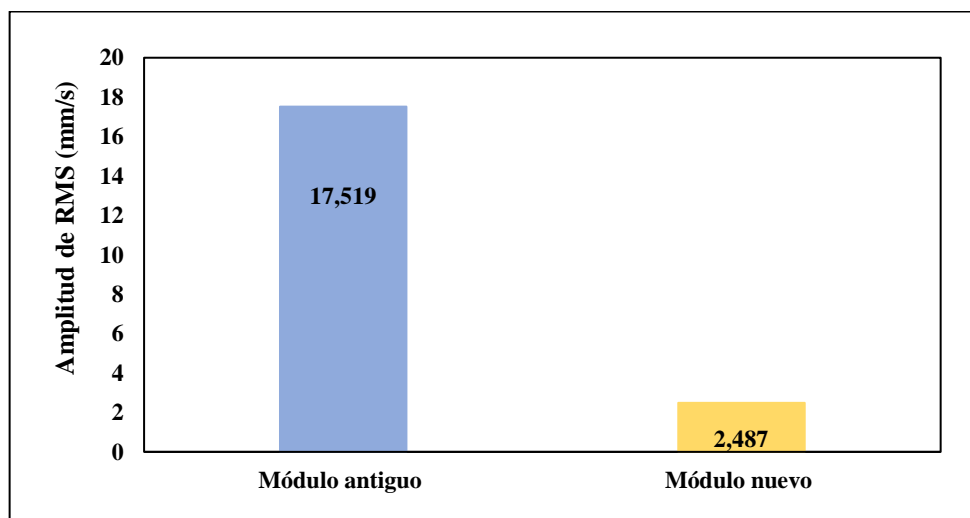


Ilustración 4- 67: Diferencia de amplitud del RMS del plano vertical para los módulos

Realizado por: Guanuche Lady, Peñafiel Vivian, 2023

4.3.2.17. Diferencia de amplitud del 1x del plano horizontal para los módulos

Considerando las características del módulo antiguo se realizó la toma de un dato, debido a esto la amplitud del 1x que se tomó en cuenta de los módulos fue sin carga. Esto se muestra en la Ilustración 4-68.

Tabla 4- 32: Diferencia de amplitud del 1x del plano horizontal para los módulos

Carga aplicada (psi)	Módulo antes	Módulo después
	Amplitud del 1x (mm/s)	Amplitud del 1x (mm/s)
Sin carga	7,320	9,925

Realizado por: Guanuche Lady, Peñafiel Vivian, 2023

Teniendo en cuenta la Tabla 4-32 se encuentra una amplitud del 1x de 7,320 mm/s para el módulo antiguo y para el mejorado de 9,925 mm/s obteniendo una diferencia de 2,605.

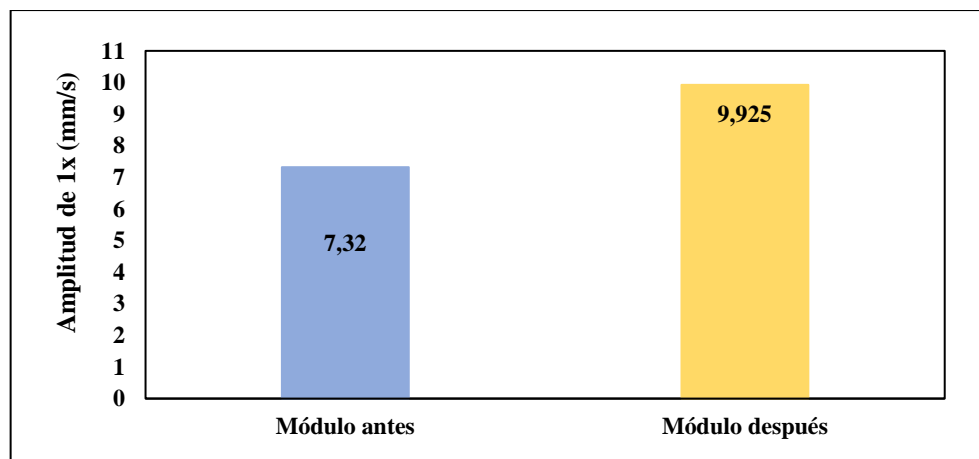


Ilustración 4- 68: Diferencia de amplitud del 1x del plano horizontal para los módulos

Realizado por: Guanuche Lady, Peñafiel Vivian, 2023

4.3.2.18. Diferencia de amplitud del 2x del plano horizontal para los módulos

Considerando las características del módulo antiguo se realizó la toma de un dato, debido a esto la amplitud del 2x se tomó en cuenta de los módulos fue sin carga. Esto se muestra en la Ilustración 4-69. Teniendo en cuenta la Tabla 4-33 se encuentra una amplitud del 2x de 5,246 mm/s para el módulo antiguo y para el mejorado de 4,343 mm/s obteniendo una diferencia de 0,903.

Tabla 4- 33: Diferencia de amplitud del 2x del plano horizontal para los módulos

Carga aplicada (psi)	Módulo antes	Módulo después
	Amplitud del 2x (mm/s)	Amplitud del 2x (mm/s)
Sin carga	5,246	4,343

Realizado por: Guanuche Lady, Peñafiel Vivian, 2023

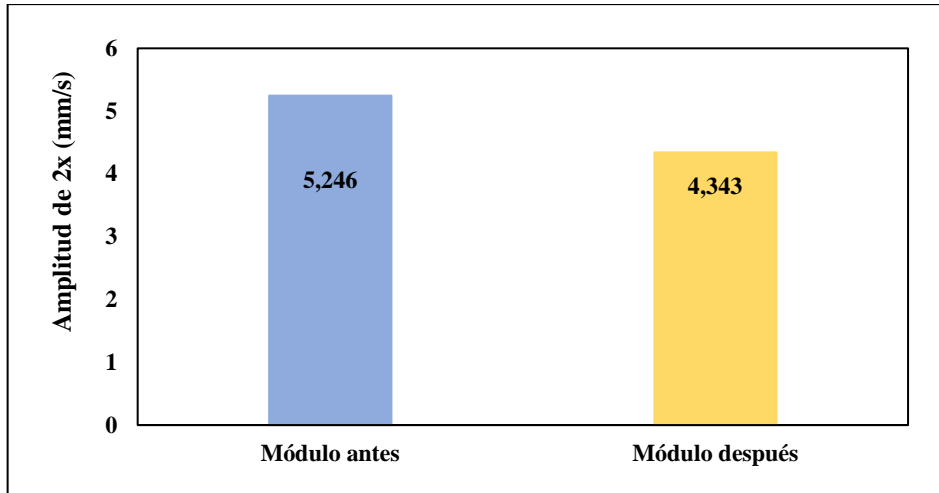


Ilustración 4- 69: Diferencia de amplitud del 2x del plano horizontal para los módulos

Realizado por: Guanuche Lady, Peñafiel Vivian, 2023

4.3.2.19. Diferencia de amplitud del 3x del plano horizontal para los módulos

Considerando las características del módulo antiguo se realizó la toma de un dato, debido a esto la amplitud del 3x que se tomó en cuenta de los módulos fue sin carga. Esto se muestra en la Ilustración 4-70.

Tabla 4- 34: Diferencia de amplitud del 1x del plano horizontal para los módulos

Carga aplicada (psi)	Módulo antes	Módulo después
	Amplitud del 3x (mm/s)	Amplitud del 3x (mm/s)
Sin carga	1,875	0,371

Realizado por: Guanuche Lady, Peñafiel Vivian, 2023

Teniendo en cuenta la Tabla 4-34 se encuentra una amplitud del 3x de 1,875 mm/s para el módulo antiguo y para el mejorado de 0,371 mm/s obteniendo una diferencia de 1,504.

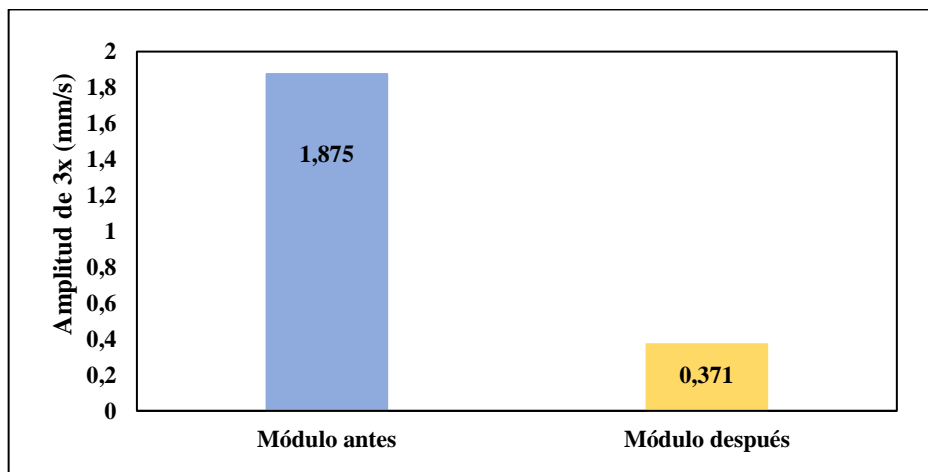


Ilustración 4- 70: Diferencia de amplitud del 3x del plano horizontal para los módulos

Realizado por: Guanuche Lady, Peñafiel Vivian, 2023

4.3.2.20. Diferencia de amplitud del RMS del plano horizontal para los módulos

Considerando las características del módulo antiguo se realizó la toma de un dato, debido a esto la amplitud del RMS que se tomó en cuenta de los módulos fue sin carga. Esto se muestra en la Ilustración 4-71.

Tabla 4- 35: Diferencia de amplitud del RMS del plano horizontal para los módulos

Carga aplicada (psi)	Módulo antes	Módulo después
	Amplitud del RMS Global (mm/s)	Amplitud del RMS Global (mm/s)
Sin carga	13,446	11,146

Realizado por: Guanuche Lady, Peñafiel Vivian, 2023

Teniendo en cuenta la Tabla 4-35 se encuentra una amplitud del RMS de 13,446 mm/s para el módulo antiguo y para el mejorado de 11,146 mm/s obteniendo una diferencia de 2,300.

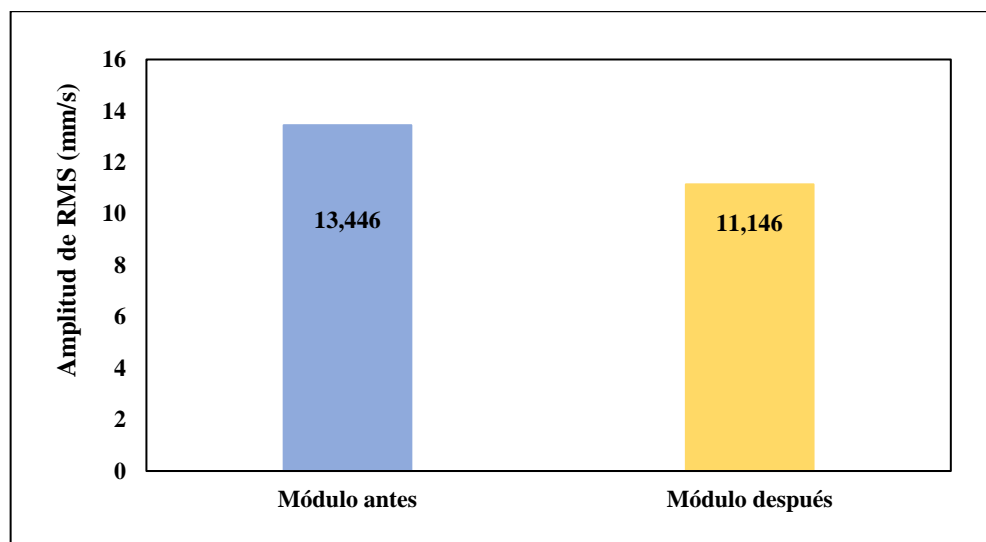


Ilustración 4- 71:Diferencia de amplitud del RMS del plano horizontal para los módulos

Realizado por: Guanuche Lady, Peñafiel Vivian, 2023

4.3.3. Carga VS Deformación

Considerando las medidas obtenidas al aplicar la carga se obtuvieron los siguientes datos los cuales se muestran en la Tabla 4-36 las mediciones realizadas con el reloj comparador tomando en cuenta la deflexión que presenta el eje al aplicar una carga sobre el rodamiento.

En la Ilustración 4-72 se observa la deformación presente en el eje es proporcional debido a que el aumento de la carga en el rodamiento provocando una deflexión.

Tabla 4- 36: Carga vs Deflexión

Carga aplicada (psi)	Deformación (mm)
0	0.020
100	0.024
200	0.026
300	0.028
400	0.032
500	0.034
600	0.036
700	0.038
800	0.039
900	0.042
1000	0.045

Realizado por: Guanuche Lady, Peñafiel Vivian, 2023

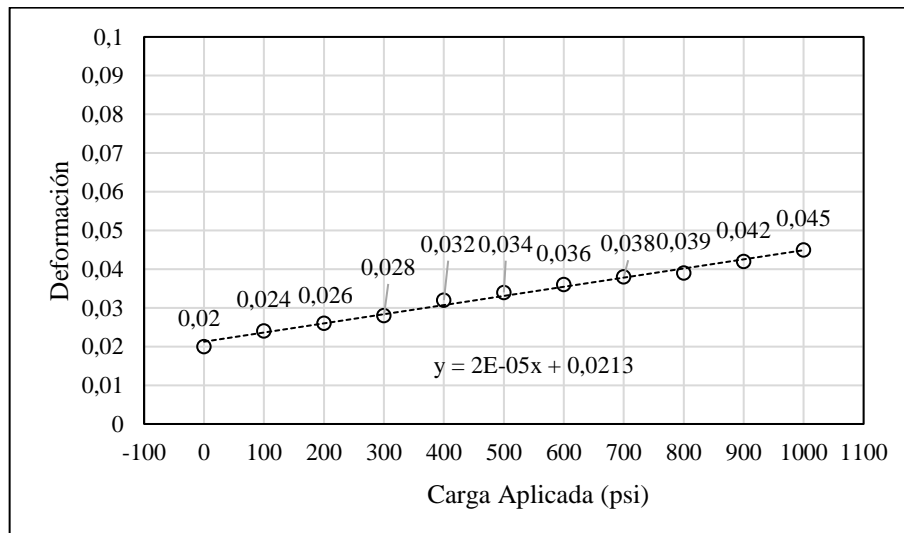


Ilustración 4- 72: Carga Vs Deformación

Realizado por: Guanuche Lady, Peñafiel Vivian, 2023

4.4. Manual de operación

En el ANEXO F se presenta el diagrama de flujo del módulo y su funcionamiento. Éste se utiliza para pruebas para el rodamiento 6008 Z de cualquier marca, con el fin de alcanzar en máximo desempeño, confiabilidad y calidad del módulo en futuros proyectos de investigación.

4.5. Plan de mantenimiento

El plan de mantenimiento que se aplicará en el módulo se realiza en base a la metodología del AMEF (Análisis del Modo y Efecto de Fallas), esto pretende buscar fallas en procesos, además que se identifican consecuencias por un mal funcionamiento.

4.5.1. AMEF (Análisis de Modo y Efecto de Falla)

El AMEF completo se encontrará en el ANEXO G para el módulo de ensayos de vida acelerada del Laboratorio de Diagnóstico Técnico y Eficiencia Energética. En éste se detallan aspectos como: la función, falla funcional, modos y efectos de falla, además de estos las consecuencias para el módulo.

4.5.2. Tareas de mantenimiento

Las tareas de mantenimiento que se deben realizar en el módulo de ensayos de vida acelerada en rodamientos se detallan en el ANEXO G, éstas servirán para la gestión de los elementos del Laboratorio de Diagnóstico Técnico y Eficiencia Energética.

CAPÍTULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

En las pruebas preliminares realizadas en el módulo se identificó deficiencias en el diseño y construcción del módulo, en donde se obtuvo armónicos indeseables como el incremento en el 1x y 2x de 7,320; 5,246 en el plano axial por a la deflexión de los ejes, existe un aumento de temperatura para el rodamiento sin aplicar carga de 15,3 °C con respecto a la temperatura ambiente de 21,9 °C debido a la falta de lubricación.

En base a las pruebas preliminares se evidencio que el sistema de carga encargado de forzar el funcionamiento del rodamiento compuesto por el perno y la bomba hidráulica no cumplía con su función, debido al atascamiento en el cilindro, además, que el acople con la bomba se encontró roto, evitando el paso de aceite, provocando que no se ejerza una carga sobre el rodamiento de prueba.

Para la selección de los componentes necesarios en la mejora del módulo se toma en cuenta el rediseño de la placa bases, caja de rodamiento, soportes del sistema de carga, soportes de la caja de rodamiento, bases del motor y chumaceras, basado en el método de mediciones directas e indirectas así mejorando su eficiencia. Con la ayuda del software de diseño se dimensiono todas las piezas necesarias, las características del material y los elementos adicionales seleccionados en base a fichas técnicas proporcionadas por catálogos.

En la reconstrucción del módulo mejorado se valoró la carga máxima que soporta el rodamiento, en éste se podrá realizar prácticas de análisis vibracional y termográfico, donde se identificará las etapas que sufre un rodamiento antes de experimentar una falla y obtener los termogramas de la temperatura que adquiere el rodamiento a lo largo del tiempo sin que este supere los rangos de temperatura de -40°C a +100°C.

La mejora del módulo permitió demostrar una disminución en la temperatura del módulo mediante termografía, donde se observó una reducción de temperatura en el rodamiento sin aplicar carga de 15,3°C a 7,7°C, y en la caja de rodamiento de 4,9°C a 3,9°C respecto a la temperatura ambiente.

El análisis vibracional se observó que a medida que se aumenta la carga en rodamiento este incrementa las vibraciones, por ende, se observa una ampliación de los espectros del 1x, 2x y 3x al pasar del tiempo la variación del RMS global varió de 6,548 a 16,035. Lo cual causa la desalineación angular y la presencia de un armónico indeseable del BPFO de 17 817,68 CPM, evidenciando el desgaste del rodamiento a los 400 psi.

5.2. Recomendaciones

Usar los equipos de protección personal como guantes, protección visual y el mandil, debido a que la presencia de componentes de transmisión de velocidad que puede poner en peligro la condición física de la persona.

Utilizar rodamientos NTN 6008Z de tapas metálicas, ya que éste puede soportar temperaturas de trabajo entre -40°C a 120°C, o cualquier rodamiento que trabaje a altas temperaturas para que el ensayo se pueda realizar correctamente, de tal manera que los rodamientos utilizados como el DJF 6008 y CMS 6008 no soportan las temperaturas de trabajo y no son recomendables.

Realizar un estudio adicional para implementar una alineación adecuada del módulo, debido a la carga que se desea aplicar la deflexión del eje está latente, para esto se debe considerar la alineación del acople sin que afecte la carga aplicada sobre el rodamiento, por ello una alineación inicial en el módulo sin aplicar carga no sería lo más óptimo.

Modificar la caja del rodamiento con el fin de realizar más estudios de vida acelera en rodamientos como el método de lubricación en base a los regímenes.

En el análisis vibracional a realizarse en el Software MAINTraQ Predictive se sugiere generar las formas de onda y los espectros se le configure a 3200 de líneas espectrales y 8000 muestras, lo cual permitirá analizar eficientemente el modo de falla representado. En termografía configurar la cámara los valores de temperatura ambiente, humedad relativa y emisividad.

Seguir el manual de operación y el plan mantenimiento que se encuentran en los anexos F y G respectivamente, para la conservación de la función y eficiencia del módulo, permitiendo proporcionar datos correctos en las pruebas.

BIBLIOGRAFÍA

1. **AUSAY BAQUERO, C.A.** y **ESTRADA TUALOMBO, W.E.**, Análisis de modos y efectos de falla en rodamientos por defectos de lubricación a través de ultrasonido en un simulador electroneumático. 2020. En: Accepted: 2022-02-23T15:41:48Z [en línea], [consulta: 5 mayo 2023]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/14905>.
2. **BALLESTEROS OSPINA, M.L.**, *Superficies determinísticas bio-inspiradas para disminución de fricción en pares tribológicos polímero-metal* [en línea]. 2019. S.l.: s.n. [consulta: 5 mayo 2023]. Disponible en: <http://repositorioslatinoamericanos.uchile.cl/handle/2250/3381049>.
3. **CABRERA REINOSO, M.E.** y **SALAS LARGO, D.G.**, *Diseño y construcción de una bomba hidráulica manual para detectar fisuras en sistemas de presión* [en línea]. bachelorThesis. S.l.: Ecuador: Latacunga: Universidad Técnica de Cotopaxi (UTC). 2022. [consulta: 8 agosto 2023]. Disponible en: <http://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/9582>.
4. **CHARLOTTE**, «Lista ilustrada de diagnóstico de vibraciones». Technical associates of vibration. [en línea]. 1961 [consulta: 8 agosto 2023]. Disponible en: <https://www.technicalassociates.net/>.
5. **GARCÍA VALLEJOS, C.J.**, Propuesta de un programa de lubricación industrial para aumentar la disponibilidad de los motores y bombas del área de elaboración de la empresa Agropucalá S.A.A. En: Accepted: 2022-05-25T15:44:51Z [en línea], 2022. [consulta: 5 mayo 2023]. Disponible en: <http://repositorioslatinoamericanos.uchile.cl/handle/2250/4871020>.
6. **GRANIZO, J.**, Diagnóstico del mecanismo de desgaste aplicado en pares tribológicos mediante ferografía. 2017. *Revista Ciencia Unemi*, vol. 10, no. 22,
7. **GUAMÁN ORTEGA, J.D.** y **HUERTA ROMERO, H.D.**, Implementación de un módulo de simulación para el diagnóstico vibracional de la desalineación de ejes para el rotor kit del laboratorio de diagnóstico técnico y eficiencia energética. En: Accepted: 2022-07-15T21:43:48Z [en línea], 2022. [consulta: 5 mayo 2023]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/16185>.

8. **JIMÉNEZ HERNÁNDEZ, J. del C. y LÓPEZ CERINO, M.,** Pruebas de vida acelerada en confiabilidad. En: Accepted: 2019-07-05T15:29:54Z [en línea], 2009. [consulta: 5 mayo 2023]. Disponible en: <http://repositorio.utm.mx:8080/jspui/handle/123456789/208>.
9. **LOOR FERNÁNDEZ, W.P., QUIROZ FERNÁNDEZ, L.S. y LLOSAS ALBUERNE, Y.,** Análisis termográfico y su incidencia en los indicadores de mantenimiento de redes y equipos para la S/E Portoviejo #1, Unidad de Negocios Manabí. 2021. *Dominio de las Ciencias*, vol. 7, no. 3, ISSN 2477-8818.
10. **NAVARRO CARMONA, M.,** *Diagnóstico de fallos en rodamientos* [en línea]. Sevilla: Escuela Técnica Superior de Ingeniería Universidad de Sevilla. 2016. Disponible en: <https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/objetos/tutorial215.pdf>.
11. **ROBLES SANGURIMA, J.A.,** Análisis de vibraciones torsionales de elementos oscilantes en un motor de combustión interna como aporte al monitoreo de la condición de automotores. En: Accepted: 2022-12-07T17:37:17Z [en línea], 2022. [consulta: 8 agosto 2023]. Disponible en: <http://dspace.esoch.edu.ec/handle/123456789/17996>.
12. **SANCHO BRU, Joaquin.L., RODRÍGUEZ CERVANTES, A., SÁNCHEZ MARÍN, F.T. y PERÉZ GONZÁLEZ, A.,** *Mantenimiento mecánico de maquinas*. 2a ed. S.l.: 2007. Universitat Jaume. 658.58, vol. 25. ISBN 978-84-15443-89-6.
13. **SERNAN LÓPEZ, H.,** Diseño de un banco de pruebas para el análisis de vibraciones en un sistema tipo rotor de Jeffcott para la aplicación del mantenimiento predictivo en el programa de ingeniería mecatrónica. [en línea], 2023. [consulta: 8 agosto 2023]. Disponible en: <https://hdl.handle.net/11059/14757>.

ANEXOS

ANEXO A: INFORME DE TERMOGRAFÍA



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE
CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECÁNICA



INFORME DE TERMOGRAFÍA

- **DATOS INFORMATIVOS**

EMPRESA: ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

PROYECTO: MEJORA DEL MÓDULO DE ENSAYOS DE LA VIDA ACELERADA EN RODAMIENTOS DEL LABORATORIO DE DIAGNÓSTICO TÉCNICO Y EFICIENCIA ENERGÉTICA DE LA FACULTAD DE MECÁNICA DE LA ESPOCH.

UBICACIÓN: AVENIDA PEDRO VICENTE ALDONADO KM 1 1/2

RESPONSABLES: LADY GUANUCHE Y VIVIAN PEÑAFIEL.

- **Descripción**



En los ensayos de vida acelerada de rodamientos realizados en el laboratorio de Diagnóstico Técnico se empleó grasa multipropósito que tiene una temperatura de trabajo superior a los estándares establecidos; mientras que, debido a la sobrecarga ejercida sobre los rodamientos, la temperatura de éstos alcanzó niveles de 100°C y superiores, por lo que es fácil deducir que las características del lubricante fueron comprometidas.

Puesto que al aumentar la temperatura en los mecanismos se vuelven más propensos a tener

diversos modos de fallas debido a la pérdida del lubricante en los rodamientos por el exceso de calor, esto afecta las propiedades del lubricante, causando picaduras en las pistas del rodamiento y otros fallos. Éstos afectan los análisis de vida acelerada ya que los ensayos que se realizan ya no corresponden a una condición normal que puede presentar una máquina.

- **Temas estudiados**

La termografía es un método de inspección de equipos eléctricos y mecánicos mediante la obtención de termogramas. Este método de inspección se basa en que la mayoría de los componentes de un sistema muestran un incremento de temperatura cuando desarrolla un modo de falla.

- **Actividades**

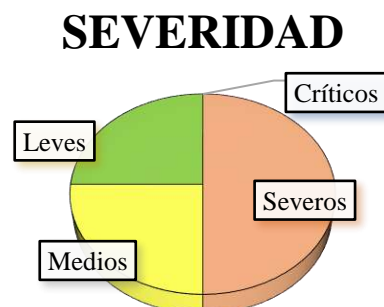
Con el uso de la cámara termográfica Satir HotFind VR y el software SATIR Report en base a la norma ISO 18434-1 se realizó el análisis termográfico, tomando en cuenta aspectos como la humedad y temperatura ambiente a las que se encuentra el espacio físico del módulo, además, de la emisividad del material.

La designación de severidad no es de la norma, pero se incluye para una mejor comprensión.

- **Resumen**

N°	Equipo inspeccionado	Localización de la falla	ΔT	Severidad
1	Motor	Rodamiento interno del motor.	18.2 °C	Medio
2	Chumacera 1	Chumacera sobrecalentada	35.3 °C	Severo
3	Chumacera 2	Chumacera sobrecalentada	26.8 °C	Severo
4	Rodamientos y la caja de rodamientos	Sobrecalentamiento de la temperatura de rozamiento.	4.9 °C	Leves

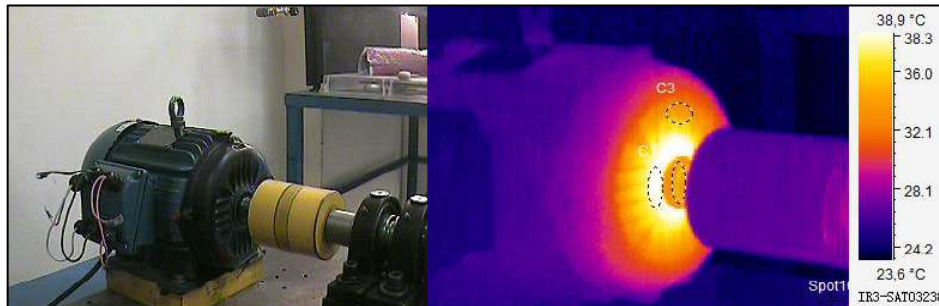
Severidad	N°
Críticos	0
Severos	2
Medios	1
Leves	1



- **Detalle**

REPORTE TERMOGRÁFICO N.º 01

EMPRESA:	Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.
ÁREA/SECCIÓN:	Laboratorio de Diagnóstico Técnico y Eficiencia Energética.
EQUIPO INSPECCIONADO:	Módulo de ensayos de vida acelerada de rodamientos.
FECHA DE INSPECCIÓN:	05 de abril del 2023
HORA DE INSPECCIÓN:	13:08

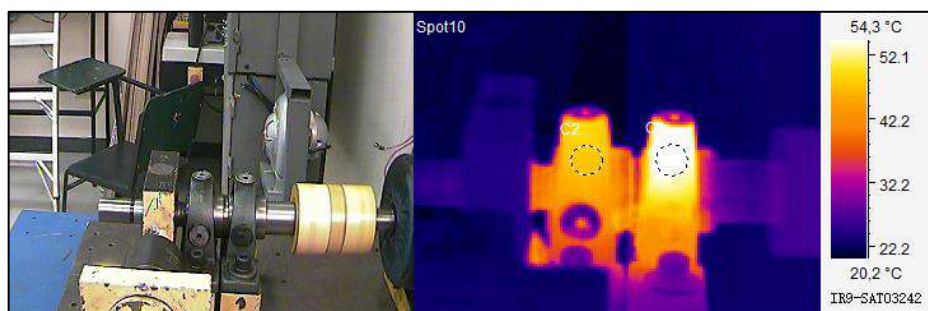


INFO. IMAGEN	VALOR
Temperatura Ambiente	21.9 °C
Humedad	53%
Emisividad	0,95
Distancia	1m
C1:MAX TEMP	39.7 °C
C2:MAX TEMP	36.1 °C
C3:MAX TEMP	36.7 °C
ΔT (Tmax - Ta)	18.2 °C

ELEMENTO ANALIZADO	Motor
DIAGNÓSTICO DE LA CONDICIÓN	Incremento en la temperatura en el rodamiento interno del motor.
SEVERIDAD	Medio (Probable deficiencia. Reparar en la primera oportunidad).
ACCIONES DE CORRECCIÓN RECOMENDADAS	Revisar las cargas asignadas en el motor y cambiar los rodamientos.

REPORTE TERMOGRÁFICO N.º 02

EMPRESA:	Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.
ÁREA/SECCIÓN:	Laboratorio de Diagnóstico Técnico y Eficiencia Energética.
EQUIPO INSPECCIONADO:	Módulo de ensayos de vida acelerada de rodamientos.
FECHA DE INSPECCIÓN:	05 de abril del 2023
HORA DE INSPECCIÓN:	13:11

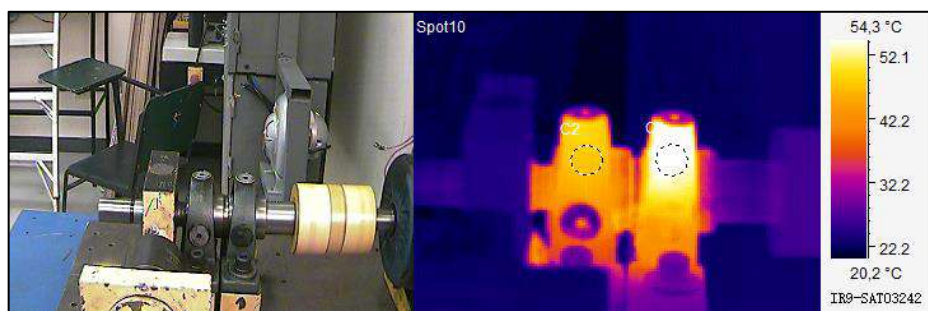


INFO. IMAGEN	VALOR
Temperatura Ambiente	21.9 °C
Humedad	53%
Emisividad	0,95
Distancia	1m
C1:MAX TEMP	57.2 °C
$\Delta T (T_{max} - T_a)$	35.3 °C

ELEMENTO ANALIZADO	Chumacera 1
DIAGNÓSTICO DE LA CONDICIÓN	Incremento en la temperatura en la chumacera
SEVERIDAD	Severo (Monitorear hasta que las medidas correctivas pueden ejecutarse).
ACCIONES DE CORRECCIÓN RECOMENDADAS	Realizar el cambio de la chumacera.

REPORTE TERMOGRÁFICO N.º 03

EMPRESA:	Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.
ÁREA/SECCIÓN:	Laboratorio de Diagnóstico Técnico y Eficiencia Energética.
EQUIPO INSPECCIONADO:	Módulo de ensayos de vida acelerada de rodamientos.
FECHA DE INSPECCIÓN:	05 de abril del 2023
HORA DE INSPECCIÓN:	13:11

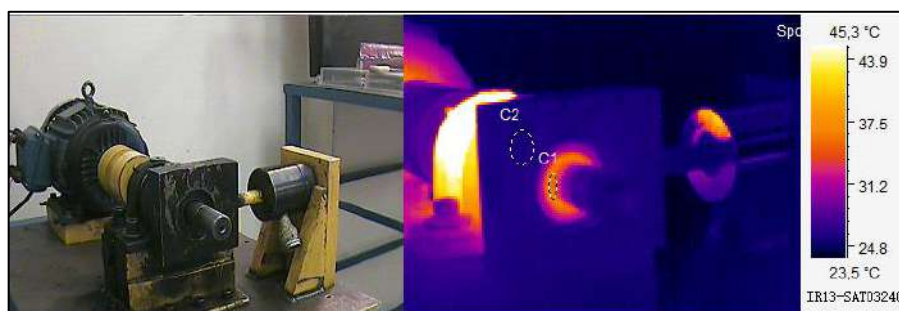


INFO. IMAGEN	VALOR
Temperatura Ambiente	21.9 °C
Humedad	53%
Emisividad	0,95
Distancia	1m
C2:MAX TEMP	48.7 °C
$\Delta T (T_{max} - T_a)$	26.8 °C

ELEMENTO ANALIZADO	Chumacera 2
DIAGNÓSTICO DE LA CONDICIÓN	Incremento en la temperatura en la chumacera
SEVERIDAD	Severo (Monitorear hasta que las medidas correctivas pueden ejecutarse).
ACCIONES DE CORRECCIÓN RECOMENDADAS	Realizar el cambio de la chumacera.

REPORTE TERMOGRÁFICO N.º 04

EMPRESA:	Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.
ÁREA/SECCIÓN:	Laboratorio de Diagnóstico Técnico y Eficiencia Energética.
EQUIPO INSPECCIONADO:	Módulo de ensayos de vida acelerada de rodamientos.
FECHA DE INSPECCIÓN:	05 de abril del 2023
HORA DE INSPECCIÓN:	13:20



INFO. IMAGEN	VALOR
Temperatura Ambiente	21.9 °C
Humedad	53%
Emisividad	0,95
Distancia	1m
C1:MAX TEMP	37.2 °C
C2:MAX TEMP	26.8 °C
$\Delta T (T_{max} - T_a)$	4.9 °C

ELEMENTO ANALIZADO	Rodamiento y caja de rodamiento
DIAGNÓSTICO DE LA CONDICIÓN	Incremento en la temperatura solo en la región de contacto.
SEVERIDAD	Leves (Posible deficiencia: Ordene investigación).
ACCIONES DE CORRECCIÓN RECOMENDADAS	Realizar el desmontaje del rodamiento y su caja. Además, de analizar el estado del eje.

ANEXO B: INFORME VIBRACIONAL



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE
CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECÁNICA



INFORME VIBRACIONAL

- **DATOS INFORMATIVOS**

EMPRESA: ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

PROYECTO: MEJORA DEL MÓDULO DE ENSAYOS DE LA VIDA ACELERADA EN RODAMIENTOS DEL LABORATORIO DE DIAGNÓSTICO TÉCNICO Y EFICIENCIA ENERGÉTICA DE LA FACULTAD DE MECÁNICA DE LA ESPOCH.

UBICACIÓN: AVENIDA PEDRO VICENTE ALDONADO KM 1 1/2

RESPONSABLES: LADY GUANUCHE Y VIVIAN PEÑAFIEL.

- **Descripción**



En los ensayos de vida acelerada de rodamientos realizados en el laboratorio de Diagnóstico Técnico se empleó grasa multipropósito que tiene una temperatura de trabajo superior a los estándares establecidos; mientras que, debido a la sobrecarga ejercida sobre los rodamientos, la temperatura de éstos alcanzó niveles de 100°C y superiores, por lo que es fácil deducir que las características del lubricante fueron comprometidas.

- **Temas estudiados**

El análisis vibracional es un método de inspección de equipos mecánicos mediante la obtención de espectros. La inspección se basa en que los componentes de un sistema generan vibración mecánica produciendo sonido, por ende, el exceso de vibraciones denota un modo de falla en el equipo.

- **Actividades**

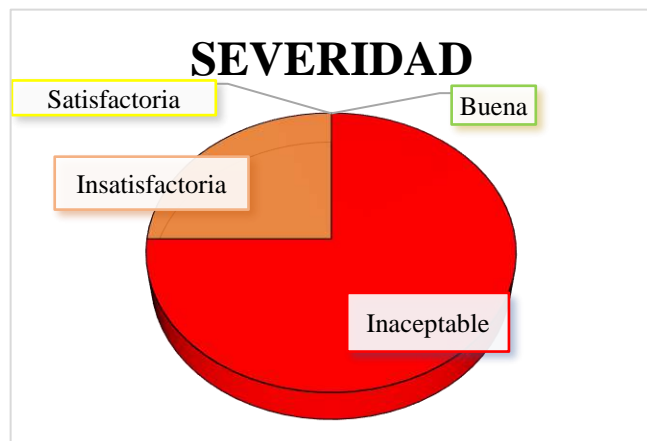
Con el uso del analizador de vibraciones VibraCheck 200 ABG y el software MAINTraQ Predictive de IDEAR en base a la norma ISO 20816-1 se realizó el análisis de vibraciones mecánicas. El análisis se basó en una inspección de equipos mecánicos con la obtención de espectros, esto se lo realizó en el motor, las chumaceras y el rodamiento.

El análisis se realizó en base a límites de alerta determinados por los fabricantes de los elementos específicamente de la temperatura de funcionamiento de la grasa antes de perder sus propiedades físicas.

- **Resumen**

N°	Equipo inspeccionado	Localización de la falla	mm/s	Severidad
1	Motor	Resonancia.	2,321	Insatisfactoria
2	Chumacera 1	La chumacera presenta desalineación con respecto al eje.	3,080	Insatisfactoria
3	Chumacera 2	La chumacera presenta desalineación con respecto al eje.	3,080	Insatisfactoria
4	Rodamientos y la caja de rodamientos	Picadura en la pista externa.	7,740	Inaceptable

Severidad	N°
Inaceptable	3
Insatisfactoria	1
Satisfactoria	0
Buena	0

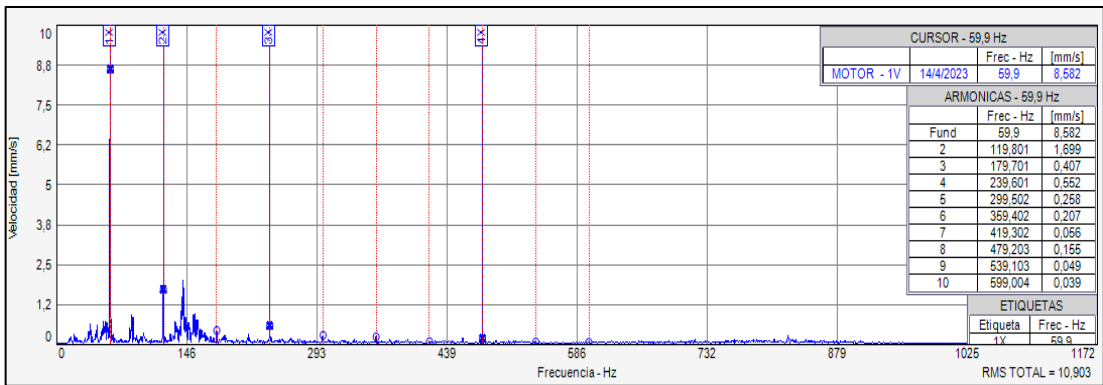


- **Detalle**

REPORTE VIBRACIONAL N.º 01

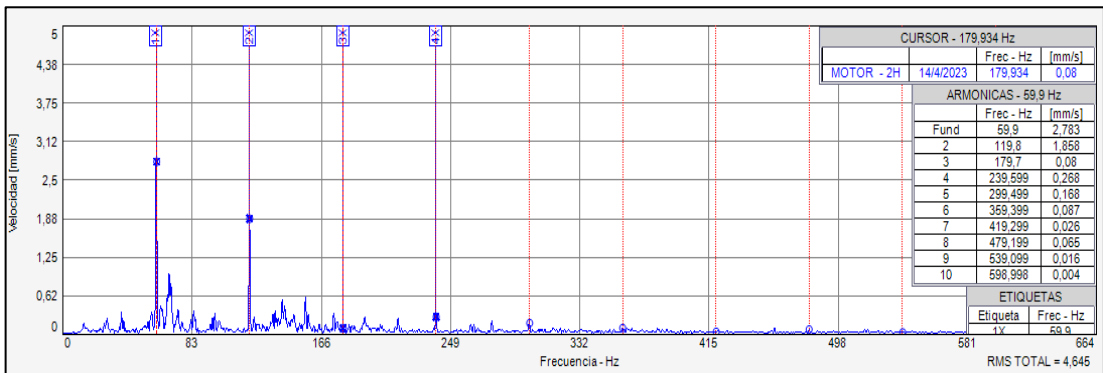
EMPRESA:	Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.
ÁREA/SECCIÓN:	Laboratorio de Diagnóstico Técnico y Eficiencia Energética.
EQUIPO INSPECCIONADO:	Módulo de ensayos de vida acelerada de rodamientos.
FECHA DE INSPECCIÓN:	05 de abril del 2023
HORA DE INSPECCIÓN:	14:15

PLANO VERTICAL



	Frecuencia (Hz)	Amplitud (mm/s)
1x	59,900	8,582
2x	119,801	1,699
3x	179,701	0,407
4x	239,601	0,552
RMS		10,903

PLANO HORIZONTAL



	Frecuencia (Hz)	Amplitud (mm/s)
1x	59,9	2,783
2X	119,8	1,858
3x	179,7	0,08
4x	239,599	0,268
RMS		4,645

Espectro de la envolvente

$$BPFO = RPM \frac{N_b}{2} \left(1 - \frac{B_D}{P_D} \cos(\beta) \right)$$

$$N_b = 8$$

$$P_D = 46 \text{ mm}$$

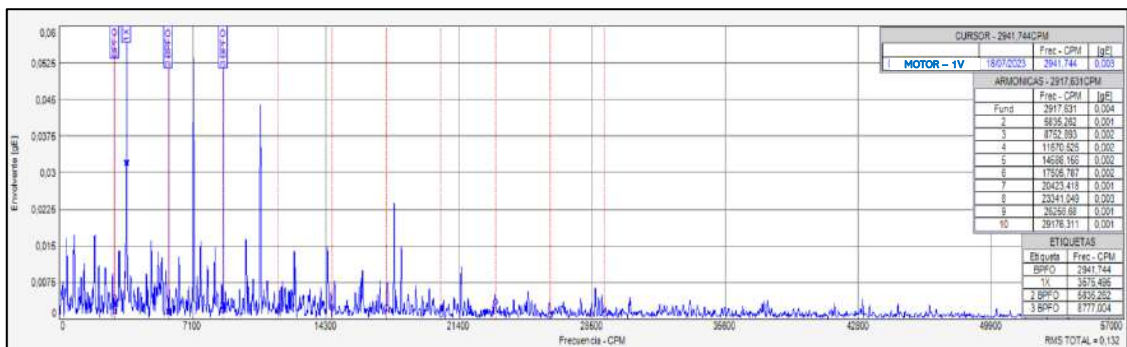
$$B_D = 16 \text{ mm}$$

$$\beta = 45^\circ$$

$$BPFO = RPM \frac{N_b}{2} \left(1 - \frac{B_D}{P_D} \cos(\beta) \right)$$

$$BPFO = 3600 \frac{8}{2} \left(1 - \frac{16 \text{ mm}}{46 \text{ mm}} \cos(45) \right)$$

$$BPFO = 2945,47 \text{ CPM}$$

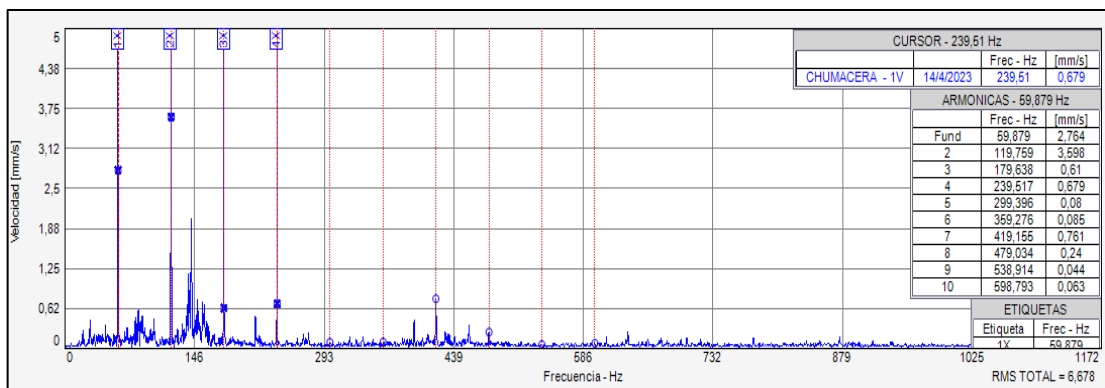


ELEMENTO ANALIZADO	Motor
DIAGNÓSTICO DE LA CONDICIÓN	Picadura en la pista externa del rodamiento
SEVERIDAD	Insatisfactoria
ACCIONES DE CORRECCIÓN RECOMENDADAS	Reemplazar el rodamiento

REPORTE VIBRACIONAL N.º 02

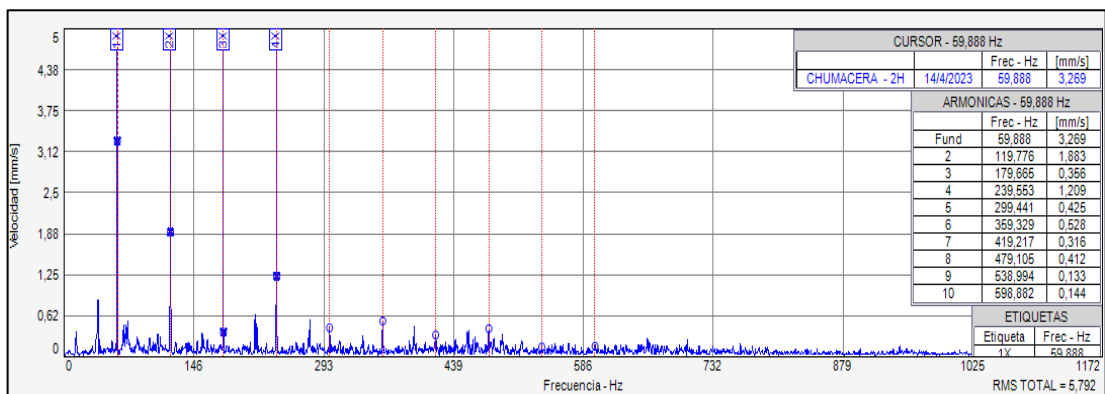
EMPRESA:	Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.
ÁREA/SECCIÓN:	Laboratorio de Diagnóstico Técnico y Eficiencia Energética.
EQUIPO INSPECCIONADO:	Módulo de ensayos de vida acelerada de rodamientos.
FECHA DE INSPECCIÓN:	05 de abril del 2023
HORA DE INSPECCIÓN:	14:25

PLANO VERTICAL



	Frecuencia (Hz)	Amplitud (mm/s)
1x	59,879	2,746
2X	119,759	3,598
3x	179,638	0,61
4x	239,517	0,679
RMS		6,678

PLANO HORIZONTAL



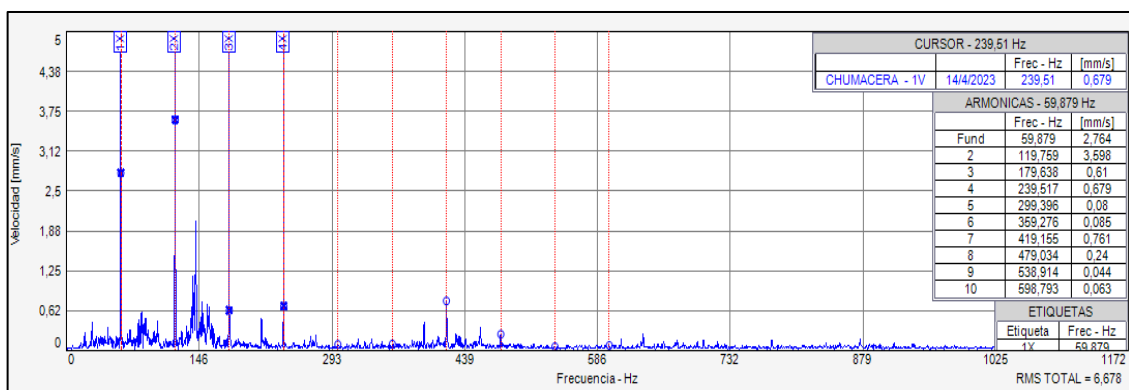
	Frecuencia (Hz)	Amplitud (mm/s)
1x	59,888	3,269
2X	119,776	1,883
3x	179,665	0,356
4X	239,553	1,209
RMS		5,792

ELEMENTO ANALIZADO	Chumacera 1
DIAGNÓSTICO DE LA CONDICIÓN	La chumacera presenta desalineación con respecto al eje.
SEVERIDAD	Insatisfactoria
ACCIONES DE CORRECCIÓN RECOMENDADAS	Revisar la chumacera y de ser necesario reemplazarla.

REPORTE VIBRACIONAL N.º 03

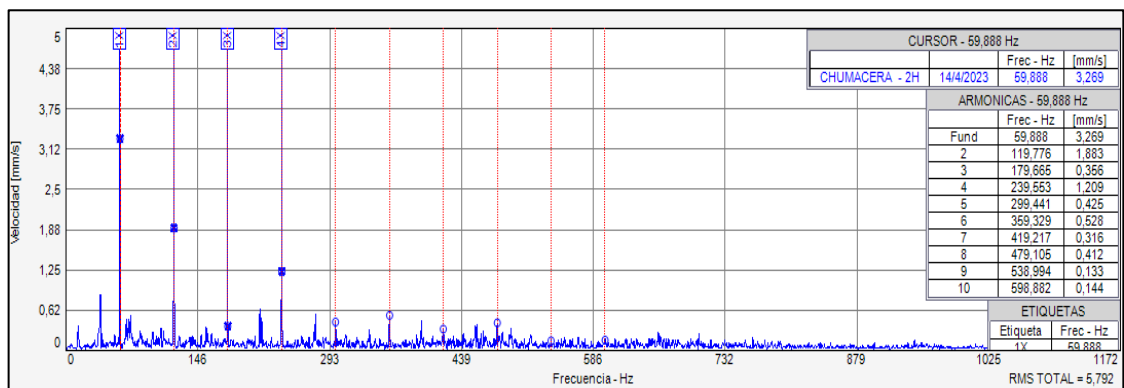
EMPRESA:	Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.
ÁREA/SECCIÓN:	Laboratorio de Diagnóstico Técnico y Eficiencia Energética.
EQUIPO INSPECCIONADO:	Módulo de ensayos de vida acelerada de rodamientos.
FECHA DE INSPECCIÓN:	05 de abril del 2023
HORA DE INSPECCIÓN:	14:30

PLANO VERTICAL



	Frecuencia (Hz)	Amplitud (mm/s)
1x	59,879	2,746
2X	119,759	3,598
3x	179,638	0,61
4x	239,517	0,679
RMS		6,678

PLANO HORIZONTAL



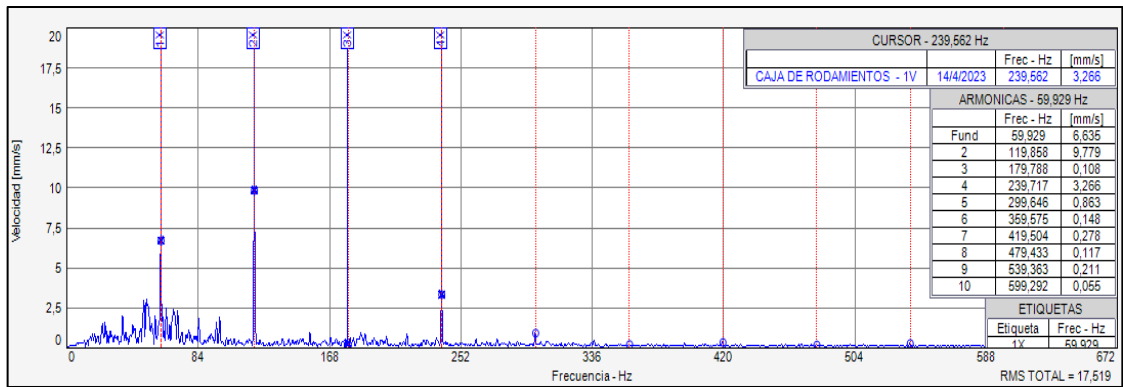
	Frecuencia (Hz)	Amplitud (mm/s)
1x	59,888	3,269
2X	119,776	1,883
3x	179,665	0,356
4x	239,553	1,209
RMS		5,792

ELEMENTO ANALIZADO	Chumacera 2
DIAGNÓSTICO DE LA CONDICIÓN	La chumacera presenta desalineación con respecto al eje.
SEVERIDAD	Insatisfactoria
ACCIONES DE CORRECCIÓN RECOMENDADAS	Revisar la chumacera y de ser necesario reemplazarla.

REPORTE VIBRACIONAL N.º 04

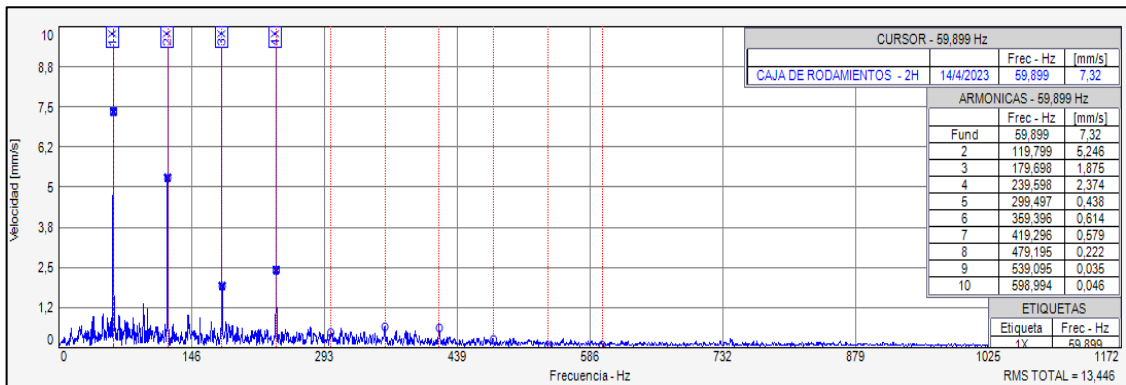
EMPRESA:	Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.
ÁREA/SECCIÓN:	Laboratorio de Diagnóstico Técnico y Eficiencia Energética.
EQUIPO INSPECCIONADO:	Módulo de ensayos de vida acelerada de rodamientos.
FECHA DE INSPECCIÓN:	05 de abril del 2023
HORA DE INSPECCIÓN:	14:35

PLANO VERTICAL



	Frecuencia (Hz)	Amplitud (mm/s)
1x	59,888	6,635
2X	119,776	9,779
3x	179,665	0,108
4x	239,553	3,266
RMS		17,519

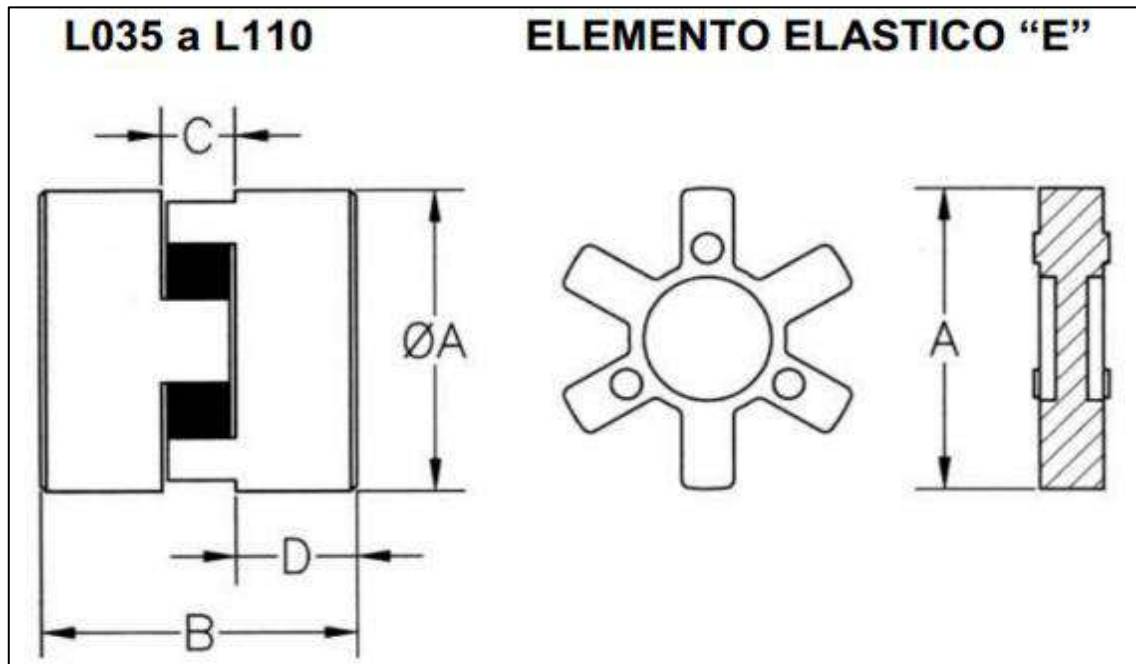
PLANO HORIZONTAL



	Frecuencia (Hz)	Amplitud (mm/s)
1x	59,899	7,320
2X	119,799	5,246
3x	179,698	1,875
4x	239,598	2,374
RMS		13,446

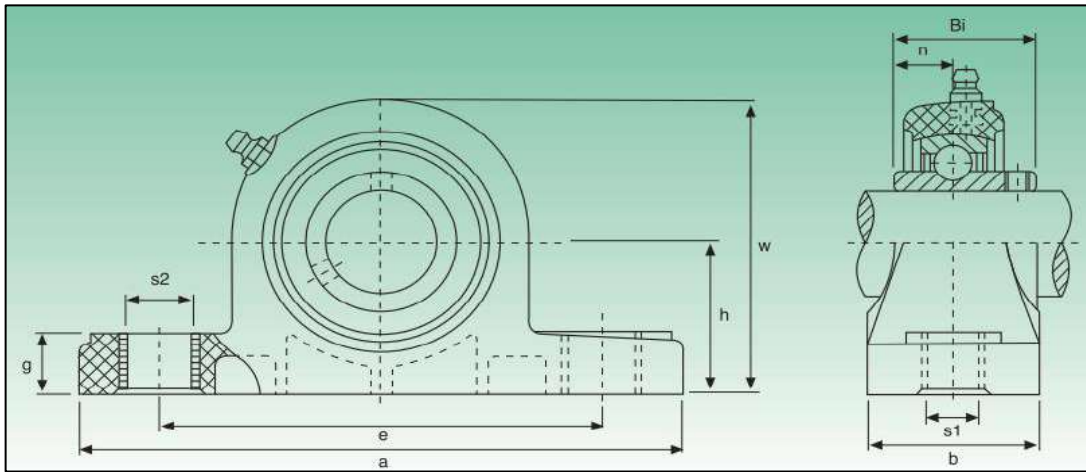
ELEMENTO ANALIZADO	Caja de rodamiento.
DIAGNÓSTICO DE LA CONDICIÓN	Picadura en la pista externa.
SEVERIDAD	Inaceptable.
ACCIONES DE CORRECCIÓN RECOMENDADAS	Reemplazar el rodamiento.

ANEXO C: SELECCIÓN DEL ACOPLE



DIMENSIONES (cotas en mm)									MATERIAL MANGON				
									ACERO SINT.	FUNDICION	ALUMINIO	ACERO INOX.	BRONCE
(x) Material standard													
TIPOS	d máx.	A	B	C	D	E	AA	Peso Kg.					
L.035	10	15.9	20.6	7.1	6.8	15.9		0.05	x			x	
L.050	15	27.4	43.6	12.2	15.7	27.4		0.14	x		x	x	
L.070	19	34.5	50.8	12.2	19.0	34.5		0.27	x		x	x	
L.075	24	44.5	54.0	12.7	20.8	44.5		0.45	x		x	x	x
L.090	28	53.6	54.0	13.2	20.8	53.6	65	0.68	x		x	x	x
L.095	28	53.6	63.5	13.2	25.4	53.6	65	0.81	x		x	x	x
L.100	35	64.3	89.0	18.0	35.0	64.3	78	1.58	x		x	x	x
L.110	42	84.1	108.0	22.3	42.7	84.1	98	2.97	x		x	x	x
L.150	48	95.3	114.3	25.4	44.4	95.3	116	4.10	x		x	x	x

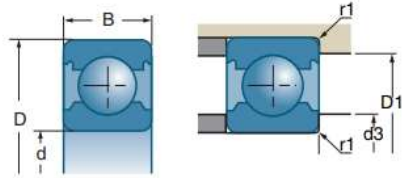
ANEXO D: SELECCIÓN CHUMACERAS



Tipo Type	Diámetro eje Shaft diameter		Dimensiones - Dimensions										Peso Weight	Bul. fij. Bolt Size	Torque (Nm) Torque (Nm)
			a	h	e	b	s1	s2	g	w	Bi	n			
	mm	inch	mm										kg		
UCP201	12	½	127	33,3	95	38	11	14	14,2	65	31	12,7	0,13	M10	18
UCP202	15	9/16 5/8	127	33,3	95	38	11	14	14,2	65	31	12,7	0,13	M10	18
UCP203	17	11/16	127	33,3	95	38	11	14	14,2	65	31	12,7	0,13	M10	18
UCP204	20	¾	127	33,3	95	38	11	14	14,2	65,5	31	12,7	0,13	M10	18
UCP205	25	13/16 7/8 15/16 1	140,5	36,5	105	38	11	14	14,5	71	34	14,3	0,14	M10	25
UCP206	30	11/16 11/8 13/16 1¼	163	42,9	119	46	14	18	17,8	84	38,1	15,9	0,24	M12	30
UCP207	35	1¼ 15/16 13/8 17/16	168	47,6	127	48	14	18	18	94,5	42,9	17,5	0,27	M12	35
UCP208	40	1½ 19/16	184	49,2	137	54	14	18	19,5	101	49,2	19	0,35	M12	45
UCP209	45	15/8 111/16 1¼	192	54	146	54	17	20	23	106	49,2	19	0,41	M16	50
UCP210	50	113/16 17/8 115/16 2	206	57,2	159	60	17	20	23	114	51,6	19	0,47	M16	55
UCP211	55	2 21/16 21/8 23/16	219	63,5	171	60	20	23	23	125	55,6	22,2	-	M16	60
UCP212	60	2¼ 25/16 23/8 27/16	241	69,8	184	70	20	23	25	138	65,1	25,4	-	M16	65

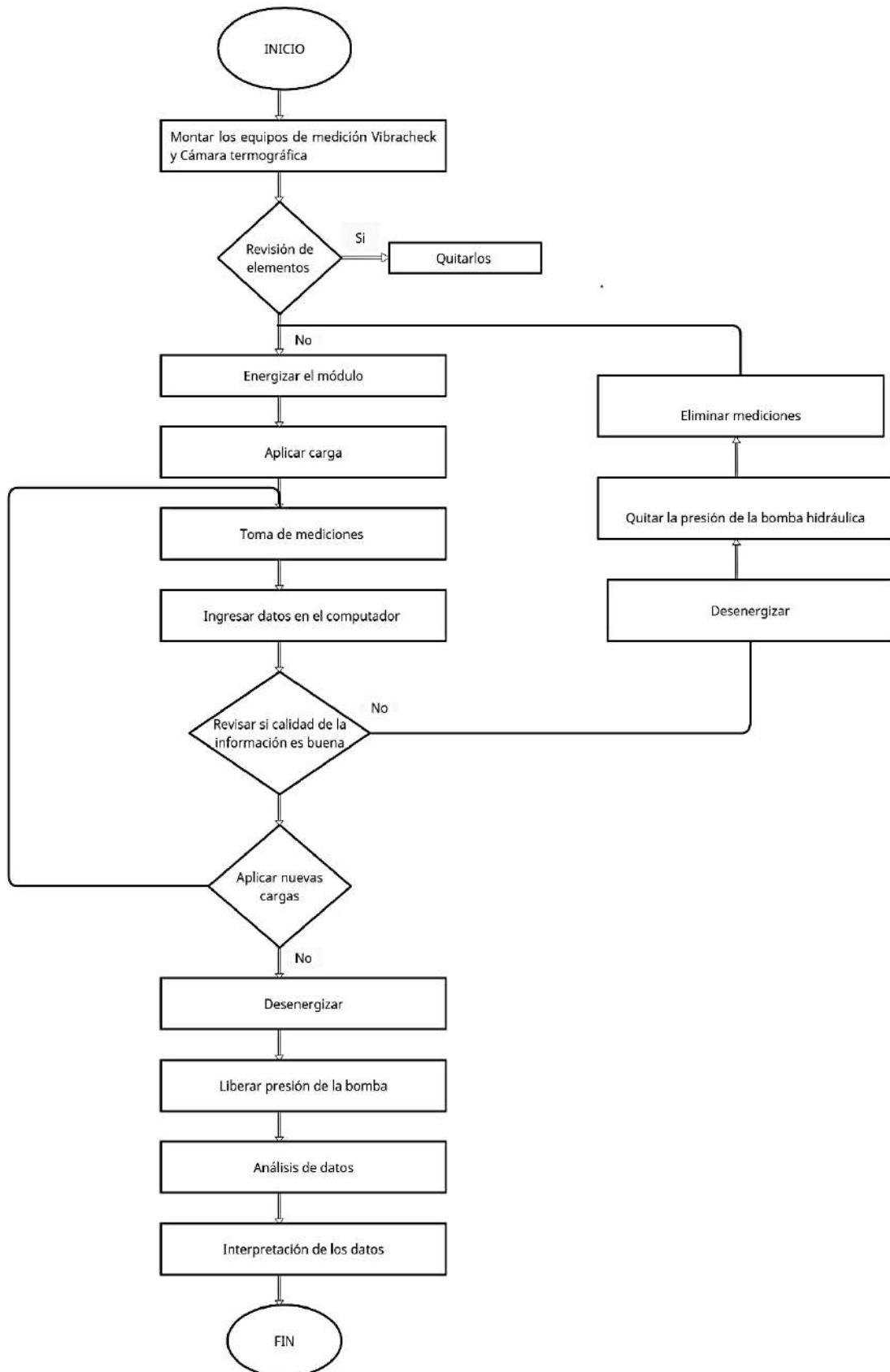
ANEXO E: SELECCIÓN RODAMIENTO

Rodamientos de una hilera de bolas de contacto radial



d mm	Referencias	D mm	B mm	C		C ₀	
				10°N	10°N	r.p.m.*	r.p.m.*
17	6203	40	12	9,60	4,80	16000	19000
	6303	47	14	13,60	6,60	14000	17000
	6403	62	17	22,70	10,80	12000	14000
20	61804	32	7	2,95	1,87	19500	23500
	61904	37	9	6,40	3,70	17500	20500
	16004	42	8	6,80	4,10	17000	20000
	6004	42	12	9,40	5,00	16000	20000
	6204	47	14	12,80	6,70	13000	16000
	6304	52	15	15,90	7,90	12000	15000
	6404	72	19	29,50	15,50	9600	12000
25	61805	37	7	4,30	2,95	17000	20000
	61905	42	9	7,00	4,55	15000	18000
	16005	47	8	10,10	5,90	14000	17000
	6005	47	12	10,10	5,90	13000	17000
	6205	52	15	14,00	7,90	12000	14000
	6305	62	17	22,40	11,50	10000	13000
	6405	80	21	36,00	19,30	8600	11000
30	61806	42	7	4,55	3,40	14500	17500
	61906	47	9	7,20	4,35	13500	16000
	16006	55	9	11,20	7,40	11000	14000
	6006	55	13	13,20	8,30	11000	14000
	6206	62	16	19,50	11,30	10000	12000
	6306	72	19	28,00	15,80	8900	10000
	6406	90	23	43,50	23,80	7600	9300
35	61807	47	7	4,75	3,80	13000	15500
	61907	55	10	9,60	5,90	11500	14000
	16007	62	9	12,10	8,80	10000	12000
	6007	62	14	16,00	10,30	10000	12000
	6207	72	17	25,50	15,30	8900	10000
	6307	80	21	33,50	19,20	8000	9800
	6407	100	25	55,00	31,00	6800	8300
40	61808	52	7	4,90	4,15	11500	14000
	61908	62	12	12,20	7,70	10000	12000
	16008	68	9	13,20	10,30	9800	11000
	6008	68	15	16,80	11,50	9200	11000
	6208	80	18	29,00	17,90	7800	9100
	6308	90	23	40,50	23,90	7000	8200
	6408	110	27	63,00	36,50	6200	7600

ANEXO F: MANUAL DE OPERACIÓN



ANEXO G: PLAN DE MANTENIMIENTO



**Escuela Superior Politécnica de Chimborazo
Facultad de Mecánica
Mantenimiento Industrial**



Laboratorio de Diagnóstico Técnico y Eficiencia Energética			Responsable:		Docente encargado				
			Área:		Diagnóstico Técnico				
Equipo	Función		Falla funcional		Modo de falla	Efecto de falla	Consecuencia		
Módulo de ensayos de la vida acelerada en rodamientos	1	Recrear las condiciones de vida acelerada en rodamientos		A	No recrear las condiciones de vida acelerada en rodamientos	1	Chumaceras desalineadas	Incremento del 1x en el plano axial agregando una carga adicional en el rodamiento.	Operacional
						2	Eje desbalanceado	Atascamiento del acople dificultando la transmisión del movimiento.	Operacional
						3	Bomba hidráulica atascada	Ingreso de aceite en malas condiciones impidiendo el paso del aceite a la bomba.	Operacional
						4	Motor sobrecalentado	Sobrecalentamiento en el ventilador por ingreso de polvo y objetos extraños.	Operacional



Escuela Superior Politécnica de Chimborazo
Facultad de Mecánica
Mantenimiento Industrial

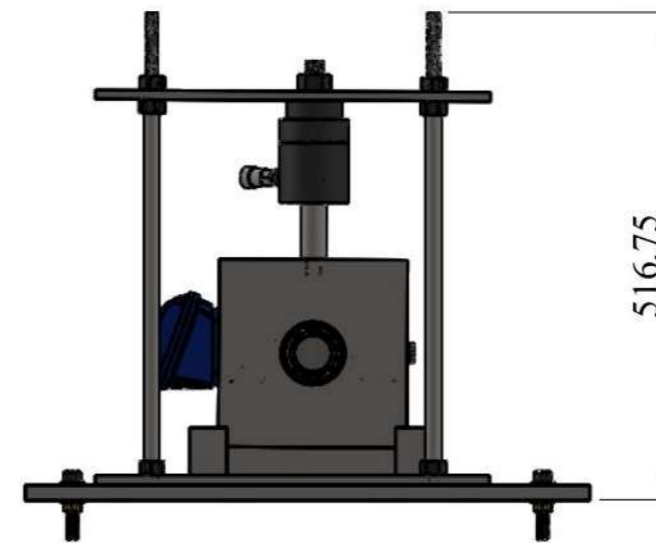
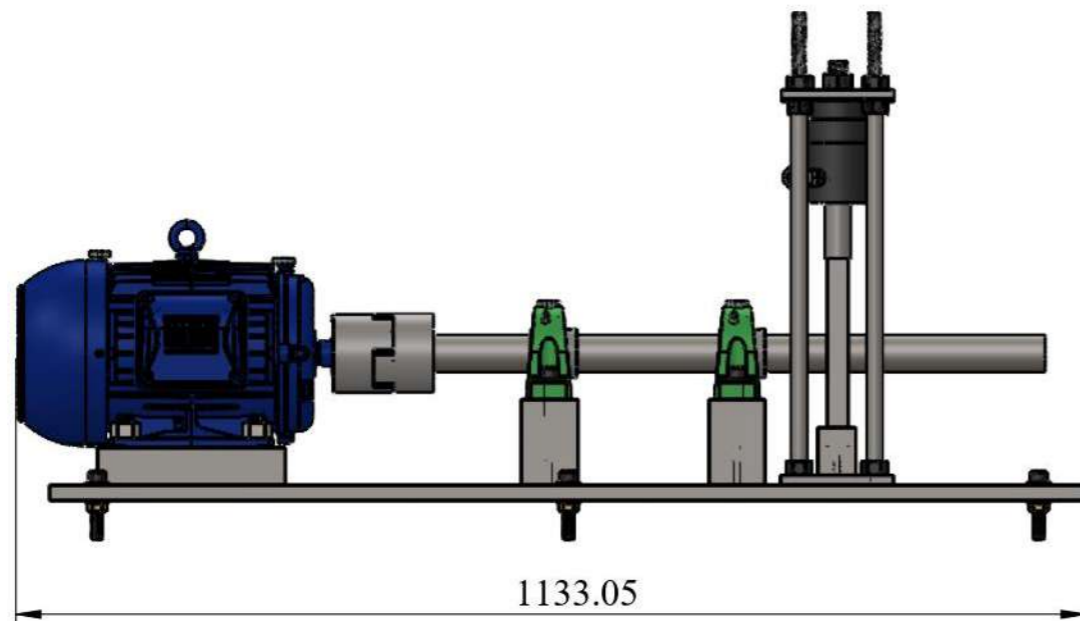
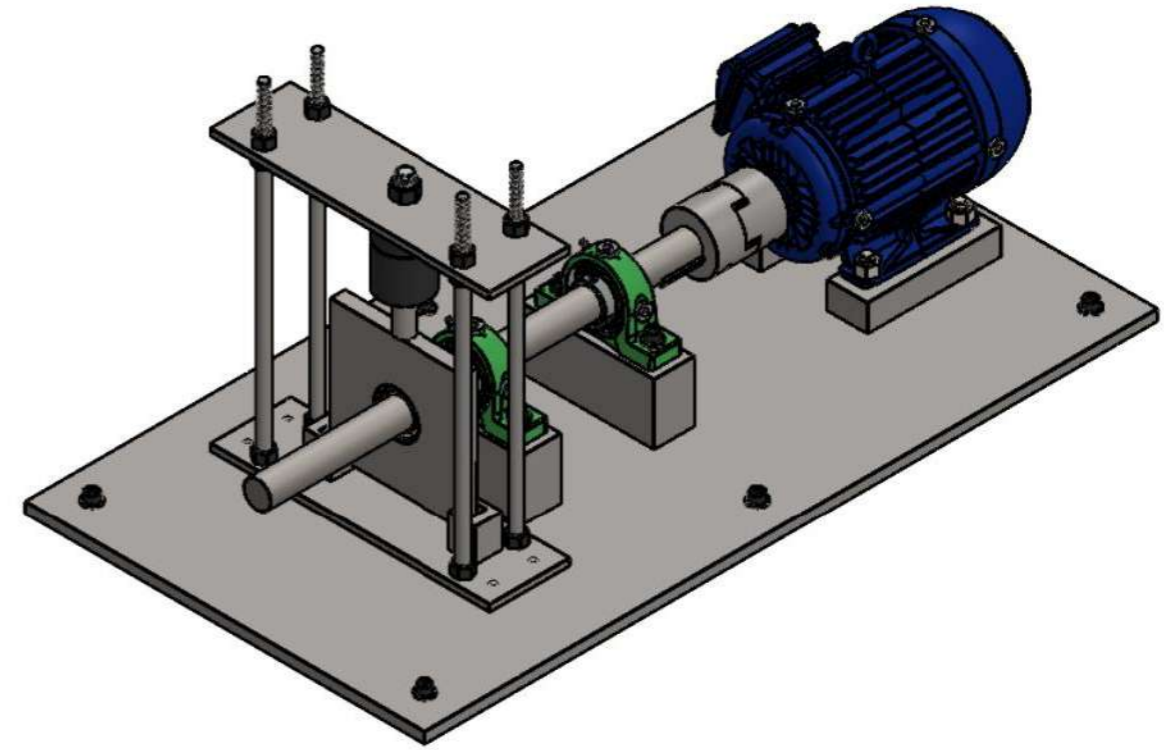
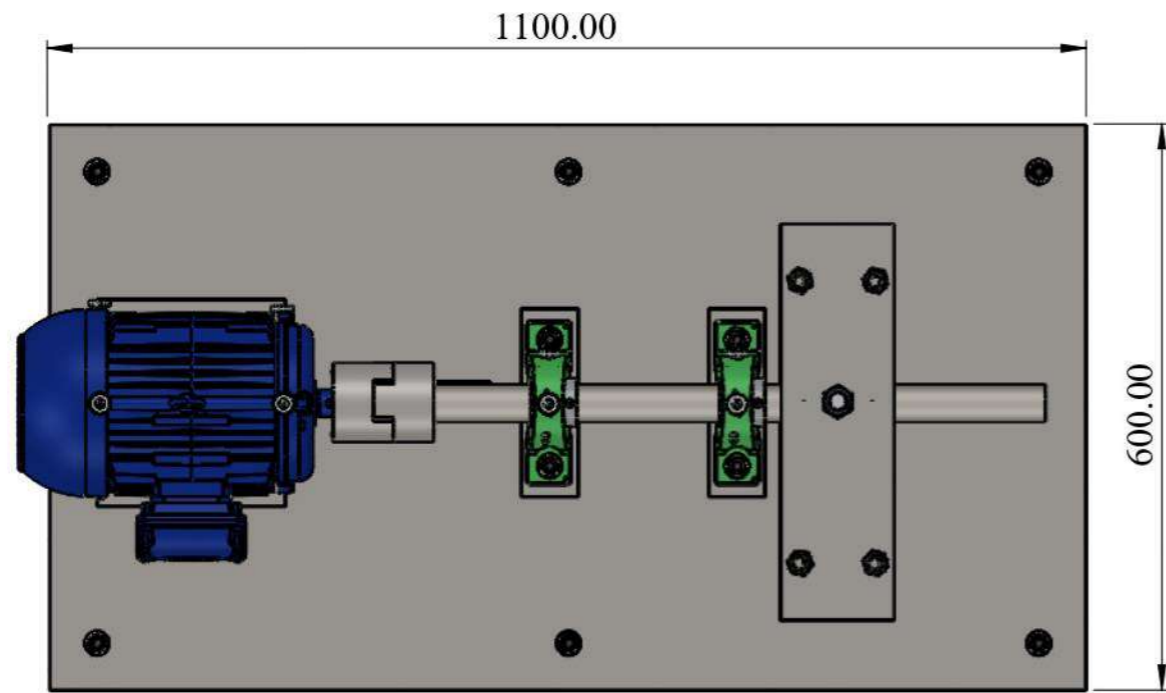


Laboratorio de Diagnóstico Técnico y Eficiencia Energética	Responsable:	Docente encargado
	Área:	Diagnóstico Técnico
Equipo	Módulo de ensayos de la vida acelerada en rodamientos	
Código	Tareas	Frecuencia
1A1	Monitorear el 1x en el plano vertical y horizontal para detectar con el analizador de vibraciones un incremento en la amplitud.	Mensual
1A2	Realizar la alineación del módulo con la ayuda de un software de alineación.	Mensual
1A3	Desmontar la bomba hidráulica, despresurizar y revisar posibles jugas de aceite.	Mensual
1A4	Monitorear picos anormales en los espectros por presencia de BPFO, BPF1 y BSF. Además, de realizar pruebas termográficas de todos sus elementos.	Mensual

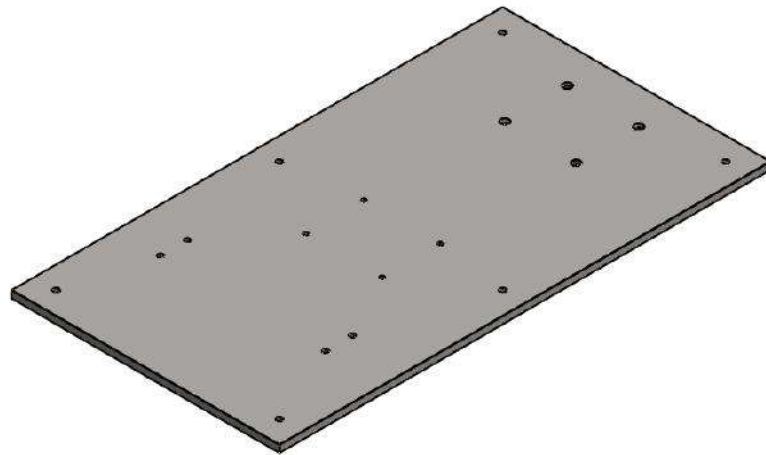
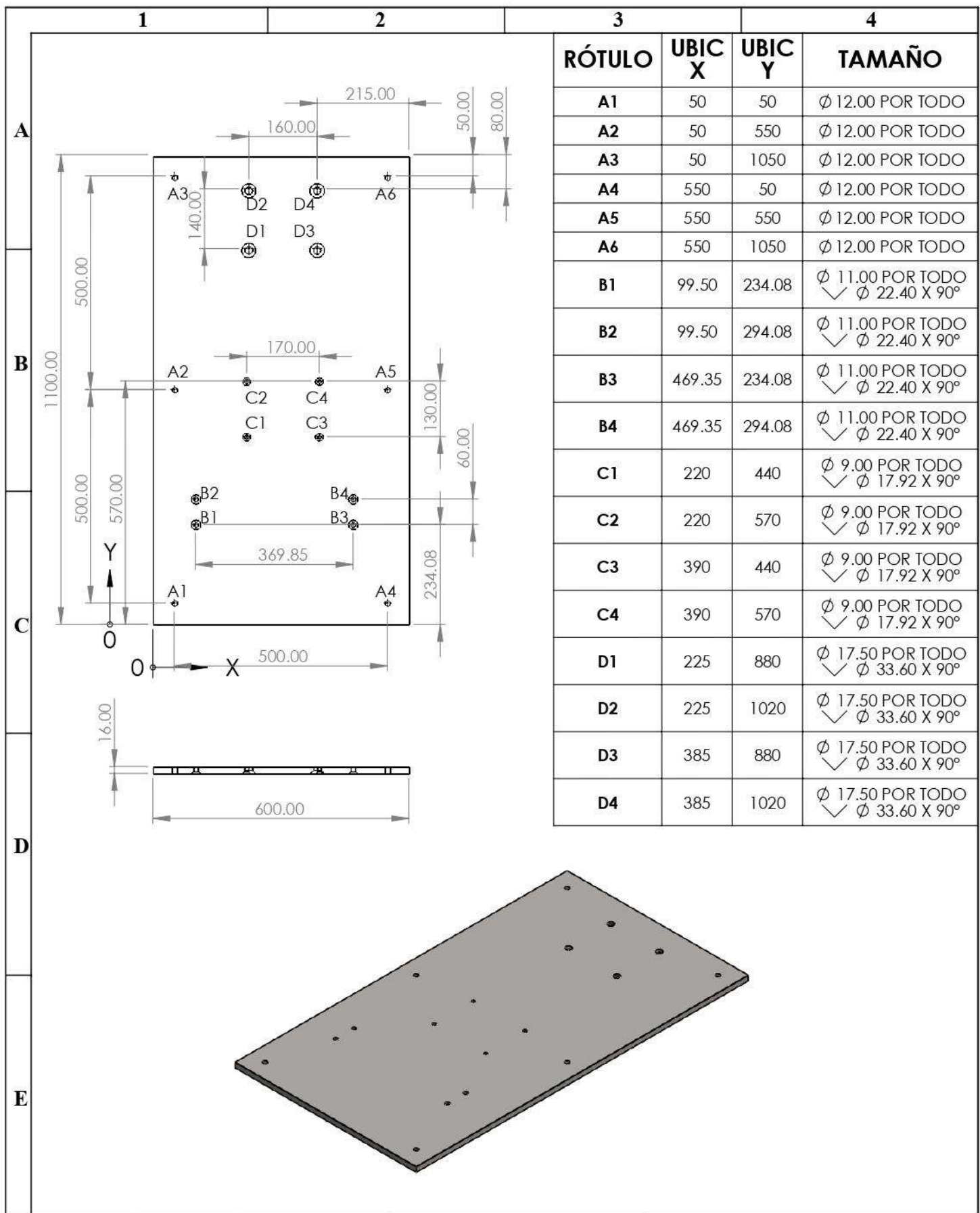
ANEXO H: PLANOS DE MÓDULO DE ENSAYOS DE VIDA ACELERADA.

1		2		3		4		5		6		7		8	
N.º	CANT	DESCRIPCIÓN		MATERIAL		OBSERVACIÓN		ESCALA 1:20							
A	1	1	PLACA BASE	ASTM A 36		MANUFACTURADO (DIPAC)									
	2	2	BASE MOTOR	ASTM A 36		MANUFACTURADO (DIPAC)									
	3	1	MOTOR WEG W22	SEGÚN EL MATERIAL		CATÁLOGO WEG									
	4	4	PERNO AVELLANADO M16x 2.0x 80	ACERO ALEADO		CATÁLOGO (VITERBO) Telf. (03)296-3877									
	5	4	PERNO AVELLANADO M8 x 1.25 x 40	ACERO ALEADO		CATÁLOGO (VITERBO) Telf. (03)296-3877									
	6	4	PERNO AVELLANADO M10 x 1.5 x 25	ACERO ALEADO		CATÁLOGO (VITERBO) Telf. (03)296-3877									
B	7	2	PERNO AVELLANADO M 8 x 1.25 x 30	ACERO ALEADO		CATÁLOGO (VITERBO) Telf. (03)296-3877									
	8	8	PERNO AVELLANADO M 4 x 0.7 x 8	ACERO ALEADO		CATÁLOGO (VITERBO) Telf. (03)296-3877									
	9	4	TUERCA HEXAGONAL M16 x 2.0	ASTM A 563		CATÁLOGO (VITERBO) Telf. (03)296-3877									
	10	2	BASE CHUMACERA	ASTM A 36		MANUFACTURADO (DIPAC)									
	11	1	ACOPLE	SEGÚN EL MATERIAL		CATÁLOGO LOVE JOY									
C	12	1	EJE PRINCIPAL	ASTM 4340		MANUFACTURADO (DIPAC)									
	13	2	CHUMACERA SY 40 TF	SEGÚN EL MATERIAL		CATÁLOGO NTN									
	14	1	SOPORTE INFERIOR	ASTM A 36		MANUFACTURADO (DIPAC)									
	15	4	PERNO ALLEN M12 x 1.75 x 40	ACERO ALEADO		CATÁLOGO (VITERBO) Telf. (03)296-3877									
	16	6	PERNO ALLEN M 12 x 1.75 x 60	ACERO ALEADO		CATÁLOGO (VITERBO) Telf. (03)296-3877									
	17	10	ARANDELA 12 mm	ACERO ALEADO		CATÁLOGO (VITERBO) Telf. (03)296-3877									
D	18	6	TUERCA DE PRESIÓN M12 x 1.75	ACERO ALEADO		CATÁLOGO (VITERBO) Telf. (03)296-3877									
	19	1	RODAMIENTO NTN 6008Z	SEGÚN EL MATERIAL		CATÁLOGO NTN									
	20	1	CAJA RODAMIENTO	ASTM A 36		MANUFACTURADO (DIPAC)									
	21	4	SOPORTE SISTEMA DE CARGA	ACERO INOXIDABLE 304		MANUFACTURADO (DIPAC)									
	22	12	TUERCA HEXAGONAL M16 x 2	ACERO ALEADO		CATÁLOGO (VITERBO) Telf. (03)296-3877									
E	23	1	TUERCA HEXAGONAL M20 x 2.5	ACERO ALEADO		CATÁLOGO (VITERBO) Telf. (03)296-3877									
	24	1	BASE CAJA DE RODAMIENTO (LADO IZQ.)	ASTM A 36		MANUFACTURADO (DIPAC)									
	25	1	BASE CAJA DE RODAMIENTO (LADO DER.)	ASTM A 36		MANUFACTURADO (DIPAC)									
	26	1	EJE BOMBA HIDRÁULICA	ACERO INOXIDABLE 305		MANUFACTURADO (DIPAC)									
	27	1	PISTON SYK - 8	SEGÚN EL MATERIAL		CATÁLOGO AGRA TOOLS									
F	28	1	SOPORTE SUPERIOR	ASTM A 36		MANUFACTURADO (DIPAC)									
	29	8	INSERTOS	ACERO INOXIDABLE 304		MANUFACTURADO (DIPAC)									

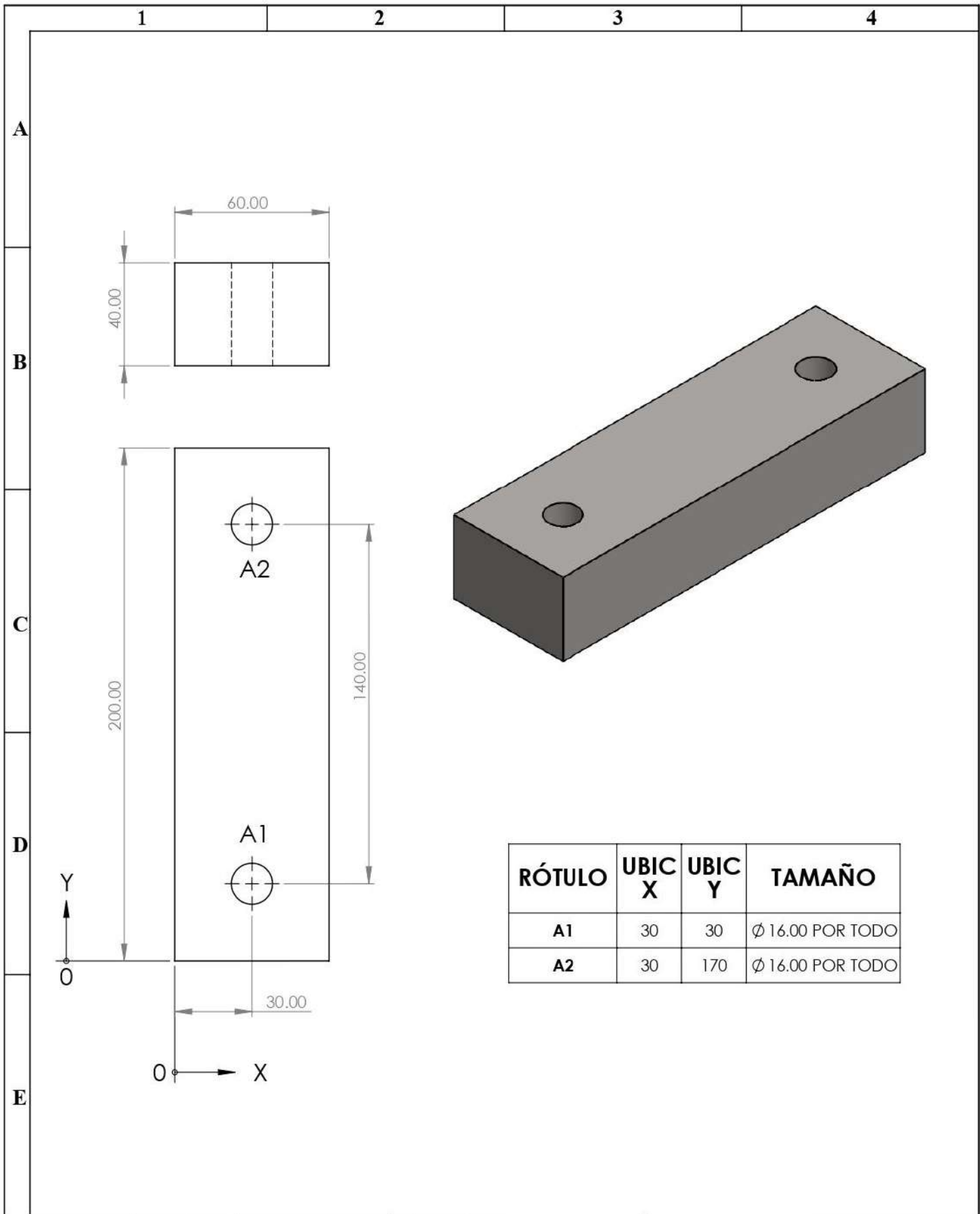
Nº. Lámina: 1 de 13		Nº. Hojas: 13		Sustitución:		Codificación: FM-EIMI-MANIT56-2023		ESPOCH FACULTAD DE MECÁNICA MANTENIMIENTO INDUSTRIAL							
Email: vivian.peniafiel@esPOCH.edu.ec						Denominación:						Peso [Kg]		Tolerancia	
Teléfonos: 0999249853 / 0991565854						Módulo de Ensayos de la Vida Acelerada en Rodamientos		144		±0.3 [mm]		1:10			
Datos		Nombre		Firma		Fecha		Materiales: SEGÚN DISEÑO							
Proyectó		Peñañiel Vivian				2023-06-21		Nombre de archivo: EnsamblajeDAC.sldprt							
Dibujó		Guanuche Lady				2023-06-21									
Revisó		Ing. Choto S.				2023-06-21									
Aprobó		Ing. Hernández E.				2023-06-21									



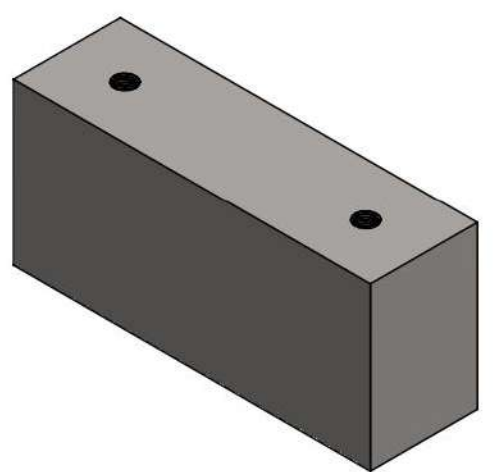
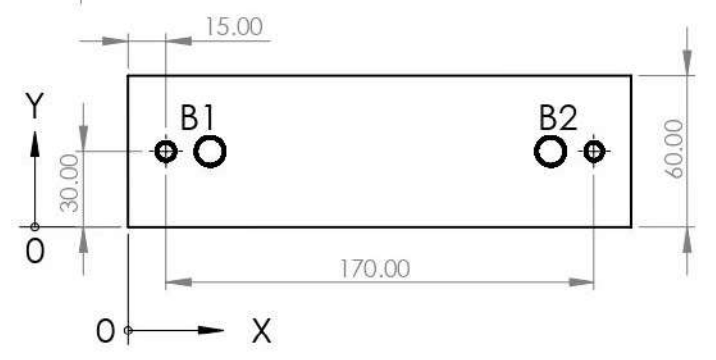
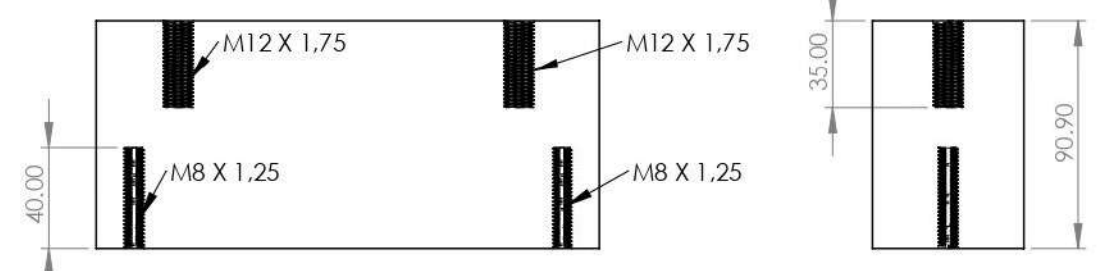
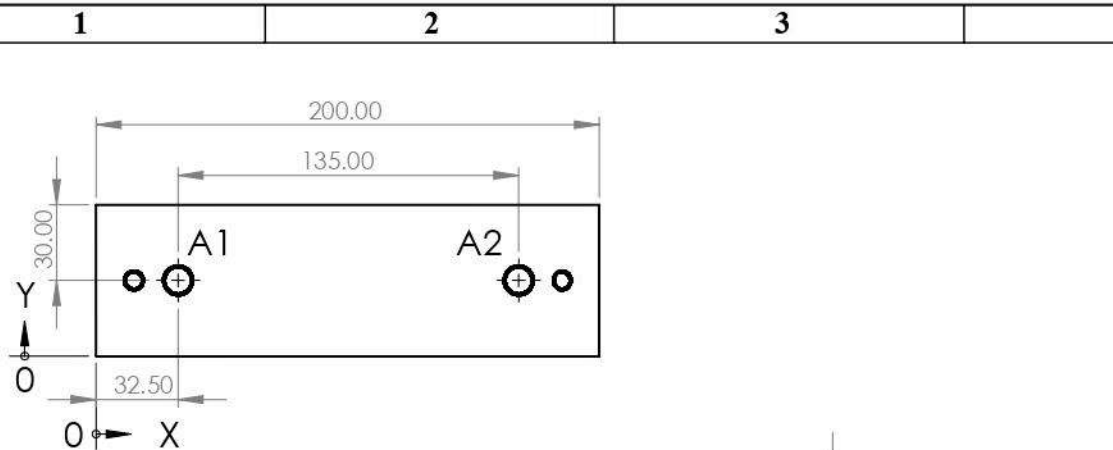
Nº. Lámina: 2 de 13		Nº. Hojas: 13		Sustitución:		Codificación: FM-EIMI-MANIT56-2023		ESPOCH FACULTAD DE MECÁNICA MANTENIMIENTO INDUSTRIAL			
Email: lady.guanuche@esPOCH.edu.ec Teléfonos: 0999249853 / 0991565854						Denominación: VISTAS EL MÓDULO DE ENSAYOS DE LA VIDA ACELERADA EN RODAMIENTOS					
Datos	Nombre	Firma	Fecha	Materiales: SEGÚN DISEÑO		Nombre de archivo: EnsamblajeDAC.sldprt		144	±0.3 [mm]	1:8	
Proyectó	Guanuche Lady		2023-06-21								
Dibujó	Peñañiel Vivian		2023-06-21								
Revisó	Ing. Choto S.		2023-06-21								
Aprobó	Ing. Hernández E.		2023-06-21								



N°. Lámina: 3 de 13		N°. Hojas: 13		Sustitución:		Codificación: FM-EIMI-MANIT56-2023		ESPOCH FACULTAD DE MECÁNICA MANTENIMIENTO INDUSTRIAL			
Email: vivian.peniafiel@epoch.edu.ec Teléfonos: 0999249853 / 0991565854						Denominación: PLACA BASE					
Datos	Nombre	Firma	Fecha	Materiales: ASTM A36		83	±0.3 [mm]	1:12			
Proyectó	Peñañiel Vivian		2023-06-21	Nombre de archivo: EnsamblajeDAC.sldprt							
Dibujó	Guanuche Lady		2023-06-21								
Revisó	Ing. Choto S.		2023-06-21								
Aprobó	Ing. Hernández E.		2023-06-21								

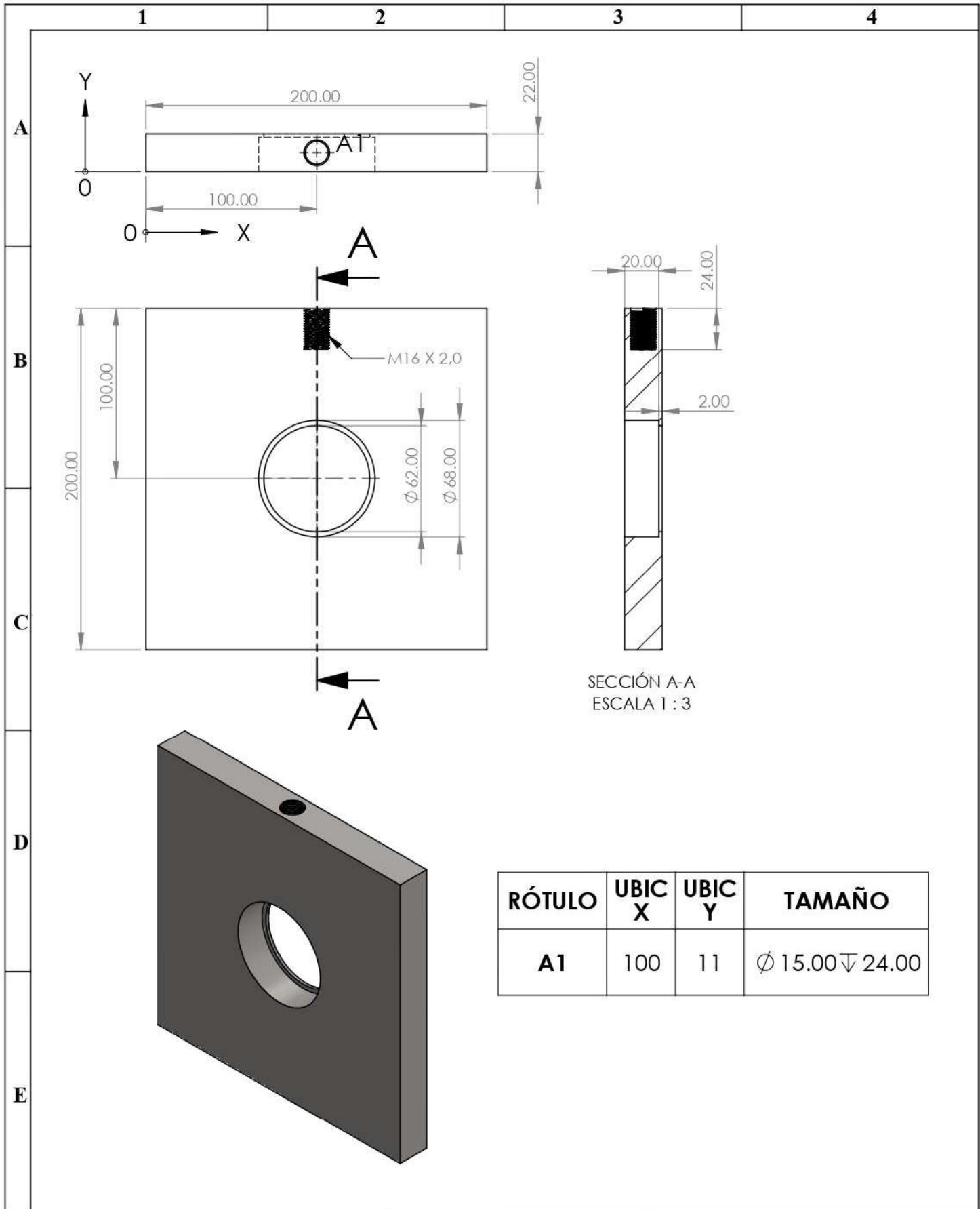


N°. Lámina: 4 de 13		N°. Hojas: 13		Sustitución:		Codificación: FM-EIMI-MANIT56-2023		ESPOCH FACULTAD DE MECÁNICA MANTENIMIENTO INDUSTRIAL							
Email: lady.guanuche@esPOCH.edu.ec Teléfonos: 0999249853 / 0991565854						Denominación:						Peso [Kg]		Tolerancia	
Datos		Nombre		Firma		Fecha		BASES DEL MOTOR							
Proyectó		Guanuche Lady				2023-06-21									
Dibujó		Peñañiel Vivian				2023-06-21		3.60		±0.3 [mm]		1:2			
Revisó		Ing. Choto S.				2023-06-21		Materiales:		  		ASTM A36			
Aprobó		Ing. Hernández E.				2023-06-21		Nombre de archivo:						EnsamblajeDAC.sldprt	



RÓTULO	UBIC X	UBIC Y	TAMAÑO
A1	32.50	30	Ø 12.00 ∇ 35.00
A2	167.50	30	Ø 12.00 ∇ 35.00
RÓTULO	UBIC X	UBIC Y	TAMAÑO
B1	15	30	Ø 8.00 ∇ 40.00
B2	185	30	Ø 8.00 ∇ 40.00

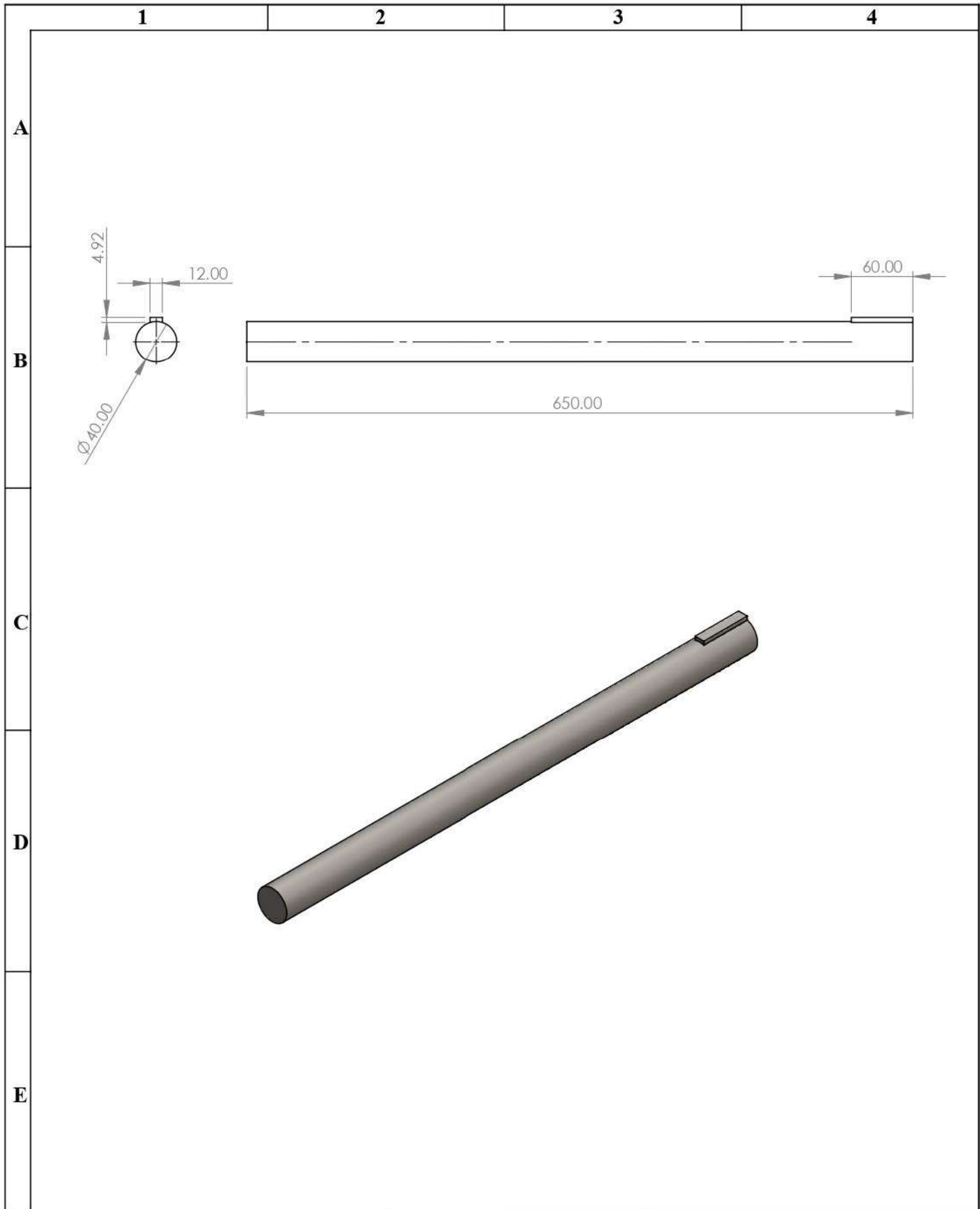
N°. Lámina: 5 de 13		N°. Hojas: 13		Sustitución:		Codificación: FM-EIMI-MANIT56-2023		ESPOCH FACULTAD DE MECÁNICA MANTENIMIENTO INDUSTRIAL							
Email: vivian.peniafiel@esPOCH.edu.ec Teléfonos: 0999249853 / 0991565854						Denominación: BASES CHUMACERAS						Peso [Kg]	Tolerancia	Escala	Registro
Datos	Nombre	Firma	Fecha	Materiales: ACERO ASTM A36				8.50	±0.3 [mm]	1:3					
Proyectó	Peñañiel Vivian		2023-06-21					Nombre de archivo: EnsamblajeDAC.sldprt							
Dibujó	Guanuche Lady		2023-06-21												
Revisó	Ing. Choto S.		2023-06-21												
Aprobó	Ing. Hernández E.		2023-06-21												



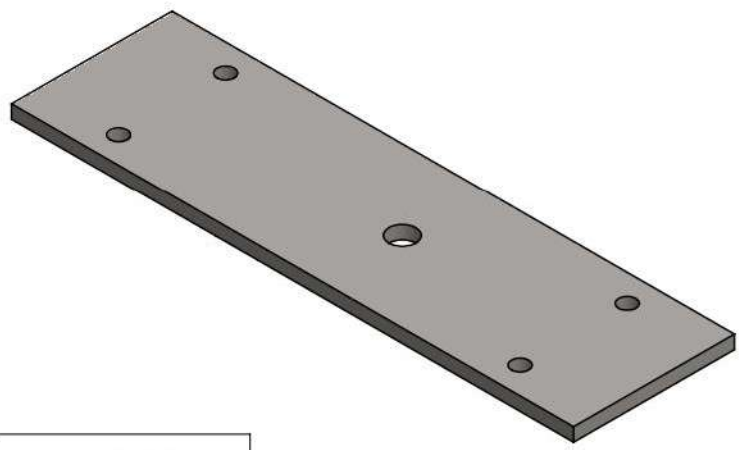
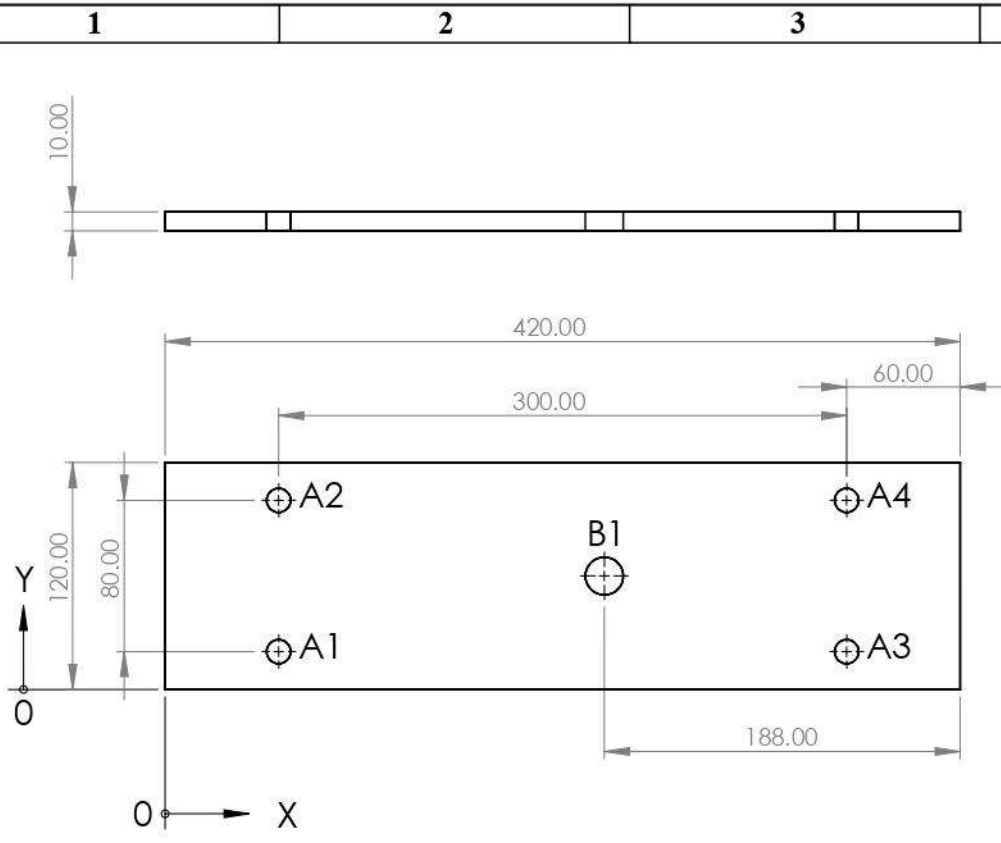
SECCIÓN A-A
ESCALA 1 : 3

RÓTULO	UBIC X	UBIC Y	TAMAÑO
A1	100	11	$\phi 15.00 \nabla 24.00$

Nº. Lámina: 6 de 13	Nº. Hojas: 13	Sustitución:	Codificación: FM-EIMI-MANIT56-2023	ESPOCH FACULTAD DE MECÁNICA MANTENIMIENTO INDUSTRIAL				
Email: lady.guanuche@esPOCH.edu.ec Teléfonos: 0999249853 / 0991565854			Denominación: CAJA DE RODAMIENTO					Peso [Kg]
Datos	Nombre	Firma	Fecha	Materiales: ASTMA36	6.30	± 0.3 [mm]	1:3	
Proyectó	Guanuche Lady		2023-06-21		Nombre de archivo: EnsamblajeDAC.sldprt			
Dibujó	Peñañiel Vivian		2023-06-21					
Revisó	Ing. Choto S.		2023-06-21					
Aprobó	Ing. Hernández E.		2023-06-21					

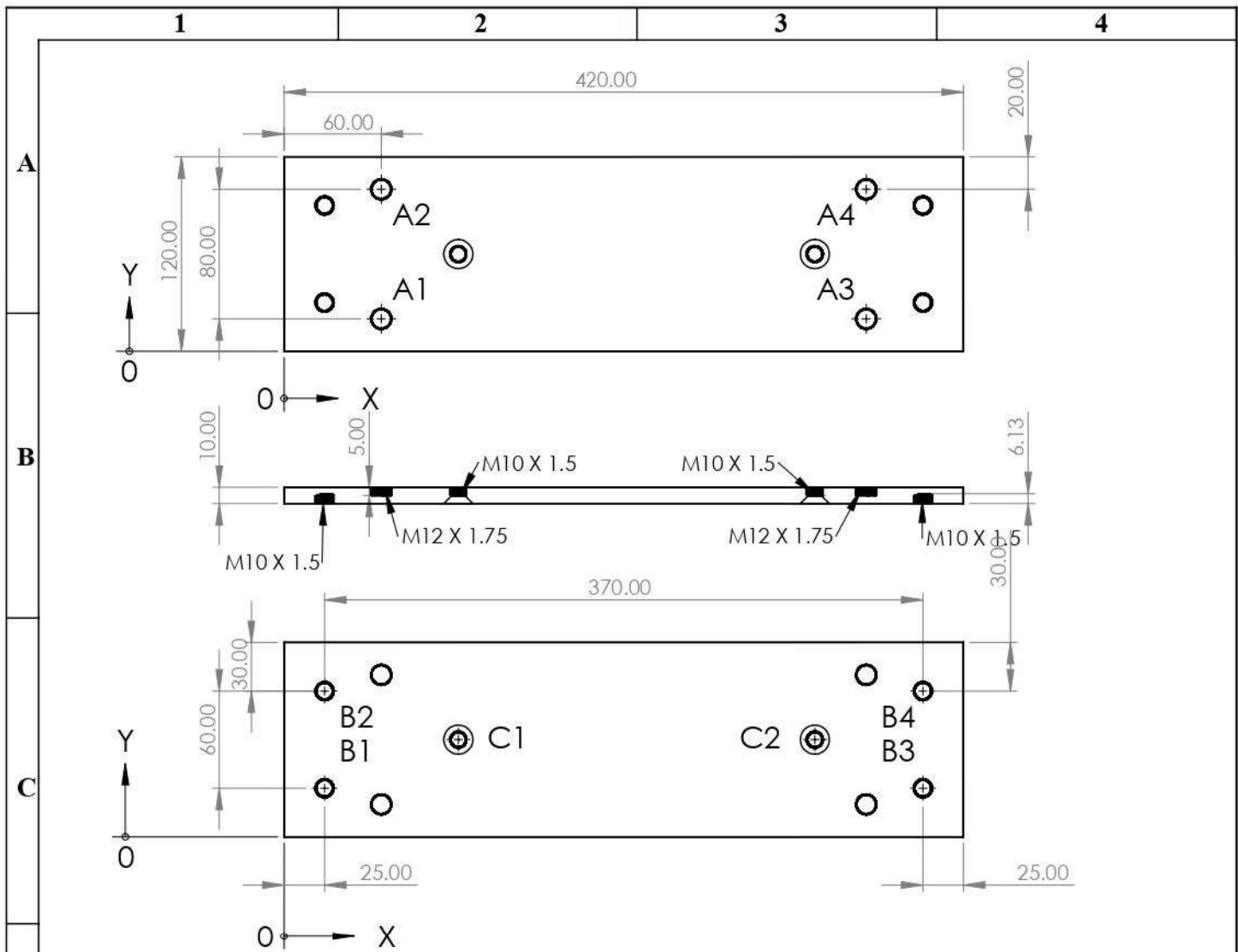


N°. Lámina: 7 de 13		N°. Hojas: 13		Sustitución:		Codificación: FM-EIMI-MANIT56-2023		ESPOCH FACULTAD DE MECÁNICA MANTENIMIENTO INDUSTRIAL									
Email: vivian.peniafiel@epoch.edu.ec Teléfonos: 0999249853 / 0991565854						Denominación:											
Datos		Nombre		Firma		Fecha		EJE MOTRIZ		Peso [Kg]		Tolerancia		Escala		Registro	
Proyectó		Peñañiel Vivian				2023-06-21				5.90		±0.3 [mm]		1:5			
Dibujó		Guanuche Lady				2023-06-21											
Revisó		Ing. Choto S.				2023-06-21		Materiales: ASTM 4340									
Aprobó		Ing. Hernández E.				2023-06-21		Nombre de archivo: EnsamblajeDAC.sldprt									

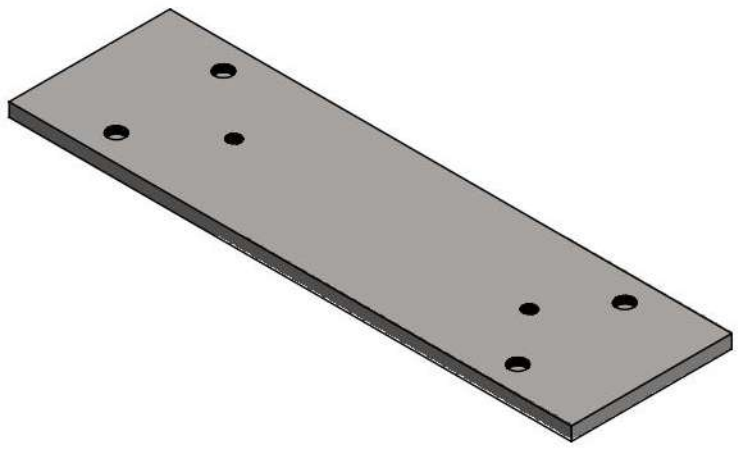


RÓTULO	UBIC X	UBIC Y	TAMAÑO
A1	60	20	Ø 12.70 POR TODO
A2	60	100	Ø 12.70 POR TODO
A3	360	20	Ø 12.70 POR TODO
A4	360	100	Ø 12.70 POR TODO
B1	232	60	Ø 20.00 POR TODO

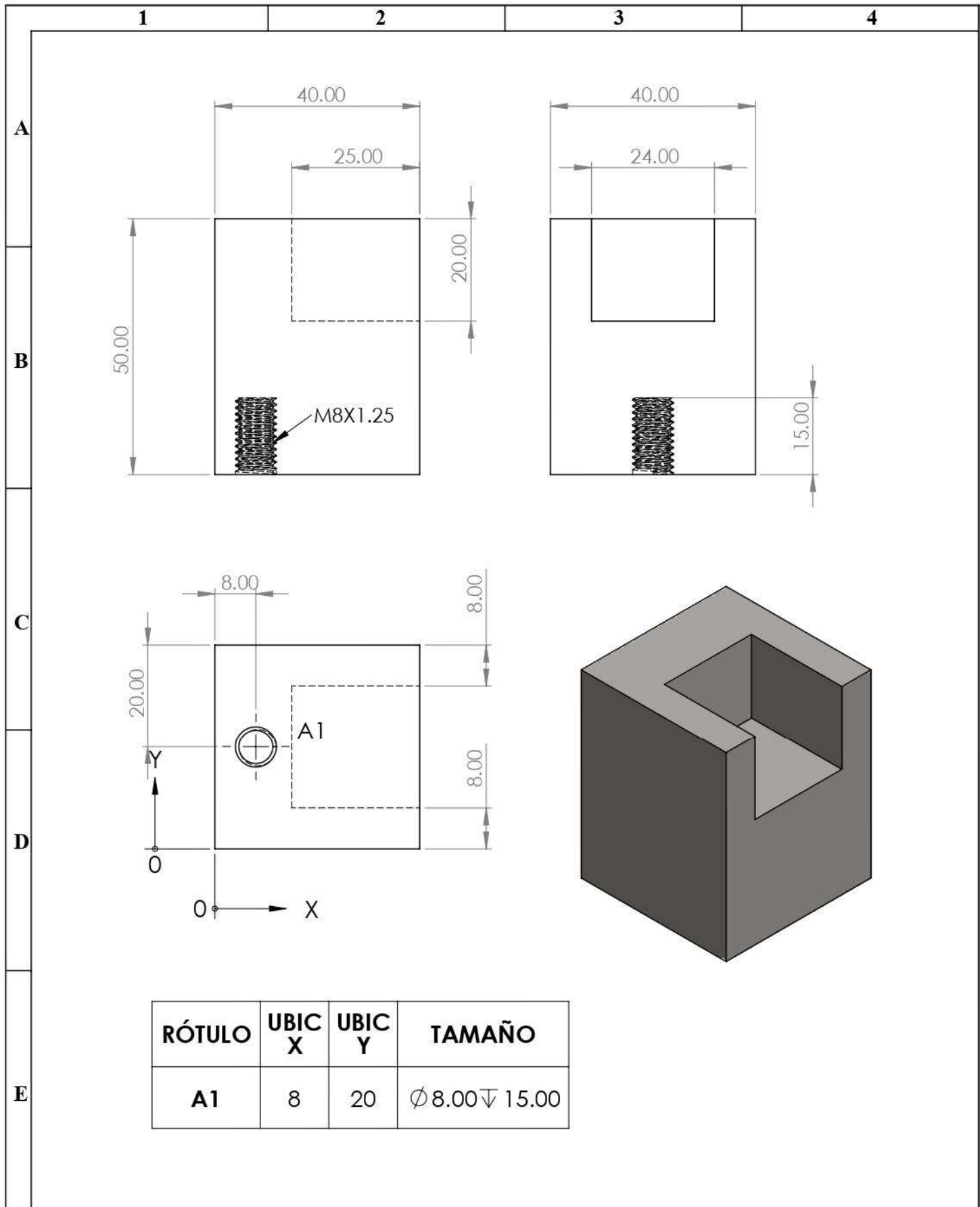
N°. Lámina: 8 de 13		N°. Hojas: 13		Sustitución:		Codificación: FM-EIMI-MANIT56-2023		ESPOCH FACULTAD DE MECÁNICA MANTENIMIENTO INDUSTRIAL			
Email: lady.guanuche@epoch.edu.ec Teléfonos: 0999249853 / 0991565854						Denominación: SOPORTE SUPERIOR SISTEMA DE CARGA					
Datos	Nombre	Firma	Fecha	Materiales: ASTM A36		Nombre de archivo: EnsamblajeDAC.sldprt		3.90	±0.3 [mm]	1:4	
Proyectó	Guanuche Lady		2023-06-21								
Dibujó	Peñañiel Vivian		2023-06-21								
Revisó	Ing. Choto S.		2023-06-21								
Aprobó	Ing. Hernández E.		2023-06-21								



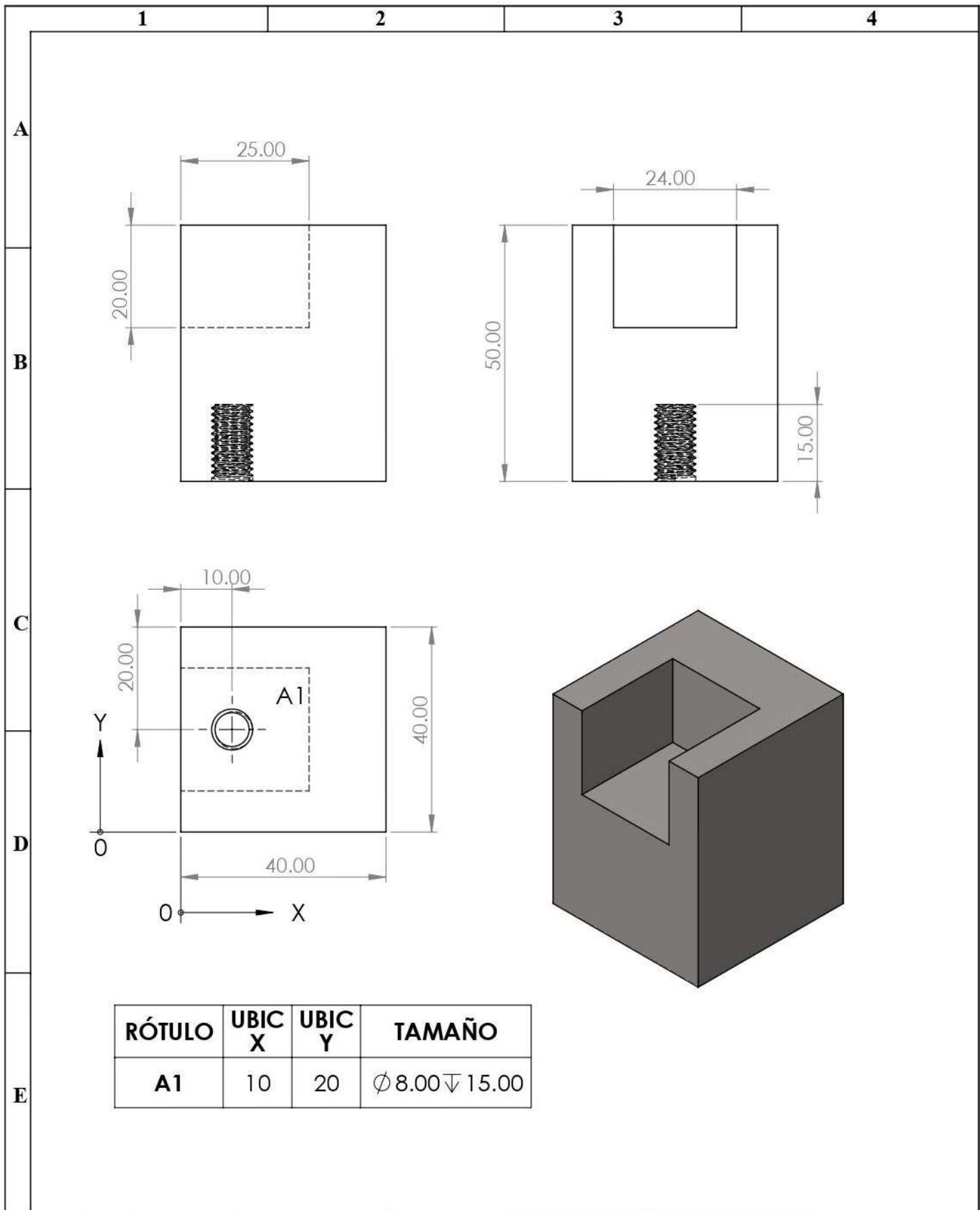
RÓTULO	UBIC X	UBIC Y	TAMAÑO
A1	60	20	∅ 12.70 ∇ 5.00
A2	60	100	∅ 12.70 ∇ 5.00
A3	360	20	∅ 12.70 ∇ 5.00
A4	360	100	∅ 12.70 ∇ 5.00
RÓTULO	UBIC X	UBIC Y	TAMAÑO
B1	25	30	∅ 10.00 ∇ 5.00
B2	25	90	∅ 10.00 ∇ 5.00
B3	395	30	∅ 10.00 ∇ 5.00
B4	395	90	∅ 10.00 ∇ 5.00
C1	107.55	60	∅ 9.00 POR TODO ✓ ∅ 17.92 X 90°
C2	328.28	60	∅ 9.00 POR TODO ✓ ∅ 17.92 X 90°



Nº. Lámina: 9 de 13		Nº. Hojas: 13		Sustitución:		Codificación: FM-EIMI-MANIT56-2023		ESPOCH FACULTAD DE MECÁNICA MANTENIMIENTO INDUSTRIAL					
Email: vivian.peniafiel@epoch.edu.ec Teléfonos: 0999249853 / 0991565854						Denominación:						Peso [Kg]	Tolerancia
Datos		Nombre		Firma		Fecha		SOPORTE INFERIOR SISTEMA DE CARGA		3.90	±0.3 [mm]	1:4	
Proyectó		Peñañiel Vivian				2023-06-21				Materiales: ASTM A 36			
Dibujó		Guanuche Lady				2023-06-21							
Revisó		Ing. Choto S.				2023-06-21							
Aprobó		Ing. Hernández E.				2023-06-21		Nombre de archivo: EnsamblajeDAC.sldprt					

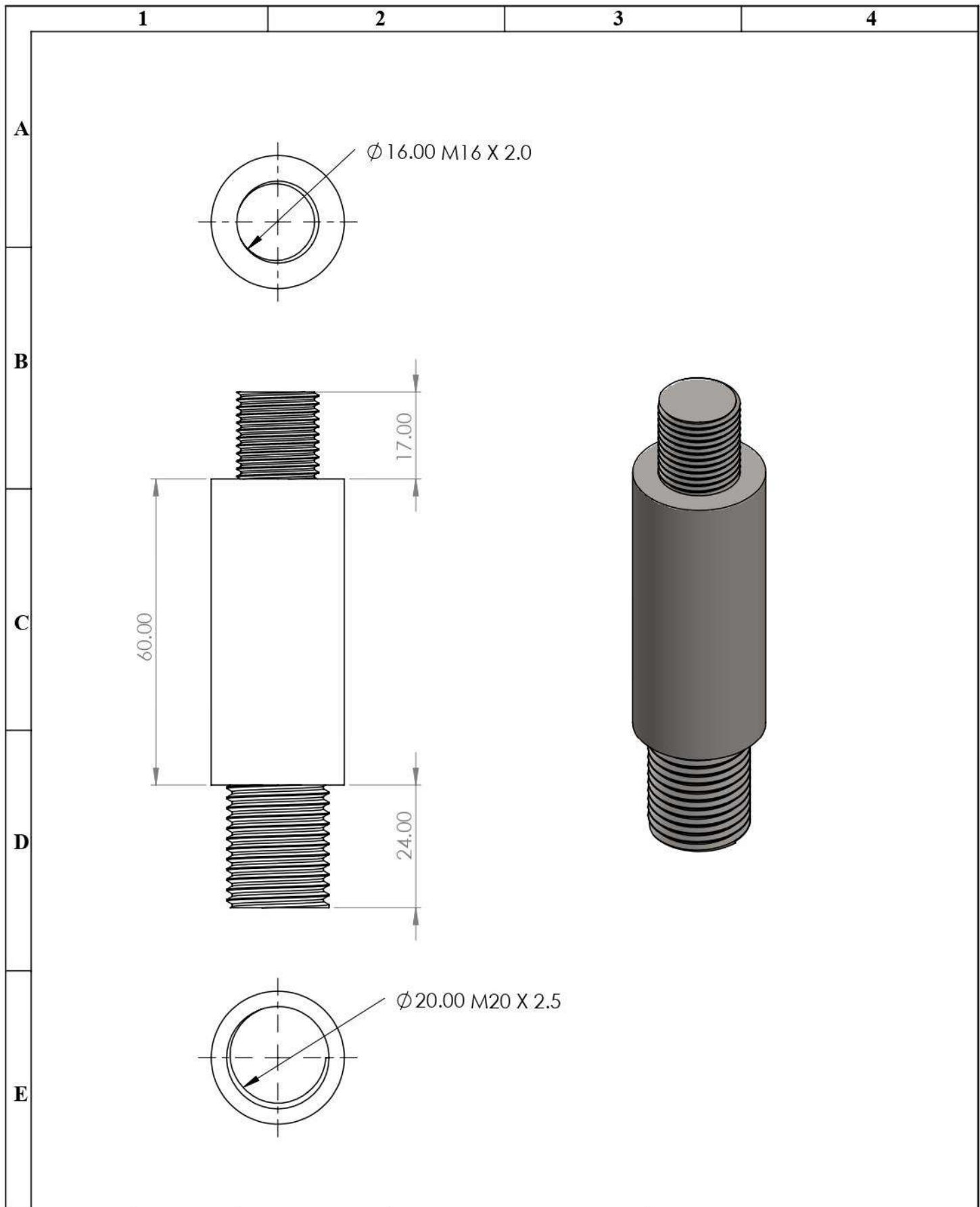


N°. Lámina: 10 de 13		N°. Hojas: 13		Sustitución:		Codificación: FM-EIMI-MANIT56-2023		ESPOCH FACULTAD DE MECÁNICA MANTENIMIENTO INDUSTRIAL			
Email: lady.guanuche@esPOCH.edu.ec Teléfonos: 0999249853 / 0991565854						Denominación: SOPORTE BASES DE LA CAJA DE RPDAMIENTO (LADO IZQUIERDO)					
Datos	Nombre	Firma	Fecha	Materiales: ASTM A36		0.55	±0.3 [mm]	1:1			
Proyectó	Guamuche Lady		2023-06-21	Nombre de archivo: EnsamblajeDAC.sldprt							
Dibujó	Peñañiel Vivian		2023-06-21								
Revisó	Ing. Choto S.		2023-06-21								
Aprobó	Ing. Hernández E.		2023-06-21								

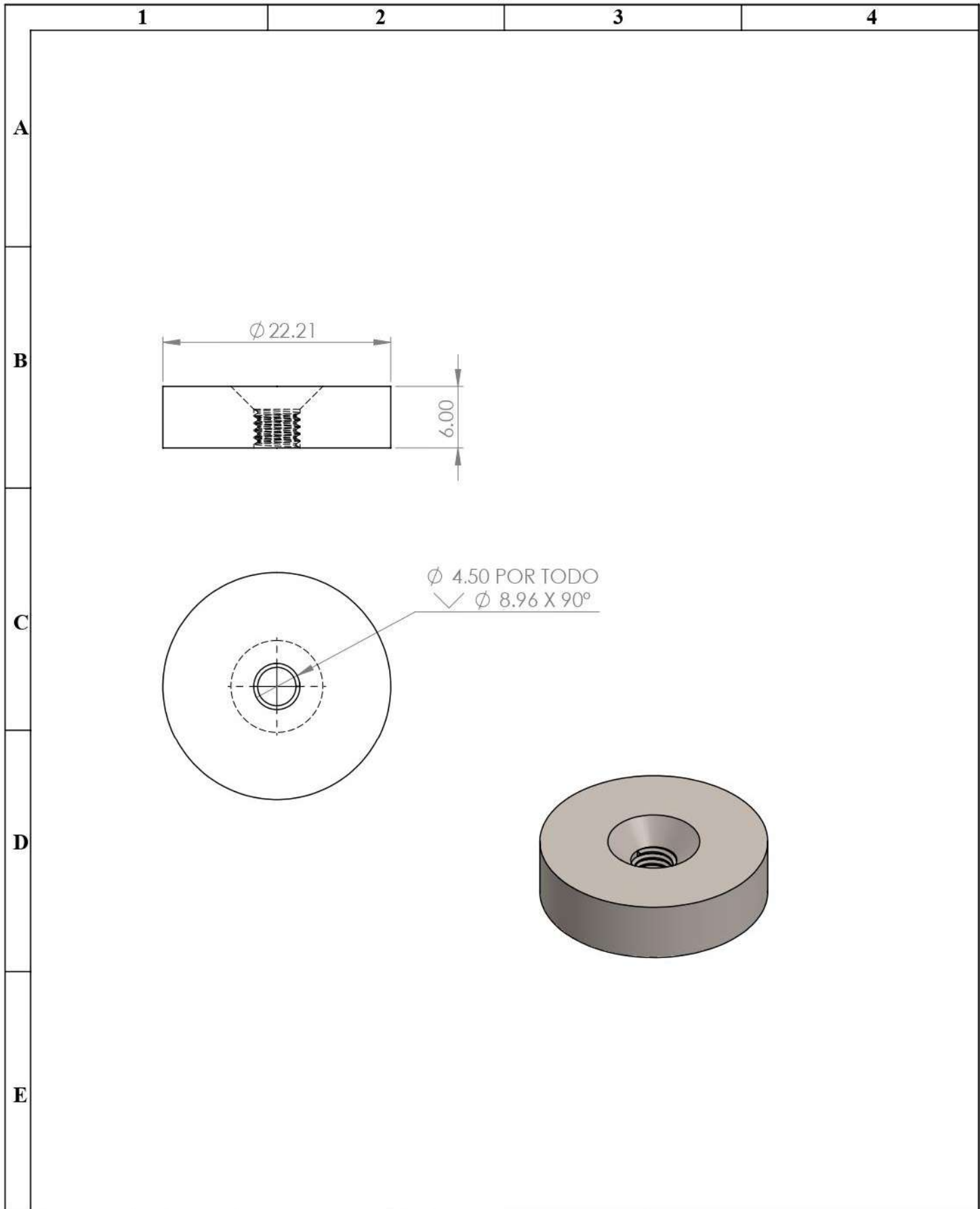


RÓTULO	UBIC X	UBIC Y	TAMAÑO
A1	10	20	Ø 8.00 ∇ 15.00

N°. Lámina: 11 de 13		N°. Hojas: 13		Sustitución:		Codificación: FM-EIMI-MANIT56-2023		ESPOCH FACULTAD DE MECÁNICA MANTENIMIENTO INDUSTRIAL			
Email: vivian.peniafiel@esPOCH.edu.ec Teléfonos: 0999249853 / 0991565854						Denominación:					
Datos	Nombre	Firma	Fecha	SOPORTE BASES DE LA CAJA DE RPDAMIENTO (LADO DERECHO)				0.55	±0.3 [mm]	1:1	
Proyectó	Peñañiel Vivian		2023-06-21								
Dibujó	Guanuche Lady		2023-06-21								
Revisó	Ing. Choto S.		2023-06-21	Materiales:		ASTM A36					
Aprobó	Ing. Hernández E.		2023-06-21	Nombre de archivo:		EnsamblajeDAC.sldprt					



N°. Lámina: 12 de 13		N°. Hojas: 13		Sustitución:		Codificación: FM-EIMI-MANIT56-2023		ESPOCH FACULTAD DE MECÁNICA MANTENIMIENTO INDUSTRIAL			
Email: lady.guanuche@epoch.edu.ec Teléfonos: 0999249853 / 0991565854						Denominación:					
Datos	Nombre	Firma	Fecha	EJE BOMBA HIDRÁULICA Y CAJA DE RODAMIENTO				0.33	±0.3 [mm]	1:1	
Proyectó	Guanuche Lady		2023-06-21								
Dibujó	Peñañiel Vivian		2023-06-21								
Revisó	Ing. Choto S.		2023-06-21	Materiales: ACERO INOXIDABLE 304		Nombre de archivo: EnsamblajeDAC.sldprt					
Aprobó	Ing. Hernández E.		2023-06-21								



N°. Lámina: 13 de 13		N°. Hojas: 13		Sustitución:		Codificación: FM-EIMI-MANIT56-2023		ESPOCH FACULTAD DE MECÁNICA MANTENIMIENTO INDUSTRIAL							
Email: vivian.peniafiel@epoch.edu.ec Teléfonos: 0999249853 / 0991565854						Denominación:						Peso [Kg]		Tolerancia	
Datos		Nombre		Firma		Fecha		INSERTOS							
Proyectó		Peñañiel Vivian				2023-06-21									
Dibujó		Guanuche Lady				2023-06-21		0.2		±0.3 [mm]		2.1			
Revisó		Ing. Choto S.				2023-06-21		Materiales: ACERO INOXIDABLE 304							
Aprobó		Ing. Hernández E.				2023-06-21		Nombre de archivo: EnsamblajeDAC.sldprt							