



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE MECÁNICA

CARRERA MANTENIMIENTO INDUSTRIAL

IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO DE SIMULACIÓN PARA EL DIAGNÓSTICO VIBRACIONAL DE FALLAS EN ENGRANAJES PARA EL ROTOR KIT DEL LABORATORIO DE DIAGNÓSTICO TÉCNICO Y EFICIENCIA ENERGÉTICA

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar por el grado académico de:

INGENIERO EN MANTENIMIENTO INDUSTRIAL

AUTORES:

JOSÉ ANDRÉS CONDEMAITA QUILLIGANA

CÉSAR STEVEN MOLANO TOBAR

Riobamba – Ecuador

2022



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE MECÁNICA

CARRERA MANTENIMIENTO INDUSTRIAL

IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO DE SIMULACIÓN PARA EL DIAGNÓSTICO VIBRACIONAL DE FALLAS EN ENGRANAJES PARA EL ROTOR KIT DEL LABORATORIO DE DIAGNÓSTICO TÉCNICO Y EFICIENCIA ENERGÉTICA

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar por el grado académico de:

INGENIERO EN MANTENIMIENTO INDUSTRIAL

**AUTORES: JOSÉ ANDRÉS CONDEMAITA QUILLIGANA
CÉSAR STEVEN MOLANO TOBAR**

DIRECTORA: Ing. EUGENIA MERCEDES NARANJO

Riobamba – Ecuador

2022

© 2022, César Steven Molano Tobar y José Andrés Condemaita Quilligana

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

Yo, CÉSAR STEVEN MOLANO TOBAR y JOSÉ ANDRÉS CONDEMAITA QUILLIGANA, declaro que el presente trabajo de titulación es de mi autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autores asumimos la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 24 de febrero del 2022.



César Steven Molano Tobar

Id: 080325336-8



José Andrés Condemaita Quilligana



Id: 180489017-4

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, **“IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO DE SIMULACIÓN PARA EL DIAGNÓSTICO VIBRACIONAL DE FALLAS EN ENGRANAJES PARA EL ROTOR KIT DEL LABORATORIO DE DIAGNÓSTICO TÉCNICO Y EFICIENCIA ENERGÉTICA”**, realizado por los señores: **CÉSAR STEVEN MOLANO TOBAR** y **JOSÉ ANDRÉS CONDEMAITA QUILLIGANA**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Integración Curricular, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Ing. Marco Antonio Ordoñez Viñan PRESIDENTE DE TRIBUNAL		2022/02/24
Ing. Eugenia Mercedes Naranjo Vargas DIRECTORA DE TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR		2022/02/24
Ing. Eduardo Segundo Hernández Dávila MIEMBRO DE TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR		2022/02/24

DEDICATORIA

El presente trabajo lo dedico principalmente a Dios por darme la fortaleza y la sabiduría para cumplir con uno de mis anhelos planteados en la vida, a mis padres y hermanos que han sido mi más grande motivación ya que han estado conmigo en los momentos más difíciles apoyándome y aconsejándome para formarme como un hombre de bien; finalmente, a mi familia y amigos que siempre con sus palabras de aliento ayudaron a fortalecer mis deseos de conseguir un título profesional, a cada uno de ellos solo me queda decirles un Dios le pague.

José Andrés

Este trabajo se lo dedico a tres personas muy importantes que no pudieron estar para ver este logro de mi vida, mis abuelos Luz (+) y Ángel (+) y a mi tío Ángel (+) que fueron como mis padres, a mi madre Patricia que siempre ha estado apoyándome y luchando para que yo salga adelante sin rendirme nunca, a mi tía María y a mi tío Miguel que me han brindado su apoyo incondicional a Dios por darme sabiduría e inteligencia para tomar las decisiones de mi vida y seguir adelante siempre a pesar de las caídas y los bajones, y pues a esos amigos que logre conocer en todo este camino como estudiante universitario y estuvieron dando su apoyo en los momentos que lo necesite.

César Steven

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por saberme guiar por el camino del bien durante todo este trayecto de vida estudiantil, a mis padres y hermanos por brindarme la confianza y cariño para ver cumplida una meta más de la vida.

A la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, en especial a la Escuela de Ingeniería Mantenimiento Industrial, por darme la oportunidad de obtener una presión, y ser una persona útil a la sociedad.

A la Ing. Eugenia Naranjo e Ing. Eduardo Hernández, quienes con la ayuda de sus conocimientos y experiencia laboral se logró culminar el trabajo de integración curricular de la mejor manera.

José Andrés

Agradezco a Dios por siempre darme la fuerza para seguir adelante, a mi madre por ser mi pilar fundamental y enseñarme lo bueno de la vida y darme todo su apoyo siempre, a mis tíos por estar presente en cada paso que fui dando de mi vida y a mi novia con quien e contado en cada situación buena o mala.

Doy las gracias también a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo por todos los conocimientos y experiencias que me brindaron en el camino a ser un gran profesional y por la calidad de docentes con la que cuenta.

A mi tutora de tesis la Ing. Eugenia Naranjo y al Ing. Eduardo Hernández, quienes con su apoyo y conocimiento me brindaron la ayuda para poder culminar el trabajo de integración curricular para poder convertirme en un profesional.

César Steven

TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	xi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiii
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	xvi
ÍNDICE DE ANEXOS	xvii
RESUMEN	xviii
SUMMARY	xix
INTRODUCCIÓN	1

CAPÍTULO I

1. DAGNÓSTICO DEL PROBLEMA.....	2
1.1. Antecedentes.....	2
1.2. Planteamiento del problema	2
1.3. Justificación.....	3
1.4. Objetivos.....	4
1.4.1. <i>Objetivo general</i>	4
1.4.2. <i>Objetivos específicos</i>	4

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO.....	6
2.1. Generalidades de los engranajes	6
2.1.1. <i>Definición</i>.....	6
2.1.2. <i>Características de los engranajes</i>	6
2.1.2.1. <i>Factor de sobrecarga “K_o”</i>	6
2.1.2.2. <i>Factor dinámico “K_v”</i>	7
2.1.2.3. <i>Factor de tamaño “K_s”</i>	7
2.1.2.4. <i>Factor de distribución de carga “K_H”</i>	8
2.1.2.5. <i>Factor de espesor “K_B”</i>	9
2.1.3. <i>Nomenclatura de los engranajes</i>.....	10
2.1.3.1. <i>Circulo de paso</i>	10
2.1.3.2. <i>Paso circular (p)</i>	10
2.1.3.3. <i>Módulo</i>	11
2.1.3.4. <i>Paso diametral (P)</i>	11

2.1.3.5.	<i>Distancia entre centros “Dc”</i>	11
2.1.4.	<i>Materiales para engranajes</i>	12
2.1.4.1.	<i>Aceros para la fabricación de engranes</i>	12
2.1.4.2.	<i>Aceros endurecidos en forma superficial</i>	12
2.1.4.3.	<i>Carburización y nitruración</i>	13
2.1.4.4.	<i>Hierro fundido y bronce como materiales para fabricar engranajes</i>	13
2.1.5.	<i>Engranajes rectos</i>	15
2.2.	<i>Mecanismos de falla de los engranajes</i>	16
2.2.1.	<i>Fallas en engranajes</i>	16
2.2.2.	<i>Modos de fallas de los engranajes</i>	16
2.2.2.1.	<i>Agrietamiento</i>	17
2.2.2.2.	<i>Pérdida total o parcial del diente</i>	18
2.2.2.3.	<i>Pérdida geométrica del diente</i>	18
2.2.3.	<i>Formas de diagnosticar una falla en engranajes</i>	20
2.3.	<i>Desalineamiento de engranajes</i>	21
2.3.1.	<i>Desalineamiento de una transmisión abierta</i>	21
2.3.2.	<i>Métodos de análisis de desalineación de engranajes</i>	22
2.3.2.1.	<i>Método ROMAX</i>	22
2.3.2.2.	<i>Método de rigidez de malla</i>	22
2.4.	<i>Inspección de engranajes por análisis vibracional</i>	23
2.4.1.	<i>Análisis vibracional</i>	23
2.4.1.1.	<i>Técnicas de análisis de vibraciones</i>	24
2.4.1.2.	<i>Vibraciones en pares engranados</i>	24
2.4.1.3.	<i>Diagnóstico de fallos de los engranajes</i>	25
2.5.	<i>Carta de Charlotte</i>	26

CAPÍTULO III

3.	MODELACIÓN Y CONTRUCCIÓN DEL MÓDULO DE SIMULACIÓN	28
3.1.	Reconocimiento de equipos y herramientas	28
3.1.1.	<i>Componentes del módulo de simulación</i>	28
3.1.2.	<i>Características de los componentes del módulo de simulación</i>	28
3.1.2.1.	<i>Alternador</i>	29
3.1.2.2.	<i>Motor eléctrico</i>	29
3.2.	Selección de componentes de transmisión	29
3.2.1.	<i>Selección del engranaje</i>	29
3.2.2.	<i>Selección del piñón</i>	32

3.2.3.	<i>Análisis del torque del eje</i>	35
3.2.3.1.	<i>Par de torsión del eje del alternador</i>	35
3.2.3.2.	<i>Par de torsión del eje del engrane y la polea</i>	36
3.2.4.	<i>Análisis de reacciones en el eje del módulo de engranajes</i>	37
3.2.5.	<i>Análisis por fatiga</i>	39
3.3.	Sistemas del simulador de fallas de engranajes	40
3.3.1.	<i>Sistema de transmisión</i>	40
3.3.1.1.	<i>Relación de transmisión</i>	40
3.3.2.	Sistema de potencia	41
3.3.3.	<i>Sistema de lubricación</i>	41
3.3.4.	<i>Sistema de carga</i>	43
3.3.4.1.	<i>Potencia de entrada o potencia eléctrica nominal</i>	43
3.3.4.2.	<i>Potencia eléctrica medida</i>	45
3.3.4.3.	<i>Cálculo de la carga</i>	46
3.4.	Modelación de los componentes	46
3.4.1.	<i>Modelación de la base del módulo de simulación</i>	47
3.4.1.1.	<i>Punto para desalineación angular del módulo de simulación</i>	47
3.4.2.	<i>Modelación de la base del alternador</i>	48
3.4.2.1.	<i>Puntos para desalineación lineal en la base del alternador</i>	48
3.5.	Montaje del módulo de simulación	49
3.5.1.	<i>Montaje de la base del alternador</i>	50
3.5.1.1.	<i>Montaje de los soportes del alternador</i>	50
3.5.2.	<i>Montaje de las bases de los tornillos de desalineación</i>	50
3.5.3.	<i>Montaje de las bases de las chumaceras</i>	51
3.5.4.	<i>Montaje del alternador</i>	51
3.5.4.1.	<i>Montaje del piñón</i>	52
3.5.5.	<i>Montaje de la base de acrílico</i>	52
3.5.6.	<i>Montaje de las chumaceras</i>	53
3.5.7.	<i>Montaje del eje para el engranaje y polea</i>	53
3.5.8.	<i>Montaje del engranaje y polea</i>	54
3.5.9.	<i>Montaje del acople de acrílico</i>	54
3.6.	Diseño y construcción de la mesa para la implementación del módulo	55
3.6.1.	<i>Diseño de la mesa</i>	55
3.6.2.	<i>Compra de materiales</i>	56
3.6.3.	<i>Compra de planchas y tubos de acero</i>	56
3.6.4.	<i>Selección de color para acabado de la mesa</i>	57
3.6.5.	<i>Construcción de la mesa</i>	57

3.6.5.1.	<i>Proceso de soldadura de los soportes y la base de la mesa</i>	57
3.7.	Construcción del módulo de simulación de fallas de engranajes	58
3.7.1.	Compra de equipos y materiales	58
3.7.1.1.	<i>Compra de las bases de acero</i>	58
3.7.1.2.	<i>Compra de motor y alternador para el módulo</i>	58
3.7.2.	Mecanizado de partes y componentes del módulo	59
3.7.2.1.	<i>Corte de material para de las bases</i>	59
3.7.2.2.	<i>Mecanizado de las bases del módulo</i>	59
3.7.2.3.	<i>Mecanizado de las bases de las chumaceras</i>	60
3.7.2.4.	<i>Mecanizado del piñón y el engranaje</i>	60
3.7.3.	Proceso de montaje del módulo	62
3.8.	Puesta en marcha del módulo de simulación	67
3.9.	Recolección de datos del módulo de simulación	68
3.9.1.	Método recolección de mediciones	68
3.9.2.	Método para la recolección de datos	68
3.9.3.	Frecuencias naturales	69
3.9.3.1.	<i>Frecuencia natural en el punto horizontal</i>	69
3.9.3.2.	<i>Frecuencia natural en el punto vertical</i>	70
3.9.4.	Módulo a condiciones normales	72
3.9.5.	Módulo con diente roto	73
3.9.6.	Módulo para encuentro entre dientes	73
3.9.7.	Desalineación lineal	73
3.10.	Análisis técnico económico	74
3.11.	Principales inconvenientes en la recolección de datos	76

CAPÍTULO IV

4.	ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	77
4.1.	Análisis de modos de fallas	77
4.1.1.	<i>Engranaje con diente roto</i>	77
4.1.2.	<i>Encuentro entre dientes</i>	77
4.1.3.	<i>Desalineación lineal</i>	77
4.2.	Mediciones obtenidas con el Vibracheck 200 ABG	78
4.2.1.	Medición de vibraciones a condiciones normales de los engranajes	78
4.2.1.1.	<i>Cálculos de la frecuencia de transmisión</i>	78
4.2.2.	Mediciones obtenidas con desalineación lineal	79
4.2.2.1.	<i>Obtención de la ecuación de desalineación lineal Vs rms total de la aceleración</i>	80

4.2.3.	<i>Medidas obtenidas con engrane de diente roto</i>	84
4.2.3.1.	<i>Análisis del factor cresta en engranaje con diente roto</i>	85
4.2.4.	<i>Medidas obtenidas con encuentro de dientes</i>	86
4.2.4.1.	<i>Análisis del factor cresta en la frecuencia de encuentro de dientes</i>	87
4.3.	Interpretación de resultados	88
4.3.1.	<i>Interpretación de frecuencias naturales</i>	89
4.3.2.	<i>Interpretación del ensayo con engranes a condiciones normales</i>	91
4.3.3.	<i>Interpretación del ensayo encuentro entre dientes</i>	94
4.3.4.	<i>Interpretación del ensayo con engranes de diente roto</i>	98
4.3.5.	<i>Interpretación del ensayo de desalineación de engranajes</i>	101
4.4.	Ficha técnica del módulo de simulación	103
4.5.	Implementación de la guía de operación y plan de mantenimiento	104
4.5.1.	<i>Guía de operación</i>	104
4.5.2.	<i>Guía práctica de laboratorio</i>	106
4.5.3.	<i>Plan de mantenimiento</i>	106
4.5.3.1.	<i>Codificación de equipos y componentes</i>	106
4.5.3.2.	<i>Manual de mantenimiento</i>	106
4.5.3.3.	<i>Tareas de mantenimiento</i>	106
CONCLUSIONES		107
RECOMENDACIONES		109

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-2: Factor de sobrecarga.....	7
Tabla 2-2: Valores sugeridos de factores de distribución de carga.....	9
Tabla 3-2: Nomenclatura de los engranajes.....	12
Tabla 4-2: Aceros para engranajes.....	12
Tabla 5-2: Bronce Dulce Latón UNS C 38500 ASTM B455	14
Tabla 6-2: Análisis típico, características y propiedades Bronce SAE 40.....	14
Tabla 7-2: Análisis típico, características y propiedades Bronce SAE 64.....	14
Tabla 8-2: Análisis típico, características y propiedades AISI/SAE 4340.....	15
Tabla 9-2: Modos de falla más comunes o frecuentes de los engranajes.....	17
Tabla 10-2: Causas que generan el agrietamiento.....	17
Tabla 11-2: Causas que generan la pérdida total o parcial del diente	18
Tabla 12-2: Causas que generan la pérdida geométrica del diente	19
Tabla 1-3: Equipos y componentes del módulo de simulación.....	28
Tabla 2-3: Características del alternador STECKER.....	29
Tabla 3-3: Características del motor eléctrico	29
Tabla 4-3: Características del engranaje conductor	30
Tabla 5-3: Características del piñón.....	32
Tabla 6-3: Características fisicoquímicas del lubricante SAE 85W-140.....	42
Tabla 7-3: Características del sistema de carga	43
Tabla 8-3: Dimensiones de las bases y soportes del módulo de simulación.....	49
Tabla 9-3: Dimensiones de la mesa del módulo de simulación	55
Tabla 10-3: Frecuencia natural en el punto horizontal.....	70
Tabla 11-3: Frecuencia natural en el punto vertical.....	70
Tabla 12-3: Valores obtenidos a condiciones normales.....	72
Tabla 13-3: Valores obtenidos con engrane de diente roto.....	73
Tabla 14-3: Valores obtenidos con encuentro de dientes.....	73
Tabla 15-3: Valores obtenidos con desalineación.....	74
Tabla 16-3: Costo de las bajantes para los módulos de simulación	74
Tabla 17-3: Costo del módulo de simulación de engranajes.....	75
Tabla 18-3: Costo de la implementación del rotor kit.....	75
Tabla 19-3: Costo por estudiante para la implementación del rotor kit.....	76
Tabla 1-4: Valores generales obtenidos a condiciones normales.....	79
Tabla 2-4: Valores obtenidos con desalineación lineal de engranajes	79
Tabla 3-4: Valores rms total de la desalineación	80

Tabla 4-4: Mínimos cuadrados para desalineación lineal (punto vertical)	80
Tabla 5-4: Mínimos cuadrados para desalineación lineal (punto horizontal)	82
Tabla 6-4: Valores generales del ensayo con engranaje de diente roto	84
Tabla 7-4: Valores pico – nivel del ensayo de diente roto.....	84
Tabla 8-4: Amplitud máxima de engrane con diente roto punto vertical.....	85
Tabla 9-4: Amplitud máxima de engrane con diente roto punto horizontal	85
Tabla 10-4: Valores generales del ensayo con encuentro de dientes	86
Tabla 11-4: Valores pico – nivel del ensayo de encuentro entre dientes	87
Tabla 12-4: Amplitud máxima de encuentro de dientes punto vertical	87
Tabla 13-4: Amplitud máxima de encuentro de dientes punto horizontal	88
Tabla 14-4: Frecuencias características a condiciones normales	92
Tabla 15-4: Frecuencias características de encuentro de dientes	95
Tabla 16-4: Frecuencias características de ensayo con diente roto.....	99
Tabla 17-4: Ficha técnica del módulo de simulación.....	104
Tabla 18-4: Manual de operación del módulo de simulación	105
Tabla 19-4: Codificación de equipos y componentes	106

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-2: Engranajes o ruedas de fricción.....	6
Figura 2-2: Factor dinámico	7
Figura 3-2: Distribución de la carga en el ancho de la cara del engranaje	8
Figura 4-2: Factor por adelgazamiento de rueda dentada.....	9
Figura 5-2: Nomenclatura de los engranajes.....	10
Figura 6-2: Engranajes rectos	15
Figura 7-2: Agrietamientos en el flanco del diente.....	17
Figura 8-2: Contacto entre dientes conductores y conducidos.....	18
Figura 9-2: Corrosión sobre dientes de engranajes.....	19
Figura 10-2: Signo del desalineamiento	21
Figura 11-2: Desalineamiento de una transmisión abierta.....	22
Figura 12-2: Componentes de un espectro y sus nombres.....	23
Figura 13-2: Par engranado.....	25
Figura 14-2: Espectro normal	26
Figura 15-2: Desalineación del engranaje	26
Figura 16-2: Diente estrellado/roto.....	27
Figura 17-2: Frecuencia de encuentro de dientes	27
Figura 1-3: Análisis del torque	35
Figura 2-3: Análisis de reacciones en el eje.....	37
Figura 3-3: Diagrama de fuerza cortante	38
Figura 4-3: Momento flector.....	39
Figura 5-3: Sistema de transmisión	41
Figura 6-3: Motor WEG B3D.....	41
Figura 7-3: Protección del sistema de transmisión	43
Figura 8-3: Base del módulo de simulación	47
Figura 9-3: Desalineación angular del módulo de simulación.....	47
Figura 10-3: Base del alternador.....	48
Figura 11-3: Puntos para desalineación lineal	48
Figura 12-3: Montaje de la base del alternador	50
Figura 13-3: Montaje de los soportes del alternador	50
Figura 14-3: Montaje de las bases de desalineación.....	51
Figura 15-3: Montaje de las bases de las chumaceras	51
Figura 16-3: Montaje del alternador	52
Figura 17-3: Montaje del piñón	52

Figura 18-3: Montaje de la base de acrílico.....	53
Figura 19-3: Montaje de las chumaceras	53
Figura 20-3: Montaje del eje para el engranaje y polea.....	54
Figura 21-3: Montaje del engrane y polea.....	54
Figura 22-3: Montaje de la protección de acrílico	55
Figura 23-3: Diseño de la mesa del módulo	56
Figura 24-3: Adquisición de material para las mesas	56
Figura 25-3: Selección del color de la mesa	57
Figura 26-3: Mesas para el módulo de simulación	57
Figura 27-3: Compra de las bases para las mesas.....	58
Figura 28-3: Adquisición de alternadores.....	59
Figura 29-3: Corte de las bases de acero 1020	59
Figura 30-3: Mecanizado de las bases de acero 1020.....	60
Figura 31-3: Mecanizado de las bases de las chumaceras	60
Figura 32-3: Mecanizado del piñón	61
Figura 33-3: Resultado del mecanizado de piñones	61
Figura 34-3: Resultado del mecanizado de engranajes.....	61
Figura 35-3: Montaje del piñón sobre el eje del alternador	62
Figura 36-3: Montaje de las chumaceras	62
Figura 37-3: Montaje de las bases	63
Figura 38-3: Acople del eje de soporte.....	63
Figura 39-3: Fijación de las bases de las chumaceras.....	63
Figura 40-3: Perforación de ojos chinos	64
Figura 41-3: Acople del tensor del alternador	64
Figura 42-3: Protección de los engranajes	65
Figura 43-3: Bases del módulo sin protección superficial.....	65
Figura 44-3: Protección superficial del módulo.....	65
Figura 45-3: Acople de los módulos de simulación.....	66
Figura 46-3: Montaje total del módulo de simulación.....	66
Figura 47-3: Diseño final en SolidWorks académico	66
Figura 48-3: Fijación de pernos de anclaje antes de la puesta en marcha	67
Figura 49-3: Pruebas de funcionamiento del módulo de simulación.....	67
Figura 50-3: Analizador de vibraciones.....	69
Figura 51-3: Frecuencia natural en el punto horizontal	69
Figura 52-3: Frecuencia natural en el punto vertical	70
Figura 53-3: Toma de datos con el eje motriz	71
Figura 54-3: Toma de datos con el eje conducido	71

Figura 55-3: Valores determinados en el Software.....	72
Figura 1-4: Análisis de la frecuencia natural en el ph	89
Figura 2-4: Análisis de la frecuencia natural en el pv	89
Figura 3-4: Espectro de velocidad a condiciones normales en el punto vertical	91
Figura 4-4: Espectro de aceleración a condiciones normales en el punto vertical.....	92
Figura 5-4: Forma de onda de aceleración a condiciones normales en el punto vertical.....	93
Figura 6-4: Forma de onda de desplazamiento a condiciones normales en el punto vertical	93
Figura 7-4: Espectro de la velocidad (encuentro de dientes – punto vertical).....	94
Figura 8-4: Espectro de envolvente (encuentro de dientes – punto vertical).....	95
Figura 9-4: Forma de onda de la aceleración (encuentro de dientes - vertical).....	96
Figura 10-4: Forma de onda de desplazamiento 35 Hz (encuentro de dientes - vertical).....	97
Figura 11-4: Espectro de la velocidad (engrane diente roto-punto horizontal)	98
Figura 12-4: Forma de onda de la envolvente (engrane diente roto-horizontal).....	99
Figura 13-4: Forma de onda de la aceleración (engrane diente roto-vertical)	100
Figura 14-4: Forma de onda de desplazamiento (engrane diente roto-vertical)	100
Figura 15-4: Espectro de la velocidad a 0,25 mm de desalineación – horizontal.....	101
Figura 16-4: Espectro de la velocidad a 0,50 mm de desalineación – horizontal.....	101
Figura 17-4: Espectro de la velocidad a 0,75 mm de desalineación – horizontal.....	102
Figura 18-4: Espectro de la velocidad a 1 mm de desalineación – horizontal.....	102
Figura 19-4: Espectro de la aceleración a 0,50 mm de desplazamiento – vertical	102
Figura 20-4: Forma de onda y espectro de desplazamiento en desalineación de 1mm.	103

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1-2: Métodos de diagnóstico basados en la forma del conocimiento del proceso	20
Gráfico 1-4: Desalineación lineal de engranajes (punto vertical)	82
Gráfico 2-4: Desalineación lineal de engranajes (punto horizontal)	83
Gráfico 3-4: Análisis de frecuencias (punto horizontal)	90
Gráfico 4-4: Análisis de frecuencias (punto vertical)	90

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A: Guía de laboratorio

ANEXO B: Plan de mantenimiento

ANEXO C: Tareas de mantenimiento

ANEXO D: Check list para la puesta en funcionamiento del módulo

ANEXO E: Check list después del funcionamiento del módulo

ANEXO F: Planos del módulo de simulación

RESUMEN

El presente proyecto técnico se lo realizó con el fin de implementar un módulo de simulación de fallas de engranajes; en el cual los estudiantes puedan ejecutar estudios de análisis vibracional dentro del laboratorio de Diagnóstico Técnico y Eficiencia Energética de la Facultad de Mecánica. Se comenzó con el análisis de la condición del módulo existente según la norma ISO 9000 para identificar sus características, funcionamiento y dimensionamiento; con los datos recolectados se procedió a estandarizar medidas y diseñar nuevos componentes en el software SolidWorks académico para incorporar distintos modos de falla en un solo sistema, generando de esta manera un rotor kit. Los cambios de diseño establecidos permitieron la mecanización de los componentes en un torno CNC de precisión, su ensamblaje y finalmente su construcción. Teniendo en cuenta la norma ISO 20816-1, se determinó la funcionalidad del módulo implementado; ejecutando pruebas de trabajo a condiciones normales, engranaje con diente roto, encuentro de dientes y desalineación lineal cada 0,25 mm. Estos análisis fueron realizados en el Vibracheck 200 ABG en conjunto con el software MAINTraQ Predictive de licencia libre, determinando distintos espectros y formas de onda en una frecuencia de 60 Hz. Para el análisis cuantitativo se utilizó el método de mínimos cuadrados, evidenciando una diferencia significativa en las líneas de tendencia por cada modo de falla analizado. De esta manera, se concluye que esta implementación permite aplicar las denominadas cartas de Charlotte, mismas que presentan espectros típicos de problemas en engranajes las cuales ayudan a determinar mediante los armónicos y frecuencias de engrane, el problema que se está ocasionando en los dientes de los componentes de transmisión. Se recomienda que para el análisis vibracional se genere una cantidad adecuada de datos para comprobar la variación de líneas de tendencia y a su vez apreciar las diferencias entre los espectros determinados.

Palabras clave: <EFICIENCIA ENERGÉTICA>, <ANÁLISIS VIBRACIONAL>, <ENGRANAJES>, <DESALINEACIÓN>, <LÍNEAS DE TENDENCIA>, <VIBRACHECK>, <MODOS DE FALLA>.



Elaborado por:
HOLGER GERMAN
RAMOS UVIDIA

0491-DBRA-UPT-2022

2022-03-17

SUMMARY

This technical project was carried out in order to implement a gear failure simulation module; in which students can carry out vibrational analysis studies within the Laboratory of Technical Diagnosis and Energy Efficiency of Mechanics Faculty. It began with the analysis of the condition of the existing module according to the ISO 9000 standard to identify its characteristics, operation and dimensioning; With the collected data, measures were standardized and new components were designed in the academic SolidWorks software to incorporate different failure modes in a single system, thus generating a kit rotor. Established design changes allowed the components to be machined on a precision CNC lathe, assembled, and finally built. Taking into account ISO 20816-1 Standard. The functionality of the implemented module was determined; executing work tests at normal conditions, with broken gear tooth, meeting of teeth and linear misalignment every 0,25 mm. These analyzes were performed on the Vibracheck 200 ABG in conjunction with the MAINTraq Predictive free license software, determining different spectra and waveforms at a frequency of 60Hz. For the quantitative analysis, the least squares method was used, showing a significant difference in the trend lines for each failure mode analyzed. In this way, it is concluded that this implementation will allow the application of Charlotte letters, which present typical spectra of gears problems, which help to determine, through the harmonics and gear frequencies. The problem that is being caused in the gears teeth of transmission components. For vibrational analysis is recommended to generate an adequate amount of data to check the trend lines variation and appreciate the differences between the determined spectra.

Keywords:<SIMULATIONMODULE>, <GEARS>, <ENERGYEFFICIENCY>, <VIBRATIONAL ANALYSIS>,<TREND LINES>,<FAILURE MODES>.

SANDRA
PAULINA
PORRAS
PUMALEMA

Firmado digitalmente por SANDRA PAULINA PORRAS PUMALEMA
Fecha: 2022.03.23 23:45:34 -05'00'

INTRODUCCIÓN

A nivel mundial las fallas de los engranajes en máquinas rotativas han generado pérdidas significativas de producción en empresas grandes y medianas; por lo que, en la actualidad se ha optado por realizar un análisis vibracional el cual ayuda a determinar distintas fallas en un lapso corto de tiempo de funcionamiento del activo.

El presente trabajo de titulación denominado como módulo de simulación para el diagnóstico vibracional de fallas en engranajes tiene como finalidad desarrollar aptitudes en los estudiantes del laboratorio de diagnóstico técnico y eficiencia energética de la ESPOCH para que sean capaces de identificar y reconocer las distintas anomalías que puede sufrir un engranaje dentro del rotor kit mediante la utilización de un analizador denominado Vibracheck 200 ABG que trabaja en conjunto con los softwares MAINTraQ Viewery MAINTraQ Predictive, los cuales son capaces de determinar frecuencias naturales, espectros y formas de onda.

Dentro de la implementación del módulo de simulación se tomaron en cuenta aspectos relevantes tales como el diseño; ya que, dentro de este se debe considerar los puntos de análisis ya sean horizontal o vertical para con la ayuda de los softwares ya mencionados identificar espectros y formas de onda de aceleración, velocidad, desplazamiento y envolvente los cuales serán indispensables para establecer el tipo de falla que tiene el engranaje ya sea de diente roto, frecuencia de encuentro de dientes o desalineación. Así también, con el análisis de espectros realizados, se procede al análisis numérico para determinar a profundidad y deducir el tipo de línea de tendencia característica. Por otro lado, se implementó un manual de operación, plan de mantenimiento y guía de laboratorio los cuales constan con el paso a paso para realizar una práctica adecuada.

CAPÍTULO I

1. DAGNÓSTICO DEL PROBLEMA

1.1. Antecedentes

Inicialmente el hombre comenzó a usar engranajes para poder satisfacer la necesidad de mover objetos grandes y pesados; a ciencia cierta el origen de los primeros engranajes no se puede determinar; sin embargo, para simplificar el trabajo pesado, el hombre ha modificado estos engranajes adaptándolos en diferentes máquinas rotativas (Díaz, 2013, pp. 2-3).

Con el pasar de los años, las fallas en los engranajes no se hicieron esperar; es por esto que, varios investigadores potenciales se han dado paso a realizar análisis de cada uno de estos efectos ocurridos en los distintos tipos de engranajes; determinando que, las técnicas de vibraciones son más efectivas que las técnicas de ultrasonido pasivo para determinar cambios armónicos producidos en los modos de falla de los engranajes (Alarcón y Gaibor, 2017, p. 19).

Así también, el estudio realizado a distintos tipos de engranajes mediante el análisis vibracional ha demostrado que estos se ven muy afectados por las fallas de la corona flexible, las cuales pueden provocar fuerzas de impacto periódicas y afectar la dinámica del sistema de transmisión; por lo tanto, para evitar estos problemas se ha generado un modelo dinámico de acoplamiento rígido flexible el cual analiza los efectos del ancho de la falla, el momento, la velocidad, el tiempo y la frecuencia de los engranajes(Liu et al., 2020, p. 1).

Cada uno de los módulos para el análisis de fallos de engranajes tiene una funcionalidad y método de ejecución similar; por tal razón; mediante su funcionamiento se puede determinar distintas fallas comunes como dientes rotos, rayados, desgastados, etc., mismos que son difíciles de detectar en una etapa temprana de funcionalidad; por otro lado, una vez determinadas estas características de fallas tempranas se debe analizar mediante un método de estudio como por ejemplo el método de segmentación por rigidez (Meng et al., 2020, p1).

1.2. Planteamiento del problema

A nivel mundial, los paros imprevistos de producción se deben a problemas que surgen por la falta de mantenimiento a máquinas rotativas, puesto que, al estar compuesta por distintos

componentes internos son propensas a sufrir fallas comunes como fallas en los engranajes, desequilibrio, holgura, etc.

Dentro de las fallas más comunes en máquinas rotativas, los modos de falla de los engranajes son consecuencia directa al fallo, debido a que se encuentran expuestos a propagación de grietas, deserción parcial, propagación parcial en la raíz del engranaje, flujo plástico debido al desgaste adhesivo, etc., mismos que son difíciles de detectar en una etapa temprana de funcionalidad (Soudmand y Shelesh-Nezhad, 2021, pp. 14-15).

En la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, la falta de módulos de simulación para el análisis de fallas de engranajes genera una inexistencia de estrategias de mantenimiento preventivo, provocando de esta manera una pérdida progresiva del estado funcional de cada una de las máquinas rotativas pertenecientes a la Facultad de Mecánica.

Por otro lado, esta falta de módulos también afecta directamente al desarrollo académico de estudiantes pertenecientes a la asignatura de diagnóstico técnico ya que no se puede realizar estudios adecuados relacionados a fallas de engranajes mismos que sirven para plantear actividades de mantenimiento las cuales son de mucha importancia para tener un excelente desempeño laboral dentro de las industrias en general.

En definitiva, debido a la problemática expuesta, se plantea realizar un módulo de simulación que se enfoque en el diagnóstico vibracional de fallas en engranajes, con la finalidad de desarrollar estrategias de mantenimiento preventivo en cada uno de los equipos y prolongar la vida útil de los mismos.

1.3. Justificación

La presente implementación surge de la necesidad de analizar el estado funcional de los engranajes de las máquinas rotativas pertenecientes a los laboratorios de la Facultad de Mecánica (ESPOCH) mediante un módulo de simulación de fallos de engranajes, con el propósito de alargar la vida útil y a su vez mantener el rendimiento y las condiciones del activo físico.

Así también, con dicha implementación cada uno de los estudiantes de la Facultad de Mecánica de la ESPOCH, podrá aplicar los conocimientos adquiridos referentes al diagnóstico técnico y reparación de equipos industriales para de esta manera interpretar cada uno de los armónicos arrojados por el módulo implementado y a su vez determinar si el engranaje se encuentra en buen estado, mal estado o le queda poco tiempo de vida útil antes de que se produzca un fallo.

En la actualidad, estudios realizados a distintos tipos de engranajes ha generado preocupación a nivel industrial debido a la gran cantidad de fallas imprevistas que en estos se puede generar; ya que, al ser parte importante de los mecanismos de transmisión de potencia una falla mínima puede ocasionar una gran pérdida de producción e incremento de los costos de mantenimiento.

Cada una de estas fallas han sido estudiadas de diferente manera, pero con la misma finalidad, la cual es disminuir el tiempo de parada ocasionada por los fallos de los engranajes; por tal razón, hoy en día, existen patrones o métodos establecidos por el análisis vibracional para determinar el estado de funcionalidad de un engranaje; ya que, cada uno de estos necesitan de un chequeo periódico para evitar paradas imprevistas de producción.

En definitiva, hay que tener en cuenta que, una de las razones por las cuales se producen fallas en los engranajes es la por falta de mantenimiento, el presente trabajo es conveniente para desarrollar un mantenimiento predictivo basado en el análisis vibracional mismo que permite controlar y monitorear mencionados activos físicos para poder realizar una buena programación de las tareas de mantenimiento y determinar si el equipo requiere de operaciones de reparación o cambio de elemento mecánico (Botero y Cañon, 2010, pp. 1-4)

1.4. Objetivos

1.4.1. *Objetivo general*

Implementar un módulo de simulación para el diagnóstico vibracional de fallas en engranajes para el rotor kit del laboratorio de Diagnóstico Técnico y Eficiencia Energético de la Facultad de Mecánica ESPOCH.

1.4.2. *Objetivos específicos*

Analizar el estado del arte de las fallas y las consecuencias que pueden provocar daños imprevistos a los distintos tipos de engranajes.

Escoger y dimensionar cada uno de los elementos necesarios para la construcción del módulo de simulación de fallas de engranajes mediante la utilización del software SolidWorks académico.

Construir el módulo de simulación de fallas de engranajes que permitirá analizar los diferentes armónicos ocurridos por la vibración.

Verificar la variación de la amplitud vibracional de los tres armónicos ocasionados por las fallas de los engranajes en los distintos planos de simulación

Desarrollar un manual de operación, plan de mantenimiento y una guía práctica de laboratorio del módulo de simulación de fallas.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Generalidades de los engranajes

2.1.1. Definición

Dentro del ámbito industrial o estudiantil, un engranaje es conocido como un cuerpo generalmente cilíndrico o cónico, que mediante la rotación de sus ejes capaz de generar transmisión de fuerza y movimiento por medio de dientes tallados en sus superficies de contacto; en donde, para generar dicha fuerza de movimiento se necesita de gran presión entre las ruedas conductora y conducida, lo que origina pérdida de potencia y desgastes de las ruedas en su funcionamiento (Regional et al., 2013, pp. 4-17).



Figura 1-2:Engranajes o ruedas de fricción.

Fuente:(Regional et al., 2013)

2.1.2. Características de los engranajes

2.1.2.1. Factor de sobrecarga “ K_o ”

Este factor puede ser causado por una variedad de causas, que incluyen vibración, exceso de velocidad, fluctuaciones del sistema operativo y diferentes condiciones de carga. Por lo tanto, no existe una fórmula para determinar el factor de sobrecarga exacto en función de la causa, por lo que la siguiente tabla muestra los valores que puede tomar K_o (Ulloa y Vasco, 2020, 12-19).

Tabla 1-2: Factor de sobrecarga

Factor Sobrecarga			
Fuente de energía	Carga en la máquina impulsada		
	Uniforme	Choque moderado	Choque fuerte
Uniforme	1,00	1,25	1,75 o superior
Choque ligero	1,25	1,50	2,00 o superior
Choque mediano	1,50	1,75	2,25 o superior

Fuente:(Ulloa y Vasco, 2020)

Realizado por:Condemaita, J; Molano, C, 2022

2.1.2.2. Factor dinámico “ K_v ”

En versiones anteriores, este factor tenía un valor menor a 1, pero el factor debido al desarrollo de la investigación y el deterioro paulatino del engranaje se ha sobreescrito y ahora tiene un valor mayor a 1.

La fuerza generada dentro del engranaje está determinada por el factor dinámico (K_v) como resultado de la posibilidad de error de transmisión. Idealmente, las velocidades de entrada y salida deben ser uniformes y proporcionales, pero en realidad la vida útil del error de transmisión es una pérdida conocida como compensación de la velocidad angular del engranaje(Ulloa y Vasco, 2020, pp. 12-19)

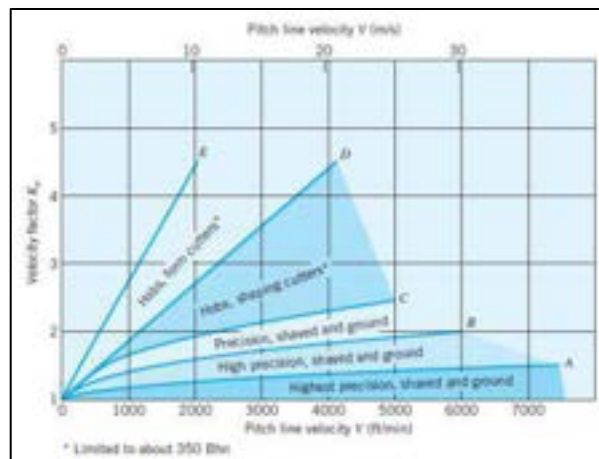


Figura 2-2:Factor dinámico

Fuente:(Ulloa y Vasco, 2020)

2.1.2.3. Factor de tamaño “ K_s ”

Este factor muestra la falta de uniformidad en las propiedades del material, mismas que pueden ser determinadas por:

- Tamaño del diente
- Diámetro del engranaje
- Relación del tamaño del diente con el diámetro del engranaje
- Ancho de la cara
- Área de esfuerzo
- Relación de la profundidad de la superficie con el tamaño de los dientes
- Templabilidad y tratamiento térmico.

En donde, AGMA no define un criterio de factor dimensional, pero recomienda que el KS sea igual a 1; pero, a menos que el diseñador quiera implementar ciertas situaciones como engranajes de dientes muy largos este establece que el KS se encuentre en rango de 1,25 a 1,5(Ulloa y Vasco, 2020, pp. 12-19).

2.1.2.4. Factor de distribución de carga “ K_H ”

El factor de distribución de carga refleja la distribución desigual de la carga aplicada (F_t) a lo largo de la trayectoria de contacto del engranaje. Por ejemplo, la no uniformidad es causada por muchos factores, como pueden ser:

- Variaciones en el proceso de fabricación.
- Variaciones en el montaje de los engranajes.
- Deformaciones provocadas por las cargas aplicadas.
- Deformaciones provocadas por efectos térmicos y centrífugos.

En la siguiente figura podemos ver un esquema de la distribución de las cargas a lo largo del ancho de cara de los engranajes(Ulloa y Vasco, 2020, pp. 12-19).

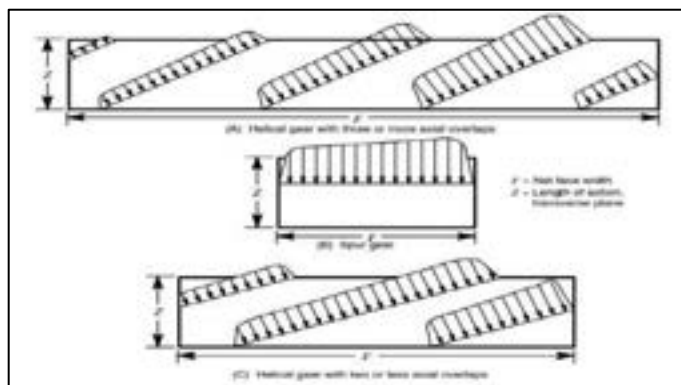


Figura 3-2:Distribución de la carga en el ancho de la cara del engranaje

Fuente:(Ulloa y Vasco, 2020)

Tabla 2-2: Valores sugeridos de factores de distribución de carga.

Factor de distribución de carga KH				
Características soportadas por el montaje	Ancho de cara (b) en "mm"			
	0 – 50	150	225	≥400
Montaje exacto, poco juego en los cojinetes, deflexión mínima, engranajes precisos	1,3	1,4	1,5	1,8
Montaje menos exacto y rígido, engranajes menos precisos, contacto sobre toda la cara	1,6	1,7	1,8	2,1
Montaje de precisión y exactitud que no se puede garantizar el contacto sobre toda la cara	2,2 o más, según la experiencia			

Fuente:(Ulloa y Vasco, 2020)

Realizado por: Condemaita, J; Molano, C, 2022

2.1.2.5. Factor de espesor " K_B "

Este factor utiliza la relación entre la altura del diente y el grosor de la base si el engranaje es grande consta de un anillo y un brazo de palanca radial en lugar de un cilindro. Los parámetros para este elemento son:

- Si la relación es mayor o igual a 1,2 entonces se considera que la tensión de flexión no tiene efecto con dicho factor.
- Si la relación es menor o igual a 1,2 entonces el efecto en la tensión de flexión se la puede observar cómo va a actuar en la siguiente figura(Ulloa y Vasco, 2020, pp. 12-19).

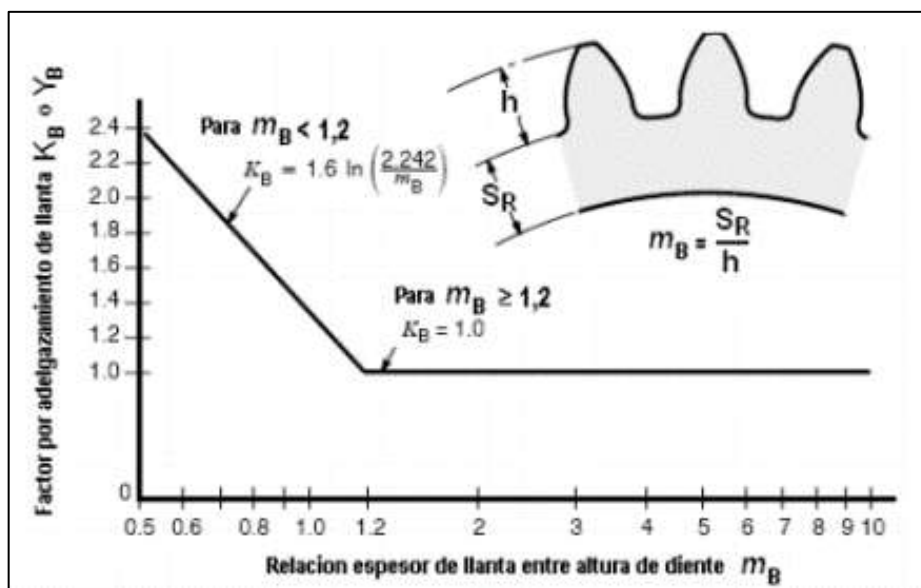


Figura 4-2:Factor por adelgazamiento de rueda dentada

Fuente:(Ulloa y Vasco, 2020)

2.1.3. Nomenclatura de los engranajes

En la siguiente figura podemos observar las partes principales que conforman un engranaje.

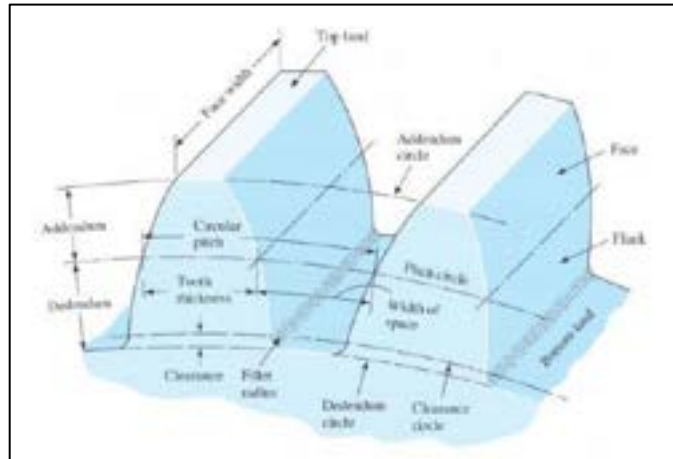


Figura 5-2:Nomenclatura de los engranajes.

Fuente:(Alarcón y Gaibor, 2017)

2.1.3.1. Circulo de paso

Es el círculo teórico sobre el cual se basan los cálculos y su diámetro es llamado “diámetro de paso”. Los círculos de paso de engranes acoplados son tangentes entre sí. El engrane pequeño es llamado “piñón” y el mayor “rueda”(Arosemena, 2015, pp. 4-7).

2.1.3.2. Paso circular (p)

Es la distancia medida en el círculo de paso de un punto en un determinado diente al mismo punto en el diente adyacente. De esta manera el paso circular es igual a la suma del espesor del diente y del ancho del espacio(Alarcón y Gaibor, 2017).

$$p = \frac{\pi * d}{N} = \frac{\pi}{P} \quad (1)$$

Donde:

p = Paso circular

d = Diámetro del círculo en “mm”

Z = Número de dientes

P = Paso diametral

2.1.3.3. *Módulo*

Determinado como el inverso del paso diametral.

$$m = \frac{1}{P} = \frac{d}{N} \rightarrow P = \pi * m \quad (2)$$

Donde:

m = Módulo

P = Paso diametral

2.1.3.4. *Paso diametral (P)*

Es la razón del número de dientes de un engrane a su diámetro de paso, se debe tener presente que los engranajes acoplados deben poseer el mismo paso diametral.

$$P = \frac{N}{d} \quad (3)$$

Donde:

P = Paso diametral

N = Número de dientes

d = Diámetro del círculo de paso en “mm”

2.1.3.5. *Distancia entre centros “Dc”*

Es la distancia desde el centro del engrane al centro del piñón.

$$D_c = \frac{D_{p1} + D_{p2}}{2} \quad (4)$$

Donde:

D_c = Distancia entre centros “mm”

d₁ = Diámetro de paso del engrane “mm”

d₂ = Diámetro de paso del piñón “mm”

Así también, podemos nomenclaturas secundarias como las mostradas a continuación.

Tabla 3-2:Nomenclatura de los engranajes

Nomenclatura secundaria de los engranajes		
Cabeza (addendum) “a” Es la distancia radial medida desde el círculo de paso a la cresta del diente.	Raíz (dedendum) “b” Es la distancia radial media desde el círculo de paso a la superficie del fondo del diente.	Altura total Es la suma de la cabeza y la raíz.
Flanco Es la superficie entre el círculo de paso y el círculo de raíz.	Holgura o claro “c” Distancia entre la cresta del engrane y la raíz del engrane acoplado, significa que es la cantidad por la que la raíz de un engrane dado excede la cabeza de su engrane acoplado.	

Fuente: (Alarcón y Gaibor, 2017)

Realizado por: Condemaita, J; Molano, C, 2022

2.1.4. *Materiales para engranajes*

2.1.4.1. *Aceros para la fabricación de engranes*

Varias piezas, como herramientas eléctricas, algunos tipos de reductores de engranajes y transmisiones de servicio pesado, están hechas de acero al carbono medio. A continuación, se muestran algunas presentaciones industriales.

Tabla 4-2:Aceros para engranajes

Aceros para la fabricación de engranajes	
AISI 1020	AISI 4150
AISI 1040	AISI 4340
AISI 1050	AISI 6150
AISI 3140	AISI 8650
AISI 4140	

Fuente: (Chimbo y Veásquez, 2020)

Realizado por: Condemaita, J; Molano, C, 2022

La industria tiene una amplia variedad de materiales que son fundamentalmente importantes para tener en cuenta las cualidades y características potenciales del acero para una clasificación particular(Chimbo y Veásquez, 2020, pp. 4-17).

2.1.4.2. *Aceros endurecidos en forma superficial*

Se utilizan varios procesos para lograr una vida útil excepcionalmente prolongada en los dientes de los engranajes, como el endurecimiento por llama, la carbonización y la nitruración. Estos pasos aumentan el valor de dureza de la superficie de 50 a 64 HRC, lo que produce una tensión admisible elevada y valores de tensión de contacto admisibles.

El proceso mediante flama y la inducción incluyen el calentamiento específico o local de la superficie del elemento. La parte calefactora debe aplicarse no solo a la superficie del diente, sino

también a la parte periférica, como la raíz y la parte biselada, para que toda la superficie se endurezca.

La ventaja del endurecimiento aplicado al engranaje se debe a la dureza de la llama requerida para resistir diversos desgastes, y su centro permanece en una forma más dúctil y resistente a los impactos. Este calentamiento rápido se aplica a la pieza de la superficie durante un período de tiempo, lo que permite que el diente resista este proceso (Chimbo y Veásquez, 2020, pp. 4-17).

2.1.4.3. *Carburización y nitruración*

Es el proceso más comúnmente utilizado para la elaboración de engranes ya que permite el aumento de la dureza superficial de 55 a 64 HRC. La nitruración da una dureza mayor a la carburización la desventaja que su superficie es muy delgada (más o menos 0,6mm) por lo que se recomienda que se utilice en cargas ligeras.

Este proceso no se debe realizar si el elemento va a soportar cargas pesadas puesto que su superficie será muy delgada como para soportar cargas grandes (Chimbo y Veásquez, 2020, pp. 4-17).

2.1.4.4. *Hierro fundido y bronce como materiales para fabricar engranajes*

Para la fabricación de engranajes se utilizan tres tipos diferentes de hierro: hierro combinado, fundición gris y fundición. En nuestro país, se utilizan tres tipos de bronce en la producción de dientes de engranajes, tales como: bronce blando, bronce fosfórico y bronce marino. El bronce dulce debe considerarse frágil, así que se debe de evitar cargas elevadas (Ver tabla 5-2) (Chimbo y Veásquez, 2020, pp. 4-17).

Bronce SAE 40. Aleación de cobre con buena elasticidad y resistencia al desgaste. Tiene una propiedad de pureza que elimina por completo la porosidad interna. Excelente conductividad térmica, facilidad de procesamiento y resistencia a la corrosión.

El cobre es una super aleación que resiste la corrosión, el desgaste y los impactos, es un excelente conductor eléctrico con una dureza de 60-65 Brinell, por lo que existen muchas aplicaciones industriales y de calidad (Ver tabla 6-2) (Chimbo y Veásquez, 2020, pp. 4-17).

Bronce SAE 64. Sus cualidades le permiten tener una lubricación en seco, obteniendo una antifricción ideal para labores pesadas (Ver tabla 7-2).

AISI/SAE 4340. Este acero es de baja aleación de Cr, Ni y Mo. Tiene una gran resiliencia y también tiene gran resistencia a la fatiga(Ver tabla 8-2).

Tabla 5-2:Bronce Dulce Latón UNS C 38500 ASTM B455

INFORMACIÓN				
Tiene buena ductilidad, es aleación de cobre. Se lo puede usar para maquinado, estampado en caliente y en procesos de doblado.				
Análisis Típico %	Zn	Cu	Pb	Fe
C 38500	Resto	55 – 59%	2,5 – 3,5	Máx. 0,35 %
APLICACIONES				
Elementos como bisagras, cerraduras, pasamanos, marcos, tuercas, tornillos, válvulas, mordazas de prensa.				
REDONDO		CUADRADO		
Diámetro (mm)	Peso (Kg/m)	Diámetro (mm)	Peso (Kg/m)	
¼	0,3	5/8 x 5/8	2,4	
5/16	0,4	¾ x ¾	3,4	
3/8	0,6	1 x 1	5,9	
½	1,1	1 ¼ x 1 ¼	9	
5/8	1,8	1 ½ x 1 ½	13	
¾	2,6			
1	4,6			
1 1/8	5,8			
1 ¼	7,2	HEXAGONAL		
1 ½	10,3	Diámetro (mm)	Peso (Kg/m)	
1 ¾	14,1	½	1,4	
2	18,4	5/8	2	
2 ¼	23,3	¾	2,9	
2 ½	28,7	7/8	3,9	
3	41,7	1	5	
3 ½	56,3	1 ¼	7,9	
4	73,6	1 ½	11,4	
5	115	2	19,9	

Fuente: (Chimbo y Veásquez, 2020)

Realizado por: Condemaita, J; Molano, C, 2022

Tabla 6-2:Análisis típico, características y propiedades Bronce SAE 40

ANÁLISIS TÍPICO %				
	Cu	Sn	Pb	Zn
SAE 40	85 %	5%	5%	5%
CARACTERÍSTICAS Y PROPIEDADES				
	Resistencia última Mpa (Kpsi)	Resistencia de fluencia MPa (Kpsi)	Reducción en área %	Dureza Brinell
SAE 40	520 (76)	290 (42)	40	149

Fuente:(Chimbo y Veásquez, 2020)

Realizado por: Condemaita, J; Molano, C, 2022

Tabla 7-2:Análisis típico, características y propiedades Bronce SAE 64

ANÁLISIS TÍPICO %				
	Cu	Sn	Pb	Zn
SAE 64	78 %	9%	9%	0%
CARACTERÍSTICAS Y PROPIEDADES				
	Resistencia última Mpa (Kpsi)	Resistencia de fluencia MPa (Kpsi)	Reducción en área %	Dureza Brinell
SAE 64	680 (98)	370 (54)	30	201

Fuente:(Chimbo y Veásquez, 2020)

Realizado por: Condemaita, J; Molano, C, 2022

Tabla 8-2: Análisis típico, características y propiedades AISI/SAE 4340

ANÁLISIS TÍPICO %				
	C	Mn	Si	Cr
SAE 4340	0,38 – 0,43 %	0,6 – 0,8 %	0,04 %	0,7 – 0,9 %
CARACTERÍSTICAS Y PROPIEDADES				
	Resistencia última Mpa (Kpsi)	Resistencia de fluencia MPa (Kpsi)	Reducción en área %	Dureza Brinell
SAE 4340	680 (98)	370 (54)	30	201

Fuente:(Chimbo y Veásquez, 2020)

Realizado por: Condemaita, J; Molano, C, 2022

2.1.5. *Engranajes rectos*

En la actualidad existen diversos tipos de engranajes utilizados en las máquinas industriales como lo son: engranes rectos, engranes helicoidales simples, engranes helicoidales dobles, engranes cónicos de dientes rectos, engranes cónicos de dientes helicoidales, tornillos sin fin, engranes internos y engranes de piñón y cremallera.

Dentro de estos, el engranaje recto es el más simple de todos, sus dientes van paralelos al eje de rotación y es utilizado para transmitir movimiento rotatorio entre ejes paralelos. Son utilizados en velocidades relativamente bajas y medias, también se usan transmitir potencia y movimiento angulas entre los ejes paralelos.

Se debe tener presente que a la rueda de mayor tamaño se le llama “engrane” y a la de menor tamaño “piñón”, es importante saber que el elemento motriz siempre será el piñón y el engrane será el impulsado(Chimbo y Veásquez, 2020, pp. 4-17).



Figura 6-2: Engranajes rectos

Fuente:(Arosemena, 2015)

2.2. Mecanismos de falla de los engranajes

Existen mecanismos de fallas que se pueden originar dependiendo de las condiciones de operación o durante el servicio de tracciones superiores a las históricas de los engranajes; estas pueden ser desgarro dúctil o fractura frágil de la corona, variaciones pequeñas en la cara o cresta pero que están en condiciones tolerables de funcionamiento (Otegui, 2015, pp. 123-125).

Por otro lado, un mecanismo de falla también puede ser considerado como una secuencia de eventos mismos que pueden ser físicos o químicos; es decir, va desde cualquier tipo de fuente de la falla hasta llegar a un modo de falla final, generando una relación directa entre fuente, modos y mecanismo de falla.

2.2.1. Fallas en engranajes

Cuando una máquina rotativa, misma que es considerada como un activo físico no es capaz de brindar prestaciones, eficiencia, operatividad o cualquier tipo de indicadores de desempeño y su costo de operación y mantenimiento ha sobrepasado los límites establecidos, se dice que ha ocurrido una falla interna en los engranajes (Mora Espejo y Hernández Albañil, 2020, pp. 26-511).

Es decir; se considera que un activo físico ha fallado por consecuencia de los engranajes, cuando:

- Deja de operar
- Opera de manera insatisfactoria; o,
- Genera daños mayores

Dentro de las fallas más comunes que se puede encontrar en los engranajes son las fallas por fatiga, fractura o por el desgaste total de los dientes.

2.2.2. Modos de fallas de los engranajes

Puesto que los engranajes son de mucha importancia para transmitir potencia, a través de la rotación y el par torsor, estos están expuestos a distintas cargas, fuerzas o condiciones al momento de realizar su trabajo; entre estas tenemos las fuerzas axiales y radiales, cargas disipativas, cargas en contacto, medio ambiente de trabajo (Mora Espejo y Hernández Albañil, 2020, pp. 26-511)

Para tener una mayor comprensión de los modos de falla y su clasificación, en la tabla 9-2 se representa los modos de fallas más comunes o frecuentes que puede estar expuesto un engranaje, para posteriormente describir los más importantes.

Tabla 9-2: Modos de falla más comunes o frecuentes de los engranajes

Modos de falla más comunes o frecuentes de los engranajes				
Agrietamiento y fracturas		Pérdida geométrica del diente		
Agrietamiento	Pérdida total o parcial de diente	Desgaste	Deformación plástica	Corrosión
<ul style="list-style-type: none"> • Grietas en cara de dientes • Grietas en base de dientes • Grietas en alma o llanta • Grietas en concentradores de esfuerzo 	<ul style="list-style-type: none"> • Fractura dúctil • Fractura frágil • Fractura mixta • Fatiga 	<ul style="list-style-type: none"> • Adhesivo • Abrasivo • Fatiga superficial – micro picado, picado y macro picado. 	<ul style="list-style-type: none"> • A flexión • Indentación • Laminado • Acanalado • Arrugamiento • Rebaba 	

Fuente: (Mora Espejo y Hernández Albañil, 2020).

Realizado por: Condemaita, J; Molano, C, 2022

2.2.2.1. Agrietamiento

Se dice que es una falla por agrietamiento cuando en la corona, cabeza, cara, flanco y fondo del engranaje presentan fisuras súbitas, mismas que provocan pérdida de rigidez, velocidad y modificación de patrones de vibración las cuales anulan la funcionalidad de forma progresiva; así también, dentro del agrietamiento podemos encontrar diferentes problemas en las partes de los engranajes como, grietas en la cara y base del diente localizadas en la fase inicial por fatiga o grietas en el alma o llanta originadas en el pie del diente; mismos que son causados por efectos diferentes dependiendo el modo de operación o material de fabricación (Mora Espejo y Hernández Albañil, 2020, pp. 26-511).



Figura 7-2: Agrietamientos en el flanco del diente

Fuente: (Mora Espejo y Hernández Albañil, 2020).

Tabla 10-2: Causas que generan el agrietamiento

Causas que generan el agrietamiento		
Grietas en caras de dientes	Grietas en alma o llanta	Grietas en discontinuidad
<ul style="list-style-type: none"> • Inadecuado acabado superficial de los dientes • Las grietas pueden iniciarse a partir de macro pinturas. 	<ul style="list-style-type: none"> • Diseño inadecuado por bajo espesor de llanta. 	<ul style="list-style-type: none"> • Agujeros, cuñeros, estriados, etc., mal calculados o mecanizados. • Sobrecarga elevada o torque continuado de operación superior al recomendado.

Fuente: (García, 2015)

Realizado por: Condemaita, J; Molano, C, 2022

2.2.2.2. Pérdida total o parcial del diente

Dependiendo la gravedad de la fatiga o tipo de fractura ya sea dúctil, frágil o mixta; el engranaje presentará consecuencias como cizallado del diente acompañado de una deformación plástica, fractura con apariencia granular brillante y sin deformación plástica o fractura progresiva que se propaga durante el trabajo del engranaje. Para las cuales, las causas principales de estas consecuencias son las siguientes (García, 2015, p. 1).

Tabla 11-2: Causas que generan la pérdida total o parcial del diente

Causas que generan la pérdida total o parcial del diente		
Fractura dúctil	Fractura frágil	Fatiga
<ul style="list-style-type: none"> • Sobrecarga por elevado torque. • Dureza de capa endurecida o núcleo del engranaje bajo. • Espesor bajo de la capa endurecida. • Ausencia de capa endurecida. 	<ul style="list-style-type: none"> • Sobrecarga por elevado torque. • Dureza de capa endurecida o núcleo del engranaje elevado. • Espesor alto de capa endurecida. 	<ul style="list-style-type: none"> • Torque continuado de operación superior al recomendado. • Dureza de núcleo o capa endurecida baja. • Espesor del núcleo inadecuado.

Fuente: (García, 2015)

Realizado por: Condemaita, J; Molano, C, 2022

2.2.2.3. Pérdida geométrica del diente

Dentro de la pérdida geométrica del diente podemos encontrar distintas causas como el desgaste fatiga superficial, corrosión, deformación alta y baja; sin embargo, el desgaste es el más común ya que se puede evidenciar cuando el perfil de diente presenta pérdidas significativas, mismas que son producto de la deformación plástica y pérdida superficial del material a causa del contacto entre los dientes conductor y conducido (Mora Espejo y Hernández Albañil, 2020, pp. 26-511).

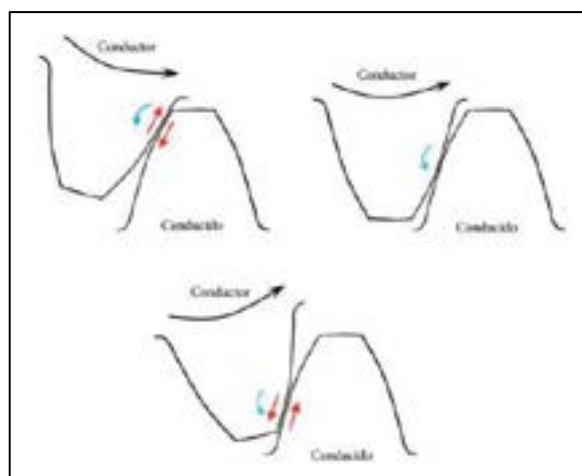


Figura 8-2: Contacto entre dientes conductores y conducidos.

Fuente: (Mora Espejo y Hernández Albañil, 2020).

Son distintas las causas por las que se producen la pérdida geométrica del diente; a continuación, se presentan las causas más comunes que la originan.

Tabla 12-2:Causas que generan la pérdida geométrica del diente

Causas que generan la pérdida geométrica del diente			
Desgaste	Fatiga superficial	Deformación plástica	
		Alta	Baja
Abrasivo <ul style="list-style-type: none"> •Lubricante con partículas. •Viscosidad baja o alto torque •Baja velocidad •Dureza baja en capa endurecida •Diferencia alta de dureza entre los engranajes acoplados 	Picado <ul style="list-style-type: none"> •Baja dureza en capa endurecida. •Viscosidad baja del lubricante. •Torque continuado de operación superior al recomendado. •Ausencia o deficiencia de aditivo EP*. 	Arrugamiento <ul style="list-style-type: none"> •Viscosidad baja del lubricante. •Torque continuado de operación superior al recomendado. •Baja velocidad. •Ausencia o deficiencia de aditivo EP*. 	Indentación <ul style="list-style-type: none"> •Presencia de elementos extraños entre los engranajes. •Consecuencia de la fractura de dientes
Adhesivo <ul style="list-style-type: none"> •Diferencia de aditivos EP*. •Dureza baja en capa endurecida. •Alta velocidad o temperatura •Viscosidad baja o alto torque. •Falla en el sistema de lubricación. 	Macropicado o descascarado <ul style="list-style-type: none"> •Dureza de núcleo o capa endurecida. •Espesor de núcleo insuficiente. 	Acanalado <ul style="list-style-type: none"> •Viscosidad baja del lubricante. •Torque continuado de operación superior al recomendado. •Baja velocidad. •Ausencia o deficiencia de aditivo EP*. 	Aplastamiento, afilado, rebaba <ul style="list-style-type: none"> •Viscosidad o velocidades bajas. •Dureza de núcleo o capa endurecida. •Espesor de núcleo insuficiente. •Torque continuado de operación superior al recomendado.

Fuente:(García, 2015)

Realizado por: Condemaita, J; Molano, C, 2022

Corrosión. La corrosión en los engranajes se puede generar dependiendo de las condiciones ambientales o del tipo de aceite lubricante utilizado en el proceso de mantenimiento; la cual, durante el transcurso del tiempo puede provocar una pérdida parcial o total del engranaje.

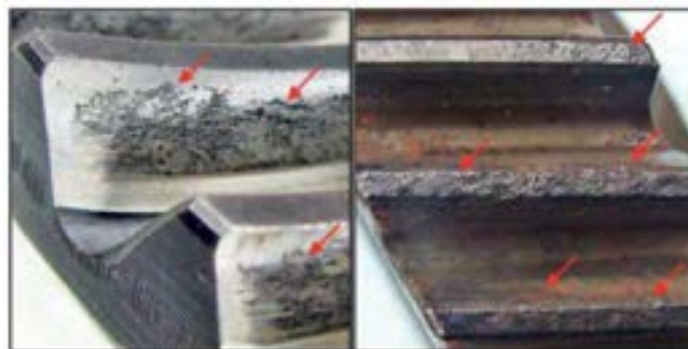


Figura 9-2:Corrosión sobre dientes de engranajes

Fuente:(Mora Espejo y Hernández Albañil, 2020).

Generalmente, una corrosión uniforme o por picadura afecta directamente a los dientes de los engranajes debido a que estos entran en contacto con partículas de agua, con aceites lubricantes contaminados, con partículas de polvo o lubricantes degradado debido a un sobre calentamiento; dependiendo del componente contaminante, el engranaje tomara colores diferentes representativos de la corrosión como por ejemplo el color anaranjado o rojizo mismo que es característico del contacto con el agua o a su vez de color más oscuro si este fue expuesto a una mezcla de diferentes lubricantes (Mora Espejo y Hernández Albañil, 2020, pp. 26-511).

2.2.3. Formas de diagnosticar una falla en engranajes

Existen distintas formas de diagnosticar una falla en los engranajes, una de ella está basada en la forma del conocimiento del proceso; la cual; aplica un método de diagnóstico que establece el modelo del proceso y la historia del proceso para establecer la funcionalidad de manera cualitativa o cuantitativa (Lameda, 2015, pp. 7-8).

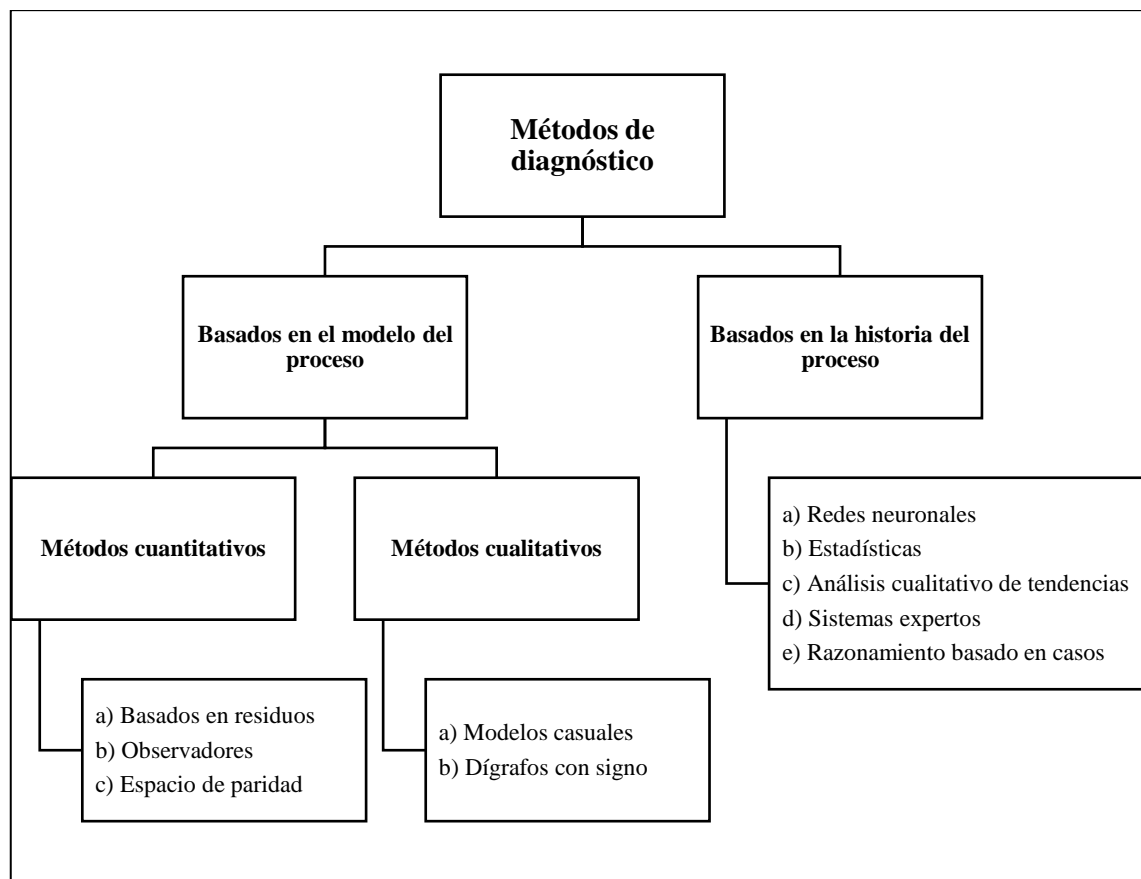


Gráfico 1-2: Métodos de diagnóstico basados en la forma del conocimiento del proceso

Fuente: (Lameda, 2015)

Realizado por: Condemaita, J; Molano, C, 2022

2.3. Desalineamiento de engranajes

La desalineación de los engranajes es producida por la deformación de los ejes de los engranes debido a distintas cargas de trabajo la cual influye significativamente sobre el estado tensional de la transmisión (Roda Casanova, 2015, pp. 39-54).

Por otro lado, el desalineamiento implicaría distintos repartos de carga no uniformes en las caras de los dientes tanto del engranaje como del piñón, provocando una reducción de vida útil debido al esfuerzo o tensiones concentrado en las áreas de los dientes.

Así también, dentro de los engranajes el desalineamiento tiene signo positivo o negativo; en donde, será positivo cuando la separación entre los flancos activos se incrementa conforme avanzamos positivamente en el eje Z del eje que transmite movimiento y era negativo cuando se incrementa conforme retrocedamos hacia valores más bajos en el eje Z del eje que transmite el movimiento, dichos signos de desalineación se presentan a continuación en la figura 10-2 (Gutiérrez Gutiérrez, 2019, pp. 94-95).

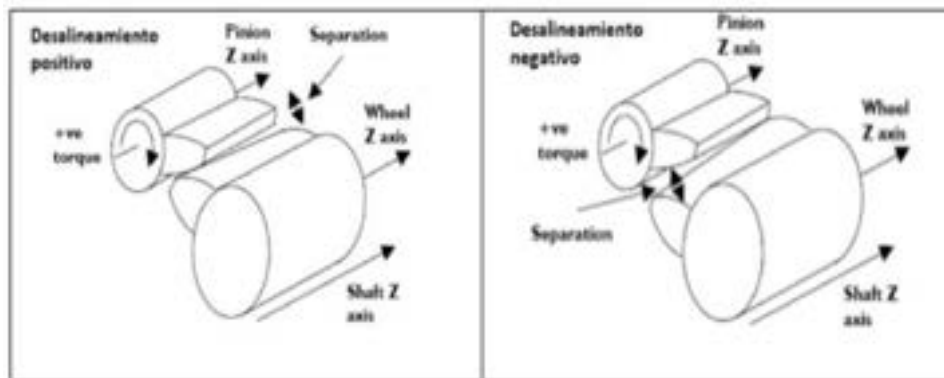


Figura 10-2: Signo del desalineamiento

Fuente: (Gutiérrez Gutiérrez, 2019)

2.3.1. Desalineamiento de una transmisión abierta

Este tipo de desalineación se la realiza mediante el análisis de lecturas múltiples y alarmas por altas vibraciones recolectadas; así también, esta desalineación genera una pérdida progresiva de la vida útil del engranaje abierto debido a factores como capacidad y rendimiento de las superficies de los dientes (Rivera, 2015, pp. 2-3).

Algunas de las causas por las que se puede generar un desalineamiento en una transmisión abierta y que aparecen a largo plazo en los engranajes rectos son las siguientes.

- Fatiga superficial: por desgaste o gripado
- Lubricación: método de engrase o lubricante mal seleccionado
- Contaminación con elementos abrasivos

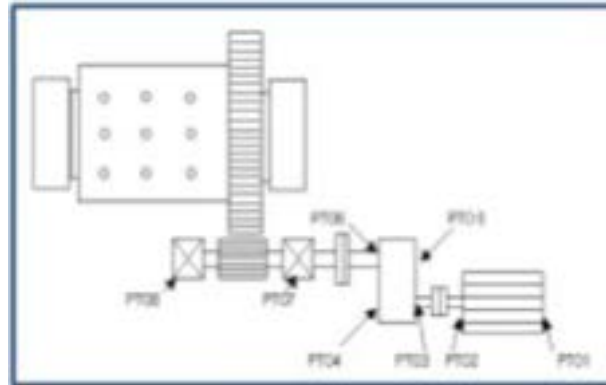


Figura 11-2: Desalineamiento de una transmisión abierta

Fuente:(Rivera, 2015)

2.3.2. Métodos de análisis de desalineación de engranajes

Existen distintos métodos que se utilizan para el análisis de desalineación de engranajes; sin embargo, hay que tener la cuenta el tipo de engranajes a estudiar debido a que dentro de estas desalineaciones podemos encontrar lineales y angulares, dependiendo el lugar o puesto de trabajo.

2.3.2.1. Método ROMAX

Mediante la aplicación del software ROMAX para el análisis de desalineación de engranajes se puede determinar los distintos desalineamientos entre los pares de engranajes cuando éstos estén sometidos a un determinado caso de carga.

Así también, permite determinar si el desalineamiento es negativo o positivo analizando los repartos de carga no uniformes en las caras de los dientes(Gutiérrez Gutiérrez, 2019, pp. 94-95).

2.3.2.2. Método de rigidez de malla

Este método es validado por el método de elementos finitos mismos que son esenciales para análisis de engranajes rectos con un perfil de diente ideal, el cual analiza los efectos de la desalineación y el relieve de la corona de plomo sobre la rigidez de la malla de los pares de engranajes, obteniendo de tal forma resultados precisos y eficaces (Wang et al., 2021, 845-861).

2.4. Inspección de engranajes por análisis vibracional

En la actualidad existen distintas formas de realiza una inspección del estado funcional de los engranajes ya sea por análisis vibracional, ultrasonido pasivo, redes neuronales, etc.; sin embargo, el análisis vibracional es una de las técnicas más empleadas debido a su eficiencia y exactitud al momento de generar armónicos para el estudio de la condición del engranaje.

2.4.1. *Análisis vibracional*

Puesto que una vibración es causada por una fuerza de excitación, se la puede considerar como la oscilación o el movimiento repetitivo de un activo físico alrededor de un punto de equilibrio; en donde, mediante la dirección y frecuencia de los armónicos resultantes el análisis vibracional puede determinar estas fuerzas de excitación actuadas en los activos físicos dependiendo de su estado funcional y el conocimiento de sus características.

Así también, la medición de vibraciones o análisis vibracional es la base del mantenimiento predictivo ya que determina el estado de la máquina en operación a través de la práctica de mantenimiento tipo histórico; es decir, funcionar hasta que ocurra la falla (White, 2010, pp. 16-17).

Por otro lado, para obtener un diagnóstico bien elaborado sobre la condición de algún activo físico es importante tener en cuenta cada uno de los espectros de la vibración.

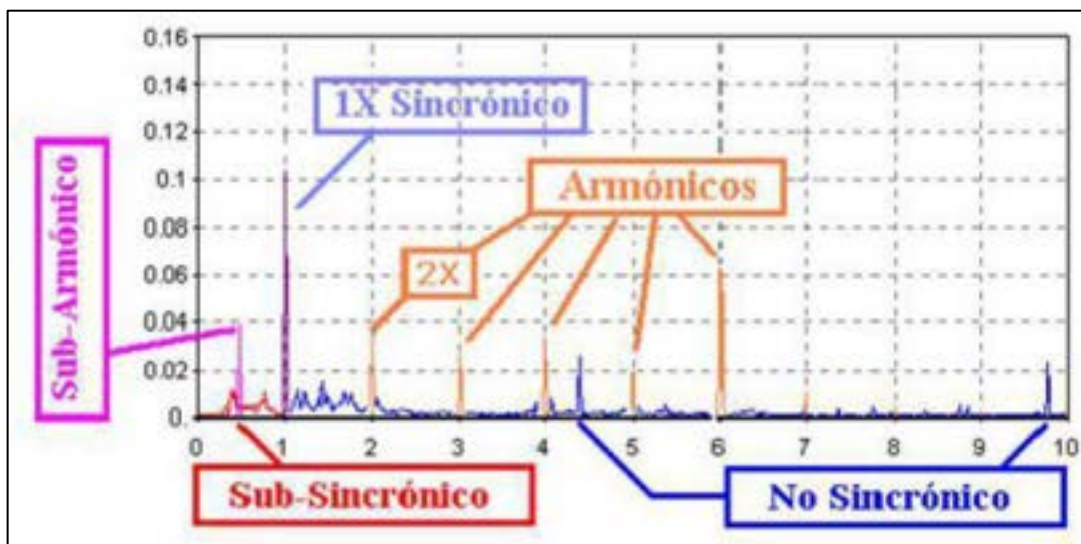


Figura 12-2:Componentes de un espectro y sus nombres

Fuente:(Daza Hernández, 2007)

2.4.1.1. *Técnicas de análisis de vibraciones*

Análisis frecuencial. Relaciona la forma precisa de la frecuencia de vibraciones con la velocidad de rotación del activo físico para determinar causas que lo generan; estas pueden ser, vibraciones provenientes de otros activos físicos o vibraciones generadas por el mismo activo físico.

Análisis de forma de onda. Mediante este análisis se puede diferenciar las posibles fallas de un activo físico ya que dentro de este análisis se puede evidenciar que diferentes formas de onda en el tiempo producen el mismo espectro de frecuencia; estas fallas pueden ser, periodicidades, impactos, discontinuidades, transcientes, restricciones y vibraciones de baja frecuencia.

Análisis de la fase de las vibraciones. Mediante este análisis se pueden identificar y analizar fallas como desbalanceamiento, eje doblado, desalineamiento resonancia y polea excéntrica.

Análisis de vibraciones durante partidas y paradas. Mediante la aplicación de este análisis se obtienen gráficos de amplitud y fase en función de la velocidad de rotación los cuales permiten determinar condiciones como resonancia, frecuencia natural, velocidad crítica, resonancia y fuerza excitadora resonante pequeña.

Análisis de orbitas y posición del eje en el descanso. Análisis utilizado principalmente en descansos hidrodinámicos conocidos como planos; es decir, la medición se la realiza directamente en el eje obteniendo de esta manera una información completa mediante la ayuda de 2 transductores y un sensor montados a 90° (Daza Hernández, 2007, pp. 67-70).

2.4.1.2. *Vibraciones en pares engranados*

Para determinar el estado técnico de las transmisiones de engranajes se debe estudiar e interpretar correctamente los registros vibroacústicos independientemente debido a que son muy susceptibles; para de esta manera, identificar problemas tales como, una inapropiada relación entre los números de dientes, excentricidad, montaje en arboles deformados, desalineamiento, oscilaciones torsionales y fractura de los dientes.

Los análisis vibracionales en una transmisión por engranajes son de gran utilidad para interpretar modulación en amplitud a la frecuencia de engranaje y sus distintos armónicos, para poder determinar si un engranaje está desalineado, excéntrico o con oscilaciones torsionales; así mismo, esta transmisión de engranajes puede generar pulsos o impactos fuertes y considerables cada vez

que un diente imperfecto realice su función de transmisión,denotando de esta manera un amortiguamiento relativamente alto (Palomino Marín, 2007, pp. 168-169).

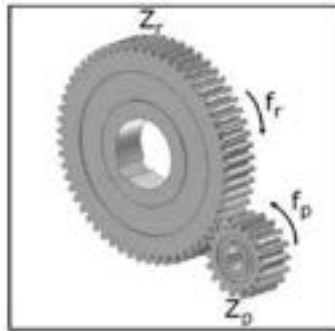


Figura 13-2:Par engranado

Fuente: (Palomino Marín, 2007)

2.4.1.3. Diagnóstico de fallos de los engranajes

A partir del resultado del análisis de las medidas vibratorias obtenidas en el programa establecido por el mantenimiento predictivo, se estudia la forma de detectar las diferentes anomalías del funcionamiento; el cual, se empieza mediante un análisis de los gráficos de tendencia, para posteriormente poder analizar los problemas más habituales en mantenimiento de maquinaria y generar un diagnóstico a partir de los resultados ya obtenidos. Para realizar un buen diagnóstico de fallas en cualquier tipo de engranajes se debe considerar tres aspectos importantes; tales como se muestran a continuación (Pérez, Rodríguez y Sancho, 2007, pp. 323-324).

- Primero, se tratan los problemas asociados a frecuencias características bajas como es el desequilibrio o desalineación.
- Posteriormente, se tratan los dos fallos característicos que se manifiestan a altas frecuencias en los engranajes.
- Finalmente, se estudian los problemas típicos de los engranajes en máquinas rotativas.

Frecuencia de engranajes. Este tipo de frecuencia para el análisis respectivo se puede determinar multiplicando el número de dientes por la velocidad del engranaje.

Frecuencia fraccionada de la malla de engranajes. Este tipo de frecuencias puede ser generado por dos engranajes en malla; en donde, si el número de dientes en cada engranaje tiene un factor común distinto de 1, y un engranaje es excéntrico, cada diente N en el engranaje bueno se puede desgastar por el engranaje excéntrico, donde N es igual al factor común.

Frecuencia de dientes de cabeza o HTF. ocurre cuando el mismo diente en cada engranaje vuelve a engranarse. El HTF se puede determinar dividiendo el mínimo común múltiplo, o LCM, de los dientes de los dos engranajes por el factor poco común del engranaje de interés. El producto es igual al número de revoluciones que debe realizar el engranaje antes de que ocurra el HTF. El recíproco de la velocidad del engranaje identifica el tiempo de una revolución. Para obtener el HTF, se debe multiplicar el tiempo de una revolución por el número de revoluciones, luego tomar el recíproco del producto (Taylor, 2003, pp. 234-236).

2.5. Carta de Charlotte

Las cartas de Charlotte son utilizadas en las distintas áreas de mantenimiento para el diagnóstico de vibraciones ya se para el análisis de ejes, resonancia, rodamientos, engranajes, poleas, etc.

Dentro de los engranajes, los espectros típicos más comunes son los de desalineación, diente roto y encuentro de dientes mismos que son mostrados a continuación.

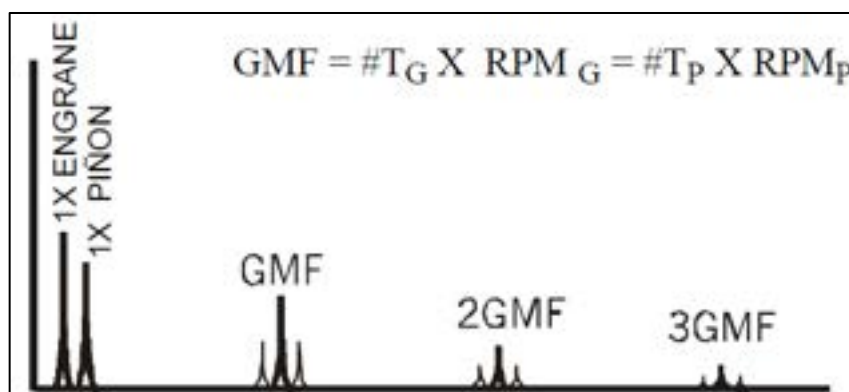


Figura 14-2: Espectro normal

Fuente: (Technical Associates of Charlotte, 1996)

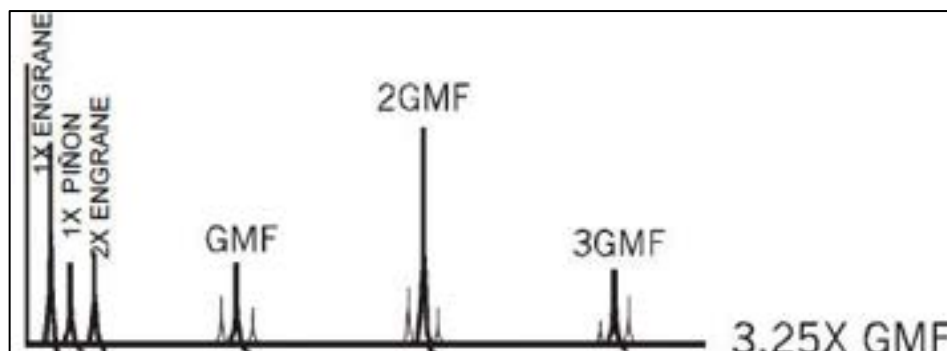


Figura 15-2: Desalineación del engranaje

Fuente: (Technical Associates of Charlotte, 1996)

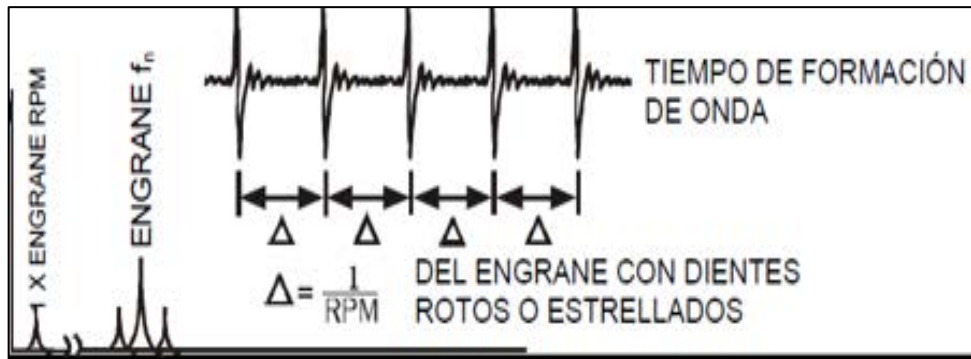


Figura 16-2:Diente estrellado/roto

Fuente:(Technical Associates of Charlotte, 1996)

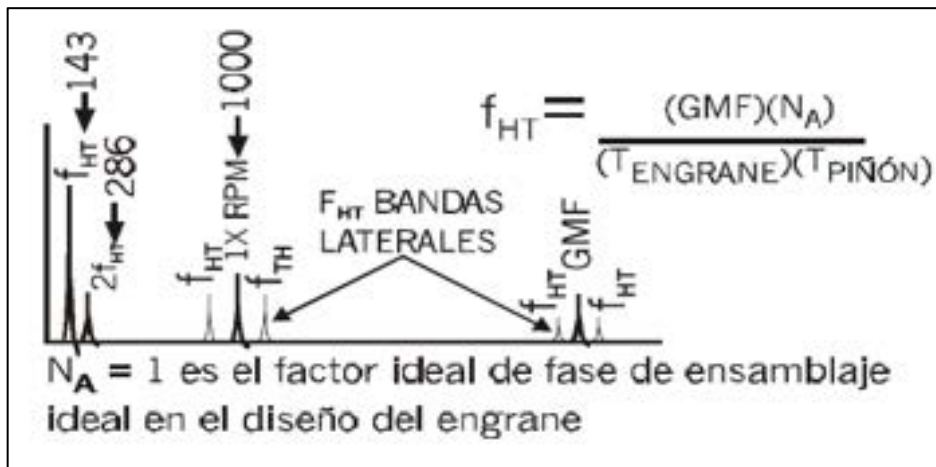


Figura 17-2:Frecuencia de encuentro de dientes

Fuente:(Technical Associates of Charlotte, 1996)

CAPÍTULO III

3. MODELACIÓN Y CONTRUCCIÓN DEL MÓDULO DE SIMULACIÓN

En este apartado, se determinan las características de cada uno de los componentes a utilizar en la construcción del módulo de simulación tales como, motor, alternador, engranajes rectos, bases, para la modelación en el Software SolidWorks académico de los componentes mencionados.

3.1. Reconocimiento de equipos y herramientas

3.1.1. Componentes del módulo de simulación

Para la construcción del módulo de simulación debemos tener en cuenta los siguientes equipos y herramientas que necesitaremos, los cuales se detallan en la siguiente tabla 1-3.

Tabla 1-3:Equipos y componentes del módulo de simulación

Equipos y componentes del módulo de simulación	
Descripción	Cantidad
Motor eléctrico trifásico de ½ hp, marca WEG, modelo B3D	1
Kit de engranajes de 64 dientes	1
Piñón de 24 dientes	1
Alternador de 14 V, 35 A, marca stecker	1
Placa móvil del alternador	1
Placa base del simulador	1
Caja de acrílico	1

Fuente:(Bidwell, 2021)

Realizado por: Condemaita, J; Molano, C, 2022

3.1.2. Características de los componentes del módulo de simulación

Considerando cada uno de los componentes detallados en la tabla 1-3, se procede a especificar las características que darán funcionalidad al módulo de simulación de fallas.

Dentro del módulo de simulación de engranajes, los equipos mas importantes para poder realizar el análisis es el motor y alternador, para lo cual a continuación se detallan las características y rangos de trabajo de cada uno de estos.

3.1.2.1. Alternador

Tabla 2-3: Características del alternador STECKER

Características del alternador STECKER	
Datos	Descripción
Marca	Stecker
Voltaje	14 V
Potencia	490 W
Intensidad	35 A
Frecuencia	60 Hz

Fuente:(Bidwell, 2021)

Realizado por: Condemaita, J; Molano, C, 2022

3.1.2.2. Motor eléctrico

Tabla 3-3: Características del motor eléctrico

Características del motor eléctrico	
Datos	Descripción
Código	14159736
Ejecución	B3D
Potencia mecánica	0,5 hp
	0,37 kW
Intensidad	1,87 – 1,08 – 1,12 A
Nº de polos	4
Frecuencia	60 Hz
Velocidad	1800 rpm
Voltaje	220 – 380 – 440 V

Fuente:(Bidwell, 2021)

Realizado por: Condemaita, J; Molano, C, 2022

3.2. Selección de componentes de transmisión

Teniendo en cuenta que el engranaje y el piñón para el módulo de simulación de fallas son de acero de transmisión AISI 1020 y la cantidad de dientes es de 64 y 24 respectivamente; a continuación, se determinan mediante cálculos los parámetros necesarios para la construcción de cada uno de estos para el funcionamiento respetivo dentro del rotor kit del laboratorio de Diagnóstico Técnico.

3.2.1. Selección del engranaje

Para la selección y fabricación del engrane adecuado que será montado en el eje de las chumaceras del módulo de simulación se debe tener en cuenta las distancias establecidas para el sistema de protección; por lo tanto, se detallan aspectos relevantes utilizados en la selección de estos engranajes, tales como:

Tabla 4-3: Características del engranaje conductor

Características del engranaje	
Descripción	Dimensión (mm)
Ángulo de presión	20°
Número de dientes (Z_1)	64
Módulo	2
Altura de la cabeza (h_1)	2
Altura del pie del diente (h_2)	2,32
Altura total H_t	4,32
Ancho de la cara del diente	20

Realizado por: Condemaita, J; Molano, C, 2022

- Paso
- Diámetro primitivo
- Diámetro exterior
- Diámetro interior

Paso. Para determinar el valor del paso del engranaje es necesario considerar el valor del módulo, obteniendo.

$$P_1 = \pi * m$$

Como:

$$m=2$$

Se obtiene:

$$P_1 = \pi * 2$$

$$P_1 = 6,28 \text{ mm}$$

Diámetro primitivo. Considerando los valores especificados en la tabla 4-3 para la fabricación del engrane tales como, módulo y número de dientes se determina el diámetro primitivo.

$$D_{p1} = m * Z_1 \tag{5}$$

Donde:

D_p = diámetro primitivo

m = módulo

Z= número de dientes

Como:

$$m=2$$

$$Z_1 = 64 \text{ mm}$$

Se obtiene:

$$D_{p1} = (2) * (64)$$

$$D_{p1} = 128 \text{ mm}$$

Diámetro exterior. Teniendo en cuenta que el diámetro exterior es el diámetro de la circunferencia exterior este se lo puede calcular mediante la utilización de valores establecidos en la tabla 4-3; se obtiene.

$$D_{e1} = D_{p1} + 2m \quad (6)$$

Donde:

De= diámetro exterior

Dp = diámetro primitivo

m = módulo

Como:

$$D_{p1} = 128 \text{ mm}$$

$$m=2$$

Se obtiene:

$$D_{e1} = (128) + (2) *(2)$$

$$D_{e1} = 132 \text{ mm}$$

Diámetro interior. Teniendo en cuenta valores como diámetro primitivo calculado y módulo especificado en la tabla 4-3; se puede determinar el diámetro interior, obteniendo.

$$D_{i1} = D_{p1} - 2,32 * m \quad (7)$$

Donde

D_i = diámetro interior

D_p = diámetro primitivo

m = módulo

Como:

$D_{p1} = 128 \text{ mm}$

$m=2$

Se obtiene:

$$D_{i1} = (128) - (2,32) * (2)$$

$$D_{i1} = 123,36 \text{ mm}$$

3.2.2. Selección del piñón

Tabla 5-3: Características del piñón

Características del piñón	
Descripción	Dimensión (mm)
Ángulo de presión (α)	20°
Número de dientes (Z_2)	24
Módulo (M)	2
Altura de la cabeza (h_1)	2
Altura del pie del diente (h_2)	2,32
Altura total H_t	4,32
Ancho de la cara del diente	20

Realizado por: Condemaita, J; Molano, C, 2022

Teniendo en cuenta que el módulo del engranaje y el piñón es el mismo, los valores del paso, la altura de la cabeza, altura del pie del diente y altura total se mantienen en la tabla 5-3. Por tal motivo, para la selección y fabricación del piñón que será montado en el alternador del módulo de simulación se debe detallar aspectos, tales como:

- Diámetro primitivo
- Diámetro exterior
- Diámetro interior

Diámetro primitivo. Considerando los valores especificados en la tabla 5-3 para la fabricación del piñón tales como, módulo y número de dientes se determina el diámetro primitivo.

$$D_{p2} = m * Z_2$$

Como:

$$m=2$$

$$Z_2 = 25 \text{ mm}$$

Se obtiene:

$$D_{p2} = (2) * (25)$$

$$D_{p2} = 48 \text{ mm}$$

Diámetro exterior. Teniendo en cuenta que el diámetro exterior es el diámetro de la circunferencia exterior este se lo puede calcular mediante la utilización de valores establecidos en la tabla 5-3; determinando.

$$D_{e2} = D_{p2} + 2m$$

Como:

$$D_{p2} = 48 \text{ mm}$$

$$m=2$$

Se obtiene:

$$D_{e2} = 48 + 2 * (2)$$

$$D_{e2} = 52 \text{ mm}$$

Diámetro interior. Teniendo en cuenta valores como diámetro primitivo calculado y módulo especificado en la tabla 5-3; se puede determinar el diámetro interior, obteniendo.

$$D_{i2} = D_{p2} - 2,32 * M$$

Como:

$$D_{p2} = 48 \text{ mm}$$

$$m=2$$

Se obtiene:

$$D_{i2} = 48 - 2,32 * (2)$$

$$D_{i2} = 43,36 \text{ mm}$$

Distancia entre centros. La distancia entre centros se la puede determinar con los resultados del análisis de los diámetros primitivos, obteniendo de tal forma.

$$D_c = \frac{D_{p1} + D_{p2}}{2}$$

Como:

$$D_{p1} = 128 \text{ mm}$$

$$D_{p2} = 48 \text{ mm}$$

Se obtiene:

$$D_c = \frac{128+48}{2}$$

$$D_c = 88 \text{ mm}$$

Juego de fondo. Es el juego que tendrá entre los engranajes, el cual se determina mediante la aplicación de la siguiente ecuación.

$$J = 0,16 * m \tag{8}$$

Donde:

J = juego de fondo

m = módulo

Como:

$$m=2$$

Se obtiene:

$$J=0,16*2$$

$$J=0,32 \text{ mm}$$

3.2.3. Análisis del torque del eje

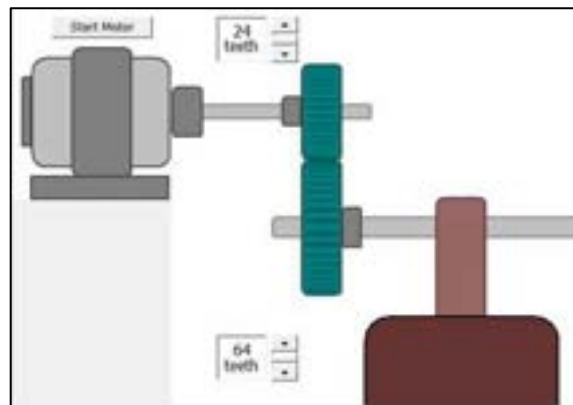


Figura 1-3:Análisis del torque

Fuente: (MDSolids 4.0)

Realizado por: Condemaita, J; Molano, C, 2022

3.2.3.1. Par de torsión del eje del alternador

$$\text{Par de torsión} = T*c \tag{9}$$

Donde:

T= torque

c = radio de giro

$$\text{Par de torsión} = 0,5\text{hp} * \left(\frac{550 \frac{\text{lb.ft}}{\text{s}}}{\text{hp}} \right) * \frac{\left(1,3558\text{N} \frac{\text{m}}{\text{lb.ft}} \right)}{\left(1800\text{rpm} * \left(2\pi \frac{\text{rad}}{\text{rev}} \right) * \left(\frac{1\text{min}}{60\text{s}} \right) \right)}$$

$$\text{Par de torsión} = 1,98 \text{ N.m}$$

Para determinar el esfuerzo de torsión en el alternador se lo realiza con la siguiente ecuación.

$$\tau = \frac{T_c}{J} \quad (10)$$

Donde:

τ = esfuerzo de torsión

T_c = par de torsión

J = Momento polar de inercia = $717816,22\text{mm}^4$

$$\tau = \frac{(1,978\text{N}\cdot\text{m}\cdot 26\text{mm})}{717816,22\text{mm}^4}$$

$$\tau = 71,6\text{KPa}$$

3.2.3.2. Par de torsión del eje del engrane y la polea

$$\text{Par de torsión} = T \cdot c$$

$$\text{Par de torsión} = 1,978\text{N}\cdot\text{m} \cdot 2,667$$

$$\text{Par de torsión} = 5,28 \text{ N}\cdot\text{m}$$

Esfuerzo de torsión en el eje del engrane y la polea

$$\tau = \frac{T_c}{J}$$

Donde:

$J = 29,81 \times 10^6 \text{ mm}^4$

$$\tau = \frac{(5,275\text{N}\cdot\text{m}\cdot 66\text{mm})}{29,81 \times 10^6 \text{ mm}^4}$$

$$\tau = 11,7 \text{ KPa}$$

3.2.4. Análisis de reacciones en el eje del módulo de engranajes

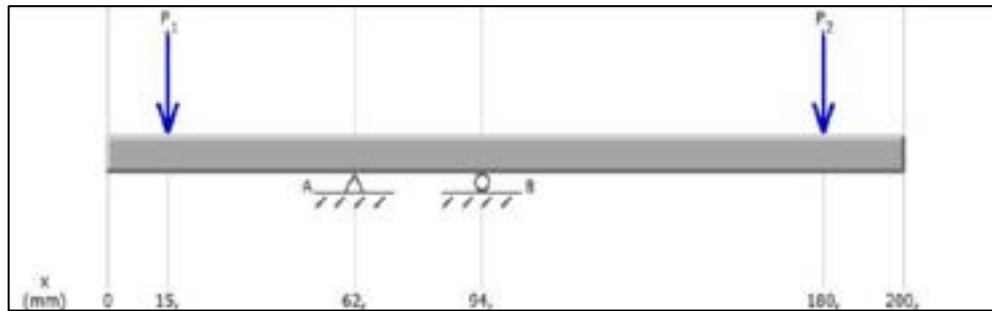


Figura 2-3: Análisis de reacciones en el eje

Fuente: (MDSolids 4.0)

Realizado por: Condemaita, J; Molano, C, 2022

Mediante la figura 2-3 se determina las reacciones que ocurrirán en el eje el cual consta de un engranaje y una polea, dichos valores que serán determinados a continuación con una sumatoria de fuerzas y momentos en la chumacera 1 del módulo de engranajes.

Donde:

P_1 = peso del engrane

P_2 = peso de la polea

A = chumacera 1

B = chumacera 2

$\sum F_y$ = sumatoria de fuerzas

$\sum M_A$ = sumatoria de momentos

$$\sum F_y = 0 \quad (11)$$

$$P_1 + P_2 = R_A + R_B$$

$$22,58 \text{ N} + 35,11 \text{ N} = R_A + R_B$$

$$1) R_A + R_B = 57,69 \text{ N}$$

$$\sum M_A = 0 \quad (12)$$

$$P_1 \cdot d_1 + R_B \cdot d_2 - P_2 \cdot d_3 = 0$$

$$-R_B \cdot d_2 = (22,58 \text{ N} \cdot 47 \text{ mm}) - (35,11 \text{ N} \cdot 118 \text{ mm})$$

$$-R_B \cdot (32 \text{ mm}) = (22,58 \text{ N} \cdot 47 \text{ mm}) - (35,11 \text{ N} \cdot 118 \text{ mm})$$

$$-R_B = \frac{-3081,72 \text{ N} \cdot \text{mm}}{32 \text{ mm}}$$

$$-R_B = -96,304 \text{ N}$$

$$2) R_B = 96,304 \text{ N}$$

Reemplazamos 2 en 1

$$R_A + R_B = 57,69 \text{ N}$$

$$R_A = 57,69 \text{ N} - R_B$$

$$R_A = 57,69 \text{ N} - 96,304 \text{ N}$$

$$R_A = -38,61 \text{ N}$$

Con las reacciones obtenidas, se obtiene los diagramas mostrados a continuación mismos que representan la fuerza cortante interna (V) y momento flector interno (M) del eje situado sobre las chumaceras del módulo.

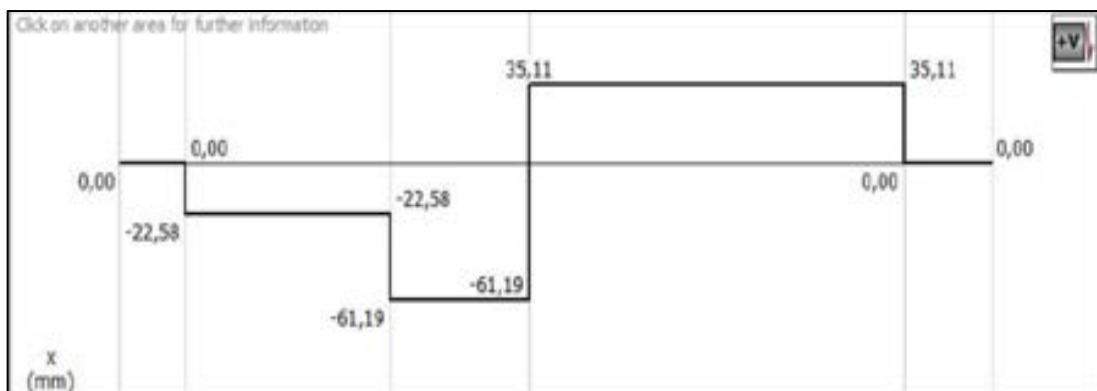


Figura 3-3: Diagrama de fuerza cortante

Fuente: (MDSolids 4.0)

Realizado por: Condemaita, J; Molano, C, 2022

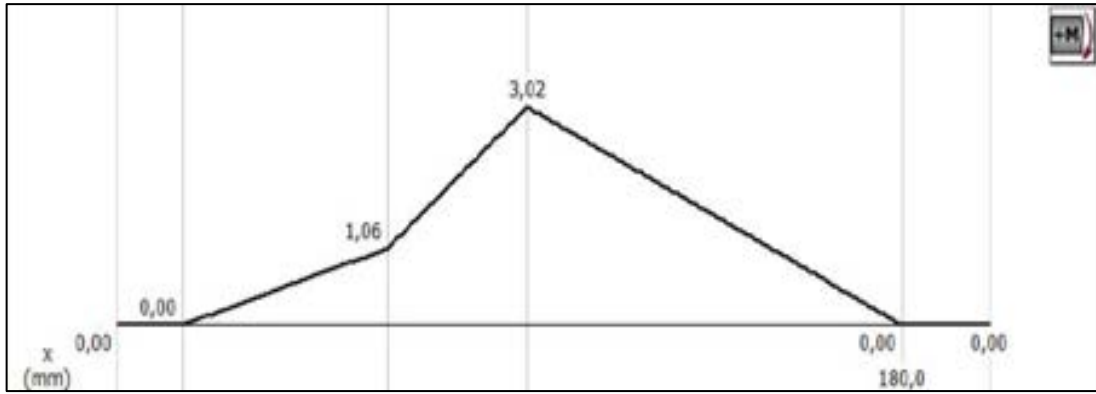


Figura 4-3: Momento flector

Fuente: (MDSolids 4.0)

Realizado por: Condemaita, J; Molano, C, 2022

3.2.5. Análisis por fatiga

El análisis por fatiga es importante para determinar el diámetro adecuado del eje que dará movimiento al engranaje y a la polea, mismo que se determina con la siguiente fórmula a continuación.

$$d = \left\{ \frac{32N}{\pi} \left[\left(kf^* \frac{M}{Sn} \right)^2 + \frac{3}{4} \left(\frac{T}{Su} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \right\}^{\frac{1}{3}} \quad (13)$$

Donde:

d = diámetro del eje

N = factor de seguridad

Kf = concentradores de esfuerzo (1,2872)

M = momento flector

Sn = límite de fatiga de material (Sn = 0,5 Su)

Su = resistencia máxima del material (Tabla) (Su = 5483 $\frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$)

T= torque

$$d = \left\{ \frac{32(0,4)}{\pi} \left[\left(1,2872 * \frac{5,275 \text{ N.m}}{0,5 * 5483 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}} \right)^2 + \frac{3}{4} \left(\frac{11,7 * 10^3 \text{ Pa}}{5483 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \right\}^{\frac{1}{3}}$$

$$d = 1,959 \text{ cm}$$

El diámetro adecuado para el eje es de 20 mm de espesor.

3.3. Sistemas del simulador de fallas de engranajes

Considerando los aspectos de los equipos que serán necesarios para la construcción del módulo de simulación de fallas de engranajes, se determinan diferentes sistemas en el funcionamiento, los cuales se detallan a continuación.

3.3.1. Sistema de transmisión

Dentro del funcionamiento del módulo de simulación, la relación existente entre el engranaje y piñón hace que se genere un sistema de transmisión; el cual, permite el análisis para determinar el estado de condición del componente con la ayuda del banco de pruebas o rotor kit perteneciente al laboratorio de diagnóstico técnico.

3.3.1.1. Relación de transmisión

Esta relación de transmisión se determina mediante el análisis de los números de dientes del piñón y del engranaje mediante la ecuación establecida a continuación.

$$i = \frac{Z_1}{Z_2} \quad (14)$$

Donde:

i = relación de transmisión

Z_1 = número de dientes del engrane

Z_2 = número de dientes del engrane

Como:

$$Z_1 = 64 \text{ y } Z_2 = 24$$

Se obtiene:

$$i = \frac{64}{24} = 2,667$$

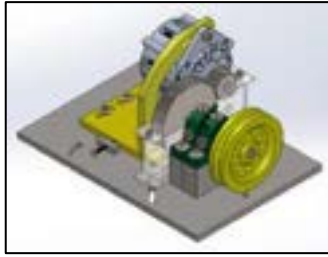


Figura 5-3: Sistema de transmisión

Fuente: (SolidWorks académico2020)

Realizado por: Condemaita, J; Molano, C, 2022

Entonces se puede determinar que la relación de transmisión es de 2,667; es decir, por cada vuelta del engranaje, el piñón dará 2,667 vueltas que es un aproximado de 3 vueltas para el piñón.

3.3.2. Sistema de potencia

Para establecer el sistema de potencia se hace referencia a la utilización de un motor trifásico de 1/2hp, mismo que se ha establecido en relación con la capacidad de trabajo del alternador para tener un funcionamiento estable y que no genere inconvenientes a los estudiantes al momento de ejecutar sus prácticas de laboratorio.

Así también, cada una de las características del motor se encuentran detalladas en la tabla 1-3, para una mayor apreciación de sus capacidades de trabajo.



Figura 6-3: Motor WEG B3D

Fuente:(Bidwell, 2021)

3.3.3. Sistema de lubricación

Para generar la lubricación en de los engranajes conductor y conducido del módulo de simulación de fallas se utilizará un aceite para engranajes automotrices MULTIGEAR EP SAE 85W-140, mismo que cuenta con distintas características de trabajo (Go-j, 2020, p.1)

Beneficios

- Durabilidad de las piezas mecánicas
- Larga vida del aceite
- Protección contra herrumbre y corrosión
- Uso en amplio rango de temperatura
- Notable estabilidad térmica para mayor servicio y vida más prolongada.
- Protección de los dientes contra picaduras, rayaduras y erosiones.
- No son corrosivos con componentes de cobre.

Aprobaciones

- API GL-5
- MIL-L 2105D

En la tabla 6-3 se detallan características del aceite lubricante SAE 85W-140 a utilizar; este tipo de lubricante es utilizado altamente en cajas de cambios y diferenciales de automoción.

Tabla 6-3:Características fisicoquímicas del lubricante SAE 85W-140

Características fisicoquímicas del lubricante SAE 85W-140	
Marca	Texaco
Grado SAE	140
Apariencia	Rojo oscuro
Gravedad API	25,70
Punto de inflamación, COC, °C	210
Punto de fluidez °C	-18
Viscosidad cSt a 40°C	338
Viscosidad cSt a 100°C	25,50
Índice de viscosidad	98
Viscosidad Brookfield	
cP a -26°C	-
cP a -12°C	75,10
Corrosión lámina de cobre 3 horas a 121°C	1B
Cenizas sulfatadas	0,24
Nivel de calidad	MIL-L-2105 D

Fuente:(Go-j, 2020)

Realizado por: Condemaita, J; Molano, C, 2022

Por otro lado, para la protección del juego entre engranajes y su respectiva lubricación se ha elaborado una estructura desmontable de acrílico, misma que será montada entre el motor y alternador del módulo de simulación.

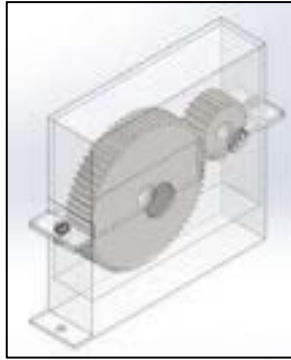


Figura 7-3: Protección del sistema de transmisión

Fuente: (SolidWorksacadémico2020)

Realizado por: Condemaita, J; Molano, C, 2022

3.3.4. Sistema de carga

Para el sistema de carga se ha implementado un alternador que nos permite regular la carga aplicada al funcionamiento el cual consta de características establecidas en la tabla 7-3; así también, para determinar la carga adecuada para el funcionamiento del módulo de simulación de fallas de engranajes se ha determinado parámetros importantes tales como.

- Potencia entregada o también denominada potencia eléctrica nominal
- Potencia eléctrica medida
- Porcentaje de carga a proporcionar en el funcionamiento.

Tabla 7-3: Características del sistema de carga

Características del sistema de carga del módulo de simulación	
Marca	Stecker
Voltaje	14V
Potencia	490 W
Intensidad	35 A
Frecuencia	60 Hz

Realizado por: Condemaita, J; Molano, C, 2022

3.3.4.1. Potencia de entrada o potencia eléctrica nominal

Tomando en cuenta las especificaciones de funcionamiento del motor trifásico WEG a su capacidad máxima las cuales se encuentran detalladas en la tabla 2-3 se procede a determinar la potencia de entrada del sistema de carga mediante la siguiente ecuación.

Teniendo en cuenta como datos base del motor a $P_s = 0,37 \text{ kW}$, $1/2 \text{ hp}$ se procede a determinar a eficiencia de trabajo del motor eléctrico trifásico de corriente alterna, dato que será de utilidad para la determinación de la potencia eléctrica nominal; así tenemos.

$$E_f = \eta = \frac{hp * 746}{\sqrt{3} * V_{L-L} * I * fp} \quad (15)$$

Donde:

$E_f = \eta$ = eficiencia

V_{L-L} = voltaje entre líneas

fp = factor de potencia

Como:

$hp = 0,5$

$V_{L-L} = 440 \text{ V}$

$I = 1,12 \text{ A}$

$FP = 0,6$

Se obtiene:

$$\eta = \frac{0,5 * 746}{\sqrt{3} * 440 * 1,12 * 0,6}$$

$$\eta = 0,728$$

$$\eta = 72,8\%$$

Una vez determinada la eficiencia del motor, procedemos a calcular la potencia eléctrica nominal o potencia de entrada.

$$\eta = \frac{P_s}{P_e} \quad (16)$$

Donde:

η = eficiencia

P_s = potencia mecánica nominal

P_e = potencia eléctrica nominal

Como:

$\eta = 72,8\%$

$$P_s=0,37\text{kW}$$

Se obtiene:

$$P_e = \frac{P_s}{\eta}$$

$$P_e = \frac{0,37\text{kW}}{0,728}$$

$$P_e=0,508 \text{ kW}$$

Considerando los parámetros establecidos por la curva de funcionamiento del alternado y tomando en cuenta que el alternador es de 14 voltios de corriente continuase efectúan los siguientes cálculos a continuación.

3.3.4.2. *Potencia eléctrica medida*

Teniendo en cuenta que los datos de voltaje y corriente para determinar la potencia medida se comprueba con un multímetro y la curva característica del alternador, tenemos.

$$P_{em} = \sqrt{3} * v * I * \text{Cos}(\varphi) \quad (17)$$

Donde:

P_{em} = potencia eléctrica medida

v = voltaje medido

I = intensidad medida

$\text{Cos}(\varphi)$ = factor de potencia

Datos:

$$v = 13,50 \text{ V}$$

$$I = 34,2 \text{ A}$$

$$\text{Cos}(\varphi) = 0,60$$

Entonces

$$P_{em} = \sqrt{3} * (13,50V) * (34,2A) * (0,60)$$

$$P_{em} = 480,37 \text{ W}$$

$$P_{em} = 0,48037 \text{ kW}$$

3.3.4.3. Cálculo de la carga

Una vez determinada la potencia eléctrica y la potencia eléctrica medida se determina el porcentaje de carga del módulo de simulación para su adecuado funcionamiento.

$$\%Carga = \frac{P_{em}}{P_e} * 100\% \quad (18)$$

Datos:

$$P_e = 0,508 \text{ kW y } P_{em} = 0,48037 \text{ kW}$$

Se obtiene:

$$\%Carga = \frac{0,48037 \text{ kW}}{0,508 \text{ kW}} * 100\%$$

$$\%Carga = 0,9456 * 100\%$$

$$\%Carga = 94,56\%$$

Con el 95% de carga nominal se puede determinar que el funcionamiento del motor utilizado para el análisis de modos de fallas en engranajes trabajará a condiciones óptimas debido que el valor encontrado se encuentra en el rango de trabajo.

3.4. Modelación de los componentes

La modelación del módulo de simulación de fallas de engranajes empieza con el dimensionamiento de la base donde serán montados el motor alternador y engranajes, dicha modelación se la realiza mediante el software académico SolidWorks el cual permite determinar características básicas como el peso y material con el que será construido.

3.4.1. Modelación de la base del módulo de simulación

Sobre esta base de acero AISI 1020 va montada la base del alternador, bases para la chumacera, soportes del acrílico y sobre todo las guías para los pernos de anclaje al banco de pruebas o rotor kit; las distancias de cada uno de los soportes y base se han analizado teniendo en cuenta las distancias de los ejes tanto del motor como del alternador.

Hay que considerar que las bases de las chumaceras son soportes del eje entre la rueda dentada y la polea; es decir, en el módulo aparte de determinar fallas en engranajes, éste también servirá para analizar desalineaciones en distintos tipos de poleas.

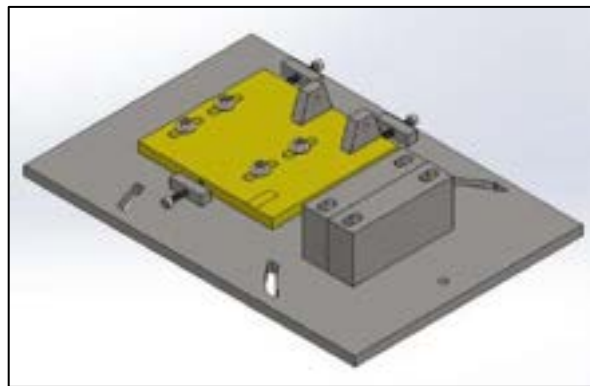


Figura 8-3: Base del módulo de simulación

Fuente: (SolidWorks académico2020)

Realizado por: Condemaita, J; Molano, C, 2022

3.4.1.1. Punto para desalineación angular del módulo de simulación

El punto guía para la desalineación angular del módulo de simulación funciona en conjunto con los ejes guías, teniendo en consideración los siguientes aspectos.

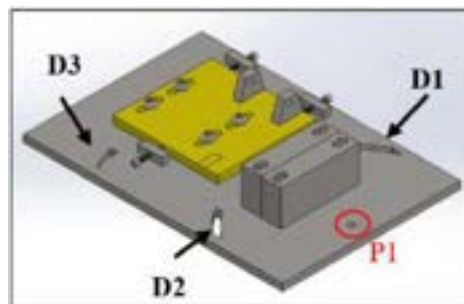


Figura 9-3: Desalineación angular del módulo de simulación

Fuente: (SolidWorks académico2020)

Realizado por: Condemaita, J; Molano, C, 2022

- P1: punto eje o pivote para la desalineación angular del módulo de simulación
- D1, D2 y D3: ejes guías para generar la desalineación angular de poleas, considerando el grado a utilizar en el modo de falla establecido.

3.4.2. Modelación de la base del alternador

Esta base no solo servirá para dar soporte al alternador puesto que, será de gran utilidad para poder determinar fallas de desalineaciones de los distintos tipos de engranajes. Así también, hay que considerar que el material para la construcción de esta base es de acero AISI 1020 idéntico al del módulo de simulación.

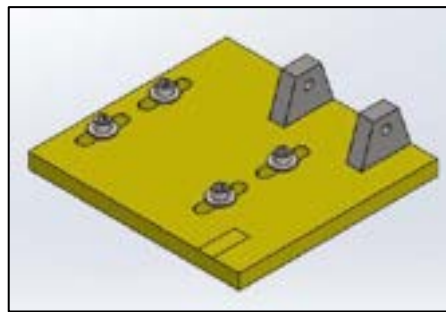


Figura 10-3: Base del alternador

Fuente: (SolidWorks académico2020)

Realizado por: Condemaita, J; Molano, C, 2022

3.4.2.1. Puntos para desalineación lineal en la base del alternador

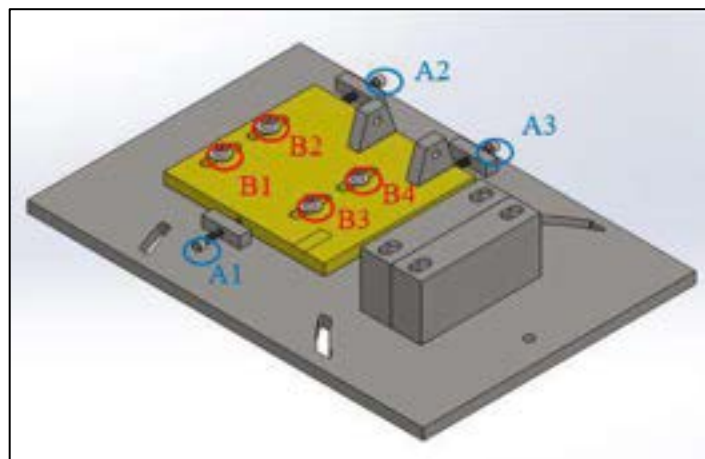


Figura 11-3: Puntos para desalineación lineal

Fuente: (SolidWorks académico2020)

Realizado por: Condemaita, J; Molano, C, 2022

La desalineación lineal para el módulo de simulación de fallas se la puede realizar con la ayuda de la base del alternador puesto que sobre esta base se detallan tornillos y pernos para poder tener una movilidad ya sea para delante o los costados de la base principal, estos movimientos se los puede realizar de la forma detallada a continuación.

- A1, A2 y A3: teniendo en cuenta que la distancia entre las bases de los pernos de desalineación y la base del alternador se encuentran separadas 15 mm; se pueden montar, desmontar y mover la base del alternador ya sea de derecha a izquierda o de arriba hacia abajo, considerando el modo de falla que se desea simular.
- B1, B2, B3 y B4: con la ayuda de estos tornillos de fijación podemos mover la base del alternador de derecha hacia izquierda para generar un mal engrane entre el engranaje y piñón.

En la tabla 8-3 se detallan las dimensiones de cada una de las bases del módulo de simulación para el montaje de los equipos tales como, motor y alternador.

Tabla 8-3: Dimensiones de las bases y soportes del módulo de simulación

Dimensiones de las bases del módulo de simulación					
Elemento	Cantidad	Ancho (mm)	Largo (mm)	Espesor (mm)	Material
Base del módulo de simulación	1	289	420	12	Acero AISI 1020
Base del alternador	1	160	170	12	Acero AISI 1020
Soporte del alternador	3	40	30	20	Acero AISI 1020
Soporte del acrílico N1	1	20	50	12	Acero AISI 1020
Soporte de los tornillos de desalineación N1	3	12	40	12	Acero AISI 1020
Soporte del acrílico N2 y tornillo de desalineación N2	1	20	95,5	12	Acero AISI 1020
Soporte de las chumaceras	2	58,25	127	38	Acero AISI 1020

Realizado por: Condemaita, J; Molano, C, 2022

3.5. Montaje del módulo de simulación

Puesto que el módulo de simulación de fallas de engranajes cuenta de diferentes bases y acoples, éste se la realiza siguiendo un orden cronológico el cual consta de los procedimientos detallados a continuación.

3.5.1. *Montaje de la base del alternador*

En la siguiente imagen se representa el montaje de la base del alternador sobre la base principal del módulo de simulación para en análisis vibracional de ruedas dentadas.

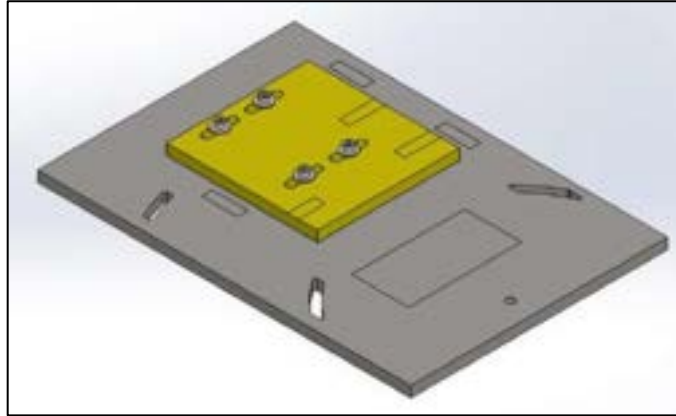


Figura 12-3: Montaje de la base del alternador

Fuente: (SolidWorks académico2020)

Realizado por: Condemaita, J; Molano, C, 2022

3.5.1.1. *Montaje de los soportes del alternador*

Sobre la base del alternador se monta los soportes del alternador y el soporte del acople del alternador para generar rigidez y posteriormente realizar el montaje del piñón.

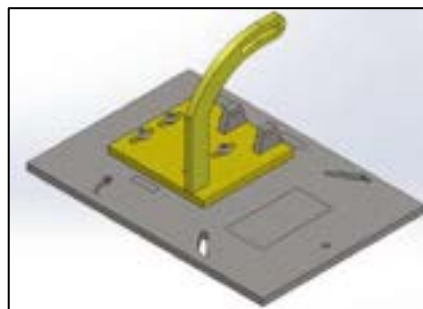


Figura 13-3: Montaje de los soportes del alternador

Fuente: (SolidWorks académico2020)

Realizado por: Condemaita, J; Molano, C, 2022

3.5.2. *Montaje de las bases de los tornillos de desalineación*

Una vez acoplado la base y soportes del alternador, se monta las bases de los pernos de desalineación, a su vez los tornillos de sujeción para poder generar movimientos que van desde los 0 a 15 mm de distancia ya sea a la derecha o izquierda.

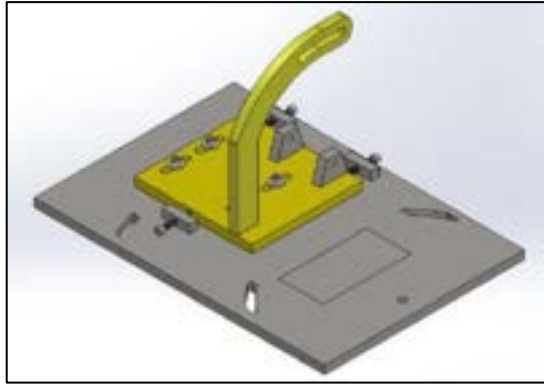


Figura 14-3: Montaje de las bases de desalineación

Fuente: (SolidWorksacadémico2020)

Realizado por: Condemaita, J; Molano, C, 2022

3.5.3. *Montaje de las bases de las chumaceras*

Siguiendo con el proceso de montaje de las bases del módulo de simulación, nos resta el montaje de las bases de la chumacera, mismas que se las representa en la figura 15-3.

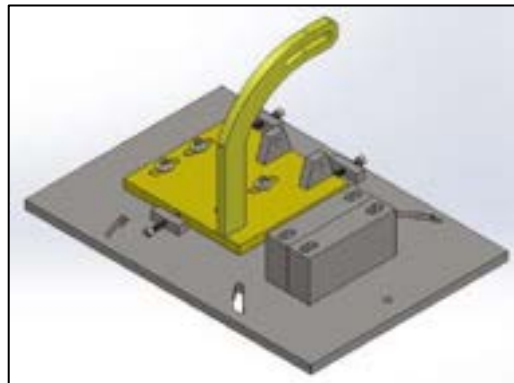


Figura 15-3: Montaje de las bases de las chumaceras

Fuente: (SolidWorks académico 2020)

Realizado por: Condemaita, J; Molano, C, 2022

Una vez terminado el montaje de cada una de las bases que darán soporte a los componentes del módulo de simulación de fallas, se los procede montar de la siguiente manera.

3.5.4. *Montaje del alternador*

Teniendo en cuenta la relación de posición entre el piñón y el engranaje, y la altura del eje para el acople del engranaje junto con la polea, se procede a fijar el alternador mediante los pernos de fijación y acople con la oreja del alternador.

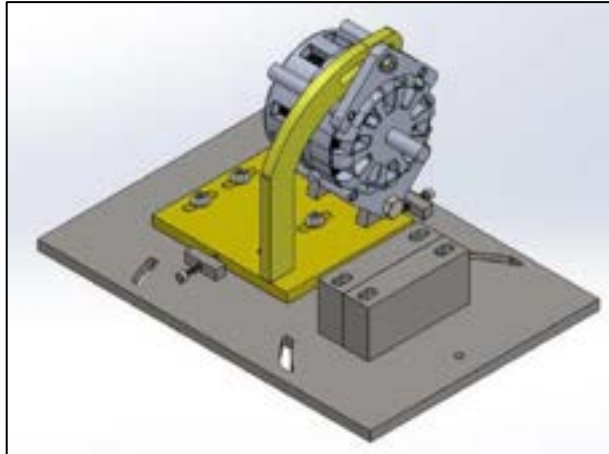


Figura 16-3: Montaje del alternador

Fuente: (SolidWorks académico2020)

Realizado por: Condemaita, J; Molano, C, 2022

3.5.4.1. *Montaje del piñón*

Considerando el número de dientes y la dimensión del eje del piñón se lo procede a montar sobre el alternador, obteniendo un resultado como lo muestra la figura 17-3.

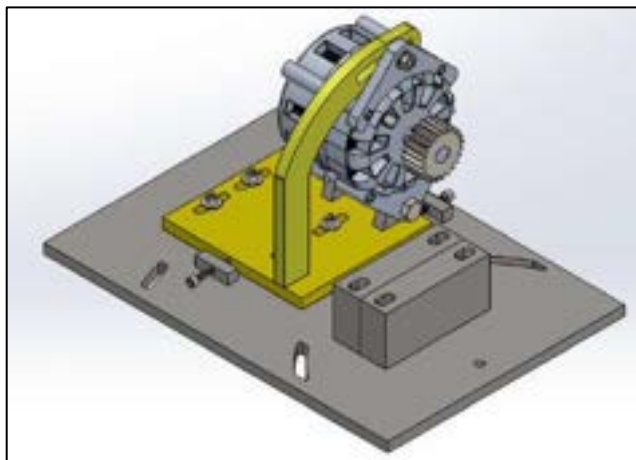


Figura 17-3: Montaje del piñón

Fuente: (SolidWorks académico 2020)

Realizado por: Condemaita, J; Molano, C, 2022

3.5.5. *Montaje de la base de acrílico*

Antes de proceder con el montaje del engranaje, es adecuado montar la base de acrílico y sus tornillos de fijación que servirá para el sistema de lubricación, ver figura 18-3.

3.5.6. *Montaje de las chumaceras*

Teniendo en cuenta que el diámetro interior de las chumaceras es de $\frac{3}{4}$ tal cual el diámetro del eje se procede a montar las chumaceras sobre cada una de sus bases para dar soporte al engranaje y polea del módulo de simulación de fallas, ver figura 19-3.

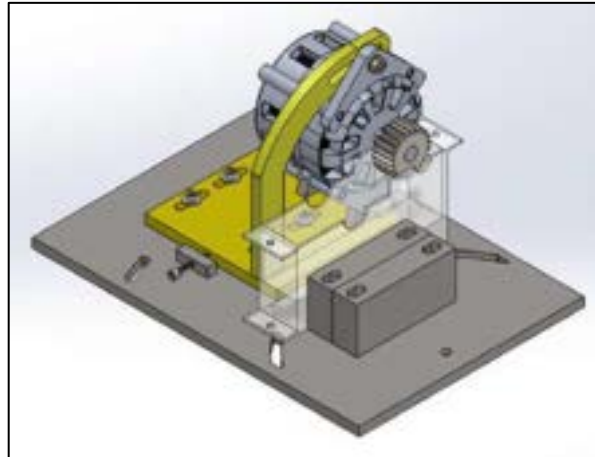


Figura 18-3: Montaje de la base de acrílico

Fuente: (SolidWorksacadémico2020)

Realizado por: Condemaita, J; Molano, C, 2022

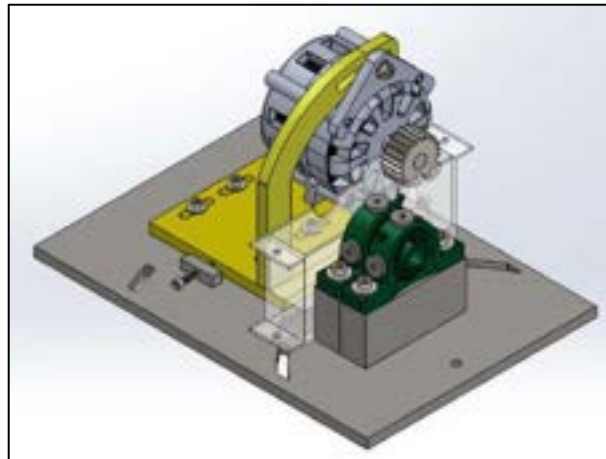


Figura 19-3: Montaje de las chumaceras

Fuente: (SolidWorks académico2020)

Realizado por: Condemaita, J; Molano, C, 2022

3.5.7. *Montaje del eje para el engranaje y polea*

Considerando la altura desde la base del módulo de simulación hasta el centro de las chumaceras, las distancias entre acrílico y bases de las chumaceras, se procede a fijar el eje que dará soporte al engrane y la polea.

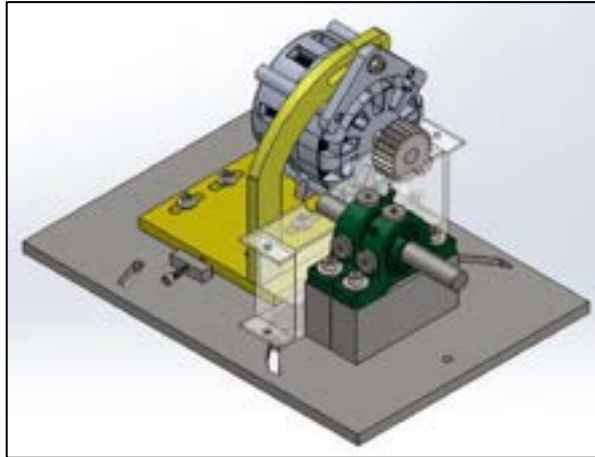


Figura 20-3: Montaje del eje para el engranaje y polea

Fuente: (SolidWorks académico2020)

Realizado por: Condemaita, J; Molano, C, 2022

3.5.8. *Montaje del engranaje y polea*

Para finalizar con el montaje del módulo de simulación de fallas de engranajes se acopla el engrane y la polea, las cuales permitirán la relación de transmisión mediante una correa con el módulo de desalineación de ejes el cual consta del motor de ½ hp.

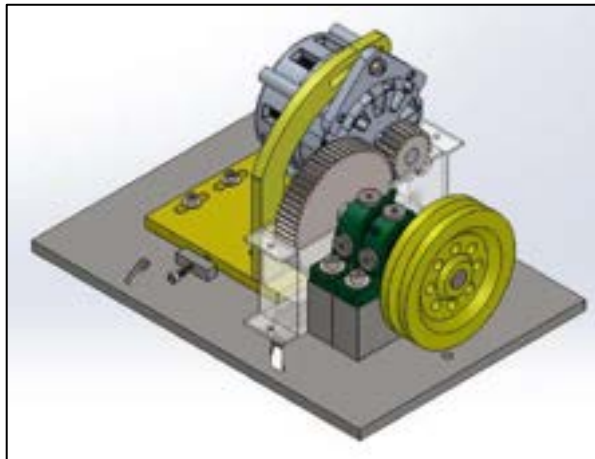


Figura 21-3: Montaje del engrane y polea

Fuente: (SolidWorks académico2020)

Realizado por: Condemaita, J; Molano, C, 2022

3.5.9. *Montaje del acople de acrílico*

Una vez finalizado el montaje de los equipos y componentes pertenecientes al módulo de simulación, se procede a dar la protección total al sistema de transmisión evitando el derrame del aceite debido a la lubricación de los engranajes tal y como se muestra en la figura 22-3.

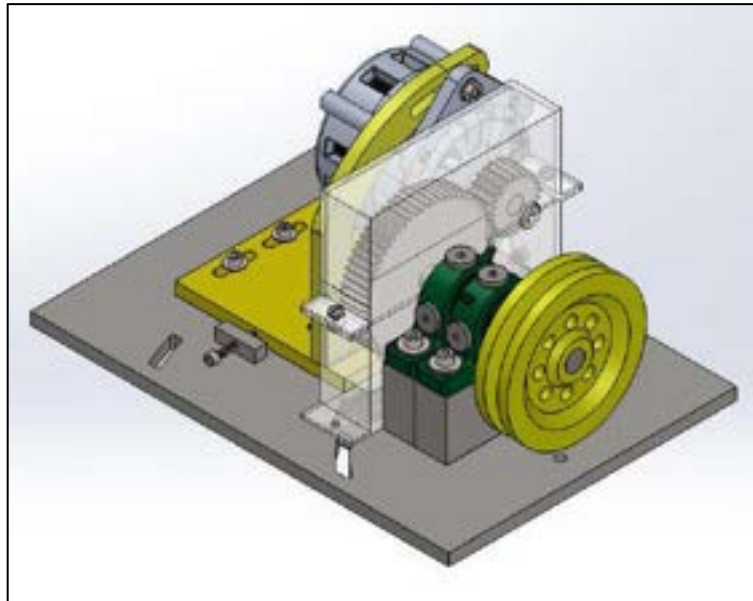


Figura 22-3: Montaje de la protección de acrílico

Fuente: (SolidWorks académico2020)

Realizado por: Condemaita, J; Molano, C, 2022

3.6. Diseño y construcción de la mesa para la implementación del módulo

Debido al tamaño y peso del módulo de simulación de fallas, se ha diseñado una mesa que servirá de soporte para realizar las actividades o análisis de fallas sin ningún inconveniente. Esta mesa tiene las siguientes características.

Tabla 9-3: Dimensiones de la mesa del módulo de simulación

Dimensiones de la mesa del módulo de simulación					
Parte	Cantidad (mm)	Largo (mm)	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Material
Base	1	900	800	6	Acero 1020
Soportes	4	900	76,2	3	Acero 1020

Realizado por: Condemaita, J; Molano, C, 2022

3.6.1. Diseño de la mesa

Teniendo en cuenta las bases de los módulos de simulación a implementar tales como, resonancia, desbalanceo, desalineación, excentricidad, etc., se ha diseñado el modelo de la mesa que llevará acabo dicha función, la cual consta de pernos de ajuste sobre la parte inferior mismos que permitirán estabilizar la mesa sobre la superficie; el peso total de este componente es de 295,16 kilogramos.



Figura 23-3: Diseño de la mesa del módulo

Fuente: (SolidWorks académico2020)

Realizado por: Condemaita, J; Molano, C, 2022

3.6.2. Compra de materiales

Una vez analizado todos los materiales que se van a necesitar a partir de los planos realizados y mostrados en la tabla 9-3 se procedió a su respectiva compra, para comenzar con la construcción de la mesa que servirá de soporte para el módulo de simulación.

3.6.3. Compra de planchas y tubos de acero

Una vez definido el espesor y la base del módulo de simulación, se procedió con la compra de las partes de la mesa tales como su base que es de acero 1020 y sus soportes.



Figura 24-3: Adquisición de material para las mesas

Realizado por: Condemaita, J; Molano, C, 2022

3.6.4. Selección de color para acabado de la mesa

Para evitar que las mesas sufran corrosión con el pasar del tiempo, se decidió darles un recubrimiento de pintura de tipo caudal azul AZ057-A la cual protegerá al metal y evitará ataques de corrosión por diferentes factores ambientales como la humedad; así también, dicha protección prolongará la vida útil.



Figura 25-3: Selección del color de la mesa

Realizado por: Condemaita, J; Molano, C, 2022

3.6.5. Construcción de la mesa

3.6.5.1. Proceso de soldadura de los soportes y la base de la mesa

Una vez que se obtuvieron los cortes de las planchas para las bases de las mesas y los tubos de los soportes, se procedió a utilizar una soldadora tipo MIC para poder armar y pintar las mesas.



Figura 26-3: Mesas para el módulo de simulación

Realizado por: Condemaita, J; Molano, C, 2022

3.7. Construcción del módulo de simulación de fallas de engranajes

Para empezar la construcción del módulo de simulación de fallas se procedió con la compra de materiales considerando las dimensiones y características de cada uno de los equipos y componentes ya analizados en los planos realizados mediante el programa SolidWorks académico.

3.7.1. Compra de equipos y materiales

Se procedió con la compra de las planchas de acero 1020 para las bases y a su vez la compra del motor y el alternador para el módulo.

3.7.1.1. Compra de las bases de acero

Con los planos realizados en el programa SolidWorks académico se pudo calcular el total de planchas de acero 1020 necesarias para la realización de las bases de cada uno de los módulos de simulación.



Figura 27-3: Compra de las bases para las mesas

Realizado por: Condemaita, J; Molano, C, 2022

3.7.1.2. Compra de motor y alternador para el módulo

Teniendo en cuenta las características expuestas en la tabla 2-3 y tabla 3-3 de este apartado, se procede a la compra de los equipos para el módulo de simulación.



Figura 28-3:Adquisición de alternadores

Realizado por: Condemaita, J; Molano, C, 2022

3.7.2. Mecanizado de partes y componentes del módulo

3.7.2.1. Corte de material para de las bases

Se procedió a cortarlas planchas de acero 1020 de tal manera que éstas queden en las dimensiones ya establecidas en los planos realizados con anterioridad en el programa SolidWorks académico.



Figura 29-3:Corte de las bases de acero 1020

Realizado por: Condemaita, J; Molano, C, 2022

3.7.2.2. Mecanizado de las bases del módulo

Una vez determinado las dimensiones del módulo de simulación, se procede con la mecanización de cada una de las bases mediante una fresadora tal como se muestra en la figura 30-3.



Figura 30-3:Mecanizado de las bases de acero 1020

Realizado por: Condemaita, J; Molano, C, 2022

3.7.2.3. *Mecanizado de las bases de las chumaceras*

Debido a la posición de ajuste que tiene el alternador, las bases para las chumaceras se las mecanizó de dos en dos para tener una altura uniforme y no generar pandeo o desalineación del eje que dará soporte tanto a la chumacera como a la polea.



Figura 31-3:Mecanizado de las bases de las chumaceras

Realizado por: Condemaita, J; Molano, C, 2022

3.7.2.4. *Mecanizado del piñón y el engranaje*

Teniendo en cuenta los cálculos establecidos para el diseño del piñón y engranaje del módulo de simulación se procedió a mecanizar cada uno de estos en acero de transmisión como se muestra en la siguiente figura.



Figura 32-3:Mecanizado del piñón

Realizado por: Condemaita, J; Molano, C, 2022

Una vez terminado el proceso de mecanizado se obtiene como resultado 4 piñones y 4 engranajes que servirán para el estudio del análisis vibracional del módulo de simulación.



Figura 33-3:Resultado del mecanizado de piñones

Realizado por: Condemaita, J; Molano, C, 2022

Teniendo en cuenta que el piñón va acoplado al eje del alternador y el engranaje va acoplado al eje de las chumaceras, los engranajes fueron diseñados para ser implementados o ajustados por prisioneros tal y como muestra la figura 30-3.



Figura 34-3:Resultado del mecanizado de engranajes

Realizado por: Condemaita, J; Molano, C, 2022

3.7.3. *Proceso de montaje del módulo*

Una vez terminado con el mecanizado de cada una de las bases y componentes procedemos con el montaje en serie del módulo de simulación.



Figura 35-3: Montaje del piñón sobre el eje del alternador

Realizado por: Condemaita, J; Molano, C, 2022

Siguiendo con el ensamble, procedemos a ubicar cada una de las chumaceras en las bases para agruparlas de dos en dos y ubicarlas en cada uno de los módulos.



Figura 36-3: Montaje de las chumaceras

Realizado por: Condemaita, J; Molano, C, 2022

Teniendo en consideración los planos establecidos, procedemos a rayar o marcar cada una de las bases mecanizadas para poder generar un acople adecuado.



Figura 37-3:Montaje de las bases

Realizado por: Condemaita, J; Molano, C, 2022

Una vez acoplado las chumaceras, el alternador y el piñón,procedemos con el acople del eje, engranaje y polea para poder establecer las distancias de las bases de las chumaceras y mediante una suela Mic dar estabilidad a cada una de estas.



Figura 38-3:Acople del eje de soporte

Realizado por: Condemaita, J; Molano, C, 2022



Figura 39-3:Fijación de las bases de las chumaceras

Realizado por: Condemaita, J; Molano, C, 2022

Luego de terminar soldando cada una de las bases de las chumaceras, procedemos con la perforación de los ojos chinos mediante una cortadora de plasma para la desalineación angular en la base principal del módulo de simulación.



Figura 40-3:Perforación de ojos chinos

Realizado por: Condemaita, J; Molano, C, 2022

Continuando con el montaje del módulo, procedemos con el acople del tensor del alternador mismo que se ha elaborado con cierto ángulo de movimiento para generar desalineación lineal.



Figura 41-3:Acople del tensor del alternador

Realizado por: Condemaita, J; Molano, C, 2022

Luego de acoplar todas las bases fijas y móviles del módulo de simulación procedemos con la construcción de la caja de protección de acrílico misma que servirá para poder generar lubricación por salpicadura desde el engranaje hasta el piñón del alternador.



Figura 42-3:Protección de los engranajes

Realizado por: Condemaita, J; Molano, C, 2022

Una vez finalizada la construcción del módulo de simulación es necesario generar una protección superficial a cada una de las bases para evitar corrosión y picadura con el pasar del tiempo; así también, se procede a dar varias capas de pintura con el color seleccionado en cada una de las partes móviles del módulo.



Figura 43-3:Bases del módulo sin protección superficial

Realizado por: Condemaita, J; Molano, C, 2022



Figura 44-3:Protección superficial del módulo

Realizado por: Condemaita, J; Molano, C, 2022

Una vez generada la protección superficial tanto de las partes fijas y móviles del módulo de simulación se realiza el montaje completo tanto del módulo de desalineación de ejes y el módulo de análisis de fallas de engranajes.



Figura 45-3:Acople de los módulos de simulación

Realizado por: Condemaita, J; Molano, C, 2022

Para finalizar con la implementación total del módulo de simulación se procede a montar sobre la mesa de soporte para generar el acople con los otros módulos en conjunto.



Figura 46-3:Montaje total del módulo de simulación

Realizado por: Condemaita, J; Molano, C, 2022

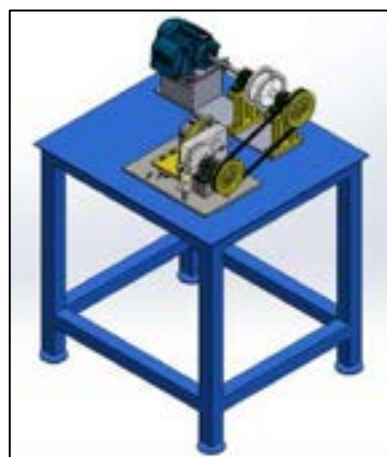


Figura 47-3:Diseño final en SolidWorks académico

Realizado por: Condemaita, J; Molano, C, 2022

3.8. Puesta en marcha del módulo de simulación

Luego de terminar el acople y adaptación del módulo de simulación en el laboratorio de Diagnóstico Técnico y Eficiencia Energética procedemos con las pruebas de funcionamiento a condiciones normales de operación.

Para realizar estas pruebas de funcionamiento se ha considerado una frecuencia de trabajo para un análisis comparativo de los espectros de velocidad y aceleración obtenidos a 60Hz.



Figura 48-3:Fijación de pernos de anclaje antes de la puesta en marcha

Realizado por: Condemaita, J; Molano, C, 2022

Una vez asegurado cada uno de los pernos de anclaje del módulo de simulación se procede con la fijación de los acelerómetros en los puntos de análisis para la toma de datos.

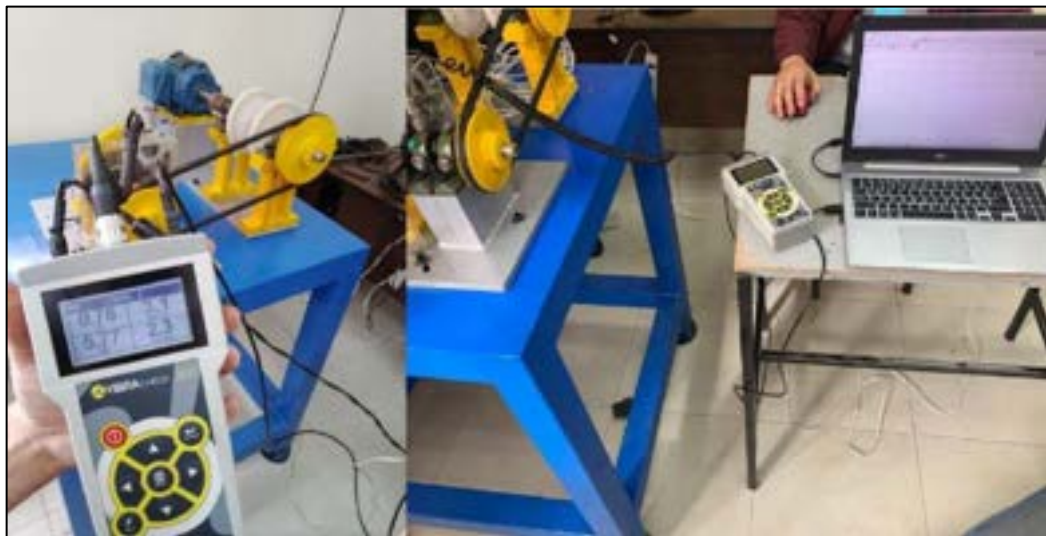


Figura 49-3:Pruebas de funcionamiento del módulo de simulación

Realizado por: Condemaita, J; Molano, C, 2022

3.9. Recolección de datos del módulo de simulación

Para poder recolectar los datos de los modos de falla adecuados en los distintos módulos de simulación, primero se determina la frecuencia natural para realizar una comparación con la frecuencia de trabajo del motor y verificar que los picos generados con la frecuencia natural no sean iguales a los picos del equipo motriz.

Teniendo en cuenta que los puntos y los apoyos para la toma de datos del módulo de simulación de fallas de engranajes se encuentran en las chumaceras, se ha determinado la frecuencia natural en los puntos horizontal y vertical del eje conducido; por otro lado, considerado que el análisis de cada uno de los espectros determinados por el software MAINTraQ Viewer se lo realizará en el apartado del capítulo 4, se presentan a continuación los valores obtenidos en el proceso.

3.9.1. Método recolección de mediciones

Para proceder con la toma de resultados de cada uno de los modos de fallos es necesario tener a consideración los siguientes aspectos.

- Adecuar el modo de falla en cada módulo
- Precisar el modo de falla en la mesa construida para dichos análisis.
- Establecer y colocar cierta cantidad lubricante SAE 85W-140
- Conectar el regulador de volate a una escala de 6V de CC.
- Tener en cuenta la refrigeración del alternador misma que se la debe realizar a una presión adecuada.
- Analizar que los puntos para la toma de mediciones se encuentren fijados correctamente

Teniendo en cuenta la fijación de los puntos para la toma de mediciones, procedemos con la ubicación de los equipos respectivos para la toma de resultados de vibración.

3.9.2. Método para la recolección de datos

Esta recolección de datos se la ha efectuado con el equipo conocido como Vibracheck 200 ABG existente en el laboratorio de Diagnóstico Técnico de la carrera, mismo que será acompañado de un colector de datos y acelerómetro; por otro lado, para determinar las velocidades de transmisión se la ha realizado mediante una foto-tacómetro, cada uno de estos equipos se presentan en la siguiente figura.



Figura 50-3:Analizador de vibraciones

Realizado por: Condemaita, J; Molano, C, 2022

3.9.3. Frecuencias naturales

3.9.3.1. Frecuencia natural en el punto horizontal

En la figura a continuación se presenta el espectro característico de la frecuencia natural obtenida al generar un ligero golpeteo en la parte superior del engranaje.

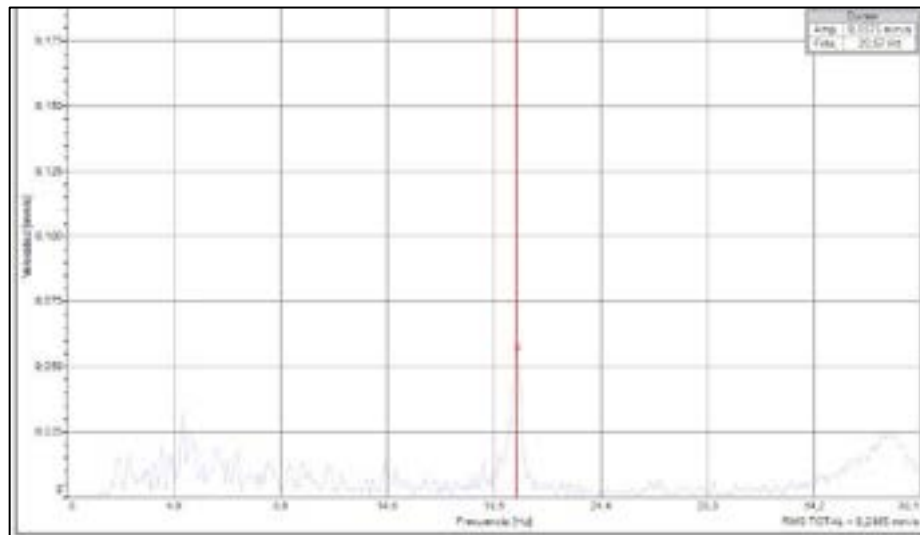


Figura 51-3:Frecuencia natural en el punto horizontal

Fuente: (MAINTraq Viewer 3.1)

Realizado por: Condemaita, J; Molano, C, 2022

Los valores expresados en la tabla 10-3 son resultantes de la relación de la velocidad vs la frecuencia en el módulo de simulación.

Tabla 10-3:Frecuencia natural en el punto horizontal

FRECUENCIA NATURAL EN EL PUNTO HORIZONTAL				
Denominación	Valor			
	Módulo 1	Módulo 2	Módulo 3	Módulo 4
Frecuencia	20,57 Hz	21,27 Hz	20,97 Hz	20,37 Hz

Realizado por: Condemaita, J; Molano, C, 2022

3.9.3.2. *Frecuencia natural en el punto vertical*

Continuando con la determinación de la frecuencia natural se retira el acelerómetro del punto horizontal y se lo coloca en el punto vertical de análisisubicado en el costado de la chumacera, obteniendo.

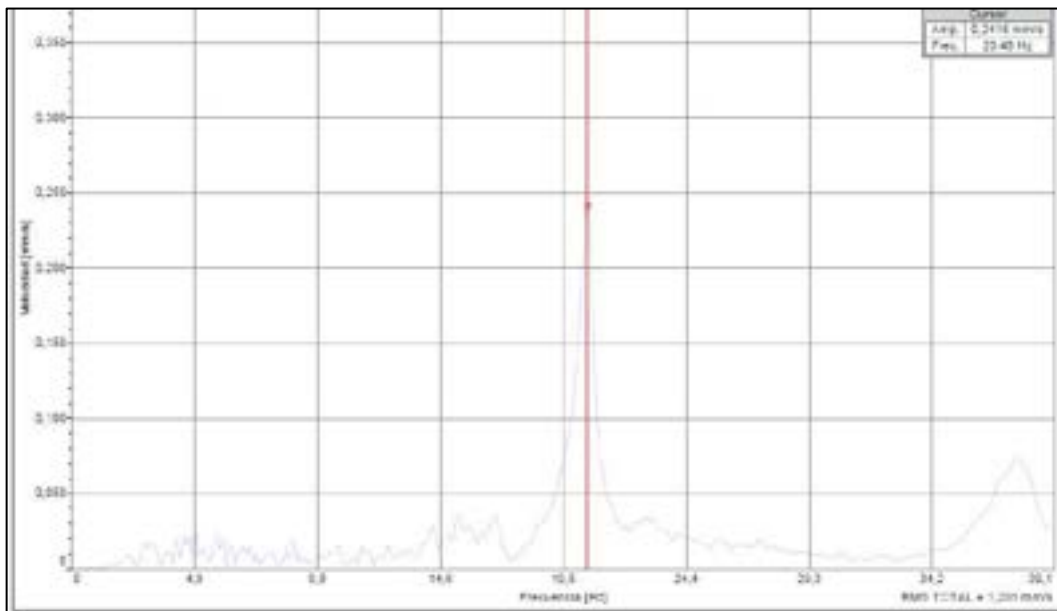


Figura 52-3:Frecuencia natural en el punto vertical

Fuente: (MAINTraQ Viewer 3.1)

Realizado por: Condemaita, J; Molano, C, 2022

Los valores expresados en la tabla 11-3 son resultantes de la relación de la velocidad vs la frecuencia en el módulo de simulación.

Tabla 11-3:Frecuencia natural en el punto vertical

FRECUENCIA NATURAL EN EL PUNTO VERTICAL				
Denominación	Valor			
	Módulo 1	Módulo 2	Módulo 3	Módulo 4
Frecuencia	20,48 Hz	21,27 Hz	20,86 Hz	21,61 Hz

Realizado por: Condemaita, J; Molano, C, 2022

Una vez determinada las frecuencias naturales en los puntos de análisis, se realiza una medición de los valores tanto de velocidad, aceleración y envolvente de cada modo de falla adecuado al módulo, teniendo en cuenta que para el funcionamiento consta de un eje motriz y un eje conducido, de tal manera que los datos son diferentes.

Así también, para la toma de datos con el eje motriz el acelerómetro se coloca en los puntos o insertos del motor y para el eje conducido el acelerómetro se coloca en los insertos de las chumaceras del módulo de simulación de fallas de engranajes ya sea para medición horizontal o vertical respectivamente.



Figura 53-3:Toma de datos con el eje motriz

Realizado por: Condemaita, J; Molano, C, 2022

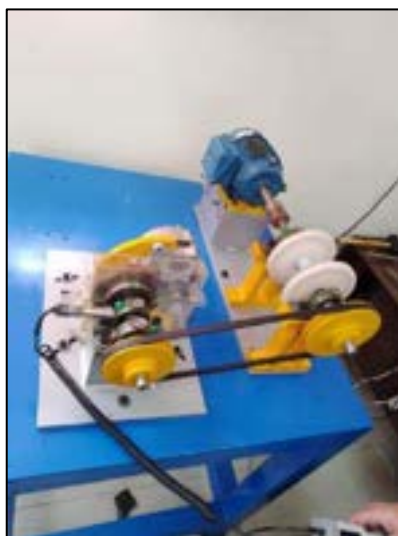


Figura 54-3:Toma de datos con el eje conducido

Realizado por: Condemaita, J; Molano, C, 2022

3.9.4. Módulo a condiciones normales

Los datos del módulo a condiciones normales serán de utilidad para en análisis comparativo mediante ondas espectrales y cuantitativo mediante aceleración, tiempos y rms totales dependiendo el modo de falla analizado.

Teniendo en cuenta que para el funcionamiento del módulo de simulación de falla de engranajes es necesario de un eje motriz para generar movimiento al engranaje; a continuación, se presentan los valores obtenidos en el eje conducido y a su vez se presentan los valores globales de los datos obtenidos en el software para poder generalizar cada uno de estos.

Punto	Plataformas	Última	Anterior	Variación	Alarma	Peligro	Fecha
1-VERTICAL	SMP-6202	3.028 [g]	1.019 [g]	198 %	1 [g]	7 [g]	10/12/2021
		20.3 [mm/s]	5.71 [mm/s]	256 %	4.5 [mm/s]	9 [mm/s]	
		9.289 [µE]	8.482 [µE]	9 %	2 [µE]	3 [µE]	
		127 [µm]	74.4 [µm]	68 %	50 [µm]	100 [µm]	
1-HORIZONTAL	--	1.874 [g]	1.573 [g]	24 %	1 [g]	2 [g]	10/12/2021
		7.47 [mm/s]	6.26 [mm/s]	17 %	4.5 [mm/s]	9 [mm/s]	
		6.079 [µE]	5.912 [µE]	-4 %	2 [µE]	1 [µE]	
		94.2 [µm]	85.9 [µm]	17 %	50 [µm]	100 [µm]	
1-AXIAL	SMP-6202	0.492 [g]	0.909 [g]	-3 %	1 [g]	7 [g]	8/11/2021
		2.16 [mm/s]	2.26 [mm/s]	-4 %	4.5 [mm/s]	9 [mm/s]	
		1.21 [µE]	1.781 [µE]	-32 %	2 [µE]	3 [µE]	
		29 [µm]	31.9 [µm]	-9 %	50 [µm]	100 [µm]	

Figura 55-3: Valores determinados en el Software

Fuente: (MAINTraq Viewer 3.1)

Realizado por: Condemaita, J; Molano, C, 2022

Tabla 12-3: Valores obtenidos a condiciones normales

VALORES OBTENIDOS DEL MÓDULO CON ENGRANAJE DE DIENTE ROTO				
Punto	Magnitud	Mediciones		Variación (%)
		Última	Anterior	
Vertical	Aceleración	1,16 [g]	0,93[g]	26
	Velocidad	5,12 [mm/s]	3,68 [mm/s]	39
	Envolvente	6,81 [gE]	4,37 [gE]	56
	Desplazamiento	105,50 [µm]	80,90 [µm]	30
Horizontal	Aceleración	1,63 [g]	1,41 [g]	15
	Velocidad	6,40 [mm/s]	5,47 [mm/s]	17
	Envolvente	6,86 [gE]	8,31 [gE]	-17
	Desplazamiento	148,60 [µm]	128,60 [µm]	16

Realizado por: Condemaita, J; Molano, C, 2022

Dentro de cada eje establecido se consideran los puntos de análisis horizontal y vertical los cuales generan valores distintos para el análisis individual.

3.9.5. Módulo con diente roto

Considerando la relación de transmisión existente tanto para las poleas y los engranajes, los valores obtenidos por el analizador de vibraciones son los siguientes.

Tabla 13-3: Valores obtenidos con engrane de diente roto

VALORES OBTENIDOS DEL MÓDULO CON ENGRANAJE DE DIENTE ROTO				
Punto	Magnitud	Mediciones		Variación (%)
		Última	Anterior	
Vertical	Aceleración	1,02 [g]	0,64 [g]	59
	Velocidad	5,71 [mm/s]	2,87[mm/s]	99
	Envolvente	8,48 [gE]	3,26 [gE]	160
	Desplazamiento	74,40[μm]	42,6 [μm]	75
Horizontal	Aceleración	1,51 [g]	1,52 [g]	-1
	Velocidad	6,56 [mm/s]	7,68 [mm/s]	-15
	Envolvente	5,91 [gE]	5,52 [gE]	7
	Desplazamiento	80,3[μm]	87,80 [μm]	-9

Realizado por: Condemaita, J; Molano, C, 2022

3.9.6. Módulo para encuentro entre dientes

Deigual forma que en el modo de falla de dientes rotos, se presentan valores encontrados con el modo de falla de encuentro de dientes para determinar su condición mediante un análisis cualitativo y cuantitativo.

Tabla 14-3: Valores obtenidos con encuentro de dientes

VALORES DEL MÓDULO CON ENGRANAJE DE DIENTE ROTO - CONDUCTIDO				
Punto	Magnitud	Mediciones		Variación (%)
		Última	Anterior	
Vertical	Aceleración	0,872 [g]	0,796 [g]	10
	Velocidad	3,44 [mm/s]	3,33 [mm/s]	3
	Envolvente	9,905 [gE]	6,421 [gE]	54
	Desplazamiento	53,1[μm]	56 [μm]	-5
Horizontal	Aceleración	0,972 [g]	1,007 [g]	-3
	Velocidad	5,06 [mm/s]	5,15 [mm/s]	-2
	Envolvente	3,381 [gE]	5,013 [gE]	-33
	Desplazamiento	65,2 [μm]	61,9 [μm]	5

Realizado por: Condemaita, J; Molano, C, 2022

3.9.7. Desalineación lineal

A comparación con los análisis realizados con anterioridad, en este modo de falla no es necesario la existencia de algún diente roto ya que se puede realizar el análisis con un engrane a condiciones normales en el cual solamente se varían las distancias entre centros.

Los puntos de análisis no influyen en el análisis de la desalineación lineal ya que con la misma desalineación generada se toma los datos ya sea en el punto horizontal o vertical; así también, se ha considera el análisis solo en el eje conducidodebido a la variación en la base del alternador.

Tabla 15-3: Valores obtenidos con desalineación


VALORES OBTENIDOS DEL MÓDULO CON ENGRANAJE DE DIENTE ROTO				
Punto	Magnitud	Mediciones		Variación (%)
		Última	Anterior	
Vertical	Aceleración	1,52 [g]	1,56 [g]	-3
	Velocidad	2,95 [mm/s]	3,40 [mm/s]	-13
	Envolvente	7,99 [gE]	9,56 [gE]	-16
	Desplazamiento	37,30 [µm]	54,50 [µm]	-31
Horizontal	Aceleración	2,22 [g]	1,91 [g]	16
	Velocidad	7,17 [mm/s]	5,56 [mm/s]	29
	Envolvente	10,94 [gE]	8,40 [gE]	30
	Desplazamiento	76,30 [µm]	75,90 [µm]	1

Realizado por: Condemaita, J; Molano, C, 2022

3.10. Análisis técnico económico


En la construcción del módulo de simulación que será de gran importancia para el rotor kit del laboratorio se realizaron algunas actividades, mismas que tuvieron costos diferentes los cuales detallamos a continuación.

Tabla 16-3: Costo de las bajantes para los módulos de simulación

		Detalle económico de las bajantes para los tableros de control				
Detalle de costos		N°	001			
Versión 1		Módulo de simulación de engranajes				
11/02/2022						
N°	Descripción	Uni.	Cant.	P. Unitario (USD)	P. total (USD)	
1	Conductor CU superflex 3x8 incable	m	20	4,84	96,80	
2	Conductor CU THHN solido #10	m	40	0,74	29,60	
3	Cajetín galvanizado octogonal grande	u	4	0,35	1,40	
4	Tubo EMT 3/4 19mm x 3m	u	4	4,88	19,52	
5	Codo EMT 19mm o 3/4 extranjero	u	4	0,71	2,84	
6	Unión EMT 3/4 19mm extranjero	u	4	0,26	1,04	
7	Conector EMT 3/4 19mm extranjero	u	8	0,29	2,32	
8	Tomacte clavija semiempotrable 3p+t 16a	u	4	9,01	36,03	
9	Tomacte doble polarizado blanca plata x	u	4	1,85	7,40	
10	Caja de paso 18x14x8 plástica gris dexion	u	4	9,15	36,60	
11	Taco fischer # 6 (25 UND)	u	2	0,29	0,58	
12	Tornillo cola de pato 1 x 8 (25 UND)	u	2	0,54	1,08	
13	Cinta aislante 3/4 20 YDS	u	3	0,95	2,85	
14	Abrazadera metálica 19mm o 3/4	u	15	0,13	1,95	
Valor total + IVA					268,82	


Realizado por: Condemaita, J; Molano, C, 2022

Tabla 17-3: Costo del módulo de simulación de engranajes

		Detalle económico del módulo de simulación				
Versión 1		Detalle de costos		N°	002	
11/02/2022		Módulo de simulación de engranajes				
N°	Descripción	Uni.	Cant.	P. Unitario (USD)	P. total (USD)	
1	Alternador	u	4	65,00	260,00	
2	Engranajes	u	4	60,00	240,00	
3	Piñones	u	4	20,00	80,00	
4	Ejes	u	1	8,00	8,00	
5	Poleas	u	4	26,75	107,00	
6	Tuerca, pernos	u	52	0,32	16,64	
7	Perno eje alternador	u	4	1,75	7,00	
8	Arandelas	u	52	0,06	2,96	
9	Chumaceras	u	8	9,00	72,00	
10	Acrílicos	u	4	25,00	100,00	
11	Bandas	u	4	3,00	12,00	
12	Lubricante	lt	2	18,00	16,00	
Costo total					921,60	

Realizado por: Condemaita, J; Molano, C, 2022


Tabla 18-3: Costo de la implementación del rotor kit

		Detalle económico general				
Versión 1		Detalle de costos		N°	003	
11/02/2022		Rotor kit				
N°	Descripción	Uni.	Cant.	P. Unitario (USD)	P. total (USD)	
1	Motores weg w22 0.5 hp	u	8	127,92	1023,36	
2	Bombas centrifugas	u	4	48,76	195,04	
3	Chumaceras	u	8	9,00	72	
4	Ejes	u	4	8,00	32	
5	Ejes para insertos	u	1	3,50	3,5	
6	Mesa de los tableros de control	u	4	60,00	240	
7	Tiñer	lt	3	1,50	4,5	
8	Manómetros	u	4	7,70	30,8	
9	Cola	u	1	2,00	2	
10	Baldes	u	4	7	28	
11	Eje de transmisión	u	1	6,71	6,71	
12	Removedor w-40	u	1	5	5	
13	Compra de material	-	1	1354,67	1354,67	
14	Pernos y prisioneros	-	1	198,52	198,52	
15	Nylon con corte	-	1	110,00	110	
16	Machuelos	-	1	6,75	6,75	
17	Tornillos para insertos	-	1	3,50	3,5	
18	Protecciones para las patas de la mesa	-	1	60,35	60,35	
19	Accesorios para tanques	-	1	177,80	177,8	
20	Acoples	-	1	218,04	218,04	
21	Transportes de equipos y componentes	-	1	64,00	64	
22	Cable solido	-	1	5,70	5,7	
23	Fuentes de voltaje	-	1	289,25	289,25	
24	Rodamientos	-	1	29	29	
25	Tablero de control	-	1	2797,00	2797	
26	Mano de obra	-	1	3033,31	3033,31	
Costo total					9990,8	

Realizado por: Condemaita, J; Molano, C, 2022

Considerando que los gastos para la implementación del rotor kit fueron considerados para un total de estudiantes de 18, los valores presentados a continuación son establecidos sin ninguna corrección alguna al módulo ya que dichas correcciones fueron realizadas de manera individual, por tal motivo se presenta el valor correspondiente por estudiante.

Tabla 19-3: Costo por estudiante para la implementación del rotor kit

		Detalle económico total			
		Detalle de costos	N°	004	
Versión 1		Costos por estudiante			
11/02/2022					
N°	Descripción	Uni.	Cant.	P. Unitario (USD)	P. total (USD)
1	Costo bajantes	-	1	268,82	268,82
2	Costo módulos de simulación de engranajes	-	1	921,60	921,60
3	Costos generales	-	1	9990,8	9990,8
Valor por estudiante					621,18

Realizado por: Condemaita, J; Molano, C, 2022

El valor utilizado por estudiante en la implementación del rotor kit es de 621 dólares con 18 centavos.

3.11. Principales inconvenientes en la recolección de datos

Teniendo en cuenta la cantidad de equipos existentes para el diagnóstico vibracional y la cantidad de módulos implementados en el laboratorio de Diagnóstico Técnico y Eficiencia Energética la recolección de datos se la realizo en periodos de tiempo; puesto que, por cada módulo implementado se necesita generar distintos armónicos o espectros de vibración para un análisis comparativo de los mismos.

CAPÍTULO IV

4. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

En el presente capítulo se ejecuta la recolección de los datos arrojados por el módulo de simulación alVibracheck, para establecer una metodología de análisis y determinar el estado de cada uno de los engranajes de estudio.

Para poder generar la recolección de datos es necesario alinear radialmente el piñón y el engrane para poder obtener resultados precisos.

4.1. Análisis de modos de fallas

Para la recolección de datos se establecerán a cada módulo un fallo; es decir, 3 serán acoplados como modo de fallo y un módulo a condiciones normales de los engranajes, así tenemos.

- Engrane con diente roto
- Encuentro entre dientes
- Desalineación lineal
- Condiciones normales

4.1.1. *Engranaje con diente roto*

Para poder determinar valores en este modo de falla se ha considerado que el engranaje tenga un diente roto mismo que pueda generar vibración.

4.1.2. *Encuentro entre dientes*

Este modo de fallas es más conocido como encuentro entre dientes debido a que dentro del número de dientes existen dos dientes rotos consecutivos mismos que generan vibraciones considerables que pueden afectar al sistema de transmisión.

4.1.3. *Desalineación lineal*

Para poder determinar y analizar este modo de falla es necesario realizar movimientos en la placa del alternador mismos que puede tomar valores que van desde 0 a 15 mm de distancia.

4.2. Mediciones obtenidas con el Vibracheck 200 ABG

Considerando que el motor de análisis consta de rodamientos de tipo 6202 SKF los datos expresados a continuación corresponden a los ensayos realizados.

4.2.1. Medición de vibraciones a condiciones normales de los engranajes

Este tipo de análisis a condiciones normales también es determinado como característico el cual servirá como guía para analizar y comparar la variación de los espectros de la aceleración determinados por los otros modos de falla.

4.2.1.1. Cálculos de la frecuencia de transmisión

Para poder determinar la frecuencia de transmisión se hace uso de la ecuación expresada a continuación puesto que dichas frecuencias deben ser del tipo GMF, 2GMF, 3GMF Y 3,25 GMF.

$$GMF=Z_G * n_G = Z_P * N_P \quad (19)$$

Donde:

GMF: frecuencia de engranaje de engranes

Z_G : número de dientes del engranaje

n_G : velocidad angular del engranaje

Z_P : número de dientes del piñón

N_P : velocidad angular del piñón

Entonces, de la ecuación 14 se obtiene

$$GMF=\# \text{ Dientes del engrane} * \left(\frac{\text{rpm}}{60}\right) \quad (20)$$

Por otro lado, para determinar la frecuencia fundamental del engranaje y del piñón denominadas como 1X ENGRANE y 1X PIÑÓN utilizaremos las siguientes ecuaciones.

$$1XE=\frac{\text{rpm eje engrane}}{60} \quad (21)$$

$$1XP = \frac{\text{rpm eje alternador}}{60} = \frac{Z_1}{Z_2} * F \quad (22)$$

Tabla 1-4: Valores generales obtenidos a condiciones normales

VALORES GENERALES A CONDICIONES NORMALES	
Denominación	Valor
Velocidad angular engrane (rpm)	1956,10
1X engranaje (Hz)	32,60
Velocidad angular piñón (rpm)	5216,65
1X piñón (Hz)	86,94
GMF (Hz)	2086,40
2GMF (Hz)	4172,80
3GMF (Hz)	6259,20
3,25GMF (Hz)	6780,80
rms total vertical (g)	2,03
rms total horizontal (g)	2,15

Realizado por: Condemaita, J; Molano, C, 2022

Los valores expresados en la tabla 1-4 son indispensables para el análisis de mínimos cuadrados; puesto que, son valores de partida para la determinación y análisis de fallas de engranajes.

4.2.2. Mediciones obtenidas con desalineación lineal

Partiendo como referencia el cálculo de la distancia entre centros evidenciado en la ecuación 4 se procede con el movimiento lineal de la placa base del alternador, considerando movimientos de 0,25 mm; 0,5mm; 0,75mm y 1 mm para el análisis comparativo.

Así también, es necesario recalcar que para este modo de falla se ha considerado una frecuencia de 60 Hz para generar valores exactos en cuanto a GMF, 2GMF, 3GMF y 3,25GMF establecidos en la tabla 2-4.

Tabla 2-4: Valores obtenidos con desalineación lineal de engranajes

DESALINEACION LINEAL DE ENGRANAJES					
DESIGNACIÓN (Hz)	DESPLAZAMIENTO (mm)				
	0	0,25	0,5	0,75	1
1XE	32,60	32,48	32,35	32,22	27,89
2XE	65,20	64,95	64,70	64,44	55,78
rpm	1956,00	1948,54	1940,90	1933,25	1673,44
GMF (Hz)	2086,40	2078,44	2070,29	2062,14	1785,00
2GMF (Hz)	4172,80	4156,88	4140,58	4124,28	3570,00
3GMF (Hz)	6259,20	6235,32	6210,86	6186,41	5355,00
3,25GMF (Hz)	6780,80	6754,93	6728,44	6701,95	5801,25

Realizado por: Condemaita, J; Molano, C, 2022

4.2.2.1. *Obtención de la ecuación de desalineación lineal Vs rms total de la aceleración*

Para determinar esta ecuación se realiza el análisis del método de mínimos cuadrados tomando en cuenta los datos obtenidos del rms total de la aceleración a condiciones normales al punto ceroy se los acopla con los rms total con desalineaciones mostrados en la tabla 3-4.

Tabla 3-4: Valores rms total de la desalineación

VALORES DE rms total		
EJE CONDUCIDO		
Punto de análisis	Desalineación (mm)	rms total (g)
Vertical	0,25	2,02
	0,5	1,90
	0,75	1,90
	1	1,81
Horizontal	0,25	2,13
	0,5	2,08
	0,75	1,93
	1	1,75

Realizado por: Condemaita, J; Molano, C, 2022

Punto vertical. A continuación, se presenta el análisis de mínimos cuadrados para determinar la línea de tendencia en el punto vertical, así tenemos.

Tabla 4-4: Mínimos cuadrados para desalineación lineal (punto vertical)

MÍNIMOS CUADRADOS PUNTO VERTICAL					
N	DL [X]	A-rms total V [Y]	X*Y	X ²	Y ²
1	0,00	2,03	0,00	0,00	4,12
2	0,25	2,02	0,51	0,06	4,08
3	0,50	1,90	0,95	0,25	3,60
4	0,75	1,90	1,42	0,56	3,60
5	1,00	1,81	1,81	1,00	3,29
Σ	2,50	9,66	4,69	1,88	18,69

Realizado por: Condemaita, J; Molano, C, 2022

Continuando con el análisis se procede a calcular la pendiente y las intersecciones para poder determinar la ecuación característica de la desalineación lineal en el punto vertical, obteniendo.

$$a = \frac{n \sum XY - (\sum X * \sum Y)}{n \sum (X^2) - (\sum X)^2} \quad (23)$$

Donde:

a = pendiente

n = número de datos

$$a = \frac{5*(4,69) - (2,5)(18,69)}{5*(1,88) - (2,5)^2}$$

$$a = - 0,22$$

Para la obtención del punto de intersección de la ecuación tenemos:

$$b = \frac{\sum Y \sum X^2 - (\sum X * \sum XY)}{n \sum (X^2) - (\sum X)^2} \quad (24)$$

Donde:

b=punto de intersección en el eje Y

$$b = \frac{(9,66*1,88) - (2,5*4,69)}{5*(1,88) - (2,5)^2}$$

$$b = 2,04$$

Entonces, con los valores obtenidos reemplazamos en la ecuación de la recta y obtenemos la ecuación para la desalineación lineal en el punto vertical.

$$A\text{-rms total } V = a*DL + b \quad (25)$$

Donde:

A-rms total = Valor eficaz de vibración global en gravedades (g)

DL = Desalineación lineal (mm)

a y b = valores analizados

Así tenemos:

$$A\text{-rms total } V = - 0,22*DL + 2,04$$

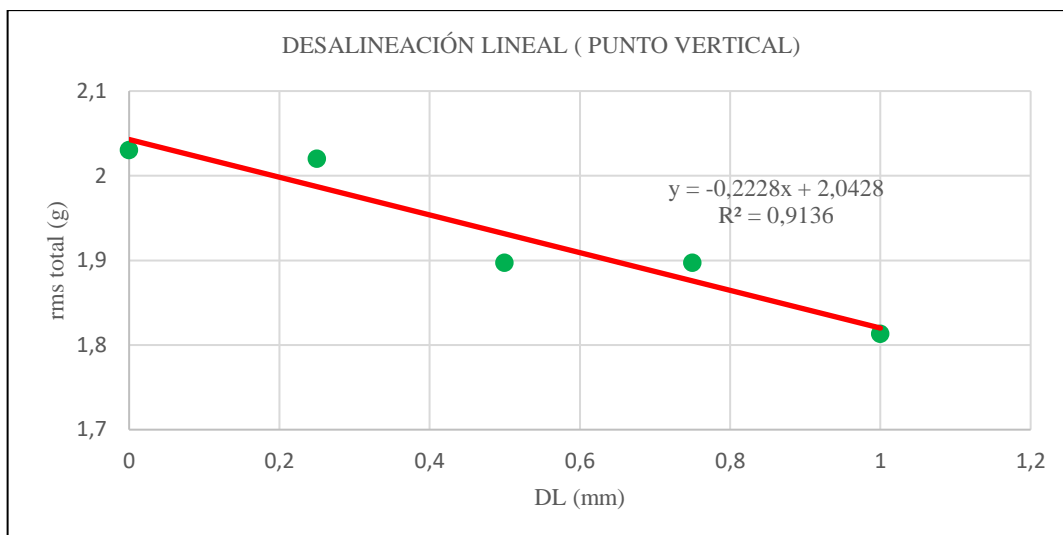


Gráfico 1-4:Desalineación lineal de engranajes (punto vertical)

Fuente:(Microsoft Excel)

Realizado por: Condemaita, J; Molano, C, 2022

Punto horizontal. A continuación, se presenta el análisis de mínimos cuadrados para determinar la tendencia establecida en el punto de análisis horizontal, así tenemos.

Tabla 5-4: Mínimos cuadrados para desalineación lineal (punto horizontal)

MÍNIMOS CUADRADOS PUNTO HORIZONTAL					
N	DL (mm) [X]	A-rms total H [Y]	X*Y	X ²	Y ²
1	0,00	2,15	0,00	0,00	4,64
2	0,25	2,13	0,53	0,06	4,54
3	0,50	2,08	1,04	0,25	4,31
4	0,75	1,93	1,45	0,56	3,72
5	1,00	1,75	1,75	1,00	3,06
Σ	2,50	10,04	4,77	1,88	20,27

Realizado por: Condemaita, J; Molano, C, 2022

Continuando con el análisis se procede a calcular la pendiente y las intersecciones para poder determinar la ecuación característica de la desalineación lineal en el punto vertical, obteniendo.

$$a = \frac{n \sum XY - (\sum X * \sum Y)}{n \sum (X^2) - (\sum X)^2}$$

$$a = \frac{5*(4,77) - (2,5)(10,04)}{5*(1,88) - (2,5)^2}$$

$$a = -0,40$$

Para la obtención del punto de intersección de la ecuación tenemos:

$$b = \frac{\sum Y \sum X^2 - (\sum X * \sum XY)}{n \sum (X^2) - (\sum X)^2}$$

$$b = \frac{(10,04 * 1,88) - (2,5 * 4,77)}{5 * (1,88) - (2,5)^2}$$

$$b = 2,21$$

Entonces, con los valores obtenidos reemplazamos en la ecuación de la recta y obtenemos la ecuación para la desalineación lineal en el punto horizontal.

$$A\text{-rms total H} = a * DL + b$$

Así tenemos:

$$A\text{-rms total H} = -0,40 * DL + 2,21$$

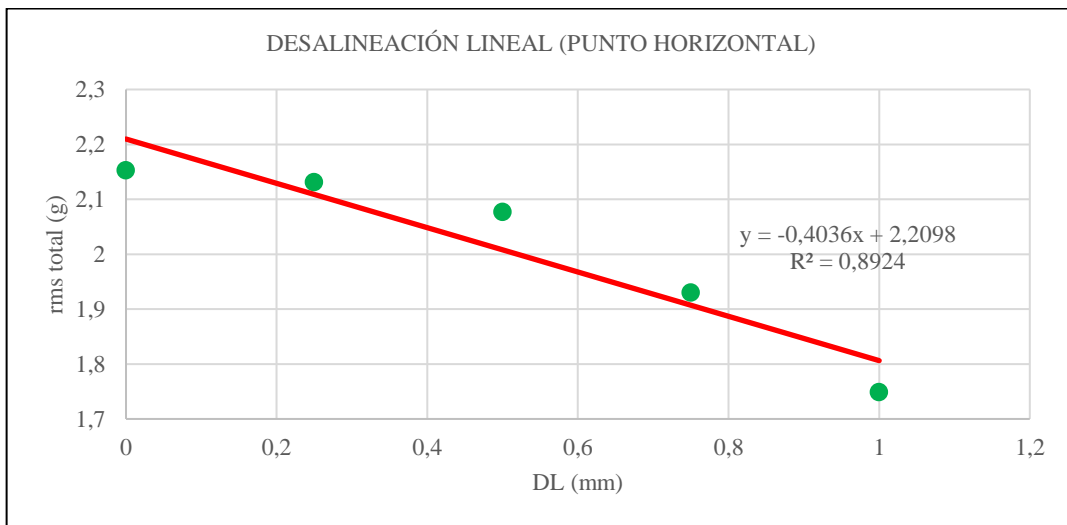


Gráfico 2-4: Desalineación lineal de engranajes (punto horizontal)

Fuente: (Microsoft Excel)

Realizado por: Condemaita, J; Molano, C, 2022

Una vez determinada las ecuaciones y las líneas de tendencia en la desalineación lineal, se evidencia un decremento de la rms total tanto en el punto de análisis horizontal y vertical; es decir, mientras más alejado está la distancia entre centros del engranaje y el piñón menos será el valor del rms total y el juego entre dientes.

4.2.3. Medidas obtenidas con engrane de diente roto

Teniendo en cuenta la frecuencia establecida de 60 Hz en la toma de datos del módulo de simulación se obtienen los siguientes valores en el punto de análisis horizontal y vertical del eje conducido.

Tabla 6-4: Valores generales del ensayo con engranaje de diente roto

ENSAYO ENGRANAJES CON DIENTES ROTOS	
Denominación	Valor
Velocidad angular del motor (rpm)	1800
Velocidad angular del engrane (rpm)	1910
IX engranaje (Hz)	31,83
Frecuencia natural (Hz)	84,90
Tiempo de formación de onda (s)	0,33
rms total horizontal (g)	1,20
rms total vertical (g)	3,74

Realizado por: Condemaita, J; Molano, C, 2022

En la tabla 7-4 se muestran los valores pico y frecuencias generadas en el eje conducido en los puntos horizontal y vertical mismos que serán utilizados para el análisis de mínimos cuadrados.

Tabla 7-4: Valores pico – nivel del ensayo de diente roto

ENGRANAJE DE DIENTES ROTOS PICO-NIVEL			
Eje conducido			
Puntos	Picos	Frecuencias (Hz)	mm/s
Horizontal	1	31,87	1,31
	2	83,89	1,07
	3	85,72	2,68
	4	145,07	0,79
	5	187,93	0,81
Vertical	1	47,62	0,33
	2	51,65	0,42
	3	53,12	0,42
	4	55,68	1,15
	5	60,81	0,50

Realizado por: Condemaita, J; Molano, C, 2022

Considerando la fórmula mostrada a continuación, se efectúa el cálculo del factor cresta indispensable para el respectivo análisis.

$$\text{Factor cresta} = \frac{\text{Valor máximo}}{\text{Valor eficaz (rms)}} \quad (26)$$

4.2.3.1. *Análisis del factor cresta en engranaje con diente roto*

El análisis del factor cresta es indispensable para poder determinar si la forma de honda de aceleración y desplazamiento encontradas representan a una senoidal perfecta o a su vez representa un golpeteo, este análisis es indispensable tanto para el punto horizontal y vertical.

Punto vertical. A continuación, se presenta los valores respectivos para el análisis respectivo.

Tabla 8-4: Amplitud máxima de engrane con diente roto punto vertical

ANÁLISIS DE LA AMPLITUD MÁXIMA EN EL PUNTO VERTICAL		
Aceleración	Valor máximo	18,74 [g]
	Valor eficaz	3,84
Desplazamiento	Valor máximo	27,09 [μm]
	Valor eficaz	12,69

Realizado por: Condemaita, J; Molano, C, 2022

Utilizando la ecuación 26 se realiza el análisis del factor cresta para el punto vertical

$$\text{Factor cresta (aceleración)} = \frac{18,742}{3,84}$$

$$\text{Factor cresta (aceleración)} = 4,88$$

$$\text{Factor cresta (desplazamiento)} = \frac{27,09}{12,69}$$

$$\text{Factor cresta (desplazamiento)} = 2,13$$

Punto horizontal. A continuación, se presenta los valores respectivos para el análisis respectivo.

Tabla 9-4: Amplitud máxima de engrane con diente roto punto horizontal

ANÁLISIS DE LA AMPLITUD MÁXIMA EN EL PUNTO HORIZONTAL		
Aceleración	Valor máximo	25,78 [g]
	Valor eficaz	4,28
Desplazamiento	Valor máximo	63,97 [μm]
	Valor eficaz	27,83

Realizado por: Condemaita, J; Molano, C, 2022

$$\text{Factor cresta (aceleración)} = \frac{25,78}{4,28}$$

$$\text{Factor cresta (aceleración)} = 6,02$$

$$\text{Factor cresta (desplazamiento)} = \frac{63,97}{27,83}$$

$$\text{Factor cresta (desplazamiento)} = 2,29$$

Tanto en el punto de análisis vertical y horizontal el factor cresta no es igual a 1 lo que indica que existe un golpeteo del engrane con diente roto y el piñón en buen estado lo que ocasiona un desgaste progresivo con el pasar del tiempo si no se realiza un cambio o reparación.

Por otro lado, a medida que el factor cresta aumente, el engrane en mal estado afectará progresivamente al piñón hasta perder sus condiciones óptimas de trabajo.

4.2.4. *Medidas obtenidas con encuentro de dientes*

Teniendo en cuenta la frecuencia establecida de 60 Hz en la toma de datos del módulo de simulación se obtienen los siguientes valores en el punto de análisis horizontal y vertical del eje conducido.

Tabla 10-4: Valores generales del ensayo con encuentro de dientes

ENSAYO ENGRANAJES CON ENCUESTRO DE DIENTES	
Denominación	Valor
Velocidad angular del motor (rpm)	1200
Velocidad angular del engrane (rpm)	1940
IX engranaje (Hz)	32,33
Frecuencia natural (Hz)	86,23
Tiempo de formación de onda (s)	0,33
rms total horizontal (g)	1,20
rms total vertical (g)	0,96

Realizado por: Condemaita, J; Molano, C, 2022

En la tabla 10-4 se muestran los picos y frecuencias generadas en el eje conducido en los puntos horizontal y vertical mismos que serán utilizados para el análisis de mínimos cuadrados.

Tabla 11-4: Valores pico – nivel del ensayo de encuentro entre dientes

ENGRANAJE DE DIENTES ROTOS PICO-NIVEL			
EJE CONDUcido			
Puntos	Picos	Frecuencias (Hz)	mm/s
Horizontal	1	32,97	1,99
	2	64,47	0,47
	3	82,06	0,46
	4	88,28	0,91
	5	198,92	0,53
Vertical	1	26,74	0,41
	2	32,24	1,86
	3	64,11	0,64
	4	65,21	0,45
	5	86,82	0,43

Realizado por: Condemaita, J; Molano, C, 2022

Considerando la fórmula mostrada a continuación, se efectúa el cálculo del factor cresta indispensable para el respectivo análisis.

$$\text{Factor cresta} = \frac{\text{Valor pico}}{\text{rms total}}$$

4.2.4.1. Análisis del factor cresta en la frecuencia de encuentro de dientes

Del mismo modo que en el modo de falla de diente roto, se efectúa el análisis en la frecuencia de encuentro de dientes para determinar si la forma de onda es una senoidal perfecta o representa un golpeteo.

Punto vertical. A continuación, se presenta los valores respectivos para el análisis respectivo.

Tabla 12-4: Amplitud máxima de encuentro de dientes punto vertical

ANÁLISIS DE LA AMPLITUD MÁXIMA EN EL PUNTO VERTICAL		
Aceleración	Valor máximo	14,56 [g]
	Valor eficaz	2,85
Desplazamiento	Valor máximo	33,87 [µm]
	Valor eficaz	12,57

Realizado por: Condemaita, J; Molano, C, 2022

Utilizando la ecuación 26 se realiza el análisis del factor cresta para el punto vertical

$$\text{Factor cresta (aceleración)} = \frac{14,56}{2,85}$$

$$\text{Factor cresta (aceleración)} = 5,11$$

$$\text{Factor cresta (desplazamiento)} = \frac{33,87}{12,57}$$

$$\text{Factor cresta (desplazamiento)} = 2,69$$

Punto horizontal. A continuación, se presenta los valores respectivos para el análisis respectivo.

Tabla 13-4: Amplitud máxima de encuentro de dientes punto horizontal

ANÁLISIS DE LA AMPLITUD MÁXIMA EN EL PUNTO HORIZONTAL		
Aceleración	Valor máximo	15,69 [g]
	Valor eficaz	4,15
Desplazamiento	Valor máximo	64,23 [μm]
	Valor eficaz	25,18

Realizado por: Condemaita, J; Molano, C, 2022

$$\text{Factor cresta (aceleración)} = \frac{15,69}{4,15}$$

$$\text{Factor cresta (aceleración)} = 3,78$$

$$\text{Factor cresta (desplazamiento)} = \frac{64,23}{25,18}$$

$$\text{Factor cresta (desplazamiento)} = 2,55$$

El análisis del factor cresta en los dos puntos de análisis muestra la existencia de un golpeteo debido a que el valor no es igual a 1; por lo tanto, a medida que el factor cresta aumente, el diente roto del piñón afectará progresivamente a todos los dientes del engrane debido a la relación de transmisión, ya que por cada vuelta que el engrane realice el piñón dará 2,667 de vuelta.

4.3. Interpretación de resultados

Cabe mencionar que, debido a la existencia de un eje motriz y un eje conducido en el funcionamiento del módulo de simulación de fallas de engranajes la interpretación de resultados se la realizará solo en el eje conducido para una mayor apreciación de las formas de onda.

4.3.1. Interpretación de frecuencias naturales

Considerando las figuras 51-3 y 52-3 del apartado en el capítulo 3, se determina mediante un análisis comparativo que la frecuencia natural tanto para el punto vertical (pv) y punto horizontal (ph) es inferior a la frecuencia del equipo motriz con un valor de aproximadamente 20,48 y 20,57 Hz respectivamente.

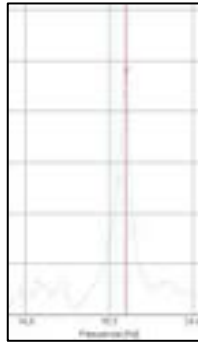


Figura 1-4: Análisis de la frecuencia natural en el ph

Fuente: (MAINTraq Viewer 3.1)

Realizado por: Condemaita, J; Molano, C, 2022

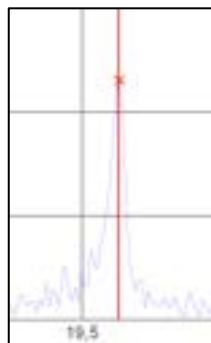


Figura 2-4: Análisis de la frecuencia natural en el pv

Fuente: (MAINTraq Viewer 3.1)

Realizado por: Condemaita, J; Molano, C, 2022

Como se muestra en las figuras 1-4 y 2-4, se puede determinar que los picos más altos del diagrama de espectros representan el valor de la frecuencia natural y los picos siguientes muestran las frecuencias de los otros componentes diferentes a la unidad motriz tales como alternador, poleas, engranajes, chumaceras y ejes.

Cabe mencionar que, los picos máximos de las frecuencias naturales en los dos puntos no deben coincidir en ninguno de los tramos con la frecuencia en funcionamiento de la unidad motriz puesto que si uno de estos picos coincide el módulo de simulación entrará en resonancia.

A continuación, se presenta el análisis comparativo de las frecuencias naturales de los cuatro módulos implementados con las frecuencias de trabajo encontradas en los modos de falla.

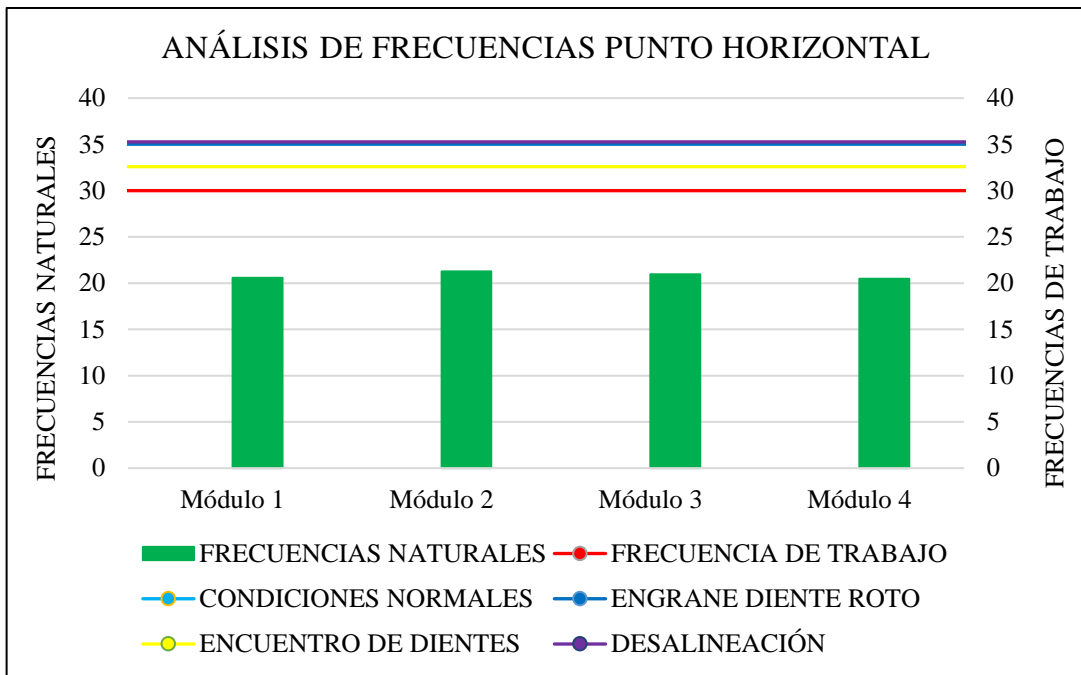


Gráfico 3-4:Análisis de frecuencias (punto horizontal)

Fuente:(Microsoft Excel)

Realizado por: Condemaita, J; Molano, C, 2022

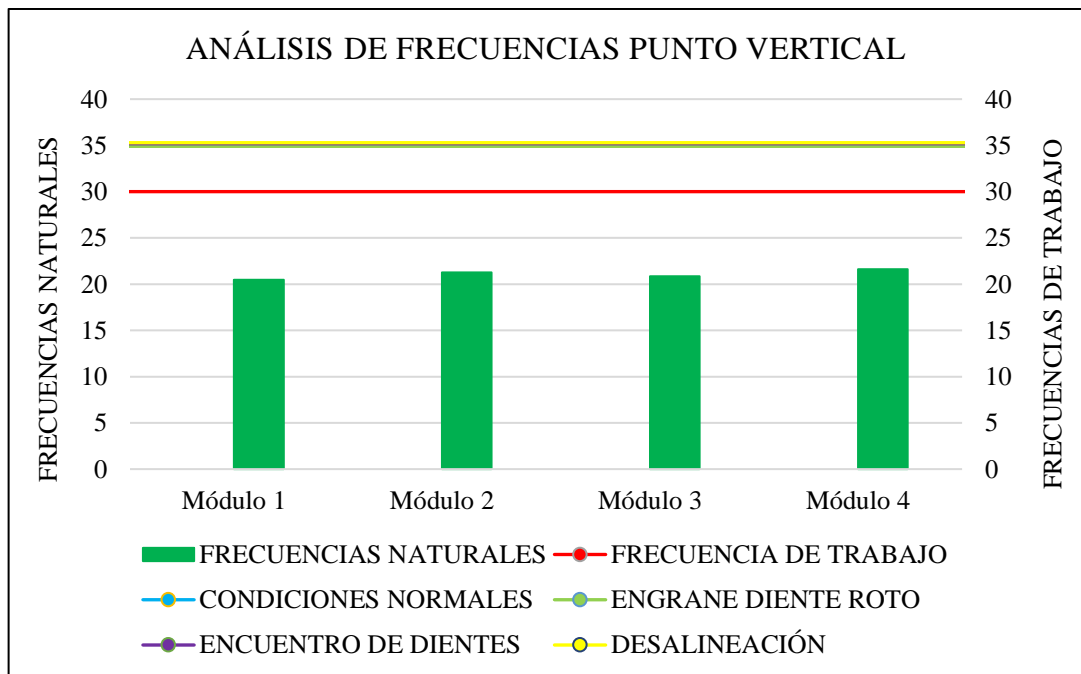


Gráfico 4-4:Análisis de frecuencias (punto vertical)

Fuente:(Microsoft Excel)

Realizado por: Condemaita, J; Molano, C, 2022

En los gráficos 3-4 y 4-4 expuestos se puede evidenciar cada una de las frecuencias de trabajo encontradas en el análisis de modos de falla las cuales se encuentran por encima de las frecuencias naturales representadas en color verde.

4.3.2. Interpretación del ensayo con engranes a condiciones normales

Considerando la frecuencia de análisis establecida con anterioridad, se presentan los espectros obtenidos mediante el software MAINTraQ Predictive en el eje conducido.

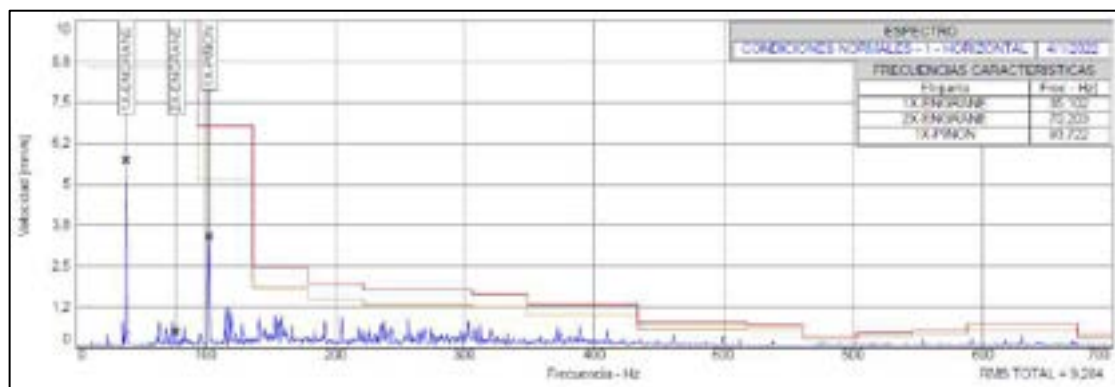


Figura 3-4: Espectro de velocidad a condiciones normales en el punto vertical

Fuente: (MAINTraQ Predictive 2.1)

Realizado por: Condemaita, J; Molano, C, 2022

Mediante la figura 3-4 y los espectros típicos para engranajes de la carta de Charlotte se puede determinar que este corresponde a un espectro normal, ya que dentro del espectro se puede apreciar con claridad las frecuencias tanto para el engranaje como para el piñón mismos que tienen una relación de valores de frecuencia expresados a continuación.

$$1XP = \frac{\text{rpm eje alternador}}{60} = \frac{Z_1}{Z_2} * XE$$

Donde:

Z_1 = Número de dientes del engrane

Z_2 = Número de dientes del piñón

XE = Frecuencia del engrane = 35,10 Hz

$$1XP = \frac{64}{24} * 35,10 \text{ Hz}$$

$$1XP = 93,61 \text{ Hz}$$

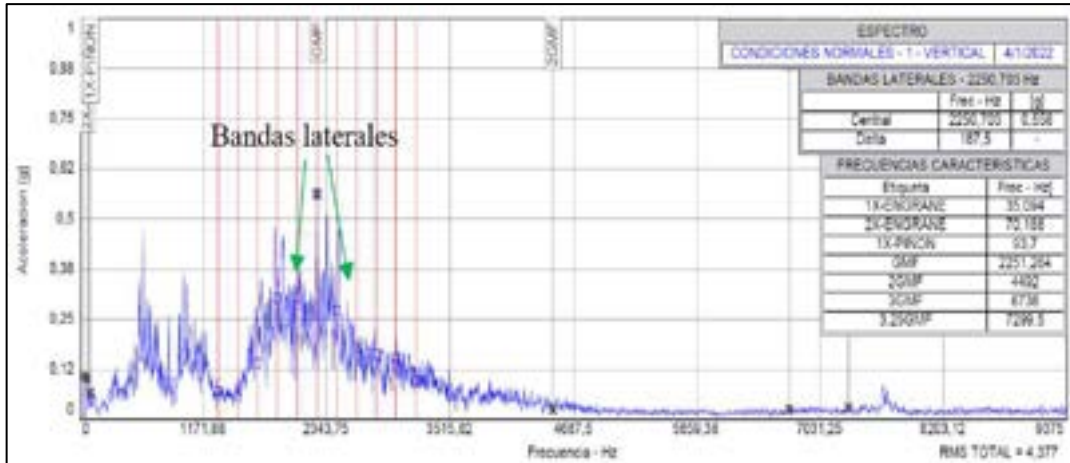


Figura 4-4: Espectro de aceleración a condiciones normales en el punto vertical

Fuente: (MAINTraq Predictive 2.1)

Realizado por: Condemaita, J; Molano, C, 2022

Por otro lado, en la figura 4-4 se representa el espectro de la aceleración mismo que muestra los valores característicos tales como GMF, 2GMF, 3GMF y 3,25 GMF mismos que denotan frecuencias de vibración analizadas a 60Hz. Estos valores pueden ser determinados mediante la ecuación 20, obteniendo.

$$GMF = Z_1 * XE$$

$$GMF = 64 * 35,10 \text{ Hz}$$

$$GMF = 2246,4 \text{ Hz}$$

Tabla 14-4: Frecuencias características a condiciones normales

FRECUENCIAS CARACTERÍSTICAS A CONDICIONES NORMALES	
Designación	Frecuencia (Hz)
1X-Engrane	35,10
1X-Piñón	93,72
GMF	2246,40
2GMF	4492,80
3GMF	6739,20
3,25 GMF	7300,80

Realizado por: Condemaita, J; Molano, C, 2022

Considerando el sonido fuerte que produce el módulo de simulación, los valores de GMF determinados mediante los espectros y los calculados varían en un porcentaje pequeño, como se muestra en la tabla 17-4.

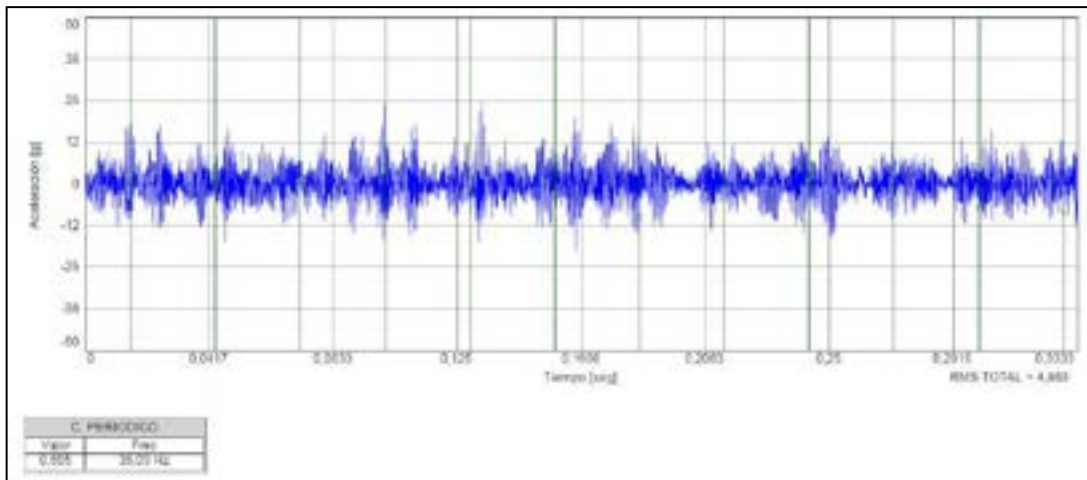


Figura 5-4: Forma de onda de aceleración a condiciones normales en el punto vertical

Fuente: (MAINTraQ Predictive 2.1)

Realizado por: Condemaita, J; Molano, C, 2022

Considerando que en las formas de onda de la aceleración se pueden apreciar frecuencias altas, en la figura 5-4 se evidencia el análisis a condiciones normales; en donde, se puede evidenciar que no existe ningún golpeteo o falla en los engranajes puesto que los picos están en frecuencias diferentes muy contrario a una forma de onda de engranajes con diente roto.

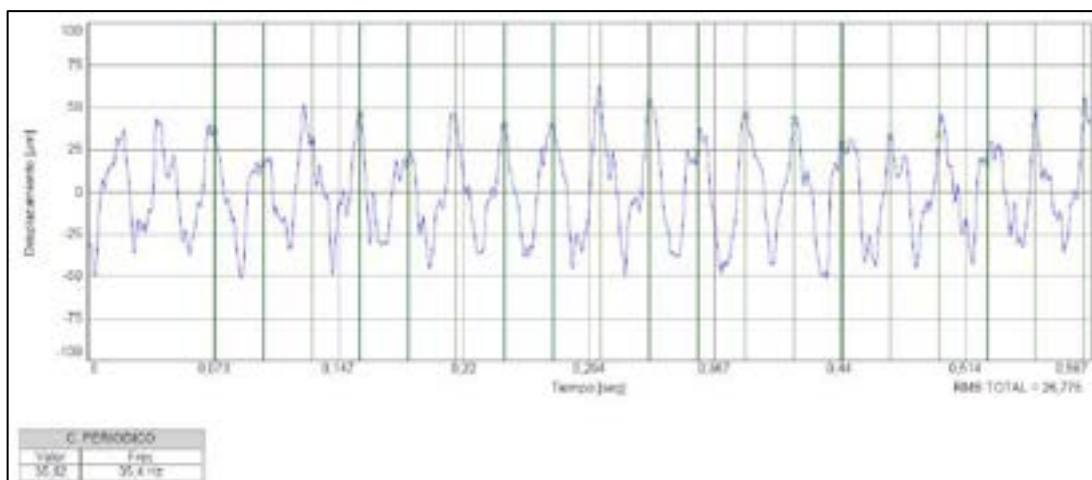


Figura 6-4: Forma de onda de desplazamiento a condiciones normales en el punto vertical

Fuente: (MAINTraQ Predictive 2.1)

Realizado por: Condemaita, J; Molano, C, 2022

A diferencia de la forma de onda de aceleración, la forma de onda de desplazamiento muestra frecuencias bajas y como se evidencia en la figura 6-4 en donde se puede apreciar que los valores pico de la frecuencia coinciden en la parte superior.

4.3.3. Interpretación del ensayo encuentro entre dientes

Una vez determinada la frecuencia para el análisis en el encuentro de dientes, los espectros determinados para el eje conducido en el punto horizontal y vertical son los mostrados a continuación.

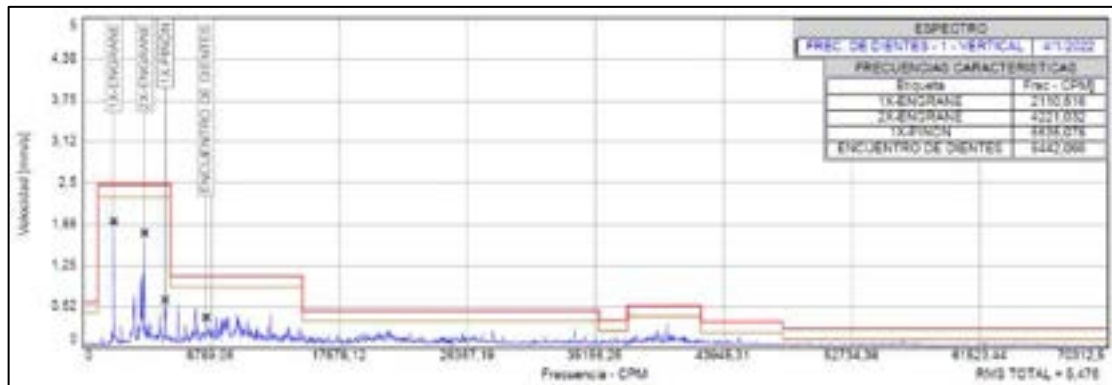


Figura 7-4:Espectro de la velocidad (encuentro de dientes –punto vertical)

Fuente: (MAINTraQ Predictive 2.1)

Realizado por: Condemaita, J; Molano, C, 2022

Teniendo en cuenta que la frecuencia de encuentro de dientes se basa en fallas tanto en el piñón como en el engrane y estos generan ronquidos o sonidos excesivos, el espectro mostrado en la figura7-4 es similar a los espectros típicos de las cartas de Charlotte ya que se puede evidenciar elevados picos para las frecuencias 1X y 2X del engrane y seguidamente una frecuencia inferior para 1X del piñón. A continuación, se presenta el cálculo de las frecuencias de engrane y piñón.

$$1XP = \frac{64}{24} * 1XE$$

$$1XP = \frac{64}{24} * 35,175 \text{ Hz}$$

$$1XP = 93,80 \text{ Hz}$$

$$2XE = 2 * 1XE$$

$$2XE = 2 * 35,175 \text{ Hz}$$

$$2XE = 70,35 \text{ Hz}$$

Tabla 15-4: Frecuencias características de encuentro de dientes

FRECUENCIAS CARACTERÍSTICAS DE ENCUENTRO DE DIENTES	
Designación	Frecuencia (Hz)
1X-Engrane	35,18
2X-Engrane	70,35
1X-Piñón	93,80

Realizado por: Condemaita, J; Molano, C, 2022

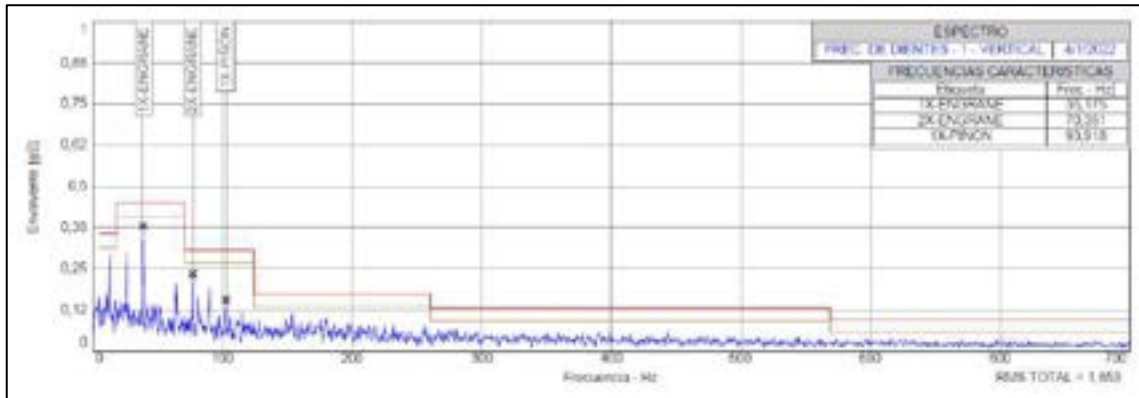


Figura 8-4: Espectro de envolvente (encuentro de dientes – punto vertical)

Fuente: (MAINTraQ Predictive 2.1)

Realizado por: Condemaita, J; Molano, C, 2022

Así también, mediante el espectro de envolvente mostrado en la figura 8-4 se puede apreciar que los valores de frecuencia coinciden con el espectro de velocidad, lo cual evidencia el choque que se da entre el engrane y el piñón cuando están en funcionamiento.

La forma de onda mostrada a continuación muestra el impacto del piñón y engrane con diente roto y a su vez los impactos que ocurren durante el periodo de funcionamiento del piñón; puesto que, por cada vuelta que realice el engrane el piñón realizará 2,667 vueltas debido a la relación de transmisión.

Como se puede evidenciar en la figura 8-4 los picos generados en una frecuencia de encuentro de dientes son superiores a los picos generados cuando se impacta solo el diente roto del piñón.

$$\Delta t = t_2 - t_1 \quad (27)$$

Donde:

t_2 = tiempo final de impacto (ms)

t_1 = tiempo inicial de impacto (ms)

Δt = tiempo de formación de onda

Se obtiene:

$$\Delta t_a = 0,030 - 0,055$$

$$\Delta t_a = 0,025 \text{ ms}$$

Mediante la ecuación 22 se puede determinar que el intervalo de tiempo de formación de onda es de 0,2 milisegundos para el análisis de frecuencia de encuentro de dientes.

Para determinar el tiempo de formación de onda cuando el piñón impacta a los dientes en buen estado del engranaje se utiliza la ecuación 22, obteniendo.

$$\Delta t_b = t_2 - t_1$$

Se obtiene

$$\Delta t_b = 0,0094 \text{ ms}$$

$$\Delta t_a > \Delta t_b$$

Se puede evidenciar que el tiempo de formación de onda entre diente del piñón roto y diente en buen estado del engrane es inferior al tiempo de formación de onda cuando los dos dientes rotos tanto del engrane como del piñón se chocan.

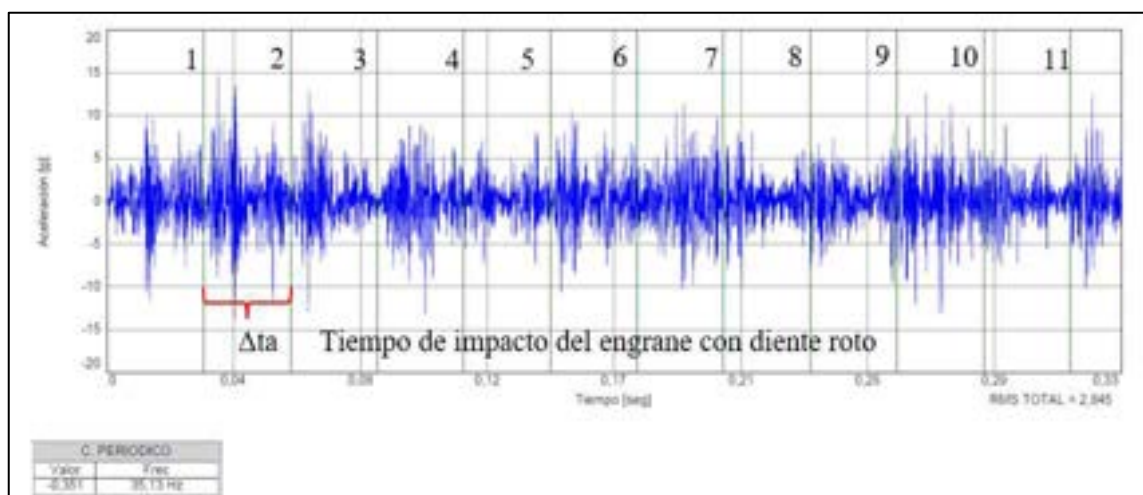


Figura 9-4: Forma de onda de la aceleración (encuentro de dientes - vertical)

Fuente: (MAINTraQ Predictive 2.1)

Realizado por: Condemaita, J; Molano, C, 2022

Para determinar la frecuencia de encuentro de dientes se la realiza con la siguiente fórmula.

$$f_{HT} = \frac{n * GMF * N_A}{N * n} \quad (28)$$

Donde:

f_{HT} = frecuencia de encuentro de dientes

N_A = Factor de fase de ensamble

N = número de dientes del engrane

n = número de dientes del piñón

$$N_A \rightarrow \left\{ \frac{64=4*16}{24=4*6} \right\}$$

$$N_A = 4$$

$$f_{HT} = \frac{(24) * (2251,22) * (4)}{(24)(64)}$$

$$f_{HT} = 140,70 \text{ Hz}$$

Entonces se determina que la frecuencia de encuentro de dientes es de 30,25 ciclos por minuto.

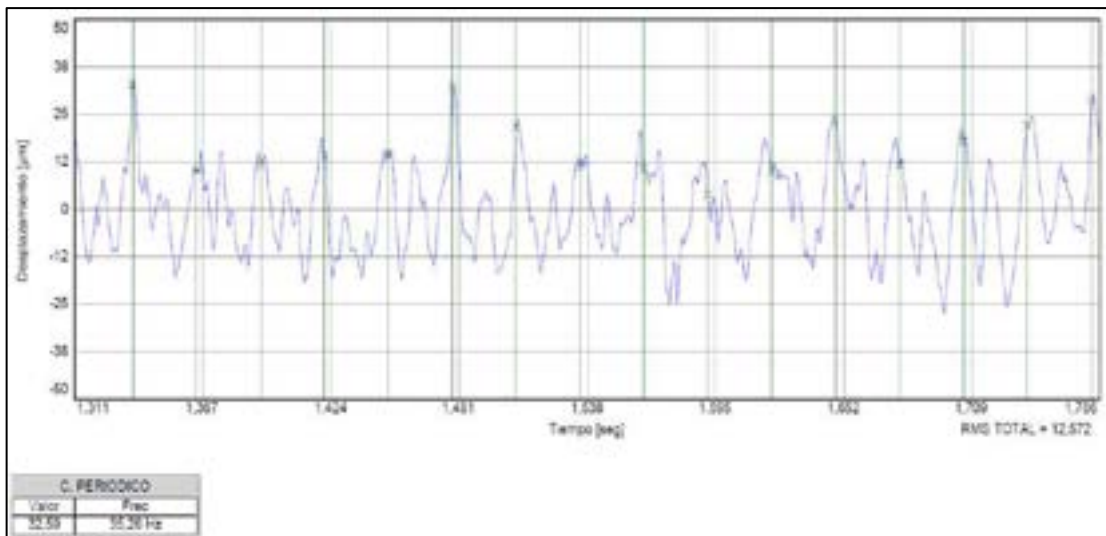


Figura 10-4: Forma de onda de desplazamiento 35 Hz (encuentro de dientes - vertical)

Fuente: (MAINTraQ Predictive 2.1)

Realizado por: Condemaita, J; Molano, C, 2022

La figura 10-4 muestra la coincidencia de los picos encontrados a una frecuencia de 35,26Hz mismos que representan al impacto del engrane con diente roto; por otro lado, los picos restantes forman parte del impacto del piñón con mal estado el cual tiene una frecuencia de 93,91 los cuales también son coincidentes.

4.3.4. Interpretación del ensayo con engranes de diente roto

Para la determinación de espectros y formas de onda del análisis del engrane con diente roto se lo ha realizado con una frecuencia constante de 60 Hz en el eje conducido del módulo.

El ensayo con diente roto es diferente al ensayo de frecuencia de dientes ya que para este análisis solo tendrá problemas uno de los dientes del engranaje, de esta manera obtenemos los siguientes espectros.

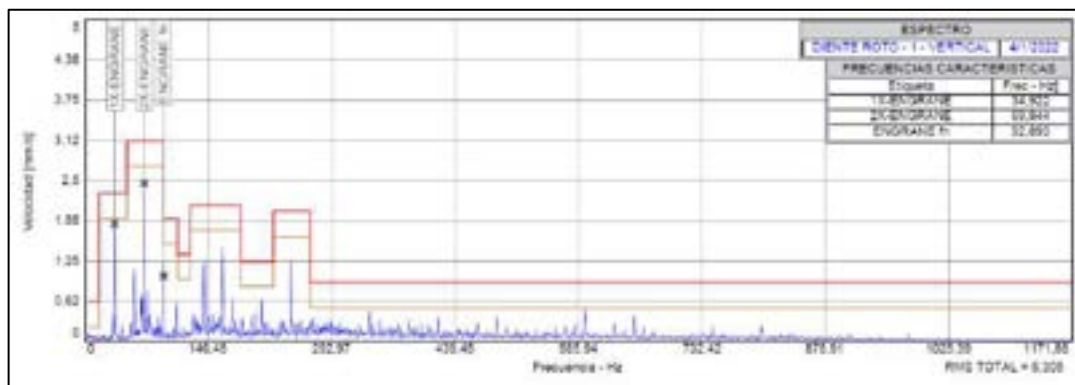


Figura 11-4: Espectro de la velocidad (engrane diente roto-punto horizontal)

Fuente: (MAINTraQ Viewer 3.1)

Realizado por: Condemaita, J; Molano, C, 2022

Teniendo en cuenta la carta de Charlotte para problemas de engranajes, se puede evidenciar que el espectro encontrado hace referencia a un problema de diente roto o estrellado; ya que, el valor de la frecuencia de engrane es más notoria y el valor de 2X-engrane es superior a los demás.

$$2XE=2*XE$$

$$2XE=2*34,92 \text{ Hz}$$

$$2XE=69,84 \text{ Hz}$$

$$\text{ENGRANE } F_n = \frac{64}{24} * 1XE$$

$$\text{ENGRANE } F_n = \frac{64}{24} * 34,92$$

$$\text{ENGRANE } F_n = 93,12 \text{ Hz}$$

Tabla 16-4: Frecuencias características de ensayo con diente roto

FRECUENCIAS CARACTERÍSTICAS DE DIENTES ROTOS	
Designación	Frecuencia (Hz)
1X-Engrane	34,92
2X-Engrane	69,84
Engrane F_n	93,12

Realizado por: Condemaita, J; Molano, C, 2022

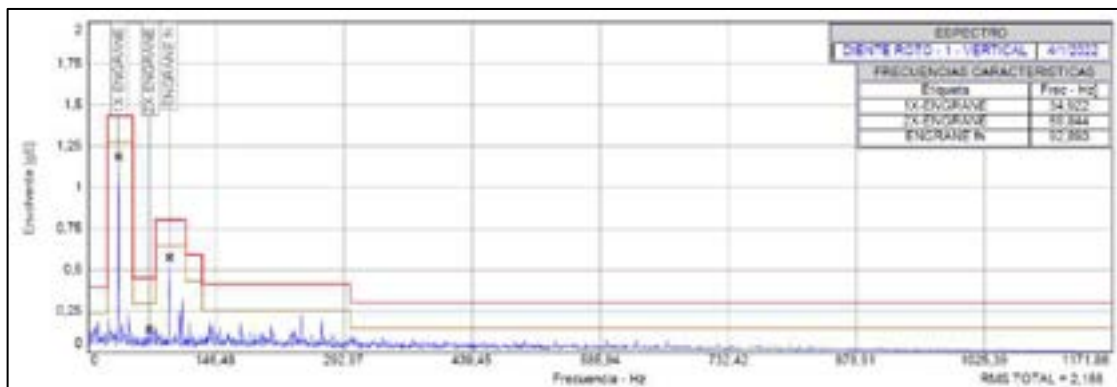


Figura 12-4: Forma de onda de la envolvente (engrane diente roto-horizontal)

Fuente: (MAINTraQ Viewer 3.1)

Realizado por: Condemaita, J; Molano, C, 2022

Mediante la figura 12-4 que pertenece a la envolvente, se puede apreciar las frecuencias en donde el diente roto del engrane tuvo un choque con alguno de los dientes del piñón en buen estado, valores que coinciden con los picos en el espectro de velocidad.

A continuación se muestra la forma de onda con los tramos de impacto del engrane con diente roto.

La figura 13-4 muestra las formas de onda generadas durante la variación del tiempo, dicho tiempo se lo obtiene mediante la aplicación de la ecuación 22.

$$\Delta t = t_2 - t_1$$

Se obtiene:

$$\Delta t = 0,01 - 0,035$$

$$\Delta t = 0,025 \text{ ms}$$

Una vez aplicada la ecuación se determina que el tiempo de formación de onda es de aproximadamente de 0,025 milisegundos para el análisis de engranaje con diente roto.

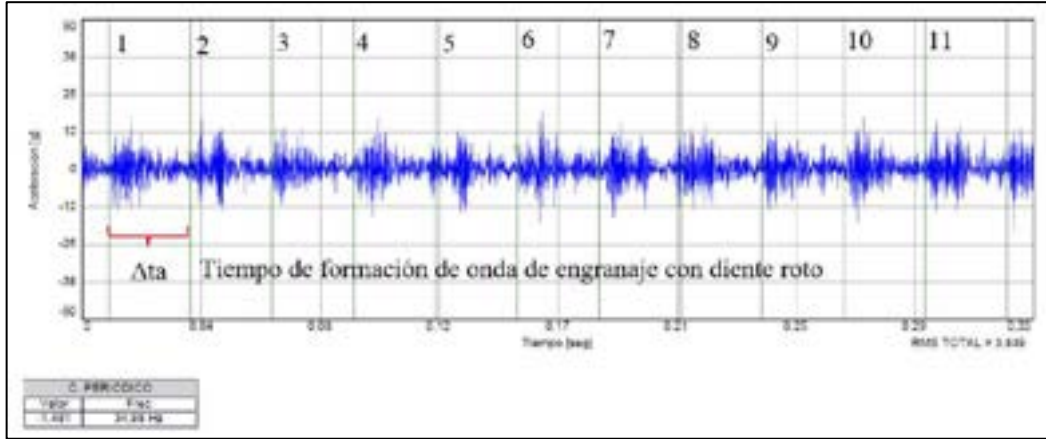


Figura 13-4: Forma de onda de la aceleración (engrane diente roto-vertical)

Fuente: (MAINTraQ Viewer 3.1)

Realizado por: Condemaita, J; Molano, C, 2022

Considerando el tiempo de impacto del engrane con diente en los dos modos de falla, se puede evidenciar que los tiempos son iguales ya que están fabricados con el mismo diámetro por ende tienen la misma relación de transmisión.

$$\Delta t_a \text{ FRECUENCIA DE DIENTES} = \Delta t_a \text{ DIENTE ROTO}$$

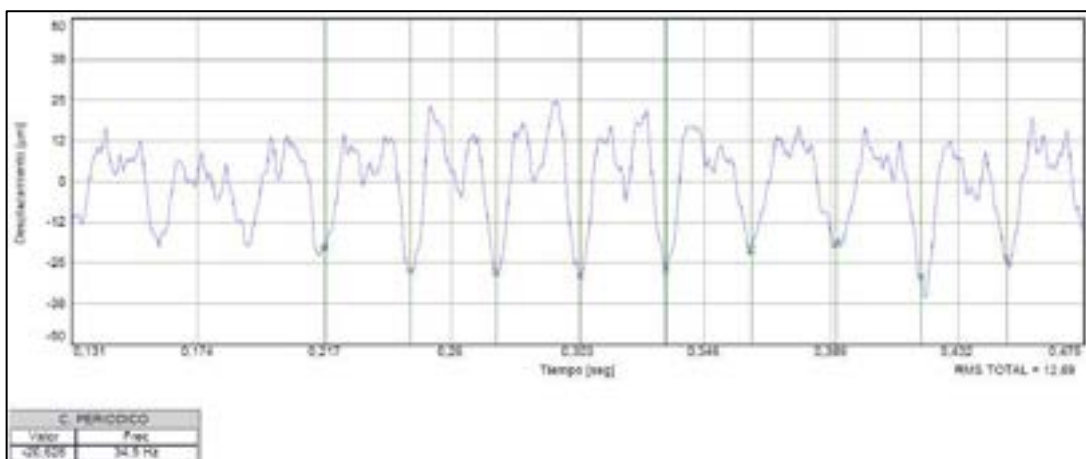


Figura 14-4: Forma de onda de desplazamiento (engrane diente roto-vertical)

Fuente: (MAINTraQ Viewer 3.1)

Realizado por: Condemaita, J; Molano, C, 2022

En la figura 14-4 se puede apreciar la forma de onda de desplazamiento en las condiciones de engranaje con diente roto en donde, los valles son coincidentes con el valor de la frecuencia establecido a 34,5 Hz.

4.3.5. Interpretación del ensayo de desalineación de engranajes

Para el presente análisis se estableció el espectro a condiciones normales para poder realizar una comparación con las desalineaciones de 0,25; 0,50; 0,75 y 1 mm, cálculos que son evidenciados en el punto 4.2.2 del presente capítulo.

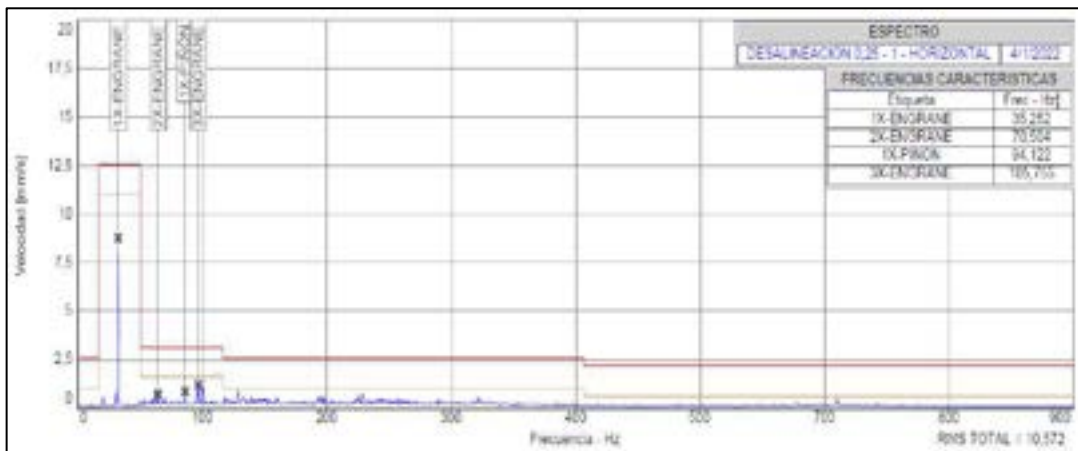


Figura 15-4:Espectro de la velocidad a 0,25 mm de desalineación – horizontal

Fuente: (MAINTraQ Predictive 2.1)

Realizado por: Condemaita, J; Molano, C, 2022

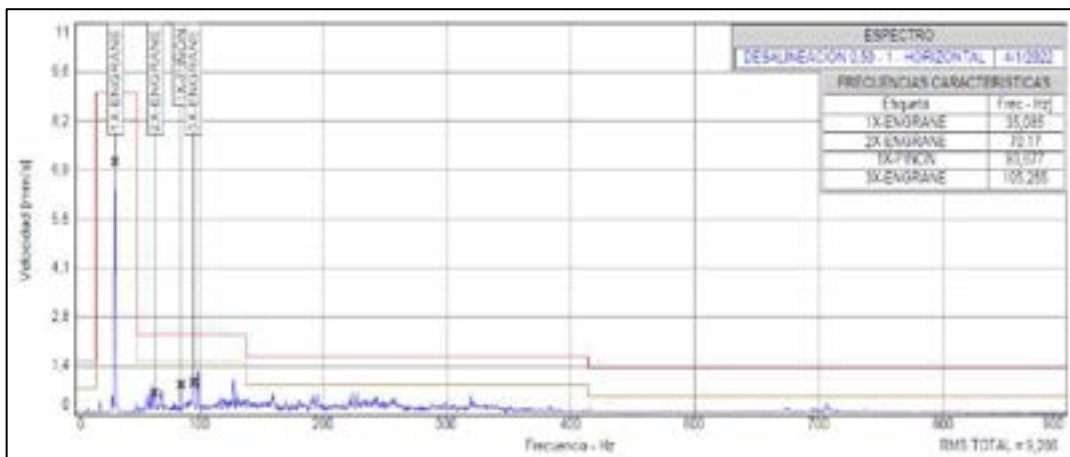


Figura 16-4:Espectro de la velocidad a 0,50 mm de desalineación – horizontal

Fuente: (MAINTraQ Predictive 2.1)

Realizado por: Condemaita, J; Molano, C, 2022

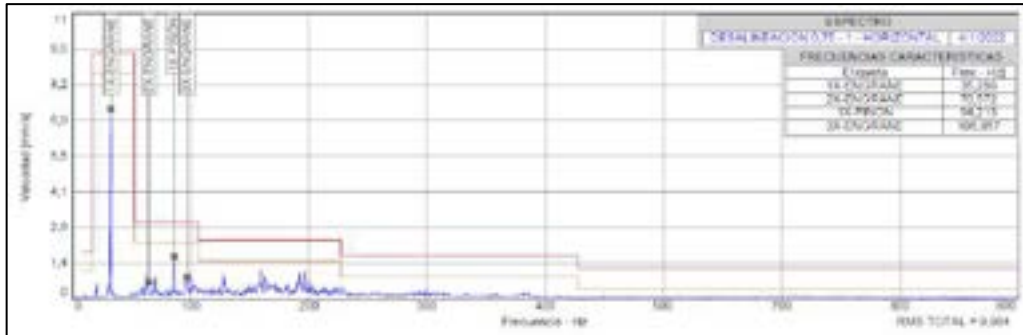


Figura 17-4:Espectro de la velocidad a 0,75 mm de desalineación – horizontal

Fuente: (MAINTraq Predictive 2.1)

Realizado por: Condemaita, J; Molano, C, 2022

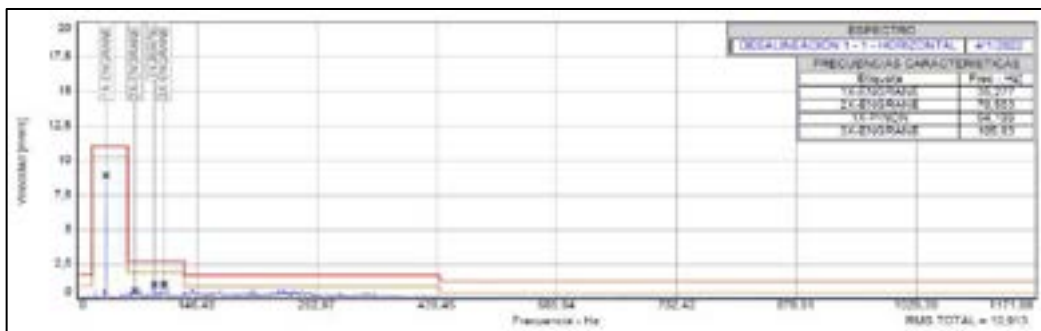


Figura 18-4:Espectro de la velocidad a 1 mm de desalineación – horizontal

Fuente: (MAINTraq Predictive 2.1)

Realizado por: Condemaita, J; Molano, C, 2022

Considerando las figuras 15-4; 16-4; 17-4; 18-4 y los espectros típicos de la carta de Charlotte para problemas de engranajes se puede determinar que existe una desalineación o desplazamiento de la distancia entre centros, debido a que la amplitud del valor de 1X- engrane es mayor a los valores de las amplitudes de 2X y 3X engrane; así también, se puede denotar mediante los espectros de aceleración que el valor de GMF y mayor a los valores de 2GMF y 3GMF.

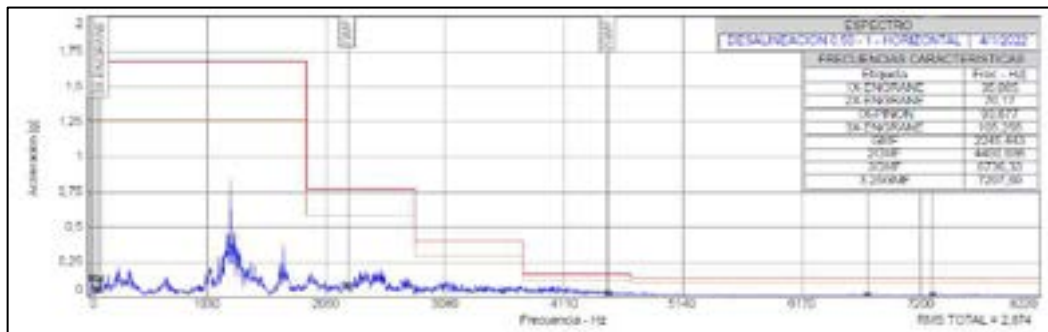


Figura 19-4:Espectro de la aceleración a 0,50 mm de desplazamiento – vertical

Fuente: (MAINTraq Predictive 2.1)

Realizado por: Condemaita, J; Molano, C, 2022

A diferencia del espectro a condiciones normales, el comportamiento del espectro de la aceleración a una desalineación de 1 mm es distinta puesto que presentan valores picos más elevados en los GMF tal y como se evidencia en la figura 19-4; así también, debido a la separación de la distancia entre centros la fuerza de impacto varía considerablemente ya que el engranaje y el piñón no tienen un juego adecuado y sus formas de onda serían distintas ya que dependerán de la distancia entre centros que se esté analizando.

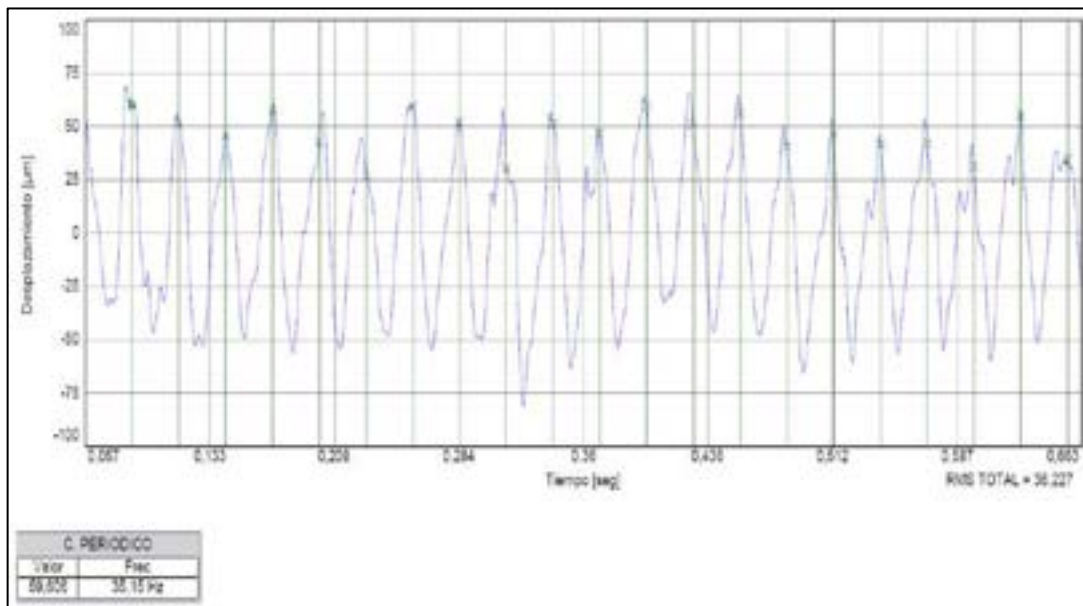


Figura 20-4: Forma de onda y espectro de desplazamiento en desalineación de 1mm.

Fuente: (MAINTraQ Predictive 2.1)

Realizado por: Condemaita, J; Molano, C, 2022


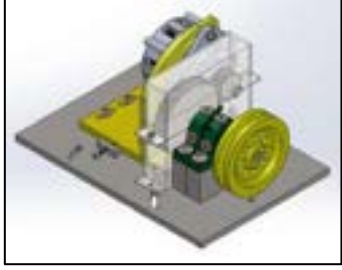
De igual forma que en los espectros de velocidad y envolvente, el espectro de desplazamiento de la figura 20-4 muestra los picos de frecuencia para desalineación mismos que son coincidentes a una frecuencia de 35,15 Hz.

4.4. Ficha técnica del módulo de simulación

Teniendo en cuenta las características del motor y alternador a utilizar en el módulo de simulación se genera una ficha técnica general.

Dentro de la ficha técnica presentada en la tabla 20-4 se expone cada uno de los sistemas pertenecientes al módulo, los rangos, condiciones generales y materiales de construcción de cada uno de sus componentes.

Tabla 17-4: Ficha técnica del módulo de simulación

		MÓDULO DE SIMULACIÓN					
Versión 1		Datos técnicos – componentes principales		Ficha	001		
11/02/2022		Laboratorio de Diagnóstico Técnico		Ubicación	Ing. Mantenimiento		
		Código de ubicación		LDE-MFE			
#	Nombre	Características o Componentes			Equipo		
001	Módulo de simulación de fallas de engranajes	Código	MFE				
		Año	2021				
		Sistemas del módulo de simulación					
		Sistema de alimentación					
		Motor	220 – 380 – 440 V				
		Alternador	14 V – 35 A				
		Sistema de lubricación					
		Lubricante	SAE 85W-140				
		Sistema de transmisión					
		Dimensiones (mm)					
		Piñón	# Dientes	24	Largo	Ancho	Espesor
			Módulo	2	420	289	12
			Ancho diente	24 mm	Material de construcción de componentes		
			Diámetro int.	3/4"	Componente	Material	
		Engrane	# Dientes	64	Piñón	Acero 1018	
			Módulo	2	Engrane	Acero 1018	
			Ancho diente	24 mm	Polea	Hierro fundido	
			Diámetro int.	3/4"	Chumacera	Hierro fundido	
		Polea	Diámetro ext.	100 mm	Base principal	Acero 1020	
			Diámetro int.	3/4"	Base alternador	Acero 1020	
Desalineación angular					Desalineación lineal		
Puntos de desalineación		3	Puntos de desalineación		3		
Punto eje de desalineación		1	Long. de desalineación		15 mm		
Consideraciones generales		Desalineación lineal en engranajes Desalineación angular de poleas Desalineación angular de bandas Análisis vibracional en engranajes Alineación láser de poleas					

Realizado por: Condemaita, J; Molano, C, 2022


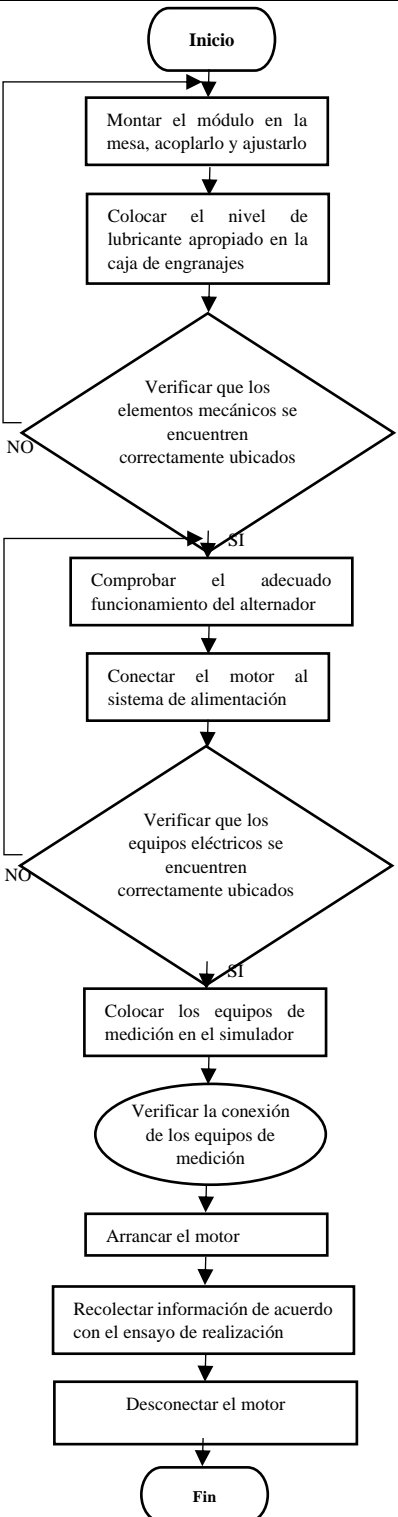
4.5. Implementación de la guía de operación y plan de mantenimiento

Considerando que la utilización del módulo de simulación de fallas en engranajes se la realizará dos veces por semestres dentro del laboratorio de Diagnóstico Técnico y Eficiencia Energética, es necesario generar una guía de operación y un plan de mantenimiento para los estudiantes.

4.5.1. Guía de operación

Esta guía está destinada a indicar a los estudiantes cómo poner en funcionamiento el módulo de simulación para evitar errores de medición, accidentes y daños al simulador.

Tabla 18-4: Manual de operación del módulo de simulación

		Proceso de operación del simulador de fallas en engranajes		
		Datos técnicos	Ficha	002
Versión 1 11/02/2022	Laboratorio de Diagnóstico Técnico y Eficiencia Energética	Ubicación	Ing. Mantenimiento	
Función	Proceso	Descripción		
Este simulador servirá para el aprendizaje de los estudiantes con el cual lograran detectar las fallas más comunes en los engranajes mediante el análisis vibracional y así poder detectar a tiempo la avería de cualquier máquina a causa de estos fallos, evitando así el paro de cualquier máquina solo analizando e identificando las gráficas tomadas mediante la utilización de un Vibracheck.		Con la ayuda de 2 o 3 compañeros de clases cargar el simulador para colocarlo sobre la mesa y anclarlo bien a está.		
Seguridad: <ol style="list-style-type: none"> 1. Tener cuidado al momento de cargar y asentar el simulador ya que es pesado. Nota: Mínimo cargar entre 2 estudiantes. 2. Manipular con precaución las conexiones eléctricas. 3. Evitar apoyarse o colocar las manos en la mesa en la que estará anclado nuestro simulador. 4. Los equipos serán manipulados únicamente en presencia del docente encargado. 5. Si el módulo presenta algún sonido raro al momento de conectar las fuentes de alimentación antes de ser encendido, avisar inmediatamente al docente encargado y no encender el módulo. 	Pedir el lubricante al docente encargado y con cuidado colocar la cantidad indicada por esté.			
	Antes de proseguir revisar que el equipo se encuentra bien fijado a la mesa de trabajo, en caso de que no lo estén repetimos los pasos anteriores.			
	Conectamos el alternador a su fuente de voltaje asignada, en el caso de no conocer, preguntar al docente encargado.			
	Conectamos el motor a su fuente de alimentación asignada, en el caso de no conocer, preguntar al docente encargado.			
	Antes de proseguir revisamos que los equipos eléctricos se encuentren debidamente conectados a sus respectivas fuentes de alimentación, en caso de que no lo estén repetimos los pasos anteriores.			
Conectamos los equipos de medición adecuadamente, indicados por el docente encargado para luego poder realizar la toma de medidas.				
Revisamos que los equipos de medición se encuentren correctamente conectados.				
Encendemos el motor.				
Realizamos la toma de las medidas que observaremos en los equipos de medida ya antes conectados.				
Apagamos el motor.				

Realizado por: Condemaita, J; Molano, C, 2022

4.5.2. *Guía práctica de laboratorio*

Esta guía práctica de laboratorio se generó de acuerdo con el procedimiento efectuado para la toma de resultados ya que esta guía servirá para futuros análisis de fallas de engranajes mismos que serán realizados por cada uno de los estudiantes de la carrera de Mantenimiento Industrial en el laboratorio de Diagnóstico Técnico y Eficiencia Energética.

Esta guía de laboratorio es detallada en el Anexo “A” del presente trabajo técnico.

4.5.3. *Plan de mantenimiento*

Para llevar a cabo un manual de mantenimiento adecuado se ha codificado cada uno de los equipos y componentes dependiendo en sistema al que pertenecen.

4.5.3.1. *Codificación de equipos y componentes*

Tabla 19-4: Codificación de equipos y componentes

Codificación de equipos y componentes							
Área		Módulo		Sistema		Equipo/Componente	
COD.	Descripción	COD.	Descripción	COD.	Descripción	COD.	Descripción
LDE	Laboratorio de Diagnóstico Técnico y Eficiencia Energética	MFE	Módulo de simulación de fallas de engranajes	10	Eléctrico	EME01	Motor eléctrico
				20	Carga	EALT01	Alternador
				30	Transmisión	MBA01	Banda
						MEN01	Engranaje
						MPI01	Piñón
						MPO01	Polea
				40	Equilibrio	MEJ01	Eje
						MCH01	Chumaceras
				50	Soporte	MBP01	Base principal
						MBT01	Base alternador
MBCH01	B. chumaceras						

Realizado por: Condemaita, J; Molano, C, 2022

4.5.3.2. *Manual de mantenimiento*

El manual de mantenimiento está diseñado para mostrar la frecuencia de aplicación y operación de cada componente que conforma el módulo de simulación para que pueda cumplir su función requerida durante las prácticas de los estudiantes sin ningún inconveniente, ver Anexo “B”.

4.5.3.3. *Tareas de mantenimiento*

Por otro lado, para cumplir con las especificaciones del manual de mantenimiento es necesario considerar tareas de mantenimiento mismas que se encuentran evidenciadas en el Anexo C.

CONCLUSIONES

La implementación del módulo de simulación permitió realizar un diagnóstico vibracional a los engranajes rectos del rotor kit del laboratorio de Diagnóstico Técnico y Eficiencia Energética utilizando un analizador de vibraciones Vibracheck 200ABG el cual muestra espectros característicos de la aceleración, velocidad, envolvente y desplazamiento en un rango de frecuencias.

Con el análisis del estado del arte se estableció que los modos de fallas de los engranajes son consecuencias directas al fallo; mismos que, provocan paros imprevistos en el funcionamiento de una máquina rotativa.

Mediante la selección de los equipos y dimensionamiento de los componentes del módulo de simulación, se pudo establecer el tipo y tamaño de material necesario para llevar a cabo una construcción acertada; la cual permitió generar pruebas de funcionamiento con resultados correctos.

La construcción del módulo de simulación permitió determinar distintos armónicos y valores de frecuencias naturales de los cuatro tipos de modos de falla establecidos en el rotor kit, mismos que fueron analizados y comparados con los espectros típicos de la carta de Charlotte.

Se verificó la variación de la amplitud vibracional de los tres armónicos en cada uno de los espectros encontrados, los cuales permitieron identificar el modo de falla que se está ocasionando en los engranajes del rotor kit.

Se identificó que los espectros obtenidos en cada modo de falla son diferentes; puesto que, para un espectro de la velocidad a condiciones normales el 1X-engrane y 1X-piñón son elevados; por otro lado, en el modo de falla de encuentro de dientes el 1X y 2X -engranes son elevados y el 1X-piñón no es muy notable.

Considerando los modos de falla de diente roto y desalineación se concluye que, en la desalineación el 1X-engrane es muy elevado debido a la falta de juego entre dientes y en el modo de falla con diente roto el 1X-engrane es pequeño sin embargo la frecuencia de engrane es muy elevada.

Se estableció que las frecuencias naturales en los cuatro módulos de simulación son inferiores a la frecuencia normal de trabajo del elemento motriz; es decir, los valores de frecuencia natural obtenidos oscilan entre 20 y 23 Hz los cuales son diferentes a 30 Hz que es la frecuencia de trabajo; por lo tanto, se determina que el módulo no entró en resonancia.

Se concluyó que el manual de operación y guía de laboratorio establecida para el módulo de simulación de fallas cuenta con el procedimiento detallado para la toma de datos en cada una de las condiciones establecidas.

RECOMENDACIONES

A nivel profesional o estudiantil, se recomienda utilizar equipo de protección personal al realizar estas actividades de práctica de laboratorio; puesto que, en el análisis de vibraciones, no solo la condición física de la persona estará amenazada por la existencia de componentes de transmisión de velocidad como engranajes sino también la salud auditiva debido a la presión sonora emitida.

Realizar un chequeo de todos los componentes fijos y móviles del módulo antes de su funcionamiento para evitar cualquier accidente operacional.

Configurar valores como frecuencia de trabajo, GMF y armónicos tanto para el engrane y el piñón dentro del software MAINTraQ Predictive para que el analizador de vibraciones genere valores adecuados en los espectros y formas de honda a recolectar.

Alrecopilar y analizar datos con el analizador de vibraciones, trabajar en la unidad del mismo sistema para facilitar la aplicación del método deductivo y realizar un análisis cuantitativo de cada modo de fallo.

Teniendo en cuenta la cantidad de estudiantes en la materia de Diagnostico Técnico adquirir más analizadores de vibraciones para que los estudiantes puedan recolectar todo tipo de datos establecidos en la guía práctica.

BIBLIOGRAFÍA

ALARCÓN, C., & GAIBOR, N. *Construcción de un simulador para el diagnóstico de modos de fallas en engranajes mediante el análisis de vibraciones y ultrasonido pasivo para la facultad de mecánica* [en línea]. Riobamba: ESPOCH, 2017. [Consulta: 20 mayo 2021]. Disponible en: <http://dspace.espoch.edu.ec/handle/123456789/6489>.

AROSEMENA, A. Engranajes en general. [en línea], 2015. [Consulta: 11 junio 2021]. Disponible en: https://www.academia.utp.ac.pa/sites/default/files/docente/72/clase_5_engranes_en_general.pdf.

BIDWELL, J.C. [from old catalog]. Lista de precios . *Lista de precios WEG*. S.l., 2021.

BOTERO, M., & CAÑÓN, B.A. ANÁLISIS DE VIBRACIONES: UNA HERRAMIENTA CLAVE EN EL MANTENIMIENTO PREDICTIVO. *Scientia et Technica Año XVI* [en línea], 2010, vol. 45, pp. 1-4. [Consulta: 25 mayo 2021]. ISSN 0122-1701. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/849/84917249040.pdf>.

CHIMBO, F. & VEÁSQUEZ, J. ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE ENGRANES CÓNICOS Y HELICOIDALES SOMETIDOS A FATIGA MEDIANTE SIMULACIÓN Y VALIDADO EN MÁQUINA DE ENSAYO [en línea]. Quito : UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE QUITO, 2020. [Consulta: 13 junio 2021]. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/19308/1/UPS - TTS178.pdf>.

DAZA HERNÁNDEZ, G. *Apuntes del Curso Vibraciones mecánicas*. Universidad Técnica Federico Santa María, 2007.

DÍAZ, F. *ENGRANES: HISTORIA, FABRICACIÓN Y FALLAS* [en línea]. 22. México : s.n., 2013. [Consulta: 29 mayo 2021]. Disponible en: http://olimpia.cuautitlan2.unam.mx/pagina_ingenieria/mecanica/mat/mat_mec/m1/Engranajes_historia_fabricacion_fallas.pdf.

GARCÍA, S. CIEM-UNL: Mantenimiento y Seguridad Industrial: MODOS DE FALLA EN ENGRANAJES. [en línea], 2015. [Consulta: 9 junio 2021]. Disponible en: <http://maintenancengineering.blogspot.com/2015/04/modos-de-falla-en-engranajes.html>.

GO-J, M. TEXACO MULTIGEAR ® EP. . S.l. , 2020.

GUTIÉRREZ GUTIÉRREZ, V. MODELO DINÁMICO DE BANCO DE PRUEBAS DE ENGRANAJES PLANETARIOS. [en línea] , 2019.[Consulta: 5 julio 2021]. Disponible en: <https://repositorio.unican.es/xmlui/bitstream/handle/10902/17012/419742.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

LAMEDA, C. MÉTODOS RELACIONADOS CON DIAGNÓSTICOS DE FALLAS CON SÍNTOMAS IMPRECISOS MEDIANTE COMPARACIÓN DE CASOS. [en línea], 2015,*Revista Digital de Investigación y Postgrado*, [Consulta: 5 julio 2021]. ISSN-e 2244-7393, Vol. 5, Nº. 3, 2015 (*Ejemplar dedicado a: V Jornadas*), vol. 5, no. 3, pp. 7-8. ISSN 2244-7393. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5329325>.

LIU, J.; et al. Vibration analysis of a planetary gear with the flexible ring and planet bearing fault. *Measurement: Journal of the International Measurement Confederation* [en línea], 2020, vol. 165, pp. 1. [Consulta: 20 mayo 2021]. ISSN 02632241. DOI 10.1016/j.measurement.2020.108100. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0263224120306382>.

MENG, Z.; et al. Vibration response and fault characteristics analysis of gear based on time-varying mesh stiffness. *Mechanism and Machine Theory* [en línea], 2020, vol. 148, pp. 1. [Consulta: 20 mayo 2021]. ISSN 0094114X. DOI 10.1016/j.mechmachtheory.2020.103786. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0094114X20300070>.

MORA ESPEJO, É. & HERNÁNDEZ ALBAÑIL, H. *Análisis de fallas de estructuras y elementos mecánicos* [en línea], Universidad Nacional de Colombia, 2020. [Consulta: 3 junio 2021]. ISBN 9789587838619. Disponible en: <https://elibro.net/es/ereader/epoch/129070>.

OTEGUI, J.L. *Análisis de fallas: fundamentos y aplicaciones en componentes mecánicos* [en línea], S.l.: Eudem, 2015. [Consulta: 3 junio 2021]. ISBN 9781512910759. Disponible en: <https://elibro.net/es/ereader/epoch/77012>.

PALOMINO MARÍN, E. *Elementos de Medición y análisis de vibraciones de Máquinas Rotatorias* [en línea], 2007, s.n. ISBN 959-261-043-6. Disponible en: <https://fddocuments.ec/document/elementos-de-medicion-y-analisis-de-vibraciones-mecanica-en-maquinas-rotatorias-559bf41ddf43c.html>

PÉREZ, A.; et al. *Mantenimiento mecánico de máquinas* [en línea]. 2. S.l.: Universitat Jaume, 2007. [Consulta: 10 junio 2021]. ISBN 978-84-8021-629-6. Disponible en: https://books.google.com.ec/books?id=4oZdks_uORsC&printsec=frontcover#v=onepage&q&f=false.

REGIONAL, N.; et al. *ELEMENTOS DE MAQUINAS* [en línea]. S.l.: SENA, 2013. [Consulta: 13 junio 2021]. Disponible en: <http://biblioteca.sena.edu.co/>.

RIVERA, H. Desalineamiento de engranajes abiertos. [en línea], 2015. [Consulta: 5 julio 2021]. Disponible en: <https://es.slideshare.net/hriveraq/desalineamiento-de-engranajes-abiertos>.

RODA CASANOVA, V. *Simulación del engrane y análisis del contacto en sistemas de transmisión por engranajes mediante la modelización avanzada del conjunto ejes-engranajes* [en línea], 2015. [Consulta: 5 julio 2021]. Disponible en: <https://www.tesisenred.net/bitstream/handle/10803/371447/vroda.pdf?sequence=1>.

SOUDMAND, B.H. & SHELESH-NEZHAD, K. Experimental investigation on the durability and failure modes of polybutylene terephthalate/calcium carbonate nanocomposite gears. *Engineering Failure Analysis* [en línea], 2021, vol. 120, pp. 14-15. [Consulta: 21 mayo 2021]. ISSN 13506307. DOI 10.1016/j.engfailanal.2020.105113. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S135063072031637X>.

TAYLOR, J.I. *The Vibration Analysis Handbook - A practical guide solving rotary Machinery Problems* [en línea], 2003. ISBN 0964051729. Disponible en: <http://www.amazon.com/dp/0964051729>.

TECHNICAL ASSOCIATES OF CHARLOTTE. Lista Ilustrada De Diagnóstico De Vibraciones. [en línea], 1996 pp. 3-4. Disponible en: <https://www.technicalassociates.net/spanish-wall-chart.html>.

ULLOA, L. & VASCO, O. *DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA PARA ENSAYO DE ENGRANES RECTOS SOMETIDOS A FATIGA* [en línea]. Quito: UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE QUITO, 2020. [Consulta: 15 junio 2021]. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/19207/1/UPS - TTS139.pdf>.

WANG, Q.; et al. A mesh stiffness method using slice coupling for spur gear pairs with misalignment and lead crown relief. *Applied Mathematical Modelling* [en línea], 2021, vol. 90,

pp. 845-861. ISSN 0307904X. DOI 10.1016/j.apm.2020.08.046.

WHITE, G. *Introducción al Análisis de Vibraciones*, 2010.

ANEXOS

Anexo A: guía de laboratorio



ESPOCH

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE MECÁNICA – ESCUELA DE INGENIERÍA DE MANTENIMIENTO INDUSTRIAL



GUÍA DE LABORATORIO DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO

PRÁCTICA N° 01

TEMA: “DIAGNÓSTICO DE FALLAS EN ENGRANAJES”

1. DATOS GENERALES

NOMBRE	CÓDIGO	% PARTICIPACIÓN

GRUPO N°:

FECHA DE REALIZACIÓN:FECHA DE ENTREGA:

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

Aplicar el análisis vibracional en los módulos de simulación de fallas en engranajes para determinar los diferentes tipos de fallas que pueden presentarse.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar las frecuencias naturales de los 4 módulos de simulación

- Determinar las frecuencias de 1X-ENGRANE y 1X-PIÑÓN a condiciones normales de operación.
- Determinar los datos 1X, 2X de los engranes y 1X-PIÑÓN de los modos de falla de los engranajes (diente roto, encuentro entre dientes, desalineación lineal).
- Determinar la frecuencia de engrane en cada espectro obtenido de los modos de falla
- Comparar y analizar los datos obtenido en condiciones normales con cada uno de los modos de fallos.
- Identificar el estado de los engranajes de los módulos de simulación

3. INSTRUCCIONES

La práctica de laboratorio se desarrollará mediante el cumplimiento secuencial de los siguientes pasos:

3.1 MAINTraQ Viewer

- 3.1.1 Configurar los puntos en el software para determinar la frecuencia natural
- 3.1.2 Colocar el acelerómetro en el punto de análisis en el módulo y en el Vibracheck en el canal 1.
- 3.1.3 Realizar la comunicación del simulador y el software mediante el ordenador.
- 3.1.4 Proporcionar un ligero golpe al engrane del módulo de simulación.
- 3.1.5 Capturar y tomar las medidas obtenidas mediante el software.
- 3.1.6 Generar el funcionamiento del módulo a condiciones normales con 60Hz para comparar con la frecuencia natural.

3.2 MAINTraQ Predictive

- 3.2.1 Revisar las conexiones y el funcionamiento del módulo de simulación
- 3.2.2 Revisar que los engranes estén lubricados con el lubricante establecido.
- 3.2.3 Revisar los pernos de anclaje de cada una de las bases del módulo de simulación.
- 3.2.4 Adecuar el modo de falla que será analizado en el banco de pruebas.
- 3.2.5 Revisar que las poleas se encuentren alineadas correctamente.
- 3.2.6 Colocar el acelerómetro en el punto de análisis vertical u horizontal de la chumacera cercana al engrane del eje conducido del módulo y en el Vibracheck en el canal 1.
- 3.2.7 Realizar la comunicación del simulador y el software mediante el ordenador.
- 3.3 Recolectar cada uno de los datos obtenidos a una frecuencia de 60Hz.

- 3.4 Analizar los espectros generados en el software.
- 3.5 Identificar los valores de 1X-ENGRANE y 1X-PIÑÓN de cada espectro obtenido.
- 3.6 Repetir el procedimiento para cada modo de falla establecido (diente roto y desalineación).

4. INDICACIONES

- 4.1 Utilizar el adecuado equipo de protección personal
- 4.2 Verificar que los tableros de control se encuentren con alimentación eléctrica
- 4.3 Verificar que el motor se encuentre funcionando correctamente
- 4.4 Verificar los pernos de anclaje de la mesa de análisis
- 4.5 Verificar los pernos de anclaje de las partes fijas y móviles del módulo de simulación
- 4.6 Verificar que el módulo se encuentre perfectamente alineado para el análisis
- 4.7 Verificar el correcto tensado de la banda de transmisión

5. PROHIBICIONES

- 5.1 Antes de la utilización del módulo considere que son piezas mecánicas capaces de causar heridas físicas sino se trabaja utilizando los equipos de protección adecuados.
- 5.2 Al momento de realizar las practicas Ud. debe estar concentrado en el trabajo que realiza y no andar en el celular.
- 5.3 Cuando se toman las medidas los estudiantes no deben colocar las manos sobre la mesa del módulo, sino en los equipos de medición.
- 5.4 El estudiante no puede comer ni ingerir alguna bebida mientras se encuentra realizando las prácticas.
- 5.5 Las computadoras dispuestas en el módulo son únicamente para la toma de las medidas mediante la utilización del Vibracheck 200ABG y no para otro tipo de uso.
- 5.6 Prohibido abrir las líneas de alimentación del tablero de control a menos que esta necesite de reparación ya que estarán alimentadas con 220 v.

6. MARCO TEÓRICO

¿Qué es un Engranaje y para qué sirve?

Se denomina engranaje al mecanismo utilizado para transmitir potencia de un componente a otro dentro de una máquina. Los engranajes están formados por dos ruedas dentadas, de las cuales la

mayor se denomina corona y el menor piñón. Un engranaje sirve para transmitir movimiento circular mediante el contacto de ruedas dentadas una conductora y una conducida.



Fallas en engranajes

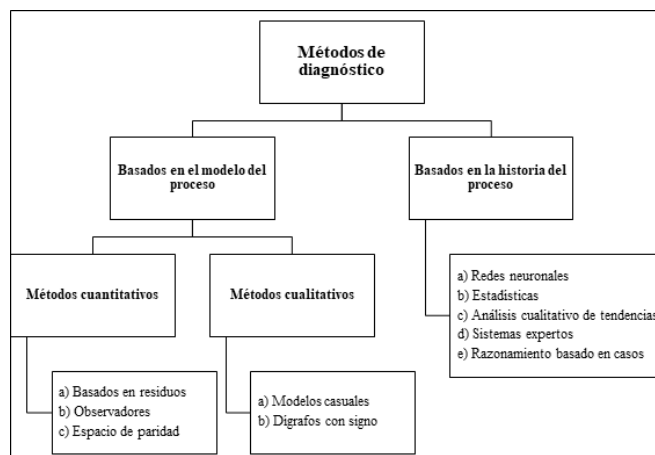
Las fallas en los engranajes pueden ocurrir por diversos factores que varían según el tipo de mecanismo: si es abierto o cerrado, las características de funcionamiento de este, o factores externos que pueden o no aparecer en determinados momentos en el trabajo normal.

Las fallas más comunes que se presentan en los engranajes son las siguientes:

- Pérdida de diente total o parcial.
- Agrietamiento.
- Desgaste.
- Deformación plástica.

Formas de diagnosticar una falla

Existen distintas formas de diagnosticar una falla en los engranajes, una de ellas está basada en la forma del conocimiento del proceso; la cual, aplica un método de diagnóstico que establece el modelo del proceso y la historia del proceso para establecer la funcionalidad de manera cualitativa o cuantitativa.



7. ACTIVIDADES POR DESARROLLAR

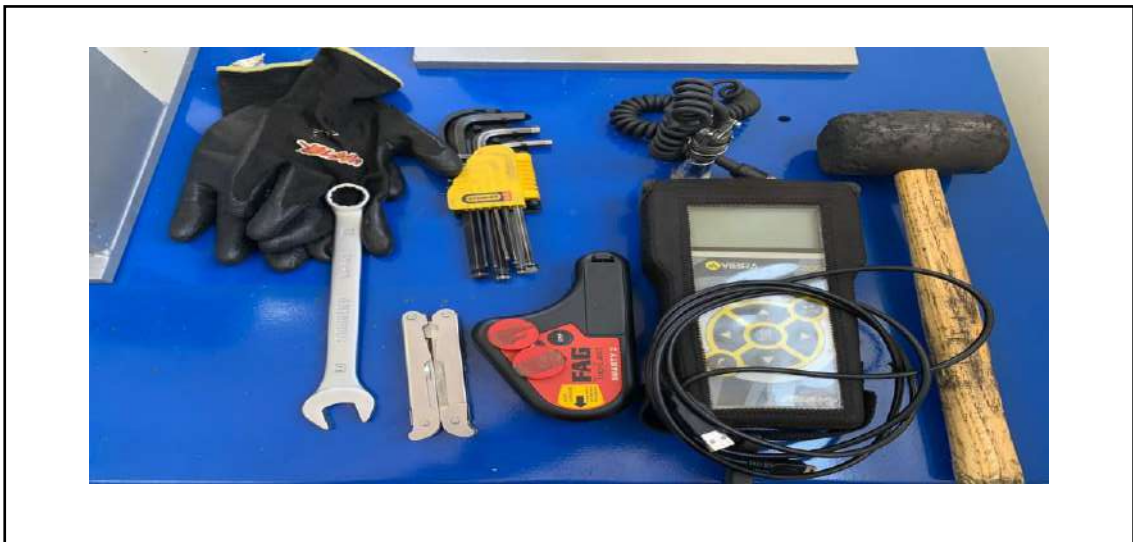
7.1 Observación y reconocimiento de instrumentos y equipos

Equipos de protección personal

- Mandil
- Guantes de pupos o de goma
- Guaipe
- Gafas de seguridad
- Tapones de oídos

Equipos y herramientas

- Motor eléctrico
- Módulo de simulación de fallas en engranajes
- Vibracheck 200 ABG
- Cable de carga
- Cable de comunicación
- Llaves hexagonales



Equipos y materiales



Módulo de simulación ensamblado

(Describir cómo se realiza el ensamblaje del módulo con las respectivas advertencias de seguridad con el ícono como viñeta mostrada a continuación)

- Verificar que el módulo de desalineación se encuentre bien anclado antes de ser usado.
- Colocar sobre la mesa de análisis la base del módulo de simulación de engranajes
- Ajustar los pernos de la base del módulo de simulación de engranajes
- Montar la base del alternador y el alternador sobre la mesa del módulo de simulación
- Acoplar el piñón en el eje del alternador y ajustar su perno de anclaje
- Montar las chumaceras sobre la base del módulo de simulación
- Acoplar el eje en las chumaceras
- Montar la polea y el engranaje sobre el eje
- Verificar que cada uno de los pernos de anclaje estén ajustados correctamente para evitar accidentes.



7.2 Manejo de instrumentos y equipos

(Describir secuencialmente el manejo del colector de vibraciones Vibracheck 200 ABG y del software de análisis de vibraciones con las respectivas advertencias de seguridad con el ícono como viñeta mostrada a continuación; puede utilizar imágenes recortadas)

- Verificar que el colector de datos se encuentre con batería suficiente para la práctica.
- Ajustar el cable del acelerómetro en la entrada del canal 1 del colector.
- Conectar el cable de datos del colector a la computadora.
- Verificar que la conexión entre la computadora y el colector se la haya efectuado con éxito.
- Colocar el acelerómetro sobre la base del inserto en el cual se tomarán los datos.

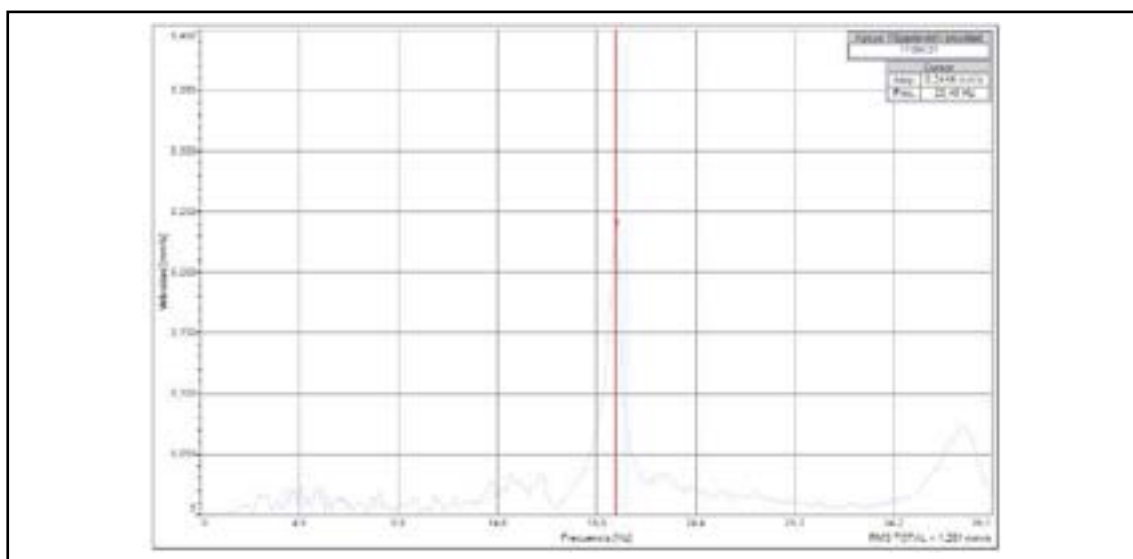
7.3 Toma y recolección de datos

(Describir secuencialmente como realizar la recolección de datos mediante el software de análisis de vibraciones; puede utilizar imágenes recortadas)

Frecuencias naturales

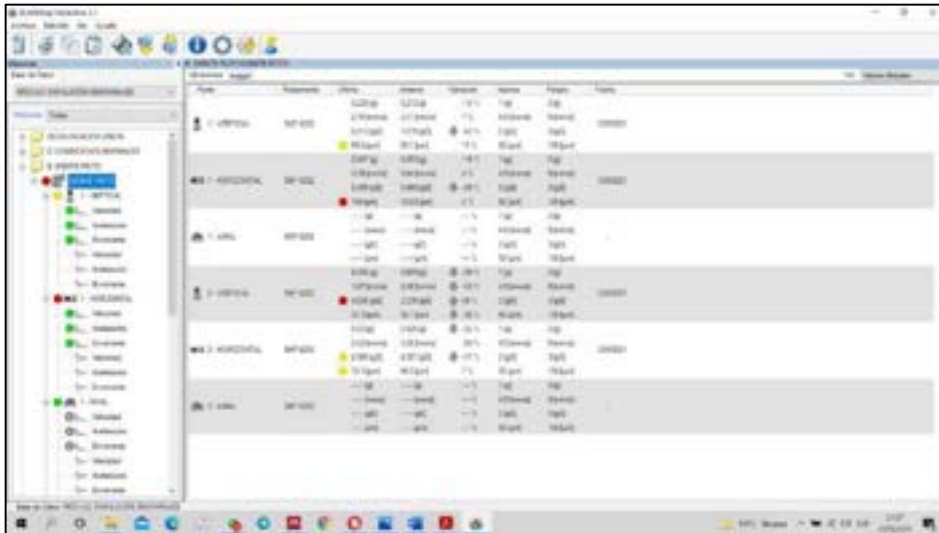
- Para las frecuencias naturales utilizar el software MAINTraQ Viewer
- Verificar la comunicación entre el colector y la computadora.
- Verificar que el inserto este correctamente fijado para colocar el acelerómetro
- Una vez verificado la comunicación se procede a medir y grabar
- Generar un ligero golpe sobre el engranaje para determinar el espectro
- Una vez que el software determine el espectro detener y parar la grabación
- El análisis grabado abrirlo en el MAINTraQ Analyzer y sacar el valor de la frecuencia

Espectro de la frecuencia natural



Valores de espectros de aceleración, velocidad, desplazamiento y envolvente

- Utilizar el software MAINTraQ Predictive.
- Verificar la comunicación entre el colector y la computadora.
- Verificar que el inserto este correctamente fijado para colocar el acelerómetro.
- Verificar que en el software se encuentre configurado los espectros y formas de onda para aceleración, velocidad, desplazamiento y envolvente.
- Comunicar la computadora con el colector y enviar los datos a recolar
- Una vez recolectado los datos, comunicar con la computadora y descargar datos encontrados.
- Analizar los datos obtenidos en el colector.



7.4 Ordenamiento y procesamiento de datos

(Describir secuencialmente como realizar el ordenamiento y procesamiento de datos)

- Determinar frecuencias naturales de los cuatro módulos de simulación de fallas
- Determinar valores a condiciones normales de los engranajes para tener un punto de análisis inicial en relación con los modos de falla.
- Determinar los valores de vibración con el modo de falla de engrane con diente roto
- Relacionar los valores a condiciones normales y engrane con diente roto para determinar la ecuación característica del modo de falla y a su vez la línea de tendencia.
- Determinar los valores de vibración con el modo de falla de encuentro de dientes.
- Relacionar los valores a condiciones normales y encuentro de dientes para determinar la ecuación característica del modo de falla y a su vez la línea de tendencia.

- Determinar los valores de vibración con el modo de falla de desalineación o separación de distancia entre centros.
- Relacionar los valores a condiciones normales y desalineación para determinar la ecuación característica del modo de falla y a su vez la línea de tendencia.

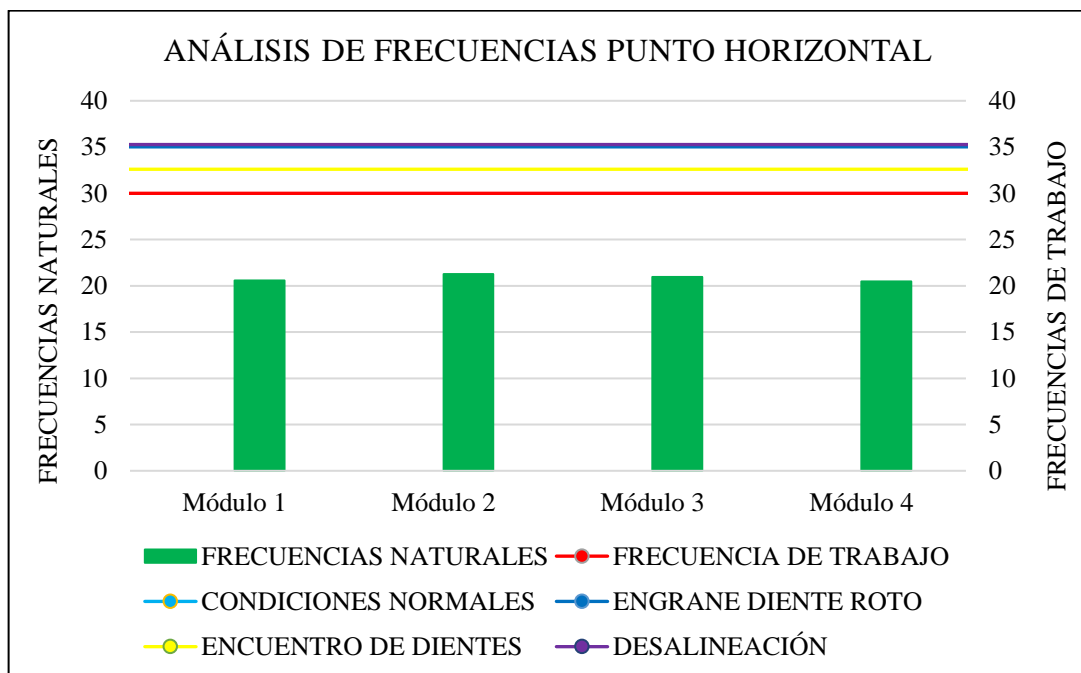
Mediante la descripción realizada anteriormente, tabule cada uno de los datos en las siguientes tablas.

DETERMINACIÓN DE FRECUENCIAS NATURALES

Determinar la frecuencia natural de cada módulo de simulación tanto para el punto horizontal y vertical

PUNTO DE ANÁLISIS HORIZONTAL

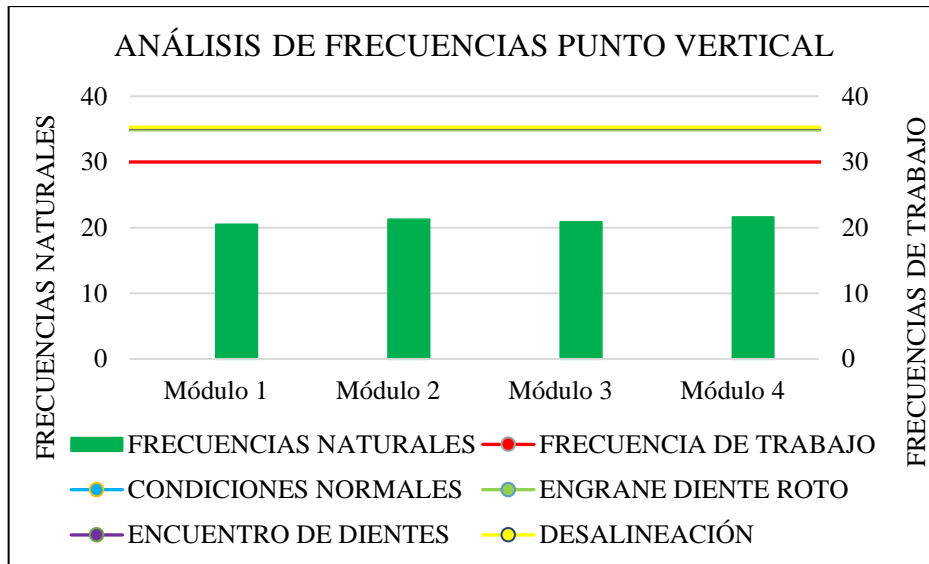
FRECUENCIA NATURAL EN EL PUNTO HORIZONTAL				
Denominación	Valor			
	Módulo 1	Módulo 2	Módulo 3	Módulo 4
Frecuencia	20,57 Hz	21,27 Hz	20,97 Hz	20,37 Hz



Análisis de frecuencias (punto horizontal)

PUNTO DE ANÁLISIS VERTICAL

FRECUENCIA NATURAL EN EL PUNTO VERTICAL				
Denominación	Valor			
	Módulo 1	Módulo 2	Módulo 3	Módulo 4
Frecuencia	20,48 Hz	21,27 Hz	20,86 Hz	21,61 Hz



Análisis de frecuencias (punto vertical)

Interpretación: Como se puede apreciar en las figuras anteriores, las frecuencias naturales analizadas y las frecuencias de trabajo encontradas con los modos de falla son diferentes, es decir no coinciden en ningún pico de amplitud; por lo tanto, se puede determinar que el módulo no entro en resonancia.

ENSAYO PARA ENGRANAJES A CONDICIONES NORMALES

Considerando las ecuaciones a continuación, se determinan los datos a condiciones normales

VALORES GENERALES A CONDICIONES NORMALES	
Denominación	Valor
Velocidad angular engrane (rpm)	1956,00
1X engranaje (Hz)	32,60
Velocidad angular piñón (rpm)	5216,65
1X piñón (Hz)	86,94
GMF (Hz)	2086,40
2GMF (Hz)	4172,80
3GMF (Hz)	6259,20
3,25GMF (Hz)	6780,80
rms total vertical (g)	2,03
rms total horizontal (g)	2,15

$$1XE = \frac{\text{rpm EJE MOTOR}}{60} ; 1XP = \frac{\text{rpm EJE PIÑÓN}}{60}$$

$$\text{Frecuencia de engrane} = \frac{\#Dientes del engrane}{\#Dientes del piñón} * (1X ENGRANE)$$

$$GMF = \#Dientes\ del\ engrane * (1X\ ENGRANE)$$

ENSAYO PARA DESALINEACIÓN LINEAL DE ENGRANAJES

Para determinar los distintos valores de GMF en desalineación, se debe generar datos específicos con cada una de las desalineaciones para poder apreciar la variación de cada uno de estos.

De igual forma que en el análisis a condiciones normales, se necesitan valores de rms total en cada punto de desalineación.

DESALINEACION LINEAL DE ENGRANAJES					
DESIGNACIÓN (Hz)	DESPLAZAMIENTO (mm)				
	0	0,25	0,5	0,75	1
1XE	32,60	32,48	32,35	32,22	27,89
2XE	65,20	64,95	64,70	64,44	55,78
rpm	1956,00	1948,54	1940,90	1933,25	1673,44
GMF (Hz)	2086,40	2078,44	2070,29	2062,14	1785,00
2GMF (Hz)	4172,80	4156,88	4140,58	4124,28	3570,00
3GMF (Hz)	6259,20	6235,32	6210,86	6186,41	5355,00
3,25GMF (Hz)	6780,80	6754,93	6728,44	6701,95	5801,25

VALORES DE rms total		
EJE CONDUcido		
Punto de análisis	Desalineación (mm)	rms total (g)
Vertical	0,25	2,02
	0,5	1,90
	0,75	1,90
	1	1,81
Horizontal	0,25	2,13
	0,5	2,08
	0,75	1,93
	1	1,75

ENSAYO PARA ENGRANAJES CON DIENTE ROTO

ENSAYO ENGRANAJES CON DIENTES ROTOS	
Denominación	Valor
Velocidad angular del motor (rpm)	1800,00
Velocidad angular del engrane (rpm)	1910,00
1X engranaje (Hz)	31,83
Frecuencia natural (Hz)	84,90
Tiempo de formación de onda (s)	0,33
rms total horizontal (g)	1,20
rms total vertical (g)	3,74

Considerando la ecuación mostrada a continuación, se procede a determinar cada uno de los valores necesarios para el análisis de mínimos cuadrados que serán de gran importancia para la obtención de la ecuación característica y la línea de tendencia.

$$\text{FACTOR CRESTA} = \frac{\text{VALOR PICO}}{\text{rms TOTAL}}$$

ENGRANAJE DE DIENTES ROTOS PICO-NIVEL			
Eje conducido			
Puntos	Picos	Frecuencias (Hz)	mm/s
Horizontal	1	31,87	1,31
	2	83,89	1,07
	3	85,72	2,68
	4	145,07	0,79
	5	187,93	0,81
Vertical	1	47,62	0,33
	2	51,65	0,42
	3	53,12	0,42
	4	55,68	1,15
	5	60,81	0,50

ENSAYO PARA ENCUENTRO ENTRE DIENTES

Teniendo en cuenta que el análisis para encuentro de dientes y diente roto es similar, se procede a realizar el mismo procedimiento para su análisis.

ENSAYO ENGRANAJES CON ENCUENTRO DE DIENTES	
Denominación	Valor
Velocidad angular del motor (rpm)	1200,00
Velocidad angular del engrane (rpm)	1940,00
1X engranaje (Hz)	32,33
Frecuencia natural (Hz)	86,23
Tiempo de formación de onda (s)	0,33
rms total horizontal (g)	1,20
rms total vertical (g)	0,96

$$\text{FACTOR CRESTA} = \frac{\text{VALOR PICO}}{\text{rms TOTAL}}$$

ENGRANAJE DE DIENTES ROTOS PICO-NIVEL			
EJE CONDUCIDO			
Puntos	Picos	Frecuencias (Hz)	mm/s
Horizontal	1	32,97	1,99
	2	64,47	0,47
	3	82,06	0,46
	4	88,28	0,91
	5	198,92	0,53
Vertical	1	26,74	0,41
	2	32,24	1,86
	3	64,11	0,64
	4	65,21	0,45
	5	86,82	0,43

7.5 Cálculo y resultados

Teniendo en cuenta cada uno de los resultados obtenidos mediante el análisis de espectros, realizar el análisis de resultados mediante el método de mínimos cuadrados haciendo una relación del modo de fallo vs el rms total de la aceleración a condiciones normales.

ANÁLISIS PARA DESALINEACIÓN

Considerando los valores de desalineación de 0; 0,25; 0,50; 0,75 y 1mm y los rms total determinados se procede a determinar la ecuación característica con la siguiente fórmula.

$$a = \frac{n \sum XY - (\sum X * \sum Y)}{n \sum (X^2) - (\sum X)^2}$$

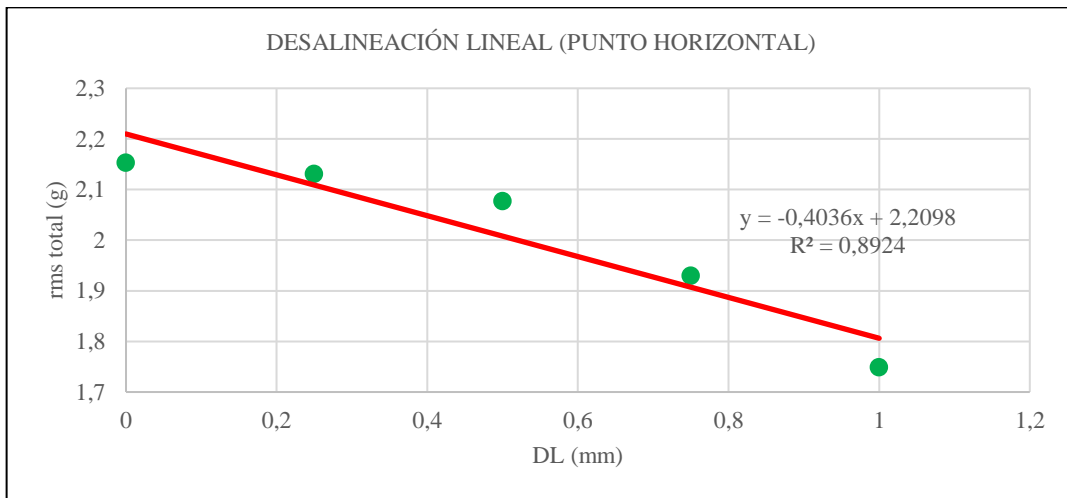
$$b = \frac{\sum Y \sum X^2 - (\sum X * \sum XY)}{n \sum (X^2) - (\sum X)^2}$$

$$A\text{-rms total} = a * DL + b$$

PUNTO DE ANÁLISIS HORIZONTAL

MÍNIMOS CUADRADOS PUNTO HORIZONTAL					
N	DL (mm) [X]	A-rms total H [Y]	X*Y	X ²	Y ²
1	0,00	2,15	0,00	0,00	4,64
2	0,25	2,13	0,53	0,06	4,54
3	0,50	2,08	1,04	0,25	4,31
4	0,75	1,93	1,45	0,56	3,72
5	1,00	1,75	1,75	1,00	3,06
Σ	2,50	10,04	4,77	1,88	20,27

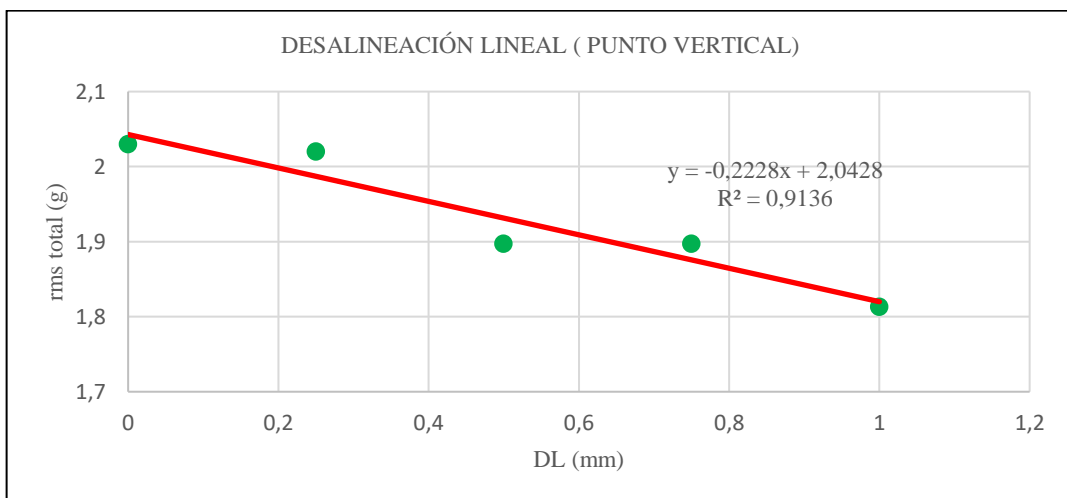
A-rms total H=- 0,40*DL+ 2,21



PUNTO DE ANÁLISIS VERTICAL

MÍNIMOS CUADRADOS PUNTO VERTICAL					
N	DL [X]	A-rms total V [Y]	X*Y	X ²	Y ²
1	0,00	2,03	0,00	0,00	4,12
2	0,25	2,02	0,51	0,06	4,08
3	0,50	1,90	0,95	0,25	3,60
4	0,75	1,90	1,42	0,56	3,60
5	1,00	1,81	1,81	1,00	3,29
Σ	2,50	9,66	4,69	1,88	18,69

A-rms total V=-0,22*DL+ 2,04



ANÁLISIS PARA DIENTES ROTOS

Para la realización de este modo de falla se debe tener en cuenta el tiempo y el factor cresta del espectro determinado.

Punto vertical. A continuación, se presenta los valores respectivos para el análisis respectivo.

Amplitud máxima de engrane con diente roto punto vertical

ANÁLISIS DE LA AMPLITUD MÁXIMA EN EL PUNTO VERTICAL		
Aceleración	Valor máximo	18,74 [g]
	Valor eficaz	3,84
Desplazamiento	Valor máximo	27,09 [μm]
	Valor eficaz	12,69

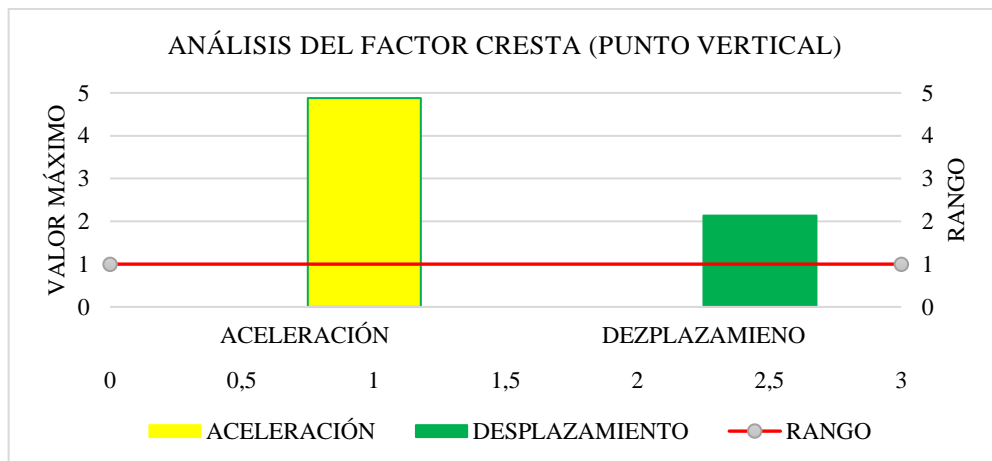
Utilizando la ecuación 26 se realiza el análisis del factor cresta para el punto vertical

$$\text{Factor cresta (aceleración)} = \frac{18,742}{3,84}$$

$$\text{Factor cresta (aceleración)} = 4,88$$

$$\text{Factor cresta (desplazamiento)} = \frac{27,09}{12,69}$$

$$\text{Factor cresta (desplazamiento)} = 2,13$$



Punto horizontal. A continuación, se presenta los valores respectivos para el análisis respectivo.

Amplitud máxima de engrane con diente roto punto horizontal

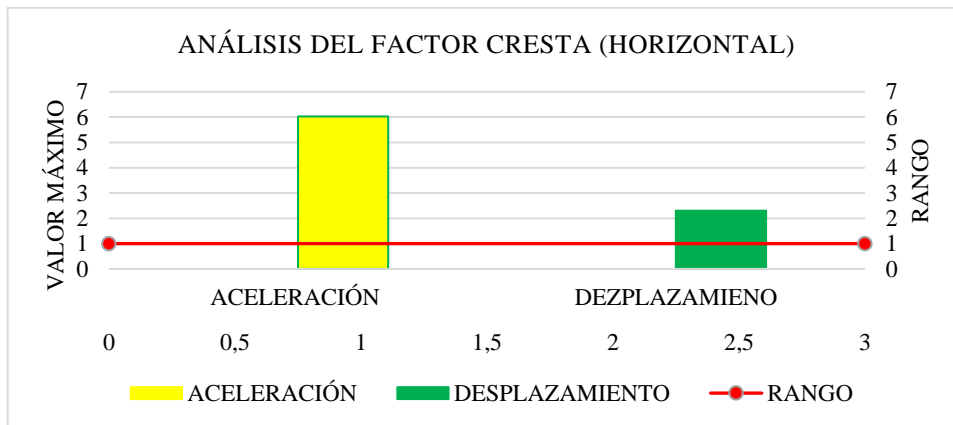
ANÁLISIS DE LA AMPLITUD MÁXIMA EN EL PUNTO HORIZONTAL		
Aceleración	Valor máximo	25,78 [g]
	Valor eficaz	4,28
Desplazamiento	Valor máximo	63,97 [μm]
	Valor eficaz	27,83

$$\text{Factor cresta (aceleración)} = \frac{25,78}{4,28}$$

$$\text{Factor cresta (aceleración)} = 6,02$$

$$\text{Factor cresta (desplazamiento)} = \frac{63,97}{27,83}$$

$$\text{Factor cresta (desplazamiento)} = 2,29$$



Tanto en el punto de análisis vertical y horizontal el factor cresta no es igual a 1 lo que indica que existe un golpeteo del engrane con diente roto y el piñón en buen estado lo que ocasiona un desgaste progresivo con el pasar del tiempo si no se realiza un cambio o reparación.

Por otro lado, a medida que el factor cresta aumente, el engrane en mal estado afectará progresivamente al piñón hasta perder sus condiciones óptimas de trabajo

ANÁLISIS PARA ENCUENTRO DE DIENTES

Del mismo modo que en el análisis de dientes rotos se procede a realizar el análisis para encuentro de dientes que consiste en un diente roto del engrane y del piñón.

Punto vertical. A continuación, se presenta los valores respectivos para el análisis respectivo.

Amplitud máxima de encuentro de dientes punto vertical

ANÁLISIS DE LA AMPLITUD MÁXIMA EN EL PUNTO VERTICAL		
Aceleración	Valor máximo	14,56 [g]
	Valor eficaz	2,85
Desplazamiento	Valor máximo	33,87 [μm]
	Valor eficaz	12,57

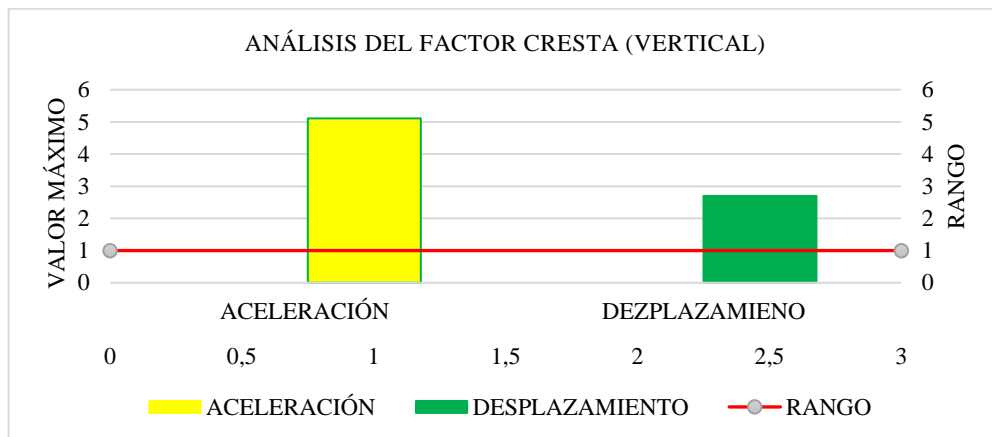
Utilizando la ecuación 26 se realiza el análisis del factor cresta para el punto vertical

$$\text{Factor cresta (aceleración)} = \frac{14,56}{2,85}$$

$$\text{Factor cresta (aceleración)} = 5,11$$

$$\text{Factor cresta (desplazamiento)} = \frac{33,87}{12,57}$$

$$\text{Factor cresta (desplazamiento)} = 2,69$$



Punto horizontal. A continuación, se presenta los valores respectivos para el análisis respectivo.

Amplitud máxima de encuentro de dientes punto horizontal

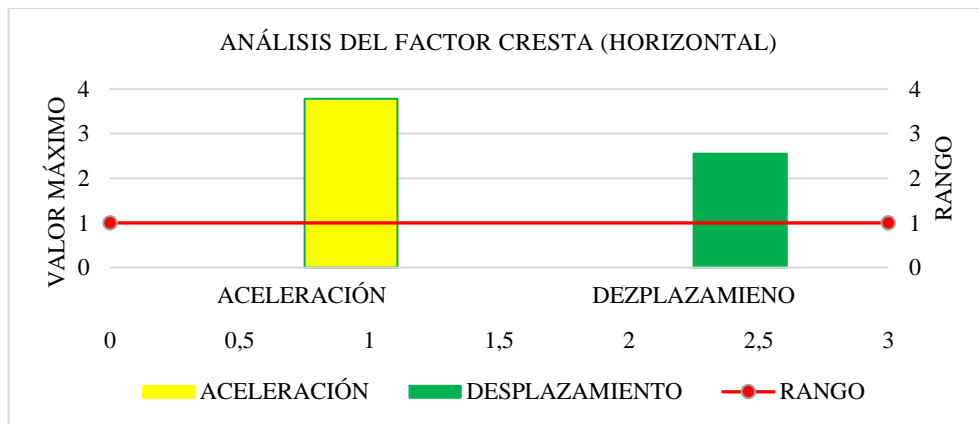
ANÁLISIS DE LA AMPLITUD MÁXIMA EN EL PUNTO HORIZONTAL		
Aceleración	Valor máximo	15,69 [g]
	Valor eficaz	4,15
Desplazamiento	Valor máximo	64,23 [μm]
	Valor eficaz	25,18

$$\text{Factor cresta (aceleración)} = \frac{15,69}{4,15}$$

$$\text{Factor cresta (aceleración)} = 3,78$$

$$\text{Factor cresta (desplazamiento)} = \frac{64,23}{25,18}$$

$$\text{Factor cresta (desplazamiento)} = 2,55$$



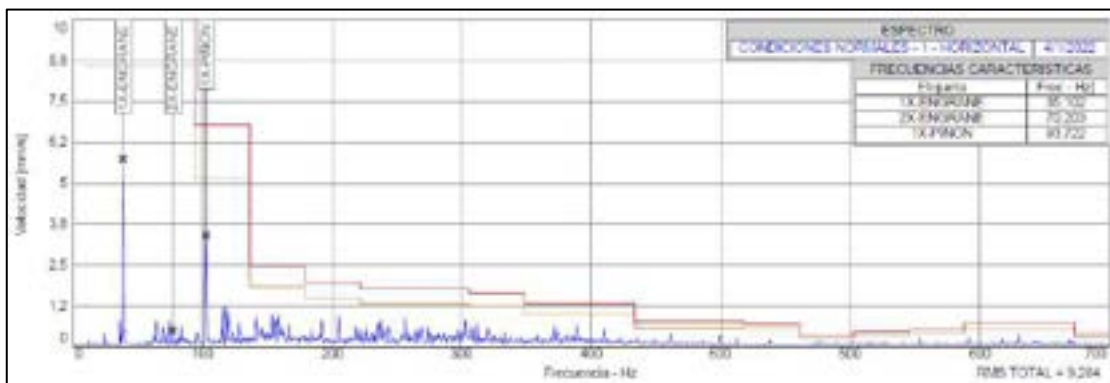
El análisis del factor cresta en los dos puntos de análisis muestra la existencia de un golpeteo debido a que el valor no es igual a 1; por lo tanto, a medida que el factor cresta aumente, el diente roto del piñón afectará progresivamente a todos los dientes del engrane debido a la relación de transmisión, ya que por cada vuelta que el engrane realice el piñón dará 2,667 de vuelta.

7.6 Análisis e interpretación de resultados

Análisis de los espectros y formas de onda encontrados

Realizar la interpretación de espectros y formas de onda de cada modo de falla establecido en el módulo de simulación.

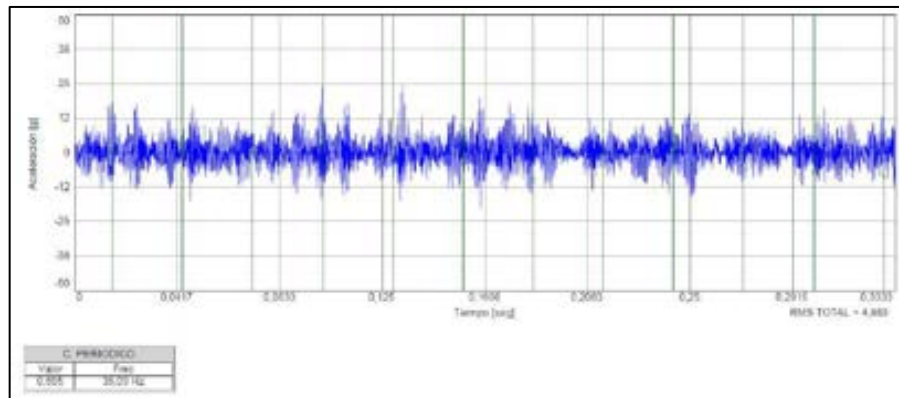
Interpretación del ensayo con engranes a condiciones normales



Espectro de velocidad a condiciones normales en el punto vertical

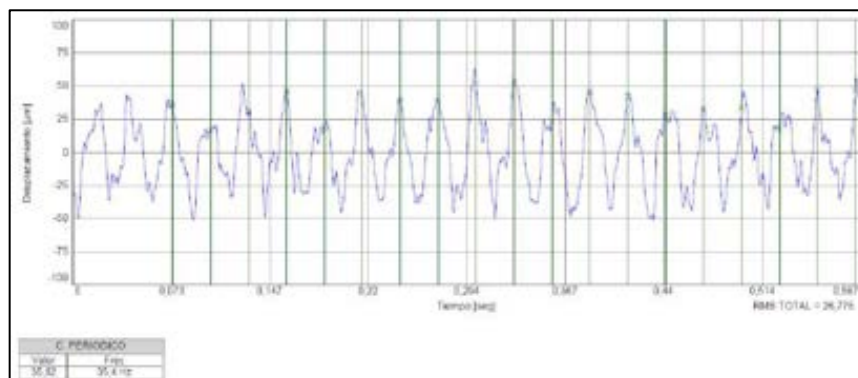
Interpretación: Con los espectros típicos para engranajes de la carta de Charlotte se puede determinar que este corresponde a un espectro normal, ya que dentro del espectro se puede apreciar con claridad las frecuencias tanto para el engranaje como para el piñón mismos que tienen una relación de valores de frecuencia.

$$1XP = \frac{\text{rpm eje alternador}}{60} = \frac{Z_1}{Z_2} * XE$$



Forma de onda de aceleración a condiciones normales en el punto vertical

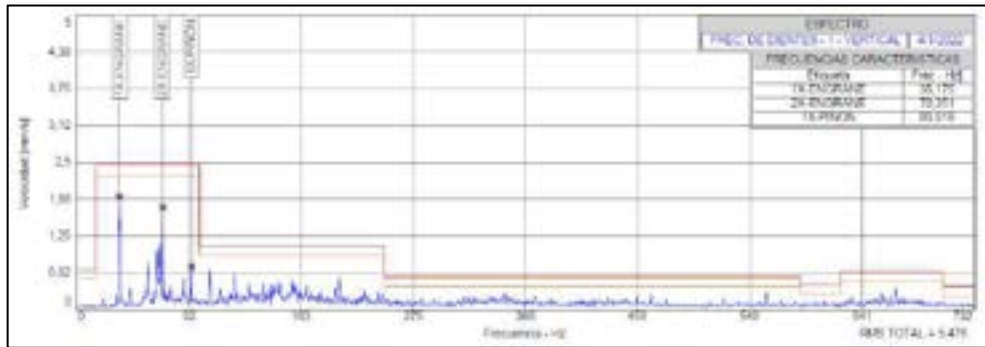
Interpretación: Considerando que en las formas de onda de la aceleración se pueden apreciar frecuencias altas, en la figura anterior se evidencia el análisis a condiciones normales; en donde, se puede evidenciar que no existe ningún golpeteo o falla en los engranajes puesto que los picos están en frecuencias diferentes muy contrario a una forma de onda de engranajes con diente roto.



Forma de onda de desplazamiento a condiciones normales en el punto vertical

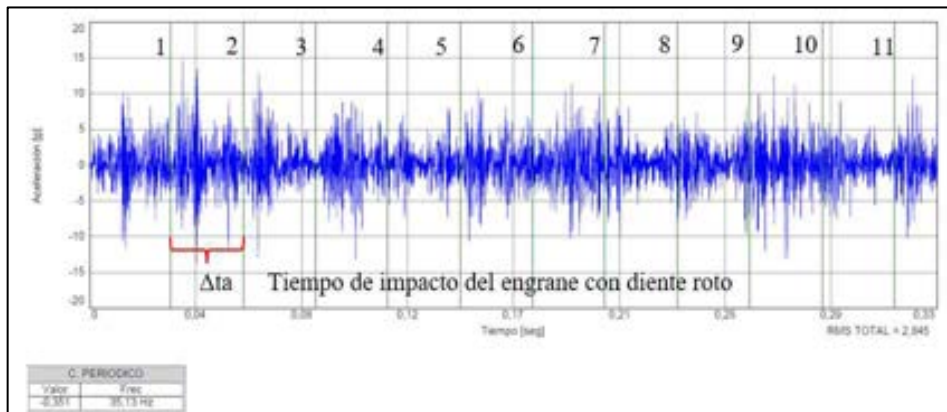
Interpretación: A diferencia de la forma de onda de aceleración, la forma de onda de desplazamiento muestra frecuencias bajas tal y como se evidencia en la figura anterior en donde se puede apreciar que los valores pico de la frecuencia coinciden en la parte superior.

Interpretación del ensayo encuentro entre dientes



Espectro de la velocidad (encuentro de dientes – punto vertical)

Interpretación: Teniendo en cuenta que la frecuencia de encuentro de dientes se basa en fallas tanto en el piñón como en el engrane y estos generan ronquidos o sonidos excesivos, el espectro mostrado en la figura anterior es similar a los espectros típicos de las cartas de Charlotte ya que se puede evidenciar elevados picos para las frecuencias 1X y 2X del engrane y seguidamente una frecuencia inferior para 1X del piñón.



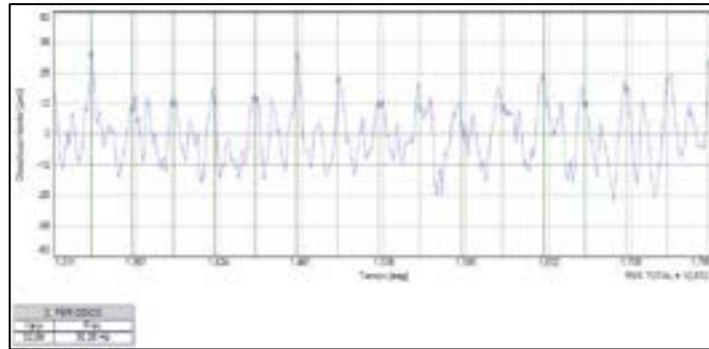
Forma de onda de la aceleración

$$f_{HT} = \frac{n \cdot \text{rpm}_{\text{engrane}}}{N \cdot n}$$

$$f_{HT} = \frac{(24) \cdot (35,18 \cdot 60)}{(24)(64)}$$

$$f_{HT} = 32,98 \text{ CPM}$$

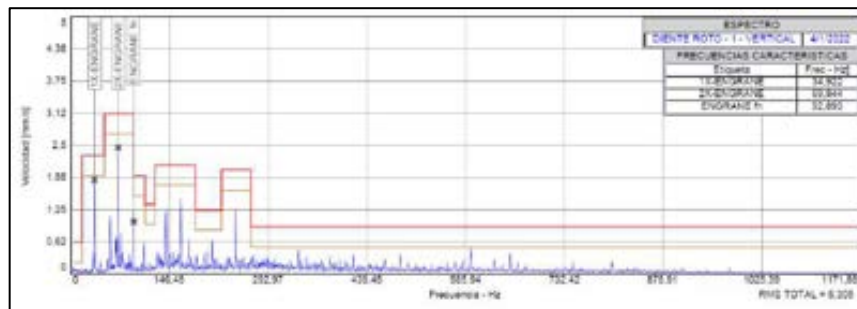
Entonces se determina que la frecuencia de encuentro de dientes es de 30,25 ciclos por minuto.



Forma de onda de desplazamiento 35 Hz

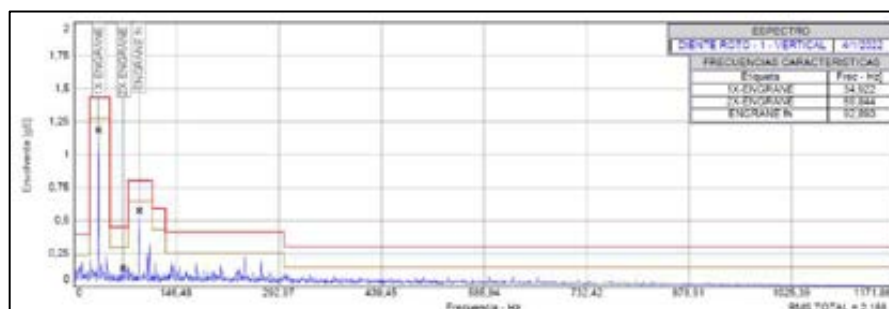
Interpretación: La figura anterior muestra la coincidencia de los picos encontrados a una frecuencia de 35,26 Hz mismos que representan al impacto del engrane con diente roto; por otro lado, los picos restantes forman parte del impacto del piñón con mal estado el cual tiene una frecuencia de 93,91 los cuales también son coincidentes.

Interpretación del ensayo con engranes de diente roto



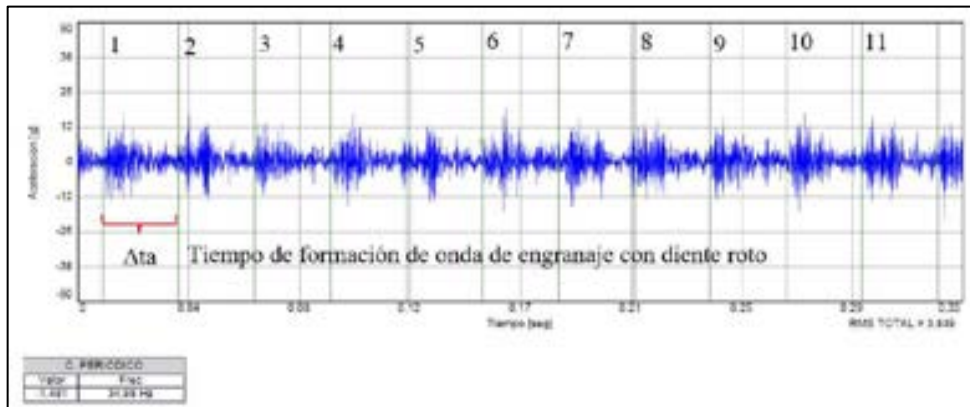
Espectro de la velocidad (engrane diente roto-punto horizontal)

Interpretación: Teniendo en cuenta la carta de Charlotte para problemas de engranajes, se puede evidenciar que el espectro encontrado hace referencia a un problema de diente roto o estrellado; ya que, el valor de la frecuencia de engrane es más notoria y el valor de 2X-engrane es superior a los demás.



Espectro de la envolvente (engrane diente roto-horizontal)

Interpretación: Mediante la figura anterior que pertenece a la envolvente, se puede apreciar las frecuencias en donde el diente roto del engrane tuvo un choque con alguno de los dientes del piñón en buen estado, valores que coinciden con los picos en el espectro de velocidad.



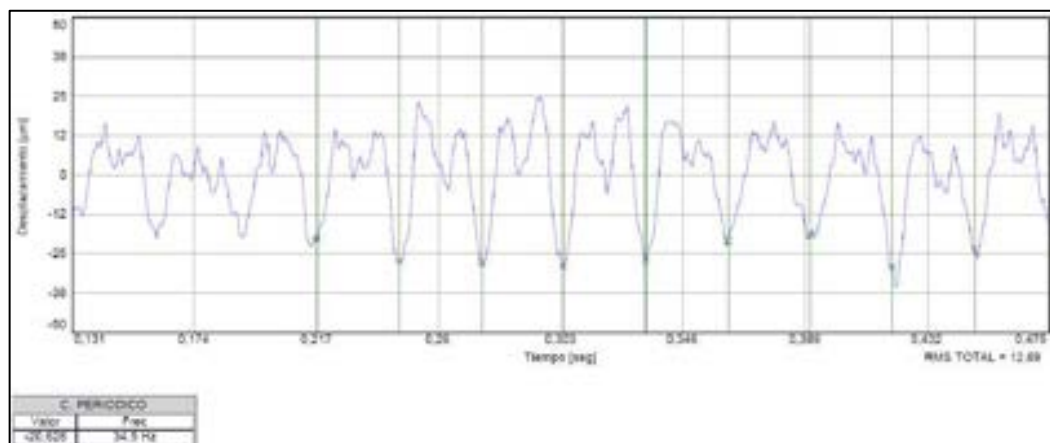
Forma de onda de la aceleración (engrane diente roto-vertical)

Interpretación: la figura anterior muestra las formas de onda generadas durante la variación del tiempo mismas que son coincidentes en una frecuencia de 34,99 Hz.

$$\Delta t = t_2 - t_1$$

$$\Delta t = 0,01 - 0,035$$

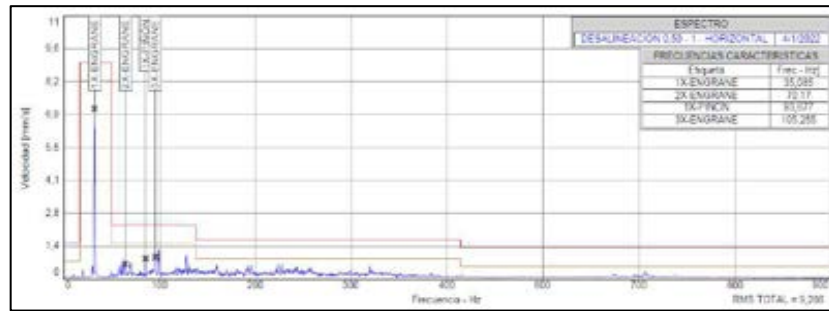
$$\Delta t = 0,025 \text{ ms}$$



Forma de onda de desplazamiento (engrane diente roto-vertical)

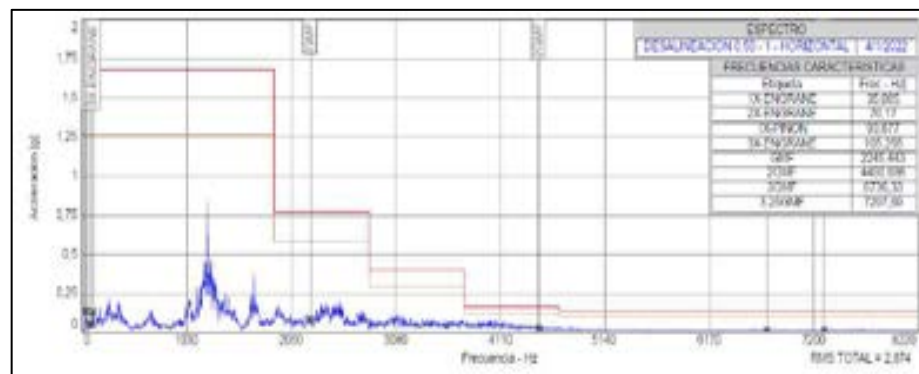
Interpretación: En la figura anterior se puede apreciar la forma de onda de desplazamiento en las condiciones de engranaje con diente roto en donde, los valles son coincidentes con el valor de la frecuencia establecido a 34,5 Hz.

Interpretación del ensayo de desalineación de engranajes



Espectro de velocidad (desalineación – 0,50mm)

Interpretación: Considerando la figura anterior y los espectros típicos de la carta de Charlotte para problemas de engranajes se puede determinar que existe una desalineación o desplazamiento de la distancia entre centros, debido a que la amplitud del valor de 1X- engrane es mayor a los valores de las amplitudes de 2X y 3X engrane



Espectro de aceleración (desalineación – 0,50)

Interpretación: A diferencia del espectro a condiciones normales, el comportamiento del espectro de la aceleración a una desalineación de 1 mm es distinta puesto que presentan valores picos más llevados en los GMF tal y como se evidencia en la figura anterior; así también, debido a la separación de la distancia entre centros la fuerza de impacto varía considerablemente ya que el engranaje y el piñón no tienen un juego adecuado y sus formas de onda serían distintas ya que dependerán de la distancia entre centros que se esté analizando.

Características primordiales de los espectro y formas de onda

Designación	Característica
E	Elevado
M	Mediano
B	Bajo
N	No visible

Con las condiciones establecidas en la tabla anterior y el análisis de espectros encontrados en la **velocidad**, llene la tabla de modos de falla y sus características.

Modo de falla	Engrane		Piñón	
	1X	2X	1X	2X
Condiciones normales	E	B	E	B
Diente roto	M	B	E	B
Frecuencia de encuentro de dientes	E	E	M	B
Desalineación	E	B	B	B

Con las condiciones establecidas en la tabla anterior y el análisis de espectros encontrados en la **aceleración**, llene la tabla de modos de falla y sus características.

Modo de falla	Frecuencia de engranaje de engranes			
	GMF	2GMF	3GMF	3,25GMF
Condiciones normales	E	M	B	N
Diente roto	E	M	B	B
Frecuencia de encuentro de dientes	M	B	B	N
Desalineación	M	E	M	B

7.7 Observaciones

1. En el espectro de velocidad a condiciones normales. ¿El armónico 1X-ENGRANE y el armónico 1X-PIÑÓN son elevados en los puntos de análisis horizontal y vertical?

Explique.

Debido al correcto juego de dientes entre engrane y piñón los únicos armónicos resultantes son los fundamentales respectivamente, ya que al no tener ninguna falla en los dientes de los engranes, los armónicos consecutivos no serán notorios.

2. En el espectro de velocidad de engranaje con diente roto. ¿El armónico 1X-PIÑÓN o frecuencia natural de engrane es elevado en los puntos de análisis horizontal y vertical?

Explique.

Considerando que este tipo de espectro se observa de mejor manera en el espectro de aceleración debido a que dentro de este se formara un pico pronunciado cada vez que el diente roto del engrane hace contacto con los dientes del piñón, en el espectro de velocidad se evidencia una alta amplitud en la frecuencia de engrane debido al choque o contacto ya mencionado y a su vez los armónicos del engrane no son tan pronunciados.

3. En el espectro de velocidad de frecuencia de encuentro de dientes. ¿El armónico 1X y 2X-ENGRANE son elevados y el 1X-PIÑÓN no es muy elevado en los puntos de análisis horizontal y vertical? Explique.

En este modo de falla se producen altas vibraciones mismas que hacen que los armónicos 1X y 2X del engrane sean elevados debido a la frecuencia de encuentro de dientes en la cual existen daños tanto en el engrane como en el piñón provocando un efecto máximo el cual es ocurrido cuando el diente roto del piñón se encuentre con los dientes del engrane.

4. En el espectro de velocidad de desalineación de engranajes. ¿El único armónico elevado es el de 1X-ENGRANE? Explique.

Debido a la falta de juego entre dientes tanto del engrane como del piñón, el único armónico predominante será el fundamental del engranaje ya que ninguno de los dientes entrara en contacto completo.

5. Al analizar los datos obtenidos de engranaje con diente roto. ¿Qué tipo de línea de tendencia se obtiene? ¿Y por qué?

Con el análisis respectivo se pudo determinar que la línea de tendencia para el modo de falla de engrane con diente roto es positivo ya que, a medida que pasa el tiempo y el engrane en malas condiciones siga funcionando este seguirá perdiendo sus condiciones de trabajo por lo tanto es necesario realizar una operación de cambio o reparación del diente en mal estado.

6. Al analizar los datos obtenidos de frecuencia de encuentro de dientes. ¿Qué tipo de línea de tendencia se obtiene? ¿Y por qué?

De la misma manera que en condiciones de engranaje con diente roto, en este modo de falla la línea de tendencia es positiva debido al desgaste progresivo de los dientes en mal estado tanto del engrane como del piñón.

7. Al analizar los datos obtenidos de desalineación de engranajes. ¿Qué tipo de línea de tendencia se obtiene? ¿Y por qué?

Una vez determinada a línea de tendencia del modo de falla de desalineación se encuentra que esta es negativa, ya que los dientes del engrane y los dientes del piñón no entran suficiente es decir no tienen un desgaste progresivo por falta de juego de dientes.

8. ¿Cuál es la diferencia generada entre los armónicos de los distintos modos de falla?

La diferencia entre los armónicos generados con cada uno de los modos de falla es evidente; puesto que, al analizar cada uno con el espectro de condiciones normales podemos apreciar que el armónico 1X-ENGRANE varía dependiendo la falla; es decir, para desalineación y frecuencia de encuentro de dientes es elevado y para diente roto el armónico es bajo. Por otro lado, la frecuencia de engrane o 1X-PIÑÓN es elevada para diente roto y condiciones normales, a diferencia de encuentro de dientes y desalineación que tienen armónicos bajos.

9. ¿Cuántos armónicos predominantes se presentan en cada modo de falla?

Dentro de los espectros de velocidad se puede apreciar que los armónicos de 1X-ENGRANE y 1X-PIÑÓN siempre son notorios sin embargo solo en condiciones normales y frecuencia de encuentro de dientes los dos son predominantes ya que en desalineación solo predomina el 1X-ENGRANE.

10. ¿A qué consecuencias con lleva un equipo con estos modos de falla?

Si encontramos este tipo de modos de falla dentro de un módulo o equipo con engranes estos podrían quedar fuera de servicio ya que de seguir funcionando con las condiciones inadecuadas el equipo podría tener un sobre esfuerzo y se quemaría. Así también, estos engranes se podrían aflojar debido al alto impacto entre dientes en mal estado y ya no afectaría únicamente a la maquina sino también a los operarios.

8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Se identificó que los espectros obtenidos en cada modo de falla son diferentes; puesto que, para un espectro de la velocidad a condiciones normales el 1X-engrane y 1X-piñón son elevados; por otro lado, en el modo de falla de encuentro de dientes el 1X y 2X -engrane son elevados y el 1X-piñón no es muy notable.

Considerando los modos de falla de diente roto y desalineación se concluye que, en la desalineación el 1X-engrane es muy elevado debido a la falta de juego entre dientes y en el modo de falla con diente roto el 1X-engrane es pequeño sin embargo la frecuencia de engrane es muy elevada.

Se estableció que las frecuencias naturales en los cuatro módulos de simulación son inferiores a la frecuencia normal de trabajo del elemento motriz; es decir, los valores de frecuencia natural obtenidos oscilan entre 20 y 23 Hz los cuales son diferentes a 30 Hz que es la frecuencia de trabajo; por lo tanto, se determina que el módulo no entró en resonancia.

Es recomendable siempre realizar un chequeo de todos los componentes fijos y móviles del módulo antes de su funcionamiento para evitar cualquier accidente operacional.

Configurar valores como frecuencia de trabajo, GMF y armónicos tanto para el engrane y el piñón dentro del software MAINTraQ Predictive para que el analizador de vibraciones genere valores adecuados en los espectros y formas de honda a recolectar.

Alrecopilar y analizar datos con el analizador de vibraciones, se recomienda trabajar la unidad del mismo sistema para facilitar la aplicación del método deductivo y realizar un análisis cuantitativo de cada modo de fallo.

9. BIBLIOGRAFÍA

<https://mechanicmaster.mx/tablas/Tabla-de-Fallas-en-Engranajes.pdf>

<https://prezi.com/4fknea-ho9km/fallas-en-engranajes/>

ANEXOS

ANEXOS

Anexo A: guía de laboratorio



ESPOCH

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE MECÁNICA – ESCUELA DE INGENIERÍA DE MANTENIMIENTO INDUSTRIAL



GUÍA DE LABORATORIO DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO

PRÁCTICA N° 01

TEMA: “DIAGNÓSTICO DE FALLAS EN ENGRANAJES”

1. DATOS GENERALES

NOMBRE	CÓDIGO	% PARTICIPACIÓN

GRUPO N°:

FECHA DE REALIZACIÓN:FECHA DE ENTREGA:

2. OBJETIVOS

- **OBJETIVO GENERAL**

Aplicar el análisis vibracional en los módulos de simulación de fallas en engranajes para determinar los diferentes tipos de fallas que pueden presentarse.

- **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Determinar las frecuencias naturales de los 4 módulos de simulación

- Determinar las frecuencias de 1X-ENGRANE y 1X-PIÑÓN a condiciones normales de operación.
- Determinar los datos 1X, 2X de los engranes y 1X-PIÑÓN de los modos de falla de los engranajes (diente roto, encuentro entre dientes, desalineación lineal).
- Determinar la frecuencia de engrane en cada espectro obtenido de los modos de falla
- Comparar y analizar los datos obtenido en condiciones normales con cada uno de los modos de fallos.
- Identificar el estado de los engranajes de los módulos de simulación

3. INSTRUCCIONES

La práctica de laboratorio se desarrollará mediante el cumplimiento secuencial de los siguientes pasos:

- **MAINTraq Viewer**
 - Configurar los puntos en el software para determinar la frecuencia natural
 - Colocar el acelerómetro en el punto de análisis en el módulo y en el Vibracheck en el canal 1.
 - Realizar la comunicación del simulador y el software mediante el ordenador.
 - Proporcionar un ligero golpe al engrane del módulo de simulación.
 - Capturar y tomar las medidas obtenidas mediante el software.
 - Generar el funcionamiento del módulo a condiciones normales con 60Hz para comparar con la frecuencia natural.
- **MAINTraq Predictive**
 - Revisar las conexiones y el funcionamiento del módulo de simulación
 - Revisar que los engranes estén lubricados con el lubricante establecido.
 - Revisar los pernos de anclaje de cada una de las bases del módulo de simulación.
 - Adecuar el modo de falla que será analizado en el banco de pruebas.
 - Revisar que las poleas se encuentren alineadas correctamente.
 - Colocar el acelerómetro en el punto de análisis vertical u horizontal de la chumacera cercana al engrane del eje conducidodel módulo y en el Vibracheck en el canal 1.
 - Realizar la comunicación del simulador y el software mediante el ordenador.

- Recolectar cada uno de los datos obtenidos a una frecuencia de 60Hz.
- Analizar los espectros generados en el software.
- Identificar los valores de 1X-ENGRANE y 1X-PIÑÓN de cada espectro obtenido.
- Repetir el procedimiento para cada modo de falla establecido (diente roto y desalineación).

4. INDICACIONES

- Utilizar el adecuado equipo de protección personal
- Verificar que los tableros de control se encuentren con alimentación eléctrica
- Verificar que el motor se encuentre funcionando correctamente
- Verificar los pernos de anclaje de la mesa de análisis
- Verificar los pernos de anclaje de las partes fijas y móviles del módulo de simulación
- Verificar que el módulo se encuentre perfectamente alineado para el análisis
- Verificar el correcto tensado de la banda de transmisión

5. PROHIBICIONES

- Antes de la utilización del módulo considere que son piezas mecánicas capaces de causar heridas físicas sino se trabaja utilizando los equipos de protección adecuados.
- Al momento de realizar las practicas Ud. debe estar concentrado en el trabajo que realiza y no andar en el celular.
- Cuando se toman las medidas los estudiantes no deben colocar las manos sobre la mesa del módulo, sino en los equipos de medición.

9.1 El estudiante no puede comer ni ingerir alguna bebida mientras se encuentra realizando las prácticas.

9.2 Las computadoras dispuestas en el módulo son únicamente para la toma de las medidas mediante la utilización del Vibracheck 200ABG y no para otro tipo de uso.

9.3 Prohibido abrir las líneas de alimentación del tablero de control a menos que esta necesite de reparación ya que estarán alimentadas con 220 v.

6. MARCO TEÓRICO

7. ACTIVIDADES POR DESARROLLAR

4.1. Observación y reconocimiento de instrumentos y equipos

Equipos de protección personal

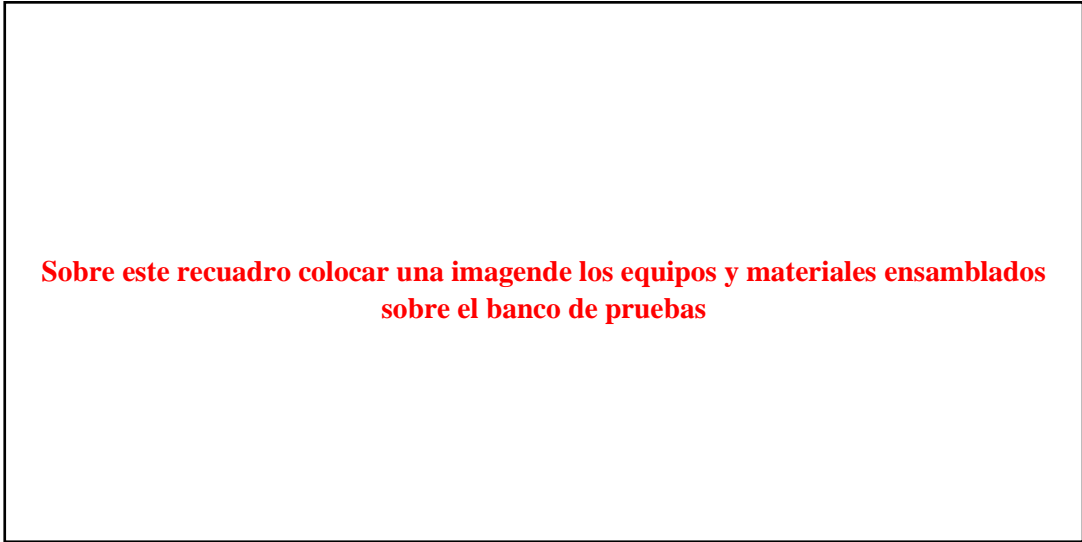
- Mandil
- Guantes de pupos o de goma
- Guaipe
- Gafas de seguridad
- Tapones de oídos

Equipos y herramientas

- Motor eléctrico
- Módulo de simulación de fallas en engranajes
- Vibracheck 200 ABG
- Cable de carga
- Cable de comunicación
- Llaves hexagonales

Sobre este recuadro colocar una imagede los equipos y materiales utilizados en la práctica antes del montaje

Equipos y materiales



Sobre este recuadro colocar una imagen de los equipos y materiales ensamblados sobre el banco de pruebas

Módulo de simulación ensamblado

(Describir cómo se realiza el ensamblaje del módulo con las respectivas advertencias de seguridad con el ícono como viñeta mostrada a continuación)

-
-
-
-

4.2. Manejo de instrumentos y equipos

(Describir secuencialmente el manejo del colector de vibraciones Vibracheck 200 ABG y del software de análisis de vibraciones con las respectivas advertencias de seguridad con el ícono como viñeta mostrada a continuación; puede utilizar imágenes recortadas)

-
-
-
-

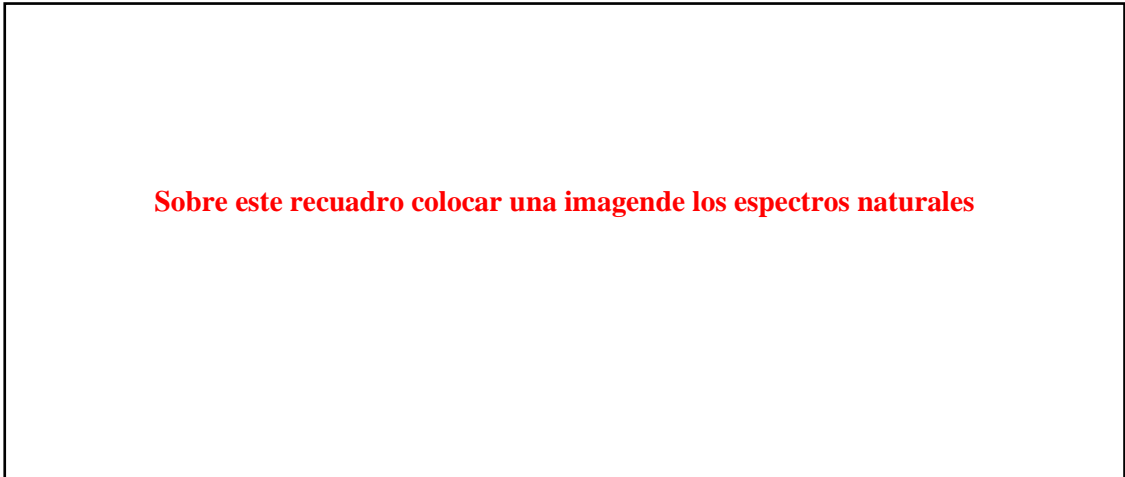
4.3. Toma y recolección de datos

(Describir secuencialmente como realizar la recolección de datos mediante el software de análisis de vibraciones; puede utilizar imágenes recortadas)

Frecuencias naturales

-
-
-

Espectro de la frecuencia natural



Sobre este recuadro colocar una imagen de los espectros naturales

-
-

Valores de espectros de aceleración, velocidad, desplazamiento y envolvente

4.4. Ordenamiento y procesamiento de datos

(Describir secuencialmente como realizar el ordenamiento y procesamiento de datos)

-
-
-

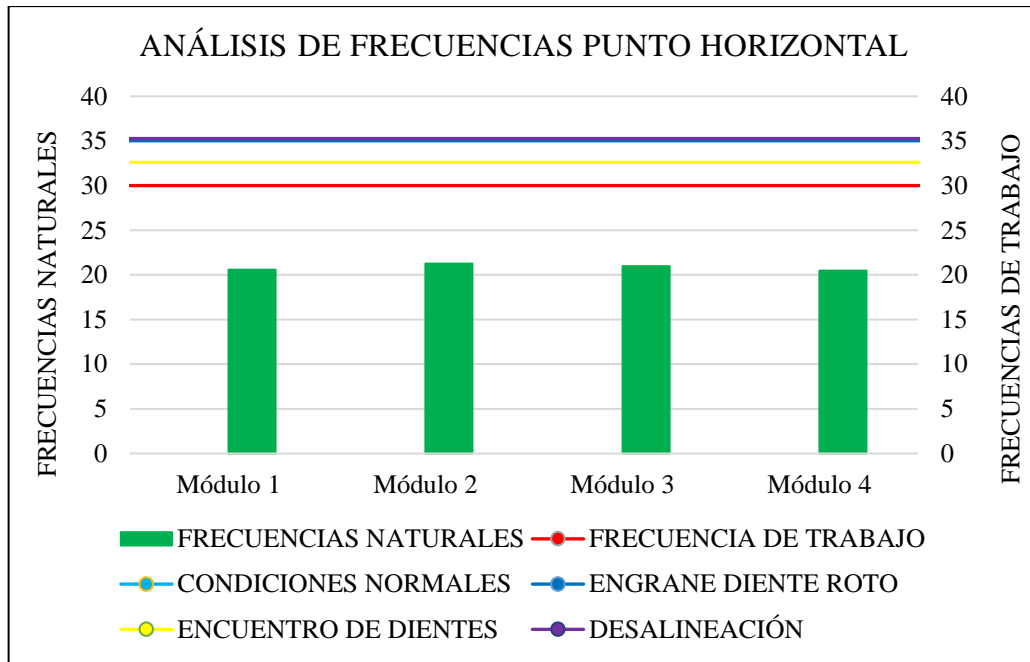
Mediante la descripción realizada anteriormente, tabule cada uno de los datos en las siguientes tablas.

DETERMINACIÓN DE FRECUENCIAS NATURALES

Determinar la frecuencia natural de cada módulo de simulación tanto para el punto horizontal y vertical

PUNTO DE ANÁLISIS HORIZONTAL

FRECUENCIA NATURAL EN EL PUNTO HORIZONTAL				
Denominación	Valor			
	Módulo 1	Módulo 2	Módulo 3	Módulo 4
Amplitud	$\frac{\text{mm}}{\text{s}}$	$\frac{\text{mm}}{\text{s}}$	$\frac{\text{mm}}{\text{s}}$	$\frac{\text{mm}}{\text{s}}$



NOTA: Se debe considerar que, la frecuencia natural de cada uno de los módulos no debe ser igual a la frecuencia de trabajo en funcionamiento, ya que de ser así entraría en resonancia. Obtener dichos valores tanto para el punto de análisis horizontal y vertical.

ENSAYO PARA ENGRANAJES A CONDICIONES NORMALES

Considerando las ecuaciones a continuación, se determinan los datos a condiciones normales

VALORES GENERALES A CONDICIONES NORMALES	
Denominación	Valor
Velocidad angular engrane (rpm)	
1X engranaje (Hz)	
Velocidad angular piñón (rpm)	
1X piñón (Hz)	
GMF (Hz)	
2GMF (Hz)	
3GMF (Hz)	
3,25GMF (Hz)	
rms total vertical (g)	
rms total horizontal (g)	

$$1XE = \frac{\text{rpm EJE MOTOR}}{60} ; 1XP = \frac{\text{rpm EJE PIÑÓN}}{60}$$

$$\text{Frecuencia de engrane} = \frac{\#Dientes del engrane}{\#Dientes del piñón} * (1X ENGRANE)$$

$$GMF = \#Dientes del engrane * (1X ENGRANE)$$

Considerar las fórmulas establecidas para poder completar las tablas de valores expuestas

ENSAYO PARA DESALINEACIÓN LINEAL DE ENGRANAJES

Nota: Para determinar los distintos valores de GMF en desalineación, se debe generar datos específicos con cada una de las desalineaciones para poder apreciar la variación de cada uno de estos.

De igual forma que en el análisis a condiciones normales, se necesitan valores de rms total en cada punto de desalineación.

DESALINEACION LINEAL DE ENGRANAJES					
DESIGNACIÓN (Hz)	DESPLAZAMIENTO (mm)				
	0	0,25	0,5	0,75	1
1XE					
2XE					
rpm					
GMF (Hz)					
2GMF (Hz)					
3GMF (Hz)					
3,25GMF (Hz)					

VALORES DE rms total		
EJE CONDUCIDO		
Punto de análisis	Desalineación (mm)	rms total (g)
Vertical	0,25	
	0,5	
	0,75	
	1	
Horizontal	0,25	
	0,5	
	0,75	
	1	

ENSAYO PARA ENGRANAJES CON DIENTE ROTO

ENSAYO ENGRANAJES CON DIENTES ROTOS	
Denominación	Valor
Velocidad angular del motor (rpm)	
Velocidad angular del engrane (rpm)	
1X engranaje (Hz)	
Frecuencia natural (Hz)	
Tiempo de formación de onda (s)	
rms total horizontal (g)	
rms total vertical (g)	

Considerando la ecuación mostrada a continuación, determinar cada uno de los valores necesarios para el análisis de mínimos cuadrados que serán de gran importancia para la obtención de la ecuación característica y la línea de tendencia.

$$\text{FACTOR CRESTA} = \frac{\text{VALOR PICO}}{\text{rms TOTAL}}$$

ENGRANAJE DE DIENTES ROTOS PICO-NIVEL			
Eje conducido			
Puntos	Picos	Frecuencias (Hz)	mm/s
Horizontal	1		
	2		
	3		
	4		
	5		
Vertical	1		
	2		
	3		
	4		
	5		

ENSAYO PARA ENCUENTRO ENTRE DIENTES

Teniendo en cuenta que el análisis para encuentro de dientes y diente roto es similar, realizar el mismo procedimiento para su análisis.

4.5. Cálculo y resultados

Teniendo en cuenta cada uno de los resultados obtenidos mediante el análisis de espectros, realizar el análisis de resultados mediante el método de mínimos cuadrados haciendo una relación del modo de fallo vs el rms total de la aceleración a condiciones normales.

Considerando la recolección de datos en el eje conducido, el método de mínimos cuadrados se lo realiza tanto para el punto horizontal como para el vertical.

ANÁLISIS PARA DESALINEACIÓN

Considerando los valores de desalineación de 0; 0,25; 0,50; 0,75 y 1mm y los rms total determinados se procede a determinar la ecuación característica con la siguiente fórmula.

$$a = \frac{n \sum XY - (\sum X * \sum Y)}{n \sum (X^2) - (\sum X)^2}$$

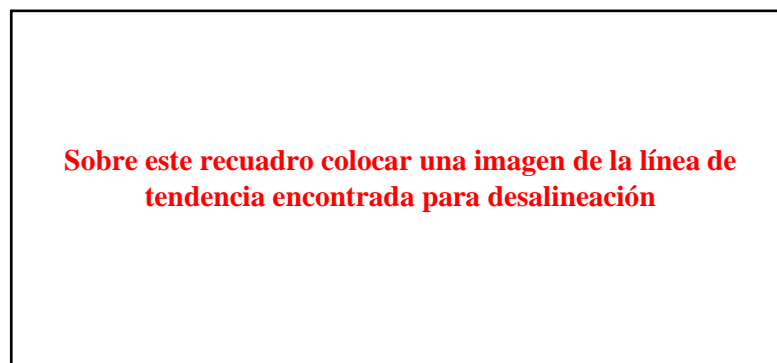
$$b = \frac{\sum Y \sum X^2 - (\sum X * \sum XY)}{n \sum (X^2) - (\sum X)^2}$$

$$A\text{-rms total} = a * DL + b$$

PUNTO DE ANÁLISIS HORIZONTAL

MÍNIMOS CUADRADOS PUNTO HORIZONTAL					
N	DL (mm) [X]	A-rms total H [Y]	X*Y	X ²	Y ²
1	0,00				
2	0,25				
3	0,50				
4	0,75				
5	1,00				
Σ	2,50				

$$A\text{-rms total H} = -0,40 * DL + 2,21$$



Nota: realizar el mismo procedimiento para el punto de analisis horizontal y vertical

ANÁLISIS PARA DIENTES ROTOS

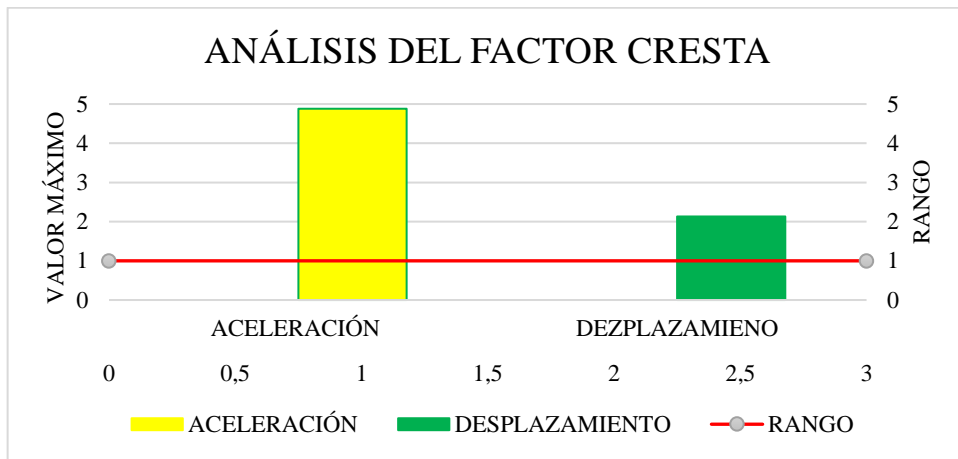
Para la realización de este modo de falla se debe tener en cuenta el tiempo y el factor cresta del espectro determinado.

Punto vertical.

Amplitud máxima de engrane con diente roto punto vertical

ANÁLISIS DE LA AMPLITUD MÁXIMA EN EL PUNTO VERTICAL		
Aceleración	Valor máximo	[g]
	Valor eficaz	
Desplazamiento	Valor máximo	[µm]
	Valor eficaz	

Nota: realizar el mismo procedimiento para el punto de analisis horizontal y vertical



Interpretación:

.....

.....

ANÁLISIS PARA ENCUENTRO DE DIENTES

Nota: Considerando el mismo procedimiento utilizado en el análisis de engranaje con diente roto, realizar el análisis para el modo de falla de frecuencia de encuentro de dientes.

4.6. Análisis e interpretación de resultados

Análisis de los espectros y formas de onda encontrados

Realizar la interpretación de espectros y formas de onda de cada modo de falla establecido en el módulo de simulación.

Interpretación del ensayo con engranes a condiciones normales

Sobre este recuadro colocar una imagen del espectro de velocidad a condiciones normales

Interpretación:.....
.....
.....

$$1XP = \frac{\text{rpm eje alternador}}{60} = \frac{Z_1}{Z_2} * XE$$

Sobre este recuadro colocar una imagen de la forma de onda de aceleración a condiciones normales

Interpretación:
.....
.....

Sobre este recuadro colocar una imagen de la forma de onda de desplazamiento a condiciones normales

Interpretación:
.....
.....

Interpretación del ensayo encuentro entre dientes

Sobre este recuadro colocar una imagen del espectro de velocidad de frecuencia de encuentro de dientes

Interpretación:

.....
.....

Sobre este recuadro colocar una imagen de la forma de onda de aceleración de frecuencia de encuentro de dientes

Interpretación:

.....
.....

$$f_{HT} = \frac{n \cdot \text{rpm}_{\text{engrane}}}{N \cdot n}$$

Nota: con la fórmula expuesta, determinar la frecuencia de encuentro de dientes

Sobre este recuadro colocar una imagen de la forma de onda de desplazamiento de frecuencia de encuentro de dientes

Interpretación:

.....
.....

Interpretación del ensayo con engrane de diente roto

Sobre este recuadro colocar una imagen del espectro de velocidad de engrane con diente roto

Interpretación:

.....
.....

Sobre este recuadro colocar una imagen del espectro de envolvente de engrane con diente roto

Interpretación:

.....
.....

Sobre este recuadro colocar una imagen de la forma de onda de aceleración de engrane con diente roto

Interpretación:

.....
.....

$$\Delta t = t_2 - t_1$$

Nota: determinar la variación del tiempo de formación de onda analizando la forma de onda de aceleración

Sobre este recuadro colocar una imagen de la forma de onda desplazamiento de engrane con diente roto

Interpretación:

.....
.....

Interpretación del ensayo de desalineación de engranajes

Sobre este recuadro colocar una imagen el espectro de velocidad de desalineación de engranajes

Interpretación:

.....
.....

Sobre este recuadro colocar una imagen el espectro de aceleración de desalineación de engranajes

Interpretación:

.....

Características primordiales de los espectro y formas de onda

Designación	Característica
E	Elevado
M	Mediano
B	Bajo
N	No visible

Con las condiciones establecidas en la tabla anterior y el análisis de espectros encontrados en la velocidad, llene la tabla de modos de falla y sus características.

Modo de falla	Engrane		Piñón	
	1X	2X	1X	2X
Condiciones normales				
Diente roto				
Frecuencia de encuentro de dientes				
Desalineación				

Con las condiciones establecidas en la tabla anterior y el análisis de espectros encontrados en la aceleración, llene la tabla de modos de falla y sus características.

Modo de falla	Frecuencia de engranaje de engranes			
	GMF	2GMF	3GMF	3,25GMF
Condiciones normales				
Diente roto				
Frecuencia de encuentro de dientes				
Desalineación				

4.7. Observaciones

1. En el espectro de velocidad a condiciones normales. ¿El armónico 1X-ENGRANE y el armónico 1X-PIÑÓN son elevados en los puntos de análisis horizontal y vertical? Explique.

Debido al correcto juego de dientes entre engrane y piñón los únicos armónicos resultantes son los fundamentales respectivamente, ya que al no tener ninguna falla en los dientes de los engranes, los armónicos consecutivos no serán notorios.

2. En el espectro de velocidad de engranaje con diente roto. ¿El armónico 1X-PIÑÓN o frecuencia natural de engrane es elevado en los puntos de análisis horizontal y vertical? Explique.

Considerando que este tipo de espectro se observa de mejor manera en el espectro de aceleración debido a que dentro de este se formara un pico pronunciado cada vez que el diente roto del engrane hace contacto con los dientes del piñón, en el espectro de velocidad se evidencia una alta amplitud en la frecuencia de engrane debido al choque o contacto ya mencionado y a su vez los armónicos del engrane no son tan pronunciados.

3. En el espectro de velocidad de frecuencia de encuentro de dientes. ¿El armónico 1X y 2X-ENGRANE son elevados y el 1X-PIÑÓN no es muy elevado en los puntos de análisis horizontal y vertical? Explique.

En este modo de falla se producen altas vibraciones mismas que hacen que los armónicos 1X y 2X del engrane sean elevados debido a la frecuencia de encuentro de dientes en la cual existen daños tanto en el engrane como en el piñón provocando un efecto máximo el cual es ocurrido cuando el diente roto del piñón se encuentre con los dientes del engrane.

4. En el espectro de velocidad de desalineación de engranajes. ¿El único armónico elevado es el de 1X-ENGRANE? Explique.

Debido a la falta de juego entre dientes tanto del engrane como del piñón, el único armónico predominante será el fundamental del engranaje ya que ninguno de los dientes entrara en contacto completo.

5. Al analizar los datos obtenidos de engranaje con diente roto. ¿Qué tipo de línea de tendencia se obtiene? ¿Y por qué?

Con el análisis respectivo se pudo determinar que la línea de tendencia para el modo de falla de engrane con diente roto es positivo ya que, a medida que pasa el tiempo y el engrane en malas condiciones siga funcionando este seguirá perdiendo sus condiciones de trabajo por lo tanto es necesario realizar una operación de cambio o reparación del diente en mal estado.

6. Al analizar los datos obtenidos de frecuencia de encuentro de dientes. ¿Qué tipo de línea de tendencia se obtiene? ¿Y por qué?

De la misma manera que en condiciones de engranaje con diente roto, en este modo de falla la línea de tendencia es positiva debido al desgaste progresivo de los dientes en mal estado tanto del engrane como del piñón.

7. Al analizar los datos obtenidos de desalineación de engranajes. ¿Qué tipo de línea de tendencia se obtiene? ¿Y por qué?

Una vez determinada a línea de tendencia del modo de falla de desalineación se encuentra que esta es negativa, ya que los dientes del engrane y los dientes del piñón no entran suficiente es decir no tienen un desgaste progresivo por falta de juego de dientes.

8. ¿Cuál es la diferencia generada entre los armónicos de los distintos modos de falla?

La diferencia entre los armónicos generados con cada uno de los modos de falla es evidente; puesto que, al analizar cada uno con el espectro de condiciones normales podemos apreciar que el armónico 1X-ENGRANE varía dependiendo la falla; es decir, para desalineación y frecuencia de encuentro de dientes es elevado y para diente roto el armónico es bajo. Por otro lado, la frecuencia de engrane o 1X-PIÑÓN es elevada para diente roto y condiciones normales, a diferencia de encuentro de dientes y desalineación que tienen armónicos bajos.

9. ¿Cuántos armónicos predominantes se presentan en cada modo de falla?

Dentro de los espectros de velocidad se puede apreciar que los armónicos de 1X-ENGRANE y 1X-PIÑÓN siempre son notorios sin embargo solo en condiciones normales y frecuencia de encuentro de dientes los dos son predominantes ya que en desalineación solo predomina el 1X-ENGRANE.

10. ¿A qué consecuencias con lleva un equipo con estos modos de falla?

Si encontramos este tipo de modos de falla dentro de un módulo o equipo con engranes estos podrían quedar fuera de servicio ya que de seguir funcionando con las condiciones inadecuadas el equipo podría tener un sobre esfuerzo y se quemaría. Así también, estos engranes se podrían aflojar debido al alto impacto entre dientes en mal estado y ya no afectaría únicamente a la maquina sino también a los operarios.

8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

(Describir en forma lógica las conclusiones a que conlleven la práctica y las recomendaciones que sean pertinentes)

-
-
-
-
-
-

9. BIBLIOGRAFÍA

*(De acuerdo a la norma ISO 690 o APA 6ta ed; Citar la fuente bibliográfica general, específica que sustentan la práctica con bibliografía existente en bibliotecas y debidamente actualizada; Libros, folletos, manuales, impresos o descargados; **no páginas web**)*



.....
.....
.....
.....
.....
.....

ANEXOS

Espectros



Otros

Anexo B: Plan de Mantenimiento

<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;">  <div style="text-align: center;">PLAN DE MANTENIMIENTO</div>  </div>									
SECCIÓN:					Laboratorio de Diagnóstico Técnico.				
NOMBRE DEL EQUIPO:					Módulo simulador de modos de fallas en poleas y bandas.				
Sistema	Codificación	Componente	Gráfico	Tareas de mantenimiento	Tipo de tarea	Equipo / Materiales	Tiempo de ejecución	Frecuencia	Responsable
Sistema eléctrico	EME01	Motor eléctrico		Inspección visual	Preventiva		20 min	Mensual	Técnico docente / estudiantes
				Análisis de vibraciones	Predictiva	Vibracheck	60 min	Semestral	Técnico docente / estudiantes
				Termografía	Predictiva	Camara termográfica	60 min	Semestral	Técnico docente / estudiantes
				Limpieza	Preventiva	Guaípe	30 min	Semanal	Técnico docente / estudiantes
				Reapriete de la placa base	Preventiva	Llaves allen	20 min	Trimestal	Técnico docente / estudiantes
				Lubricación	Preventiva	Grasa LGHP 2	20 min	Semestral	Técnico docente / estudiantes
				Control de los terminales del estator	Preventiva	Multímetro	30 min	Semestral	Técnico docente / estudiantes
				Inspección auditiva	Preventiva		10 min	Mensual	Técnico docente / estudiantes
				Inspección de la caja de terminales	Preventiva		15 min	Mensual	Técnico docente / estudiantes
				Reapriete de las conexiones eléctricas	Preventiva	Llaves allen	20 min	Trimestal	Técnico docente / estudiantes
Sistema de carga	EALT01	Alternador eléctrico		Inspección visual de los anillos del colector	Preventiva		15 min	Mensual	Técnico docente / estudiantes
				Verificación de continuidad de la bobina	Preventiva	Multímetro	20 min	Trimestal	Técnico docente / estudiantes
				Medición del aislamiento de la bobina	Predictiva	Multímetro	20 min	Trimestal	Técnico docente / estudiantes
				Medición del anillo deslizante	Preventiva	Calibrador	10 min	Trimestal	Técnico docente / estudiantes
				Limpieza del alternador	Preventiva	Guaípe	7 min	Semanal	Técnico docente / estudiantes
Sistema de transmisión	MEN01	Caja de engranajes y piñón		Inspeccionar del nivel de lubricante	Preventiva		15 min	Semanal	Técnico docente / estudiantes
				Análisis del estado del lubricante	Predictiva	Viscosímetro de saibol	120 min	Semestral	Técnico docente / estudiantes
	MPI01	Caja de engranajes y piñón		Inspección visual de la caja en busca de fugas	Preventiva		20 min	Mensual	Técnico docente / estudiantes
				Reapriete de los pernos de anclaje de la caja de acrílico	Preventiva	Llaves allen	20 min	Mensual	Técnico docente / estudiantes
	MPO01	Medios visuales, guaípe		Inspección de la polea	Preventiva		10 min	Semanal	Técnico docente / estudiantes
				Alineación de la polea	Preventiva	Alineador láser	45 min	Semanal	Técnico docente / estudiantes
				Limpieza de la polea	Preventiva	Guaípe	10 min	Semanal	Técnico docente / estudiantes
	MBA01	Banda		Inspección de la banda	Preventiva		5 min	Semanal	Técnico docente / estudiantes
Limpieza de la banda				Preventiva	Guaípe	5 min	Semanal	Técnico docente / estudiantes	
Sistema de equilibrio	MCH01	Chumacera		Inspección de las chumaceras	Preventiva	Pirómetro	5 min	Semestral	Técnico docente / estudiantes
				Revisión de ajuste de los pernos de la chumacera	Preventiva	Llaves torquímetro allen	10 min	Semestral	Técnico docente / estudiantes
				Lubricación de las chumaceras	Preventiva	Engrasadora para chumaceras	10 min	Semestral	Técnico docente / estudiantes
Sistema de soporte	MBP01	Base principal		Limpieza de la base	Preventiva	Guaípe	5 min	Trimestal	Técnico docente / estudiantes
	MBT01	Base del alternador		Limpieza de la base	Preventiva	Guaípe	6 min	Trimestal	Técnico docente / estudiantes
	MBCH01	Base de las chumaceras		Limpieza de la base	Preventiva	Guaípe	7 min	Trimestal	Técnico docente / estudiantes

Anexo C: Tareas de mantenimiento



Tarea del sistema eléctrico 01

 	Inspección visual	Tarea:	01
			Frecuencia
	Tareas de mantenimiento	Ejecutada práctica:	x
Versión: 2021	Laboratorio de Diagnóstico Técnico y Eficiencia Energética	Mensual:	x
		Semestral:	x

	Máquina
Apagada	x
Encendida	



Tiempo de ejecución: 20 min/módulo	
Aplica a:	EME01
Herramientas: Medios visuales, táctiles.	Materiales:
	Equipo:
Procedimiento:	
<ol style="list-style-type: none"> 1.- Con la ayuda de nuestra vista procedemos a observar el estado que tiene la carcasa del motor, si observamos alguna falla informamos inmediatamente al docente. 2.- Procedemos a observar si en los alrededores del motor la base se encuentra mojada o el motor presenta alguna fuga. 3.- Vemos que el eje del motor se encuentra recto y no tenga alguna falla el eje. 	
Observaciones:	

Tarea del sistema eléctrico 02

 	Análisis de vibraciones y Termografía	Tarea:	02
		Frecuencia	
Versión: 2021	Tareas de mantenimiento Laboratorio de Diagnóstico Técnico y Eficiencia Energética	Ejecutada práctica:	x
		Trimestral:	
		Semestral:	x

	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th colspan="2" style="text-align: center;">Máquina</th> </tr> <tr> <td style="width: 30%;">Apagada</td> <td style="text-align: center;">x</td> </tr> <tr> <td>Encendida</td> <td></td> </tr> </table>	Máquina		Apagada	x	Encendida	
Máquina							
Apagada	x						
Encendida							
Tiempo de ejecución: 60 min/módulo							
Aplica a: <div style="text-align: center;">EME01</div>							
Herramientas: <div style="text-align: center;">Guantes.</div>	Materiales:	Equipo: <div style="text-align: center;">Vibracheck, Cámara termográfica.</div>					
Procedimiento: <ol style="list-style-type: none"> 1.- Con la ayuda de un Vibracheck procedemos hacer un análisis de las vibraciones del motor. 2.- Procedemos a tomar los espectros de la frecuencia natural del motor y verificamos para conocer el estado del motor. 3.- Con la ayuda de una cámara termográfica procedemos hacer unas tomas del motor y ver que su temperatura sea la correcta y no sufra algún sobrecalentamiento. 							
Observaciones: Siempre es importante conocer que la temperatura de trabajo de nuestro equipo sea la correcta y no este sufriendo algun sobrecalentamiento.							



Tarea del sistema eléctrico 03

 	Limpieza, Reapriete de la placa base y Lubricacion	Tarea:	03
		Frecuencia	
Versión: 2021	Tareas de mantenimiento Laboratorio de Diagnóstico Técnico y Eficiencia Energética	Ejecutada práctica:	x
		Semanal:	x
		Semestral:	x

	Máquina
	Apagada x
	Encendida



Tiempo de ejecución: 30 min/módulo		
Aplica a:		
EME01		
Herramientas:	Materiales:	Equipo:
Guaípe o franela, llaves allen y grasa LGHP 2.		Grasero.
Procedimiento:		
1.- Con la ayuda de un guaípe procedemos a limpiar todo el polvo que se acumul en la carcasa de nuestro motor. 2.- Con nuestras llaves allen procedemos a verificar el apriete de cada perno del motor con la placa base. 3.- Con un grasero procedemos a lubricar nuestro motor.		
Observaciones:		

Tarea del sistema eléctrico 04

 	Control de los terminales del estator e Inspección auditiva	Tarea:	04
		Frecuencia	
Versión: 2021	Tareas de mantenimiento Laboratorio de Diagnóstico Técnico y Eficiencia Energética	Ejecutada práctica:	x
		Semanal:	x
		Semestral:	x



	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th colspan="2" style="text-align: center;">Máquina</th> </tr> <tr> <td style="text-align: right;">Apagada</td> <td style="text-align: center;">x</td> </tr> <tr> <td style="text-align: right;">Encendida</td> <td style="text-align: center;">x</td> </tr> </table>	Máquina		Apagada	x	Encendida	x
Máquina							
Apagada	x						
Encendida	x						
Tiempo de ejecución: 30 min/módulo							
Aplica a: <div style="text-align: center; margin-top: 10px;">EME01</div>							
Herramientas: Multímetro y medios auditivos.	Materiales:						
Equipo:							
Procedimiento: <ol style="list-style-type: none"> 1.- Con la ayuda de un multímetro procedemos a medir las terminales del estator y verificar que la medida este en el rango exacto. 2.- Con la ayuda de nuestros oídos procedemos a escuchar la intensidad del sonido que produce la bomba cuando esta en funcionamiento, para verificar que siempre sea el correcto. 							
Observaciones: Siempre es bueno estar pendiente del sonido que produce nuestro equipo cuando funciona, para saber cuando aumente es porque va a tener algun fallo.							

Tarea del sistema eléctrico 05

 	Inspección de la caja de terminales y Reapriete de las conexiones electricas	Tarea:	05
		Frecuencia	
Versión: 2021	Laboratorio de Diagnóstico Técnico y Eficiencia Energética	Ejecutada práctica:	x
		Mensual:	x
		Trimestral:	x



	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th colspan="2" style="text-align: center;">Máquina</th> </tr> <tr> <td style="width: 30%;">Apagada</td> <td style="text-align: center;">x</td> </tr> <tr> <td>Encendida</td> <td></td> </tr> </table>	Máquina		Apagada	x	Encendida	
Máquina							
Apagada	x						
Encendida							
Tiempo de ejecución: 20 min/módulo							
Aplica a: <div style="text-align: center; padding: 10px;">EME01</div>							
Herramientas: Medios visuales, llaves allen.	Materiales:	Equipo:					
Procedimiento: <ol style="list-style-type: none"> 1.- Con la ayuda de nuestra vista procedemos a ver el estado de la caja de los terminales del motor. 2.- En caso de estar fallando cambiarlos. 3.- Con nustras llaves allen procedemos a revisar el apriete de nuestras conexiones que esten correctos. 							
Observaciones:							

Tarea del sistema de carga 01

 	Inspección visual de los anillos del colector	Tarea:	01
		Frecuencia	
Versión: 2021	Tareas de mantenimiento Laboratorio de Diagnóstico Técnico y Eficiencia Energética	Ejecutada práctica:	x
		Mensual:	x
		Semestral:	x



	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th colspan="2" style="text-align: center;">Máquina</th> </tr> <tr> <td style="text-align: right;">Apagada</td> <td style="text-align: center;">x</td> </tr> <tr> <td style="text-align: right;">Encendida</td> <td></td> </tr> </table>	Máquina		Apagada	x	Encendida	
Máquina							
Apagada	x						
Encendida							
Tiempo de ejecución: 15 min/módulo							
Aplica a: <div style="text-align: center;">EALT01</div>							
Herramientas: Medios visuales, táctiles.	Materiales:						
Equipo:							
Procedimiento: <ol style="list-style-type: none"> 1.- El anillo deslizante entra en contacto con la escobilla mientras gira y genera el flujo de corriente eléctrica. 2.- La chispa causada por la corriente creará suciedad y quemadura. 3.- La suciedad y quemadura interfieren con la corriente eléctrica y deterioran la función del alternador. 							
Observaciones: Si presentara mucho desgaste proceda a reemplazar los anillos colectores.							

Tarea del sistema de carga 02

 	Verificación de continuidad de la bobina y Medición del aislamiento de la bobina	Tarea:	02
		Frecuencia	
Tareas de mantenimiento		Ejecutada práctica:	x
Laboratorio de Diagnóstico Técnico y Eficiencia Energética		Trimestral:	x
		Semestral:	x
Versión: 2021			



		Máquina	
		Apagada	x
Tiempo de ejecución: 20 min/módulo		Encendida	
Aplica a:			
EALT01			
Herramientas:	Materiales:	Equipo:	
Multímetro.			
Procedimiento:			
<p>1.- Para verificar la continuidad de la bobina de nuestro alternador necesitamos la ayuda de un multímetro.</p> <p>2.- Con la ayuda de nuestro multímetro colocamos la fase en un anillo del colector y el neutro en el otro anillo, para saber si la continuidad de la bobina se encuentra bien, la resistencia nominal de la bobina del rotor debe ser no mayor a 3,5 ohmios.</p> <p>3.- Para medir el aislamiento conectamos la fase del multímetro en un anillo del colector y el neutro a un lado del alternador, para ver que el aislamiento esta bien la resistencia entre núcleos polares y colectores debe ser de 0,1 ohmios.</p>			
Observaciones:			
Siempre comprobar que tanto la continuidad de la bobina como el aislamiento se encuentren en el rango adecuado indicado.			

Tarea del sistema de carga 03

 	Medición del anillo deslizante y Limpieza del alternador	Tarea:	03
		Frecuencia	
Versión: 2021	Tareas de mantenimiento Laboratorio de Diagnóstico Técnico y Eficiencia Energética	Ejecutada práctica:	x
		Semanal:	x
		Semestral:	x



Tiempo de ejecución: 10 min/módulo		Máquina	
		Apagada	x
Encendida			
Aplica a: <div style="text-align: center;">EALT01</div>			
Herramientas: Calibrador, guaipe o franela.	Materiales:	Equipo:	
Procedimiento: <ol style="list-style-type: none"> 1.- Con la ayuda de un calibrador procedemos a medir los anillos rozantes la medición mínima debe ser de 32,1 mm. 2.- Con la ayuda de un trapo procedemos a limpiar el polvo que se pega a los alrededores del alternador. 			
Observaciones: Si los anillos rosantes sobrepasan al límite de desgaste, se deben cambiar.			

Tarea del sistema mecánico 01

 	Inspección de las chumaceras	Tarea:	01
		Frecuencia	
Versión: 2021	Tareas de mantenimiento Laboratorio de Diagnóstico Técnico y Eficiencia Energética	Ejecutada práctica:	x
		Trimestral:	
		Semestral:	x



		Máquina	
		Apagada	x
Encendida			
Tiempo de ejecución: 5 min/módulo			
Aplica a:			
MCH01			
Herramientas: Medios visuales, táctiles, guantes	Materiales:	Equipo: Pirómetro	
Procedimiento:			
1.- A simple vista procedemos a observar el estado de las chumaceras. 2.- Con la ayuda de nuestras manos podemos ver si los pernos de las chumaceras se encuentran apretados o si se han aflojado, en este caso procedemos a realizar la siguiente tarea ya detallada. 3.- Con un pirómetro podemos observar el estado del lubricante dentro de la chumacera sin tener que desarmar la chumacera, si el lubricante necesita ser tratado procedemos a realizar la siguiente tarea ya detallada.			
Observaciones:			
Siempre es bueno dar una inspección visual a los componentes del módulo para poder evitar así alguna falla futura antes que suceda.			

Tarea del sistema mecánico 02

 	Revisión de ajuste de los pernos de la chumacera	Tarea:	02
		Frecuencia	
Versión: 2021	Tareas de mantenimiento Laboratorio de Diagnóstico Técnico y Eficiencia Energética	Ejecutada práctica:	x
		Trimestral:	
		Semestral:	x

	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th colspan="2" style="text-align: center;">Máquina</th> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Apagada</td> <td style="text-align: center;">x</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Encendida</td> <td></td> </tr> </table>	Máquina		Apagada	x	Encendida	
Máquina							
Apagada	x						
Encendida							
Tiempo de ejecución: 10 min/módulo							
Aplica a: <div style="text-align: center;">MCH01</div>							
Herramientas: Llaves torquímetro allen	Materiales:						
Equipo:							
Procedimiento: 1.- Con la ayuda de una llave de torquímetro allen revisamos el ajuste que tienen los pernos de las chumaceras. 2.- Si observamos que el apriete no es el adecuado (está muy flojo o muy apretado) usamos la llave torquímetro allen para dejarle con su apriete adecuado dependiendo del tamaño del perno.							
Observaciones: El apriete de los pernos siempre debe ser el adecuado ya que si el apriete es mayor al necesario puede dañar el hilo y el perno ya no quedará sujeto correctamente.							



Tarea del sistema mecánico 03

 	Lubricación de las chumaceras	Tarea:	03
		Frecuencia	
Versión: 2021	Tareas de mantenimiento Laboratorio de Diagnóstico Técnico y Eficiencia Energética	Ejecutada práctica:	x
		Trimestral:	
		Semestral:	x

Máquina	
Apagada	x
Encendida	

Tiempo de ejecución: 10 min/módulo		
Aplica a: <div style="text-align: center; margin-top: 10px;">MCH01</div>		
Herramientas: Engrasadora de chumaceras	Materiales: Lubricante SAE 85W-140	Equipo:
Procedimiento: <ol style="list-style-type: none"> 1.- Con la ayuda de una engrasadora de chumaceras y la selección del lubricante adecuado, en nuestro caso un lubricante SAE 85W-140, procedemos a lubricar nuestra chumacera. 2.- Destapamos la copilla de lubricación de la chumacera y procedemos a conectar la engrasadora. 3.- Comenzamos a inyectar el lubricante necesario a las chumaceras. 4.- Una vez colocado el lubricante retiramos la engrasadora y tapamos la copilla de la chumacera. 		
Observaciones: Se debe observar con cierta frecuencia como se encuentra el lubricante de las chumaceras, puesto que si tiene poco lubricante los rodamientos internos del mismo comenzaran		



Tarea del sistema mecánico 04

 	Limpieza de las bases de soporte	Tarea:	01
		Frecuencia	
Versión: 2021	Tareas de mantenimiento Laboratorio de Diagnóstico Técnico y Eficiencia Energética	Ejecutada práctica:	x
		Trimestral:	x
		Semestral:	x

Máquina	
Apagada	x
Encendida	

Tiempo de ejecución: 7 min/módulo		
Aplica a:		
MBP01	MBT01	MBCH01
Herramientas: Guaípe, franela, cepillo o brocha, esponja	Materiales: Líquido limpiador	Equipo:
Procedimiento: <ol style="list-style-type: none"> 1.- Utilizamos el cepillo o una brocha para limpiar las zonas que tengan polvos o basuras adheridas a las bases. 2.- Con una franela o guaípe semi húmedo procedemos a pasarlos por las bases para retirar el polvo extra que se encuentra más adherido. 3.- Con una esponja pequeña aplicamos un poco de líquido limpiador para pinturas, para proteger las áreas pintadas de las bases, luego con una franela seca procedemos a retirar el exceso del limpiador. 4.- Las herramientas utilizadas deben ser limpiadas al finalizar el procedimiento para poder ser utilizadas la próxima vez. 		
Observaciones: <p>La cantidad de polvo en las bases dependerá de que tan frecuentemente se limpia el laboratorio, puesto que estas basuras se encontrarán primero en el piso del laboratorio y luego se van adherir al módulo.</p> <p>Evitar el uso excesivo del líquido limpiador, puesto que este tardará más en ser retirado o puede llegar a tapar orificios de pernos cercanos en las bases.</p>		

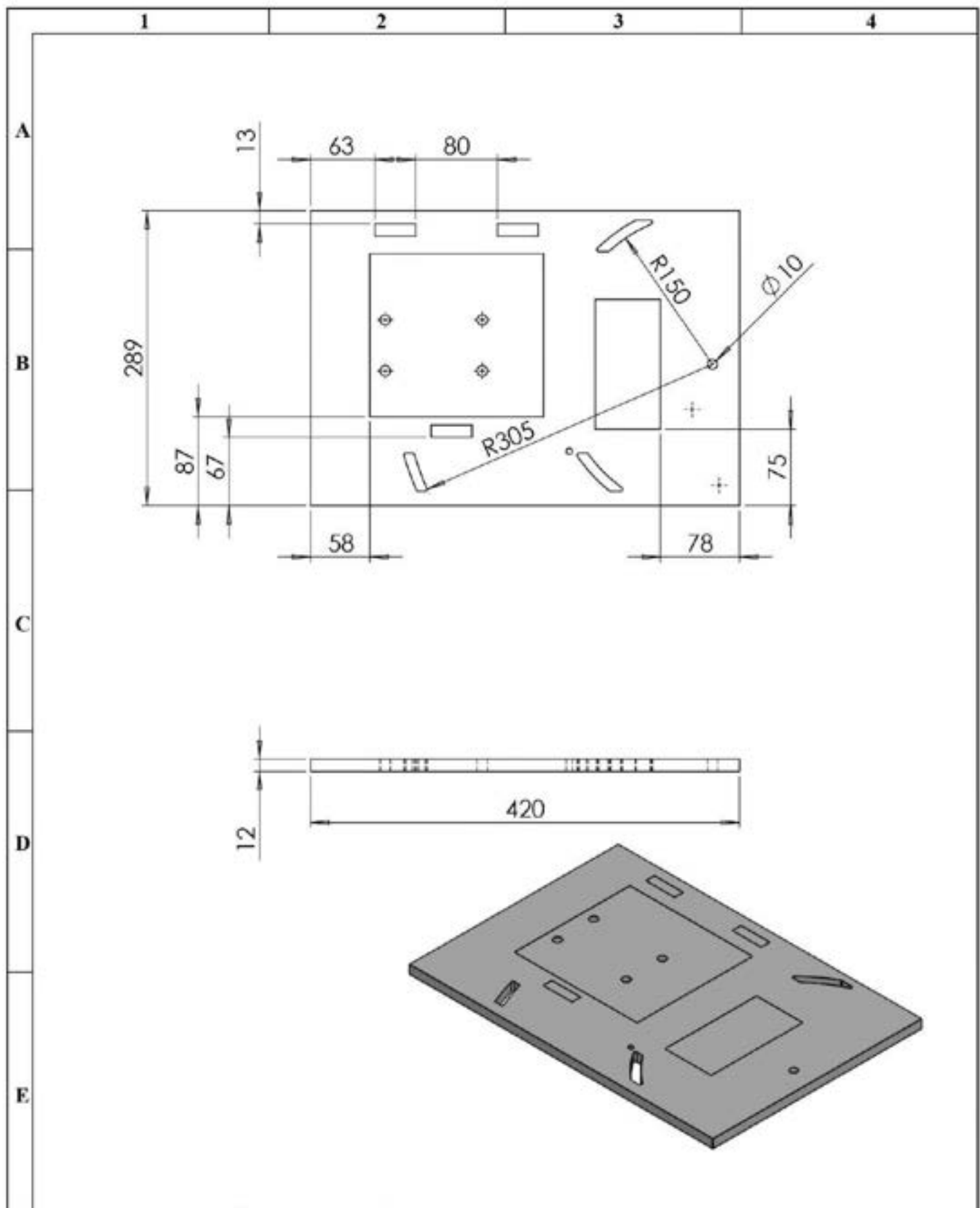
Anexo D:Check list para la puesta en funcionamiento del módulo

	CHECKLIST DE OPERACIÓN		
Módulo	Módulo de simulación de falla	Fecha:	
Frecuencia	Antes del funcionamiento	Responsable	
PARA LA PUESTA EN FUNCIONAMIENTO DEL MÓDULO DE SIMULACION ES NECESARIO CONSIDERAR ASPECTOS COMO:			
ASPECTO		SI	NO
SEGURIDAD	Se toma en cuenta equipos de protección personal tales como.		
Mandil			
Guantes			
Gafas			
Audifonos			
SISTEMA ELÉCTRICO			
Verificar que el tablero de control se encuentre conectado correctamente			
Revisar las terminales de conexión del motor			
SISTEMA DE TRANSMISIÓN			
Verificar que la banda se encuentre alineada correctamente			
Verificar que los prisioneros de las poleas se encuentren bien ajustados			
Verificar que los prisioneros de los engranes se encuentren bien ajustados			
Verificar que el piñón se encuentre bien ajustado al eje del alternador			
SISTEMA DE LUBRICACIÓN			
Revisar que los engranajes se encuentren perfectamente lubricados			
Revisar que las chumaceras se encuentren perfectamente engrasadas			
SISTEMA MECÁNICO			
Verificar que las chumaceras se encuentren bien empernadas			
Verificar que la base del alternador se encuentre bien ajustada			
Ajustar cada uno de los pernos de anclaje tanto en el motor como alternador			
OBSERVACIONES:			

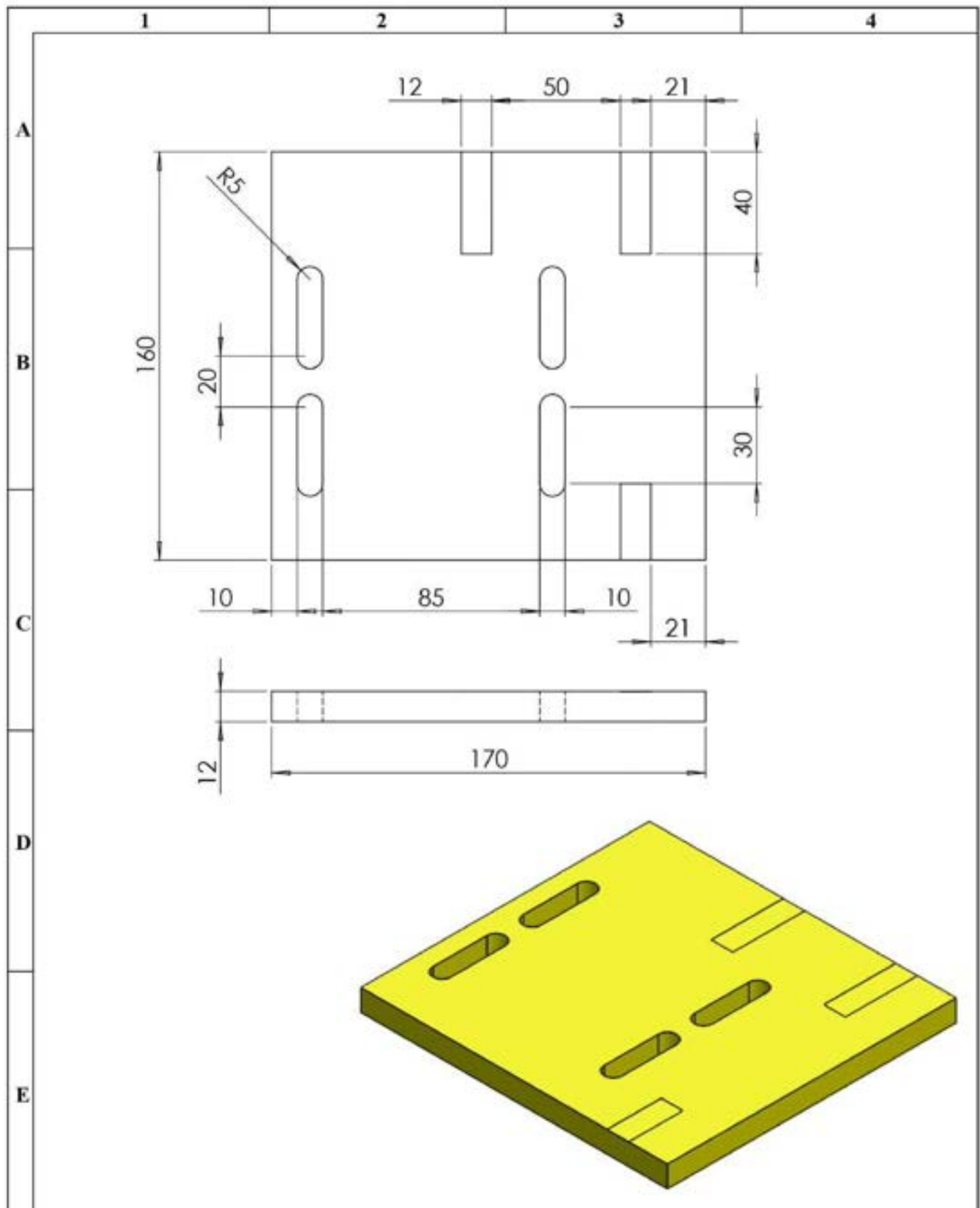
Anexo E:Check list después del funcionamiento del módulo

	CHECKLIST DE OPERACIÓN		
Módulo	Módulo se simulacion de falla	Fecha:	
Frecuencia	Después del funcionamiento	Responsable	
FINALIZADO FUNCIONAMIENTO DEL MÓDULO DE SIMULACION ES NECESARIO CONSIDERAR ASPECTOS COMO:			
ASPECTO		SI	NO
Desconectar el motor			
Desconectar el tablero de control			
Verificar que los pernos quede bien sujetos para un proximo análisis			
Limpiar los residuos generados por el funcionamiento del módulo de simulación			
Guardar cada uno de los equipos utilizados en análisis			
OBSERVACIONES:			

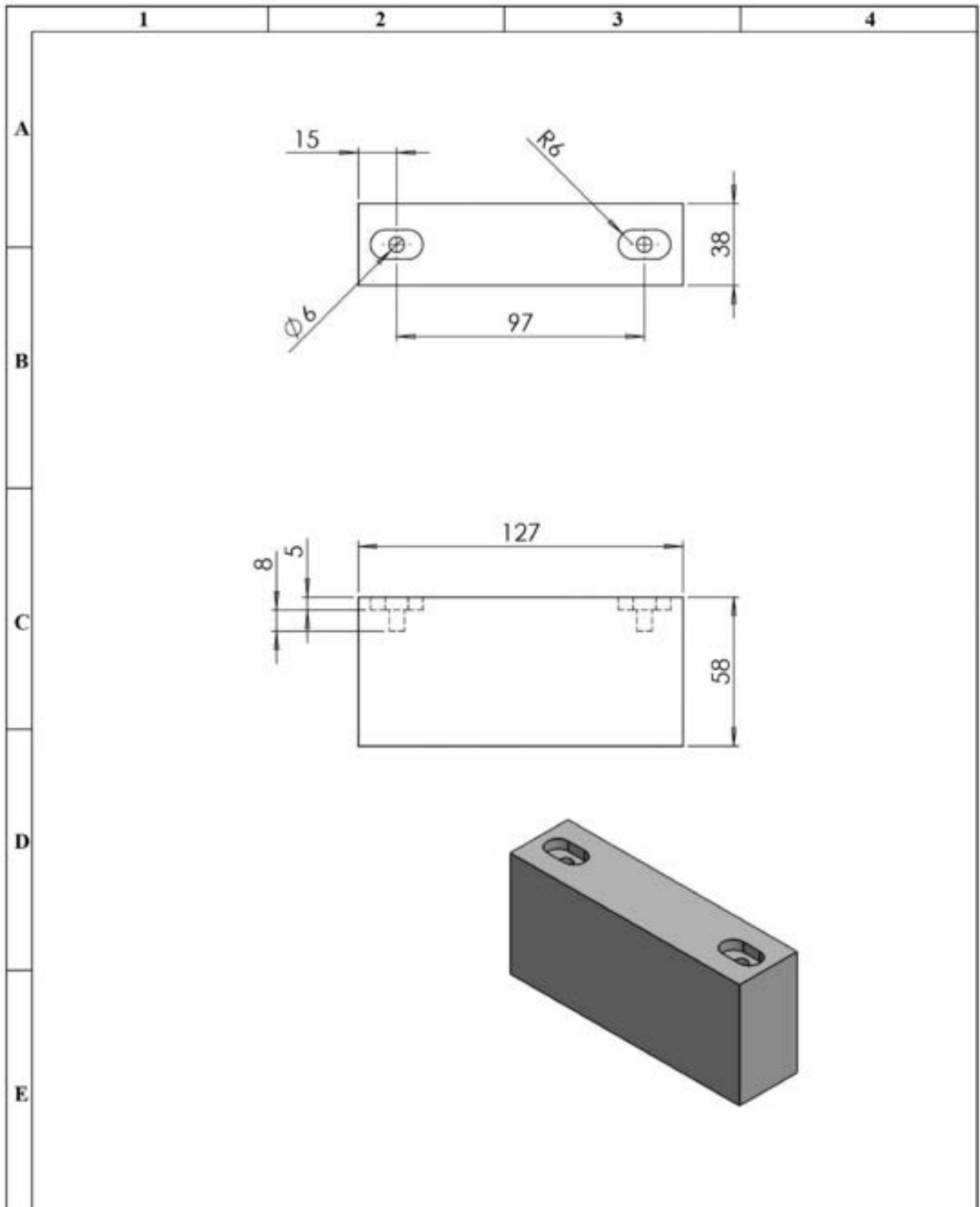
Anexo F: planos del módulo de simulación



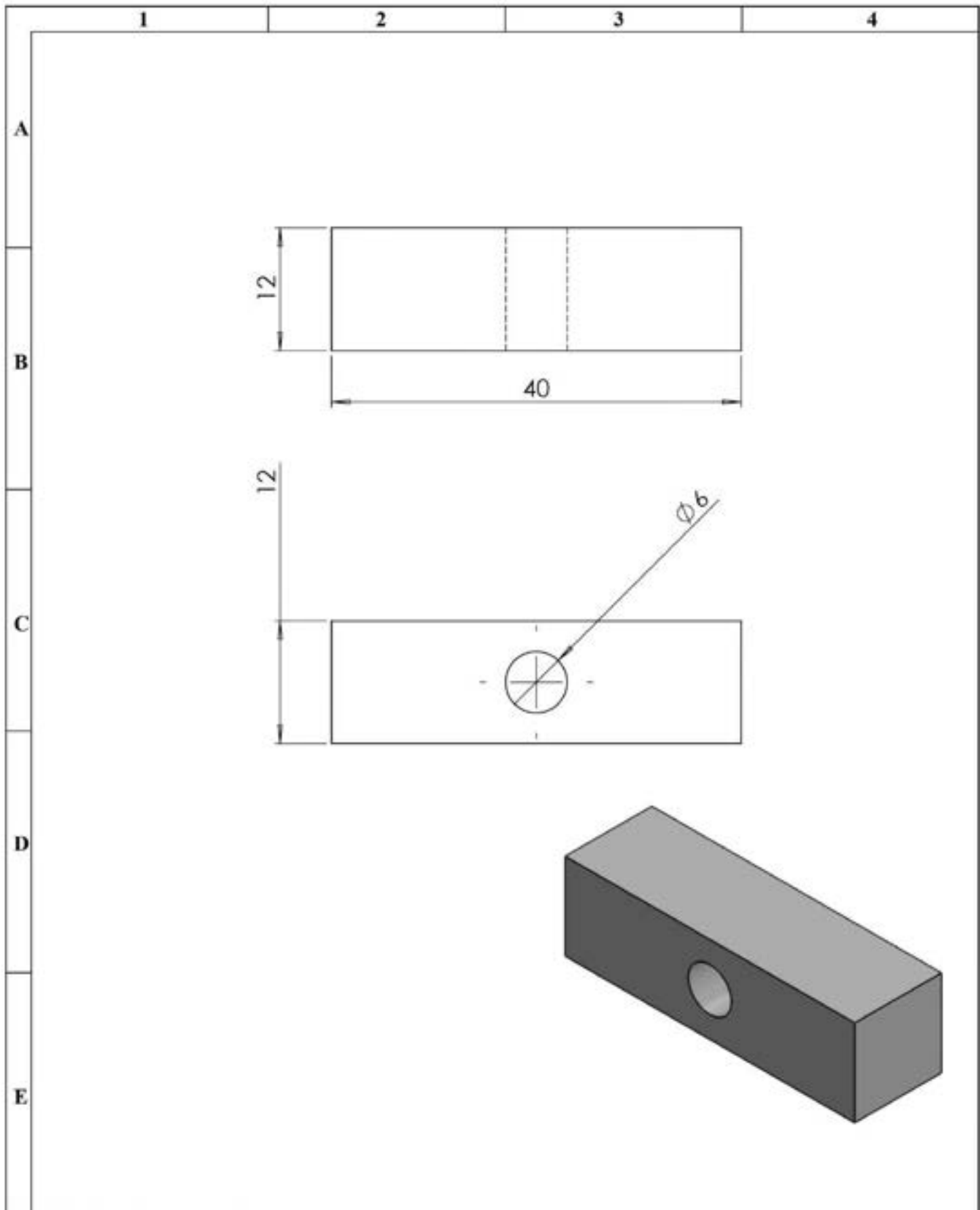
N°. Lámina: 1 de 22		N°. Hojas: 22		Sustitución:		Codificación: FM-CIMI-TES-P1-MS001-BM		ESPOCH FACULTAD DE MECÁNICA INGENIERÍA MANTENIMIENTO INDUSTRIAL			
Email: jose.condemaita@esPOCH.edu.ec Teléfonos: 0984245995				Denominación: BASE DEL MÓDULO DE SIMULACIÓN							
Datos	Nombre	Firma	Fecha	Materiales: ACERO 1020				11.26	±0,3 [mm]	1:5	
Proyectó	Molano C.		2022-02-24					Nombre de archivo: BASE DEL MODULO.sldprt			
Dibujó	Condemaita J.		2022-02-24								
Revisó	Ing.Naranjo Eugenia.		2022-02-24								
Aprobó	Ing.Naranjo Eugenia.		2022-02-24								



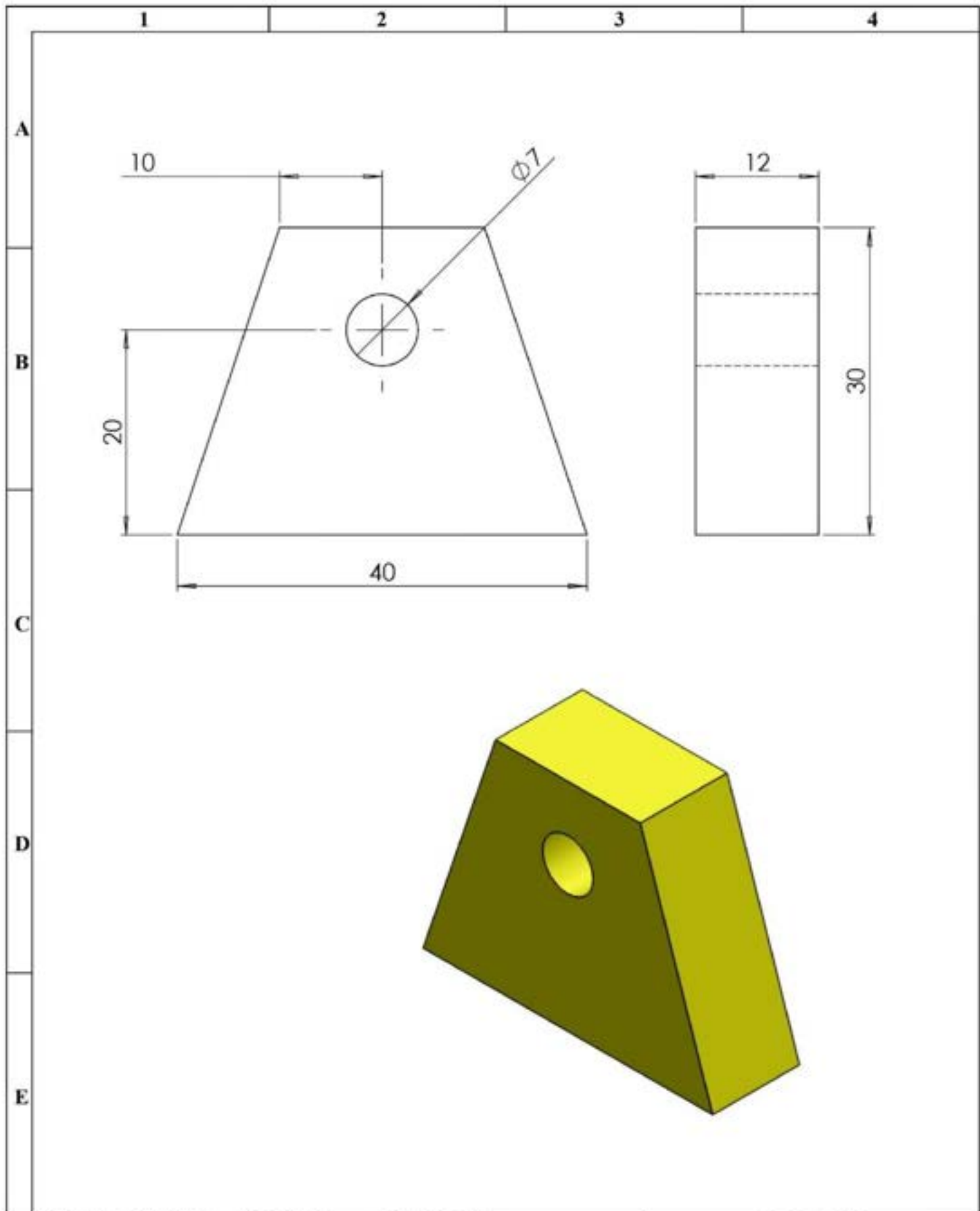
N°. Lámina: 2 de 22		N°. Hojas: 22		Sustitución:		Codificación: FM-CIMI-TES-PI-MS001-BA		ESPOCH FACULTAD DE MECÁNICA INGENIERÍA MANTENIMIENTO INDUSTRIAL						
Email: jose.condemaita@esPOCH.edu.ec Teléfonos: 0984245995				Denominación: BASE DEL ALTERNADOR								Peso [kg]	Tolerancia	Escala
Datos	Nombre	Firma	Fecha	Materiales: ACERO 1020				2.42	±0,3 [mm]	1:2				
Proyectó	Molano C.		2022-02-24					Nombre de archivo: BASE DEL ALTERNADOR.sldprt						
Dibujó	Condemaita J.		2022-02-24											
Revisó	Ing.Naranjo Eugenia.		2022-02-24											
Aprobó	Ing.Naranjo Eugenia.		2022-02-24											



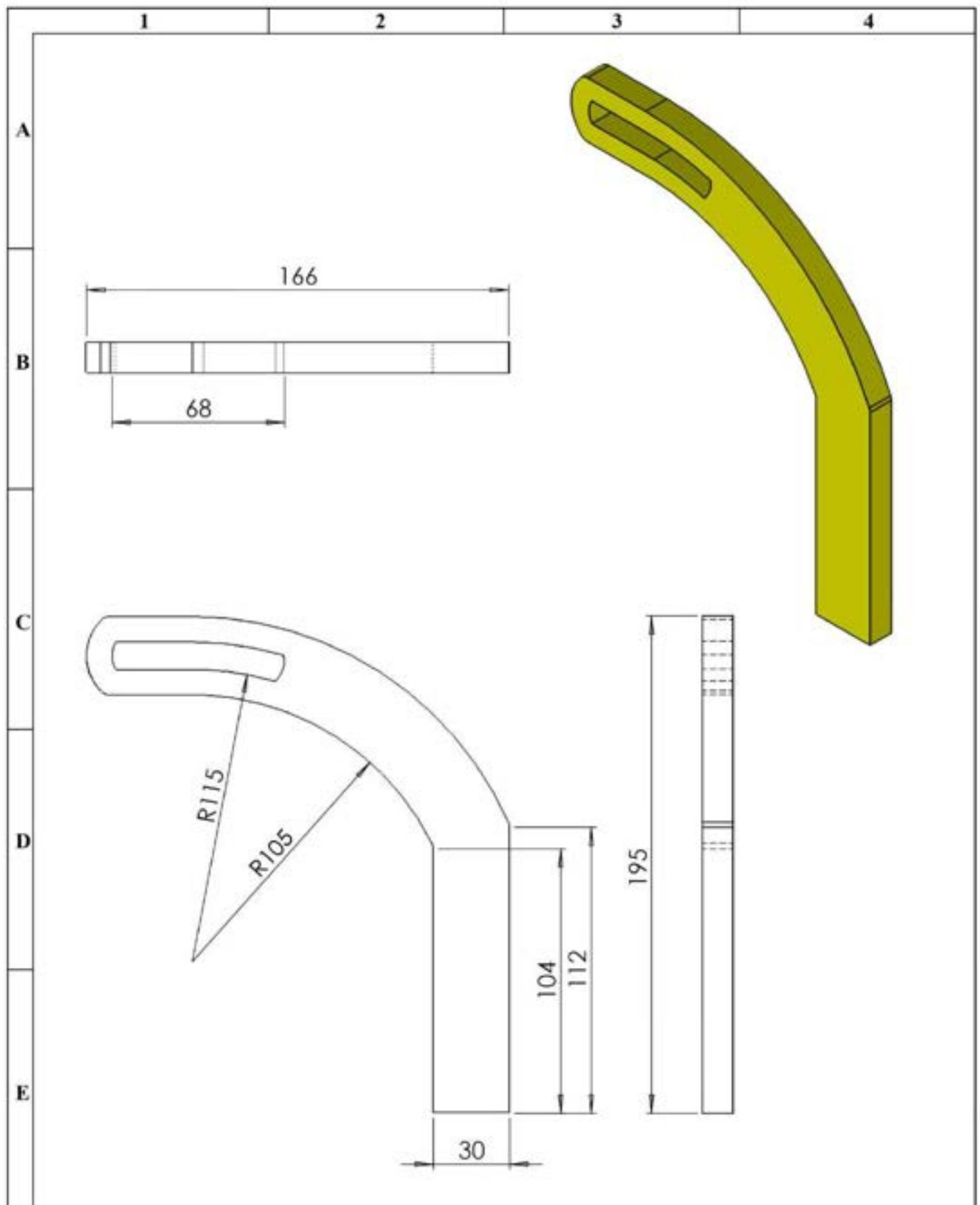
N°. Lámina: 3 de 22		N°. Hojas: 22		Sustitución:		Codificación: FM-CIMI-TES-PI-MS001-BCH		ESPOCH FACULTAD DE MECÁNICA INGENIERÍA MANTENIMIENTO INDUSTRIAL											
Email: jose.condemaita@esPOCH.edu.ec Teléfonos: 0984245995						Denominación:						Peso [kg]		Tolerancia		Escala		Registro	
Datos		Nombre		Firma		Fecha		BASE DE LA CHUMACERA				1,82		±0,3 [mm]		1:2			
Proyectó		Melano C.				2022-02-24						Materiales:							
Dibujó		Condemaita J.				2022-02-24		ACERO 1020											
Revisó		Ing. Naranjo Eugenia.				2022-02-24		Nombre de archivo:											
Aprobó		Ing. Naranjo Eugenia.				2022-02-24		BASE CHUMACERA.sldprt											



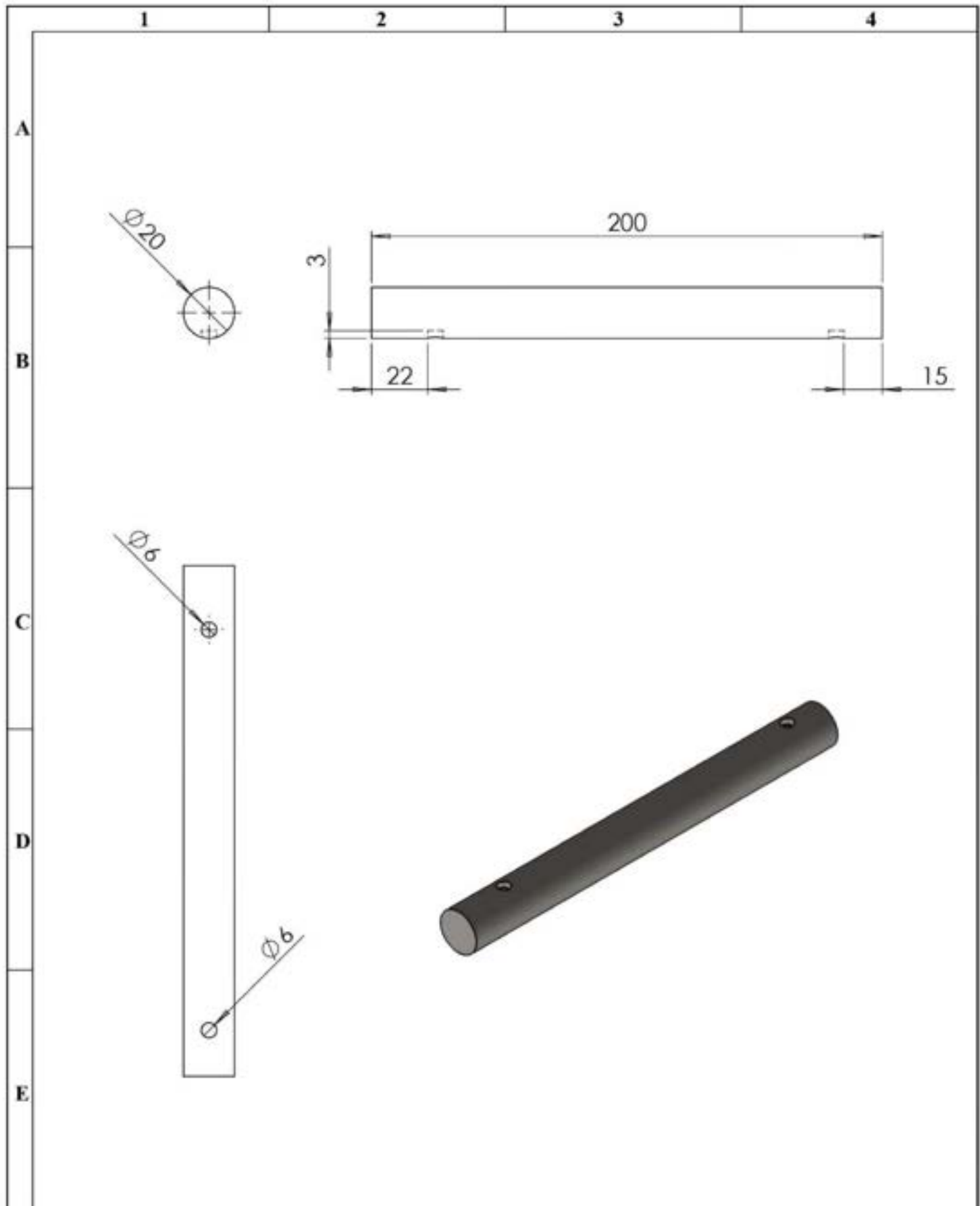
N°. Lámina: 4 de 22		N°. Hojas: 22		Sustitución:		Codificación: FM-CIMI-TES-P1-MS001-BPD		ESPOCH FACULTAD DE MECÁNICA INGENIERÍA MANTENIMIENTO INDUSTRIAL									
Email: jose.condemaita@esPOCH.edu.ec Teléfonos: 0984245995						Denominación:						Peso [kg]		Tolerancia		Escala	
Datos		Nombre		Firma		Fecha		BASE PARA PERNOS DE DESALINEACIÓN		0,04266		±0,3 [mm]		2:1			
Proyectó		Melano C.				2022-02-24				Materiales: ACERO 1020							
Dibujó		Condemaita J.				2022-02-24											
Revisó		Ing.Naranjo Eugenia.				2022-02-24				Nombre de archivo: BASE DESALINEACIÓN .sldprt							
Aprobó		Ing.Naranjo Eugenia.				2022-02-24											





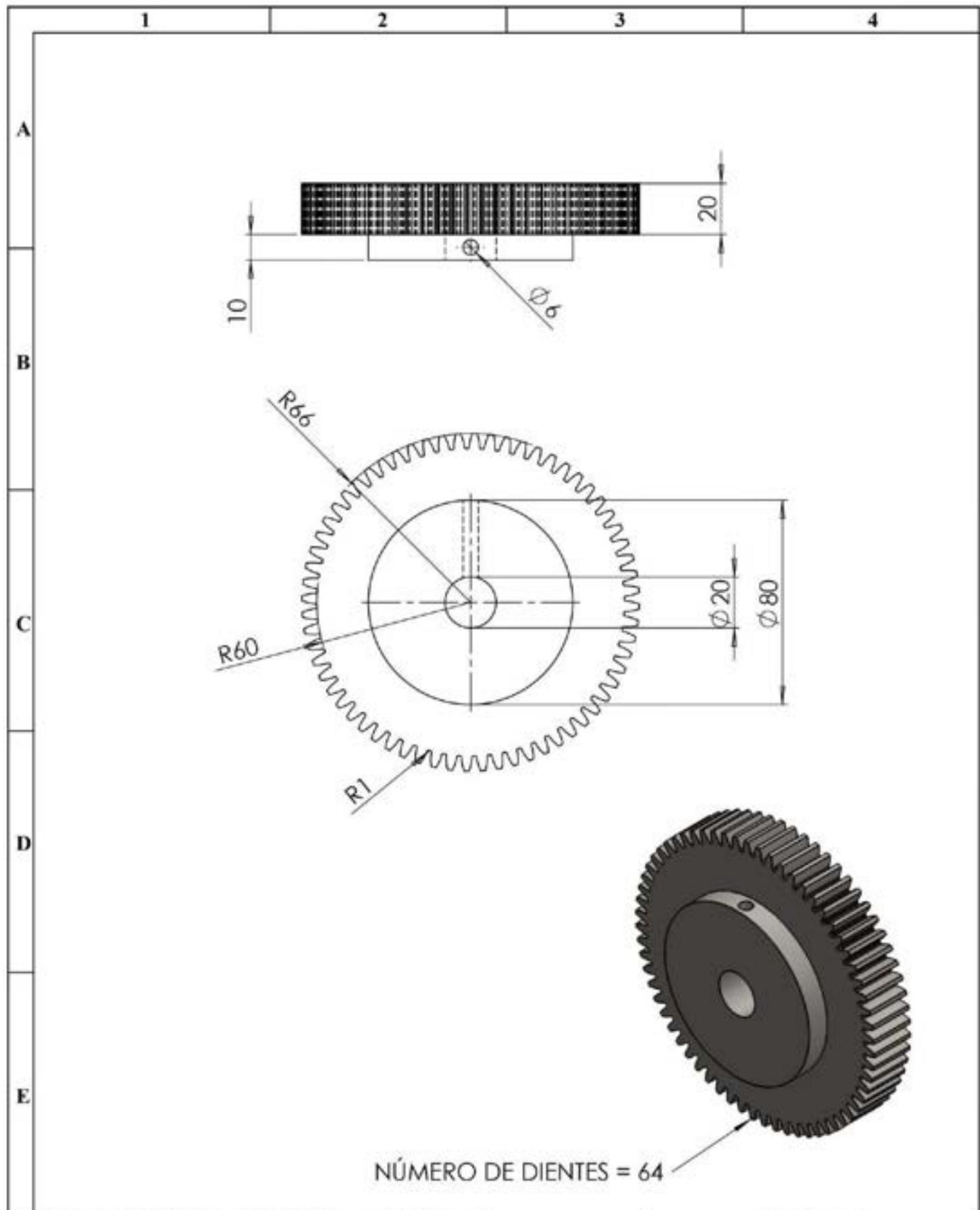
N°. Lámina: 5 de 22		N°. Hojas: 22		Sustitución:		Codificación: FM-CIMI-TES-P1-MS001-SAT		ESPOCH FACULTAD DE MECÁNICA INGENIERÍA MANTENIMIENTO INDUSTRIAL							
Email: jose.condemaita@esPOCH.edu.ec Teléfonos: 0984245995				Denominación: SOPORTE DEL ALTERNADOR								Peso [kg]		Tolerancia	
Datos		Nombre		Firma		Fecha		0,08136		±0,3 [mm]		2:1			
Proyectó		Molano C.				2022-02-24		Materiales: ACERO 1020		  					
Dibujó		Condemaita J.				2022-02-24									
Revisó		Ing. Narcajo Eugenia.				2022-02-24									
Aprobó		Ing. Narcajo Eugenia.				2022-02-24		Nombre de archivo: SOPORTE DEL ALTERNADOR.sldprt							



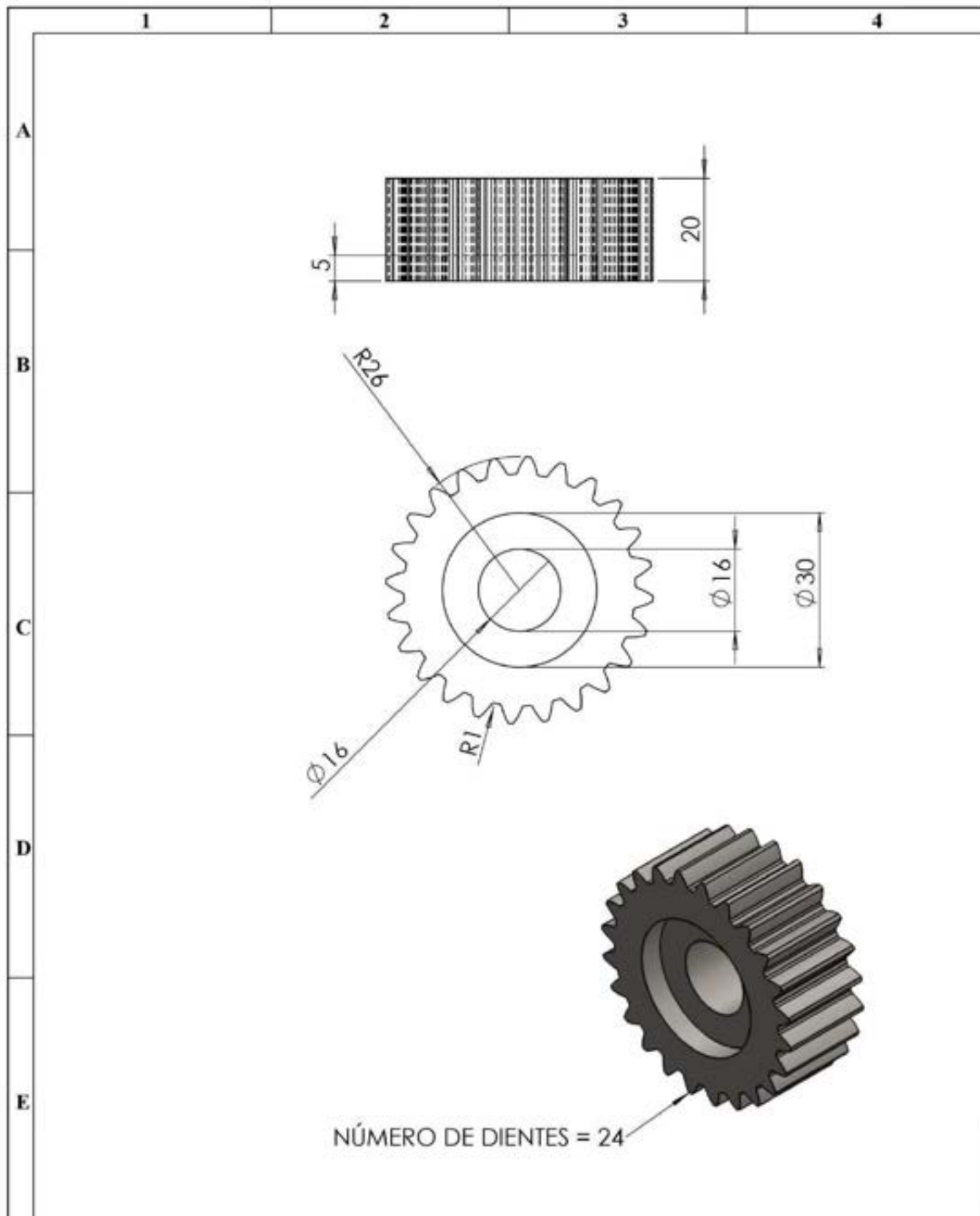
N°. Lámina: 6 de 22		N°. Hojas: 22		Sustitución:		Codificación: FM-CIMI-TES-P1-MS001-AA		ESPOCH FACULTAD DE MECÁNICA INGENIERÍA MANTENIMIENTO INDUSTRIAL			
Email: jose.condemaita@esPOCH.edu.ec Teléfonos: 0984245995						ACOPLE PARA EL ALTERNADOR					
Datos		Nombre		Firma							
Proyectó		Molano C.				2022-02-24		0,7566	±0,3 [mm]	1:2	
Dibujó		Condemaita J.				2022-02-24		Materiales: ACERO 1020 Nombre de archivo: ACOPLE PARA EL ALTERNADOR.sldprt			
Revisó		Ing.Naranjo Eugenia.				2022-02-24					
Aprobó		Ing.Naranjo Eugenia.				2022-02-24					



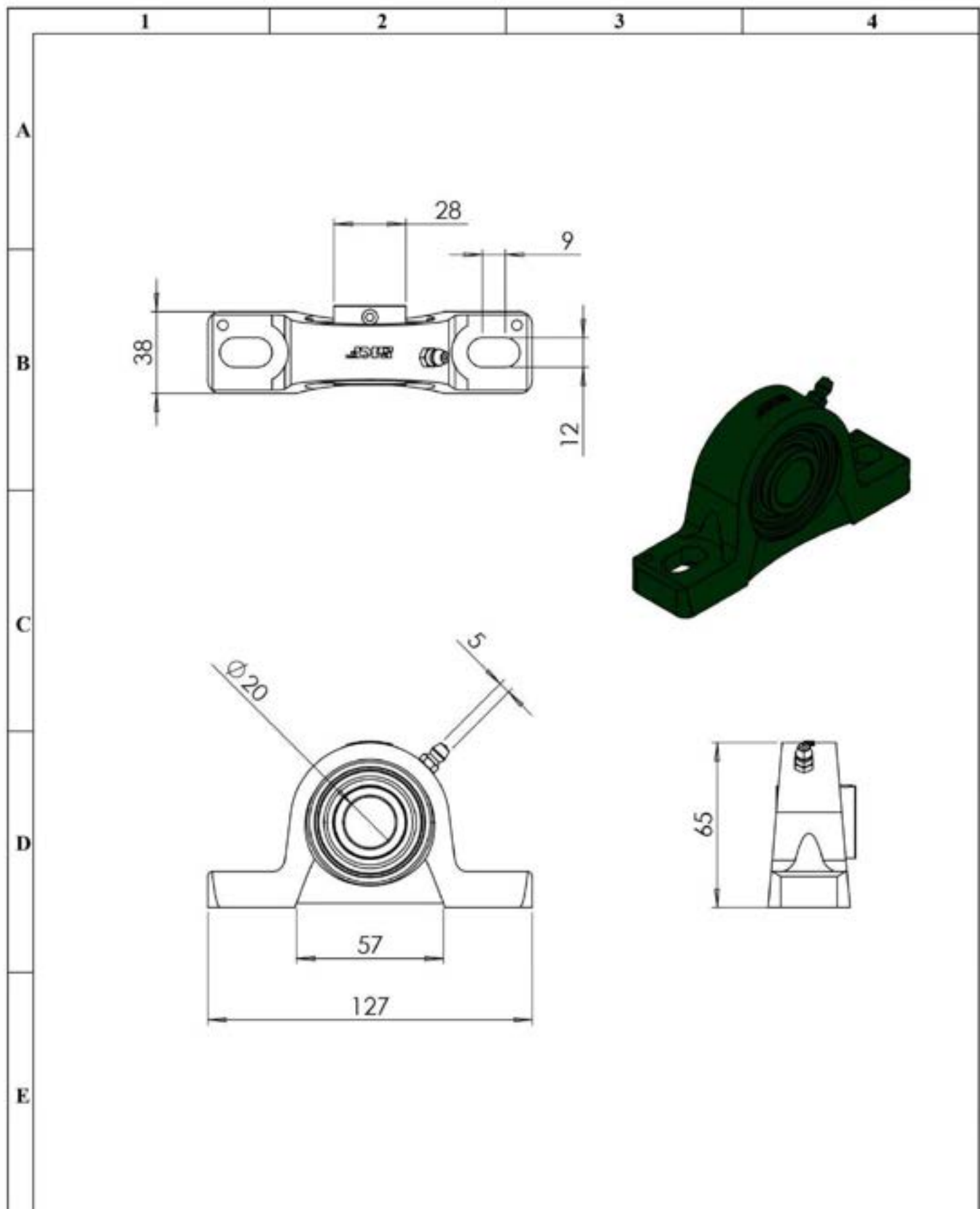
N°. Lámina: 7 de 22		N°. Hojas: 22		Sustitución:		Codificación: FM-CIMI-TES-PI-MS001-EA		ESPOCH FACULTAD DE MECÁNICA INGENIERÍA MANTENIMIENTO INDUSTRIAL									
Email: jose.condemaita@espoch.edu.ec Teléfonos: 0984245995						EJE PARA ENGRANAJE Y POLEA		Peso [kg]		Tolerancia		Escala		Registro			
Datos		Nombre		Firma				Fecha		0,49		±0,3 [mm]		1:2			
Proyectó		Melano C.						2022-02-24									
Dibujó		Condemaita J.						2022-02-24									
Revisó		Ing. Naranjo Eugenia.				2022-02-24		Materiales: AISI 1010									
Aprobó		Ing. Naranjo Eugenia.				2022-02-24		Nombre de archivo: EJE ACOPLÉ .sldprt									



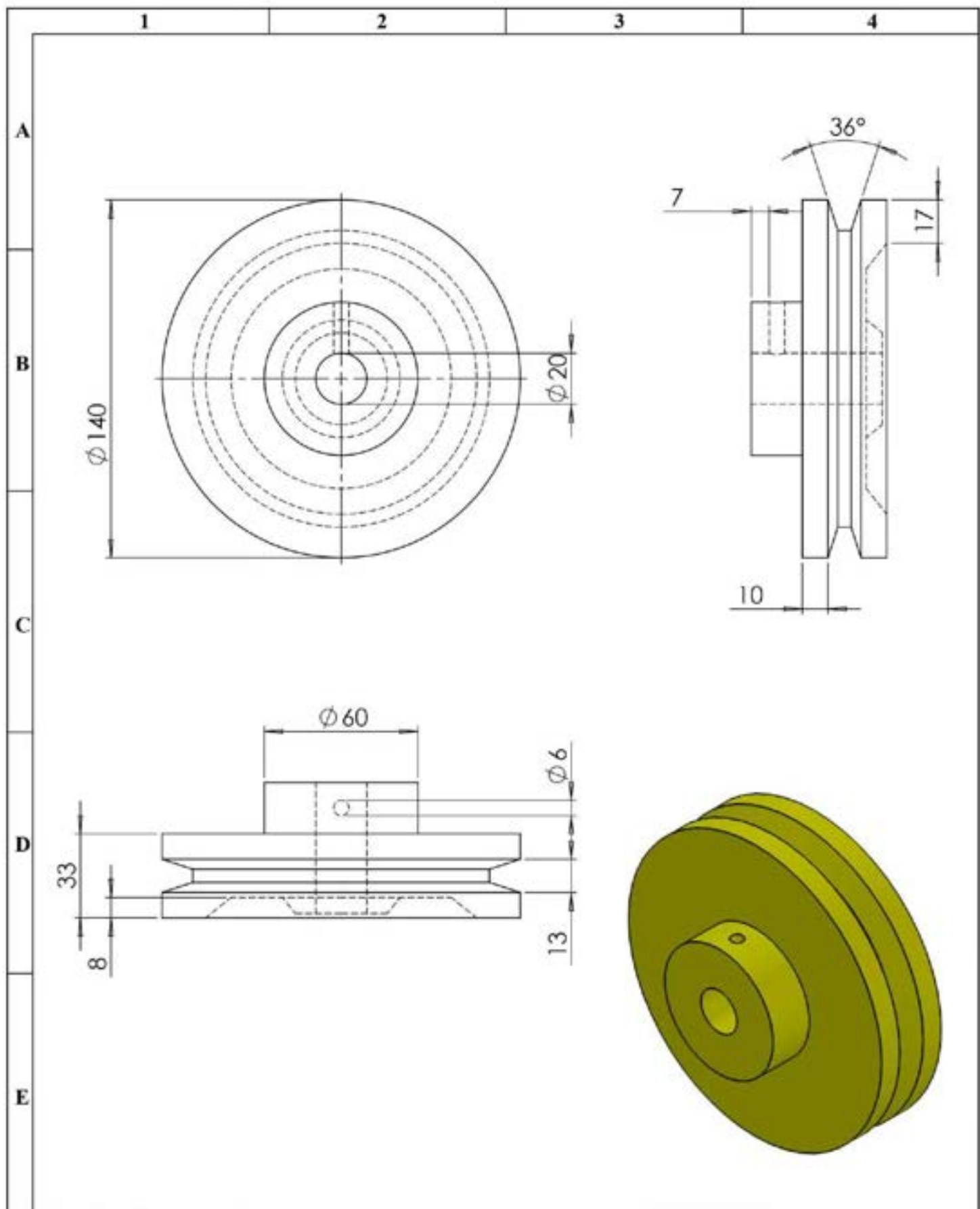
N°. Lámina: 8 de 22		N°. Hojas: 22		Sustitución:		Codificación: FM-CIMI-TES-P1-MS001-EN		ESPOCH FACULTAD DE MECÁNICA INGENIERÍA MANTENIMIENTO INDUSTRIAL							
Email: jose.condemaita@esPOCH.edu.ec Teléfonos: 0984245995						Denominación: ENGRANAJE						Peso [kg]		Tolerancia	
Datos		Nombre		Firma		Fecha		2,304		±0,3 [mm]		1:2			
Proyectó		Molano C.				2022-02-24		Materiales: ACERO 1020							
Dibujó		Condemaita J.				2022-02-24									
Revisó		Ing. Nararajo Eugenia.				2022-02-24									
Aprobó		Ing. Nararajo Eugenia.				2022-02-24		Nombre de archivo: ENGRANE.sldprt							



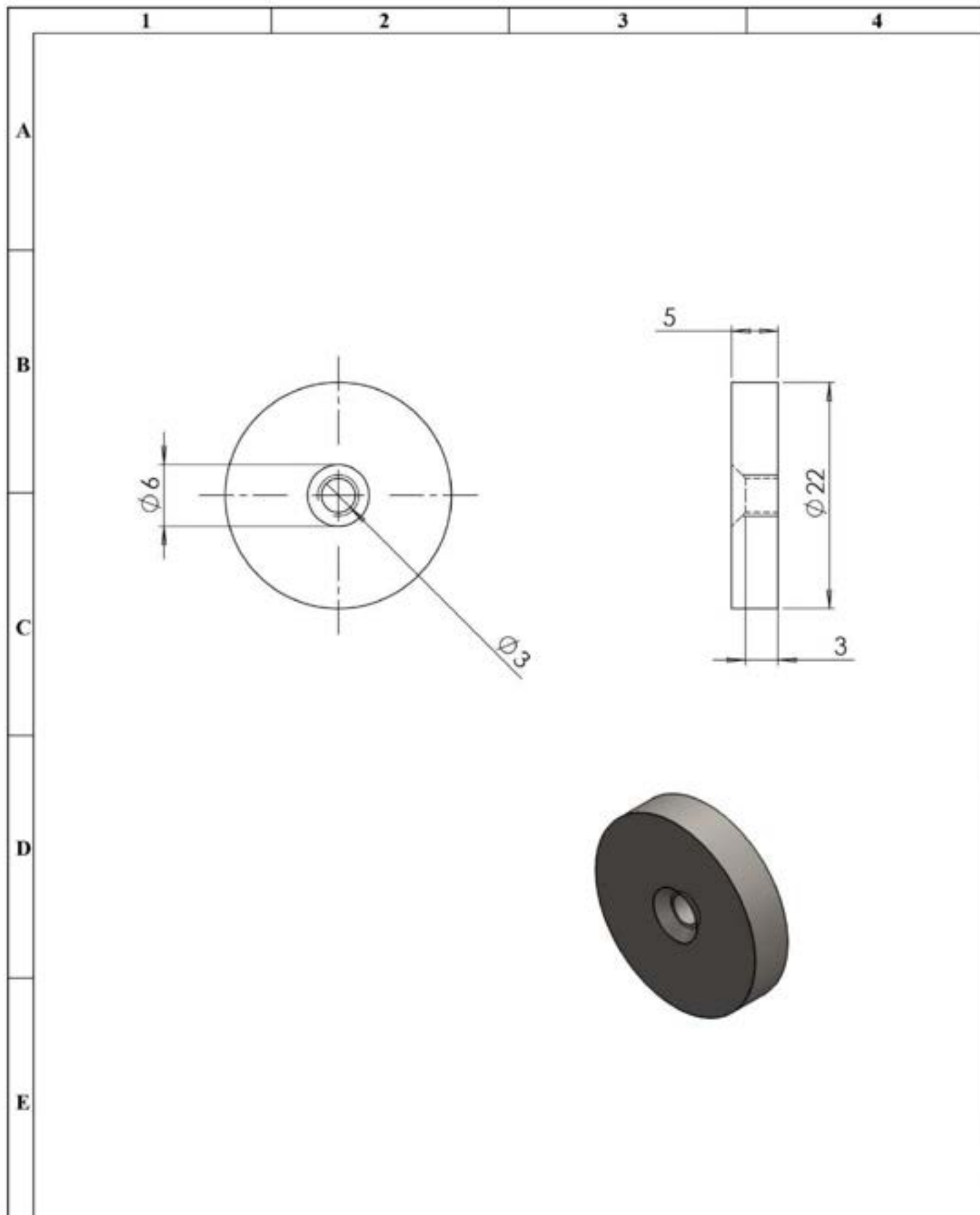
N°. Lámina: 9 de 22		N°. Hojas: 22		Sustitución:		Codificación: FM-CIMI-TES-PI-MS001-PI		ESPOCH FACULTAD DE MECÁNICA INGENIERÍA MANTENIMIENTO INDUSTRIAL							
Email: jose.condemaita@epoch.edu.ec Teléfonos: 0984245995						Denominación: PIÑÓN						Peso [kg]		Tolerancia	
Datos		Nombre		Firma		Fecha		0,2363		±0,3 [mm]		1:1			
Proyectó		Melano C.				2022-02-24		Materiales: ACERO 1020							
Dibujó		Condemaita J.				2022-02-24									
Revisó		Ing. Naranjo Eugenia.				2022-02-24		Nombre de archivo: PIÑON.sldprt							
Aprobó		Ing. Naranjo Eugenia.				2022-02-24									



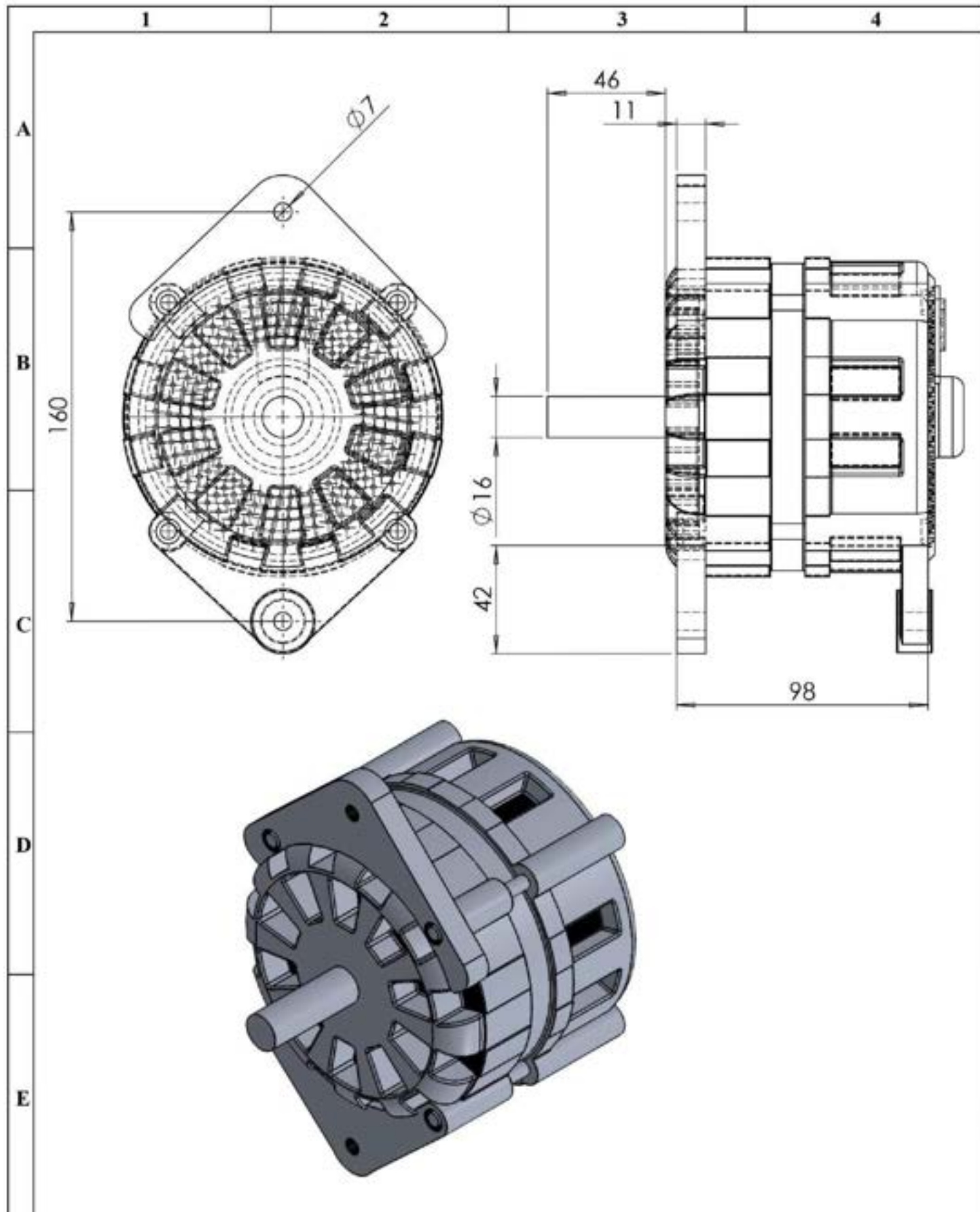
N°. Lámina: 10 de 22		N°. Hojas: 22		Sustitución:		Codificación: FM-CIMI-TES-P1-MS001-CH		ESPOCH FACULTAD DE MECÁNICA INGENIERÍA MANTENIMIENTO INDUSTRIAL			
Email: jose.condemaita@esPOCH.edu.ec Teléfonos: 0984245995						Denominación: CHUMACERA SKF					
Datos	Nombre	Firma	Fecha					0,08	±0,3 [mm]	1:2	
Proyectó	Melino C.		2022-02-24								
Dibujó	Condemaita J.		2022-02-24								
Revisó	Ing.Naranjo Eugenia.		2022-02-24			Materiales: HIERRO FUNDIDO					
Aprobó	Ing.Naranjo Eugenia.		2022-02-24			Nombre de archivo: CHUMACERA .sldprt					



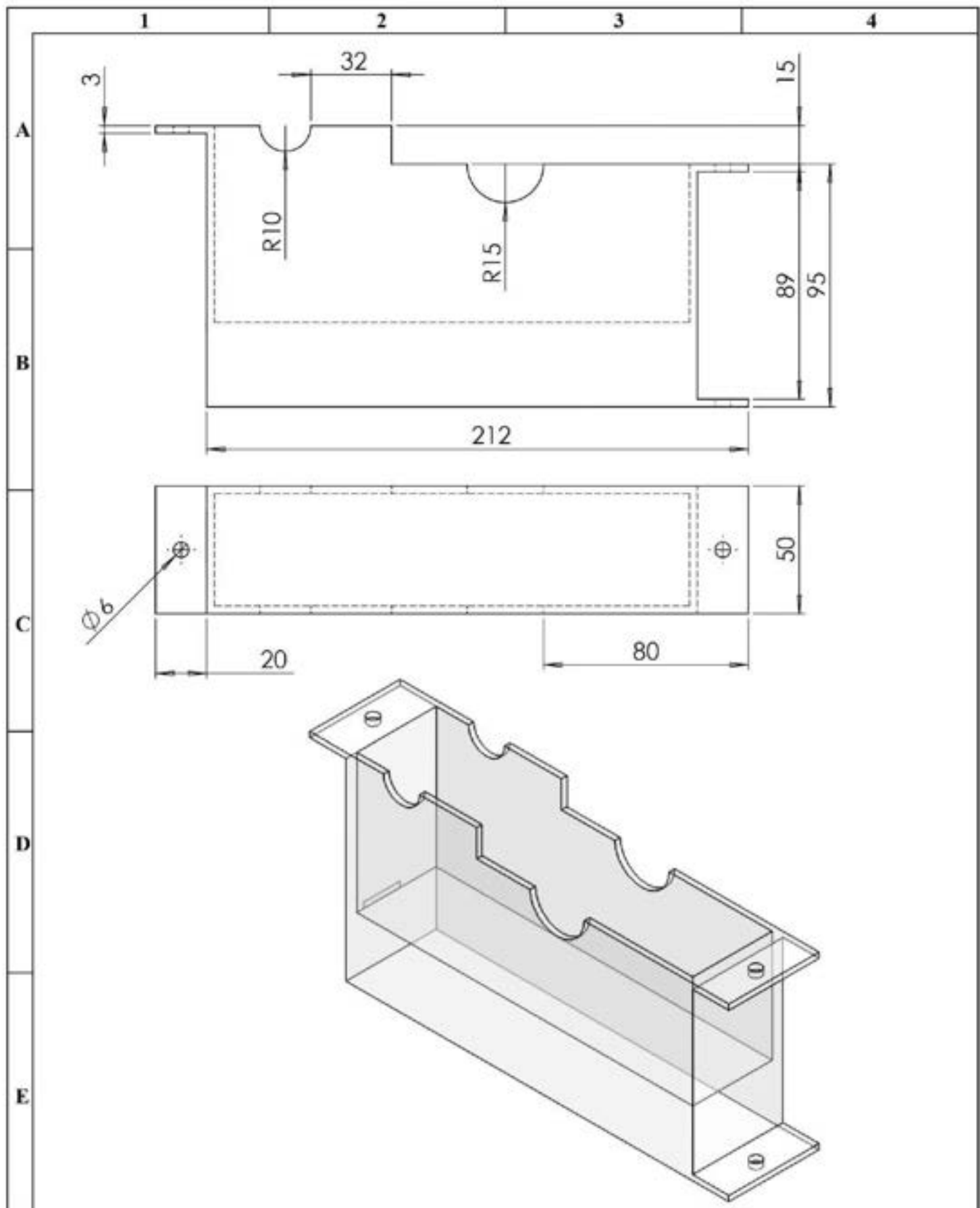
N°. Lámina: 11 de 22		N°. Hojas: 22		Sustitución:		Codificación: FM-CIMI-TES-PI-MS001-PO		ESPOCH FACULTAD DE MECÁNICA INGENIERÍA MANTENIMIENTO INDUSTRIAL			
Email: jose.condemaita@esPOCH.edu.ec Teléfonos: 0984245995						Denominación: POLEA					
Datos	Nombre	Firma	Fecha	Materiales: HIERRO FUNDIDO Nombre de archivo: POLEA.sldprt				3,583	$\pm 0,3$ [mm]	1:2	
Proyectó	Molino C.		2022-02-24								
Dibujó	Condemaita J.		2022-02-24								
Revisó	Ing. Naranjo Eugenia.		2022-02-24								
Aprobó	Ing. Naranjo Eugenia.		2022-02-24								



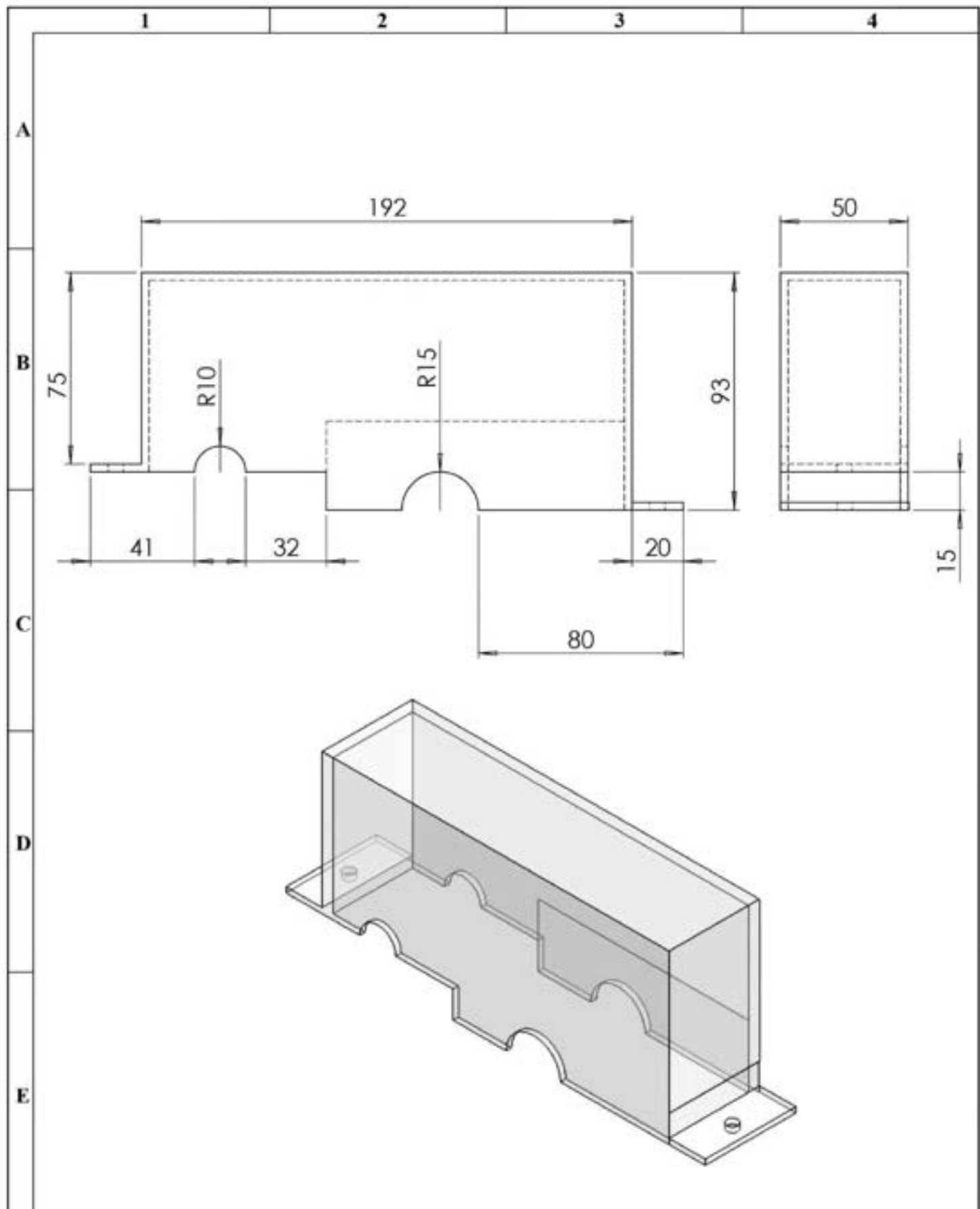
N°. Lámina: 12 de 22		N°. Hojas: 22		Sustitución:		Codificación: FM-CIMI-TES-P1-MS001-IN		ESPOCH FACULTAD DE MECÁNICA INGENIERÍA MANTENIMIENTO INDUSTRIAL							
Email: jose.condemaita@esPOCH.edu.ec Teléfonos: 0984245995						Denominación: INSERTO						Peso [kg]		Tolerancia	
Datos		Nombre		Firma		Fecha		0,01		±0,3 [mm]		2:1			
Proyectó		Melano C.				2022-02-24		Materiales: AISI 1020							
Dibujó		Condemaita J.				2022-02-24									
Revisó		Ing. Naranjo Eugenia.				2022-02-24		Nombre de archivo: INSERTO.sldprt							
Aprobó		Ing. Naranjo Eugenia.				2022-02-24									



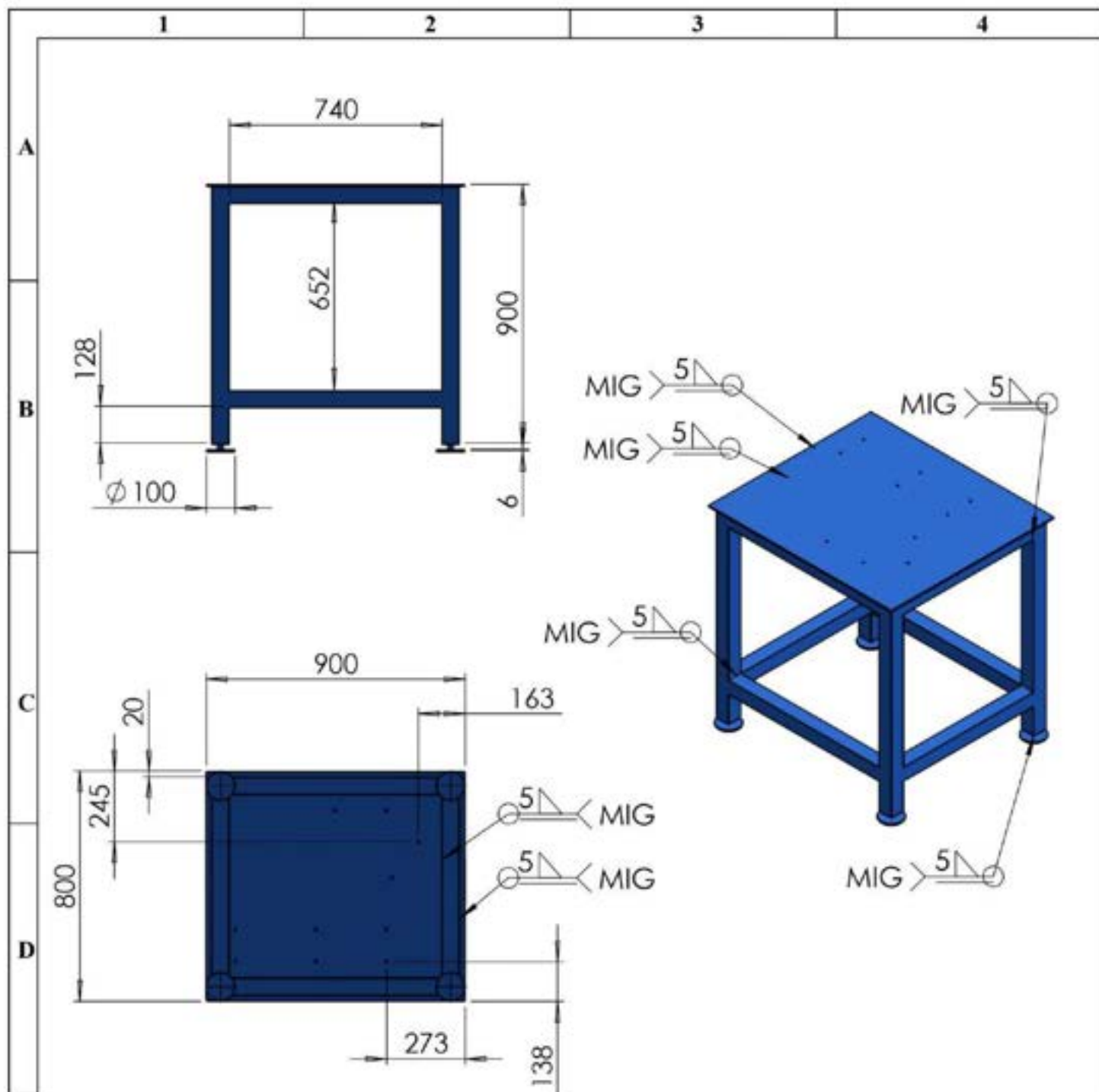
N°. Lámina: 13 de 22		N°. Hojas: 22		Sustitución:		Codificación: FM-CIMI-TES-P1-MS001-AT		ESPOCH FACULTAD DE MECÁNICA INGENIERÍA MANTENIMIENTO INDUSTRIAL			
Email: jose.condemaita@esPOCH.edu.ec Teléfonos: 0984245995						Denominación: ALTERNADOR ZENOX					
Datos	Nombre	Firma	Fecha	Materiales: ALEACIÓN DE ALUMINIO 1345 Nombre de archivo: ALTERNADOR.sldprt				3,38	$\pm 0,3$ [mm]	1:2	
Proyectó	Molino C.		2022-02-24								
Dibujó	Condemaita J.		2022-02-24								
Revisó	Ing.Naranjo Eugenia.		2022-02-24								
Aprobó	Ing.Naranjo Eugenia.		2022-02-24								



N°. Lámina: 14 de 22		N°. Hojas: 22		Sustitución:		Codificación: FM-CIME-TES-P1-MS001-AB		ESPOCH FACULTAD DE MECÁNICA INGENIERÍA MANTENIMIENTO INDUSTRIAL			
Email: jose.condemaita@esPOCH.edu.ec Teléfonos: 0984245995				Denominación: PROYECCIÓN DE ACRÍLICO - BASE							
Datos	Nombre	Firma	Fecha	Materiales: ACRÍLICO				0,5025	±0,3 [mm]	1:2	
Proyectó	Morlano C.		2022-02-24					Nombre de archivo: ACRÍLICO - BASE.sldprt			
Dibujó	Condemaita J.		2022-02-24								
Revisó	Ing. Nararño Eugenia.		2022-02-24								
Aprobó	Ing. Nararño Eugenia.		2022-02-24								

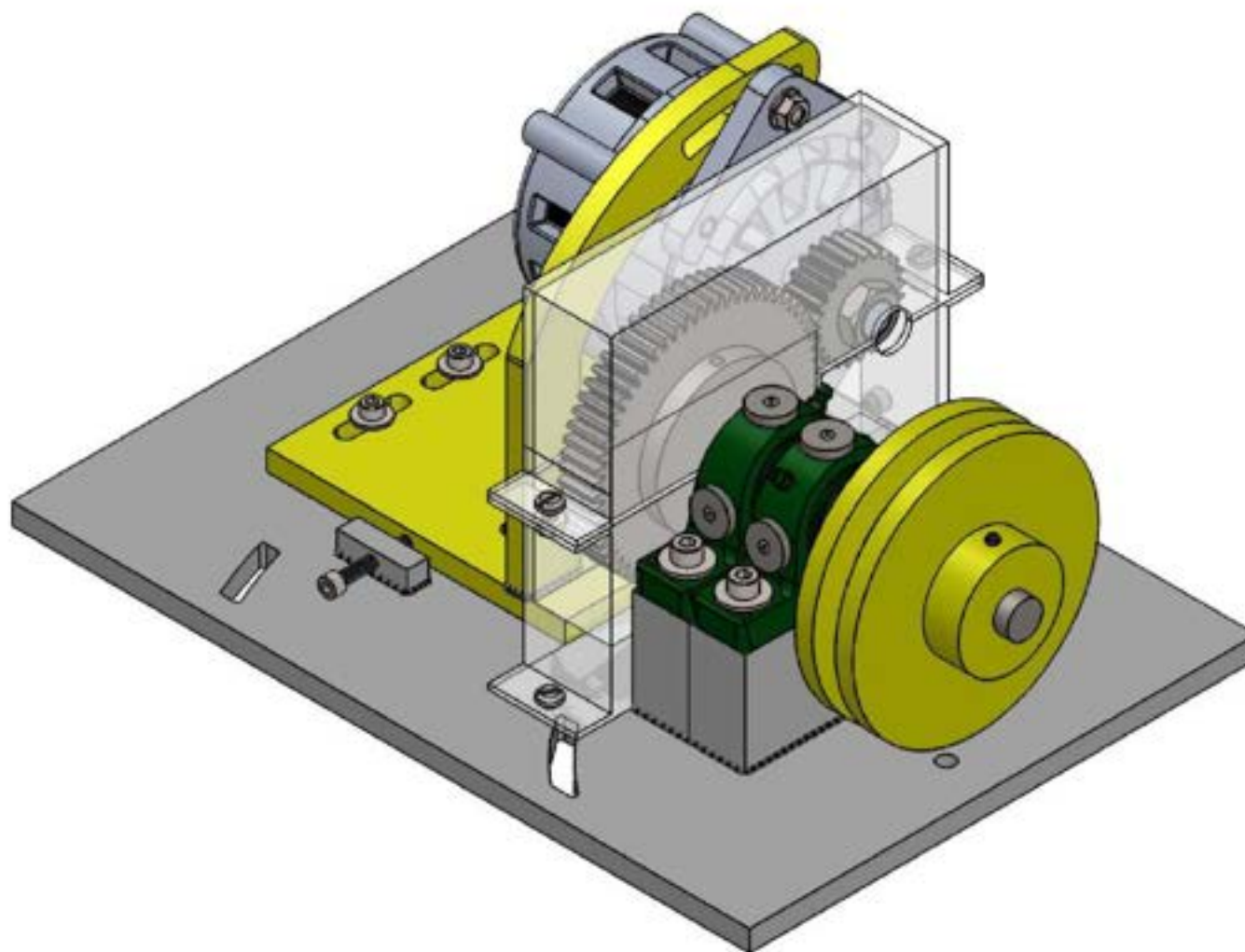


N°. Lámina: 15 de 22		N°. Hojas: 22		Sustitución:		Codificación: FM-CIMI-TES-PI-MS001-AA		ESPOCH FACULTAD DE MECÁNICA INGENIERÍA MANTENIMIENTO INDUSTRIAL			
Email: jose.condemaita@esPOCH.edu.ec Teléfonos: 0984245995						Denominación:					
Datos		Nombre		Firma		Fecha		PROTECCIÓN DE ACRÍLICO - ACOPLE		0,1809 ±0,3 [mm] 1:2	
Proyectó		Melano C.				2022-02-24					
Dibujó		Condemaita J.				2022-02-24					
Revisó		Ing. Naranjo Eugenia.				2022-02-24					
Aprobó		Ing. Naranjo Eugenia.				2022-02-24		Materiales: ACRÍLICO			
						Nombre de archivo: ACRÍLICO - ACOPLE.sldprt					

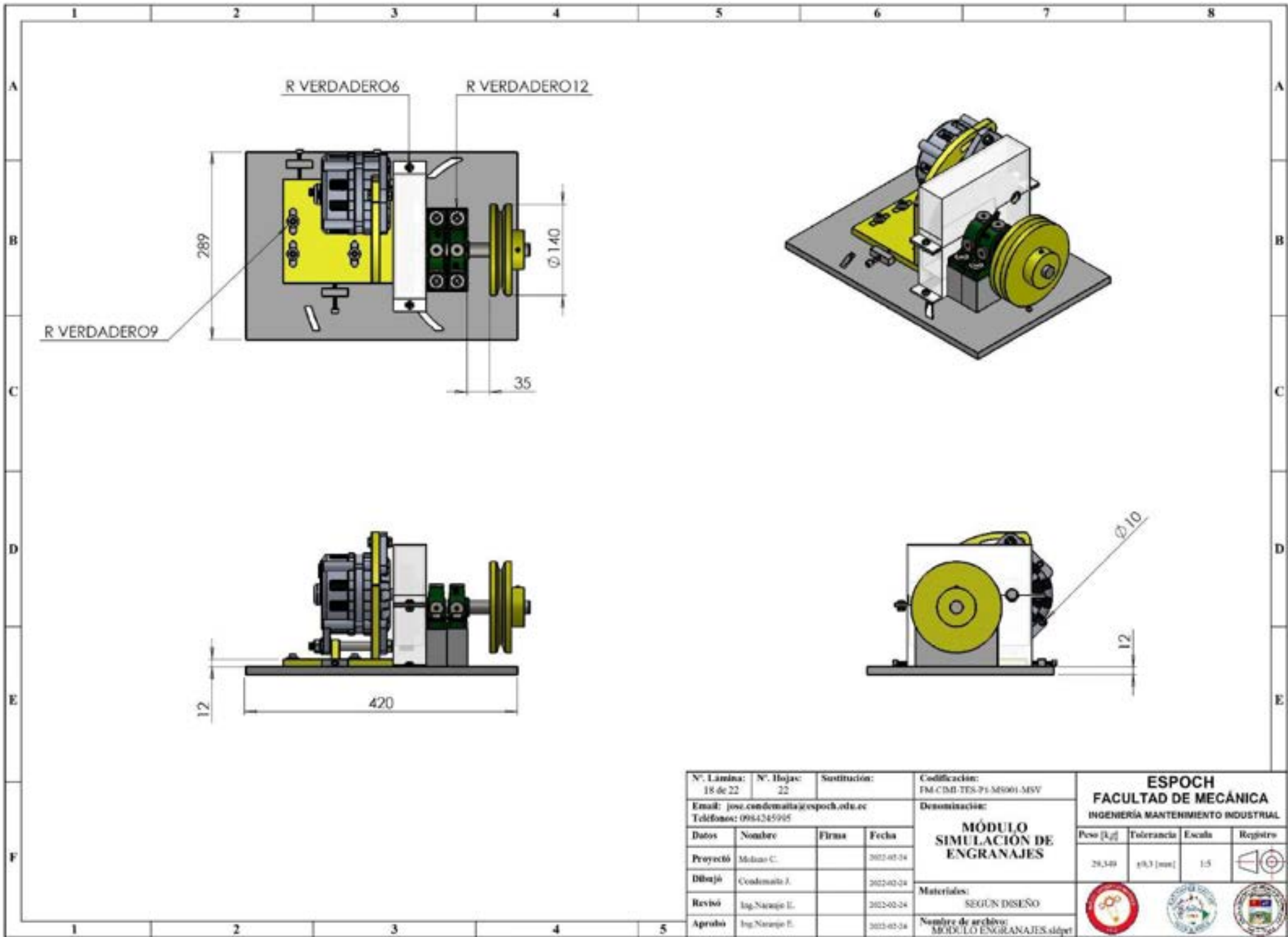


N.º	TAMAÑO DE SOLDADURA	SÍMBOLO	LONGITUD DE SOLDADURA	MATERIAL DE SOLDADURA	CANTIDAD
1	5		2760	MIG (hilo y gas de soldadura)	1
2	5		3240	MIG (hilo y gas de soldadura)	1
3	5		60	MIG (hilo y gas de soldadura)	3
4	5		60	MIG (hilo y gas de soldadura)	29
5	5		63	MIG (hilo y gas de soldadura)	1
6	5		63	MIG (hilo y gas de soldadura)	3

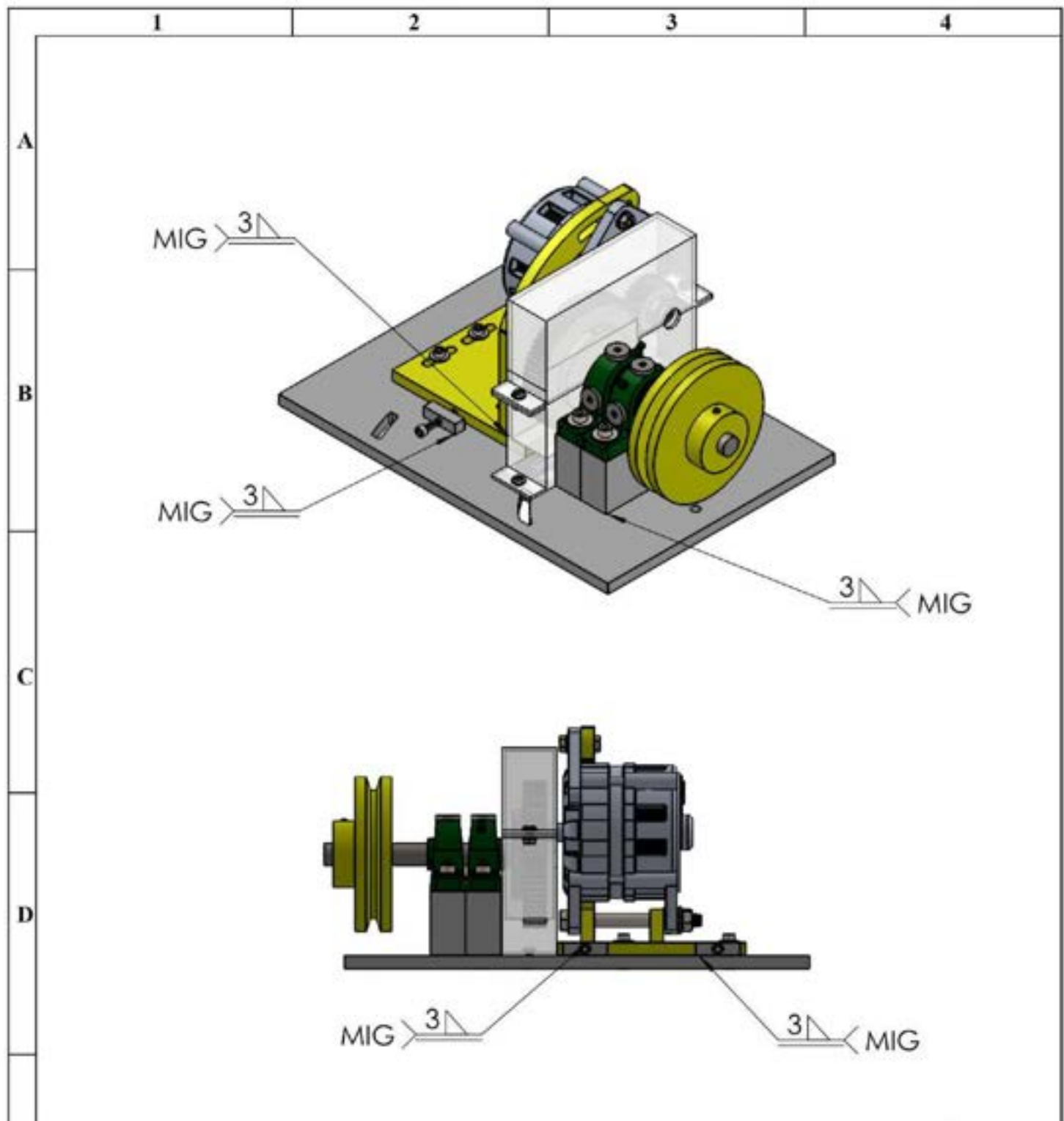
N.º Lámina: 16 de 22		N.º Hojas: 22		Sustitución:		Codificación: FM-CIMI-TES-P1-MS001-MM		ESPOCH FACULTAD DE MECÁNICA INGENIERÍA MANTENIMIENTO INDUSTRIAL							
Email: jose.condemaita@esPOCH.edu.ec Teléfonos: 0984245995						Denominación:						Peso [kg]	Tolerancia	Escala	Registro
Datos		Nombre		Firma		Fecha		MESA - MÓDULO Materiales: ACERO 1018 Nombre de archivo: MESA - MÓDULO.sldprt							
Proyectó		Molina C.				2022-02-24						295,16	$\pm 0,3$ [mm]	1:20	
Dibujó		Condemaita J.				2022-02-24						 			
Revisó		Ing. Naranjo Eugenia.				2022-02-24									
Aprobó		Ing. Naranjo Eugenia.				2022-02-24									



N. Lámina: 17 de 22		N. Hojas: 22		Sustitución:		Codificación: FM-CMI-TES-PI-SI001-MSE		ESPOCH FACULTAD DE MECÁNICA INGENIERÍA MANTENIMIENTO INDUSTRIAL			
Email: jose.candemaita@esPOCH.edu.ec Teléfonos: 0984245905				Denominación:		MÓDULO DE SIMULACION					
Datos		Nombre		Firma				Fecha		Tolerancia	
Proyectó		Meliso C.				2023-02-24		28,340		1:2	
Dibujó		Condemaita J.				2023-02-24		±0,3 [mm]			
Revisó		Ing. Narango E.				2023-02-24		Materiales:			
Aprobó		Ing. Narango E.				2023-02-24		SEGUN DISEÑO			
						Nombre de archivo:					
						MÓDULO SIMULACION_aldpe					

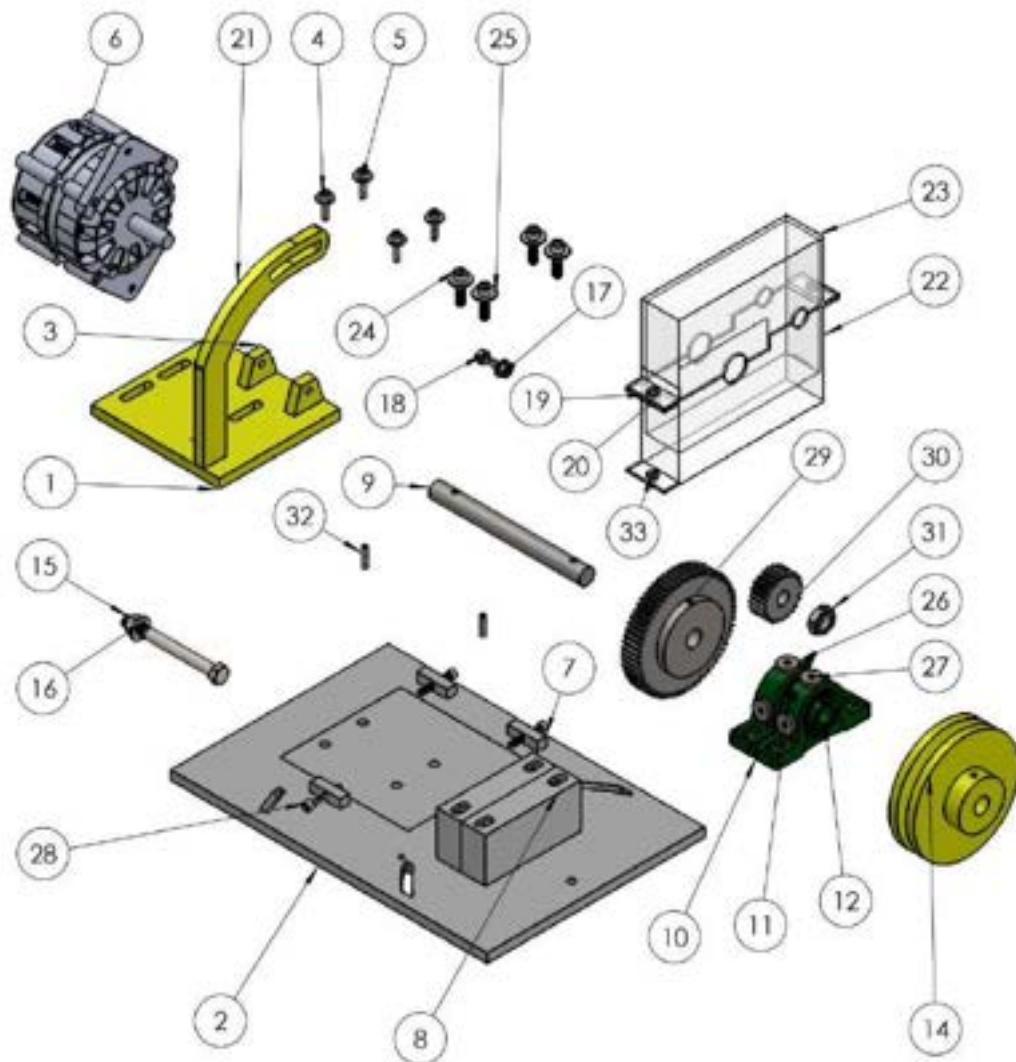


N. Lámina: 18 de 22	N. Hojas: 22	Sustitución:	Codificación: FM-CMI-TES-PI-MI001-MSV	ESPOCH FACULTAD DE MECÁNICA INGENIERÍA MANTENIMIENTO INDUSTRIAL			
Email: jose.candemaita@esPOCH.edu.ec Teléfonos: 0984245945			Denominación:				
MÓDULO SIMULACIÓN DE ENGRANAJES				28,340	±0,3 [mm]	1:5	
Datos	Nombre	Firma	Fecha	Materiales: SEGUN DISEÑO			
Proyectó	Molina C.		2022-02-24	Nombre de archivo: MÓDULO ENGRANAJES.sldprt			
Dibujó	Candemaita J.		2022-02-24				
Revisó	Ing. Narvaez E.		2022-02-24				
Aprobó	Ing. Narvaez E.		2022-02-24				



N.º	TAMAÑO DE SOLDADURA	SÍMBOLO	LONGITUD DE SOLDADURA	MATERIAL DE SOLDADURA	CANTIDAD
1	3		64	MIG (hilo y gas de soldadura)	2
2	3		127	MIG (hilo y gas de soldadura)	1
3	3		40	MIG (hilo y gas de soldadura)	10
4	3		12	MIG (hilo y gas de soldadura)	12
5	3		30	MIG (hilo y gas de soldadura)	2

N.º Lámina: 19 de 22		N.º Hojas: 22		Sustitución:		Codificación: FM-CIMI-TES-P1-MS001-MSS		ESPOCH FACULTAD DE MECÁNICA INGENIERÍA MANTENIMIENTO INDUSTRIAL			
Email: jose.condemaita@esPOCH.edu.ec				Denominación:							
Teléfonos: 0984245995				MÓDULO DE SIMULACIÓN SOLDADURAS				Peso [kg]	Tolerancia	Escala	Registro
Datos		Nombre	Firma					Fecha	29,349	±0,3 [mm]	1:1
Proyectó	Melano C.			2022-02-24	Materiales: SEGÚN DISEÑO						
Dibujó	Condemaita J.			2022-02-24							
Revisó	Ing. Naranjo Eugenia.			2022-02-24							
Aprobó	Ing. Naranjo Eugenia.			2022-02-24	Nombre de archivo: MODULO SOLDADURAS.sldprt						



N.º	N.º DE PIEZA	CANTIDAD	MATERIAL	PESO U (kg)
1	BASE DEL ALTERNADOR	1	AISI 1020 Acero laminado en frío	2,42
2	BASE DEL MÓDULO DE SIMULACIÓN	1	AISI 1020 Acero laminado en frío	11,26
3	SOPORTE DEL ALTERNADOR	2	AISI 1020 Acero laminado en frío	0,08134
4	PERNOS PARA DESALINEACIÓN LINEAL	4	Acero inoxidable	0,0119
5	ARANDELA PARA DESALINEACIÓN LINEAL	4	Acero inoxidable	0,0076
6	ALTERNADOR ZENON	1	Aleación de aluminio 1345	3,38
7	BASE PARA TORNILLOS DE DESALINEACIÓN	3	AISI 1020 Acero laminado en frío	0,04268
8	BASE PARA CHUMACERA	2	AISI 1020 Acero laminado en frío	1,82
9	EJE ACOPLE ENGRANE - POLEA	1	AISI 1040 Barra de acero laminada en caliente	0,49
10	CHUMACERAS	2	Hierro fundido	0,68
11	GRANEROS	2	Hierro fundido	0,0001
12	ANILLO INTERIOR	2	Acero al cromo	0,0001
13	RODAMIENTOS	28	Acero al cromo	0,0001
14	POLEA	1	Hierro fundido	3,583
15	EJE DE SUJECIÓN DEL ALTERNADOR	1	Acero inoxidable	0,0728
16	TUERCA PARA EJE DEL ALTERNADOR	1	Acero inoxidable	0,0704
17	TUERCA DE SUJECIÓN DEL ALTERNADOR	1	Acero inoxidable	0,0004
18	PERNO DE SUJECIÓN DEL ALTERNADOR	1	Acero inoxidable	0,0141
19	TORNILLOS PARA UNIÓN DE ACRÍLICO	2	Acero inoxidable	0,00001
20	TUERCA PARA UNIÓN DE ACRÍLICO	2	Acero inoxidable	0,00001
21	ACOPLE DEL ALTERNADOR	1	AISI 1020 Acero laminado en frío	0,7546
22	PROTECCIÓN DE ACRÍLICO - BASE	1	Acrílico (Impacto medio - alto)	0,5075
23	PROTECCIÓN DE ACRÍLICO - ACOPLE	1	Acrílico (Impacto medio - alto)	0,1809
24	PERNO PARA CHUMACERA	4	Acero inoxidable	0,0266
25	ARANDELAS PARA CHUMACERAS	4	Acero inoxidable	0,0076
26	INSERTO	4	AISI 1020 Acero laminado en frío	0,01
27	PERNOS DE INSERTO	4	Acero inoxidable	0,00001
28	PERNOS DE AJUSTE PARA DESALINEACIÓN	3	Acero inoxidable	0,0119
29	ENGRANAJE	1	AISI 1020 Acero laminado en frío	2,304
30	PIÑÓN	1	AISI 1020 Acero laminado en frío	0,2365
31	TUERCA A	1	Acero inoxidable	0,0004
32	PRISIONEROS DE ENGRANE Y POLEA	2	Acero inoxidable	0,00001
33	PERNO DE SOPORTE DE ACRÍLICO	1	Acero inoxidable	0,00001

N.º Lámina: 20 de 22	N.º Hojas: 22	Sustitución:	Codificación: FM-CMI-TES-71-M0901-VE	ESPOCH FACULTAD DE MECÁNICA INGENIERÍA MANTENIMIENTO INDUSTRIAL					
Email: jose.condemaita@esPOCH.edu.ec	Teléfono: 0984245905		Denominación:						
Dato		Nombre	Firma	Fecha	VISTA EXPLOSIONADA	Peso [kg]	Tolerancia	Escala	Registro
Proyectó	Meliso C.			2022-02-24		28,340	±0,3 [mm]	1:5	
Dibujó	Condemaita J.			2022-02-24					
Revisó	Ing. Sarango E.			2022-02-24					
Aprobó	Ing. Sarango E.			2022-02-24	Nombre de archivo: VISTA_EXPLOSIONADA.dwg				

1

2

3

4

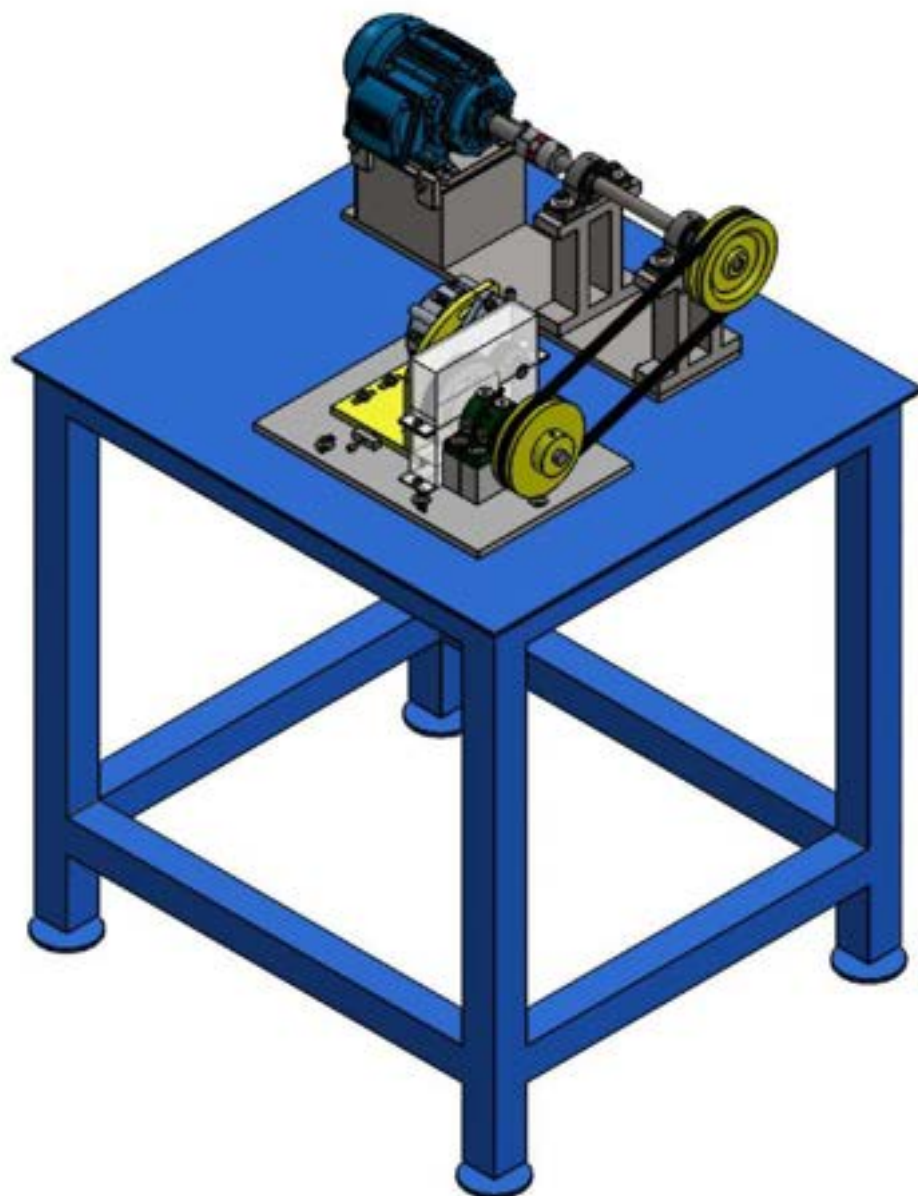
A

B

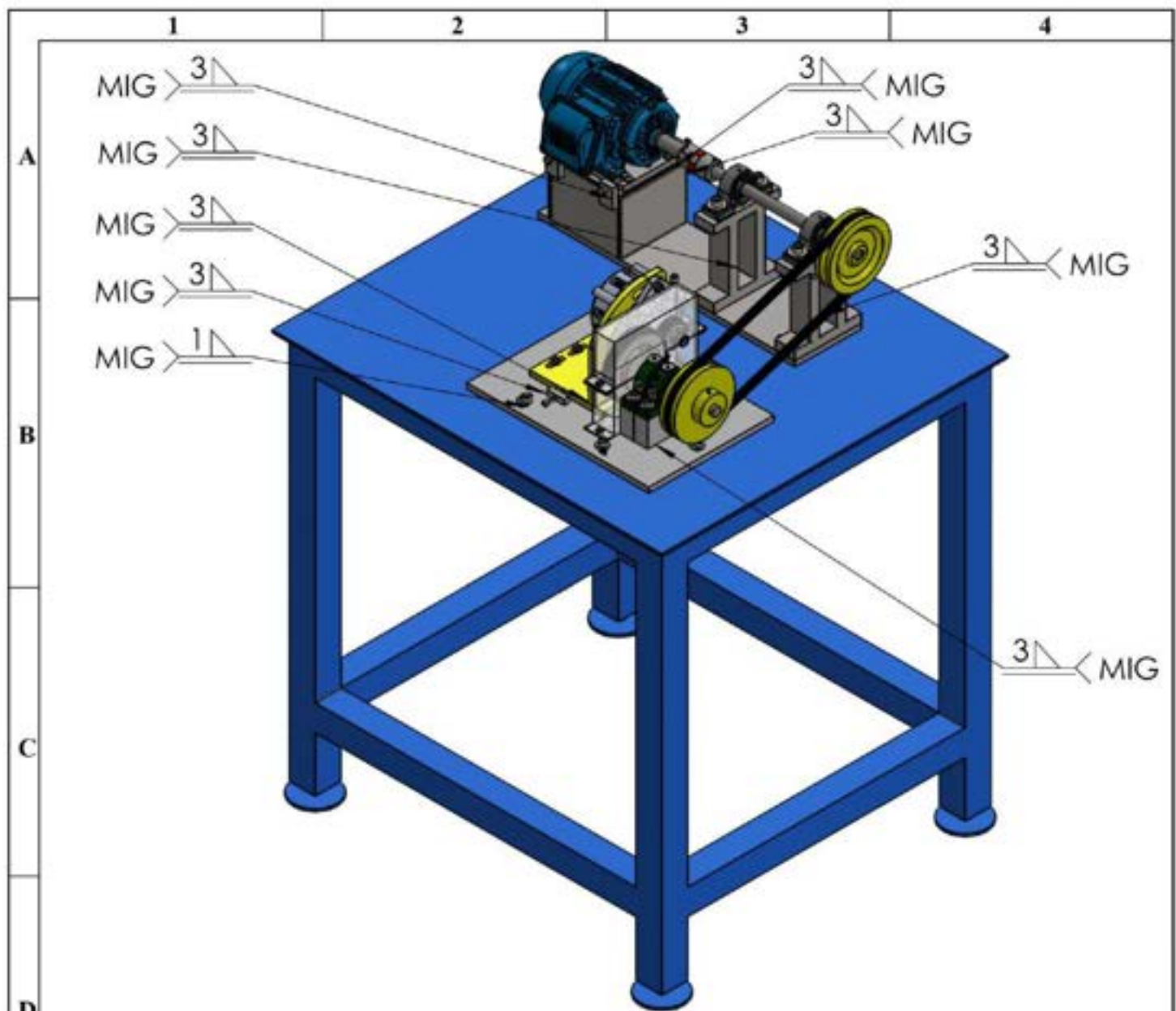
C

D

E



N°. Lámina: 21 de 22		N°. Hojas: 22		Sustitución:		Codificación: FM-CIMI-TES-P1-MS001-EG		ESPOCH FACULTAD DE MECÁNICA INGENIERÍA MANTENIMIENTO INDUSTRIAL			
Email: jose.condemaita@esPOCH.edu.ec Teléfonos: 0984245995				Denominación: ENSAMBLE GENERAL							
Datos	Nombre	Firma	Fecha	Materiales: SEGÚN DISEÑO				336,1759	±0,3 [mm]	1:10	
Proyectó	Melano C.		2022-02-24					Nombre de archivo: ENSAMBLE COMPLETO .sldprt			
Dibujó	Condemaita J.		2022-02-24								
Revisó	Ing. Naranjo Eugenia.		2022-02-24								
Aprobó	Ing. Naranjo Eugenia.		2022-02-24								



N.º	TAMAÑO DE SOLDADURA	SÍMBOLO	LONGITUD DE SOLDADURA	MATERIAL DE SOLDADURA	CANTIDAD
1	3		64	MIG (hilo y gas de soldadura)	2
2	3		127	MIG (hilo y gas de soldadura)	1
3	3		30	MIG (hilo y gas de soldadura)	2
4	3		12	MIG (hilo y gas de soldadura)	11
5	3		40	MIG (hilo y gas de soldadura)	10
6	3		38	MIG (hilo y gas de soldadura)	16
7	3		160	MIG (hilo y gas de soldadura)	4
8	3		150	MIG (hilo y gas de soldadura)	4
9	3		23	MIG (hilo y gas de soldadura)	4
10	3		121	MIG (hilo y gas de soldadura)	4
11	1		7,62	MIG (hilo y gas de soldadura)	60

N.º Lámina: 22 de 22		N.º Hojas: 22		Sustitución:		Codificación: FM-CIMI-TES-P1-MS001-EGS		ESPOCH FACULTAD DE MECÁNICA INGENIERÍA MANTENIMIENTO INDUSTRIAL									
Email: jose.condemaita@esPOCH.edu.ec Teléfonos: 0984245995				Denominación:													
Datos		Nombre		Firma		Fecha		ENSAMBLE GENERAL SOLDADURAS		Peso [kg]		Tolerancia		Escala		Registro	
Proyectó		Molano C.				2022-02-24				336,1759		±0,3 [mm]		1:10			
Dibujó		Condemaita J.				2022-02-24											
Revisó		Ing. Nararajo Eugenia.				2022-02-24											
Aprobó		Ing. Nararajo Eugenia.				2022-02-24		Materiales: SEGÚN DISEÑO									
								Nombre de archivo: ENSAMBLE COMPLETO .sldprt									



esPOCH

Dirección de Bibliotecas y
Recursos del Aprendizaje

UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS Y ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICO Y
DOCUMENTAL

REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA

Fecha de entrega: 04 / 05 / 2022

INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S)
Nombres – Apellidos: JOSÉ ANDRÉS CONDEMAITA QUILLIGANA CÉSAR STEVEN MOLANO TOBAR
INFORMACIÓN INSTITUCIONAL
Facultad: MECÁNICA
Carrera: MANTENIMIENTO INDUSTRIAL
Título a optar: INGENIERO EN MANTENIMIENTO INDUSTRIAL
f. Analista de Biblioteca responsable: Lcdo. Holger Ramos, MSc.

0491-DBRA-UPT-2022

