



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

**MEJORA DE LOS MÓDULOS DE SIMULACIÓN DE FALLAS EN  
RUEDAS DENTADAS DEL ROTOR KIT DEL LABORATORIO DE  
DIAGNÓSTICO TÉCNICO Y EFICIENCIA ENERGÉTICA DE LA  
FACULTAD DE MECÁNICA DE LA ESPOCH**

**Trabajo de Integración Curricular**

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

**INGENIERO EN MANTENIMIENTO INDUSTRIAL**

**AUTORES:**

ELVIS LEONEL PILAMUNGA COBA

OSCAR JAVIER QUISHPE PONCE

Riobamba – Ecuador

2023



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

**MEJORA DE LOS MÓDULOS DE SIMULACIÓN DE FALLAS EN  
RUEDAS DENTADAS DEL ROTOR KIT DEL LABORATORIO DE  
DIAGNÓSTICO TÉCNICO Y EFICIENCIA ENERGÉTICA DE LA  
FACULTAD DE MECÁNICA DE LA ESPOCH**

**Trabajo de Integración Curricular**

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

**INGENIERO EN MANTENIMIENTO INDUSTRIAL**

**AUTORES: ELVIS LEONEL PILAMUNGA COBA**

**OSCAR JAVIER QUISHPE PONCE**

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

Riobamba – Ecuador

2023

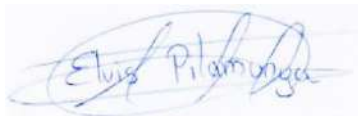
**© 2023, Elvis Leonel Pilamunga Coba y Oscar Javier Quishpe Ponce**

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

Nosotros, Elvis Leonel Pilamunga Coba y Oscar Javier Quishpe Ponce, declaramos que el presente Trabajo de Integración Curricular es de nuestra autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

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

Riobamba, 31 de mayo de 2023



**Elvis Leonel Pilamunga Coba**

**Id: 060397346-2**



**Oscar Javier Quishpe Ponce**




**Id: 060411269-8**

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE MECÁNICA**

**CARRERA MANTENIMIENTO INDUSTRIAL**

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: El Trabajo de Integración Curricular; Tipo: Proyecto Técnico, **MEJORA DE LOS MÓDULOS DE SIMULACIÓN DE FALLAS DE RUEDAS DENTADAS DEL ROTOR KIT DEL LABORATORIO DE DIAGNÓSTICO TÉCNICO Y EFICIENCIA ENERGÉTICA DEL LA FACULTAD DE MECÁNICA DE LA ESPOCH**, realizado por los señores: **ELVIS LEONEL PILAMUNGA COBA** y **OSCAR JAVIER QUISHPE PONCE**, 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.

	<b>FIRMA</b>	<b>FECHA</b>
Ing. Marco Antonio Ordoñez Viñan <b>PRESIDENTE DEL TRIBUNAL</b>		2023-05-31
Ing. Eduardo Segundo Hernández Dávila <b>DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR</b>		2023-05-31
Ing. César Marcelo Gallegos Londoño <b>ASESOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR</b>		2023-05-31

## **DEDICATORIA**

El presente trabajo se lo dedicó a mis padres Jaime Pilamunga y Fanny Coba por su amor, trabajo y sacrificio en todos estos años que me han permitido llegar a cumplir hoy un sueño más, gracias por inculcarme ejemplos de trabajo arduo, coraje, valentía y de enfrentar cada una de las adversidades; a mis hermanas Cristina y Estefanía por su apoyo incondicional durante todo este proceso, por ser mi fuerza y alentarme a seguir cuando pensaba que no podría más; a toda mi familia por sus consejos y palabras de aliento que han hecho de mí una mejor persona y me han acompañado de una u otra forma para lograr este objetivo. Finalmente quiero dedicar este trabajo a mis amigos/as y a todas aquellas personas que contribuyeron para este logro, por apoyarme cuando más lo he necesitado, por extender su mano en momentos difíciles y enseñarme que la vida te envía personas que llenan tu camino de luz y alegrías, que te alientan a ser mejor y cumplir tus metas.

Elvis Leonel

Dedico mi Proyecto Técnico a las personas que son el pilar fundamental en mi vida, en primer lugar, a mis padres José Quishpe, Narcisa Ponce; a mis hermanos Fabricio, Dayci y Jhosue a mis abuelitas Rosita y Clarita.

Oscar Javier

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a Dios por guiar cada uno de mis pasos, por no abandonarme jamás y por todas las bendiciones derramadas, por haberme concedido una familia maravillosa, quienes han creído en mí siempre, dándome ejemplo de sacrificio, superación y humildad. Agradezco a mi familia que siempre me han brindado su apoyo incondicional para poder cumplir cada uno de mis objetivos, con su cariño me han impulsado a cumplir mis metas y a luchar por ellas a pesar de las adversidades. De igual manera, agradezco a la prestigiosa Escuela Superior Politécnica de Chimborazo especialmente a la Carrera de Mantenimiento Industrial y todo su personal docente por transmitirme los conocimientos necesarios y brindarme la oportunidad de formarme como profesional. Del mismo modo, agradecer al Ing. Eduardo Hernández y al Ing. César Gallegos por su paciencia, apoyo y conocimiento brindado a lo largo de este Proyecto Técnico.

Elvis Leonel

Me complace enormemente escribir estas líneas ya que a través de ellas se refleja mi gratitud hacia las personas que me brindaron su ayuda y apoyo durante la elaboración de mi Proyecto Técnico. Primeramente, quiero plasmar en esta hoja el agradecimiento más sincero a mis padres José Quishpe y Narcisa Ponce por su apoyo incondicional durante toda la trayectoria de mi carrera, por sus enseñanzas, por sus consejos y principalmente por todos sus esfuerzos que han realizado para yo poder culminar una de mis metas. Agradezco a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo por todos los conocimientos que son muy amplios para que este trabajo se desarrolle de la mejor forma. Así mismo, agradezco a los Ingenieros Eduardo Hernández y César Gallegos por su ayuda para culminar la realización de los módulos de manera exitosa.

Oscar Javier

## ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	xiv
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	xv
ÍNDICE DE ECUACIONES.....	xix
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xx
RESUMEN.....	xxi
SUMMARY.....	xxii
INTRODUCCIÓN.....	1

### CAPÍTULO I

1. GENERALIDADES.....	2
1.1. Antecedentes.....	2
1.2. Justificación.....	3
1.3. Planteamiento del Problema.....	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.....	5
2.1. Generalidades de los engranajes.....	5
2.1.1. <i>Definición de engranajes</i> .....	5
2.1.2. <i>Engranajes de eje paralelo</i> .....	5
2.1.2.1. <i>Engranajes rectos</i> .....	5
2.1.3. <i>Características de los engranajes</i> .....	7
2.1.3.1. <i>Factor de sobrecarga <math>K_o</math></i> .....	7
2.1.3.2. <i>Factor dinámico <math>K_v</math></i> .....	9
2.1.3.3. <i>Factor de tamaño <math>K_s</math></i> .....	9
2.1.3.4. <i>Factor de distribución de carga <math>K_H</math></i> .....	10
2.1.3.5. <i>Factor de espesor</i> .....	10
2.1.4. <i>Nomenclatura de los engranajes</i> .....	11
2.1.4.1. <i>Círculo de paso o círculo de referencia</i> .....	11



2.1.4.2.	<i>Diámetro del círculo primitivo o diámetro del círculo de referencia (d)</i>	11
2.1.4.3.	<i>Módulo (m)</i>	12
2.1.4.4.	<i>Paso diametral (DP)</i>	12
2.1.4.5.	<i>Diámetro base</i>	12
2.1.4.6.	<i>Diámetro de raíz</i>	12
2.1.4.7.	<i>Diámetro de la punta</i>	13
2.1.4.8.	<i>Addendum</i>	13
2.1.4.9.	<i>Dedendum</i>	14
2.1.4.10.	<i>Paso de referencia, conocido como paso circular (p)</i>	14
2.1.4.11.	<i>Distancia entre centros</i>	14
2.1.4.12.	<i>Grosor del diente</i>	15
2.1.4.13.	<i>Ancho de cara</i>	15
2.1.4.14.	<i>El ángulo de presión</i>	15
2.1.4.15.	<i>Backlash</i>	15
2.1.4.16.	<i>Relación de contacto</i>	15
2.1.5.	<b><i>Materiales de los engranajes</i></b>	16
2.2.	<b>Simulación de fallos en ruedas dentadas</b>	17
2.3.	<b>Motor eléctrico</b>	17
2.3.1.	<b><i>Potencia eléctrica nominal</i></b>	17
2.3.1.1.	<i>Eficiencia</i>	18
2.3.2.	<b><i>Potencia eléctrica medida</i></b>	18
2.4.	<b>Freno magnético</b>	19
2.4.1.	<b><i>Fundamento teórico</i></b>	19
2.4.2.	<b><i>Circuito eléctrico</i></b>	21
2.5.	<b>Fallas en engranajes</b>	21
2.6.	<b>Modos de falla de los engranajes</b>	22
2.6.1.	<b><i>Desgaste abrasivo</i></b>	22
2.6.2.	<b><i>Desgaste Adhesivo</i></b>	23
2.6.3.	<b><i>Fatiga por contacto</i></b>	23
2.6.4.	<b><i>Agarramiento</i></b>	24
2.6.5.	<b><i>Rotura de diente</i></b>	24
2.7.	<b>Inspección de engranajes por análisis vibracional</b>	25
2.7.1.	<b><i>Análisis vibracional</i></b>	25
2.7.1.1.	<b><i>Vibracheck 200</i></b>	25
2.7.1.2.	<b><i>Sensor de proximidad</i></b>	26
2.7.1.3.	<b><i>Sensor de velocidad</i></b>	26

2.7.1.4.	<i>El acelerómetro</i> .....	27
2.7.1.5.	<i>Ubicación de los Puntos de Prueba</i> .....	27
2.8.	<b>Cartas de Charlotte</b> .....	28
2.8.1.	<i>Frecuencia de rotación de engranajes (Ix)</i> .....	28
2.8.2.	<i>Frecuencia natural</i> .....	28
2.8.3.	<i>GMF</i> .....	29
2.8.4.	<i>Espectro normal de un engranaje</i> .....	29
2.8.5.	<i>Diente roto</i> .....	30
2.8.6.	<i>Desalineación lineal de engranajes</i> .....	30
2.8.7.	<i>Problemas de fase de ensamblaje</i> .....	31
2.8.8.	<i>Factor cresta</i> .....	31
2.9.	<b>Mecanizado</b> .....	32
2.9.1.	<i>Tipos de mecanizado</i> .....	32
2.9.1.1.	<i>Fresadora</i> .....	33
2.9.1.2.	<i>Rectificadora</i> .....	33
2.9.1.3.	<i>Avellanado</i> .....	34

### CAPÍTULO III

3.	<b>MEJORA DE LOS MÓDULOS DE SIMULACIÓN DE FALLAS EN RUEDAS DENTADAS</b> .....	35
3.1.	<b>Módulos de simulación de fallas en ruedas dentadas</b> .....	35
3.1.1.	<i>Descripción de los módulos del rotor kit</i> .....	35
3.1.2.	<i>Descripción del funcionamiento de los módulos</i> .....	36
3.1.2.1.	<i>Desbalanceo</i> .....	36
3.1.2.2.	<i>Desalineación</i> .....	36
3.2.	<b>Pruebas preliminares</b> .....	37
3.2.1.	<i>Espectro normal de engranajes</i> .....	37
3.2.2.	<i>Forma de onda de diente roto</i> .....	38
3.2.3.	<i>Espectro de desalineación</i> .....	38
3.3.	<b>Propuesta de mejora de los módulos de simulación</b> .....	39
3.3.1.	<i>Datos técnicos de los elementos del módulo</i> .....	40
3.3.1.1.	<i>Motor Eléctrico</i> .....	40
3.3.1.2.	<i>Alternador</i> .....	40
3.4.	<b>Sistemas del módulo de simulación de fallas</b> .....	41
3.4.1.	<i>Sistema de Potencia</i> .....	41

3.4.1.1.	<i>Potencia eléctrica nominal</i> .....	41
3.4.1.2.	<i>Potencia eléctrica medida</i> .....	42
3.4.2.	<b><i>Sistema de carga</i></b> .....	42
3.4.2.1.	<i>Cálculo de la carga</i> .....	42
3.4.3.	<b><i>Sistemas de transmisión</i></b> .....	43
3.4.3.1.	<i>Selección del engranaje</i> .....	43
3.4.3.2.	<i>Selección del piñón</i> .....	46
3.5.	<b>Modelación de los componentes del módulo</b> .....	47
3.5.1.	<b><i>Placa fija</i></b> .....	47
3.5.2.	<b><i>Base fija – motor</i></b> .....	48
3.5.3.	<b><i>Base móvil – alternador</i></b> .....	48
3.5.4.	<b><i>Soportes alternador</i></b> .....	49
3.5.5.	<b><i>Base de ajuste</i></b> .....	50
3.5.6.	<b><i>Base circular</i></b> .....	50
3.5.7.	<b><i>Inserto</i></b> .....	51
3.5.8.	<b><i>Ensamblaje del módulo</i></b> .....	51
3.6.	<b>Adquisición de materiales</b> .....	52
3.6.1.	<b><i>Plancha de acero</i></b> .....	52
3.6.2.	<b><i>Alternadores</i></b> .....	52
3.6.3.	<b><i>Pernos y tuercas</i></b> .....	53
3.7.	<b>Mecanizado de elementos y construcción del módulo</b> .....	53
3.7.1.	<b><i>Placas fijas</i></b> .....	53
3.7.1.1.	<i>Corte de la plancha</i> .....	53
3.7.1.2.	<i>Mecanizado de las placas base</i> .....	54
3.7.2.	<b><i>Placas – base móvil alternador</i></b> .....	55
3.7.2.1.	<i>Corte para las bases</i> .....	55
3.7.2.2.	<i>Análisis superficial de las bases</i> .....	55
3.7.2.3.	<i>Mecanizado de las bases móvil del alternador</i> .....	56
3.7.3.	<b><i>Bases fijas - motor</i></b> .....	57
3.7.3.1.	<i>Corte de las bases del motor</i> .....	57
3.7.3.2.	<i>Mecanizado de las bases del motor</i> .....	57
3.7.4.	<b><i>Soportes alternador</i></b> .....	58
3.7.4.1.	<i>Corte de los soportes del alternador</i> .....	58
3.7.4.2.	<i>Mecanizado de los soportes del alternador</i> .....	58
3.7.5.	<b><i>Soporte circular</i></b> .....	59
3.7.5.1.	<i>Corte de los soportes circulares</i> .....	59

3.7.5.2.	<i>Mecanizado de los soportes del alternador.....</i>	60
3.7.6.	<i>Mecanizado del inserto .....</i>	60
3.7.7.	<i>Mecanizado del piñón .....</i>	61
3.7.8.	<i>Mecanizado del engranaje .....</i>	61
3.8.	<b>Acabado de los módulos .....</b>	62
3.8.1.	<i>Preparación de las piezas.....</i>	62
3.8.2.	<i>Pintado de las piezas .....</i>	63
3.9.	<b>Montaje del módulo .....</b>	64
3.9.1.	<i>Montaje de las bases de ajuste .....</i>	64
3.9.2.	<i>Montaje de las bases del motor .....</i>	65
3.9.3.	<i>Montaje de la placa fija .....</i>	65
3.9.4.	<i>Montaje del motor .....</i>	66
3.9.5.	<i>Montaje del engranaje .....</i>	67
3.9.6.	<i>Montaje del piñón .....</i>	67
3.9.7.	<i>Montaje de las bases del alternador.....</i>	68
3.9.8.	<i>Montaje de la placa móvil.....</i>	69
3.9.9.	<i>Montaje del alternador.....</i>	69
3.9.10.	<i>Montaje de la base circular.....</i>	70
3.9.11.	<i>Conexión del alternador .....</i>	70
3.9.12.	<i>Montaje de los insertos .....</i>	71
3.9.13.	<i>Montaje final del módulo.....</i>	71
3.10.	<b>Puesta en marcha de los módulos .....</b>	72
3.10.1.	<i>Espectro normal.....</i>	72
3.10.1.1.	<i>Medición de la frecuencia natural del módulo de espectro normal .....</i>	73
3.10.2.	<i>Desalineación de engranajes .....</i>	74
3.10.2.1.	<i>Medición de la frecuencia natural del módulo de desalineación .....</i>	74
3.10.3.	<i>Diente roto del engranaje.....</i>	75
3.10.3.1.	<i>Medición de la frecuencia natural del módulo de diente roto.....</i>	76
3.10.4.	<i>Problemas de fase en el ensamblaje del engrane .....</i>	76
3.10.4.1.	<i>Medición de la frecuencia natural del módulo con problemas en la fase .....</i>	77
3.11.	<b>Análisis técnico económico .....</b>	77

## **CAPÍTULO IV**

4.	<b>MARCO DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....</b>	83
4.1.	<b>Recolección de datos .....</b>	83

<b>4.1.1.</b>	<b><i>Módulo 1 – Espectro Normal</i></b> .....	<b>83</b>
4.1.1.1.	<i>Cálculo de la frecuencia de sincronismo</i> .....	84
<b>4.1.2.</b>	<b><i>Módulo 2 – Diente Roto del engranaje</i></b> .....	<b>85</b>
4.1.2.1.	<i>Medición de la velocidad de giro</i> .....	86
4.1.2.2.	<i>Cálculo de la frecuencia de engrane</i> .....	86
4.1.2.3.	<i>Cálculo del tiempo de impacto</i> .....	87
<b>4.1.3.</b>	<b><i>Módulo 2 – Desalineación Lineal del engranaje</i></b> .....	<b>87</b>
4.1.3.1.	<i>Cálculo del grado de inclinación</i> .....	88
<b>4.1.4.</b>	<b><i>Módulo 4 – Problemas de fase en el ensamblaje del engranaje</i></b> .....	<b>89</b>
4.1.4.1.	<i>Frecuencia de fase del ensamble del engrane</i> .....	89
<b>4.2.</b>	<b>Mediciones obtenidas</b> .....	<b>90</b>
4.2.1.	<b><i>Medición del espectro normal</i></b> .....	<b>91</b>
4.2.1.1.	<i>Mediciones obtenidas en el plano vertical</i> .....	91
4.2.1.2.	<i>Mediciones obtenidas en el plano horizontal</i> .....	92
4.2.2.	<b><i>Medición de desalineación lineal del engranaje</i></b> .....	<b>94</b>
4.2.2.1.	<i>Mediciones obtenidas en el plano vertical</i> .....	95
4.2.2.2.	<i>Mediciones obtenidas en el plano horizontal</i> .....	96
4.2.2.3.	<i>Mediciones obtenidas en el plano axial</i> .....	98
4.2.3.	<b><i>Medición de diente roto del engranaje</i></b> .....	<b>100</b>
4.2.3.1.	<i>Mediciones obtenidas en el plano vertical</i> .....	100
4.2.3.2.	<i>Mediciones obtenidas en el plano vertical</i> .....	102
4.2.4.	<b><i>Medición de problemas de fase en el ensamblaje</i></b> .....	<b>103</b>
4.2.4.1.	<i>Mediciones obtenidas en el plano vertical</i> .....	103
4.2.4.2.	<i>Mediciones obtenidas en el plano horizontal</i> .....	105
<b>4.3.</b>	<b>Interpretación de resultados</b> .....	<b>107</b>
4.3.1.	<b><i>Frecuencia natural</i></b> .....	<b>107</b>
4.3.2.	<b><i>Frecuencia fundamental</i></b> .....	<b>108</b>
4.3.3.	<b><i>Factor cresta</i></b> .....	<b>109</b>
4.3.3.1.	<i>Espectro normal</i> .....	109
4.3.3.2.	<i>Desalineación de un engranaje</i> .....	110
4.3.3.3.	<i>Diente roto</i> .....	112
4.3.3.4.	<i>Problemas de fase en el ensamblaje</i> .....	113
<b>4.4.</b>	<b>Ficha técnica</b> .....	<b>116</b>
<b>4.5.</b>	<b>Plan de mantenimiento</b> .....	<b>116</b>
4.5.1.	<b><i>Codificación de los módulos de simulación de fallas</i></b> .....	<b>116</b>
4.5.2.	<b><i>AMEF (Análisis de modo y efecto de Falla)</i></b> .....	<b>116</b>

<b>4.5.3. Tareas de mantenimiento.....</b>	<b>117</b>
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>118</b>
<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>119</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	
<b>ANEXOS</b>	

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1-2:</b>	Estimación de los factores de sobrecarga.....	8
<b>Tabla 2-2:</b>	Valores sugeridos de factores de distribución de carga.....	10
<b>Tabla 3-2:</b>	Propiedades y aplicaciones de los materiales importantes de los engranajes .....	16
<b>Tabla 4-2:</b>	Clasificación de los procesos de mecanizado.....	32
<b>Tabla 1-3:</b>	Elementos del módulo de simulación.....	39
<b>Tabla 2-3:</b>	Datos técnicos del motor eléctrico .....	40
<b>Tabla 3-3:</b>	Datos técnicos del alternador .....	41
<b>Tabla 4-3:</b>	Costo de adquisición de materiales .....	78
<b>Tabla 5-3:</b>	Costo de oxicorte del acero ASTM A36 .....	78
<b>Tabla 6-3:</b>	Costo de implementos eléctricos.....	79
<b>Tabla 7-3:</b>	Costo de herramientas.....	79
<b>Tabla 8-3:</b>	Costos generales .....	80
<b>Tabla 9-3:</b>	Costos de mano de obra .....	81
<b>Tabla 10-3:</b>	Costos por estudiante para la implementación .....	81
<b>Tabla 1-4:</b>	Mediciones obtenidas en el plano vertical del espectro normal.....	92
<b>Tabla 2-4:</b>	Mediciones obtenidas en el plano horizontal del espectro normal .....	94
<b>Tabla 3-4:</b>	Mediciones obtenidas en el plano vertical de la desalineación del engranaje.....	96
<b>Tabla 4-4:</b>	Mediciones obtenidas en el plano horizontal de la desalineación del engranaje ..	98
<b>Tabla 5-4:</b>	Mediciones obtenidas en el plano axial de la desalineación del engranaje.....	99
<b>Tabla 6-4:</b>	Mediciones obtenidas en el plano vertical del diente roto.....	101
<b>Tabla 7-4:</b>	Mediciones obtenidas en el plano vertical del diente roto.....	103
<b>Tabla 8-4:</b>	Mediciones obtenidas en el plano vertical de problemas de fase .....	105
<b>Tabla 9-4:</b>	Mediciones obtenidas en el plano horizontal de problemas de fase .....	106
<b>Tabla 10-4:</b>	Datos obtenidos de la frecuencia natural.....	107
<b>Tabla 11-4:</b>	Mediciones de la frecuencia fundamental del engranaje plano vertical.....	108
<b>Tabla 12-4:</b>	Mediciones de la frecuencia fundamental del engranaje plano horizontal .....	108
<b>Tabla 13-4:</b>	Factor cresta del plano vertical .....	114
<b>Tabla 14-4:</b>	Factor cresta del plano vertical .....	115
<b>Tabla 15-4:</b>	Codificación.....	116

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

<b>Ilustración 1-2:</b>	Engranajes rectos.....	6
<b>Ilustración 2-2:</b>	Cremallera dientes rectos .....	6
<b>Ilustración 3-2:</b>	Factor de adelgazamiento de rueda dentada .....	11
<b>Ilustración 4-2:</b>	Ley de Faraday .....	19
<b>Ilustración 5-2:</b>	Campo magnético.....	20
<b>Ilustración 6-2:</b>	Sentido de la corriente inducida ley de Lenz .....	20
<b>Ilustración 7-2:</b>	Circuito eléctrico del freno magnético.....	21
<b>Ilustración 8-2:</b>	Partículas en la generación de desgaste abrasivo .....	22
<b>Ilustración 9-2:</b>	Desgaste por adhesión .....	23
<b>Ilustración 10-2:</b>	Fatiga por contacto .....	23
<b>Ilustración 11-2:</b>	Agarramiento.....	24
<b>Ilustración 12-2:</b>	Fractura del diente .....	25
<b>Ilustración 13-2:</b>	Vibracheck 200 .....	26
<b>Ilustración 14-2:</b>	Sensor de proximidad.....	26
<b>Ilustración 15-2:</b>	Sensor de velocidad.....	27
<b>Ilustración 16-2:</b>	Acelerómetro .....	27
<b>Ilustración 17-2:</b>	Ubicación del acelerómetro .....	28
<b>Ilustración 18-2:</b>	Espectro normal de un engranaje.....	29
<b>Ilustración 19-2:</b>	Espectro de engranaje con diente roto .....	30
<b>Ilustración 20-2:</b>	Espectro de engranaje con desalineación.....	30
<b>Ilustración 21-2:</b>	Espectro con problemas de fase de ensamblaje .....	31
<b>Ilustración 22-2:</b>	Herramienta de avellanado de vástago cónico .....	34
<b>Ilustración 1-3:</b>	Módulo de simulación de fallas de engranajes del rotor kit.....	35
<b>Ilustración 2-3:</b>	Prueba espectro normal .....	37
<b>Ilustración 3-3:</b>	Análisis espectro normal .....	38
<b>Ilustración 4-3:</b>	Prueba diente roto.....	38
<b>Ilustración 5-3:</b>	Prueba desalineación .....	39
<b>Ilustración 6-3:</b>	Placa base .....	48
<b>Ilustración 7-3:</b>	Base - motor .....	48
<b>Ilustración 8-3:</b>	Base móvil - alternador .....	49
<b>Ilustración 9-3:</b>	Base - Alternador .....	49
<b>Ilustración 10-3:</b>	Base de ajuste .....	50
<b>Ilustración 11-3:</b>	Base circular .....	50
<b>Ilustración 12-3:</b>	Inserto .....	51



<b>Ilustración 13-3:</b>	Montaje del módulo de simulación.....	51
<b>Ilustración 14-3:</b>	Adquisición de plancha de acero A36 .....	52
<b>Ilustración 15-3:</b>	Adquisición de alternadores .....	52
<b>Ilustración 16-3:</b>	Adquisición de pernos y tuercas .....	53
<b>Ilustración 17-3:</b>	Corte de placas fijas .....	54
<b>Ilustración 18-3:</b>	Mecanizado de placas fijas .....	54
<b>Ilustración 19-3:</b>	Perforación de placas fijas .....	54
<b>Ilustración 20-3:</b>	Corte de la base móvil del alternador .....	55
<b>Ilustración 21-3:</b>	Análisis superficial .....	55
<b>Ilustración 22-3:</b>	Mecanizado de base móvil .....	56
<b>Ilustración 23-3:</b>	Agujeros de la placa móvil .....	56
<b>Ilustración 24-3:</b>	Corte de bases del motor .....	57
<b>Ilustración 25-3:</b>	Mecanizado de bases del motor.....	57
<b>Ilustración 26-3:</b>	Acabado final de las bases del motor.....	58
<b>Ilustración 27-3:</b>	Corte de los soportes del alternador.....	58
<b>Ilustración 28-3:</b>	Mecanizado de soportes del alternador.....	59
<b>Ilustración 29-3:</b>	Acabado superficial de los soportes .....	59
<b>Ilustración 30-3:</b>	Corte de los soportes circulares .....	60
<b>Ilustración 31-3:</b>	Mecanizado de los soportes circulares.....	60
<b>Ilustración 32-3:</b>	Mecanizado de los insertos.....	61
<b>Ilustración 33-3:</b>	Mecanizado de piñón.....	61
<b>Ilustración 34-3:</b>	Mecanizado de engranaje .....	62
<b>Ilustración 35-3:</b>	Lijado de las piezas .....	62
<b>Ilustración 36-3:</b>	Limpieza de las piezas.....	63
<b>Ilustración 37-3:</b>	Pintado inicial de las piezas.....	63
<b>Ilustración 38-3:</b>	Acabado final de las piezas .....	64
<b>Ilustración 39-3:</b>	Colocación de las bases de ajuste .....	64
<b>Ilustración 40-3:</b>	Montaje de las bases de ajuste.....	65
<b>Ilustración 41-3:</b>	Montaje de las bases del motor.....	65
<b>Ilustración 42-3:</b>	Adecuación de la mesa de trabajo .....	66
<b>Ilustración 43-3:</b>	Montaje de la placa fija .....	66
<b>Ilustración 44-3:</b>	Conexiones del motor.....	66
<b>Ilustración 45-3:</b>	Montaje del motor .....	67
<b>Ilustración 46-3:</b>	Montaje del engranaje .....	67
<b>Ilustración 47-3:</b>	Montaje del piñón.....	68
<b>Ilustración 48-3:</b>	Montaje de las bases del alternador .....	68
<b>Ilustración 49-3:</b>	Ajuste de las bases del alternador.....	68

<b>Ilustración 50-3:</b>	Montaje de la placa móvil .....	69
<b>Ilustración 51-3:</b>	Montaje del alternador.....	69
<b>Ilustración 52-3:</b>	Montaje de la base circular.....	70
<b>Ilustración 53-3:</b>	Conexión del tomacorriente y enchufe .....	71
<b>Ilustración 54-3:</b>	Montaje de los insertos.....	71
<b>Ilustración 55-3:</b>	Montaje final del módulo .....	72
<b>Ilustración 56-3:</b>	Puesta en marcha del módulo .....	72
<b>Ilustración 57-3:</b>	Módulo con espectro normal .....	73
<b>Ilustración 58-3:</b>	<i>Frecuencia</i> natural del módulo a condiciones normales .....	73
<b>Ilustración 59-3:</b>	Módulo de desalineación de engranajes .....	74
<b>Ilustración 60-3:</b>	Frecuencia natural del módulo de desalineación de engranajes .....	75
<b>Ilustración 61-3:</b>	Módulo de diente roto .....	75
<b>Ilustración 62-3:</b>	Frecuencia natural del módulo de diente roto .....	76
<b>Ilustración 63-3:</b>	<i>Módulo problemas de fase en el ensamblaje</i> .....	76
<b>Ilustración 64-3:</b>	Frecuencia natural del módulo con problemas de fase en el ensamblaje .....	77
<b>Ilustración 1-4:</b>	Valores de corriente y voltaje (Módulo 1).....	83
<b>Ilustración 2-4:</b>	Valores de corriente y voltaje (Módulo 2).....	85
<b>Ilustración 3-4:</b>	Velocidad de giro (Módulo 2) .....	86
<b>Ilustración 4-4:</b>	Valores de corriente y voltaje (Módulo 3).....	87
<b>Ilustración 5-4:</b>	Triángulo rectángulo – placa móvil.....	88
<b>Ilustración 6-4:</b>	Valores de corriente y voltaje (Módulo 4).....	89
<b>Ilustración 7-4:</b>	Espectro de velocidad plano vertical (Condiciones Normales).....	91
<b>Ilustración 8-4:</b>	Espectro de aceleración plano vertical (Condiciones Normales) .....	91
<b>Ilustración 9-4:</b>	Espectro de velocidad plano horizontal (Condiciones normales) .....	92
<b>Ilustración 10-4:</b>	Espectro de aceleración plano horizontal (Condiciones normales).....	93
<b>Ilustración 11-4:</b>	Bandas laterales del GMF (Condiciones normales).....	93
<b>Ilustración 12-4:</b>	1x del engranaje y sus múltiplos (Condiciones normales) .....	93
<b>Ilustración 13-4:</b>	1x del engranaje y sus múltiplos (Condiciones normales) .....	94
<b>Ilustración 14-4:</b>	Espectro de velocidad plano vertical (Desalineación Lineal) .....	95
<b>Ilustración 15-4:</b>	Espectro de aceleración plano vertical (Desalineación).....	95
<b>Ilustración 16-4:</b>	Bandas laterales plano vertical (Desalineación) .....	96
<b>Ilustración 17-4:</b>	Espectro de velocidad plano horizontal (Desalineación) .....	97
<b>Ilustración 18-4:</b>	Espectro de aceleración plano horizontal (Desalineación).....	97
<b>Ilustración 19-4:</b>	Bandas laterales plano horizontal (Desalineación) .....	97
<b>Ilustración 20-4:</b>	Espectro de velocidad plano axial (Desalineación) .....	98
<b>Ilustración 21-4:</b>	Espectro de aceleración plano horizontal (Desalineación).....	99
<b>Ilustración 22-4:</b>	Bandas laterales plano axial (Desalineación) .....	99

<b>Ilustración 23-4:</b>	1x del engranaje plano vertical (Diente roto).....	100
<b>Ilustración 24-4:</b>	Bandas laterales plano vertical (Diente roto).....	101
<b>Ilustración 25-4:</b>	Forma de onda plano vertical (Diente roto).....	101
<b>Ilustración 26-4:</b>	1x del engranaje plano horizontal (Diente roto) .....	102
<b>Ilustración 27-4:</b>	Bandas laterales plano horizontal (Diente roto).....	102
<b>Ilustración 28-4:</b>	Forma de onda plano horizontal (Diente roto).....	102
<b>Ilustración 29-4:</b>	Espectro de velocidad plano vertical (Problemas de fase) .....	104
<b>Ilustración 30-4:</b>	Espectro de aceleración plano vertical (Problemas de fase) .....	104
<b>Ilustración 31-4:</b>	Bandas laterales plano vertical (Problemas de fase) .....	104
<b>Ilustración 32-4:</b>	Espectro de velocidad plano horizontal (Problemas de fase).....	105
<b>Ilustración 33-4:</b>	Espectro de aceleración plano horizontal (Problemas de fase) .....	106
<b>Ilustración 34-4:</b>	Bandas laterales plano vertical (Problemas de fase).....	106
<b>Ilustración 35-4:</b>	Análisis de frecuencia natural.....	107
<b>Ilustración 36-4:</b>	Análisis 1x del engranaje plano vertical .....	108
<b>Ilustración 37-4:</b>	Análisis 1x del engranaje plano horizontal .....	109
<b>Ilustración 38-4:</b>	Forma de onda espectro normal plano vertical .....	109
<b>Ilustración 39-4:</b>	Forma de onda espectro normal plano horizontal .....	110
<b>Ilustración 40-4:</b>	Forma de onda desalineación plano vertical .....	111
<b>Ilustración 41-4:</b>	Forma de onda desalineación plano horizontal.....	111
<b>Ilustración 42-4:</b>	Forma de onda del diente roto plano vertical.....	112
<b>Ilustración 43-4:</b>	Forma de onda diente roto plano horizontal .....	112
<b>Ilustración 44-4:</b>	Forma de onda problemas de fase plano vertical .....	113
<b>Ilustración 45-4:</b>	Forma de onda problemas de fase plano horizontal.....	114
<b>Ilustración 46-4:</b>	Factor cresta – Plano Vertical.....	115
<b>Ilustración 47-4:</b>	Factor cresta – Plano Horizontal.....	115

## ÍNDICE DE ECUACIONES

<b>Ecuación 1-2:</b> Factor dinámico $K_v$ .....	9
<b>Ecuación 2-2:</b> $B$ .....	9
<b>Ecuación 3-2:</b> $A$ .....	9
<b>Ecuación 4-2:</b> Diámetro primitivo.....	11
<b>Ecuación 5-2:</b> Módulo.....	12
<b>Ecuación 6-2:</b> Paso diametral.....	12
<b>Ecuación 7-2:</b> Diámetro interior.....	13
<b>Ecuación 8-2:</b> Diámetro exterior.....	13
<b>Ecuación 9-2:</b> Addendum .....	13
<b>Ecuación 10-2:</b> Dedendum .....	14
<b>Ecuación 11-2:</b> Paso de referencia.....	14
<b>Ecuación 12-2:</b> Distancia entre centros.....	14
<b>Ecuación 13-2:</b> Espesor del diente.....	15
<b>Ecuación 14-2:</b> Ancho de dientes recomendado.....	15
<b>Ecuación 15-2:</b> Potencia eléctrica nominal.....	18
<b>Ecuación 16-2:</b> Eficiencia de trabajo del motor eléctrico.....	18
<b>Ecuación 17-2:</b> Potencia eléctrica medida.....	19
<b>Ecuación 18-2:</b> Cálculo de la carga aplicada al motor.....	21
<b>Ecuación 19-2:</b> Relación de transmisión.....	28
<b>Ecuación 20-2:</b> GMF.....	29
<b>Ecuación 21-2:</b> Velocidad de corte.....	34

## **ÍNDICE DE ANEXOS**

**ANEXO A:** GUÍA DE LABORATORIO DE RUEDAS DENTADAS

**ANEXO B:** FICHA TÉCNICA

**ANEXO C:** AMEF DE LOS MÓDULOS DE SIMULACIÓN DE FALLAS EN RUEDAS  
DENTADAS

**ANEXO D:** TAREAS DE MANTENIMIENTO

**ANEXO E:** PLANOS DEL MÓDULO DE SIMULACIÓN DE FALLAS EN RUEDAS  
DENTADAS

## RESUMEN

El presente proyecto técnico está enfocado en la mejora de los módulos por falta de confiabilidad de los resultados obtenidos en la simulación de fallas en ruedas dentadas. Para lo cual se empezó visualizando el problema que se basa en la obtención de armónicos indeseables al momento de analizar un modo de falla característico y de esta manera identificar el objetivo general que es mejorar los módulos de simulación de fallas de ruedas dentadas del Laboratorio de Diagnóstico Técnico y Eficiencia Energética de la Facultad de Mecánica de la ESPOCH. Para la realización de este proyecto se analizó la condición preliminar de los módulos y se estableció su condición inicial mediante pruebas de funcionamiento de los módulos ya existentes con la ayuda del vibrachek 200 IDEAR y el software MAINTraQ Predictive y de este modo se identificó los componentes útiles para la mejora de los módulos, a su vez se escogió los distintos modos de falla a simular con la ayuda de las cartas de Charlotte para identificar los armónicos característicos de los mismos, para rediseñar el módulo se utilizó un software de diseño en el cual se dimensionó y seleccionó los componentes a utilizar en la construcción y montaje de los módulos, finalizando con las pruebas de funcionamiento en las cuales se pudo distinguir claramente las diferencias entre los espectros y formas de onda de cada modo de falla representado. De esta manera, se concluye que la mejora del módulo permitió disminuir la amplitud de los armónicos indeseables y así reconocer los armónicos correspondientes al modo de falla analizado, se recomienda que para la toma de mediciones se tome la cantidad de muestras necesarias para así poder analizar de manera más detallada los espectros.

**Palabras Clave:** <RUEDAS DENTADAS> <MODOS DE FALLA> <VIBRACIONES> <DESALINEACIÓN LINEAL> <PROBLEMAS DE FASE>.

1027-DBRA-UPT-2023



## SUMMARY

This technical project is focused on the improvement of the modules due to the need for more reliability of the results obtained in the simulation of failures in gear wheels. We began by visualizing the problem based on getting undesirable harmonics when analyzing a characteristic failure mode and identifying the general objective, improving the simulation modules of cogwheel failures of the Diagnostic Laboratory: technician and Energy Efficiency of the Faculty of Mechanics of the ESPOCH. For this project, the preliminary condition of the modules was analyzed, and their initial condition was established by means of functional tests of the already existing modules with the help of the vibrachek 200 IDEAR and the MAINTraQ Predictive software; in this way, the valuable components were identified for the improvement of the modules, in turn, the different failure modes to be simulated were chosen with the help of the Charlotte charts to determine their characteristic harmonics. To redesign the module, a design software was applied in which the components to be used in the construction and assembly of the modules were dimensioned and selected, ending with the performance tests in which it was possible to clearly distinguish the differences between the spectra and waveforms of each failure mode represented. In this way, it is concluded that the improvement of the module allowed for reducing the amplitude of the undesirable harmonics and, thus, recognizing the harmonics corresponding to the failure mode analyzed. It is recommended that for the taking of measurements, the necessary number of samples are taken to be able to analyze spectra in more detail.

**Keywords:** <GEAR WHEELS> <FAILURE MODES> <VIBRATIONS>, <LINEAR MISALIGNMENT>, <PHASE PROBLEMS>.



Lic. Sandra Leticia Guijarro Paguay

C.I.: 0603366113

## INTRODUCCIÓN

Los engranajes son elementos mecánicos que permiten la transmisión de fuerza y movimiento de rotación, que normalmente lo convierte en trabajo. Vienen en diferentes formas, materiales y tamaños porque son muy específicos para cada aplicación. A su vez, la velocidad, la carga y la temperatura de funcionamiento también determinarán las características de los engranajes utilizados para cada máquina o sección de máquina.

Las máquinas rotativas tienen gran presencia en la mayoría de los procesos industriales por ser elementos transformadores de energía mecánica y las encargadas de transmitir potencia entre ejes. La detección oportuna y efectiva de fallas es uno de los desafíos más importantes del mantenimiento. Los eventos inesperados pueden afectar la integridad y la confiabilidad del equipo debido al tiempo de inactividad no planificado, la reducción de la vida útil y los altos costos asociados al mantenimiento correctivo y la mala calidad del producto.

El presente Proyecto Técnico “Mejora de los módulos de simulación de fallas de ruedas dentadas del rotor kit del Laboratorio de Diagnóstico Técnico y Eficiencia Energética de la Facultad de Mecánica”, tiene como principal objetivo brindar una herramienta eficaz con la cual se pueda identificar y distinguir de manera apropiada los distintos modos de falla que se pueden presentar en las ruedas dentadas, además se pueda comprender la importancia del monitoreo de la condición y el correcto diagnóstico de los elementos de las máquinas rotativas.

Dentro de la mejora de los módulos, se identificaron 3 modos de falla específicos, los cuales son: diente roto, desalineación lineal de engranajes y problemas de fase de ensamblaje de ruedas dentadas, con la finalidad de reconocer espectros y formas de onda característicos a estos modos de falla; a su vez, en uno de los módulos se podrá observar el comportamiento de un engranaje sin modo de falla, trabajando a condiciones normales.

Esto se podrá realizar con la utilización del Vibracheck 200, el mismo que cuenta con los softwares MAINTraQ Viewer y MAINTraQ Analyzer en los cuales se podrá monitorear la frecuencia natural, los espectros y formas de onda. Posteriormente, se implementó un plan de mantenimiento y la guía de laboratorio que constan con un adecuado procedimiento para la realización de la práctica en los 4 módulos de simulación de fallas de ruedas dentadas.



# CAPÍTULO I

## 1. GENERALIDADES

### 1.1. Antecedentes

A lo largo de la historia, las transmisiones de engranajes han sido parte integral de varias operaciones industriales y diarias. En muchas situaciones, son componentes vitales de procesos industriales o maquinaria. En situaciones severas, un defecto no descubierto en una transmisión de engranajes puede provocar pérdidas económicas significativas e incluso la muerte de personas. Las transmisiones de engranajes pueden tener características complicadas que son difíciles de definir, por lo tanto, su investigación puede abordarse desde muchos puntos de vista diferentes y para objetivos variados (Molina. Cristián, Cleveland Poo 2022, p.23).

Las fallas de los engranajes pueden ocurrir en una amplia variedad de formas, pero cada tipo de falla deja una huella distintiva en los dientes que se puede determinar con un análisis cuidadoso. El desgaste puede describirse como el daño que sufren los dientes y por el cual se pierden capas de metal de sus superficies de forma más o menos regular. Este tipo de desgaste reduce el grosor del diente y, con frecuencia, provoca cambios significativos en el perfil del diente (Delgado Barrera 2020, p.17).

El engranaje es propenso a fallar y sus modos de falla típicos incluyen grietas, picaduras y desconchados. Una vez que ocurren estas fallas en el sistema de engranajes, el comportamiento dinámico del engranaje cambiará. Las condiciones de trabajo en el sistema de engranajes son complejas debido a las dificultades y los altos costos de mantenimiento. Por lo tanto, es importante realizar un diagnóstico temprano de fallas y un monitoreo de condición (Meng, Shi, Wang 2020, p.1).

Debido a la facilidad de medición, el análisis de vibraciones es una de las técnicas más importantes para la identificación de defectos en el campo de equipos mecánicos. Cada máquina crea una vibración única que está directamente relacionada con su construcción y condición de reparación. Si la condición de la máquina cambia, también lo hará su vibración. En consecuencia, este cambio en la vibración se puede utilizar para detectar fallas inminentes de la máquina antes de que se vuelvan graves; esta metodología es la base de esta estrategia (Gallardo González 2019, p.21).

El Laboratorio de Diagnóstico Técnico y Eficiencia Energética de la Facultad de Mecánica de la ESPOCH requirió la actualización de sus equipos. En este sentido el Laboratorio de Diagnóstico Técnico ha implementado módulos de simulación de fallas en ruedas dentadas del rotor kit, producto del trabajo realizado por los estudiantes, los mismos que han sido utilizados para el aprendizaje y entrenamiento preprofesional. El módulo forma parte de los equipos que se encuentran en el laboratorio, y está constituido por ruedas dentadas, motor y alternador. Estos módulos fueron implementados en años anteriores, y el propósito de este trabajo es la mejora de su funcionamiento (Condemaita Quilligana, Molano Tobar, 2022).

## **1.2. Justificación**

El presente Proyecto Técnico surge de la necesidad de mejorar el módulo de simulación de ruedas dentadas, ya que el mismo arroja armónicos indeseables en la toma de datos y a su vez las ruedas dentadas generan problemas en las distintas prácticas que se realizan, mediante este proyecto se busca corregir las vibraciones excesivas de tal manera que los resultados que se obtengan sean los adecuados.

Se podrá realizar simulaciones características correspondientes a un modo de falla aplicando los conocimientos logrados en el diagnóstico técnico de los equipos para así interpretar los resultados adquiridos y analizar cada uno de los armónicos que se pueden obtener de acuerdo con el modo de falla que se estudie y al mismo tiempo determinar el estado en el que se encuentra el elemento.

Dado que las ruedas dentadas son un componente tan importante de los mecanismos de transmisión de potencia, incluso un mal funcionamiento menor puede provocar una pérdida significativa de producción y un aumento en el costo de mantenimiento. Como consecuencia de ello, los estudios que se han realizado sobre diversos tipos de ruedas dentadas han sido motivo de preocupación a nivel industrial. La razón de esto es la gran cantidad de fallas inesperadas que pueden causar las ruedas dentadas.

## **1.3. Planteamiento del Problema**

En el Laboratorio de Diagnóstico Técnico y Eficiencia Energética existen 4 módulos de simulación de fallas en ruedas dentadas, luego de realizar un análisis de su funcionamiento se pudo determinar que al momento de realizar las prácticas de laboratorio presentan una falta de confiabilidad en la toma de datos de los ensayos debido a la presencia de armónicos indeseados,

además las ruedas dentadas también generan problemas en los demás ensayos del laboratorio que se realizan en este módulo, entre los principales motivos de este problema se puede detallar lo siguiente: las placas base no se encuentran rectificadas, por lo tanto, se tiene un montaje irregular entre la placa y la mesa de trabajo, se encuentran simulando dos distintas fallas en un mismo módulo, por lo que generan demasiado ruido, provocando vibraciones excesivas y armónicos indeseables, los cuales generan resultados erróneos al momento de simular modos de falla.

No se puede aislar los distintos modos de fallo que se pueden analizar en el módulo de simulación de fallas de ruedas dentadas, lo que conlleva a la obtención de armónicos correspondientes a un modo de falla distinto al que se requiere analizar, de tal manera que se genera un problema en la toma de datos.

#### **1.4. Objetivos**

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

Mejorar los módulos de simulación de fallas en ruedas dentadas del rotor kit del Laboratorio de Diagnóstico Técnico y Eficiencia Energética de la Facultad de Mecánica de la ESPOCH.

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

Analizar las deficiencias preliminares que presentan los módulos de simulación de fallas en ruedas dentadas del Laboratorio de Diagnóstico Técnico y Eficiencia Energética de la Facultad de Mecánica.

Seleccionar y dimensionar los componentes necesarios para la mejora de los módulos de simulación de fallas en ruedas dentadas mediante la utilización de un software de diseño.

Realizar el montaje de los módulos de simulación de fallas en ruedas dentadas en el Laboratorio de Diagnóstico Técnico y Eficiencia Energética de la Facultad de Mecánica.

Ejecutar las pruebas de funcionamiento y realizar los ajustes correspondientes en los módulos de simulación de fallas en ruedas dentadas.

## CAPÍTULO II

### 2. MARCO TEÓRICO

#### 2.1. Generalidades de los engranajes

##### 2.1.1. *Definición de engranajes*

Un engranaje es un tipo de mecanismo de transmisión que permite que una parte de una máquina transfiera potencia mecánica a otra sección de la misma máquina. Los engranajes se construyen utilizando dos ruedas dentadas, la más grande de las cuales se denomina corona y la más pequeña se denomina piñón. El propósito de un engranaje es transferir el movimiento de rotación de un juego de ruedas dentadas a otro. La transmisión de movimiento desde el eje de una fuente de energía, como un motor de combustión interna o un motor eléctrico, a otro eje que está posicionado a una distancia particular y que necesita realizar trabajo es uno de los usos más significativos de los engranajes. Los engranajes se utilizan en una variedad de aplicaciones. Por lo tanto, una de las ruedas está conectada por la fuente de alimentación, y esta rueda se denomina engranaje impulsor. La otra rueda está conectada al eje que debe recibir el movimiento del eje impulsor, y esta rueda se denomina engranaje conducido. Ambas ruedas están conectadas al mismo eje (Albarrán Ligeró, 2008, p. 191).

##### 2.1.2. *Engranajes de eje paralelo*

Estos engranajes son los más sencillos y frecuentes que se pueden encontrar, y unen ejes paralelos entre sí. También son bastante eficientes en la transmisión de enormes cantidades de energía. Los tipos más comunes de engranajes como este se llaman engranajes rectos y engranajes helicoidales.

###### 2.1.2.1. *Engranajes rectos*

Los engranajes rectos son los más baratos de todos los tipos para aplicaciones de ejes paralelos. Sus dientes rectos se presentan en la ilustración 1-2, permiten el enganche o desenganche de marcha mediante mecanismos de embrague y eje deslizante. Las aplicaciones típicas de los engranajes rectos incluyen cajas de cambios de vehículos de motor, accionamientos de máquinas herramienta, cajas de engranajes de motores eléctricos, mecanismos de sincronización

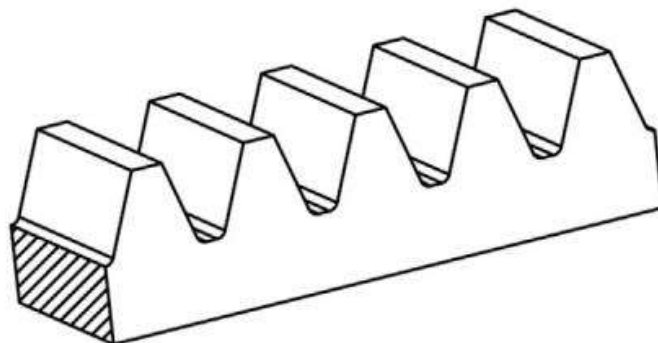
y accionamientos de herramientas eléctricas. La mayoría de los engranajes de potencia están fabricados con acero endurecido y cementado. Otros materiales utilizados incluyen hierro, latón y bronce, y polímeros como poliamida. A veces se puede usar un material más duro para un piñón que el de la rueda dentada de acoplamiento, ya que los dientes del piñón experimentarán más uso que los de la rueda dentada (Childs, 2019, p. 8).



**Ilustración 1-2:** Engranajes rectos

Fuente:(Childs, 2019)

Independientemente de si el engranaje está siendo accionado o actúa como impulsor, el mayor de los dos engranajes se denomina "engranaje" y el menor de los dos se denomina "piñón". Debido a la forma en que los engranajes rectos están configurados en el exterior, el engranaje impulsor siempre girará en la dirección opuesta al engranaje impulsado. Los engranajes de piñón y cremallera son un subconjunto de la categoría más general de engranajes de ejes paralelos, gira en un movimiento circular que se convierte en un movimiento rectilíneo, o al contrario.



**Ilustración 2-2:** Cremallera dientes rectos

Fuente:(Childs, 2019)

En este diseño, la cremallera (que es un engranaje de forma lineal y sin eje) y el piñón se acoplan para crear el mecanismo de transmisión (engranaje cilíndrico). Para transformar el movimiento lineal en movimiento rotatorio y viceversa, el diseño de cremallera y piñón se usa regularmente en máquinas herramienta y otros tipos de equipos. Una cremallera de dientes rectos suele ser un engranaje con un radio infinito (que se muestra en ilustración 2-2) y engrana con un engranaje de dientes rectos (piñón) que puede tener cualquier número de dientes (Gupta, Jain, Laubscher 2017, pp. 3-7).

Cuando los engranajes rectos están engranados, hacen contacto de forma lineal; sin embargo, cuando giran, el contacto es principalmente de carácter rodante. Debido a esto, los engranajes rectos tienen un alto nivel de eficiencia en su operación mecánica. Sin embargo, debido al contacto simultáneo de los dientes engranados, lo que da como resultado una carga de impacto continua sobre toda la cara del diente, estos engranajes tienen una desventaja significativa en forma de ruido y vibración. Esto es consecuencia del contacto simultáneo de los dientes engranados. Como resultado, los engranajes rectos se utilizan con mayor eficacia en configuraciones que incluyen velocidades que van de bajas a medias. Entre sus métodos de fabricación tenemos el tallado, conformado, fresado, brochado, fundición, extrusión, estampado, pulvimetalurgia, forjado, laminado, rectificado, afeitado, lapeado y bruñido (Gupta, Jain, Laubscher 2017, p. 4).

### **2.1.3. Características de los engranajes**

#### **2.1.3.1. Factor de sobrecarga $K_o$**

El factor de sobrecarga, denotado con el símbolo  $K_o$ , tiene la función de tener en cuenta las cargas que se aplican desde el exterior y que son mayores que la carga tangencial nominal  $W_t$ . El cambio en el torque que resulta de operar un motor de combustión interna es una buena ilustración de esto. Las razones comunes que pueden causar una sobrecarga incluyen: sistemas vibratorios, pares de aceleración, sobre velocidades, fluctuaciones en los sistemas de transmisión, cargas conjuntas de múltiples engranajes primarios y cambios en las condiciones de carga del proceso.

Los valores que se utilizan para  $K_o$  a menudo se obtienen a través de una cantidad sustancial de experiencia con una aplicación específica. La tabla 1-2 proporciona una fuente a partir de la cual se pueden determinar los valores del factor de sobrecarga. Supondremos que el valor del factor de sobrecarga es igual a uno en todo momento (Childs, 2019, p. 10).

**Tabla 1-2:** Estimación de los factores de sobrecarga.

Máquina de conducción	Máquina accionada			
	Uniforme. Por ejemplo, grupos electrógenos de servicio continuo.	Choque ligero. Por ejemplo, ventiladores, bombas centrífugas de baja velocidad, generadores de servicio variable, transportadores cargados uniformemente, bombas de desplazamiento positivo	Choque moderado. Por ejemplo, bombas centrífugas de alta velocidad, bombas y compresores alternativos, transportadores de alta resistencia, accionamientos de máquinas herramienta y sierras.	Choque pesado. Por ejemplo, punzonadoras y trituradoras.
Uniforme. Por ejemplo, motores eléctricos o turbinas de gas de velocidad constante.	1	1,25	1,5	1,75
Choque ligero. Por ejemplo, variadores de velocidad.	1,2	1,4	1,75	2,25
Choque moderado. Por ejemplo, motores multicilíndricos.	1,3	1,7	2	2,75

Fuente: (Childs, 2019, pp. 11)

Realizado por: Pilamunga, E; Quishpe, O, 2023.

### 2.1.3.2. Factor dinámico $K_v$

El factor dinámico,  $K_v$ , se utiliza para considerar el efecto del espacio entre dientes y los errores de perfil, la magnitud de la velocidad de la línea de paso, la inercia y rigidez de los componentes giratorios y la carga transmitida por unidad de ancho de cara. La AGMA ha definido un conjunto de números de control de calidad que pueden tomarse como iguales al número del nivel de precisión de la transmisión,  $QV$ , para cuantificar estos parámetros.

Clases  $3 \leq QV \leq 7$  incluyen la mayoría de los engranajes de calidad comercial y generalmente son adecuados para aplicaciones tales como maquinaria agrícola y de plantas, prensas y transportadores,

Clases de  $8 \leq QV \leq 12$  son de calidad de precisión y generalmente son adecuados para herramientas eléctricas, lavadoras y transmisiones automotrices. En general, cuanto mayor sea la velocidad periférica y menor la carga específica del diente, más precisa debe ser la fabricación del engranaje y se debe usar un engranaje con un número de control de calidad más alto (Childs, 2019, pp. 10).

**Ecuación 1-2:** Factor dinámico  $K_v$

$$K_v = \left( \frac{A + \sqrt{200V}}{A} \right)^B$$

**Ecuación 2-2:** B

$$B = \frac{(12 - QV)^{2/3}}{4}$$

**Ecuación 3-2:** A

$$A = 50 + 56(1 - B)$$

### 2.1.3.3. Factor de tamaño $K_s$

El factor de tamaño  $K_s$  a menudo se considera igual a la unidad. En el caso de que exista una falta de uniformidad relacionada con el tamaño en las cualidades del material, se pueden utilizar valores más altos (Childs, 2019, p. 11).



#### 2.1.3.4. Factor de distribución de carga KH

Para tener en cuenta el hecho de que la carga no se distribuye de manera uniforme a lo largo de la línea de contacto, en la tabla 2-2 se representa el factor de distribución de carga KH. En un mundo perfecto, los engranajes se instalarían en un lugar del eje donde no habría pendiente cuando se aplicara la carga (Childs, 2019, p. 11).

El problema de la falta de uniformidad de la carga es más notorio en caras que tienen anchos mayores. Por ello, se genera como una forma aproximada de tener en cuenta la distribución menos uniforme por parte de la carga (Ulloa, Vasco, 2020, p. 35).

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

<b>Factor de distribución de carga KH</b>				
<b>Características soportadas por el montaje</b>	<b>Ancho de cara (b) en mm</b>			
	<b>0-50</b>	<b>150</b>	<b>225</b>	<b>≥400</b>
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			

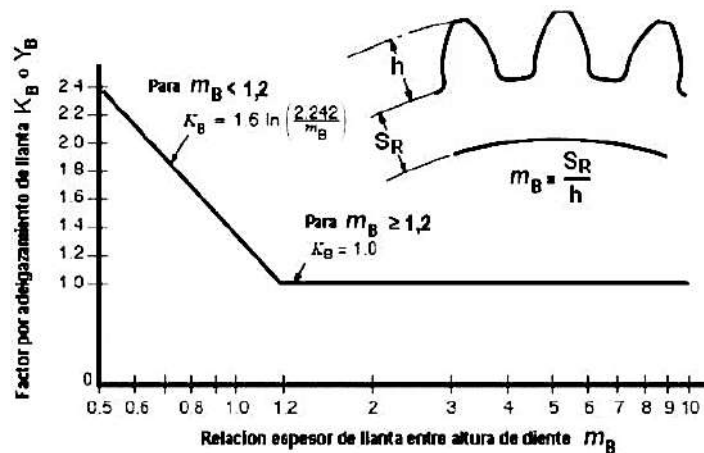
**Fuente:** (Ulloa Villamarín, Vasco Morales, 2020)

**Realizado por:** Pilamunga, E; Quishpe, O, 2023.

#### 2.1.3.5. Factor de espesor

Si el grosor no es suficiente para proporcionar un soporte completo para el rodamiento, esto puede explicarse mediante el factor de grosor KB representado en la ilustración 3-2, este factor utiliza la relación entre la altura del diente y el grosor de la base del engranaje. Cuando un engranaje tiene un gran diámetro y está construido utilizando un anillo y brazos radiales en lugar del cilindro sólido convencional los parámetros para ese factor son:

- Si la relación es mayor o igual a 1,2, se supone que el esfuerzo de flexión no tiene influencia con el factor indicado. Este es uno de los parámetros para este elemento.
- Si la relación es menor o igual a 1,2, entonces el impacto en el esfuerzo de flexión se puede ver cómo actuará en la siguiente figura. Esto se puede ver cómo funcionará en el esfuerzo de flexión.



**Ilustración 3-2:** Factor de adelgazamiento de rueda dentada

Fuente: (Ulloa, Vasco, 2020)

#### 2.1.4. Nomenclatura de los engranajes

Los siguientes términos se aplican comúnmente a las diversas clases de engranajes:

##### 2.1.4.1. Círculo de paso o círculo de referencia

Es un círculo imaginario que, por pura acción de rodadura, daría el mismo movimiento que produce el engranaje real. Este círculo imaginario también pasa por el centro de cada diente del engranaje y tiene el eje del engranaje como su centro.

##### 2.1.4.2. Diámetro del círculo primitivo o diámetro del círculo de referencia ( $d$ )

Es el diámetro del círculo primitivo y un término importante para especificar el tamaño del engranaje.

#### **Ecuación 4-2:** Diámetro primitivo

$$D_p = (m) \cdot (Z)$$

Donde:

$D_p$  = diámetro primitivo

$m$  = módulo

$Z$  = número de dientes

#### 2.1.4.3. *Módulo (m)*

Es la relación entre el diámetro primitivo (de referencia) de un engranaje y el número de dientes. Define el tamaño de un diente en el sistema métrico y generalmente se denota por m. La unidad de los módulos debe ser en milímetros (mm).

#### **Ecuación 5-2:** Módulo

$$m = \frac{d}{N}$$

Donde:

N = Número de dientes

#### 2.1.4.4. *Paso diametral (DP)*

Es el número de dientes por pulgada de diámetro de paso. En el sistema inglés, es una medida del tamaño de los dientes. Cuanto mayor sea el valor del paso diametral, menor será el tamaño del diente. Transformación de paso diametral a módulo.

#### **Ecuación 6-2:** Paso diametral

$$m = \frac{25,4}{DP}$$

#### 2.1.4.5. *Diámetro base*

Es el diámetro del círculo base donde comienza la parte envolvente de un perfil de diente. Diámetro de la raíz: Es el diámetro del círculo que contiene las raíces o terreno inferior de los espacios dentarios. En otras palabras, es el diámetro en la parte inferior del espacio del diente.

#### 2.1.4.6. *Diámetro de raíz*

El diámetro del círculo que contiene las raíces o la parte inferior de los huecos de los dientes se denomina diámetro de la raíz. En otros términos, es el diámetro interior del espacio entre dientes en la base parte inferior. También se llama profundidad total, y es considerada la distancia radial exterior.

**Ecuación 7-2:** Diámetro interior

$$D_i = D_p - 2,32 * m$$

Donde:

$D_i$ = diámetro interior

$D_p$ = diámetro primitivo

$m$ = módulo

2.1.4.7. *Diámetro de la punta*

Es el diámetro del círculo que contiene la parte superior de los dientes o la parte superior de los engranajes externos. También se le llama diámetro exterior.

**Ecuación 8-2:** Diámetro exterior

$$D_e = D_p + 2m$$

Donde:

$D_e$ = diámetro exterior

$D_p$ = diámetro primitivo

$M$  = módulo

2.1.4.8. *Addendum*

Es la altura por la cual un diente se proyecta más allá del círculo de paso o línea de paso. También se puede describir como la porción del diente entre el diámetro de la punta y el círculo primitivo. Además, se denomina como, la distancia radial entre el diámetro de paso y el diámetro exterior y es la altura por la cual un diente de un engranaje se proyecta más allá (exterior para externo, o interior para interno)

**Ecuación 9-2:** Addendum

$$a = m$$

#### 2.1.4.9. *Dedendum*

Es la profundidad del diente por debajo del círculo primitivo o la porción del diente entre el círculo primitivo y la parte inferior del diente.

**Ecuación 10-2:** Dedendum

$$b=1,25*m$$

#### 2.1.4.10. *Paso de referencia, conocido como paso circular (p)*

Es la distancia a lo largo del círculo de paso o la línea de paso que se mide desde un lugar en un diente de engranaje hasta la ubicación correspondiente en el siguiente diente. Además, es proporcional al radio del círculo primitivo dividido por el número total de dientes del engranaje.

**Ecuación 11-2:** Paso de referencia

$$p = \pi * m$$

Donde:

m = módulo.

#### 2.1.4.11. *Distancia entre centros*

Es la distancia que se debe recorrer desde el centro del eje de un engranaje hasta el centro del eje del otro engranaje. Para determinarlo, se debe sumar todos los diámetros del paso, luego dividir ese total por dos.

**Ecuación 12-2:** Distancia entre centros

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

Donde:

D<sub>p</sub>= diámetro primitivo

#### 2.1.4.12. *Grosor del diente*

También se denomina grosor cordal y es el ancho del diente medido a lo largo del círculo primitivo.

**Ecuación 13-2:** Espesor del diente

$$e = \frac{P}{2}$$

Donde:

P= paso circular

#### 2.1.4.13. *Ancho de cara*

Es la longitud de un diente en un plano axial y medido paralelo al eje del engranaje.

**Ecuación 14-2:** Ancho de dientes recomendado

$$\frac{8P}{\pi} < F < \frac{16P}{\pi}$$

#### 2.1.4.14. *El ángulo de presión*

Es el ángulo en que la presión que se ejerce sobre el diente de un engranaje se transfiere al diente de otro engranaje. Es el ángulo formado por el punto de contacto entre dos dientes.

#### 2.1.4.15. *Backlash*

Puede definirse como la cantidad por la cual el ancho del espacio entre dientes excede el grosor del diente engranado en los círculos de paso.

#### 2.1.4.16. *Relación de contacto*

Cuando un juego de dientes se desengancha uno del otro, el siguiente juego de dientes ya debe estar engranado para garantizar que el movimiento del diente sea continuo y suave. La relación

de contacto es la medida de esta superposición. Casi siempre son preferibles relaciones de contacto más altas, y cuando caen a un valor inferior a 1,0, los engranajes dejan de engranar. La relación entre el arco de acción y el paso del engranaje determina el tamaño de la relación de contacto. (Gupta, Jain, Laubscher, 2017, pp. 18-20).

### 2.1.5. *Materiales de los engranajes*

Los materiales más usados en la fabricación de los engranajes así también sus propiedades y aplicaciones más frecuentes en el uso de procesos industriales, se detallan a continuación en la tabla 3-2.

**Tabla 3-2:** Propiedades y aplicaciones de los materiales importantes de los engranajes

Materiales		Propiedades	Aplicaciones	
Hierro fundido	Hierro gris	Buena maquinabilidad, propiedades de amortiguación del sonido, buena resistencia al desgaste, baja resistencia al impacto	Engranajes de molino de gran tamaño; aplicaciones de potencia nominal moderada; aplicaciones de bajo choque; y máquinas herramienta	
	Hierro dúctil	De buena maquinabilidad, propiedades de amortiguación del sonido, mejor resistencia al impacto y a la fatiga que el hierro gris	Transporte; vehículos ferroviarios y militares; engranajes de circunferencia para molinos	
Aceros al carbono lisos	Aceros para engranajes de carburación	Aceros con bajo contenido de carbono (1010, 1015, 1020, 1021, 1022, 1025)	Excelente maquinabilidad, buena combinación de resistencia y ductilidad, tratable térmicamente, se puede carburar en caso de carburación	Aplicaciones de servicio bajo a medio
	Aceros para engranajes de endurecimiento pasante	Acero al carbono medio (1035, 1040, 1045)	Buena maquinabilidad	Aplicación de potencia de moderada a alta
		Acero con alto contenido de carbono (1060)	Alta resistencia y durabilidad	Aplicaciones de alta potencia nominal

Materiales		Propiedades	Aplicaciones	
Aceros aleados	Acero de carburación	Acero carburante de níquel-cromo-molibdeno (SAE8620)	Buenas características de desgaste alta resistencia al desgaste	Transmisiones automotrices; maquinaria agrícola; movimientos de tierras
		20MnCr5 (SAE5120)	El endurecimiento de la caja imparte una carcasa dura con buenas propiedades de desgaste y un núcleo resistente	Cajas de engranajes de automóviles; engranajes de transmisión de servicio pesado; Elevación; y grúas
	Aceros para engranajes de endurecimiento pasante	Acero aleado al cromo-molibdeno (4140)	Alta tenacidad, buena fuerza torsional, buena resistencia a la fatiga	Sistemas diferenciales de automóviles; y tractores

Fuente: (Gupta, Jain, Laubscher, 2017)

Realizado por: Pilamunga E, Quishpe O, 2023.

## 2.2. Simulación de fallos en ruedas dentadas

El uso de la simulación es un método eficaz para comprender las complejas interacciones que tienen lugar entre los componentes de transmisión en un entorno dinámico. La simulación de engranajes defectuosos permite al analista estudiar el efecto de los componentes dañados de manera controlada y recopilar los datos sin tener que asumir el costo de las fallas reales o los gastos asociados con un experimento que requiere una gran cantidad de fallas sembradas. La representación de fallas puede proporcionar los datos necesarios para el diagnóstico basado en la capacitación y el desarrollo de procesos si se utiliza de manera adecuada (Gokcek, 2012, p. 19).

## 2.3. Motor eléctrico

Los motores eléctricos, en general, son los encargados de convertir la energía eléctrica en energía mecánica; se utilizan para accionar diferentes tipos de equipos y se conectan a las instalaciones eléctricas mediante elementos tanto adecuados como necesarios.

### 2.3.1. Potencia eléctrica nominal

La potencia real con frecuencia no coincide exactamente con la potencia indicada en lámparas y otros dispositivos eléctricos como televisores y motores dado que las oscilaciones de las



medidas eran visibles durante la fabricación. La potencia eléctrica nominal indica la potencia que un dispositivo puede soportar bajo condiciones de servicio establecidas (López, 2014, p. 116).

**Ecuación 15-2:** Potencia eléctrica nominal

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

Donde:

$P_s$ =potencia mecánica nominal

$P_e$ =potencia eléctrica nominal

$\eta$ =eficiencia

**2.3.1.1. Eficiencia**

La eficiencia de los motores está estrechamente relacionada con la calidad y la cantidad de materias primas utilizadas para construirlos. Los factores clave que mejoran la eficiencia del motor son la calidad de las láminas, el tamaño del paquete de láminas, la cantidad de cobre y la distancia entre hierros (Quispe, Gómez, 2020, p. 35).

**Ecuación 16-2:** Eficiencia de trabajo del motor eléctrico

$$\eta = \frac{hp * 746}{\sqrt{3} * V_{L-L} * I * fp}$$

Donde:

$\eta$ = eficiencia

$V_{L-L}$ = voltaje entre líneas

$fp$ = factor de potencia

**2.3.2. Potencia eléctrica medida**

La siguiente ecuación se utiliza para calcular la cantidad de energía eléctrica que se extrae de una red dado el voltaje, corriente y el rendimiento del motor en cuestión (Farina, 2018, p. 68).

### Ecuación 17-2: Potencia eléctrica medida

$$P_{em} = \sqrt{3} * v * I \cos(\varphi)$$

Donde:

$P_{em}$  = potencia eléctrica medida

$v$  = voltaje medido

$I$  = intensidad medida

$\cos(\varphi)$  = factor de potencia

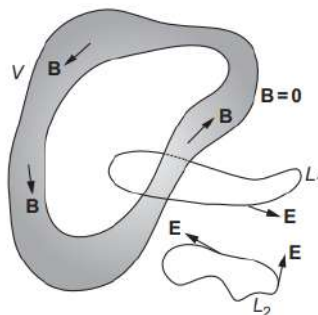
El sistema de potencia se hace referencia a la utilización de un motor trifásico de ½ Hp de fuerza.

### 2.4. Freno magnético

Una aplicación útil de la fuerza magnética y del principio de reacción electromagnética ocurre en el freno magnético.

#### 2.4.1. Fundamento teórico

Michael Faraday y Joseph Henry descubrieron que la inducción electromagnética ocurre cuando un imán se mueve muy cerca de un conductor al demostrar que esto hace que se cree una corriente eléctrica en el conductor. El vínculo entre estos dos campos fue posteriormente caracterizado matemáticamente por James Clerk Maxwell como la Ley de Faraday. Sus argumentos llevaron al descubrimiento de que un campo magnético cambiante creaba un campo eléctrico (Kaufman, Itskovich, 2017, p. 40).

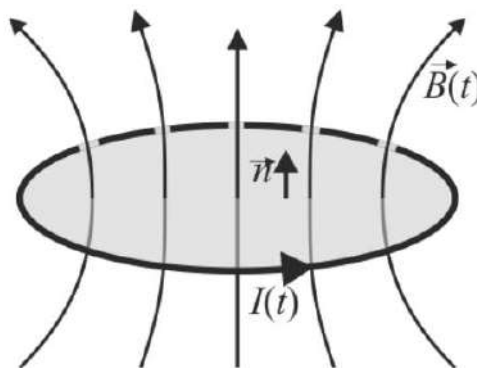


**Ilustración 4-2:** Ley de Faraday

**Fuente:** (Kaufman, Itskovich 2017)

Suponga que ocurre un cambio de campo magnético con el tiempo dentro de algún volumen  $V$ , pero fuera de  $V$  el campo  $B$  está ausente. La fuerza electromotriz a lo largo del contorno  $L1$ , que rodea este volumen, es distinta de cero, independientemente de la ubicación del volumen  $V$  dentro de  $L1$  representado en la ilustración 4-2. En otras palabras, el campo variable en el tiempo  $B$  en alguna región da como resultado la aparición del campo eléctrico inducido en todas partes del espacio (Sau, 2019, p. 4).

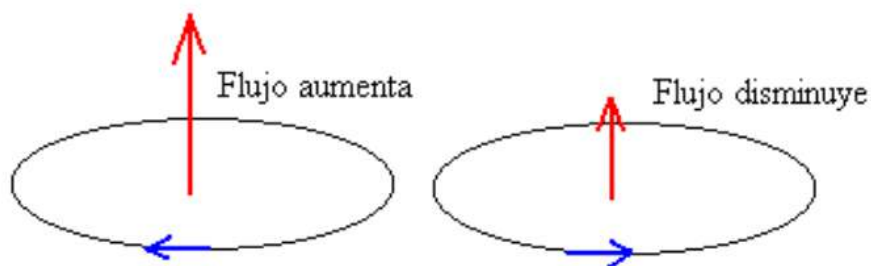
El fenómeno de frenado magnético es de naturaleza electromagnética. Por tanto, el modelo físico y matemático desarrollado para su análisis, se fundamenta en las ecuaciones de Maxwell, concretamente con la Ley de Ampere-Maxwell y con la Ley de Faraday-Maxwell, y por otro lado se fundamenta en la Ley de Ohm.



**Ilustración 5-2:** Campo magnético

Fuente: (Sau, 2019, . 27)

La variación de flujo magnético en presencia de un conductor genera en él una fuerza electromotriz inducida que produce una corriente eléctrica en el mismo, como si de un generador se tratase (Sau, 2019, p. 8).



**Ilustración 6-2:** Sentido de la corriente inducida ley de Lenz

Fuente: (Sau, 2019, . 30)

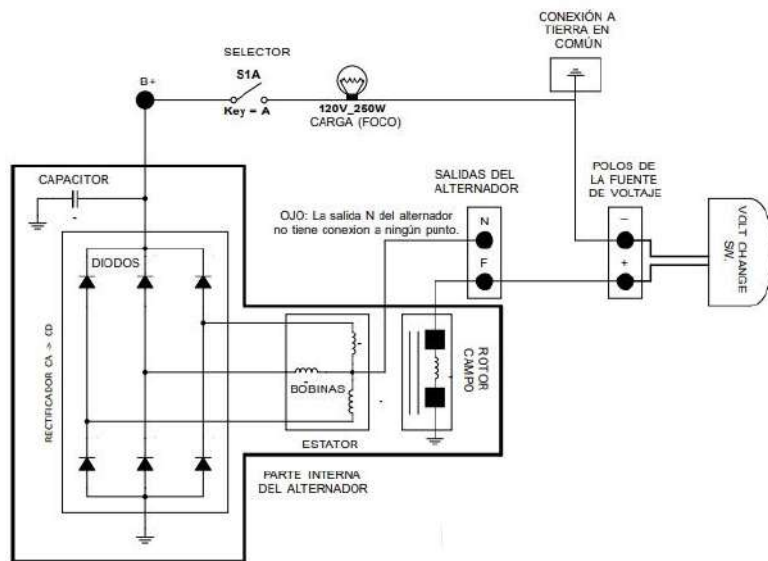
La estimación de la carga y eficiencia del motor hace referencia al método de la potencia de entrada y se determina de la siguiente manera:

**Ecuación 18-2:** Cálculo de la carga aplicada al motor.

$$\%Carga = \frac{P_{em}}{P_e}$$

### 2.4.2. Circuito eléctrico

Las escobillas de un alternador generan un campo magnético cuando se alimentan de corriente continua desde el terminal positivo; un mayor voltaje da como resultado un campo magnético más fuerte. El terminal negativo de la bombilla está conectado al suministro de CC y el interruptor enciende la luz o la apaga. Dentro del alternador, la salida N está conectada a los diodos rectificadores, lo que me permite transformar la CA en CC pulsante que luego se filtra con un capacitor.



**Ilustración 7-2:** Circuito eléctrico del freno magnético

Fuente: (Hernández,2022).

### 2.5. Fallas en engranajes

Un estudio exhaustivo de su funcionalidad puede ayudar a mejorar los procesos de diseño, producción y mantenimiento de los engranajes. Todos estos factores pueden contribuir a una reducción en el número de fallas de los engranajes, que representan alrededor del 10 % de todas las fallas de los equipos rotativos. El desgaste excesivo y el daño a los dientes de los engranajes son a menudo las causas fundamentales de las fallas de los engranajes. Este desgaste y daño a menudo es provocado por una carga excesiva, una lubricación inadecuada y/o ejes de engranajes desalineados.

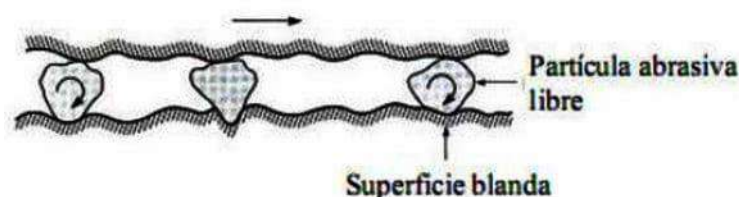
Las picaduras y el desconchado son los dos tipos principales de fatiga por contacto con la superficie que pueden ocurrir en los engranajes. La fatiga por contacto es uno de los mecanismos de desgaste más típicos de las superficies de los dientes de los engranajes. En los últimos tiempos, se ha dedicado una cantidad significativa de trabajo a la investigación de fallas de engranajes, y se ha demostrado que la mayoría de las razones pueden dividirse en astillamientos o picaduras, seguidas de desgaste, daños y fallas. Esto es particularmente cierto para engranajes carburados, donde las fallas inducidas por fatiga comienzan debajo de la superficie en lugar de sobre ella. Esto ayuda al proceso de picaduras, grietas, y la fatiga de la superficie de contacto rodante, esta conduce a la falla final (Vukelic et al. 2020, p. 1).

## 2.6. Modos de falla de los engranajes

El principal modo de falla de un engranaje es el desgaste abrasivo de un diente de engranaje, que es causado por partículas abrasivas (arena, etc.). El desgaste abrasivo puede provocar macro picaduras, grietas en los engranajes e incluso dientes rotos. Para evitar tales accidentes, se necesitan dientes de engranaje o dientes de engranaje remanufacturados con alta dureza y buena resistencia al desgaste para resistir la presión destructiva de las partículas abrasivas y mejorar la resistencia al desgaste abrasivo (Liu et al., 2021, p. 2-3).

### 2.6.1. *Desgaste abrasivo*

Los engranajes de las máquinas que funcionan en condiciones adversas tienen más probabilidades de experimentar este tipo de desgaste. El cual se distingue por el hecho de que el deterioro a lo largo del diente no es uniforme, representado en la ilustración 8-2. Esto se debe a las tensiones irregulares que se presentan en el contacto por presión como consecuencia de que no existe una velocidad uniforme. Otras causas comunes de este tipo de desgaste son el hecho de que se deba al contacto entre superficies o con algún sólido externo presente en el aceite. Después de pasar por este desgaste, la superficie del diente del piñón comienza a tener una nueva textura, que es mucho más abrasiva que la que tenía al principio (Ulloa, Vasco, 2020, p. 21)



**Ilustración 8-2:** Partículas en la generación de desgaste abrasivo

Fuente: (Ulloa, Vasco, 2020)

### 2.6.2. *Desgaste Adhesivo*

El desgaste adhesivo ocurre con mayor frecuencia en las superficies de contacto de los dientes de los engranajes lo que hace que una parte del material de uno de los dientes se adhiera al otro, mostrado en la ilustración 9-2. Este tipo de daño aparece debido a la combinación de altas velocidades, lo que hace que se suelde el rozamiento existente entre las caras de contacto. El lubricante también es una de las causas, ya que la magnitud del problema puede ser importante si no cumple con los estándares de trabajo de la máquina y no puede enfriar el sistema (Ulloa, Vasco, 2020, p. 21).



**Ilustración 9-2:** Desgaste por adhesión

Fuente: (Ulloa, Vasco, 2020)

### 2.6.3. *Fatiga por contacto*

Picaduras es otro nombre para la fatiga por contacto, y recibe su nombre del hecho de que surge en la sección productiva de los dientes del engranaje. Esta falla es uno de los principales factores que inutilizan las transmisiones, incluso cuando tienen una cantidad adecuada de lubricante. Estas partículas pueden ser microscópicas o grandes, según su tamaño, y pueden crear agujeros en las superficies de contacto, representado en la figura 10-2. Debido a que la velocidad de deslizamiento es más baja y la tensión que se crea cuando las dos superficies entran en contacto es más alta en el área, está claro que este fenómeno es responsable de la destrucción de la región que está debajo de la línea polar (Ulloa, Vasco, 2020, p. 23).



**Ilustración 10-2:** Fatiga por contacto

Fuente: (Ulloa, Vasco, 2020)

#### **2.6.4. Agarramiento**

Esto se produce por la soldadura entre superficies, lo que puede ocurrir cuando la lubricación es insuficiente o cuando el recubrimiento de aceite no cubre completamente la región de contacto. La incautación en un engranaje se mostrará como un rasguño en la superficie de los dientes. Debido a la soldadura, una parte del metal de uno de los dientes se adhiere al otro y, como resultado, la superficie de algunos de los dientes puede raspar la superficie de otros dientes representado en la ilustración 11-2 (Ulloa, Vasco, 2020, p. 24).



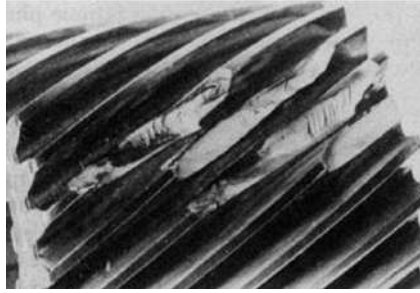
**Ilustración 11-2:** Agarramiento

**Fuente:** (Ulloa, Vasco, 2020)

#### **2.6.5. Rotura de diente**

La rotura de dientes puede ser causada por grandes sobrecargas de choque estático o sobrecargas repetidas; estos presentan una rotura tenaz y violenta al pie del diente. En la mayoría de los casos, estas fallas comienzan desde la raíz representado en la ilustración 12-2. La rotura de dientes también puede ser provocada por una sobrecarga que supere la resistencia a la tracción del material, generando una rotura por fatiga de ciclo corto, o por cargas repetitivas que generen fatiga del material. Incluso si el engranaje ha recibido un tratamiento térmico de endurecimiento, las fibras parecerán un material plástico que se ha torcido cuando se rompe un diente como resultado de un golpe rápido o una sobrecarga. Esta apariencia es característica de la fractura que resulta cuando se rompe un diente.

Debido a la sobrecarga causada por la desalineación, los dientes fracturados en engranajes rectos, helicoidales y cónicos son una ocurrencia típica. Esta desalineación puede producirse por rodamientos sueltos, lo que causaría la deflexión del eje y, finalmente, la rotura de los dientes debido a la carga final. En cada instancia de una fractura, se debe realizar una investigación para identificar los factores que conducen a su ocurrencia (Ulloa, Vasco, 2020, pp. 27-28).



**Ilustración 12-2:** Fractura del diente

**Fuente:** (Ulloa, Vasco, 2020)

## **2.7. Inspección de engranajes por análisis vibracional**

El análisis vibracional es una de las técnicas más comunes debido a su eficacia y precisión en la generación de armónicos con el fin de estudiar el estado de los engranajes. También se pueden utilizar otros métodos, como el ultrasonido pasivo y las redes neuronales, para realizar una inspección del estado operativo de los engranajes. Sin embargo, en la actualidad, el análisis vibracional es uno de los métodos más comunes.

### **2.7.1. *Análisis vibracional***

El movimiento que surge como consecuencia de la interacción entre una fuerza oscilatoria y un sistema mecánico lineal se denomina vibración. La frecuencia de fuerza y de vibración serán idénticas entre sí. Si hay muchas frecuencias forzadas al mismo tiempo, entonces la vibración que se produce será la suma de las vibraciones que ocurren en cada frecuencia. En estas circunstancias, la forma de onda que se produce no será sinusoidal.

Al analizar la vibración de una máquina, que es un sistema mecánico complicado, es útil investigar las fuentes de energía de vibración, así como los cursos que toma esta energía a medida que viaja a través de la máquina. En todo momento, la energía viaja o fluye desde el origen de la vibración hasta el punto de absorción, cuando se convierte en calor. Esta puede ser una ruta bastante rápida en ciertas circunstancias, en otras, la energía podría tener que viajar una distancia considerable antes de ser finalmente absorbida (White, 2017, p. 27).

#### **2.7.1.1. *Vibracheck 200***

Es un robusto analizador de vibraciones mecánicas, recolector de datos y balanceador con dos canales, lo que lo convierte en una herramienta perfecta para evaluar la confiabilidad de las máquinas.





**Ilustración 13-2:** Vibracheck 200

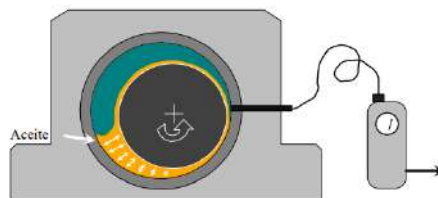
Fuente: (Idear,2020)

Posee:

- Dos entradas dinámicas que se pueden usar para vincular acelerómetros, sensores de proximidad o abrazaderas amperométricas.
- Analiza la fase usando dos acelerómetros
- Mide aceleración, velocidad, desplazamiento y envolvente
- Mide espectros y formas de onda en ruta y fuera de ruta

#### 2.7.1.2. *Sensor de proximidad*

El sensor de proximidad, también conocido como "transductor de desplazamiento", requiere un amplificador que acondiciona la señal para generar un voltaje de salida proporcional a la distancia entre el transductor y la punta del eje representado en la ilustración 14-2. Funciona mediante el uso de un principio magnético como consecuencia del cual es susceptible a irregularidades magnéticas. La respuesta de frecuencia del transductor de desplazamiento abarca el espectro desde 0 Hz hasta aproximadamente 1000 Hz.

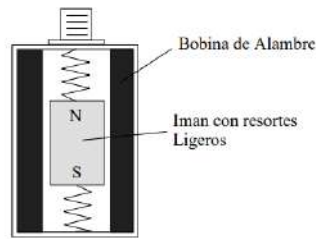


**Ilustración 14-2:** Sensor de proximidad

Fuente: (White, 2017)

#### 2.7.1.3. *Sensor de velocidad*

Un acelerómetro combinado con un integrador electrónico es el componente de otro tipo de transductor de velocidad.



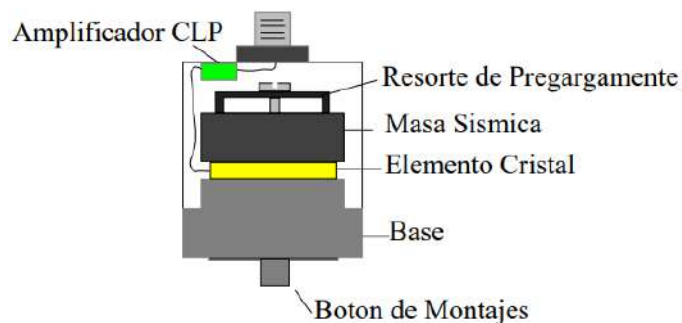
**Ilustración 15-2:** Sensor de velocidad

Fuente: (White, 2017)

Está compuesto por una bobina de alambre y un imán que están colocados de tal manera que, en caso de que el cárter se mueva, el imán tenderá a quedarse en su lugar debido a la inercia que tiene representado en la ilustración 15-2. La respuesta de baja frecuencia va desde 10 Hz hasta 1000 Hz.

#### 2.7.1.4. *El acelerómetro*

El acelerómetro piezoeléctrico puede considerarse como el transductor estándar para la medición de vibraciones en máquinas. Cuando una materia se somete a una fuerza, se genera una carga eléctrica entre sus superficies. Según la segunda ley de Newton, esa fuerza es proporcional a la aceleración de la masa. Los acelerómetros son lineales en el sentido de amplitud, lo que significa que tienen un rango dinámico muy grande (White, 2017, pp. 53-55).



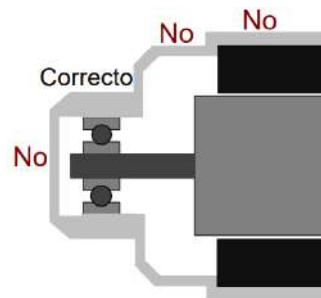
**Ilustración 16-2:** Acelerómetro

Fuente: (White, 2017)

#### 2.7.1.5. *Ubicación de los Puntos de Prueba*

En la mayoría de los casos, es preferible colocar el transductor de prueba de tal manera que esté muy cerca del elemento analizar, con una sólida barrera de metal entre el rodamiento y el sensor. No es una buena idea colocar nada sobre las tapas de los cojinetes, ya que están construidas con un metal muy delgado y transmiten muy poca energía vibratoria. Es mejor si las

posiciones se pueden elegir de tal manera que no haya uniones entre el cojinete de metal y el sensor de metal representado en la ilustración 17-2 (White, 2017, p. 71).



**Ilustración 17-2:** Ubicación del acelerómetro

Fuente: (White, 2017)

## 2.8. Cartas de Charlotte

Las cartas de Charlotte ilustran los espectros de vibraciones de diferentes modos de falla.

### 2.8.1. Frecuencia de rotación de engranajes (1x)

La principal componente en frecuencia es la 1X correspondiente a la velocidad de giro de los engranajes, para determinar se utiliza la relación de transmisión como se ve en la ecuación 9-2:

**Ecuación 19-2:** Relación de transmisión

$$i = \frac{Z1}{Z2}$$

Donde:

z= número de dientes del engranaje

De esta manera se puede conocer la frecuencia fundamental a la cual se encuentran estos elementos y determinar las condiciones de funcionamiento de estos.

### 2.8.2. Frecuencia natural

La frecuencia natural de un oscilador es la frecuencia que tendría en ausencia del impulso y la amortiguación. El sistema oscilará con una amplitud relativamente alta si la frecuencia

impulsora es igual a la frecuencia natural del sistema. Si el soporte oscila a frecuencias menores o mayores a la frecuencia natural de la masa este oscilará a una mayor amplitud; este fenómeno se conoce como resonancia (Tipler, 2004, p. 416).

### 2.8.3. *GMF*

Cuando dos o más ruedas dentadas engranan, se producen ciertas frecuencias. Estas frecuencias están determinadas por la velocidad de las ruedas dentadas, así como por el número de dientes de las ruedas dentadas. La denominada frecuencia de engrane de los engranajes, también conocida como GMF, puede calcularse multiplicando el número de dientes  $Z$  de un engranaje (piñón o rueda) por la velocidad a la que está funcionando.

#### Ecuación 20-2: GMF

$$GMF = Z_{\text{piñón}} * RPM_{\text{piñón}} = Z_{\text{rueda}} * RPM_{\text{rueda}}$$

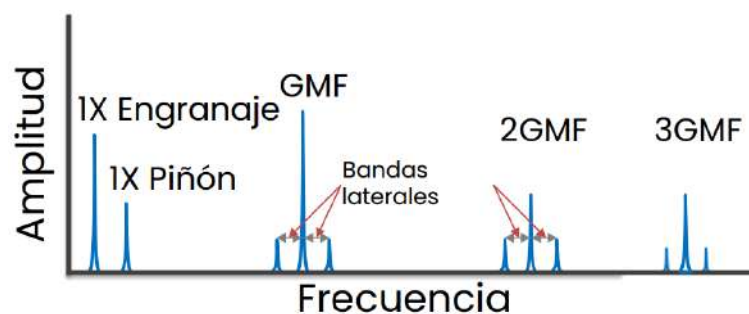
Donde:

$Z$  = número de dientes.

RPM = revoluciones por minuto.

### 2.8.4. *Espectro normal de un engranaje*

El espectro indicará armónicos 1 X RPM del piñón impulsado y la rueda impulsada. Además de esto, mostrará las bandas laterales que se encuentran cerca de la frecuencia de engrane de engranajes (GMF) y sus armónicos muy pequeños. No se alteran las frecuencias naturales de los engranajes. Si el engranaje vibra en picos que tienen un nivel relativamente bajo, esto indica que el engranaje está en buen estado.

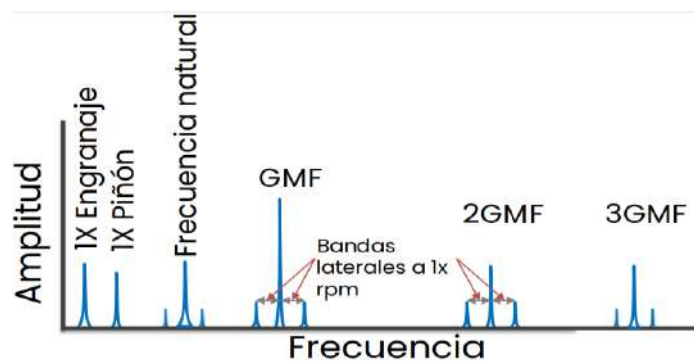


**Ilustración 18-2:** Espectro normal de un engranaje

Fuente: (Delgado Barrera, 2020)

### 2.8.5. Diente roto

Un diente agrietado o roto produciría una gran amplitud a 1X RPM en la forma de onda, además de excitar la frecuencia natural del engranaje y producir bandas laterales 1X. La forma de onda exhibirá un pico de gran tamaño cada vez que el diente quebrado o agrietado haga contacto con los dientes del engranaje de acoplamiento, es donde se puede encontrar más fácilmente las amplitudes máximas de choque en la forma de onda. El 1/RPM del diente roto del engranaje equivaldrá al intervalo ( $\Delta$ ) entre golpes. Por lo general, de 10 a 20 veces más que aquellos a 1X RPM en el espectro. En el espectro observamos picos de la frecuencia de resonancia del engranaje y su aumento de amplitud.

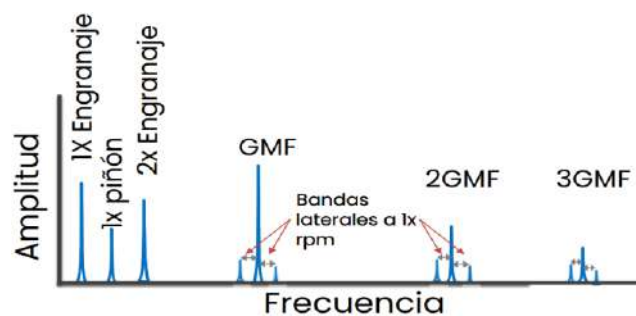


**Ilustración 19-2:** Espectro de engranaje con diente roto

Fuente: (Delgado Barrera, 2020)

### 2.8.6. Desalineación lineal de engranajes

Es posible que el problema provenga de una desalineación en alguno de los acoplamientos o de otro elemento externo, como por ejemplo un problema en la bancada. Hace que sea más difícil encajar entre los dientes en las áreas de los engranajes donde están desalineados, lo que da como resultado una breve caída en la velocidad a la que giran los engranajes. En la ilustración 20-2 se representa el espectro de desalineación (Galleguillos, Reyes, 2014, p. 27).

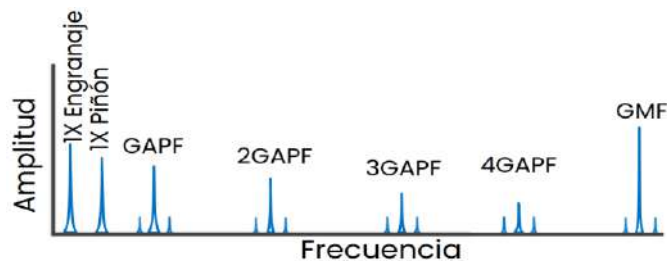


**Ilustración 20-2:** Espectro de engranaje con desalineación

Fuente: (Delgado Barrera, 2020)

### 2.8.7. Problemas de fase de ensamblaje

Las frecuencias de engrane fraccionarias se pueden producir a través de la frecuencia de fase de engranaje (GAPF). Implica que los dientes de un engranaje entrarán en contacto con los dientes del otro desgastándolo, cuyo número está determinado por el producto de los elementos primos que determinan cuántos dientes hay en el engranaje corona dentada impulsada y el piñón de mando ( $N_A$  o factor de fase de montaje). Si hay problemas con el proceso de producción, el GAPF (o los armónicos) pueden aparecer antes. (Villarreal 2020, p. 45).



**Ilustración 21-2:** Espectro con problemas de fase de ensamblaje

Fuente: (Villarreal 2020, p. 45)

#### Ecuación 21-2: GAPF

$$GAPF = \frac{GMF}{N_A}$$

$N_A$  = producto de los factores primos comunes de los números de dientes de los engranes.

GMF = frecuencia de engrane de los engranajes.

### 2.8.8. Factor cresta

El factor cresta se define como la relación entre el valor máximo  $V_{o(p)}$  valor pico, respecto al nivel 0 V, y el valor eficaz (rms).

#### Ecuación 22-2: Factor cresta

$$F_c = \frac{V_{o(p)}}{V_{o(rms)}}$$

Para una onda senoidal es de  $\sqrt{2} = 1,414$


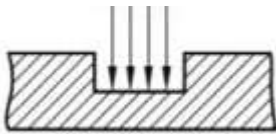
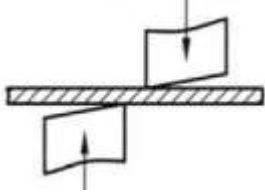
## 2.9. Mecanizado

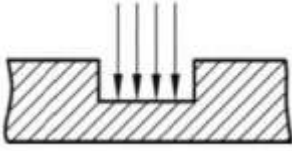
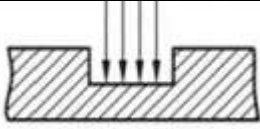
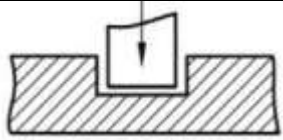
Cualquier proceso en el que el material se elimina progresivamente de una pieza de trabajo se denomina mecanizado. Esto incluye el corte de metal con herramientas (herramientas con filos de corte definidos geoméricamente), cada uno de los cuales tiene una forma y orientación aleatorias, se puede decir que los instrumentos con filos geoméricamente indeterminados tienen esta característica. En el campo de la ingeniería, los procedimientos de formación de virutas que conducen a una disminución de la masa se denominan "mecanizado" y el nombre "mecanizado" abarca todas estas actividades (Grzesik, 2008, pp. 1-2).

### 2.9.1. Tipos de mecanizado

En las operaciones de maquinado, la remoción de material generalmente se puede basar en una de las cuatro técnicas principales de remoción. Esta clasificación se basa en la categoría del proceso, se muestra en la Tabla 4-2 (el tipo de energía que se proporciona), la técnica de eliminación de material, así como ejemplos de procesos de acuerdo a su categoría (Grzesik, 2008, pp. 1-2).

**Tabla 4-2:** Clasificación de los procesos de mecanizado

Categoría de proceso básico		Método de eliminación fundamental	Ejemplos de procesos
Mecánico	I		Corte Torneado Fresado Taladrado Rectificado
	II		Corte por chorro de agua Mecanizado por chorro abrasivo Arenado, etc.
	IV		Supresión Taladro. Cizallamiento.

Categoría de proceso básico		Método de eliminación fundamental	Ejemplos de procesos
Térmico	II		Corte térmico (fusión). Mecanizado por haz de electrones. Mecanizado láser.
Químico	II		Grabado Corte térmico (combustión)
	III		Mecanizado electroquímico (ECM)

Fuente: (Grzesik, 2008, p. 3)

Realizado por: Pilamunga E, Quishpe O, 2023.

#### 2.9.1.1. Fresadora

La fresa es una herramienta multi corte de múltiples filos cuyos filos de corte están diseñados circunferencialmente. Esto permite que la fresa corte en varias direcciones a la vez. El cortador realiza un movimiento circular, y este movimiento de rotación sirve como movimiento de corte principal. La eliminación de virutas no se realiza de forma continua a lo largo de uno solo de los bordes de la fresa; más bien, se está haciendo en etapas a lo largo de varios bordes de la fresa (Arroyo, 2015, p. 30).

#### 2.9.1.2. Rectificadora

Dado que el esmerilado es una técnica utilizada en las últimas etapas de los procedimientos de precisión, los estándares de calidad son estrictos y cualquier daño en una pieza tiene un alto costo. El rectificado se presenta en una variedad de formas según el tipo de objeto que se deba mecanizar. Los criterios en cuanto a la integridad del acabado y la superficie y las tolerancias dimensionales son muy estrictos (Arroyo, 2015, p. 30).

Los parámetros importantes a tener en cuenta son:

- Velocidad de corte (m/min).
- Diámetro del disco (mm).



- Avance en mm/rev, de la herramienta.
- Avance en mm/min, de la herramienta.

Antes de comenzar a mecanizar, se debe seleccionar la velocidad de corte, expresada en metros por minuto (m/min), y su valor apropiado se determina por una variedad de factores, que incluyen la calidad, el tipo de herramienta utilizada, la profundidad de pasada, la dureza, maquinabilidad del material y la velocidad de avance utilizada.

**Ecuación 23-2:** Velocidad de corte

$$V_c = \frac{D \cdot \pi \cdot n}{1000}$$

Donde:

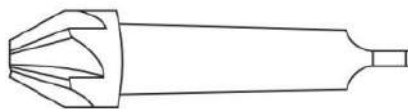
$V_c$ = velocidad de corte

$D$ = diámetro de la pieza (diámetro del disco)

$n$ = revoluciones por minuto

### 2.9.1.3. *Avellanado*

Un uso típico de un agujero avellanado es proporcionar un rebaje para la cabeza de un tornillo, o una superficie plana para una tuerca o un perno expuestos. El avellanado también se realiza en una máquina taladradora, y la ilustración 22-2 muestra la herramienta de avellanado de vástago cónico. Ángulos incluidos de 60° y 90° se mecanizan comúnmente, para acomodar las cabezas de los tornillos para proporcionar un acabado al ras (Simmons, Maguire, Phelps, 2020, pp. 199).



**Ilustración 22-2:** Herramienta de avellanado de vástago cónico

**Fuente:** (Delgado Barrera, 2020)

## CAPÍTULO III

### 3. MEJORA DE LOS MÓDULOS DE SIMULACIÓN DE FALLAS EN RUEDAS DENTADAS

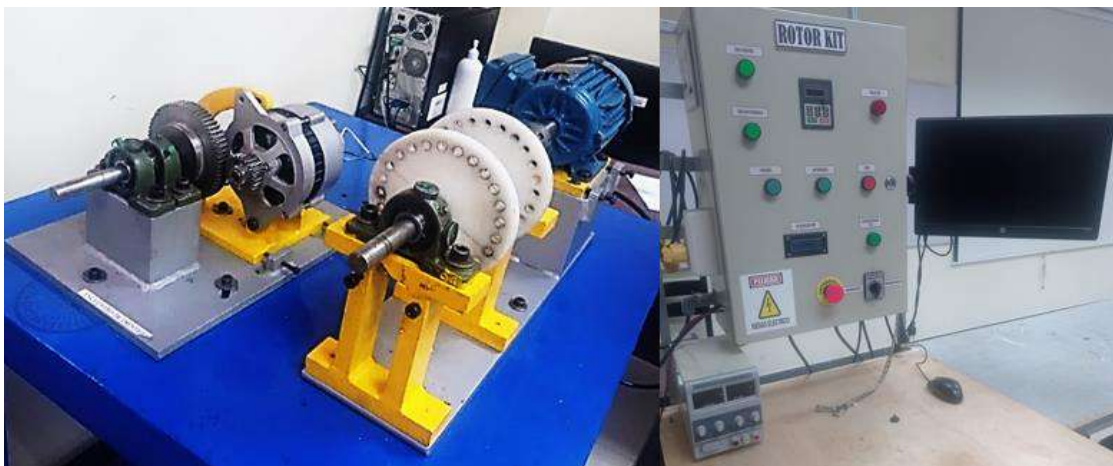
En este capítulo se determina las condiciones preliminares de los módulos de simulación de fallas de ruedas dentadas existentes en el Laboratorio de Diagnóstico Técnico. Se selecciona los componentes a utilizar tales como, motor, alternador, engranajes rectos, placas base, para la modelación en el software de diseño y así mismo se expondrá la construcción, el montaje y puesta en marcha del nuevo simulador de fallas en ruedas dentadas del rotor kit del Laboratorio de Diagnóstico Técnico y Eficiencia Energética de la Facultad de Mecánica.

#### 3.1. Módulos de simulación de fallas en ruedas dentadas

Los módulos de simulación en ruedas dentadas son de gran aporte para el desarrollo técnico, ya que permiten analizar los posibles fallos que se presentan en este tipo de elementos.

##### 3.1.1. Descripción de los módulos del rotor kit

El rotor kit es un simulador de fallas rotacionales en donde se puede representar diferentes modos de fallo acoplados a un motor, para que este funcione es importante que se encuentre operativo, por tal motivo, cuenta con un tablero eléctrico que alimenta de energía eléctrica al módulo y protege los componentes de mando y control del sistema eléctrico.



**Ilustración 1-3:** Módulo de simulación de fallas de engranajes del rotor kit

**Fuente:** (Pilamunga, Quishpe, 2023).

En el Laboratorio de Diagnóstico Técnico y Eficiencia Energética se cuenta con 4 módulos de simulación de fallas en ruedas dentadas. Como se puede observar en la Ilustración 1-3 cada módulo cuenta con: un motor eléctrico de ½ hp, un alternador de 12 V, cuatro chumaceras, dos ejes de 1 in, dos ruedas adaptadas para el desbalanceo, un engranaje de 64 dientes, un piñón de 24 dientes. Además, cada elemento cuenta con su respectivo soporte como es la placa base del motor, la placa base del alternador, y las respectivas bases para las chumaceras.

Es importante mencionar que cada módulo cuenta con su mesa de trabajo y todas las conexiones realizadas se localizan en su tablero eléctrico pertinente, también cuenta con una computadora en la cual se encuentran instalados los softwares MAINTraq Analyzer, Viewer y Predictive para la práctica de análisis vibracional.

### **3.1.2. Descripción del funcionamiento de los módulos**

En los módulos se pueden realizar distintas prácticas de laboratorio entre ellas desbalanceo, desalineación y distintos modos de fallas en engranajes como son: engrane con diente roto, desalineación lineal y la simulación de condiciones normales del engranaje.

#### **3.1.2.1. Desbalanceo**

En la práctica de desbalanceo se enciende el tablero eléctrico, posterior a ello se asegura el módulo y se instala el acelerómetro mediante el cable USB a la computadora. Para producir el desbalanceo se coloca un perno con diferentes pesos específicos en las ruedas adaptadas para esta práctica, después se enciende el motor en sentido horario, se ajusta la frecuencia deseada y se empieza a tomar las medidas de vibración en dirección vertical, horizontal y axial del apoyo de lado del acople. Finalmente, se guarda las mediciones de vibración obtenidas, para un posterior análisis en el software MAINTraq Predictive.

#### **3.1.2.2. Desalineación**

En los módulos presentes del Laboratorio se puede simular la desalineación del eje, por lo que es necesario realizar la práctica de alineación en la cual se busca tener la mayor precisión posible. En este procedimiento se utiliza el equipo TKSA 11 que cuenta con sensores inductivos de proximidad, con tres barras de referencia, dos soportes en V con cadenas, para realizar la alineación es necesario el uso de un teléfono inteligente el cual cuente con la aplicación de SKF y mediante la conexión bluetooth tener el acceso al software.

Para una correcta alineación en el eje es muy importante realizar el montaje adecuado de los equipos y de este modo enlazarse al dispositivo permitiendo la comunicación de los sensores inductivos y así visualizar la posición del instrumento, de tal manera analizar los valores de medición del sistema que ayudan a conocer el desplazamiento existente entre los ejes geométricos.

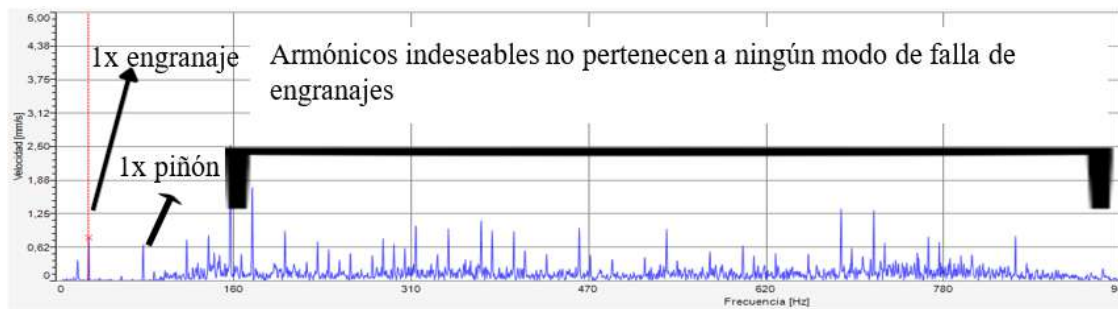
Es de suma importancia mencionar que la desalineación produce altas vibraciones y estas se pueden reflejar en el análisis vibracional de otro modo de falla.

### 3.2. Pruebas preliminares

Una vez descrito el funcionamiento de los módulos de simulación de fallas se realiza las pruebas de funcionamiento iniciales, con el propósito de determinar su estado actual para su respectiva mejora.

#### 3.2.1. Espectro normal de engranajes

Con la utilización del módulo existente se realiza el montaje de los engranajes que se encuentran en óptimas condiciones para encontrar el espectro normal del sistema de transmisión de engranajes rectos con la ayuda del software MAINTraq Analyzer.

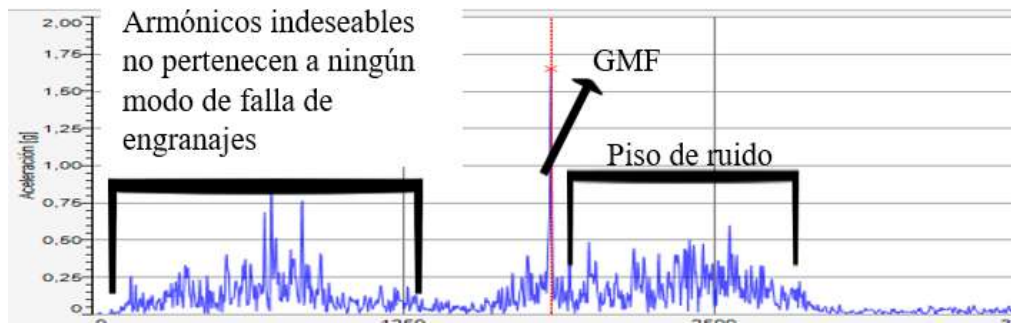


**Ilustración 2-3:** Prueba espectro normal

**Fuente:** (Pilamunga, Quishpe, 2023).

Se analizó el espectro característico representado en la Ilustración 2-3, en el que se observó las velocidades del engranaje y del piñón juntamente con la frecuencia de engranaje GMF representadas en la ilustración 3-3.

La presencia de armónicos indeseables en el espectro de velocidad ubicados a 154 Hz es la evidencia de las vibraciones externas que se producen en este modo de falla.



**Ilustración 3-3:** Análisis espectral normal

Fuente: (Pilamunga, Quishpe, 2023).

### 3.2.2. Forma de onda de diente roto

Con la utilización del módulo existente se realizó el montaje de los engranajes que se encuentran con fallas mecánicas en su estructura del engranaje para encontrar la forma de onda de diente roto del sistema de transmisión de engranajes rectos con la ayuda del software MAINTraq Analyzer.



**Ilustración 4-3:** Prueba diente roto

Fuente: (Pilamunga, Quishpe, 2023).

Este modo de falla se lo puede visualizar en la forma de onda característica representada en la Ilustración 4-3, en el que se observa la distancia de ondas de choque correspondientes al golpeteo entre el piñón y el diente roto del engranaje no coincide, sin embargo, se aprecia formas de onda externas, es decir ruido externo que pertenece a las vibraciones provocadas por el mal anclaje del módulo y por modos de falla no correspondientes a este análisis.

### 3.2.3. Espectro de desalineación

Con la utilización del módulo existente se realizó el montaje de los engranajes que se encuentran parcialmente desgastados para encontrar el espectro de desalineación del sistema de transmisión de engranajes rectos con la ayuda del software MAINTraq Analyzer.



**Ilustración 5-3:** Prueba desalineación

Fuente: (Pilamunga, Quishpe, 2023).

Se analizó el espectro obtenido representado en la Ilustración 5-3, en el que se observa que el GMF se encuentra a 1808 Hz, sin embargo, notamos que no se excita el armónico 2 GMF característico de una desalineación, esto se debe a que, al momento de desalinearse, no se puede realizar el movimiento adecuado para el encuentro de los dientes del engranaje y piñón.

### 3.3. Propuesta de mejora de los módulos de simulación

Es importante separar las simulaciones que fueron descritas en el ítem 3.1.2. ya que por el movimiento de los demás componentes se generan vibraciones excesivas correspondientes a otro modo de fallo. Se separa el módulo de simulación de fallas de ruedas dentadas destinado específicamente para este análisis y con un espacio propio en la mesa de trabajo.

Por tal motivo, se propone la elaboración de 4 módulos de simulación de fallas en ruedas dentadas, para cada rotor kit. Cada módulo contará con los elementos detallados en la Tabla 1-3.

**Tabla 1-3:** Elementos del módulo de simulación

Descripción	Cantidad
Motor Eléctrico de ½ Hp	1
Alternador de 12 V	1
Engranaje de 64 dientes	1
Piñón de 24 dientes	1
Placa fija	1
Base fija para el motor	2
Base móvil para el alternador	1
Soporte para el alternador	3
Base de ajuste para la base móvil	4
Tomacorriente	1

Realizado por: Pilamunga E, Quishpe O, 2023.

Cada módulo tendrá un modo de fallo específico, con la opción de modificarlo a las necesidades requeridas. Los modos de fallos planteados se colocarán de la siguiente manera:

- Rotor Kit 1: Espectro normal de engranajes
- Rotor Kit 2: Diente roto del engranaje
- Rotor Kit 3: Desalineación lineal de engranajes
- Rotor Kit 4: Problemas de fase en el ensamblaje del engranaje

### 3.3.1. Datos técnicos de los elementos del módulo

Detallados los elementos del módulo de simulación de fallas en ruedas dentadas en la Tabla 1-3, se especifica los datos técnicos de los componentes más importantes:

#### 3.3.1.1. Motor Eléctrico

Los motores eléctricos a utilizar son los mismos que se encuentran montados en los módulos de simulación de fallas en engranajes del rotor kit del Laboratorio de Diagnóstico Técnico.

**Tabla 2-3:** Datos técnicos del motor eléctrico

Datos	Descripción
Modelo	TE1BF
Serial	20FEV12
Potencia Mecánica	½ Hp
Intensidad	2,10 / 1,22 A
Factor de Potencia	0,69
Frecuencia	60 Hz
Velocidad	1700 RPM
Voltaje	220 / 380 V
Eficiencia	72 %
Temperatura de aislamiento del motor	135 °C

Realizado por: Pilamunga E, Quishpe O, 2023.

#### 3.3.1.2. Alternador

En la Tabla 3-3 se detalla los datos técnicos más importantes del alternador a utilizarse en cada módulo.

**Tabla 3-3:** Datos técnicos del alternador

Datos	Descripción
Marca	Toyota
Voltaje	12 V
Potencia	360 W
Intensidad	30 A
Frecuencia	60 Hz

Realizado por: Pilamunga E, Quishpe O, 2023.

### 3.4. Sistemas del módulo de simulación de fallas

Debido a los elementos que constituyen el módulo de simulación de fallas de ruedas dentadas es necesario identificar los sistemas que se encuentran presentes en el funcionamiento.

#### 3.4.1. Sistema de Potencia

Este sistema está constituido por un motor eléctrico trifásico WEG W22 High Efficiency con una potencia ½ Hp, construido de acuerdo con las especificaciones NEMA MG-1 que es utilizado para ambientes húmedos o ambientes severos y puede operar consumiendo el mínimo de energía posible con altos niveles de productividad y alta eficiencia, al ser utilizado en un módulo de simulación se puede determinar que se adapta completamente a las condiciones de trabajo.

##### 3.4.1.1. Potencia eléctrica nominal

La potencia de entrada del sistema de carga se calcula utilizando la Ecuación 16-2, considerando los requisitos de operación del motor trifásico WEG en su máxima capacidad, que se especifican en la Tabla 3-3.

$$\eta = \frac{0,5 * 746}{\sqrt{3} * 220 * 1,87 * 0,72} = 0,727$$

Obtenemos:

$$\eta = 72,7\%$$

Posteriormente procedemos a calcular la potencia eléctrica nominal de acuerdo con la Ecuación 15-2.



Donde:

$$\eta=72,83\%$$

Se obtiene:

$$P_e = \frac{0,37 \text{ kW}}{0,727} = 0,508 \text{ kW}$$

#### 3.4.1.2. *Potencia eléctrica medida*

Con la ayuda de un multímetro y los datos característicos del alternador, de acuerdo con la ecuación 17-2 determinamos la potencia necesaria para su funcionamiento:

$$P_{em} = \sqrt{3} * 12V * 35 \text{ A} * 0,6 = 436,47W$$

Se obtiene:

$$P_{em} = 0,436 \text{ kW}$$

#### 3.4.2. *Sistema de carga*

Para generar la carga necesaria para el sistema se ha utilizado un alternador de 12 voltios y 35 amperios, mediante el cual se puede regular la carga aplicada para el correcto funcionamiento del módulo de simulación de fallas de ruedas dentadas.

##### 3.4.2.1. *Cálculo de la carga*

Una vez determinada la potencia eléctrica y medida, determinamos la carga necesaria para su correcto funcionamiento, en base a la Ecuación 18-2.

$$\%Carga = \frac{0,436 \text{ kW}}{0,508 \text{ kW}}$$

Se obtiene:

$$\%Carga = 85,82\%$$

Obtenemos el 85,82% de la carga nominal en el funcionamiento del motor y engranajes, la cual trabajará de manera óptima para la simulación de modos de falla en engranajes.

### **3.4.3. Sistemas de transmisión**

Partiendo de los módulos existentes en el Laboratorio de Diagnóstico Técnico, se procede a mantener el diseño del engranaje y el piñón con 64 y 24 dientes respectivamente; por lo tanto, de acuerdo con la Ecuación 19-2, se determina su relación de transmisión.

$$i = \frac{64 \text{ dientes}}{24 \text{ dientes}} = 2 \frac{2}{3} = 2,667$$

Se determina que por cada vuelta del engranaje el piñón dará 2,667 vueltas aproximadamente 3 vueltas para el piñón.

#### **3.4.3.1. Selección del engranaje**

##### **Paso circular**

Para determinar el valor del paso hacemos uso de la Ecuación 11-2:

Donde:

$$m=2$$

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

##### **Espesor del diente**

Mediante el uso de la Ecuación 13-2 determinamos el espesor del diente

$$e = \frac{6,28}{2} = 3,14 \text{ mm}$$

##### **Ancho de dientes recomendado**

El ancho recomendado se determina con la Ecuación 14-2:

$$\frac{8*6,28\text{mm}}{\pi} < F < \frac{16*6,28\text{mm}}{\pi}$$

Obteniendo:

$$16\text{mm} < F < 31,98\text{mm}$$

### **Diámetro primitivo engranaje**

Para el cálculo del diámetro primitivo hacemos uso de la ecuación 4-2 el cual nos servirá de base para el diseño previo.

Donde:

$$Z1 = 64 \text{ mm}$$

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

Se obtiene:

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

### **Diámetro exterior**

Calculados los valores de diámetro primitivo y módulo determinamos el diámetro exterior con la Ecuación 8-2

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

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

### **Factor de sobrecarga Ko**

La carga aplicada que accionará al alternador juntamente con los engranajes pertenece al grupo de electrógenos de servicio continuo que son aquellos que proporcionan energía a una carga no variable, ya que la máquina de conducción es el motor eléctrico, de acuerdo con la Tabla 1-2 el factor Ko es de 1.

### **Velocidad de línea de paso**

La velocidad lineal de paso la determinamos mediante la velocidad angular del piñón y el radio del diámetro primitivo dando como resultado:

$$V=4440 \text{ rpm} * \frac{2\pi}{60} * 0,048\text{m}=22,32 \text{ m/s}$$

### **Factor de tamaño Ks**

Se considera el valor de 1 debido a que existe una uniformidad relacionada con el tamaño en las cualidades del material de acuerdo con AGMA.

### **Factor dinámico Kv**

De acuerdo con AGMA el nivel de precisión de la transmisión QV se considera de 8 debido a que su calidad de precisión es adecuada para transmisiones.

Determinamos el valor de B mediante la Ecuación 2-2

$$B = \frac{(12-8)^{2/3}}{4} = 0,63$$

Mediante la Ecuación 3-2 resolvemos el valor de A

$$A = 50 + 56(1 - 0,63) = 70,72$$

Una vez obtenidos los parámetros de B y A determinamos el factor dinámico Kv.

Donde:

$$A = 70,72$$

$$B = 0,63$$

$$V = 22,32 \text{ m/s}$$

$$K_v = \left( \frac{70,72 + \sqrt{200 * 22,62}}{70,72} \right)^{0,63}$$

Obtenemos:

$$K_v = 1,52$$

### 3.4.3.2. Selección del piñón

#### **Diámetro primitivo piñón**

Para el cálculo del diámetro primitivo hacemos uso de la Ecuación 4-2

Donde:

$$Z_1 = 24 \text{ mm}$$

$$D_{p1} = (2) * (24)$$

Se obtiene:

$$D_{p1} = 48 \text{ mm}$$

#### **Diámetro exterior piñón**

Calculados los valores de diámetro primitivo y módulo determinamos el diámetro exterior con la Ecuación 8-2

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

Obtenemos:

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

#### **Diámetro interior piñón**

El diámetro interior se puede determinar a través de la Ecuación 7-2.

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

Obtenemos:

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

### **Distancia entre centros**

Distancia entre centros. Se puede determinar con la ayuda de los diámetros primitivos y la Ecuación 12-2 de tal manera que:

Donde:

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

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

Se obtiene:

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

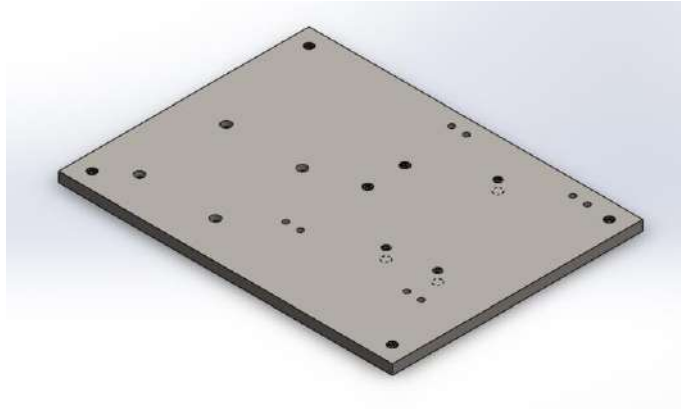
$$D_c=88 \text{ mm}$$

## **3.5. Modelación de los componentes del módulo**

Mediante un software de diseño asistido por computador se realiza el modelación de los componentes del módulo de simulación de fallas en ruedas dentadas, el cual inicia con el dimensionamiento de la placa base fija donde estarán montados los demás elementos como son: las bases fijas para el motor, la base móvil para el alternador, las bases fijas para el alternador y a su vez en ellas el motor, alternador y ruedas dentadas, en el cual se especifica las principales características de cada uno de los elementos.

### **3.5.1. Placa fija**

La base fija del módulo está acorde para que soporte el peso y la distribución de los demás elementos, por lo tanto, se utiliza una plancha de acero laminada en caliente con norma de fabricación NTE INEN 115, calidad ASTM A36 de 400 x 300 mm con un espesor de 12 mm. En esta base también hay un espacio para el socket, el cual se va a utilizar en la conexión del alternador. Los planos se pueden observar en el Anexo E.

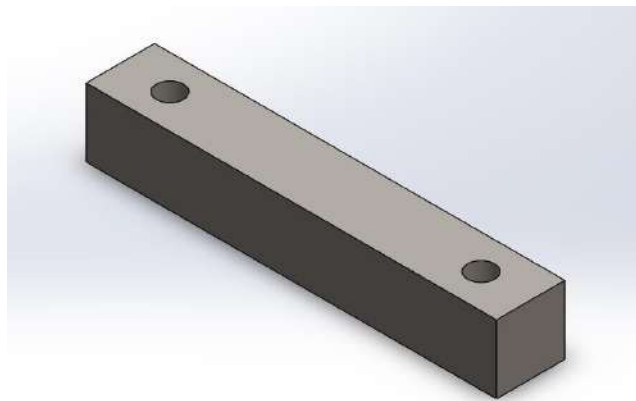


**Ilustración 6-3:** Placa base

Realizado por: Pilamunga E, Quishpe O, 2023.

### 3.5.2. *Base fija – motor*

Cada módulo cuenta con dos bases fijas para el montaje del motor, las mismas que son dos barras de acero laminado en caliente con norma de fabricación NTE INEN 115, calidad ASTM A36 de 120 x 20 mm con un espesor de 20 mm. Con la ayuda de estas bases se puede anclar la base del motor a la placa base y garantizar que el motor eléctrico permanezca fijo para que de esta manera no se generen vibraciones por el montaje. Los planos se pueden observar en el Anexo E.



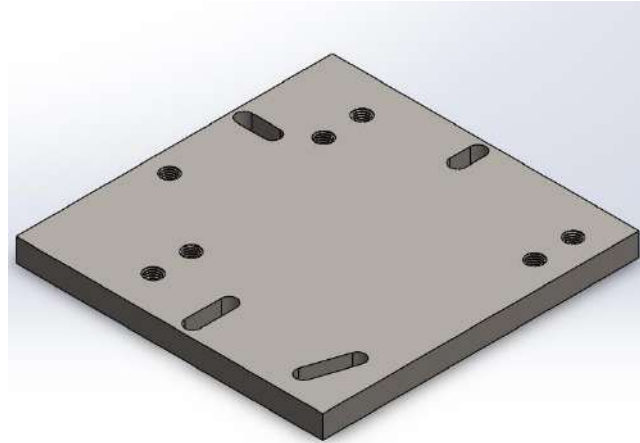
**Ilustración 7-3:** Base - motor

Realizado por: Pilamunga E, Quishpe O, 2023.

### 3.5.3. *Base móvil – alternador*

Esta base es una de las más importantes en el módulo de simulación de fallas en ruedas dentadas debido a que aparte de dar el soporte al alternador, se puede manipular para generar los distintos modos de falla propuestos con la ayuda de los agujeros diseñados en la placa.

Se utiliza una plancha de acero laminada en caliente con norma de fabricación NTE INEN 115, calidad ASTM A36 de 165 x 160 mm con un espesor de 12 mm, la misma que tiene un acabado superficial de gran precisión para que pueda deslizarse de manera adecuada sobre la placa base y de esta manera no se generen vibraciones por el contacto entre placas. Los planos se pueden observar en el Anexo E.

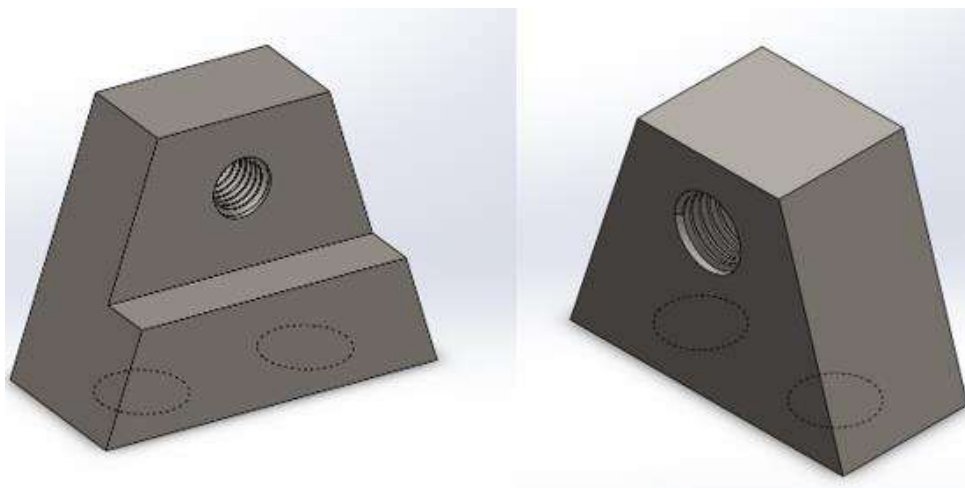


**Ilustración 8-3:** Base móvil - alternador

Realizado por: Pilamunga E, Quishpe O, 2023.

#### 3.5.4. Soportes alternador

Para que el alternador se mantenga fijo se utiliza tres soportes los cuales están distribuidos geoméricamente en la base móvil del alternador. Estas bases son barras de acero laminadas en caliente con norma de fabricación NTE INEN 115, calidad ASTM A36 de 40,5 x 21 mm con un espesor de 20 mm y una altura de 30 mm. Los planos se pueden observar en el Anexo E.



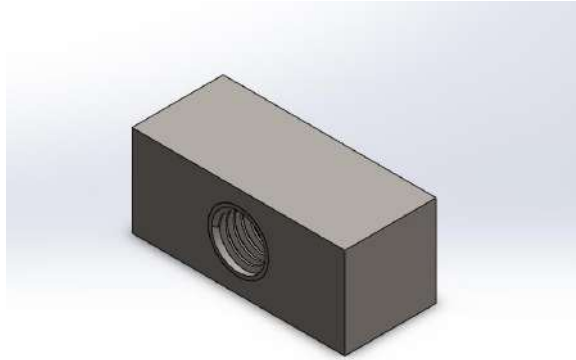
**Ilustración 9-3:** Base - Alternador

Realizado por: Pilamunga E, Quishpe O, 2023.



### 3.5.5. *Base de ajuste*

En cada módulo se colocan 4 bases de acero laminadas en caliente con norma de fabricación NTE INEN 115, calidad ASTM A36 de 35 x 155 mm con un espesor de 15 mm, las cuales permiten el ajuste de la placa móvil del alternador y de este modo asegurar dicha placa para que permanezca fija y no genere ningún tipo de vibración o movimiento que influya en el modo de falla a simularse. Los planos se pueden observar en el Anexo E.



**Ilustración 10-3:** Base de ajuste

**Realizado por:** Pilamunga E, Quishpe O, 2023.

### 3.5.6. *Base circular*

Esta base es de gran ayuda para asegurar el alternador y de esta manera no exista ningún tipo de desplazamiento. Este soporte es de acero inoxidable con un radio interno de 64 mm y un radio externo de 83 mm. Los planos se pueden observar en el Anexo E.

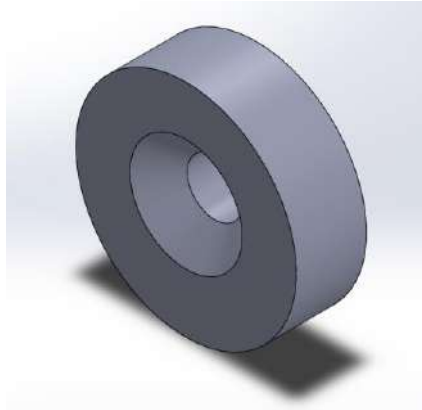


**Ilustración 11-3:** Base circular

**Realizado por:** Pilamunga E, Quishpe O, 2023.

### 3.5.7. *Inserto*

Es una base circular con un diámetro de 22 mm y un espesor de 7 mm, además consta con un agujero en el centro de diámetro de 5,50 mm en el cual se colocará un perno, esta base sirve como apoyo para colocar el acelerómetro y así tomar las mediciones de vibraciones correspondientes. Este elemento es de acero de transmisión (AISI 1018). Los planos se los puede observar en el anexo E.

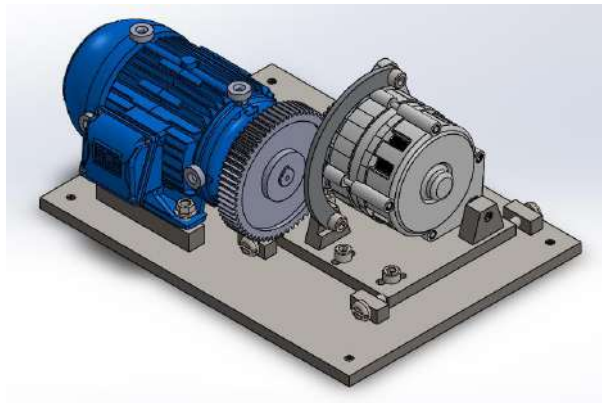


**Ilustración 12-3:** Inserto

**Realizado por:** Pilamunga E, Quishpe O, 2023.

### 3.5.8. *Ensamblaje del módulo*

Una vez realizado el diseño individual de los distintos componentes a utilizarse en el módulo, se procede a ensamblar el mismo en el software de diseño, el cual permite conocer en una escala 1:1 el dimensionamiento de los elementos y el correcto montaje del módulo. En la Ilustración 13-3 se observa el ensamblaje del módulo de simulación de fallas en ruedas dentadas.



**Ilustración 13-3:** Montaje del módulo de simulación

**Realizado por:** Pilamunga E, Quishpe O, 2023.

### 3.6. Adquisición de materiales

Finalizado el diseño del módulo y definido todos los componentes que se necesitan para la construcción de este, se procedió a comprar distintos los materiales necesarios.

#### 3.6.1. Plancha de acero

Teniendo en cuenta el diseño y el dimensionamiento realizado para la placas base del módulo, se procedió a comprar la plancha de acero A36 con un espesor de 12 mm, debido a su aplicación ya que se va a realizar análisis de vibraciones y se requiere que las placas permanezcan fijas a la mesa de trabajo, además que deben soportar el peso de los distintos elementos del módulo.



**Ilustración 14-3:** Adquisición de plancha de acero A36

Realizado por: Pilamunga E, Quishpe O, 2023.

#### 3.6.2. Alternadores

En base a los datos técnicos expuestos en la Tabla 3-3 se procede a comprar el alternador, teniendo en cuenta la función que va a realizar en el módulo de simulación de fallas en ruedas dentadas.



**Ilustración 15-3:** Adquisición de alternadores

Realizado por: Pilamunga E, Quishpe O, 2023.

### 3.6.3. Pernos y tuercas

Para realizar el montaje de los módulos y asegurar los distintos elementos, se procedió a comprar 16 pernos hexagonales M10 x 1,5 para el montaje de la placa base en la mesa de trabajo, 16 pernos hexagonales M10 x 1,25 cabeza plana con sus respectivas tuercas que ayudaran en el montaje del motor, 24 pernos hexagonales M8 x 1,25 cabeza plana para asegurar los soportes del alternador en la placa móvil, 16 pernos hexagonales M8 x 1,25 los cuales serán montados en la placa móvil para simular los distintos modos de fallo, 4 pernos hexagonales M10 x 1,5 para simular el modo de fallo de desalineación, 4 pernos M17 x 1,5 para el montaje del alternador.



**Ilustración 16-3:** Adquisición de pernos y tuercas

Realizado por: Pilamunga E, Quishpe O, 2023.

## 3.7. Mecanizado de elementos y construcción del módulo

En este apartado se detalla el paso a paso de la construcción del módulo de simulación de fallas en ruedas dentadas especificando el proceso de mecanización que se realizó a cada componente.

### 3.7.1. Placas fijas

Para la construcción de las placas fijas del módulo se siguió los siguientes pasos:

#### 3.7.1.1. Corte de la plancha

De acuerdo a las dimensiones de las placas fijas del módulo de simulación previamente establecidas en el software de diseño, se procedió a cortar mediante el proceso de oxicorte las 4 placas respectivas de la plancha de acero ASTM A36.



**Ilustración 17-3:** Corte de placas fijas

Realizado por: Pilamunga E, Quishpe O, 2023.

### 3.7.1.2. *Mecanizado de las placas base*

Después de cortar las placas a la medida que se requiere se procede a mecanizar las mismas de tal manera que se tenga un acabado superficial liso, con la ayuda de la fresadora como se observa en la Ilustración 18-3.



**Ilustración 18-3:** Mecanizado de placas fijas

Realizado por: Pilamunga E, Quishpe O, 2023.

A su vez se realizaron los agujeros presentados en el diseño de la placa base como se puede observar en la Ilustración 19-3, los mismos que ayudaran al montaje de los demás elementos del módulo de simulación.



**Ilustración 19-3:** Perforación de placas fijas

Realizado por: Pilamunga E, Quishpe O, 2023.

### 3.7.2. Placas – base móvil alternador

Las bases móviles del alternador son de suma importancia a continuación se detalla su construcción.

#### 3.7.2.1. Corte para las bases

La base móvil del alternador es una de las partes más importantes del módulo, ya que permite la simulación de los distintos modos de fallo, en base a las dimensiones de las bases previamente establecidas en el software de diseño, se procedió a cortar mediante el proceso de oxicorte las 4 placas respectivas de la plancha de acero ASTM A36 la que se observa en la Ilustración 20-3.



**Ilustración 20-3:** Corte de la base móvil del alternador

Realizado por: Pilamunga E, Quishpe O, 2023.

#### 3.7.2.2. Análisis superficial de las bases

Luego de cortar las bases en las que se va a encontrar el alternador, se las pule, con el fin de eliminar el exceso de material producido por el oxicorte. Se realiza el análisis superficial para determinar si las bases se encuentran lisas, con la ayuda de un reloj comparador se efectúa controles dimensionales de la placa como se observa en la Ilustración 21-3.



**Ilustración 21-3:** Análisis superficial

Realizado por: Pilamunga E, Quishpe O, 2023.

Este proceso se realiza debido a que este componente se va a desplazar sobre la placa fija del módulo para producir los distintos modos de falla.

### 3.7.2.3. Mecanizado de las bases móvil del alternador

Luego de determinar las irregularidades de las bases, se mecanizan las bases de tal manera que se tenga un acabado superficial liso, con la ayuda de la fresadora como se observa en la Ilustración 22-3, se retira la viruta y el exceso de material de los lados de la placa.



**Ilustración 22-3:** Mecanizado de base móvil

**Realizado por:** Pilamunga E, Quishpe O, 2023.

A su vez se realizaron los agujeros presentados en el diseño de la base móvil del alternador, en los cuales constan los ojos chinos y los agujeros para el montaje de los soportes del alternador, teniendo en cuenta que para tener un mejor acabado en el módulo se realizaron avellanados en la parte de los soportes para que estos se acoplen de mejor manera a la placa móvil, como se puede observar en la Ilustración 23-3, los mismos que ayudaran a la simulación de los distintos modos de falla en ruedas dentadas.



**Ilustración 23-3:** Agujeros de la placa móvil

**Realizado por:** Pilamunga E, Quishpe O, 2023.

### 3.7.3. Bases fijas - motor

A continuación, se detalla la construcción de las bases del motor.

#### 3.7.3.1. Corte de las bases del motor

Teniendo en cuenta las dimensiones de las bases fijas del motor del módulo de simulación previamente establecidas en el software de diseño, se procedió a cortar mediante el proceso de oxicorte las 8 placas respectivas de la plancha de acero ASTM A36 correspondientes a los 4 módulos de simulación.



**Ilustración 24-3:** Corte de bases del motor

**Realizado por:** Pilamunga E, Quishpe O, 2023.

#### 3.7.3.2. Mecanizado de las bases del motor

Tomando en cuenta que estas bases son el soporte para el motor en el montaje del módulo se procede a mecanizar de tal manera que se tenga un acabado superficial liso, con la ayuda de la fresadora como se observa en la Ilustración 25-3.



**Ilustración 25-3:** Mecanizado de bases del motor

**Realizado por:** Pilamunga E, Quishpe O, 2023.



Finalmente, se realizaron los agujeros presentados en el diseño de la base del motor como se puede observar en la Ilustración 26-3, los mismos que ayudaran para el anclaje del motor a la placa fija del módulo de simulación.



**Ilustración 26-3:** Acabado final de las bases del motor

Realizado por: Pilamunga E, Quishpe O, 2023.

#### **3.7.4. Soportes alternador**

Se detalla la construcción de los distintos soportes del alternador.

##### **3.7.4.1. Corte de los soportes del alternador**

En base a las dimensiones de los soportes del alternador establecidas en el software de diseño, se procedió a cortar mediante el proceso de oxicorte las 12 bases respectivas de la plancha de acero ASTM A36.



**Ilustración 27-3:** Corte de los soportes del alternador

Realizado por: Pilamunga E, Quishpe O, 2023.

##### **3.7.4.2. Mecanizado de los soportes del alternador**

Después de cortar los soportes del alternador a las dimensiones que se requiere, se procede a mecanizar las mismas con la finalidad que se tenga un acabado superficial liso, con la ayuda de la fresadora como se observa en la Ilustración 28-3.



**Ilustración 28-3:** Mecanizado de soportes del alternador

**Realizado por:** Pilamunga E, Quishpe O, 2023.

También se realizaron los agujeros presentados en el diseño de los soportes del alternador como se puede observar en la ilustración 29-3, los mismos que ayudaran al montaje del alternador en la placa móvil del módulo de simulación.



**Ilustración 29-3:** Acabado superficial de los soportes

**Realizado por:** Pilamunga E, Quishpe O, 2023.

### **3.7.5. Soporte circular**

Este soporte ayuda a que el alternador se mantenga fijo y a una altura predeterminada, a continuación, se detalla su construcción.

#### **3.7.5.1. Corte de los soportes circulares**

De acuerdo a las dimensiones de los soportes circulares del alternador establecidos en el software de diseño, se procedió a cortar con la amoladora las 4 bases respectivas de la plancha de acero ASTM A36, como se observa en la Ilustración 30-3.



**Ilustración 30-3:** Corte de los soportes circulares

**Realizado por:** Pilamunga E, Quishpe O, 2023.

### 3.7.5.2. *Mecanizado de los soportes del alternador*

Después de cortar los soportes se procede a darle la forma circular y agujerar, para que este se pueda sostener entre el soporte y el alternador. Eso se realiza con la ayuda de la entenalla para fijar el soporte cortado y con la ayuda de un mazo para conseguir el radio necesario. De tal manera que se consiga tener una altura adecuada y así el encuentro entre dientes del engranaje y el piñón sean perpendiculares al perno de sujeción. Finalmente, se le pule con la amoladora para tener un acabado superficial liso como se observa en la Ilustración 31-3.

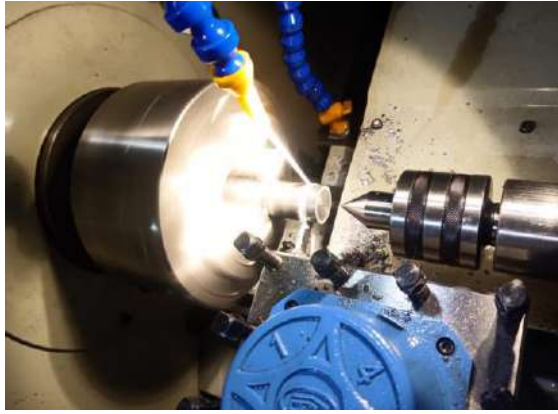


**Ilustración 31-3:** Mecanizado de los soportes circulares

**Realizado por:** Pilamunga E, Quishpe O, 2023.

### 3.7.6. *Mecanizado del inserto*

Para realizar la construcción de los insertos, fue necesario la utilización del torno en el cual se realizó el proceso del tronzado para poder cortar las placas al espesor requerido, como se observa en la Ilustración 32-3. Después de cortar las placas, se procede a realizar un agujero de 5 mm y se realiza el avellanado de las piezas, de tal manera que se pueda poner un perno hexagonal cabeza plana.



**Ilustración 32-3:** Mecanizado de los insertos

**Realizado por:** Pilamunga E, Quishpe O, 2023.

### **3.7.7. Mecanizado del piñón**

De acuerdo con los cálculos realizados para el diseño del piñón, se mecanizó este componente en acero de transmisión con la ayuda de un torno como se muestra en la Ilustración 33-3. Teniendo en cuenta que el piñón va acoplado al eje del alternador fue diseñado y fabricado para ser ajustado en el mismo.



**Ilustración 33-3:** Mecanizado de piñón

**Realizado por:** Pilamunga E, Quishpe O, 2023.

### **3.7.8. Mecanizado del engranaje**

En base a los cálculos realizados para el diseño del engranaje, se procedió a mecanizar este componente en acero de transmisión como se muestra en la Ilustración 34-3. Considerando que el engranaje va acoplado al eje del motor fue diseñado y fabricado para ser ajustado en el mismo con la ayuda del chavetero, de tal manera que se pueda ajustar de manera adecuada y así obtener un correcto engrane entre el engranaje del piñón para poder simular los distintos modos de falla mencionados.



**Ilustración 34-3:** Mecanizado de engranaje

**Realizado por:** Pilamunga E, Quishpe O, 2023.

Al finalizar el mecanizado se obtiene como resultado 4 engranajes y 4 piñones los mismos que serán utilizados para el análisis de vibraciones del módulo.

### **3.8. Acabado de los módulos**

Finalizado el proceso de mecanizado de todas las piezas del módulo de simulación de fallas, se procede a darle un acabado final antes de realizar el montaje. Este consiste en pintar las superficies de las piezas, con la finalidad de alargar el tiempo de las placas de acero antes que empiecen a oxidarse.

#### **3.8.1. Preparación de las piezas**

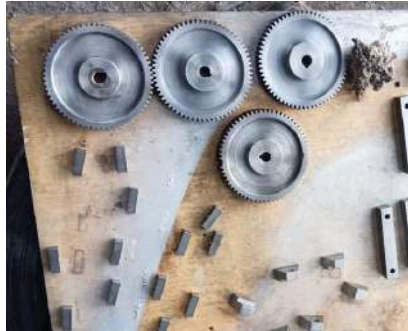
Para empezar con el proceso, lo primero que se realizó fue lijar todas las piezas con una lija 400, con la finalidad de desprender toda partícula que se encontraba adherida al metal como se observa en la Ilustración 35-3.



**Ilustración 35-3:** Lijado de las piezas

**Realizado por:** Pilamunga E, Quishpe O, 2023.

También es importante la limpieza, por lo cual con guaípe y tiñer se les limpio a cada una de las piezas como se observa en la Ilustración 36-3. De tal manera que las superficies de los componentes queden limpias y sin restos de grasa, polvo, suciedad o agentes corrosivos que pudiera tener el metal.



**Ilustración 36-3:** Limpieza de las piezas

Realizado por: Pilamunga E, Quishpe O, 2023.

### **3.8.2. Pintado de las piezas**

Después de que todos los elementos se encuentren completamente limpios, se pintó las piezas con una capa de pintura de un tono bajo para tener una mejor adherencia de la pintura a utilizarse en cada una de las piezas, en la Ilustración 37-3 se observa el primer tono de pintura utilizado.



**Ilustración 37-3:** Pintado inicial de las piezas

Realizado por: Pilamunga E, Quishpe O, 2023.

Una vez que todos los componentes se encuentren secos, se procede a pintar todas las piezas con la pintura elegida. Teniendo en cuenta que las placas fijas, las bases de ajuste y las bases del

motor son de color gris y los demás componentes del módulo son de color amarillo. En la Ilustración 38-3 se observa el acabado final de todas las piezas.



**Ilustración 38-3:** Acabado final de las piezas

**Realizado por:** Pilamunga E, Quishpe O, 2023.

Finalmente, se espera que la pintura se seque para después realizar el montaje de los módulos en el Laboratorio de Diagnóstico Técnico y Eficiencia Energética.

### **3.9. Montaje del módulo**

Finalizado el proceso de mecanizado a cada uno de los elementos se realiza el montaje del módulo, el mismo que se detallará paso a paso.

#### **3.9.1. Montaje de las bases de ajuste**

En vista que estas bases van empernadas a la placa fija del módulo son las primeras en ser colocadas por el hecho que la base del módulo tiene avellanados para que queden geoméricamente uniformes se utilizó pernos hexagonales cabeza plana M8 X 1,25 en la Ilustración 39-3 se observa la instalación de estas bases.



**Ilustración 39-3:** Colocación de las bases de ajuste

**Realizado por:** Pilamunga E, Quishpe O, 2023.

Al terminar el montaje de las bases de ajuste en la placa fija del módulo se obtiene como resultado la Ilustración 40-3. La finalidad de estas bases es sostener a la placa móvil al momento de simular un modo de fallo.



**Ilustración 40-3:** Montaje de las bases de ajuste

Realizado por: Pilamunga E, Quishpe O, 2023.

### **3.9.2. Montaje de las bases del motor**

El montaje de las bases del motor se realiza en la placa fija del módulo teniendo en cuenta que la placa fija tiene avellanados para la colocación de estos pernos se utiliza 4 pernos hexagonales cabeza plana M10 x 1,25 como se observa en la Ilustración 41-3.



**Ilustración 41-3:** Montaje de las bases del motor

Realizado por: Pilamunga E, Quishpe O, 2023.

### **3.9.3. Montaje de la placa fija**

Para poder realizar el montaje de la placa fija, se tuvo que hacer una adecuación en la mesa de trabajo, lo que corresponde a los 4 agujeros como se observa en la Ilustración 42-3.





**Ilustración 42-3:** Adecuación de la mesa de trabajo

**Realizado por:** Pilamunga E, Quishpe O, 2023.

Después del montaje de las bases en la placa fija se procede a colocar la misma en la mesa de trabajo con la utilización de 4 pernos M10 x 1,5 como se observa en la Ilustración 43-3, para asegurar la placa y así evitar posibles movimientos o desplazamientos.



**Ilustración 43-3:** Montaje de la placa fija

**Realizado por:** Pilamunga E, Quishpe O, 2023.

#### **3.9.4. Montaje del motor**

Para realizar el montaje del motor primero se requiere hacer una conexión triángulo – triángulo en la bornera del motor como se observa en la Ilustración 44-3.



**Ilustración 44-3:** Conexiones del motor

**Realizado por:** Pilamunga E, Quishpe O, 2023.

Una vez realizada las conexiones respectivas para que el motor pueda funcionar correctamente a 220 V y colocada la placa fija en la mesa de trabajo se procede a montar el motor en sus respectivas bases como se observa en la Ilustración 45-3



**Ilustración 45-3:** Montaje del motor

Realizado por: Pilamunga E, Quishpe O, 2023.

El anclaje del motor en las bases se realiza con las respectivas tuercas de los pernos con la finalidad de tener mayor acceso al momento de ajustar el motor y a su vez cuando se lo quiera retirar para alguna revisión técnica.

### **3.9.5. Montaje del engranaje**

Teniendo en cuenta que el engranaje va colocado en el eje del motor se realiza el montaje, el que se observa en la Ilustración 46-3.



**Ilustración 46-3:** Montaje del engranaje

Realizado por: Pilamunga E, Quishpe O, 2023.

### **3.9.6. Montaje del piñón**

Considerando que el piñón va colocado en el eje del alternador se realiza el montaje en la Ilustración 47-3 y este se lo asegura con una tuerca flange 22 x 1,25.



**Ilustración 47-3:** Montaje del piñón

**Realizado por:** Pilamunga E, Quishpe O, 2023.

### **3.9.7. Montaje de las bases del alternador**

Se cuenta con tres bases para el montaje del alternador, estas van ancladas a la base móvil con pernos hexagonales cabeza plana M8 x 1,25, estos van colocados 2 por cada base y ajustados de tal manera que queden geoméricamente perpendiculares a la base móvil como se observa en la Ilustración 48-3.



**Ilustración 48-3:** Montaje de las bases del alternador

**Realizado por:** Pilamunga E, Quishpe O, 2023.

Se realiza el ajuste respectivo de cada uno de los pernos para el correcto anclaje de las bases del alternador en la base móvil del módulo el que se observa en la Ilustración 49-3.



**Ilustración 49-3:** Ajuste de las bases del alternador

**Realizado por:** Pilamunga E, Quishpe O, 2023.

### 3.9.8. *Montaje de la placa móvil*

Después que las tres bases circulares se encuentren aseguradas correctamente en la placa móvil, se fija, la misma en la base fija del módulo, para el montaje de la placa móvil se empleó 4 pernos Allen cabeza hexagonal M8 x 1,25 distribuidos según el diseño y 1 perno Allen cabeza hexagonal M10 x 1,5 que es perpendicular al encuentro entre dientes del engranaje y el piñón. Se debe tomar en cuenta que estos pernos y el montaje de la placa móvil varía de acuerdo con el modo de fallo que se está simulando, el montaje se observa en la Ilustración 50-3.



**Ilustración 50-3:** Montaje de la placa móvil

Realizado por: Pilamunga E, Quishpe O, 2023

### 3.9.9. *Montaje del alternador*

Colocadas las bases se procede a montar el alternador, con la ayuda de un perno M10 X 1, 25, el cual va cruzado de manera vertical entre las bases, el montaje se observa en la Ilustración 51-3.



**Ilustración 51-3:** Montaje del alternador

Realizado por: Pilamunga E, Quishpe O, 2023

### 3.9.10. Montaje de la base circular

Una vez que el alternador está sujeto a los soportes que se encuentran en la base móvil, es importante asegurarlo para que permanezca fijo, esto se realiza con la base circular y dos pernos M8 X 1,25 el montaje se observa en la Ilustración 52-3.



**Ilustración 52-3:** Montaje de la base circular

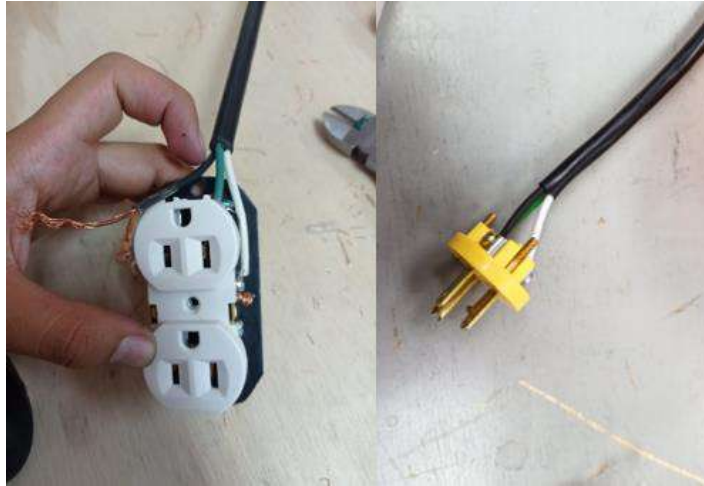
**Realizado por:** Pilamunga E, Quishpe O, 2023.

### 3.9.11. Conexión del alternador

Para que el módulo funcione correctamente se debe conectar el alternador de tal manera que el positivo de la fuente esté conectado a la fase de salida del alternador accionando el campo rotor, el negativo de la fuente está conectado a tierra común, cerrando el circuito mediante la conexión de un foco en serie, el cual es accionado por un interruptor que se encuentra conectado a la salida de batería del alternador. Por lo tanto, a mayor carga que se le dé al alternador, mayor será el freno magnético.

Teniendo en cuenta que los módulos serán utilizados con fines prácticos se implementa una técnica de calidad que se aplica con el fin de evitar errores en la operación del sistema, por lo cual, para prevenir confusiones en la conexión del alternador con el tablero de control y a su vez posibles imprevistos en la práctica de laboratorio, se conecta un cable concéntrico 3x14 AWG con un enchufe tipo H a la salida, y con los terminales conectados al alternador; de la salida del tablero de control se conecta un tomacorriente el cual se instaló en la mesa de trabajo y así garantizar el paso de corriente al alternador.

De este modo, se facilita la conexión del módulo para su puesta en marcha, cuando se requiera utilizarlo. La conexión del tomacorriente y el enchufe se observa de la Ilustración 53-3.



**Ilustración 53-3:** Conexión del tomacorriente y enchufe

Realizado por: Pilamunga E, Quishpe O, 2023.

### **3.9.12. Montaje de los insertos**

Los insertos son de suma importancia para realizar el análisis de vibraciones, ya que son el soporte donde se va a ubicar el acelerómetro. Para el montaje de los insertos se utilizó un perno hexagonal de cabeza plana M6 X 1,25 el cual va a permitir que se fije en la carcasa del motor y del alternador, para una mayor rigidez de estos. Se utilizó pegamento epoxico transparente el montaje se observa en la Ilustración 54-3.



**Ilustración 54-3:** Montaje de los insertos

Realizado por: Pilamunga E, Quishpe O, 2023.

### **3.9.13. Montaje final del módulo**

Finalmente se ajusta la base móvil en la placa fija del módulo, de tal manera que el engranaje y el piñón se engranen correctamente para poder simular los distintos modos de fallo propuestos, el montaje se observa en la Ilustración 51-3.



**Ilustración 55-3:** Montaje final del módulo

**Realizado por:** Pilamunga E, Quishpe O, 2023.

Es importante mencionar que el montaje de la base móvil puede variar de acuerdo con el modo de fallo que se requiera realizar.

### **3.10. Puesta en marcha de los módulos**

Una vez finalizado el montaje de los módulos de simulación de fallas en ruedas dentadas en el Laboratorio de Diagnóstico Técnico y Eficiencia Energética se realiza las pruebas de funcionamiento. Realizado la verificación de ajuste de los pernos se coloca el acelerómetro en los distintos puntos de análisis y se toma las mediciones.

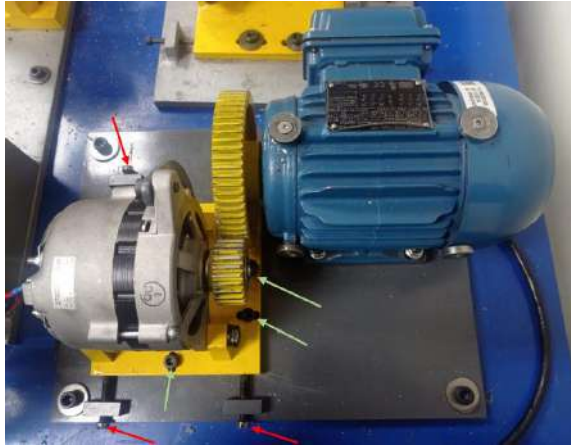


**Ilustración 56-3:** Puesta en marcha del módulo

**Realizado por:** Pilamunga E, Quishpe O, 2023.

#### **3.10.1. Espectro normal**

El módulo de espectro normal está colocado en el rotor kit 1, en el cual se representa que los engranajes se encuentran a condiciones normales, por lo tanto, la placa móvil está centrada y los engranajes en óptimas condiciones.



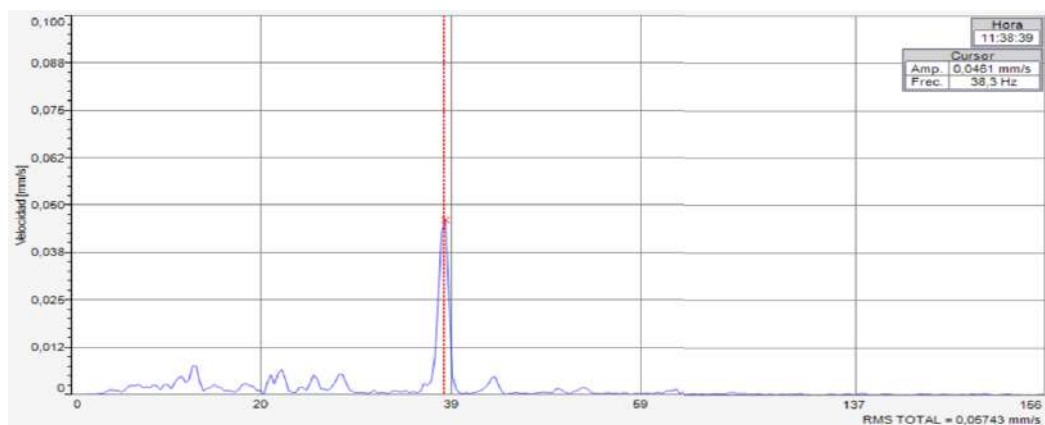
**Ilustración 57-3:** Módulo con espectro normal

Realizado por: Pilamunga E, Quishpe O, 2023.

En la Ilustración 57-3 se observa el correcto montaje del módulo, las flechas rojas indican que los pernos que van anclados en las bases de ajuste están centrado la placa móvil, y las flechas verdes indican que los pernos de anclaje para la placa móvil están correctamente ajustados y a su vez centrados en los ojos chinos, de esta manera se obtiene un funcionamiento normal de los engranajes.

### 3.10.1.1. Medición de la frecuencia natural del módulo de espectro normal

Para obtener la medida de la frecuencia natural se colocó el acelerómetro en la rueda dentada de forma vertical y se le dio un golpe con el mazo para medir la vibración después del golpe. En la Ilustración 58-3 se observa el espectro obtenido.



**Ilustración 58-3:** Frecuencia natural del módulo a condiciones normales

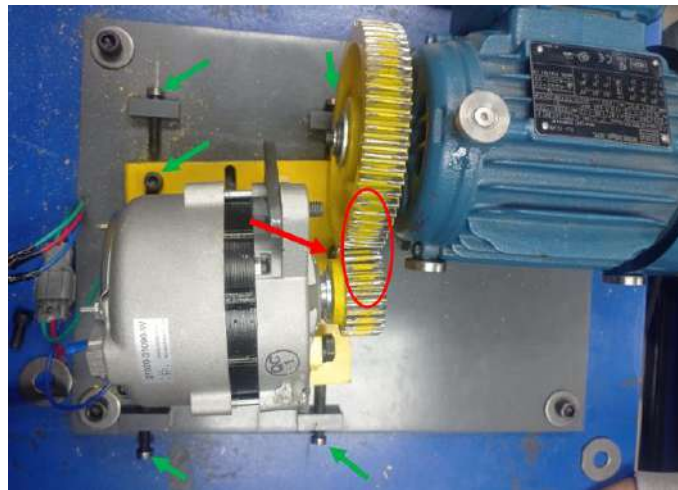
Realizado por: Pilamunga E, Quishpe O, 2023.

Como se observa en la Ilustración 58-3 la frecuencia natural obtenida es de 38,3 Hz con una amplitud de 0,0461 mm/s.



### 3.10.2. Desalineación de engranajes

En el módulo de desalineación de engranajes colocado en el rotor kit 3 se representa que las ruedas dentadas no se encuentran en la misma línea de centros, por tal motivo al momento en que las ruedas dentadas engranan, estos elementos no lo harían uniformemente produciéndose así un desgaste. Para simular este modo de fallo la placa móvil del alternador se encuentra con una inclinación de  $4^\circ$  para que el piñón choque de manera diagonal con el engranaje simulando la desalineación.



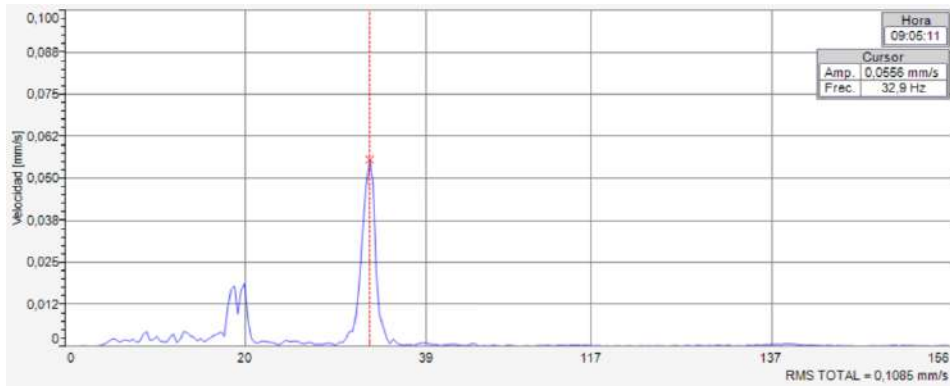
**Ilustración 59-3:** Módulo de desalineación de engranajes

**Realizado por:** Pilamunga E, Quishpe O, 2023.

En la Ilustración 59-3 se observa el correcto montaje del módulo, las flechas rojas indican el perno de anclaje el cual es primordial para realizar la desalineación, este perno se encuentra perpendicular al encuentro entre dientes de las ruedas dentadas y permite realizar los movimientos requeridos hasta llegar a la inclinación requerida de desalineación, las flechas verdes indican la ubicación de los demás pernos para la placa móvil y el ajuste que realizan los pernos de las bases de ajuste se debe tomar en cuenta que estos deben estar correctamente colocados.

#### 3.10.2.1. Medición de la frecuencia natural del módulo de desalineación

Se tomó la medida de la frecuencia natural correspondiente al módulo de desalineación para lo cual se colocó el acelerómetro en la rueda dentada y se midió la vibración después del golpe. En la Ilustración 60-3 se observa el espectro obtenido.



**Ilustración 60-3:** Frecuencia natural del módulo de desalineación de engranajes

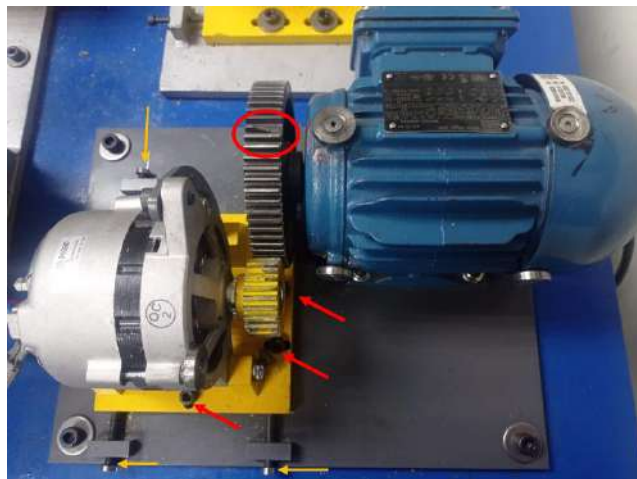
Realizado por: Pilamunga E, Quishpe O, 2023.

Como se observa en la Ilustración 60-3 la frecuencia natural obtenida es de 32,9 Hz con una amplitud de 0,0556 mm/s.

### 3.10.3. *Diente roto del engranaje*

El módulo de diente roto se encuentra colocado en el rotor kit 3 en este se puso un engranaje con rotura en el diente y se fijó la placa móvil de forma centrada para que se tenga un buen engrane entre las ruedas dentadas y así poder simular el modo de fallo.

En la Ilustración 61-3 se observa las características principales de este módulo, en el círculo de color rojo se ve la rotura que tiene el diente del engranaje, las flechas rojas señalan los pernos de anclaje de la placa móvil indicando que se encuentra centrada y las flechas amarillas muestran que los pernos de las bases de ajuste deben hacer presión sobre la placa móvil para que no se mueva al momento de realizar la práctica de este modo de fallo.

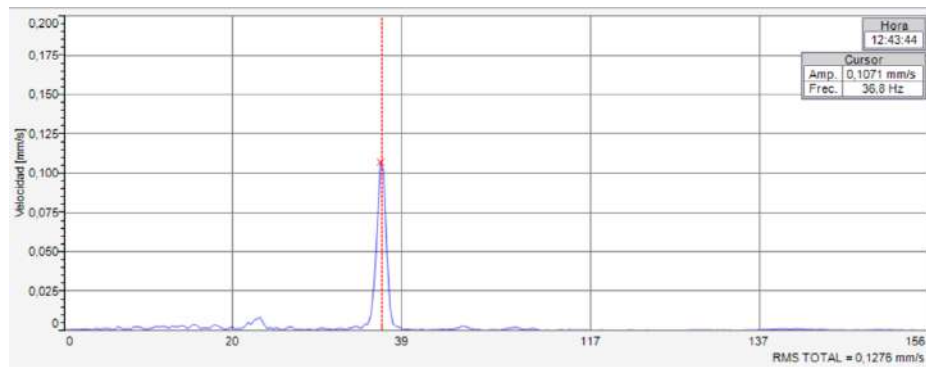


**Ilustración 61-3:** Módulo de diente roto

Realizado por: Pilamunga E, Quishpe O, 2023.

### 3.10.3.1. Medición de la frecuencia natural del módulo de diente roto

Se tomó la medida de la frecuencia natural del engranaje con la rotura en el diente para lo cual se colocó el acelerómetro en la rueda dentada de forma vertical y se le dio un golpe para medir su vibración mediante el software MAINTraQ Viewer. En la Ilustración 62-3 se observa el espectro obtenido.



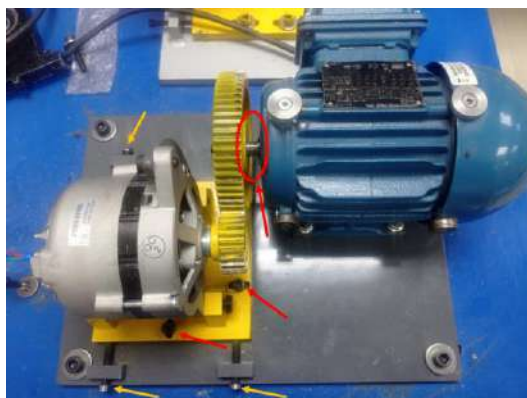
**Ilustración 62-3:** Frecuencia natural del módulo de diente roto

Realizado por: Pilamunga E, Quishpe O, 2023.

Como se observa en la Ilustración 62-3 la frecuencia natural obtenida es de 36,8 Hz con una amplitud de 0,1071 mm/s.

### 3.10.4. Problemas de fase en el ensamblaje del engrane

El módulo de problemas de fase en el ensamblaje del engrane colocado en el rotor kit 4, para obtener este modo de falla se realizó una mala manufactura provocada y a su vez un mal montaje, por lo tanto, el engrane entre ruedas dentadas no es uniforme a pesar que la placa móvil se encuentra centrada.



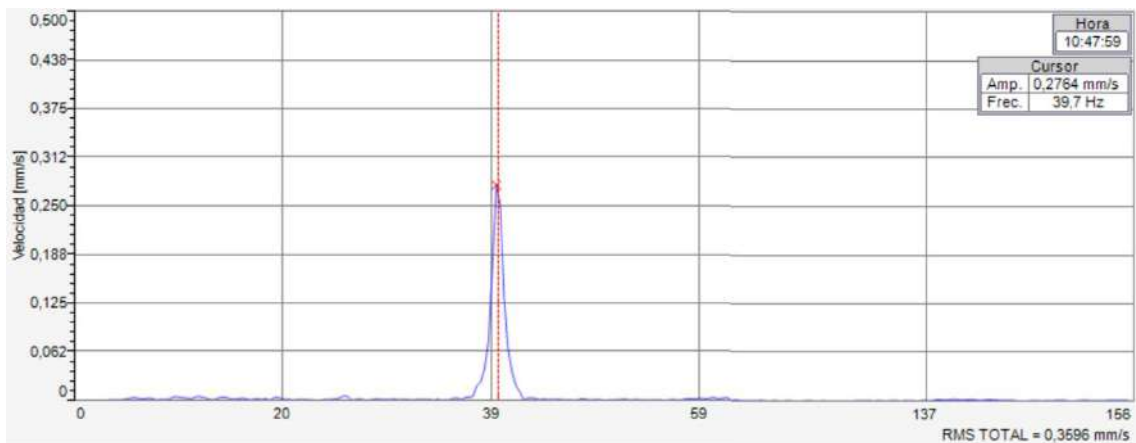
**Ilustración 63-3:** Módulo problemas de fase en el ensamblaje

Realizado por: Pilamunga E, Quishpe O, 2023.

En la Ilustración 63-3 se observa las características de este modo de fallo, el círculo de color rojo indica la mala manufactura realizada en el engranaje ya que este no tiene tope con el motor lo que genera que se mueva de manera horizontal, ya que no tiene un ajuste adecuado que lo mantenga fijo presentando así un movimiento irregular, las flechas rojas indican que los pernos que van anclados en las bases de ajuste están centrado la placa móvil, y las flechas amarillas indican que los pernos de las bases de ajuste fijan la placa móvil para que está permanezca fija y se pueda realizar la práctica requerida para simular el modo de fallo y así obtener las mediciones requeridas.

#### 3.10.4.1. Medición de la frecuencia natural del módulo con problemas en la fase

Se realizó la medición para obtener de la frecuencia natural del módulo con problemas en la fase de ensamblaje, para lo cual se colocó el acelerómetro en la rueda dentada con mala manufactura de forma vertical y de este modo medir la vibración después del golpe con la ayuda del software MAINTraQ Viewer en el espectro de velocidad. En la Ilustración 58-3 se observa el espectro obtenido.



**Ilustración 64-3:** Frecuencia natural del módulo con problemas de fase en el ensamblaje


**Realizado por:** Pilamunga E, Quishpe O, 2023.

Como se observa en la Ilustración 64-3 la frecuencia natural obtenida es de 39,7 Hz con una amplitud de 0,2764 mm/s.

### 3.11. Análisis técnico económico

Para la construcción de los módulos de simulación de fallas se realizaron algunas actividades que se completaron durante la creación del módulo de simulación, tienen costos asociados, los cuales se detalla a continuación.


**Tabla 4-3:** Costo de adquisición de materiales

		Detalle económico adquisición de materiales		
Versión 1		Detalle de costos	N°	001
16/12/2022		Módulo de simulación de engranajes		
N°	Descripción	Cant.	P. Unitario (USD)	Total (USD)
1	Acero ASTM A36 20mm	5 kg	1,65	8,25
2	Acero ASTM A36 12mm	48 kg	1,67	80,16
3	Acero ASTM A36 20mm	4 kg	1,65	6,60
4	Eje AISI 1018 1.in (3,9777 kg/mt)	3,98 kg	2,19	8,72
5	Eje AISI 1018 2.in (15,91 kg/mt)	4,97 kg	4,38	21,77
6	Eje AISI 1018 5.in (99,44 kg/mt)	14,92 kg	10,95	163,37
<b>Valor total + IVA</b>				<b>288,87</b>

Realizado por: Pilamunga E, Quishpe O, 2023.

Para la construcción de las distintas bases del módulo se cortó las placas de acero adquiridas mediante el método de oxicorte para facilitar el mecanizado, el costo se detalla en la Tabla 5-3.


**Tabla 5-3:** Costo de oxicorte del acero ASTM A36

		Detalle económico oxicorte		
Versión 1		Detalle de costos	N°	002
16/12/2022		Módulo de simulación de engranajes		
N°	Descripción	Cant.	P. Unitario (USD)	Total (USD)
1	Acero ASTM A36 20mm x120 mm x20 mm	8	0,45	3,60
2	Acero ASTM A36 12mm x 300 mm x 400mm	4	1,12	4,48
3	Acero ASTM A36 12mm x 165 mm x 160 mm	4	0,52	2,08
4	Acero ASTM A36 20mm x 30 mm x 40mm	12	0,336	4,03
<b>Valor total + IVA</b>				<b>14,19</b>

Realizado por: Pilamunga E, Quishpe O, 2023.

Los implementos eléctricos son de suma importancia en el funcionamiento del módulo, por este motivo se adquirió ciertos componentes que se detallan en la Tabla 6-3.


**Tabla 6-3:** Costo de implementos eléctricos

		Detalle económico implementos eléctricos			
Versión 1		Detalle de costos		N°	003
16/12/2022		Módulo de simulación de engranajes			
N°	Descripción	Uni.	Cant.	P. Unitario (USD)	Total (USD)
1	Alternador	u	4	60,00	240,00
2	Cable concéntrico 3x14 AWG	m	12	1,34	16,08
3	Enchufe vinyl “cooper” 4866	u	4	2,68	10,72
4	Terminal ojo azul CNC 5mm	u	12	0,09	1,08
5	Tomacorriente	u	4	6	24
<b>Valor total + IVA</b>					291,88

**Realizado por:** Pilamunga E, Quishpe O, 2023.

Para el mecanizado del módulo se adquirió herramientas que faciliten el proceso, el detalle económico de estos se observa en la Tabla 7-3.


**Tabla 7-3:** Costo de herramientas

		Detalle económico de herramientas			
Versión 1		Detalle de costos		N°	004
16/12/2022		Módulo de simulación de engranajes			
N°	Descripción	Uni.	Cant.	P. Unitario (USD)	Total (USD)
1	Juego de brocas avellanadoras	u	1	13,90	13,90
2	Broca HSS 3/16 in Dewalt	u	2	0,64	1,28
3	Broca HSS 3/8 in Dewalt	u	4	2,24	8,96
4	Machuelos	u	1	6,75	6,75
5	Chuchilla para torno HSS 3/8 in	u	1	3,51	3,51
<b>Valor total + IVA</b>					34,4

**Realizado por:** Pilamunga E, Quishpe O, 2023.

En el montaje del módulo fue necesario la utilización de varios componentes importantes, que permitieron el ajuste de las distintas placas, bases, y demás elementos del módulo de simulación de fallas en ruedas dentadas, el detalle económico de cada uno de estos elementos se observa en la Tabla 8-3.


**Tabla 8-3:** Costos generales

		Detalle económico costos generales			
Versión 1		Detalle de costos		N°	005
16/12/2022		Módulo de simulación de engranajes			
N°	Descripción	Uni.	Cant.	P. Unitario (USD)	Total (USD)
1	Perno Allen mm AV 8 x 50	u	4	0,44	1,76
2	Perno Allen mm G8 8 x 25	u	12	0,18	2,16
3	Perno Allen mm G8 10 x 25	u	4	0,31	1,24
4	Perno Allen mm G8 10 x 50	u	16	1,10	17,60
5	Perno cabeza plana métrico A2 5 x 20	u	24	0,25	6,00
6	Perno cabeza plana métrico A2 5 x 10	u	16	0,10	1,60
7	Perno rosca fina 8 x 1	u	16	1,00	16
8	Tuerca flange 8 x 1,25	u	16	0,09	1,44
9	Tuerca flange 10 x 1,50	u	16	0,18	2,88
10	Arandela plana 7/16 in	u	16	0,04	0,64
11	Lija B-99 1000	u	2	0,50	1,00
12	Lija A-99 240	u	2	0,65	1,30
13	Pegamento epoxico	u	1	8,00	8,00
<b>Valor total + IVA</b>					<b>61,62</b>

Realizado por: Pilamunga E, Quishpe O, 2022.

Los costos de mano de obra para la construcción de los módulos se detallan en la Tabla 9-3, los cuáles se basan en el alquiler de las máquinas herramientas necesarias para realizar el mecanizado y a su vez el costo de la hora hombre empleado en la construcción de cada elemento.


**Tabla 9-3:** Costos de mano de obra

		Detalle económico mano de obra								
Versión 1		Detalle de costos						N°		006
16/12/2022		Módulo de simulación de engranajes								
Maquinaria	Cant.	Torno		Taladro pedestal		Rectificadora		Fresadora		Total
Costo por hora (USD/hora)		15		5		25		20		
Pieza		t (horas)	\$	t (horas)	\$	t (horas)	\$	t (horas)	\$	
Placa fija	4	0	0	3	15	2	50	1	20	85
Base fija motor	8	0	0	1	5	0	0	3	60	65
Base móvil alternador	4	1	15	2	10	1	25	2	40	95
Soportes alternador	12	0	0	3	15	0	0	3	60	75
Base de ajuste	16	0	0	1	5	0	0	2	40	45
Base circular	4	0	0	1	5	0	0	2	40	45
Engranaje	3	3	45					3	60	105
Piñón	3	2	30					2	40	70
Insertos	15	2	30							30
<b>Valor total + IVA</b>										615,00


Realizado por: Pilamunga E, Quishpe O, 2023.

Para la implementación de la mejora de los módulos de simulación de fallas en ruedas dentadas los gastos fueron solventados de manera individual. El detalle económico de los gastos totales está representado en la Tabla 10-3.

**Tabla 10-3:** Costos por estudiante para la implementación

		Detalle económico			
Versión 1		Detalle de costos		N°	007
16/12/2022		Costos por estudiante			
N°	Descripción	Cant.	P. Unitario (USD)	Total (USD)	
1	Costo de adquisición de materiales	1	288,87	288,87	
2	Costo de oxicorte del acero ASTM A36	1	14,19	14,19	



		<b>Detalle económico</b>		
<b>Versión 1</b>		<b>Detalle de costos</b>	<b>N°</b>	007
<b>16/12/2022</b>		<b>Costos por estudiante</b>		
N°	Descripción	Cant.	P. Unitario (USD)	Total (USD)
3	Costo de implementos eléctricos	1	291,88	291,88
4	Costo de herramientas	1	34,4	34,40
5	Costos generales	1	53,62	61,62
6	Costos mano de obra	1	615,00	615,00
<b>Valor por estudiante</b>				656,98

**Realizado por:** Pilamunga E, Quishpe O, 2023.

El valor por cada estudiante para la implementación de los módulos de simulación de fallas en ruedas dentadas es de 656 dólares con 98 centavos.

## CAPÍTULO IV

### 4. MARCO DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En este capítulo se realiza la recolección de los datos presentados por los módulos de simulación de fallas en ruedas dentadas con el Vibracheck 200 ABG, a su vez se presenta la metodología empleada para obtener los datos de vibraciones y el análisis de los distintos espectros característicos para determinar el modo de fallo.

#### 4.1. Recolección de datos

Para empezar la recolección de datos se debe conocer las frecuencias fundamentales de las ruedas dentadas y las frecuencias de engrane, además del correcto funcionamiento de los distintos módulos de simulación, por lo tanto, se describe la utilización del módulo al momento de recolectar los datos.

##### 4.1.1. Módulo 1 – Espectro Normal

Para el funcionamiento de las ruedas dentadas en óptimas condiciones se debe tener en cuenta que estas se encuentren alineadas correctamente, al momento de realizar la recolección de datos se debe encender la fuente para variar la corriente y el voltaje generando una carga. En la Ilustración 1-4 se observa el valor de corriente y voltaje utilizados para la medición de vibraciones y a su vez la medición de corriente que se le está dando al módulo de ruedas dentadas en condiciones normales.



**Ilustración 1-4:** Valores de corriente y voltaje (Módulo 1)

Realizado por: Pilamunga E, Quishpe O, 2023.

#### 4.1.1.1. Cálculo de la frecuencia de sincronismo

Es importante conocer la relación existente entre las velocidades de rotación de las ruedas dentadas y de esta manera determinar las frecuencias del engranaje y piñón para calcular el valor del GMF. La frecuencia con la que se va a trabajar es de 60 Hz.

Datos

# Dientes engranaje = 64

# Dientes piñón = 24

# polos = 4

$$n = \frac{2 \times f \times 60}{\# \text{ polos}}$$

$$n = \frac{2 \times 60 \text{ Hz} \times 60}{4}$$

$$n = 1800 \text{ rpm}$$

Se calcula la frecuencia del engranaje en Hz,

$$f_{\text{engranaje}} = \frac{\text{RPM}}{60}$$

$$f_{\text{engranaje}} = \frac{1800}{60}$$

$$f_{\text{engranaje}} = 30 \text{ Hz}$$

Conocida la frecuencia del engranaje se procede a calcular la frecuencia del piñón en Hz,

$$f_{\text{piñón}} = \frac{f_{\text{engranaje}} \times \# \text{ dientes engranaje}}{\# \text{ dientes piñón}}$$

$$f_{\text{piñón}} = \frac{30 \text{ Hz} \times 64 \text{ dientes}}{24 \text{ dientes}}$$

$$f_{\text{piñón}} = 80 \text{ Hz}$$

Finalmente, se realiza el cálculo del GMF aplicando la Ecuación 20-2.

$$\text{GMF} = Z_{\text{piñón}} \times \text{RPM}_{\text{piñón}}$$

$$\text{GMF} = 24 \times 4800$$

$$\text{GMF} = 115200 \text{ rpm}$$

$$\text{GMF} = \frac{115200 \text{ rpm}}{60} = 1920 \text{ Hz}$$

Se debe tomar en cuenta que el cálculo del GMF se lo puede realizar con los datos del piñón y a su vez con los datos del engranaje ya que el resultado será el mismo. Con la obtención de estos datos se podrá analizar de manera adecuada los espectros de los distintos módulos puesto que estos resultados servirán para todos los modos de falla representados en los módulos de simulación.

#### 4.1.2. Módulo 2 – Diente Roto del engranaje

Para el funcionamiento de las ruedas dentadas con diente roto se debe tener en cuenta que se trabaja con la máxima carga al momento de realizar la recolección de datos se debe encender la fuente para variar la corriente y el voltaje generando la carga requerida, esto le frenará al engranaje modificando la velocidad de giro. En la Ilustración 2-4 se observa el valor de corriente y voltaje utilizados para la toma de datos.



**Ilustración 2-4:** Valores de corriente y voltaje (Módulo 2)

**Realizado por:** Pilamunga E, Quishpe O, 2023.

#### 4.1.2.1. Medición de la velocidad de giro

Debido al freno magnético generado se cambió la velocidad de giro del engranaje, por lo cual se midió la velocidad con tacómetro digital como se observa en la Ilustración 3-4.



**Ilustración 3-4:** Velocidad de giro (Módulo 2)

Realizado por: Pilamunga E, Quishpe O, 2023.

#### 4.1.2.2. Cálculo de la frecuencia de engrane

Al cambiar la velocidad de giro del engranaje a 500 RPM, también va a variar las frecuencias fundamentales de las ruedas dentadas, por lo tanto, es necesario conocer la relación de transmisión existente entre las ruedas dentadas.

Se calcula la frecuencia del engranaje en Hz,

$$f_{\text{engranaje}} = \frac{\text{RPM}}{60}$$

$$f_{\text{engranaje}} = \frac{500}{60}$$

$$f_{\text{engranaje}} = 8,33 \text{ Hz}$$

Conocida la frecuencia del engranaje se procede a calcular la frecuencia del piñón en Hz,

$$f_{\text{piñón}} = \frac{f_{\text{engranaje}} \times \# \text{ dientes engranaje}}{\# \text{ dientes piñón}}$$

$$f_{\text{engranaje}} = \frac{8,33 \text{ Hz} \times 64 \text{ dientes}}{24 \text{ dientes}}$$

$$f_{\text{engranaje}} = 22,21 \text{ Hz}$$

#### 4.1.2.3. Cálculo del tiempo de impacto

$$\omega = 500 \text{ rpm} = 52,4 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

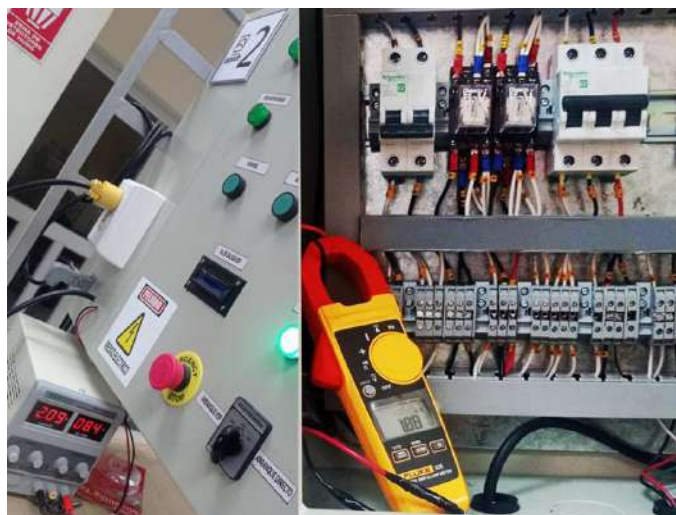
$$\Delta = \frac{1}{\omega}$$

$$\Delta = \frac{1}{52,4 \frac{\text{rad}}{\text{s}}} * 2\pi$$

$$\Delta = 0,12 \text{ s}$$

#### 4.1.3. Módulo 2 – Desalineación Lineal del engranaje

Para el funcionamiento de las ruedas dentadas con desalineación se debe tener en cuenta el grado de inclinación para simular la desalineación, al momento de realizar la recolección de datos se debe encender la fuente para variar la corriente y el voltaje generando una carga. En la Ilustración 4-4 se observa el valor de corriente y voltaje utilizados para la toma de datos.

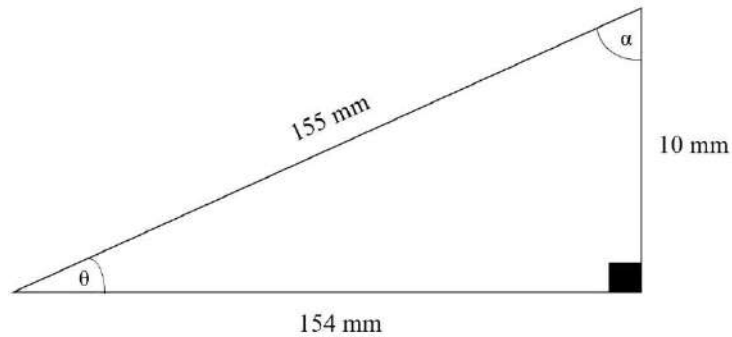


**Ilustración 4-4:** Valores de corriente y voltaje (Módulo 3)

Realizado por: Pilamunga E, Quishpe O, 2023.

#### 4.1.3.1. Cálculo del grado de inclinación

En la Ilustración 5-4 se observa el triángulo rectángulo generado en base a la placa móvil la cual se inclina para simular la desalineación de engranajes.



**Ilustración 5-4:** Triángulo rectángulo – placa móvil

**Realizado por:** Pilamunga E, Quishpe O, 2023.

Se procede a calcular el ángulo  $\theta$ ,

$$\tan \theta = \frac{CO}{CA}$$

$$\tan \theta = \frac{10 \text{ mm}}{154 \text{ mm}}$$

$$\theta = \tan^{-1} \left( \frac{10 \text{ mm}}{154 \text{ mm}} \right)$$

$$\theta = 4,12^\circ$$

Se procede a calcular el ángulo  $\alpha$ ,

$$90^\circ + \theta + \alpha = 180^\circ$$

$$\alpha = 180^\circ - 90^\circ - 4,12^\circ$$

$$\alpha = 85,88^\circ$$

Por lo tanto, el grado de inclinación para la desalineación de engranajes es de  $4,12^\circ$ .

#### 4.1.4. Módulo 4 – Problemas de fase en el ensamblaje del engranaje

Para el funcionamiento de las ruedas dentadas con problemas de fase en el ensamblaje del engrane se debe tener en cuenta que la manufactura del engranaje debe estar mal, al momento de realizar la recolección de datos se debe encender la fuente para variar la corriente y el voltaje generando una carga. En la Ilustración 6-4 se observa el valor de corriente y voltaje utilizados para la toma de datos de las vibraciones.



**Ilustración 6-4:** Valores de corriente y voltaje (Módulo 4)

Realizado por: Pilamunga E, Quishpe O, 2023.

##### 4.1.4.1. Frecuencia de fase del ensamble del engrane

Esta frecuencia es primordial en este modo de fallo, porque es el armónico que indica la existencia de este problema para lo cual es necesario realizar el siguiente cálculo que ayude a determinar de una manera más sencilla las frecuencias que se deben encontrar en el espectro al momento de hacer el análisis de vibraciones.

Datos

# dientes engranaje = 64

# dientes piñón = 24

RPM = 1800

El primer paso es calcular el factor de fase ensamblaje para lo cual se descompone en factores primos tanto al número de dientes del engranaje como del piñón y se realiza el producto de los factores primos comunes.

$$\# \text{ dientes engranaje} = 2 \times 2 \times 2 \times 2 \times 2 \times 2 = 64$$

$$\# \text{ dientes engranaje} = 8 \times 8 = 64$$



$$\# \text{ dientes piñón} = 2 \times 2 \times 2 \times 3 = 24$$

$$\# \text{ dientes piñón} = 8 \times 3 = 24$$

$$N_A = 8$$

Se procede a calcular el GMF del engranaje en revoluciones,

$$\text{GMF} = Z_{\text{rueda}} \times \text{RPM}_{\text{rueda}}$$

$$\text{GMF} = 64 \times 1800$$

$$\text{GMF} = 115200 \text{ rpm}$$

Una vez conocido el GMF se procede a calcular la frecuencia de fase del ensamblaje del engranaje

$$\text{GAPF} = \frac{\text{GMF}}{N_A}$$

$$\text{GAPF} = \frac{115200 \text{ rpm}}{8}$$

$$\text{GAPF} = 14400 \text{ rpm}$$

$$\text{GAPF} = \frac{14400 \text{ rpm}}{60}$$

$$\text{GAPF} = 240 \text{ Hz}$$

#### 4.2. Mediciones obtenidas

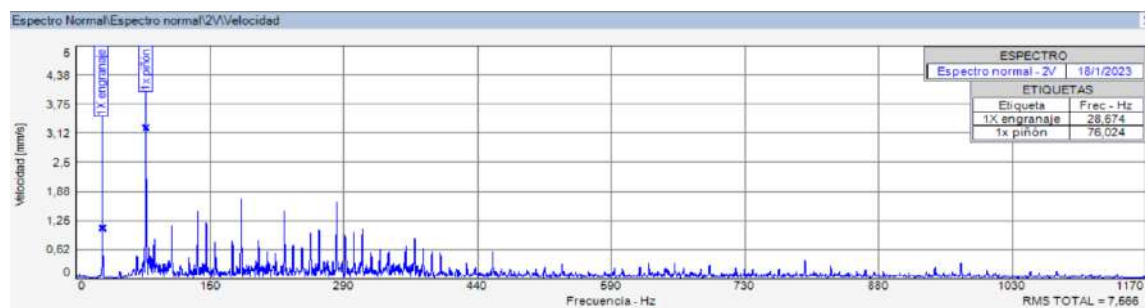
Se tomó las medidas de vibraciones con el Vibracheck 200 ABG y los espectros se analizó en el software MAINTraQ Predictive con la finalidad de encontrar el espectro característico de cada modo de falla simulado de acuerdo con las Cartas de Charlotte. También, se debe tomar en cuenta que todas las mediciones se realizaron con carga en el alternador y se debe configurar el software lo mismo que se encuentra explicado en la guía del laboratorio Anexo A.

#### 4.2.1. Medición del espectro normal

Las mediciones realizadas en este módulo servirán como base para comparar los distintos modos de falla simulados, ya que los espectros arrojados serán a condiciones normales de funcionamiento, es decir, una vibración normal de las ruedas dentadas. Para el análisis del espectro a condiciones normales se partió de los cálculos realizados en el ítem 4.1.1. para conocer las frecuencias fundamentales del engranaje y el piñón, a su vez la frecuencia del engrane de las ruedas dentadas.

##### 4.2.1.1. Mediciones obtenidas en el plano vertical

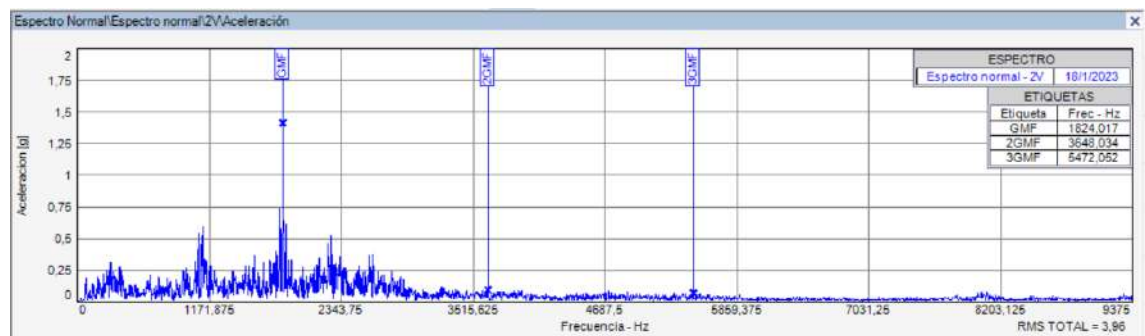
En la Ilustración 7-4 se observa el espectro de velocidad en el cual se analizó la frecuencia 1x del engranaje y 1x del piñón que se encuentran de acuerdo con los cálculos realizados anteriormente. Además, se revisó las amplitudes de estos armónicos para determinar la similitud con el espectro de condiciones normales representando en las Cartas de Charlotte.



**Ilustración 7-4:** Espectro de velocidad plano vertical (Condiciones Normales)

**Realizado por:** Pilamunga E, Quishpe O, 2023.

Una vez analizado el espectro de velocidad, y teniendo en cuenta que la Frecuencia de Engrane es superior a los 1000 Hz, se realiza el análisis del GMF en el espectro de aceleración como se observa en la Ilustración 8-4.



**Ilustración 8-4:** Espectro de aceleración plano vertical (Condiciones Normales)

**Realizado por:** Pilamunga E, Quishpe O, 2023.

Después de analizar ambos espectros se obtiene las mediciones descritas en la Tabla 1-4.

**Tabla 1-4:** Mediciones obtenidas en el plano vertical del espectro normal

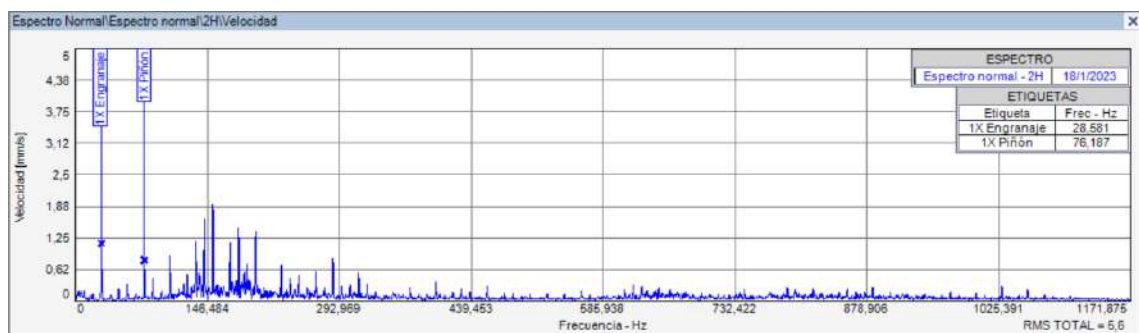
Denominación	Frecuencia [Hz]	Amplitud
1x Engranaje	28,674	1,065 mm/s
1x Piñón	76,024	3,218 mm/s
GMF	1824,017	1,407 g
2GMF	3648,034	0,086 g
3GMF	5472,052	0,035 g

Realizado por: Pilamunga E, Quishpe O, 2023.

Es importante mencionar que se obtuvo un rms total de 7,56 en el espectro de velocidad y un rms total de 3,96 en el espectro de aceleración, mediante estos resultados se pudo determinar que el espectro característico de las ruedas dentadas en condiciones normales en el plano vertical tiene cierto parecido al espectro representado en las cartas de Charlotte.

#### 4.2.1.2. Mediciones obtenidas en el plano horizontal

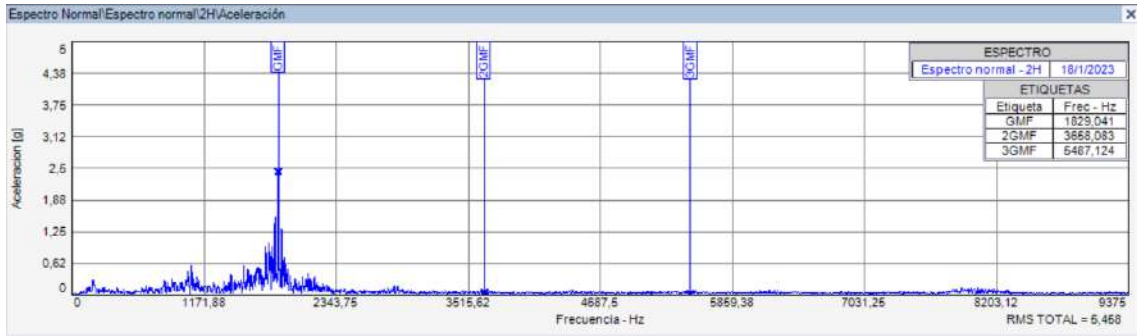
Para determinar mayores resultados se procedió a tomar las medidas en el plano horizontal, siguiendo el mismo procedimiento de la anterior medición. En la Ilustración 9-4 se observa el análisis realizado al espectro de velocidad obteniendo una mayor amplitud en el 1x del engranaje lo cual se manifiesta en las cartas de Charlotte correspondiente al funcionamiento en condiciones normales de las ruedas dentadas



**Ilustración 9-4:** Espectro de velocidad plano horizontal (Condiciones normales)

Realizado por: Pilamunga E, Quishpe O, 2023.

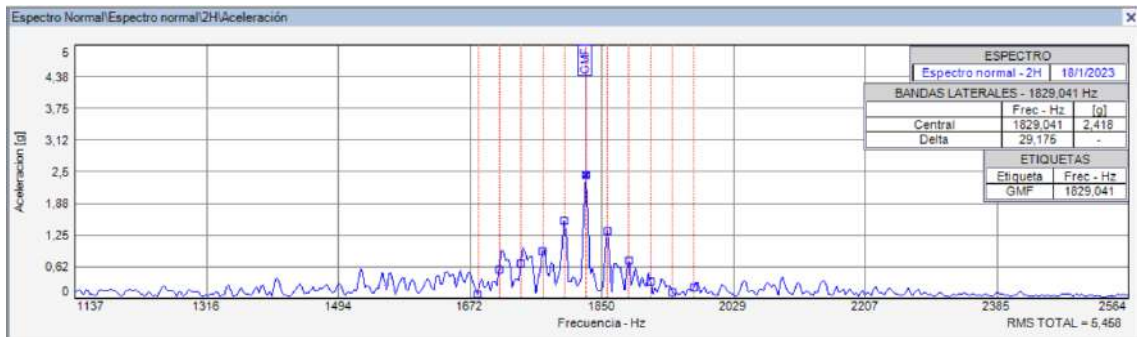
Después de analizar el espectro de velocidad y obteniendo resultados más pegados a las Cartas de Charlotte, en la Ilustración 10-4 se realiza el análisis en el espectro de aceleración en el cual se observa la frecuencia de engrane y sus múltiplos.



**Ilustración 10-4:** Espectro de aceleración plano horizontal (Condiciones normales)

**Realizado por:** Pilamunga E, Quishpe O, 2023.

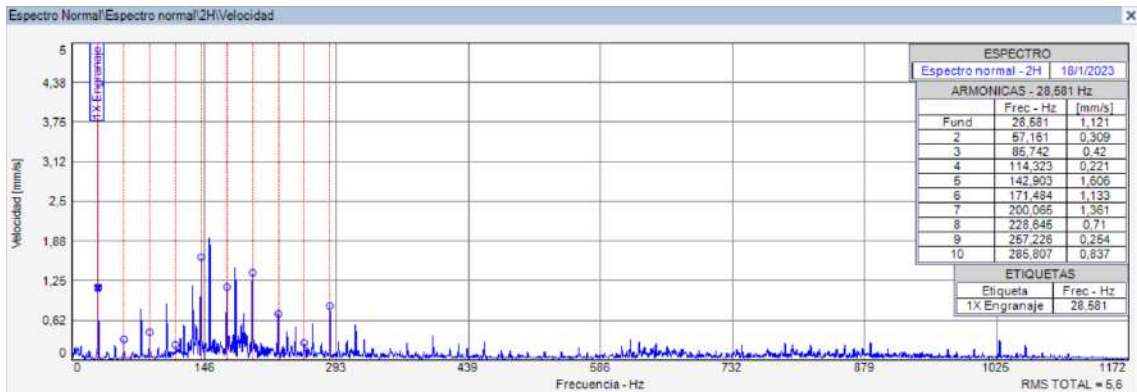
Al analizar el GMF se observa la existencia de bandas laterales de velocidad de giro a su alrededor esto es una característica que ayuda a identificar de mejor manera el espectro normal de ruedas dentadas. En la Ilustración 11-4 se observa las bandas laterales encontradas en el espectro de aceleración del plano horizontal.



**Ilustración 11-4:** Bandas laterales del GMF (Condiciones normales)

**Realizado por:** Pilamunga E, Quishpe O, 2023.

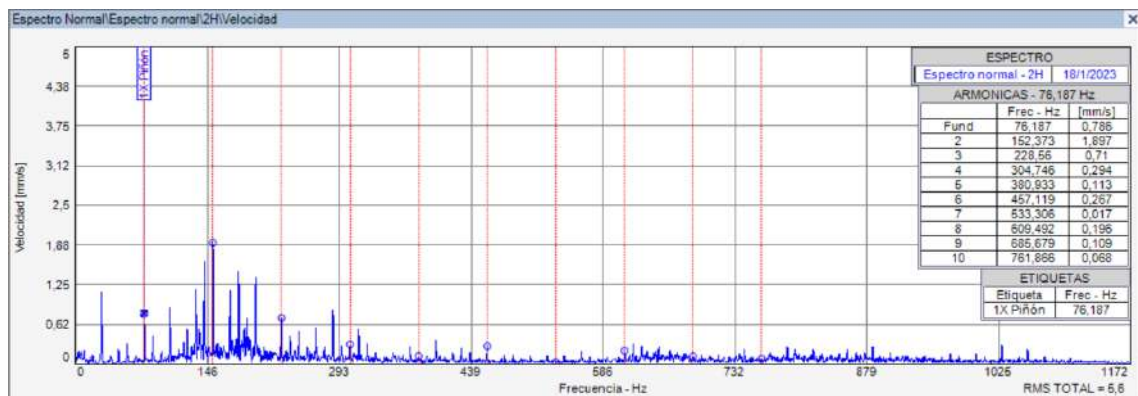
En la Ilustración 12-4 se analizó el espectro de velocidad para verificar los múltiplos del 1x del engranaje, en el cual se observó sus distintas frecuencias y la variación de sus amplitudes.



**Ilustración 12-4:** 1x del engranaje y sus múltiplos (Condiciones normales)

**Realizado por:** Pilamunga E, Quishpe O, 2023.

En la Ilustración 13-4 se analizó el espectro de velocidad para verificar los múltiplos del 1x del piñón, en el cual se observó sus distintas frecuencias y la variación de sus amplitudes.



**Ilustración 13-4:** 1x del engranaje y sus múltiplos (Condiciones normales)

**Realizado por:** Pilamunga E, Quishpe O, 2023.

Finalmente, después de analizar el espectro de velocidad y aceleración en el plano horizontal se obtuvieron los datos establecidos en la Tabla 2-4.

**Tabla 2-4:** Mediciones obtenidas en el plano horizontal del espectro normal

Denominación	Frecuencia [Hz]	Amplitud
1x Engranaje	28,581	1,121 mm/s
1x Piñón	76,187	0,786 mm/s
GMF	1829,041	2,418 g
2GMF	3658,083	0,027 g
3GMF	5487,124	0,005 g

**Realizado por:** Pilamunga E, Quishpe O, 2023.

Es importante mencionar que se obtuvo un rms total de 7,56 en el espectro de velocidad y un rms total de 3,96 en el espectro de aceleración, mediante estos resultados se pudo determinar que el espectro característico de las ruedas dentadas en condiciones normales en el plano horizontal es igual al espectro representado en las cartas de Charlotte.

#### 4.2.2. Medición de desalineación lineal del engranaje

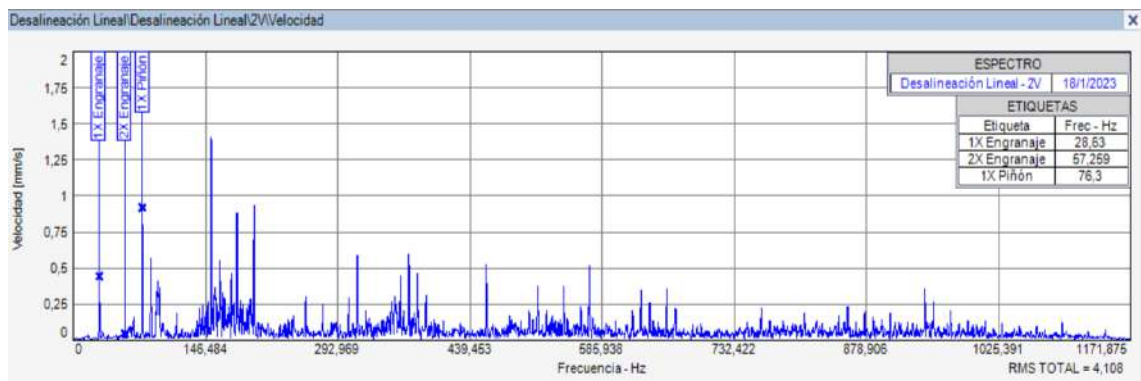
Se realizó las medidas en los tres planos, con el fin de analizar la dirección óptima de medición y los valores de cada factor para compararlos con los valores calculados y las mediciones obtenidas del espectro normal de un engranaje y de este modo identificar las anomalías presentadas en el módulo.

Para el análisis de los diferentes espectros se partió de los datos obtenidos en el módulo de espectro normal con el fin de conocer las frecuencias fundamentales de las ruedas dentadas, a su vez los datos obtenidos se compararon con las Cartas de Charlotte.

#### 4.2.2.1. Mediciones obtenidas en el plano vertical

En la Ilustración 14-4 se observa el espectro de velocidad en el cual se analizó la frecuencia 1x del engranaje, 2x del engranaje y 1x del piñón, ya que estos armónicos son característicos de este modo de fallo.

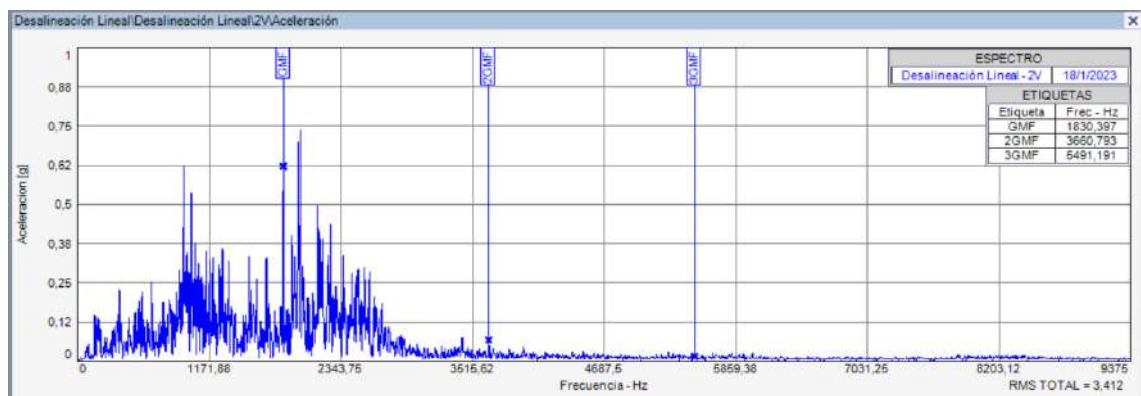
También se analizó las amplitudes de los armónicos antes mencionados para determinar la similitud con el espectro representando en las Cartas de Charlotte.



**Ilustración 14-4:** Espectro de velocidad plano vertical (Desalineación Lineal)

**Realizado por:** Pilamunga E, Quishpe O, 2023.

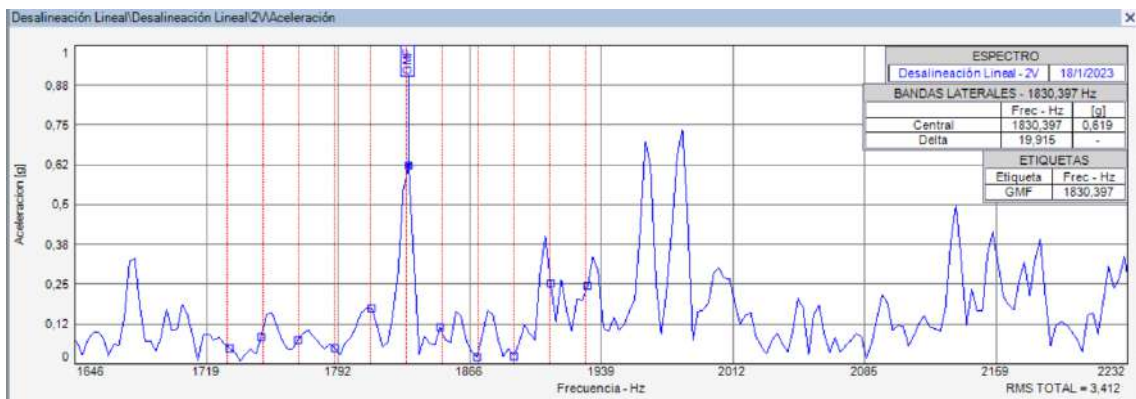
Se procedió analizar el espectro de aceleración para determinar la frecuencia y la amplitud del GMF y sus múltiplos. En la Ilustración 15-4 se observa la excitación del GMF lo que es característico de la desalineación del engranaje.



**Ilustración 15-4:** Espectro de aceleración plano vertical (Desalineación)

**Realizado por:** Pilamunga E, Quishpe O, 2023.

En la Ilustración 16-4 se analizó las bandas laterales del GMF las cuales se encuentran a una frecuencia cercana del 1x del engranaje.



**Ilustración 16-4:** Bandas laterales plano vertical (Desalineación)

**Realizado por:** Pilamunga E, Quishpe O, 2023.

En la tabla 3-4 se describe las mediciones obtenidas de la desalineación lineal del engranaje en el plano vertical.

**Tabla 3-4:** Mediciones obtenidas en el plano vertical de la desalineación del engranaje

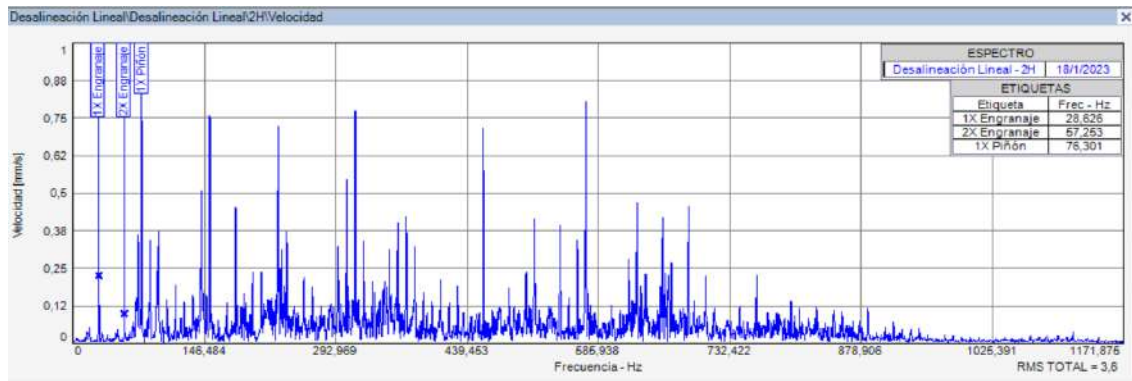
Denominación	Frecuencia [Hz]	Amplitud
1x Engranaje	28,63	0,435 mm/s
2x Engranaje	57,259	0,037 mm/s
1x Piñón	76,3	0,912 mm/s
GMF	1830,397	0,619 g
2GMF	3660,793	0,064 g
3GMF	5491,191	0,011 g

**Realizado por:** Pilamunga E, Quishpe O, 2023.

Es importante mencionar que se obtuvo un rms total de 4,108 en el espectro de velocidad y un rms total de 3,41 en el espectro de aceleración, con estos resultados se pudo determinar el espectro característico de las ruedas dentadas cuando existe desalineación en el plano vertical.

#### 4.2.2.2. Mediciones obtenidas en el plano horizontal

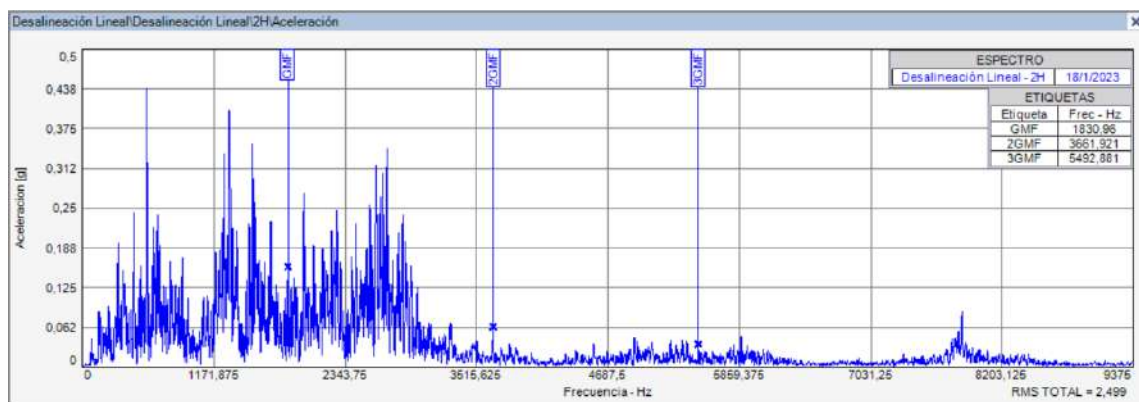
En la Ilustración 17-4 se observa el espectro de velocidad del plano horizontal, en el cual se analiza el 1x y 2x del engranaje, además del 1x del piñón en base a las cartas de Charlotte correspondiente al funcionamiento de ruedas dentadas con desalineación.



**Ilustración 17-4:** Espectro de velocidad plano horizontal (Desalineación)

**Realizado por:** Pilamunga E, Quishpe O, 2023.

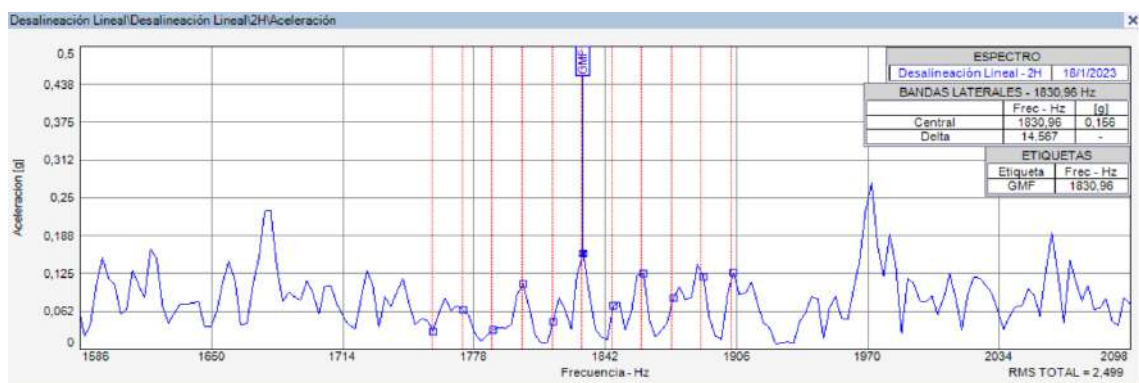
En la Ilustración 18-4 se analiza la frecuencia de engrane y sus múltiplos, en el cual se observa que el GMF es el armónico predominante en relación con el 2GMF y 3GMF, de este modo se puede determinar que mantiene el mismo patrón del plano vertical.



**Ilustración 18-4:** Espectro de aceleración plano horizontal (Desalineación)

**Realizado por:** Pilamunga E, Quishpe O, 2023.

En la Ilustración 19-4 se observa las bandas laterales encontradas en el espectro de aceleración del plano horizontal de la desalineación de engranajes.



**Ilustración 19-4:** Bandas laterales plano horizontal (Desalineación)

**Realizado por:** Pilamunga E, Quishpe O, 2023.



Después, de analizar los diferentes espectros y armónicos en el plano horizontal se obtuvieron los datos establecidos en la Tabla 4-4.

**Tabla 4-4:** Mediciones obtenidas en el plano horizontal de la desalineación del engranaje

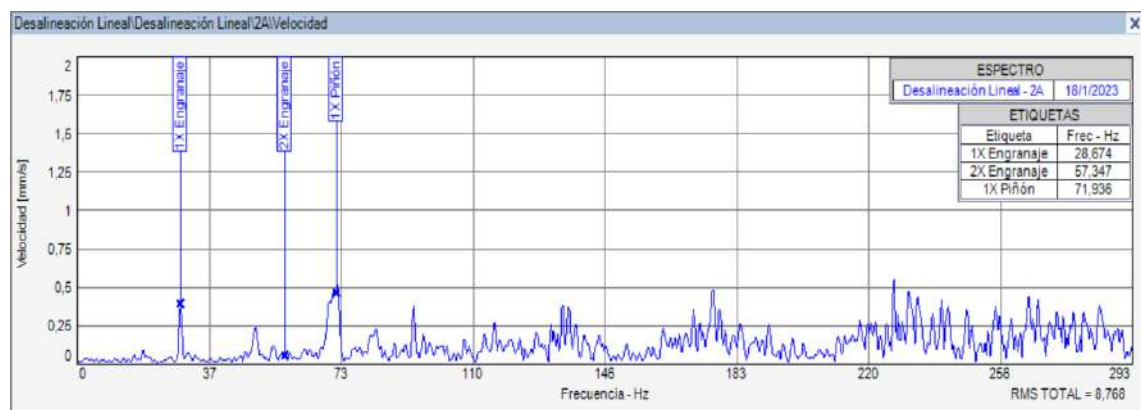
Denominación	Frecuencia [Hz]	Amplitud
1x Engranaje	28,626	0,223 mm/s
2x Engranaje	57,253	0,097 mm/s
1x Piñón	76,3	0,837 mm/s
GMF	1830,96	0,156 g
2GMF	3661,921	0,062 g
3GMF	5492,881	0,035 g

Realizado por: Pilamunga E, Quishpe O, 2023.

Es importante mencionar que se obtuvo un rms total de 3,6 en el espectro de velocidad y un rms total de 2,49 en el espectro de aceleración, mediante estos resultados se pudo determinar que el espectro característico de la desalineación de ruedas dentadas en el plano horizontal.

#### 4.2.2.3. Mediciones obtenidas en el plano axial

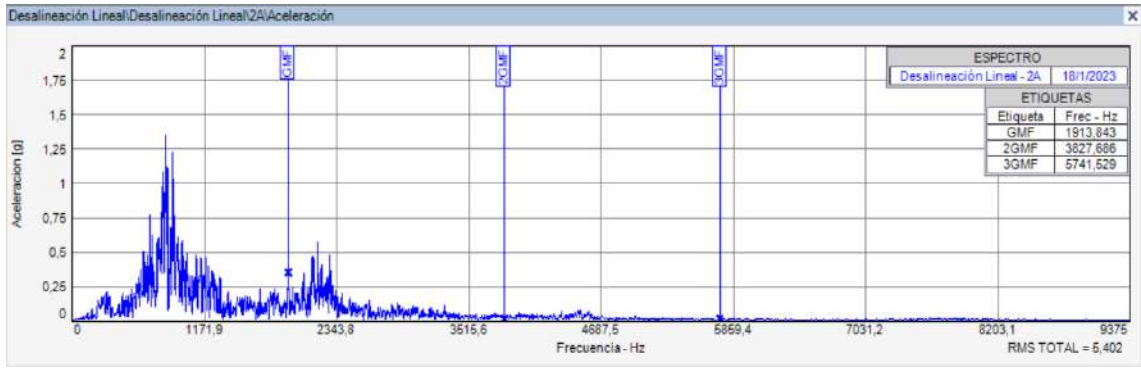
En la Ilustración 20-4 se observa el espectro de velocidad del plano axial, en el que se analiza el 1x y 2x del engranaje, además del 1x del piñón en base a las cartas de Charlotte correspondiente al funcionamiento de ruedas dentadas con desalineación.



**Ilustración 20-4:** Espectro de velocidad plano axial (Desalineación)

Realizado por: Pilamunga E, Quishpe O, 2023.

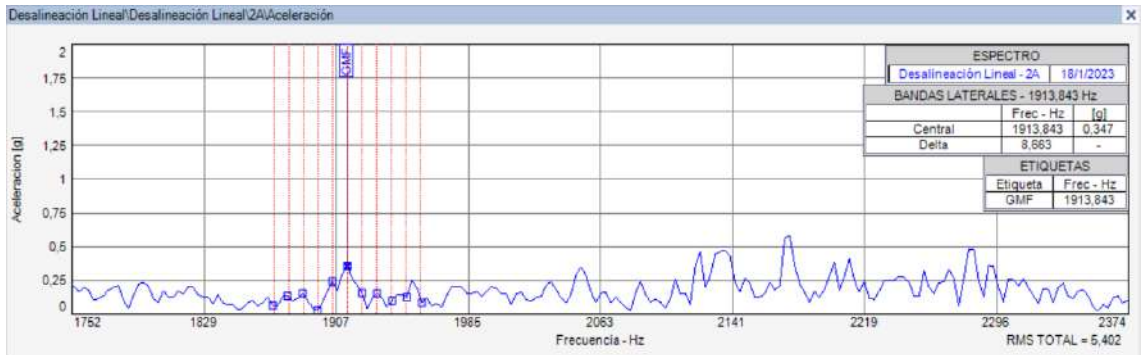
En la Ilustración 21-4 se analiza el GMF y sus múltiplos, en el cual se observa que el GMF es de baja amplitud, además que existe dificultad en reconocerlo ya que existentes armónicos de mayor amplitud.



**Ilustración 21-4:** Espectro de aceleración plano horizontal (Desalineación)

**Realizado por:** Pilamunga E, Quishpe O, 2023.

En la Ilustración 22-4 se observa las bandas laterales del GMF encontradas en el espectro de aceleración del plano axial de la desalineación de engranajes, en el cual no se puede distinguir de manera adecuada la existencia de bandas laterales, ya que la distancia entre una y otra no es simétrica.



**Ilustración 22-4:** Bandas laterales plano axial (Desalineación)

**Realizado por:** Pilamunga E, Quishpe O, 2023.

Al analizar los diferentes espectros y armónicos en el plano axial se obtuvieron los datos establecidos en la Tabla 5-4.

**Tabla 5-4:** Mediciones obtenidas en el plano axial de la desalineación del engranaje

Denominación	Frecuencia [Hz]	Amplitud
1x Engranaje	28,674	0,387 mm/s
2x Engranaje	57,347	0,049 mm/s
1x Piñón	71,936	0,458 mm/s
GMF	1913,843	0,347 g
2GMF	3827,686	0,013 g
3GMF	5741,529	0,011 g

**Realizado por:** Pilamunga E, Quishpe O, 2023.

Es importante mencionar que se obtuvo un rms total de 8,768 en el espectro de velocidad y un rms total de 5,402 en el espectro de aceleración, mediante estos resultados se pudo determinar que en el plano axial no se puede observar de manera adecuada el espectro característico de las ruedas dentadas con desalienación, por lo tanto, no tiene similitud alguna con el espectro representado en las cartas de Charlotte.

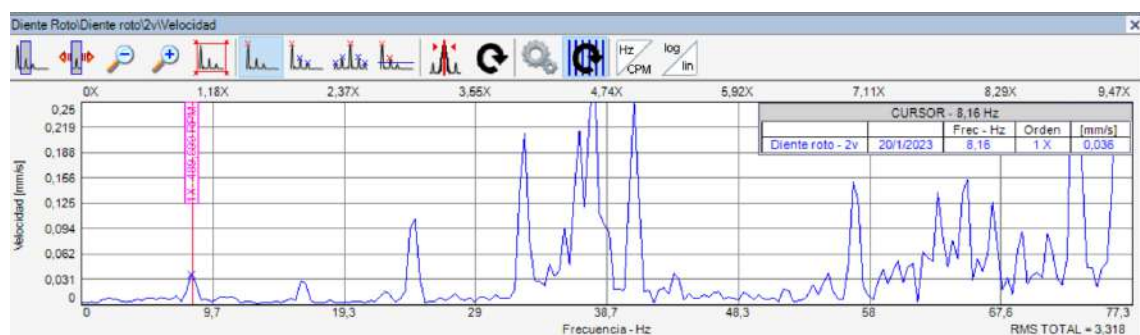
#### 4.2.3. Medición de diente roto del engranaje

Las mediciones realizadas en este módulo se tomaron en el plano radial a máxima carga, en este modo de fallo el análisis principal se lo realiza en la forma de onda, ya que es necesario identificar el tiempo de impacto entre ruedas dentadas específicamente en la parte que se encuentra el diente roto.

Para el análisis del engranaje con diente roto se partió de los cálculos realizados en el ítem 4.1.3. para reconocer la frecuencia fundamental del engranaje y el tiempo de impacto del piñón con el diente roto del engranaje en el análisis vibracional.

##### 4.2.3.1. Mediciones obtenidas en el plano vertical

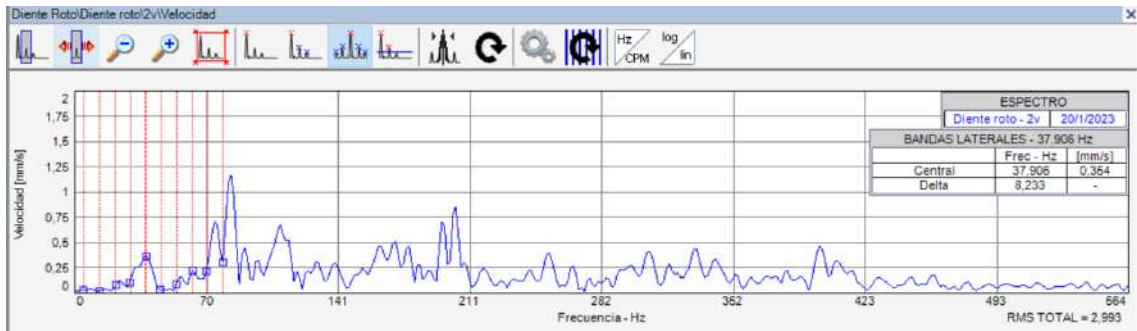
En la Ilustración 23-4 se observa el 1x del engranaje que es de una amplitud baja y está de acuerdo a las cartas de Charlotte correspondiente a un engranaje con diente rotor.



**Ilustración 23-4:** 1x del engranaje plano vertical (Diente roto)

**Realizado por:** Pilamunga E, Quishpe O, 2023.

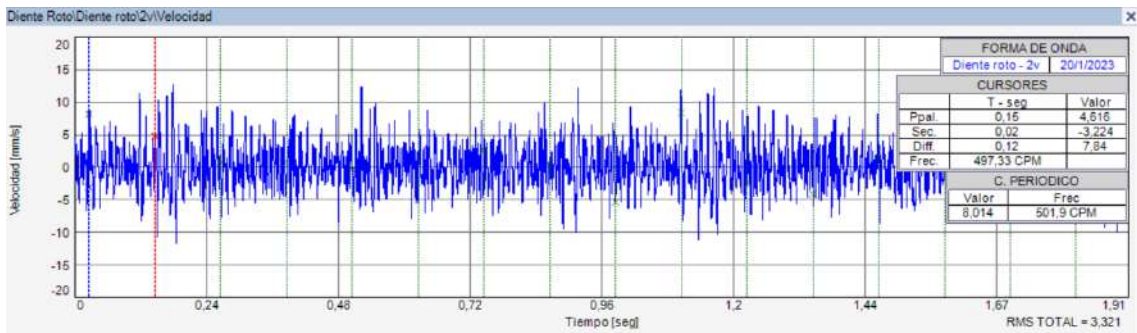
Según las cartas de Charlotte la frecuencia natural debe tener bandas laterales que sean igual al 1x del elemento que se encuentra con la falla. En la Ilustración 24-4 se observa el análisis realizado a las bandas laterales de este armónico, obteniendo como resultado el 1x del engranaje, por lo tanto, este análisis vibracional se encuentra de acuerdo con lo descrito en las cartas de Charlotte.



**Ilustración 24-4:** Bandas laterales plano vertical (Diente roto)

**Realizado por:** Pilamunga E, Quishpe O, 2023.

Finalmente, se analiza el periodo de la onda de choque lo cual corresponde al golpeteo existente entre las ruedas dentadas debido al diente roto, lo cual general picos elevados cada cierto tiempo como se observa en la ilustración 25-4.



**Ilustración 25-4:** Forma de onda plano vertical (Diente roto)

**Realizado por:** Pilamunga E, Quishpe O, 2023.

Al analizar las diferentes mediciones obtenidas en el plano vertical se obtuvieron los datos establecidos en la Tabla 6-4.

**Tabla 6-4:** Mediciones obtenidas en el plano vertical del diente roto

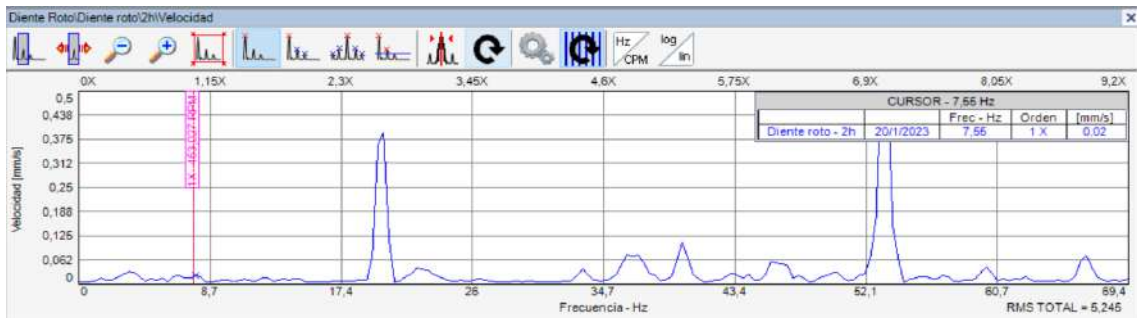
Denominación	Frecuencia [Hz]	Amplitud
1x Engranaje	8,16	0,036 mm/s
Frecuencia Natural	37,90	0,354 mm/s
Delta	8,23	-

**Realizado por:** Pilamunga E, Quishpe O, 2023.

Es importante mencionar que se obtuvo un rms total de 3,321, mediante estos resultados se pudo determinar que en el plano vertical en la onda de velocidad se puede observar claramente la sinusoidal característica de las ruedas dentadas con diente roto, por lo tanto, se encuentra conforme al espectro representado en las Cartas de Charlotte.

#### 4.2.3.2. Mediciones obtenidas en el plano vertical

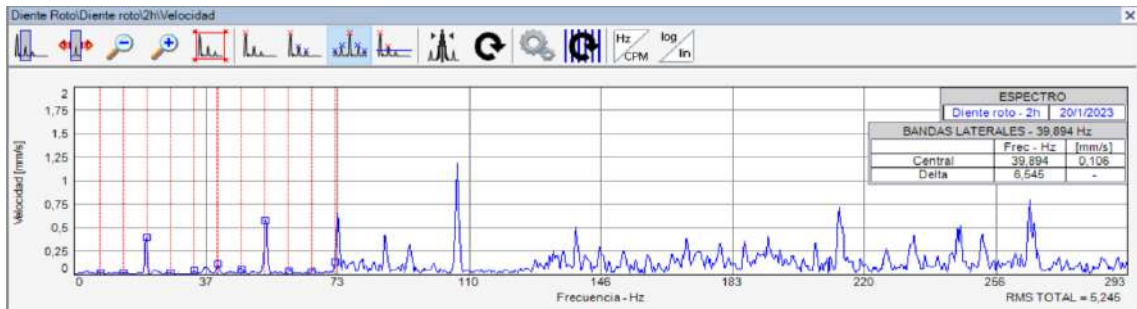
En la Ilustración 26-4 se analiza el 1x del engranaje de acuerdo con los cálculos realizados y al armónico representado en las cartas de Charlotte correspondiente.



**Ilustración 26-4:** 1x del engranaje plano horizontal (Diente roto)

**Realizado por:** Pilamunga E, Quishpe O, 2023.

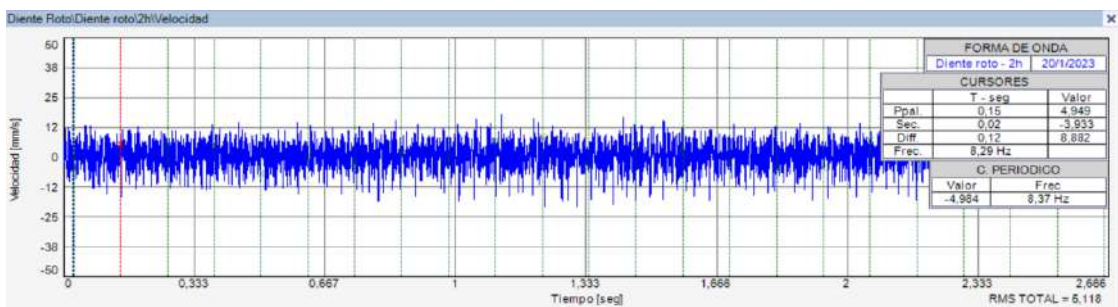
En base a las cartas de Charlotte se analizó la frecuencia natural y las bandas laterales en la Ilustración 27-4 se observa como resultado un valor cercano al 1x del engranaje.



**Ilustración 27-4:** Bandas laterales plano horizontal (Diente roto)

**Realizado por:** Pilamunga E, Quishpe O, 2023.

En la Ilustración 28.4 se analiza el periodo de la onda de choque el cual corresponde al golpeteo existente entre las ruedas dentadas debido al diente roto.



**Ilustración 28-4:** Forma de onda plano horizontal (Diente roto)

**Realizado por:** Pilamunga E, Quishpe O, 2023.

Después de analizar los distintos armónicos y la forma de onda se detalla las mediciones obtenidas en el plano horizontal correspondiente al diente roto de un engranaje, como se observa en la Tabla 7-4.

**Tabla 7-4:** Mediciones obtenidas en el plano vertical del diente roto

<b>Denominación</b>	<b>Frecuencia [Hz]</b>	<b>Amplitud</b>
1x Engranaje	7,55	0,002 mm/s
Frecuencia Natural	39,89	0,106 mm/s
Delta	6,545	-

**Realizado por:** Pilamunga E, Quishpe O, 2023.

Se obtuvo un rms total de 5,245, mediante estos resultados se pudo determinar que en el plano horizontal en la onda de velocidad se puede observar la sinusoidal característica de las ruedas dentadas con diente roto, por lo tanto, se encuentra apegada a la onda representada en las Cartas de Charlotte.

#### **4.2.4. Medición de problemas de fase en el ensamblaje**

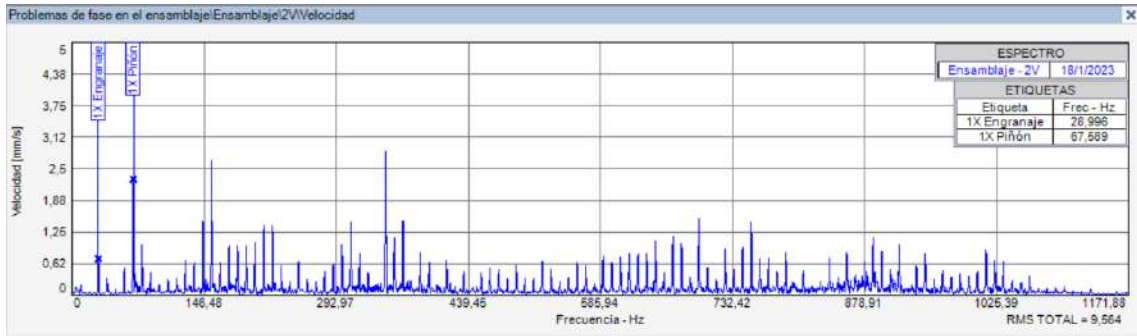
Para la medición se realizó las medidas en el plano vertical y horizontal, con el fin de comparar los resultados en los diferentes espectros y así analizar las distintas mediciones obtenidas cuando existe problemas de fase en el ensamblaje.

Para el análisis de los diferentes espectros se partió de los datos calculados en el ítem 4.1.4. y de esta manera identificar con facilidad el GAPF y sus múltiplos en el espectro, así también analizar el GMF.

Mediante este análisis vibracional se busca identificar el modo de falla con mayor facilidad, de acuerdo con los datos obtenidos se compara con el espectro representado en las Cartas de Charlotte con la finalidad de llegar a un resultado eficaz.

##### **4.2.4.1. Mediciones obtenidas en el plano vertical**

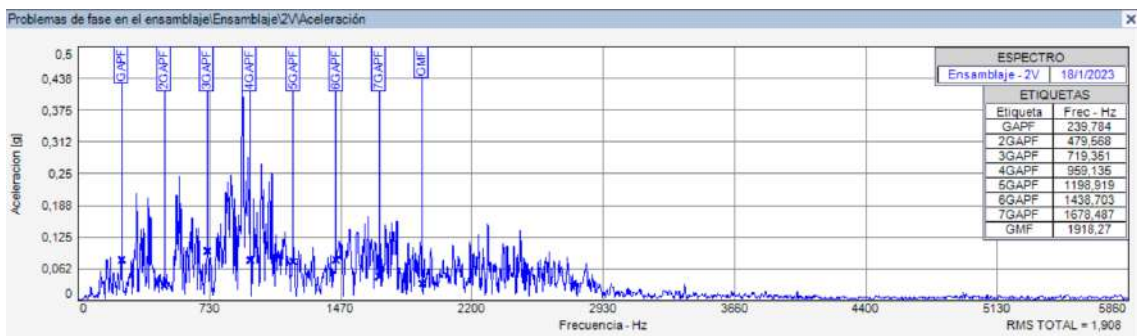
En la Ilustración 29-4 se analizó las frecuencias fundamentales de las ruedas dentadas el cual el acelerómetro se colocó de manera vertical arrojando así sus respectivas amplitudes necesarias para el análisis e interpretación de resultados, estos armónicos forman parte del espectro característico donde se percibe el desgaste de los engranajes de este modo de falla por tal motivo se excitan sus frecuencias.



**Ilustración 29-4:** Espectro de velocidad plano vertical (Problemas de fase)

**Realizado por:** Pilamunga E, Quishpe O, 2023.

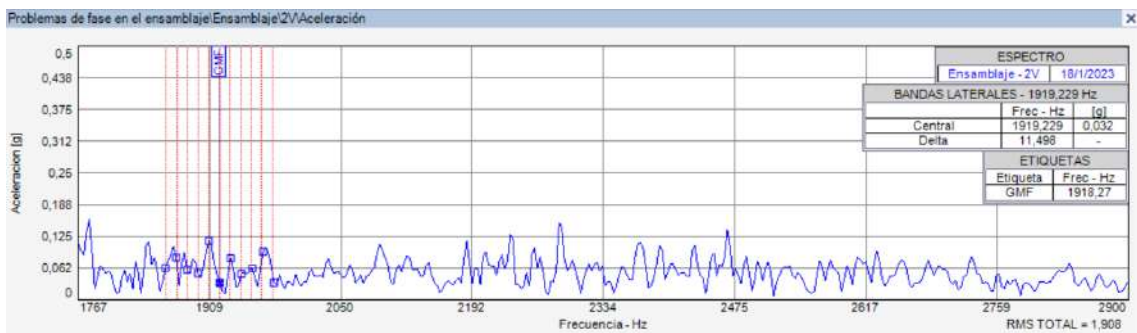
Se procedió analizar el espectro de aceleración para determinar la frecuencia de fase en el ensamblaje del engrane y la amplitud del GMF. En la Ilustración 30-4 se observa que los submúltiplos de la frecuencia de engrane están de acuerdo con el cálculo matemático realizado, es decir, que el análisis vibracional realizado determina este modo de fallo.



**Ilustración 30-4:** Espectro de aceleración plano vertical (Problemas de fase)

**Realizado por:** Pilamunga E, Quishpe O, 2023.

En la Ilustración 31-4 se analizó las bandas laterales del GMF para identificar la separación a la que se encuentran y así comprobar si este aspecto es propio de este modo de fallo.



**Ilustración 31-4:** Bandas laterales plano vertical (Problemas de fase)

**Realizado por:** Pilamunga E, Quishpe O, 2023.

En la tabla 8-4 se describe las mediciones obtenidas de los problemas de fase en el ensamblaje del engranaje en el plano vertical.

**Tabla 8-4:** Mediciones obtenidas en el plano vertical de problemas de fase

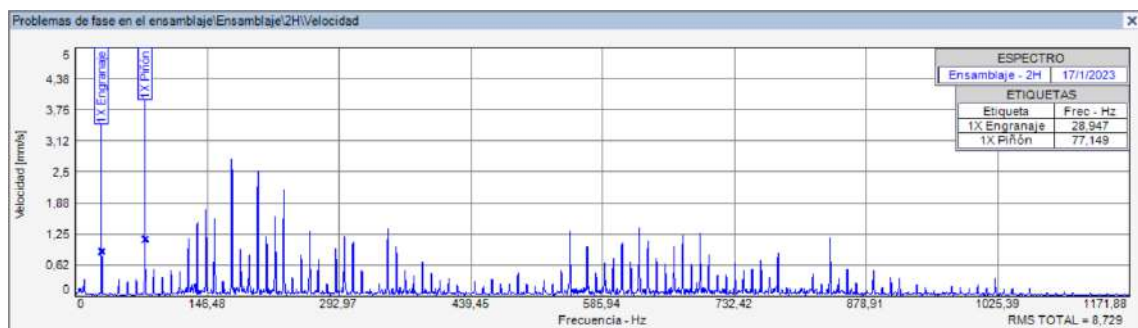
Denominación	Frecuencia [Hz]	Amplitud
1x Engranaje	28,996	0,699 mm/s
1x Piñón	67,589	2,275 mm/s
GAPF	239,784	0,078 g
2GAPF	479,568	0,028 g
3GAPF	719,351	0,096 g
4GAPF	959,135	0,077 g
5GAPF	1198,919	0,075 g
6GAPF	1438,703	0,078 g
7GAPF	1678,487	0,045 g
GMF	1918,27	0,032 g

**Realizado por:** Pilamunga E, Quishpe O, 2023.

Es importante mencionar que se obtuvo un rms total de 9,564 en el espectro de velocidad y un rms total de 1,908 en el espectro de aceleración, con los datos obtenidos en el plano vertical se pudo determinar que el espectro característico de las ruedas dentadas cuando existe un problema de fase en el ensamblaje esta adherido al espectro representado en las cartas de Charlotte.

#### 4.2.4.2. Mediciones obtenidas en el plano horizontal

En la Ilustración 32-4 se observa el espectro de velocidad del plano vertical en el cual se analizó las frecuencias fundamentales de las ruedas dentadas, estos armónicos forman parte del espectro característico de problemas de fase en el ensamblaje del engranaje.

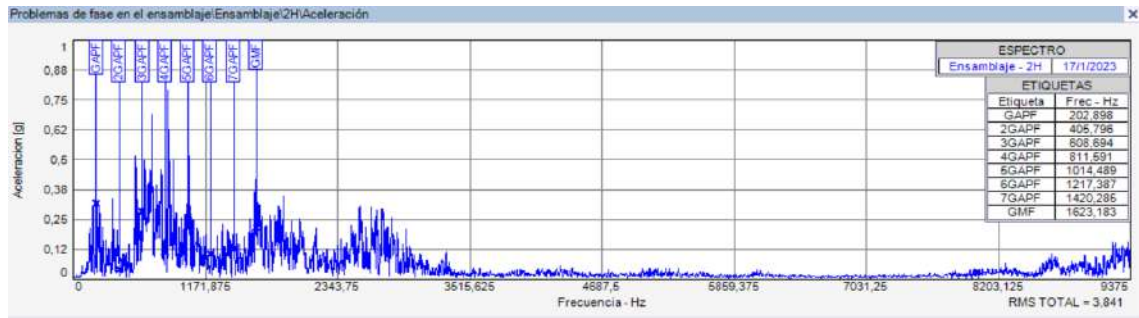


**Ilustración 32-4:** Espectro de velocidad plano horizontal (Problemas de fase)

**Realizado por:** Pilamunga E, Quishpe O, 2023.

En la Ilustración 33-4 se observa que los submúltiplos del GMF se encuentran acorde a los valores calculados anteriormente, siguiendo el mismo patrón espectral de este modo de fallo de acuerdo a las Cartas de Charlotte.

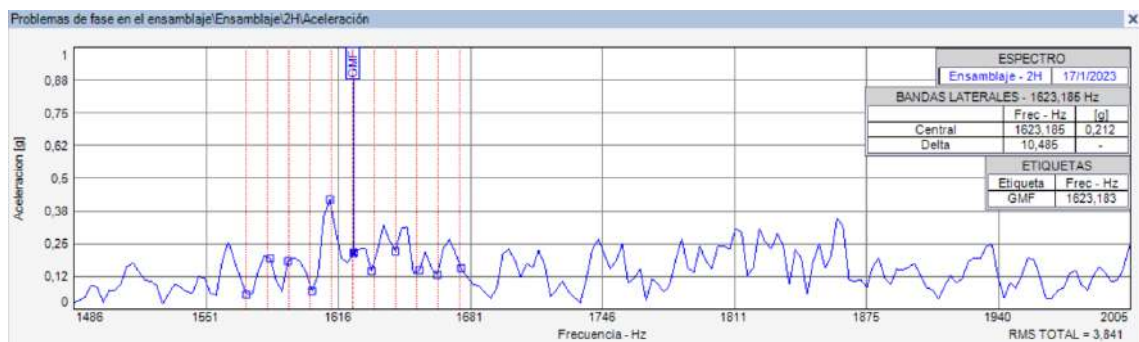




**Ilustración 33-4:** Espectro de aceleración plano horizontal (Problemas de fase)

Realizado por: Pilamunga E, Quishpe O, 2023.

En la Ilustración 34-4 se analizó las bandas laterales del GMF para identificar la separación a la que se encuentran y así comprobar si este aspecto es propio de este modo de fallo.



**Ilustración 34-4:** Bandas laterales plano vertical (Problemas de fase)

Realizado por: Pilamunga E, Quishpe O, 2023.

En la tabla 9-4 se describe las mediciones obtenidas de los problemas de fase en el ensamblaje del engranaje en el plano horizontal.

**Tabla 9-4:** Mediciones obtenidas en el plano horizontal de problemas de fase

Denominación	Frecuencia [Hz]	Amplitud
1x Engranaje	28,947	0,881 mm/s
1x Piñón	77,149	1,128 mm/s
GAPF	202,898	0,313 g
2GAPF	405,796	0,037 g
3GAPF	608,694	0,278 g
4GAPF	811,591	0,108 g
5GAPF	1014,489	0,255 g
6GAPF	1217,387	0,102 g
7GAPF	1420,285	0,125 g
GMF	1623,183	0,212 g

Realizado por: Pilamunga E, Quishpe O, 2023.

Se obtuvo un rms total de 8,729 en el espectro de velocidad y un rms total de 3,841 en el espectro de aceleración, con los datos obtenidos en el plano horizontal se puede determinar que no se obtiene un resultado adecuado correspondiente al espectro característico.

### 4.3. Interpretación de resultados

De acuerdo con las mediciones obtenidas se realiza un análisis comparativo de los distintos módulos tomando como base el espectro normal de un engranaje. Además, se tomará en cuenta el plano en el que se tomó la medida, para así determinar en cual se obtiene mejores resultados.

#### 4.3.1. Frecuencia natural

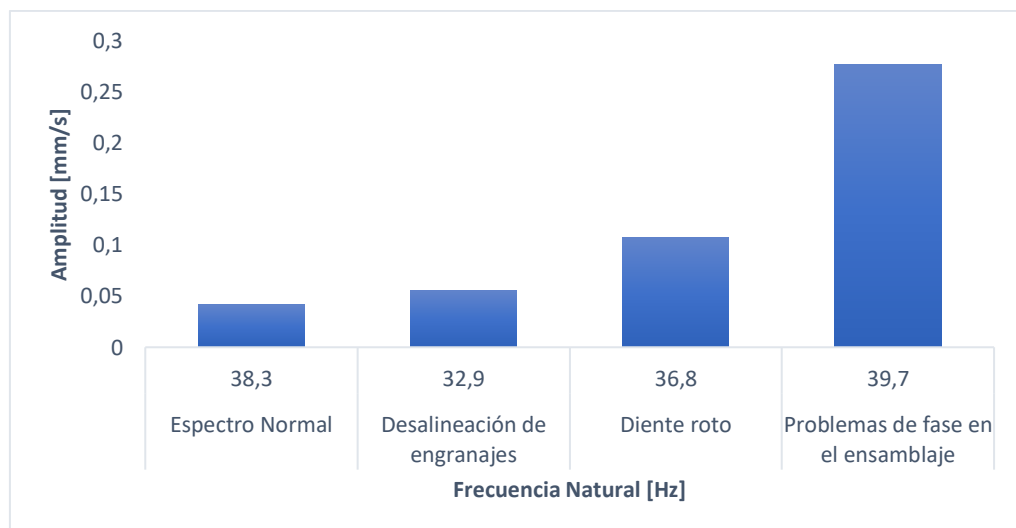
En la tabla 10-4 se observa las mediciones realizadas de la frecuencia natural.

**Tabla 10-4:** Datos obtenidos de la frecuencia natural

Módulo	Frecuencia [Hz]	Amplitud
Espectro Normal	38,3	0,0416 mm/s
Desalineación de engranajes	32,9	0,0556 mm/s
Diente roto	36,8	0,1071 mm/s
Problemas de fase en el ensamblaje	39,7	0,2764 mm/s

Realizado por: Pilamunga E, Quishpe O, 2023.

En la Ilustración 35-4 se observa el análisis comparativo realizado a las frecuencias naturales de los 4 módulos, en el cual se observa la variación existente entre las mismas.



**Ilustración 35-4:** Análisis de frecuencia natural

Realizado por: Pilamunga E, Quishpe O, 2023.

### 4.3.2. Frecuencia fundamental

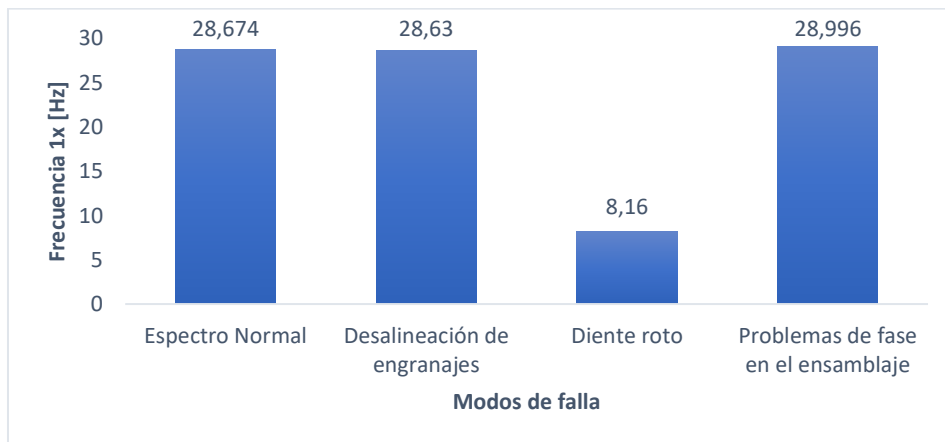
En la tabla 11-4 se observa las mediciones realizadas de la frecuencia fundamental del engranaje de los distintos módulos en el plano vertical

**Tabla 11-4:** Mediciones de la frecuencia fundamental del engranaje plano vertical

Módulo	Frecuencia [Hz]	Amplitud
Espectro Normal	28,674	1,065 mm/s
Desalineación de engranajes	28,63	0,435 mm/s
Diente roto	8,16	0,036 mm/s
Problemas de fase en el ensamblaje	28,996	0,699 mm/s

Realizado por: Pilamunga E, Quishpe O, 2023.

En la Ilustración 36-4 se observa el análisis comparativo realizado al 1x del engranaje de los 4 módulos, en el cual se observa la variación existente lo que ayuda a determinar la diferencia entre los distintos modos de fallo realizados.



**Ilustración 36-4:** Análisis 1x del engranaje plano vertical

Realizado por: Pilamunga E, Quishpe O, 2023.

En la tabla 12-4 se observa las mediciones realizadas del 1x en el plano horizontal

**Tabla 12-4:** Mediciones de la frecuencia fundamental del engranaje plano horizontal

Módulo	Frecuencia [Hz]	Amplitud
Espectro Normal	28,581	1,121 mm/s
Desalineación de engranajes	28,626	0,097 mm/s
Diente roto	7,55	0,002 mm/s
Problemas de fase en el ensamblaje	28,947	0,881 mm/s

Realizado por: Pilamunga E, Quishpe O, 2023.

En la Ilustración 37-4 se observa el análisis comparativo realizado al 1x del engranaje en el plano horizontal, mantenido el mismo patrón que en el plano vertical en el que se observa la variación existente de estas frecuencias, determinando así la diferencia entre los distintos modos de fallo realizados.



**Ilustración 37-4:** Análisis 1x del engranaje plano horizontal

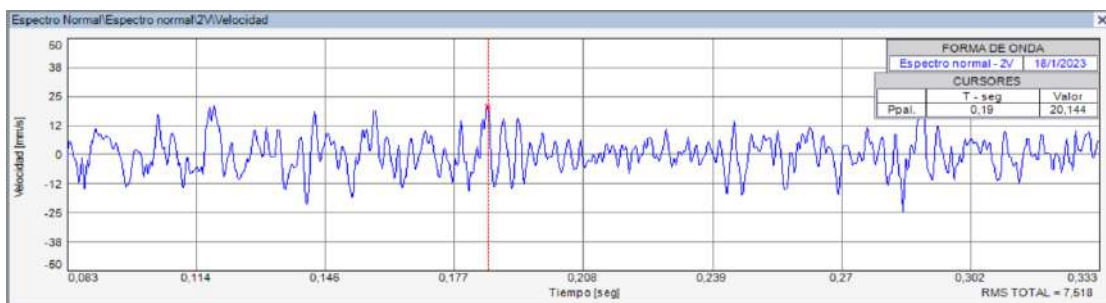
Realizado por: Pilamunga E, Quishpe O, 2023.

#### 4.3.3. Factor cresta

Este análisis va a determinar la senoidal de los distintos modos de falla, y así conocer si existe un golpeteo lo que es característico del diente roto y de problemas de fase en el ensamblaje, pero a su vez se va a realizar un análisis comparativo de todos los módulos. Teniendo en cuenta que la amplitud RMS real es correspondiente al RMS total que se encuentra en la parte inferior derecha de la forma de onda analizada, se procede a realizar el análisis de los diferentes módulos.

##### 4.3.3.1. Espectro normal

En la Ilustración 38-4 se observa la forma de onda en el plano vertical.



**Ilustración 38-4:** Forma de onda espectro normal plano vertical

Realizado por: Pilamunga E, Quishpe O, 2023.

Se procede a realizar el cálculo del factor cresta

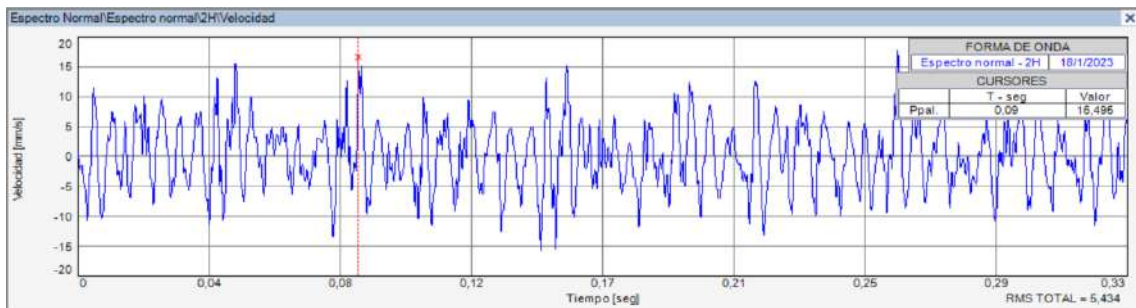
$$\text{factor cresta} = \frac{\text{valor máximo}}{\text{RMS total}}$$

$$\text{factor cresta} = \frac{20,144}{7,518}$$

$$\text{factor cresta} = 2,6$$

El valor calculado hace referencia a la relación entre el valor pico y el valor RMS total de vibración.

En la Ilustración 39-4 se observa la forma de onda en el plano horizontal del funcionamiento normal.



**Ilustración 39-4:** Forma de onda espectro normal plano horizontal

**Realizado por:** Pilamunga E, Quishpe O, 2023.

Se procede a realizar el cálculo del factor cresta

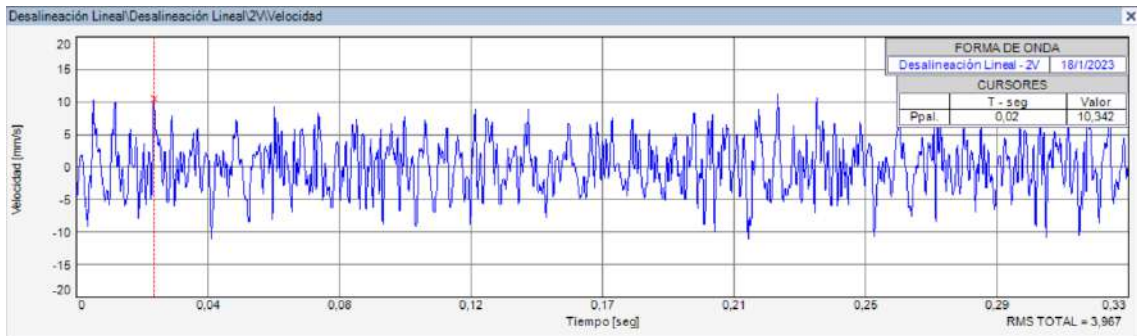
$$\text{factor cresta} = \frac{\text{valor máximo}}{\text{RMS total}}$$

$$\text{factor cresta} = \frac{16,495}{5,434}$$

$$\text{factor cresta} = 3,03$$

#### 4.3.3.2. Desalineación de un engranaje

En la Ilustración 40-4 se observa la forma de onda de la desalineación.



**Ilustración 40-4:** Forma de onda desalineación plano vertical

**Realizado por:** Pilamunga E, Quishpe O, 2023.

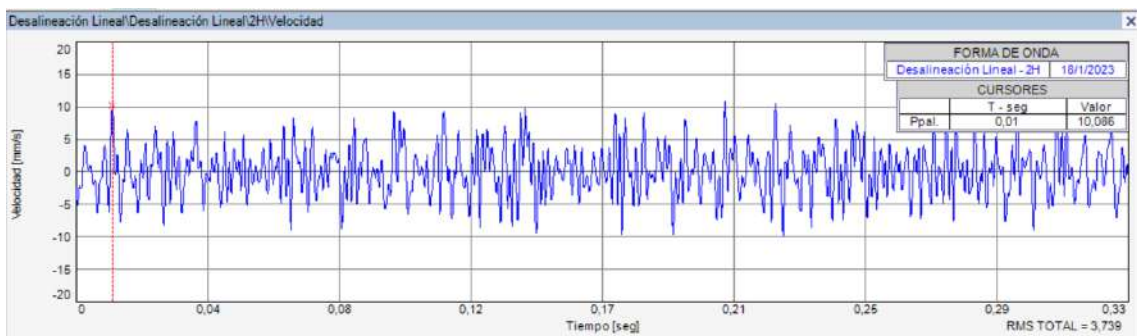
Se procede a realizar el cálculo del factor cresta

$$\text{factor cresta} = \frac{\text{valor máximo}}{\text{RMS total}}$$

$$\text{factor cresta} = \frac{10,342}{3,967}$$

$$\text{factor cresta} = 2,6$$

En la Ilustración 41-4 se observa la forma de onda en el plano horizontal de la desalineación del engranaje.



**Ilustración 41-4:** Forma de onda desalineación plano horizontal

**Realizado por:** Pilamunga E, Quishpe O, 2023.

Se procede a realizar el cálculo del factor cresta

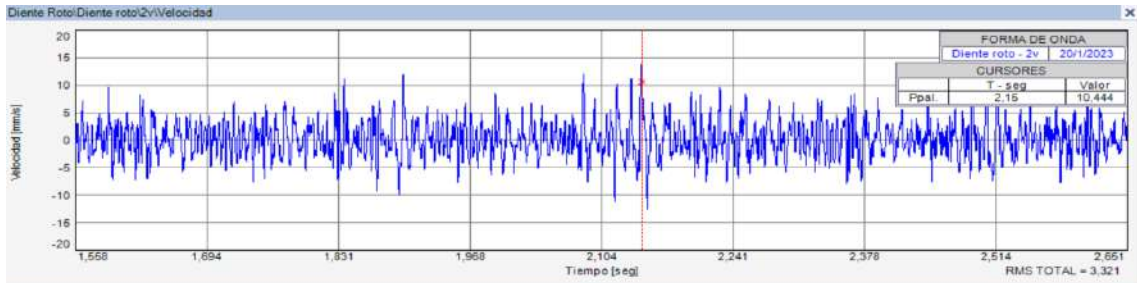
$$\text{factor cresta} = \frac{\text{valor máximo}}{\text{RMS total}}$$

$$\text{factor cresta} = \frac{10,086}{3,739}$$

factor cresta = 2,69

#### 4.3.3.3. Diente roto

En la Ilustración 42-4 se observa la forma de onda en el plano vertical del diente roto.



**Ilustración 42-4:** Forma de onda del diente roto plano vertical

**Realizado por:** Pilamunga E, Quishpe O, 2023.

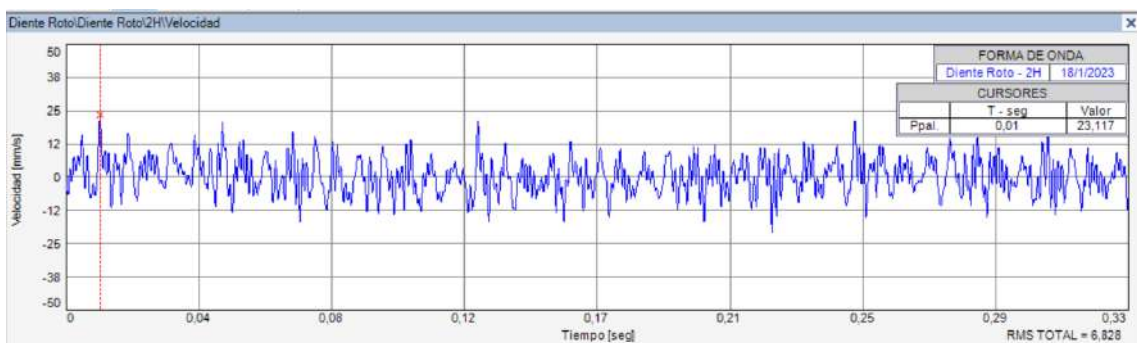
Se procede a realizar el cálculo del factor cresta

$$\text{factor cresta} = \frac{\text{valor máximo}}{\text{RMS total}}$$

$$\text{factor cresta} = \frac{10,444}{3,321}$$

$$\text{factor cresta} = 3,14$$

En la Ilustración 43-4 se observa la forma de onda en el plano horizontal del diente roto.



**Ilustración 43-4:** Forma de onda diente roto plano horizontal

**Realizado por:** Pilamunga E, Quishpe O, 2023.

Se procede a realizar el cálculo del factor cresta.

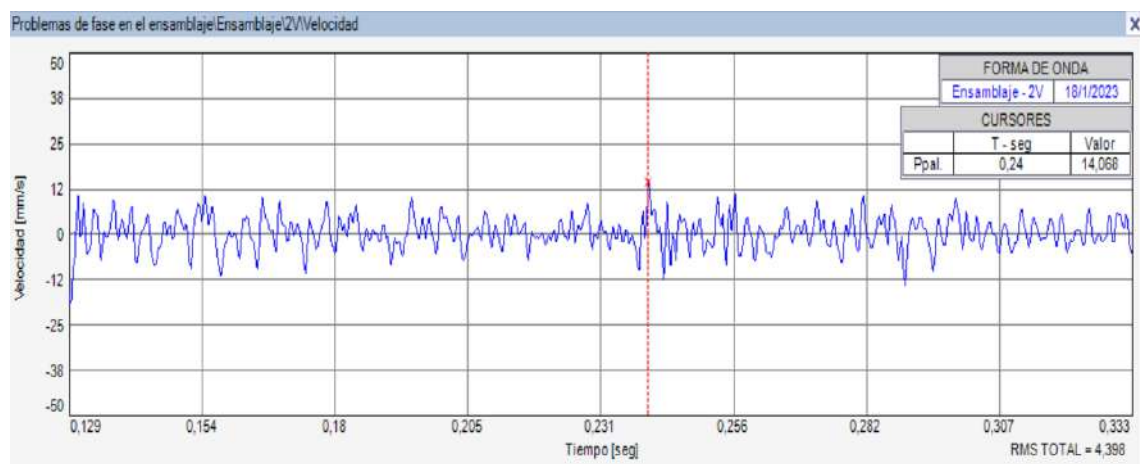
$$\text{factor cresta} = \frac{\text{valor máximo}}{\text{RMS total}}$$

$$\text{factor cresta} = \frac{23,117}{6,828}$$

$$\text{factor cresta} = 3,39$$

#### 4.3.3.4. Problemas de fase en el ensamblaje

En la Ilustración 44-4 se observa la forma de onda en el plano vertical del problema de fase en el ensamblaje del engranaje.



**Ilustración 44-4:** Forma de onda problemas de fase plano vertical

**Realizado por:** Pilamunga E, Quishpe O, 2023.

Se procede a realizar el cálculo del factor cresta

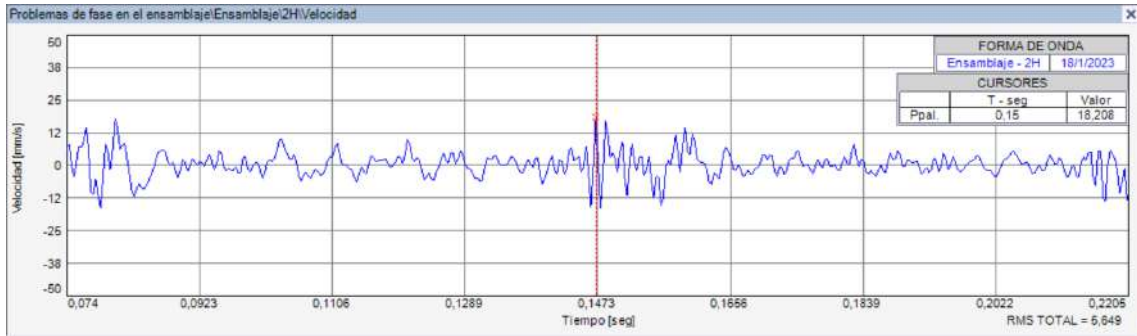
$$\text{factor cresta} = \frac{\text{valor máximo}}{\text{RMS total}}$$

$$\text{factor cresta} = \frac{14,068}{4,398}$$

$$\text{factor cresta} = 3,19$$

En la Ilustración 39,4 se observa la forma de onda en el plano horizontal del problema de fase en el ensamblaje del engranaje.





**Ilustración 45-4:** Forma de onda problemas de fase plano horizontal

**Realizado por:** Pilamunga E, Quishpe O, 2023.

Se procede a realizar el cálculo del factor cresta

$$\text{factor cresta} = \frac{\text{valor máximo}}{\text{RMS total}}$$

$$\text{factor cresta} = \frac{18,208}{5,649}$$

$$\text{factor cresta} = 3,22$$

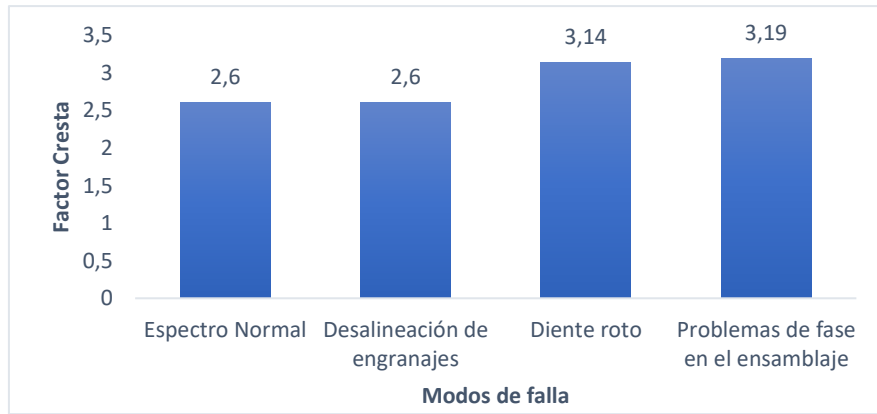
Después de conocer el valor de factor cresta de las diferentes formas de onda de los distintos módulos, se procede a realizar un análisis comparativo en el plano vertical y en el plano horizontal. En la Tabla 13-4 se observa los valores calculados en el plano vertical

**Tabla 13-4:** Factor cresta del plano vertical

Módulo	Factor cresta
Espectro Normal	2,6
Desalineación de engranajes	2,6
Diente roto	3,14
Problemas de fase en el ensamblaje	3,19

**Realizado por:** Pilamunga E, Quishpe O, 2023.

Mediante los datos obtenidos, se procede a realizar el análisis comparativo teniendo como resultado la Ilustración 46-4 en la cual se observa que hay un factor cresta elevado en los modos de falla correspondientes al diente roto de un engranaje y a los problemas de fase de ensamblaje del engranaje lo que manifiesta que existen choques elevando así el valor de la amplitud pico a pico de la vibración, por lo tanto, se puede decir que este es un parámetro importante para identificar este modo de fallo.



**Ilustración 46-4:** Factor cresta – Plano Vertical

Realizado por: Pilamunga E, Quishpe O, 2023.

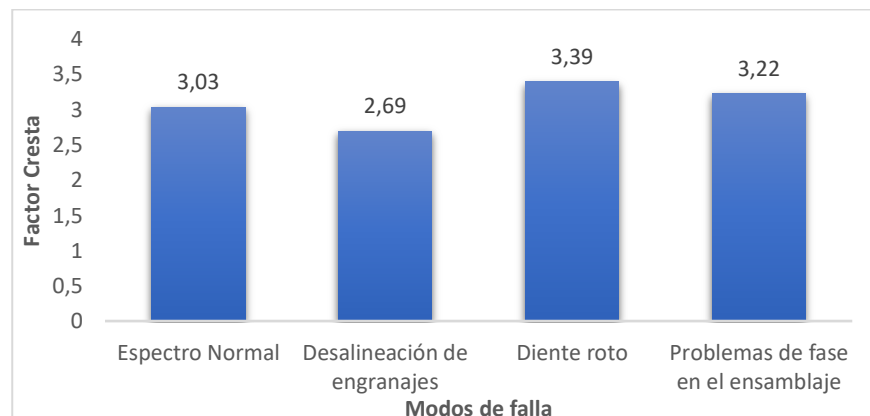
Después de comparar el valor de factor cresta en el plano vertical se procede a realizar la comparación de medidas en el plano horizontal en la Tabla 13-4 se observa los valores calculados.

**Tabla 14-4:** Factor cresta del plano vertical

Módulo	Factor cresta
Espectro Normal	3,03
Desalineación de engranajes	2,69
Diente roto	3,39
Problemas de fase en el ensamblaje	3,22

Realizado por: Pilamunga E, Quishpe O, 2023.

Mediante los datos obtenidos, se procede a realizar el análisis comparativo teniendo como resultado la Ilustración 47-4 en la cual se observa el mismo principio del plano vertical antes analizado.



**Ilustración 47-4:** Factor cresta – Plano Horizontal

Realizado por: Pilamunga E, Quishpe O, 2023.

#### 4.4. Ficha técnica

La ficha técnica está en base a las características del motor y alternador a utilizar en el módulo de simulación. Cada uno de los sistemas pertenecientes al módulo, así como los rangos, condiciones generales cada uno de sus componentes, se describen en la ficha técnica que se muestra en el anexo B.


#### 4.5. Plan de mantenimiento

Para realizar el plan de mantenimiento sea codificado cada uno de los módulos con su respectivo modo de falla

##### 4.5.1. Codificación de los módulos de simulación de fallas

Se describe la respectiva codificación de los módulos en la tabla 16-4.

Tabla 15-4: Codificación.

 <b>Laboratorio de diagnóstico técnico y eficiencia energética</b>	
<b>Equipos</b>	<b>Código</b>
Módulo de simulación de fallas de engranajes en condiciones normales	FAME-LDE-MFE01
Módulo de simulación de fallas de engranajes con desalineación	FAME-LDE-MFE02
Módulo de simulación de fallas de engranajes con diente roto	FAME-LDE-MFE03
Módulo de simulación de fallas de engranajes con problemas de fase en el ensamblaje	FAME-LDE-MFE04

Realizado por: Pilamunga E, Quishpe O, 2023.

##### 4.5.2. AMEF (Análisis de modo y efecto de Falla)

En el anexo C se indica detalladamente la elaboración del AMEF (Análisis del modo y efectos de falla) para cada módulo de simulación de fallas de ruedas dentadas colocados en el laboratorio de Diagnóstico Técnico y Eficiencia Energética. En el se detalla la función, falla

funcional, modo de falla, efecto de falla y consecuencia para cada módulo de simulación de fallas.

#### **4.5.3. *Tareas de mantenimiento.***

Se registran todas las tareas que se deben realizar a cada uno de los módulos de simulación de fallas en ruedas dentadas en el anexo D, ya que estos datos servirán como información en la gestión de mantenimiento en el laboratorio de diagnóstico técnico y eficiencia energética.

## CONCLUSIONES

Mediante las pruebas preliminares realizadas a los módulos implementados en el laboratorio de Diagnóstico Técnico y Eficiencia Energética se identificó las deficiencias que presentaban los módulos de simulación de fallas en el rotor kit, en donde se obtuvo armónicos indeseables, exceso de ruido en el análisis vibracional debido a la falta de rectificación de sus bases y anclaje a la mesa de trabajo. Además, se pudo determinar que estos armónicos se producían también por los diferentes modos de falla que se podía simular en el módulo tales como: desalineación de ejes, desbalanceo; lo cual producía vibraciones que afectaban al momento de analizar los espectros de velocidad y aceleración propios de las fallas de engranajes.

Se estableció los componentes necesarios para la mejora del módulo de simulación de fallas y así evitar los diferentes inconvenientes encontrados en los módulos del rotor kit del Laboratorio de Diagnóstico Técnico, así mismo con la ayuda de un software de diseño se dimensionó cada pieza necesaria, se estableció el tipo de material y el nuevo diseño a implementar para la construcción adecuada del módulo permitiendo obtener resultados pegados a las cartas de Charlotte.

En la construcción de mejora realizado para los cuatro módulos se determinó un modo de falla distinto para cada uno, y con ello se pueda realizar prácticas de análisis vibracional en el que se logre identificar los distintos modos de falla de las ruedas dentadas en base a las cartas de Charlotte. Además, se aisló el módulo de simulación de fallas de ruedas dentadas en la mesa de trabajo, lo que permitió disminuir las vibraciones correspondientes a otro modo de fallo.

Con la instalación de la mejora de los módulos de simulación de fallas de ruedas dentadas se realizó las pruebas de funcionamiento, en el cual se pudo verificar la variación de las vibraciones generadas de los diferentes módulos implementados mediante el análisis de los espectros de velocidad y aceleración en los que se observa la diferencia de amplitudes de la frecuencia de engrane y el 1x del engranaje y el piñón de acuerdo al modo de falla analizado.

La mejora del módulo de simulación de fallas de ruedas dentadas permitió disminuir la amplitud de los armónicos indeseables y ayudó a identificar de mejor manera los espectros y formas de onda característicos de cada modo de falla representado en base a las cartas de Charlotte.

## **RECOMENDACIONES**

Se recomienda el uso de equipo de protección personal como guantes, tapones auditivos y el mandil, al momento de realizar estas actividades de laboratorio debido a que la presencia de componentes de transmisión de velocidad como son los engranajes pondrá en peligro no solo la condición física de la persona, sino también la audición debido al ruido producido.

Realizar una inspección visual al módulo de simulación de fallas de ruedas dentadas antes de su utilización, para verificar el ajuste de los pernos y que la posición de las placas sean las correctas de acuerdo con el modo de fallo representado.

Realizar el cálculo matemático de la relación de transmisión en el caso que se desea cambiar los engranajes por uno de mayor o menor número de dientes y a su vez el cálculo de la frecuencia de fase del ensamblaje del engrane, para de esta manera identificar con facilidad el 1x del engranaje, 1x del piñón, GMF y GAPF en el análisis de los espectros de velocidad y aceleración.

Para el análisis de vibraciones a realizarse en el Software MAINTraQ Predictive se recomienda que al momento de generar los espectros y las formas de onda se le configure a 3200 de líneas espectrales y una cantidad de muestras de 8000, lo cual permitirá analizar de mejor manera el modo de falla representado.

Seguir el plan de mantenimiento para evitar el deterioro de los módulos y así garantizar su correcto funcionamiento.

## BIBLIOGRAFÍA

**ALBARRÁN, Justo.** *APLICACIÓN AL DISEÑO DE ENGRANAJES DE EJES PARALELOS CON CATIA v5.* [en línea]. Escuela Superior de Ingenieros Departamento de Ingeniería Gráfica, 2008. [Consulta: 13 octubre 2022]. Disponible en: <https://biblus.us.es/bibing/proyectos/abreproy/4483/fichero/Portada.pdf>

**ARROYO, Pablo.** *Diseño de una máquina rectificadora de discos de freno estándar para vehículos automotores livianos* [en línea]. Universidad Internacional SEK, 2015. [Consulta: 29 noviembre 2022]. Disponible en: <http://localhost:8080/xmlui/handle/123456789/1548>Accepted: 2015-12-03T19:52:18Z.

**CHILDS, Peter R. N.** Gears. En: CHILDS, Peter R. N. (ed.), *Mechanical Design Engineering Handbook (Second Edition)* [en línea]. Butterworth-Heinemann, 2019, pp. 377-434. [Consulta: 13 octubre 2022]. ISBN 978-0-08-102367-9.

**CHILDS, Peter R. N.** Spur and helical gear stressing. En: CHILDS, Peter R. N. (ed.), *Mechanical Design Engineering Handbook (Second Edition)* [en línea]. Butterworth-Heinemann, 2019, pp. 435-474. [Consulta: 6 noviembre 2022]. ISBN 978-0-08-102367-9.

**CONDEMAITA QUILLIGAN, José Andrés & MOLANO TOBAR, César Steven.** 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. [en línea] (Trabajo de titulación). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo , Riobamba. 2022. [Consulta: 28 septiembre 2022]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/16220>Accepted: 2022-07-18T20:27:51Z

**DELGADO BARRERA, María Angélica.** Diseño y construcción de kits de prueba para diagnosticar fallas en engranajes de máquinas rotativas. 2020. pp. 17.

**FARINA, Alberto.** Motores eléctricos trifásicos: usos, componentes y funcionamiento. 2018. pp. 5.

**GALLARDO GONZÁLEZ, Guillermo Nicolás,** Diagnóstico de fallas en engranajes planetarios a partir de redes neuronales entrenadas con modelo fenomenológico [en línea].

2019. [Consulta: 29 septiembre 2022]. Disponible en:  
<https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/174000>Accepted: 2020-04-22T04:35:04Z

**GALLEGUILLOS REYES, Carlos Roberto & REYES VALENZUELA, Nicolás Andrés.** Estudio y análisis dinámico de señales provenientes de cajas de engranajes [en línea]. 2014. [Consulta: 16 octubre 2022]. Disponible en:  
<http://repobib.ubiobio.cl/jspui/handle/123456789/1396>Accepted: 2017-01-17T12:41:37Z

**GOKCEK, Murat.** *Mechanical Engineering*. Rijeka-Croacia: Intechopen, 2012, pp. 22-23

**GRZESIK, Wit.** Chapter Two - Metal Cutting Operations and Terminology. En: GRZESIK, Wit (ed.), *Advanced Machining Processes of Metallic Materials* [en línea]. Amsterdam: Elsevier, 2008. pp. 5-15. [Consulta: 17 octubre 2022]. Disponible en:  
<https://doi.org/10.1016/B978-008044534-2.50004-7>

**GUPTA, Kapil, JAIN, Neelesh Kumar & LAUBSCHER, Rudolph.** *Advanced Gear Manufacturing and Finishing* [en línea]. Academic Press, 2017, pp. 1-33. [Consulta: 14 octubre 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-804460-5.00001-8>

**KAUFMAN, Alexander & ITSKOVICH, Gregory.** *Basic Principles of Induction Logging*. Elsevier, , 2017. ISBN 978-0-12-802583-3, pp. 39-90.

**LIU, Yan, ZHANG, Jianxun, YOU, Qishen & ZHANG, Linjie.** "A novel martensitic steel powder for plasma arc direct energy deposition to remanufacture broken gear teeth". *Materials Letters*. Vol. 301 (2021), pp. 12-13.

**LÓPEZ, Jorge.** *Módulo 3. Fundamentos de Electricidad*. Ediciones Paraninfo S.A, , 2014. ISBN 978-84-283-9898-5.

**MENG, Zong, SHI, Guixia y WANG, Fulin.** 2020. "Vibration response and fault characteristics analysis of gear based on time-varying mesh stiffness". *Mechanism and Machine Theory*. Vol. 148, (2020), pp. 10-37.

**MOLINA, Cristián & CLEVELAND, Brian.** *Estudio teórico de las vibraciones torsionales y radiales de una transmisión de engranajes rectos* [en línea]. 2022.



[Consulta: 29 septiembre 2022].

Disponible

en::

<http://repositorio.udec.cl/jspui/handle/11594/9893>Accepted: 2022-05-11T09:53:51Z

**QUISPE, Enrique & GÓMEZ, Julio** *Desequilibrio de tensiones en motores de inducción: Modelado, impacto en el desempeño energético, determinación de la eficiencia*. Programa Editorial Universidad Autónoma de Occidente, 2020. ISBN 978-958-619-066-4.

**SAU MOLINA, Pablo José** Estudio teórico y experimental de un freno magnético [en línea] (Trabajo de titulación). Universidad de Sevilla, 2019. [Consulta: 16 noviembre 2022]. Disponible en: <https://idus.us.es/handle/11441/94436>Accepted: 2020-03-23T12:13:59Z

**SIMMONS, Colin H., MAGUIRE, Dennis E. y PHELPS, Neil.** *Manual of Engineering Drawing* [en línea]. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2020, pp. 181-206. [Consulta: 29 noviembre 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818482-0.00016-5>

**TIPLER, Paul.** *Física para la ciencia y la tecnología: Mecánica..* Reverte, 2004. ISBN 978-84-291-4402-4.

**ULLOA, Lenin & VASCO, Oscar.** *Diseño y construcción de una máquina para ensayo de engranes rectos sometidos a fatiga* [en línea]. 2020. [Consulta: 6 noviembre 2022]. Disponible en: <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/19207>Accepted: 2020-09-21T21:39:37Z

**VILLARREAL, César.** Análisis de espectros de frecuencia de vibraciones de engranajes en el reductor planetario Flender de la transmisión del molino 3 del área de Extracción de la Agroindustrial Cartavio [en línea] (Trabajo de titulación). Universidad Nacional de Trujillo, Perú, 2020. [Consulta: 25 enero 2023]. Disponible en: <http://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/16062>Accepted: 2020-03-11T14:12:36Z

**VUKELIC, Goran, PASTORCIC, Darko, VIZENTIN, Goran & BOZIC, Zeljko.** "Failure investigation of a crane gear damage". *Engineering Failure Analysis* [en línea], 2020. Vol. 115, pp. 1-2. [Consulta: 12 diciembre 2022] Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2020.104613>

**WHITE, Glen** *Introducción al análisis de vibraciones*. Azima DL, 2017.

# **ANEXOS**

## ANEXOS

### ANEXO A: GUÍA DE LABORATORIO DE RUEDAS DENTADAS



**esPOCH** | Facultad  
de Mecánica

## GUÍA DE LABORATORIO DE DIAGNÓSTICO TÉCNICO

### Práctica No: 4

**TEMA:** “DIAGNÓSTICO DE FALLAS EN RUEDAS DENTADAS”

#### 1. DATOS GENERALES

NOMBRE	CÓDIGO	% DE PARTICIPACIÓN

**GRUPO No.:** .....

**FECHA DE REALIZACIÓN:** .....

**FECHA DE ENTREGA:** .....

#### 2. OBJETIVOS

##### 2.1 OBJETIVO GENERAL

- Diagnosticar fallas en ruedas dentadas en los distintos módulos del laboratorio mediante el análisis vibracional reconociendo los distintos armónicos y formas de onda característicos y así mitigar las consecuencias eficazmente.

##### 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Efectuar el análisis de vibraciones en ruedas dentadas con modos de fallas y con funcionamiento normal.
- Determinar las frecuencias de 1X-Engranaje y 1X-Piñón a condiciones normales
- Analizar los espectros y tabular los valores de amplitud de los armónicos.
- Realizar gráficos para la comparación de valores de amplitud de los armónicos.

### **3. INSTRUCCIONES**

La práctica se desarrollará mediante el cumplimiento secuencial de los siguientes pasos:

- 3.1. Montar y asegurar el módulo de prueba en la mesa correspondiente y verificar su funcionamiento.
- 3.2. Crear la configuración del equipo en el software y cargar en el analizador de vibraciones.
- 3.3. Encender el módulo en arranque directo
- 3.4. Prender la fuente y variar los valores corriente y voltaje de acuerdo a las especificaciones dadas de cada módulo en el ítem de toma y recolección de datos.
- 3.5. Colocar el acelerómetro y tomar las medidas de vibración en las 3 direcciones vertical, horizontal y axial en el módulo de ruedas dentadas.
- 3.6. Guardar las mediciones de vibración en el computador mediante el software de análisis vibraciones.
- 3.7. Trasladarse de módulo en el laboratorio (Al cambiar de módulo encontrará un modo de falla distinto)
- 3.8. Repetir los pasos desde el 3.3 al 3.5 hasta tomar las mediciones en todos los módulos correspondientes a ruedas dentadas.

### **4. ACTIVIDADES POR DESARROLLAR**

Las actividades o etapas en forma secuencial para el desarrollo de la práctica, se indican de la siguiente manera:

#### **4.1. Observación, reconocimiento, manejo de instrumentos y equipos**

##### **4.1.1. Equipos de protección personal**

- Guantes
- Gafas de seguridad
- Mandil
- Protección auditiva

##### **4.1.2. Equipos y herramientas**

- Módulo de fallas en ruedas dentadas

- Analizador de Vibraciones (VIBRACHECK 200 ABG)
- Cable de datos USB
- Sensor acelerómetro
- Software para el análisis de vibraciones
- Computador
- Llaves hexagonales
- Destornillador plano
- USB

#### 4.1.3. Materiales

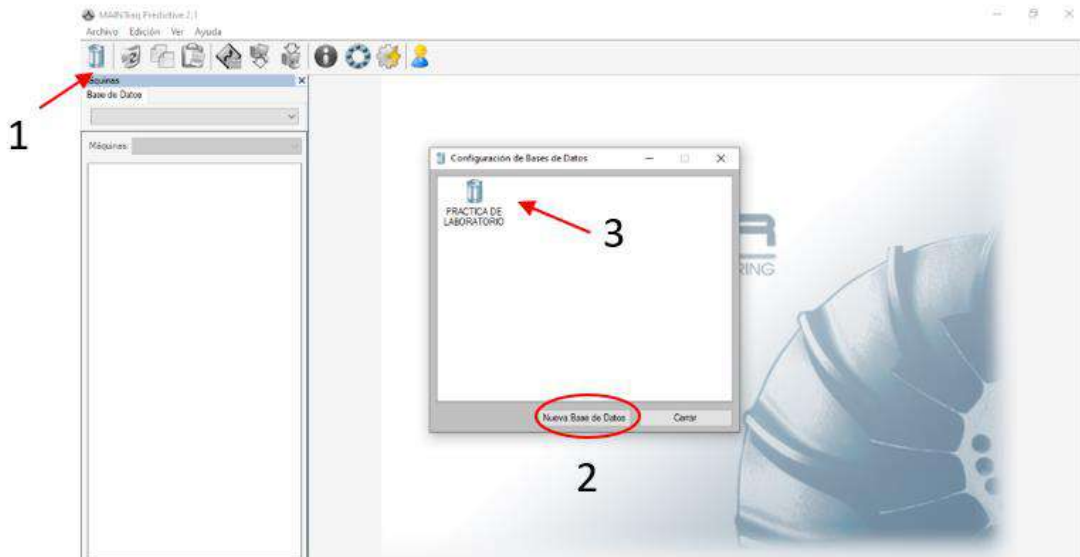
Reemplace este cuadro por una fotografía del módulo ensamblado

Fotografía del módulo ensamblado

- Colocar el módulo de ruedas dentadas (se encuentra ya armado y consta de un motor WEG) en la mesa de pruebas de funcionamiento.
- Ajustar los pernos de fijación que posee el módulo con respecto a la mesa de pruebas
- ⚠ El factor de seguridad más importante a considerar es que cualquier manipulación del módulo debemos apagar el motor, inclusive para poner o retirar el sensor se debe apagar el motor.
- Colocar el sensor radialmente de forma vertical en el inserto del motor más cercano al engranaje, conectado al Vibracheck 200 ABG.
- Colocar el acelerómetro radialmente de forma horizontal en los soportes del motor más cercano al engranaje, conectado al Vibrachek 200 ABG.
- Colocar los acelerómetros de forma axial en el soporte del alternador, conectado al Vibrachek 200 ABG.
- ⚠ Asegúrese que se realice un buen contacto entre superficie el acople del motor y la superficie del acelerómetro para obtener las correctas mediciones.
- Abrir el software MAINTraQ Predictive, creamos un nuevo ensayo llamado “Ruedas dentadas” donde se configura la ruta.

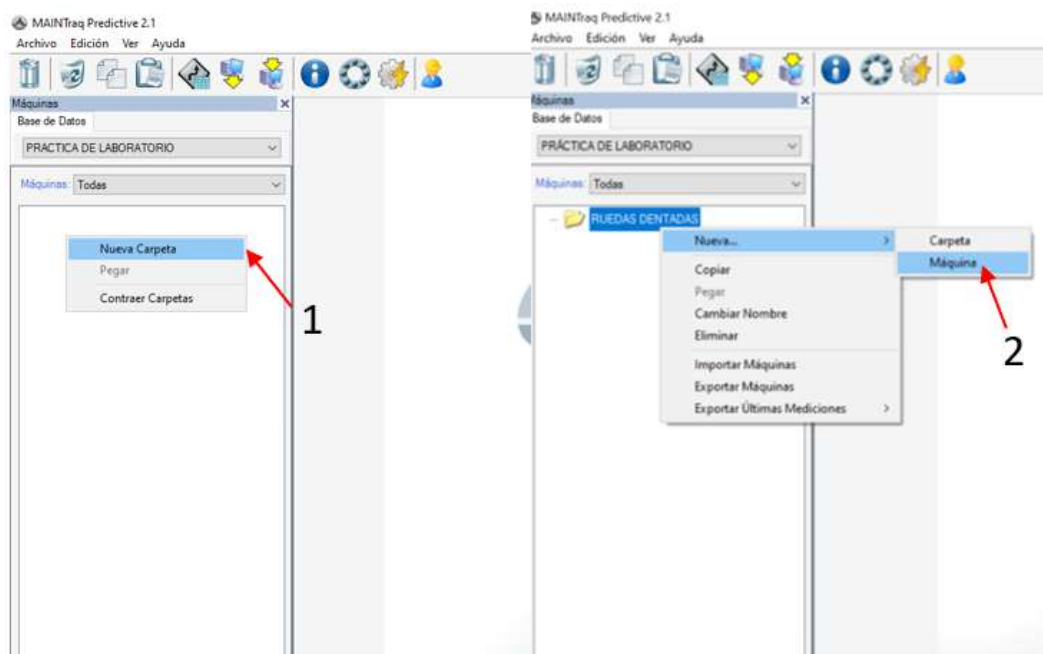
#### 4.1.4. Manejo de instrumentos y equipos

**Paso 1.** Una vez iniciado el programa, ingresaremos en el botón de configuración de base de datos, donde crearemos una nueva base de datos para nuestra practica de laboratorio.



**Paso 2.** En este paso, una vez ya creada la base de datos para la practica, procedemos a crear una nueva carpeta que contenera la máquina con la cual se realizaran pruebas, como se muestran en las siguientes figuras a continuacion.

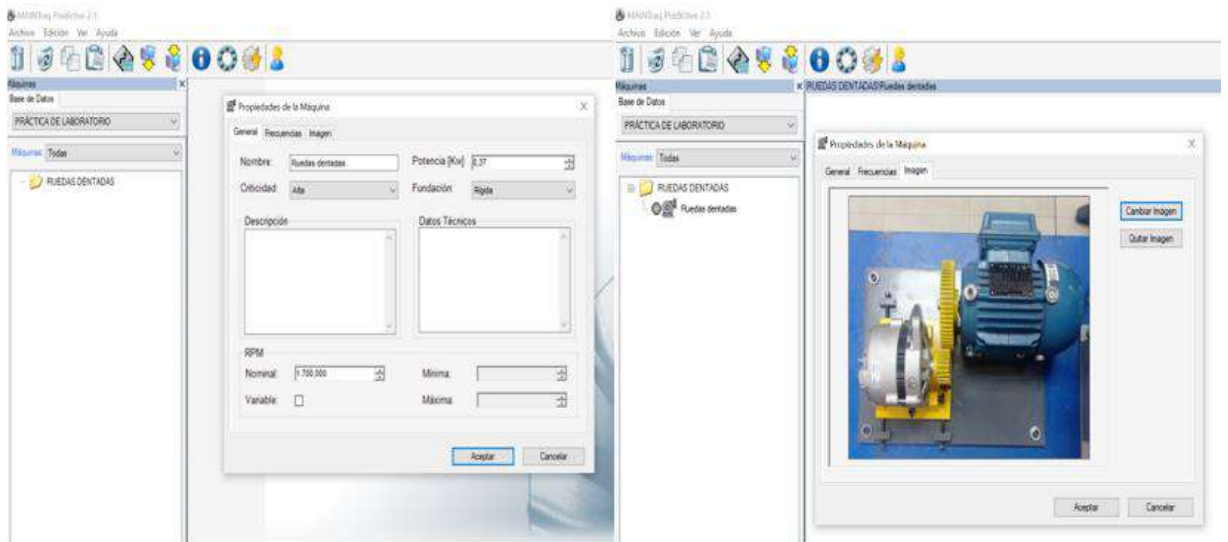
**Nota.** Se puede crear varias carpetas en caso de ser necesario, dentro de la misma carpeta.



**Paso 3.** Una vez creada la carpeta que contendrá la máquina, la cual será puesta en análisis en las prácticas de laboratorio, y se procede a la configuración de la máquina, con las especificaciones técnicas de la misma, como son el nombre, potencia, sus rpm, etc. Mostrada en la siguiente figura.

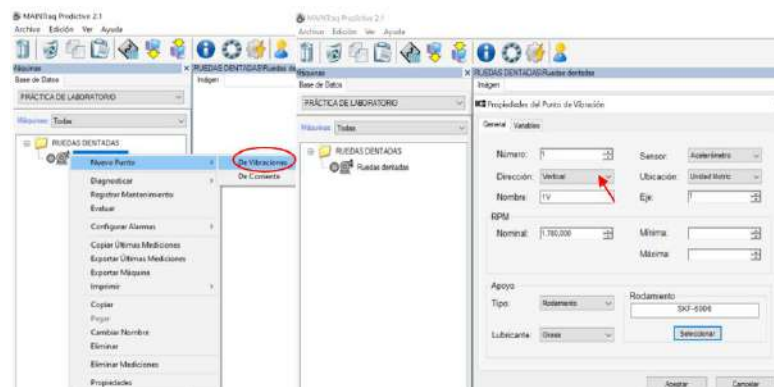
De igual manera, se realiza la configuración de las frecuencias, las cuales irán configuradas de acuerdo a los rpm de la máquina. Se puede agregar varias etiquetas según la necesidad del análisis.

En el tercer icono, se puede agregar una imagen o fotografía de la máquina o módulo.



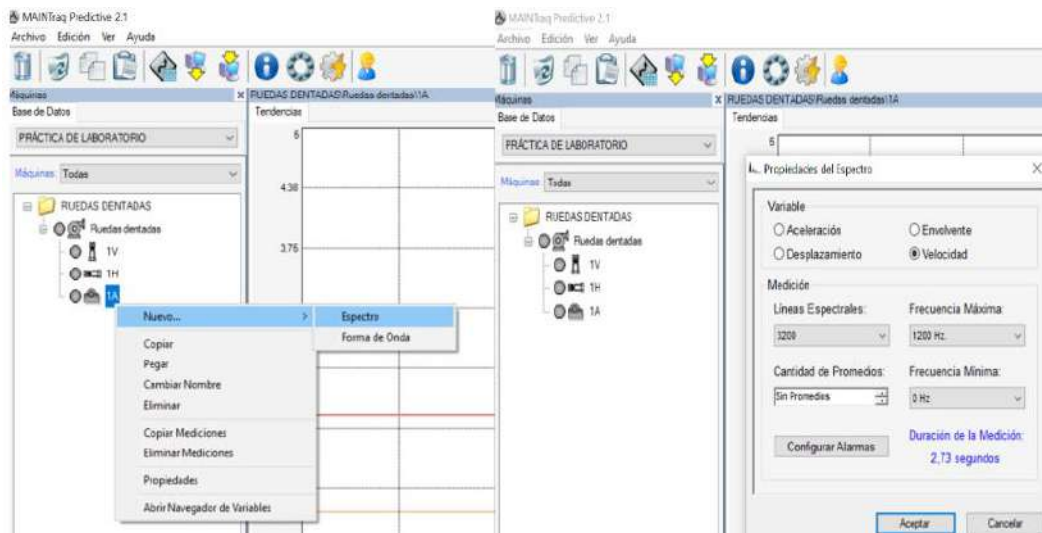
**Paso 4.** La máquina creada, debe ser configurada para el análisis. Seleccionamos un nuevo punto y marcamos de vibraciones, y configuramos la dirección, la ubicación, el tipo de apoyo y su lubricación (seleccionando el tipo del rodamiento usado en el sistema).

Aquí podemos configurar en las 3 direcciones para el análisis, vertical, horizontal y axial, tanto en la unidad motriz como en la conducida, de ser el caso sea necesario en el análisis.



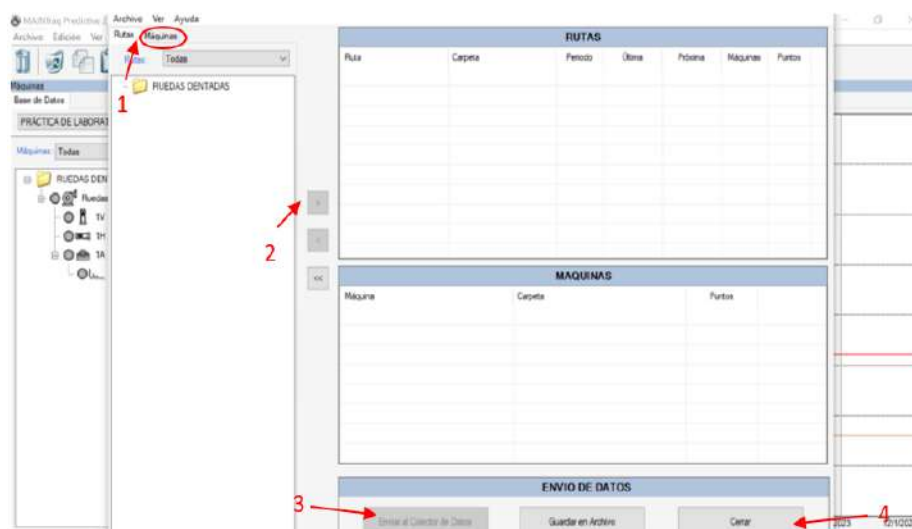
**Paso 5.** Creadas las configuraciones de los apoyos donde se tomara las mediciones, creamos la configuración de los espectros y formas de onda, las cuales nos ayudaran a la interpretación de datos.

Dentro de las propiedades a configurar, existen velocidad, desplazamiento, envolvente y aceleración, dependiendo el uso y la necesidad del análisis. Se recomienda utilizar 3200 líneas espectrales para una mejor toma de datos.



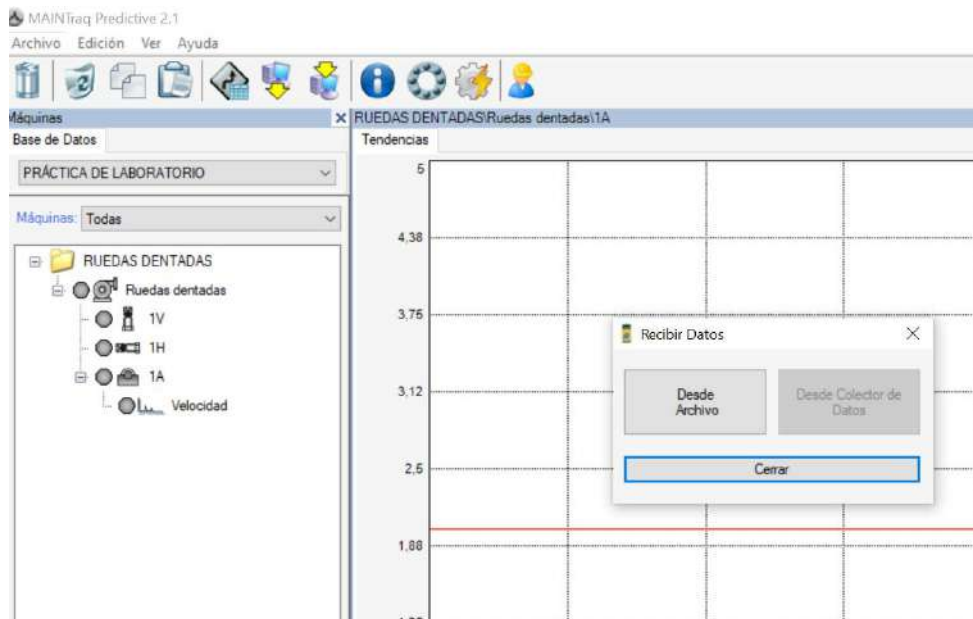
**Paso 6.** Para este punto, enviaremos la configuración para la practica a través del botón enviar datos. El cual, será tomada de la pestaña máquinas porque no se a creado rutas de análisis.

Una vez seleccionada la carpeta de configuraciones para nuestra práctica, a través del boton 2, agregamos la carpeta y procedemos a guardar el archivo en la ubicación de preferencia. Para finalizar pulsamos enviar datos al colector.





**Paso 7.** Una vez tomados los datos de la practica, volvemos al programa y procedemos a presionar recibir datos, y seleccionamos desde el colector de datos y quedaran los datos guardados en nuestra base de datos, y podremos analizar los diferentes modos de falla mostrados atravez de espectros.



### **Transmisión de datos al analizador de vibraciones VIBRACHECK ABG 200**

- Se detalla de manera estructurada como transferir los datos desde el ordenador o pc hasta el analizador de vibraciones para la respectiva medición de los datos que provoca el desbalanceo.
- Encender el analizador de vibraciones (VIBRACHECK ABG 200) y elegir la opción “Comunicar”.
- Mediante un cable USB enlazar entre el analizador de vibraciones y el ordenador o pc.
- Ingresar en la ventana “Envío de datos”.
- Seleccionar la opción de “Máquinas”, y seleccionar la máquina, en este caso los puntos de medición que conforman en el módulo de simulación vibracional de desbalanceo con el botón “>”.
- Hacer clic izquierdo en la opción “Enviar al colector de datos”.
- Nota: Para realizar este proceso es necesario que el sistema operativo del computador sea compatible con el analizador de vibraciones VIBRACHECK ABG 200, para que sea compatible es necesario instalar los drivers del equipo.

## 4.2. Toma y recolección de datos

*(Describir secuencialmente como realizar la recolección de datos; puede utilizar imágenes recortadas)*

- .....
- .....

### Transferencia de mediciones desde el VIBRACHECK ABG 200 al MAINTraq Predictive

Una vez configurado el software MAINTraq Predictive, y con el módulo encendido, se procede a la recolección de datos de cada uno de los espectros con la ayuda del acelerómetro, en cada uno de los apoyos verticales, horizontales y axiales, y de la misma manera, se varía la corriente y el voltaje en la fuente de acuerdo a cada modo de falla.

Denominación	Corriente	Voltaje
<b>Módulo 1</b>	1,93 A	08,4 V
<b>Módulo 2</b>	1,80 A	07,0 V
<b>Módulo 3</b>	2,09 A	08,4 V
<b>Módulo 4</b>	1,65 A	06,4 V

Se detalla de manera estructurada como transferir los datos desde el colector de datos hasta el ordenador donde está instalado el MAINTraq Predictive para la respectiva decodificación de mediciones tomadas en tiempo real.

1. Mediante un cable USB enlazar el VIBRACHECK ABG 200 con el ordenador.
  2. Energizar el VIBRACHECK ABG 200 y enlazar el ordenador y el equipo con la opción “Comunicar”.
  3. Abrir el MAINTraq Predictive 2.1 y seleccionar recibir datos y hacer clic en “Desde colector de datos”.
  4. Esperar hasta que el colector de datos haya transferido todos los datos medidos al ordenador.
- **Nota:** Para realizar este proceso es necesario que el sistema operativo del computador sea compatible con el analizador de vibraciones VIBRACHECK ABG 200, para que sea compatible es necesario instalar los drivers del equipo.

Los datos obtenidos mediante la descripción anterior, son los siguientes:

***Diagrama de cascada de las 4 mediciones en el plano vertical***

Reemplace este cuadro por el diagrama indicado

***Diagrama de cascada de las 4 mediciones en el plano horizontal***

Reemplace este cuadro por el diagrama indicado

***Espectro de velocidad del plano vertical del módulo 1***

Reemplace este cuadro por el espectro indicado

***Espectro de aceleración del plano vertical del módulo 1***

Reemplace este cuadro por el espectro indicado

*Forma de onda del módulo 1*

Reemplace este cuadro por el espectro indicado

*Espectro de velocidad del plano vertical del módulo 2*

Reemplace este cuadro por el espectro indicado

*Forma de onda del módulo 2*

Reemplace este cuadro por el espectro indicado

*Espectro de velocidad del plano vertical del módulo 3*

Reemplace este cuadro por el espectro indicado

***Espectro de aceleración del plano vertical del módulo 3***

Remplace este cuadro por el espectro indicado

***Forma de onda del módulo 3***

Remplace este cuadro por el espectro indicado

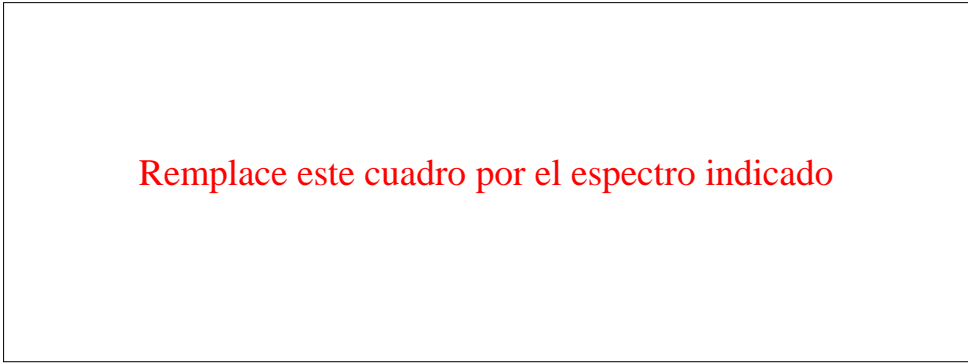
***Espectro de velocidad del plano vertical del módulo 4***

Remplace este cuadro por el espectro indicado

***Espectro de aceleración del plano vertical del módulo 4***

Remplace este cuadro por el espectro indicado

**Forma de onda del módulo 4**



**4.3. Cálculos y resultados**

Calcular la relación de transmisión de las ruedas dentadas para conocer las frecuencias fundamentales, utilizando las siguientes ecuaciones:

**1x del engranaje**

$$f_{\text{engranaje}} = \frac{\text{RPM}}{60}$$

**1x del piñón**

$$f_{\text{piñón}} = \frac{f_{\text{engranaje}} \times \# \text{ dientes engranaje}}{\# \text{ dientes piñón}}$$

Frecuencias de engrane utilizando la siguiente ecuación:

**Frecuencia de engrane**

$$\text{GMF} = Z_{\text{piñón}} \times \text{RPM}_{\text{piñón}}$$

**Frecuencia de fase del ensamblaje del engrane**

Para sacar el factor de fase del ensamblaje es el número común divisor que se repite de acuerdo al número de diente de las ruedas dentadas

$$64 = \# \text{ dientes del engranaje}$$

$$24 = \# \text{ dientes del piñón}$$

$$\text{GAPF} = \frac{\text{GMF}}{N_A}$$

**4.4. Ordenamiento y procesamiento de datos**

*(Describir secuencialmente como realizar el ordenamiento y procesamiento de datos)*

- .....
- .....

Mediante la descripción anterior, los datos se tabulan en las siguientes tablas:

Frecuencias de los armónicos del espectro de velocidad y aceleración vertical [Hz]

Armónico	Frecuencia (Hz)			
	Módulo 1	Módulo 2	Módulo 3	Módulo 4
1x piñón				
1x engrane				
GMF				
Diagnóstico				

**Análisis del factor cresta**

Con los datos obtenidos, aplicar la siguiente ecuación para obtener el factor cresta correspondiente para cada módulo.

$$\text{factor cresta} = \frac{\text{valor máximo}}{\text{RMS total}}$$

Módulo	Factor cresta
Espectro Normal	
Desalineación de engranajes	
Diente roto	
Problemas de fase en el ensamblaje	

**4.5. Análisis, esquema gráfico e interpretación de resultados**

Hacer los gráficos indicados con su respectivo análisis e interpretación.



**Comparación 1x del engranaje en el plano vertical**

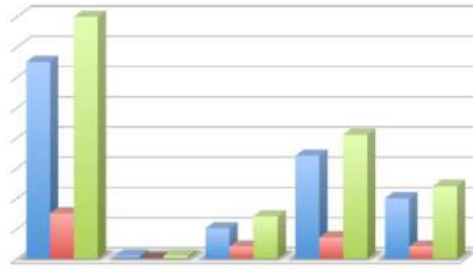
**Interpretación:**

.....

.....

Reemplace este cuadro por el gráfico de barras verticales desde Excel

Ejemplo:



Comparación del factor cresta

**Interpretación:**

.....  
.....

**4.6. Observaciones**

1. ¿Por qué el 1x del piñón es mayor al 1x del engranaje?  
.....
2. ¿De acuerdo a los espectros tomados como se diagnostica el tipo de falla de los engranajes?  
.....
3. ¿Por qué el factor cresta del diente roto y los problemas de fase en el ensamblaje son superiores en relación a los demás?  
.....
4. ¿Cómo determina mediante un análisis vibracional el problema de fase en el ensamblaje del engranaje?  
.....
5. Discuta cualquier otra observación o problema:  
.....

**5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

(Describir en forma lógica las conclusiones a que conlleven la práctica y las recomendaciones que sean pertinentes)

- .....  
.....



## 6. 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)*

---



Estudiante




---

Ing. Eduardo Hernández  
**DOCENTE DE LA ASIGNATURA**


## 7. ANEXOS

**ANEXO B: FICHA TÉCNICA**

	<b>Datos Técnicos</b>		Ficha: 1.1	
	<b>ESPOCH</b>		Lab. diagnóstico y eficiencia energética	
	<b>Facultad de Mecánica</b>			
<b>Equipo</b>	<b>Datos técnicos</b>			
Motor	<b>Marca</b>	<b>Modelo</b>	<b>Serie</b>	
	WEG	W22	20FEV12	
	<b>Color</b>	<b>País de fabricación</b>		
	Azul	Brasil		
	<b>Características generales</b>			
	<b>Fp</b>	<b>RPM (nominal)</b>	<b>Volt</b>	
	0,69	1800	220/380V	
	<b>Intensidad</b>	<b>Potencia</b>	<b>Frecuencia</b>	
	2,10 / 1,22 A	½ Hp	60 Hz	
<b>Equipo</b>	<b>Datos técnicos</b>			
Alternador	<b>Marca</b>	<b>Modelo</b>	<b>Serie</b>	
	Ridez	4G0950	2702031090	
	<b>Características generales</b>			

	<b>Corriente de carga</b>	<b>Tensión</b>	<b>ID del modelo de conector</b>
	30 A	12 V	B+ (M6) / E/ F/ N
	<b>Refrigeración</b>	<b>Forma de enchufe</b>	<b>Tipo de sujeción</b>
	Por aire	Angular	Brazo oscilante doble
<b>Elemento</b>	<b>Características Generales</b>		
Engranaje			
	<b># Dientes</b>	<b>Módulo</b>	<b>Paso circular</b>
	64	2	6,28 mm
	<b>Espesor</b>	<b>Ancho de diente</b>	<b>Diámetro primitivo</b>
	3,14 mm	16mm < F < 31,98mm	128 mm
	<b>Diámetro exterior</b>	<b>Velocidad lineal de paso</b>	<b>Kv</b>
	132 mm	22,32 m/s	1,52
<b>Elemento</b>	<b>Características Generales</b>		
Piñón			
	<b># Dientes</b>	<b>Módulo</b>	<b>Paso circular</b>
	24	2	6,28 mm
	<b>Espesor</b>	<b>Ancho de diente</b>	<b>Diámetro primitivo</b>
	3,14 mm	16mm < F < 31,98mm	48 mm
	<b>Diámetro exterior</b>	<b>Diámetro interior</b>	<b>Distancia entre centros</b>
	52 mm	43,36 mm	88 mm

**ANEXO C: AMEF DE LOS MÓDULOS DE SIMULACIÓN DE FALLAS EN RUEDAS DENTADAS**

	AMEF Laboratorio de Diagnóstico Técnico y Eficiencia Energética		<b>Responsable:</b> Técnico docente			
			<b>Área:</b> Diagnóstico Técnico			
<b>Equipo</b>	<b>Función</b>	<b>Falla funcional</b>	<b>Modo de falla</b>		<b>Efecto de falla</b>	<b>Consecuencia</b>
Módulo de simulación de fallas en ruedas dentadas FAME-LDE-MFE01	1  Simular las condiciones normales en engranajes	A  No simula las condiciones normales en engranajes	1	Diente del engranaje desgastado	Excitación de la frecuencia natural del engrane (fn) junto con las bandas laterales	Operacional
			2	Diente roto	Alta amplitud en 1x en la forma de onda	Operacional
			3	Desalineación de engranajes	Excitación de armónicos GMF con bandas laterales	Operacional
			4	Ventilador del motor tapado	Sobrecalentamiento, alterando su funcionamiento	Operacional
			5	Ruedas dentadas corroídas	Rotura por fatiga del diente	Operacional



esPOCH

Facultad de Mecánica

AMEF Laboratorio de Diagnóstico Técnico y Eficiencia Energética

**Responsable:**

Técnico docente

**Área:**

Diagnóstico Técnico

**Equipo**

**Función**

**Falla funcional**

**Modo de falla**

**Efecto de falla**

**Consecuencia**

Módulo de simulación de fallas en ruedas dentadas FAME-LDE-MFE02

1

Simular efectos de desalineación en engranajes

A

No simula efectos de desalineación en engranajes

1

Diente del engranaje desgastado

Excitación de la frecuencia natural del engrane (fn) junto con las bandas laterales

Operacional

2

Diente roto

Alta amplitud en 1x en la forma de onda

Operacional

3

Base móvil- alternador no está desalineada

Simula otro modo de falla

Operacional

4

Ventilador del motor tapado

Sobrecalentamiento, alterando su funcionamiento

Operacional

5

Ruedas dentadas corroídas

Rotura por fatiga del diente

Operacional



esPOCH Facultad de Mecánica

AMEF Laboratorio de Diagnóstico Técnico y Eficiencia Energética

**Responsable:**

Técnico docente

**Área:**

Diagnóstico Técnico

Equipo	Función	Falla funcional	Modo de falla	Efecto de falla	Consecuencia		
Módulo de simulación de fallas en ruedas dentadas FAME-LDE-MFE03	1	A	No simula efectos de diente roto en engranajes	1	Diente del engranaje desgastado	Excitación de la frecuencia natural del engrane (fn) junto con las bandas laterales	Operacional
				2	Desalineación de engranajes	Excitación de armónicos GMF con bandas laterales	Operacional
				3	Engranajes sin apriete	No produce el choque entre diente roto y piñón	Operacional
				4	Ventilador del motor tapado	Sobrecalentamiento, alterando su funcionamiento	Operacional
				5	Ruedas dentadas corroídas	Rotura por fatiga del diente	Operacional



esPOCH Facultad de Mecánica

AMEF Laboratorio de Diagnóstico Técnico y Eficiencia Energética

Responsable:


Técnico docente

Área:

Diagnóstico Técnico

Equipo	Función	Falla funcional	Modo de falla	Efecto de falla	Consecuencia			
Módulo de simulación de fallas en ruedas dentadas FAME-LDE-MFE04	1	Simular problemas de fase en ensamblaje de engranajes	A	No simula problemas de fase en ensamblaje de engranajes	1	Diente del engranaje desgastado	Excitación de la frecuencia natural del engrane (fn) junto con las bandas laterales	Operacional
					2	Desalineación de engranajes	Excitación de armónicos GMF con bandas laterales	Operacional
					3	Desalineación de engranajes	Excitación de armónicos GMF con bandas laterales	Operacional
					4	Ventilador del motor tapado	Sobrecalentamiento, alterando su funcionamiento	Operacional
					5	Ruedas dentadas corroídas	Rotura por fatiga del diente	Operacional


## ANEXO D: TAREAS DE MANTENIMIENTO

		ESPOCH – Facultad de mecánica	
		Laboratorio de Diagnóstico Técnico	
		Tareas de mantenimiento	
<b>Equipo</b>	<b>Módulo de simulación de fallas en ruedas dentadas</b> <b>FAME-LDE-MFE01</b>		
<b>Cód.</b>	<b>Tareas</b>		<b>Frecuencia</b>
1A 1	Monitorear la frecuencia natural del engrane junto con las bandas laterales para detectar desgaste del diente con el analizador de vibraciones		Mensual
1 A 2	Monitorear la amplitud en 1x rpm en la forma de onda y sus bandas laterales de la frecuencia natural del engranaje para detectar un diente roto con el analizador de vibraciones		Mensual
1 A 3	Monitorear la excitación de armónicos GMF con bandas laterales con el analizador de vibraciones		Mensual
1 A 4	Retire los depósitos de polvo, aceite y suciedad en la cubierta del ventilador para mantener una buena ventilación y permitir que el motor se enfríe correctamente.		Mensual
1 A 5	Liberar los engranajes del motor o alternador, limpiar, lijar las superficies de los engranajes y pintarlos de color amarillo		Anual

		ESPOCH – Facultad de mecánica	
		Laboratorio de Diagnóstico Técnico	
		Tareas de mantenimiento	
<b>Equipo</b>	<b>Módulo de simulación de fallas en ruedas dentadas</b> <b>FAME-LDE-MFE02</b>		
<b>Cód.</b>	<b>Tareas</b>		<b>Frecuencia</b>



1A 1	Monitorear la frecuencia natural del engrane junto con las bandas laterales para detectar desgaste del diente con el analizador de vibraciones	Mensual
1 A 2	Monitorear la amplitud en 1x rpm en la forma de onda y sus bandas laterales de la frecuencia natural del engranaje para detectar un diente roto con el analizador de vibraciones	Mensual
1 A 3	Desalinear la base móvil alternador y anclar a la base fija con los pernos allen M8 10 x 50 en las ranuras de la placa y a su vez anclar el perno M10 perpendicular al encuentro de dientes en la transmisión para evitar piso de ruido.	Mensual
1 A 4	Retire los depósitos de polvo, aceite y suciedad en la cubierta del ventilador para mantener una buena ventilación y permitir que el motor se enfríe correctamente.	Mensual
1 A 5	Liberar los engranajes del motor o alternador, limpiar, lijar las superficies de los engranajes y pintarlos de color amarillo	Anual

	<b>ESPOCH – Facultad de mecánica</b>	
	<b>Laboratorio de Diagnóstico Técnico</b>	
	<b>Tareas de mantenimiento</b>	
<b>Equipo</b>	<b>Módulo de simulación de fallas en ruedas dentadas FAME-LDE-MFE03</b>	
<b>Cód.</b>	<b>Tareas</b>	<b>Frecuencia</b>
1A 1	Monitorear la frecuencia natural del engrane junto con las bandas laterales para detectar desgaste del diente con el analizador de vibraciones	Mensual
1 A 2	Monitorear la amplitud en 1x rpm en la forma de onda y sus bandas laterales de la frecuencia natural del engranaje para detectar un diente roto con el analizador de vibraciones	Mensual
1 A 3	Monitorear la excitación de armónicos GMF con bandas laterales con el analizador de vibraciones	Mensual
1 A 4	Retire los depósitos de polvo, aceite y suciedad en la cubierta del ventilador para mantener una buena ventilación y permitir que el motor se enfríe correctamente.	Mensual
1 A 5	Liberar los engranajes del motor o alternador, limpiar, lijar las superficies de los engranajes y pintarlos de color amarillo	Anual



**esPOCH**

Facultad  
de Mecánica

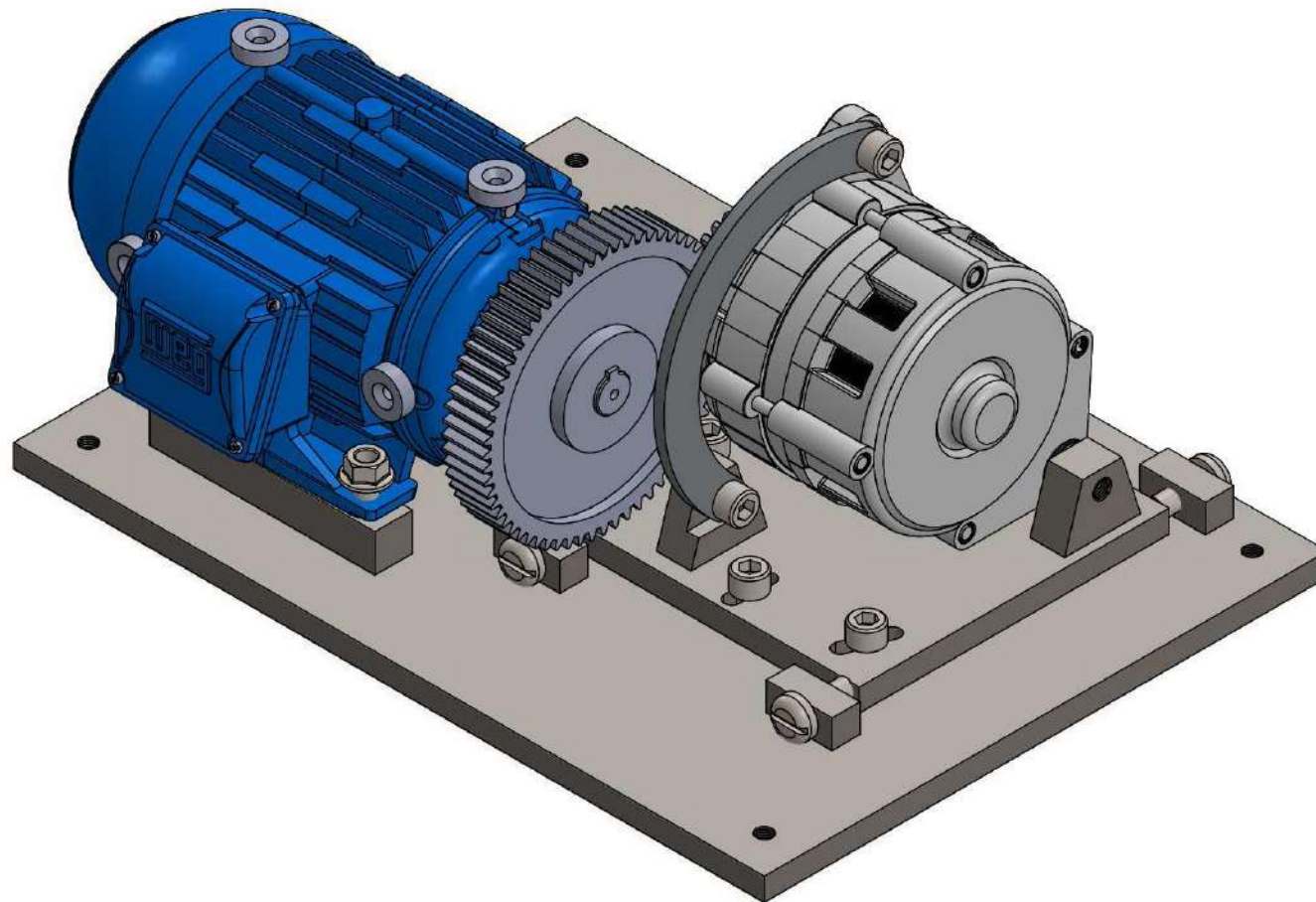
**ESPOCH – Facultad de mecánica**

**Laboratorio de Diagnóstico Técnico**

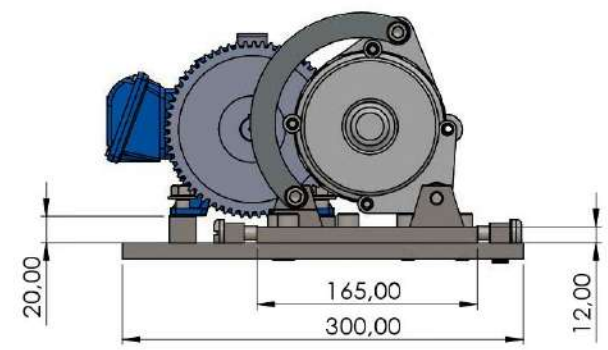
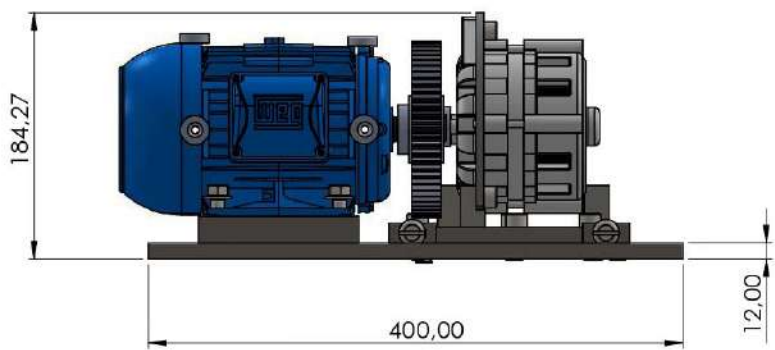
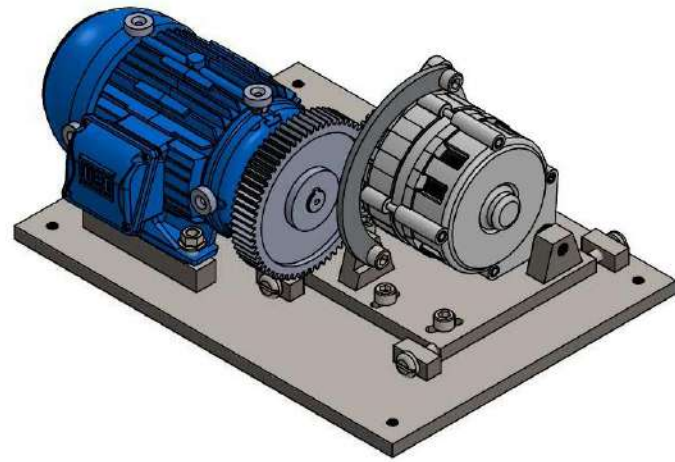
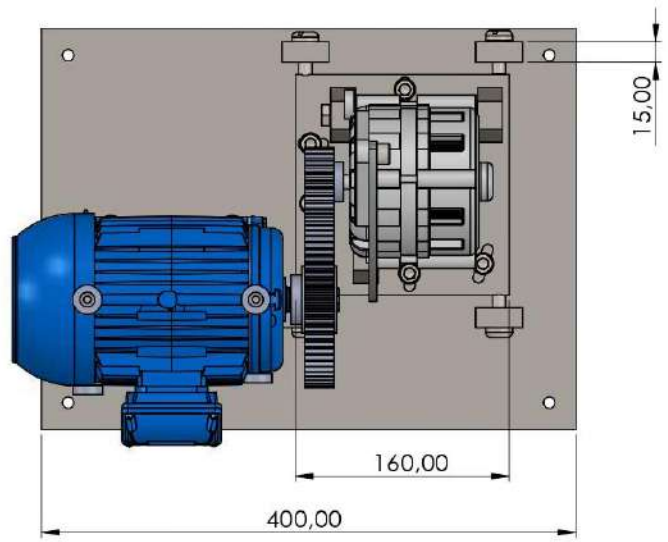
**Tareas de mantenimiento**

<b>Equipo</b>	<b>Módulo de simulación de fallas en ruedas dentadas FAME-LDE-MFE04</b>	
<b>Cód.</b>	<b>Tareas</b>	<b>Frecuencia</b>
1A 1	Monitorear la frecuencia natural del engrane junto con las bandas laterales para detectar desgaste del diente con el analizador de vibraciones	Mensual
1 A 2	Monitorear la amplitud en 1x rpm en la forma de onda y sus bandas laterales de la frecuencia natural del engranaje para detectar un diente roto con el analizador de vibraciones	Mensual
1 A 3	Monitorear la excitación de armónicos GMF con bandas laterales con el analizador de vibraciones	Mensual
1 A 4	Retire los depósitos de polvo, aceite y suciedad en la cubierta del ventilador para mantener una buena ventilación y permitir que el motor se enfríe correctamente.	Mensual
1 A 5	Liberar los engranajes del motor o alternador, limpiar, lijar las superficies de los engranajes y pintarlos de color amarillo	Anual

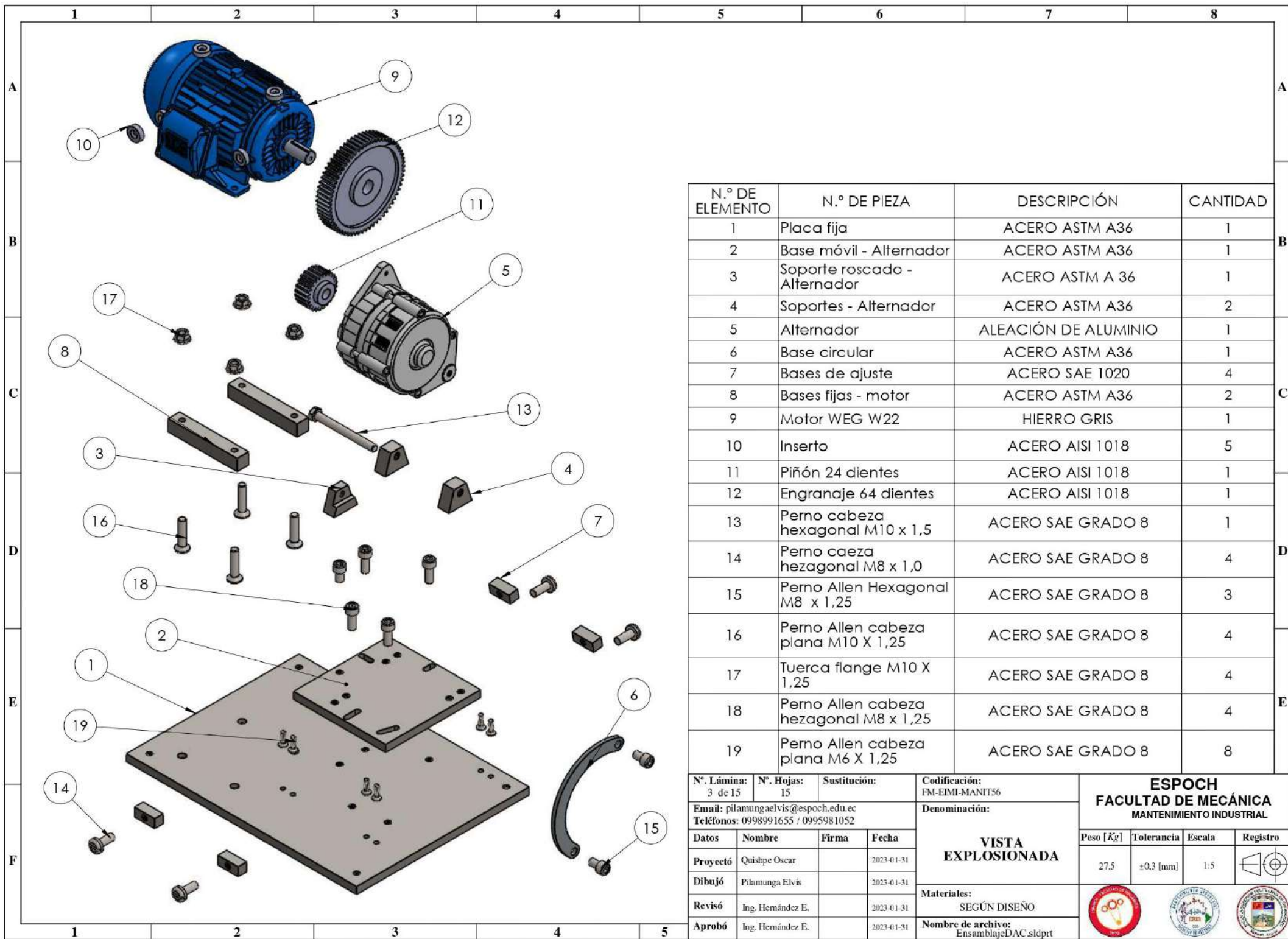
**ANEXO E: PLANOS DEL MÓDULO DE SIMULACIÓN DE FALLAS EN RUEDAS  
DENTADAS**



N°. Lámina: 1 de 15		N°. Hojas: 15		Sustitución:		Codificación: FM-EIMI-MANIT56		<b>ESPOCH</b> <b>FACULTAD DE MECÁNICA</b> MANTENIMIENTO INDUSTRIAL											
Email: elvis.pilamunga@esPOCH.edu.ec Teléfonos: 0998991655 / 0995981062						Denominación:						Peso [Kg]		Tolerancia		Escala		Registro	
<b>Datos</b>		<b>Nombre</b>		<b>Firma</b>		<b>Fecha</b>		<b>MÓDULO DE          RUEDAS          DENTADAS</b>				27,5		±0.3 [mm]		1:2			
<b>Proyectó</b>		Quishpe Oscar				2023-01-31													
<b>Dibujó</b>		Pilamunga Elvis				2023-01-31													
<b>Revisó</b>		Ing. Hernández E.				2023-01-31													
<b>Aprobó</b>		Ing. Hernández E.				2023-01-31		<b>Materiales:</b> SEGÚN DISEÑO											
						<b>Nombre de archivo:</b>		EnsamblajeDAC.sldprt											



N°. Lámina: 2 de 15		N°. Hojas: 15		Sustitución:		Codificación: FM-EIMI-MANIT56		<b>ESPOCH</b> <b>FACULTAD DE MECÁNICA</b> MANTENIMIENTO INDUSTRIAL			
Email: oscar.quishpe@esPOCH.edu.ec Teléfonos: 0998991655 / 0995981062				Denominación:		<b>VISTAS MÓDULO          DE RUEDAS          DENTADAS</b>					
Datos		Nombre		Firma				Fecha		±0.3 [mm]	
Proyectó		Quishpe Oscar				2023-01-31		  			
Dibujó		Pílanunga Elvis				2023-01-31					
Revisó		Ing. Hernández E.				2023-01-31					
Aprobó		Ing. Hernández E.				2023-01-31					
						Materiales: SEGÚN DISEÑO		Nombre de archivo: EnsamblajeDAC.sldprt			



N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1	Placa fija	ACERO ASTM A36	1
2	Base móvil - Alternador	ACERO ASTM A36	1
3	Soporte roscado - Alternador	ACERO ASTM A 36	1
4	Soportes - Alternador	ACERO ASTM A36	2
5	Alternador	ALEACIÓN DE ALUMINIO	1
6	Base circular	ACERO ASTM A36	1
7	Bases de ajuste	ACERO SAE 1020	4
8	Bases fijas - motor	ACERO ASTM A36	2
9	Motor WEG W22	HIERRO GRIS	1
10	Inserto	ACERO AISI 1018	5
11	Piñón 24 dientes	ACERO AISI 1018	1
12	Engranaje 64 dientes	ACERO AISI 1018	1
13	Perno cabeza hexagonal M10 x 1,5	ACERO SAE GRADO 8	1
14	Perno caeza hexagonal M8 x 1,0	ACERO SAE GRADO 8	4
15	Perno Allen Hexagonal M8 x 1,25	ACERO SAE GRADO 8	3
16	Perno Allen cabeza plana M10 X 1,25	ACERO SAE GRADO 8	4
17	Tuerca flange M10 X 1,25	ACERO SAE GRADO 8	4
18	Perno Allen cabeza hexagonal M8 x 1,25	ACERO SAE GRADO 8	4
19	Perno Allen cabeza plana M6 X 1,25	ACERO SAE GRADO 8	8

N.º. Lámina: 3 de 15 | N.º. Hojas: 15 | Sustitución:

Codificación: FM-EIMI-MANIT56

Email: pilamungaelvis@esPOCH.edu.ec  
Teléfonos: 0998991655 / 0995981052

Denominación:

Datos	Nombre	Firma	Fecha
Proyectó	Quishpe Oscar		2023-01-31
Dibujó	Pilamunga Elvis		2023-01-31
Revisó	Ing. Hernández E.		2023-01-31
Aprobó	Ing. Hernández E.		2023-01-31

**VISTA EXPLOSIONADA**

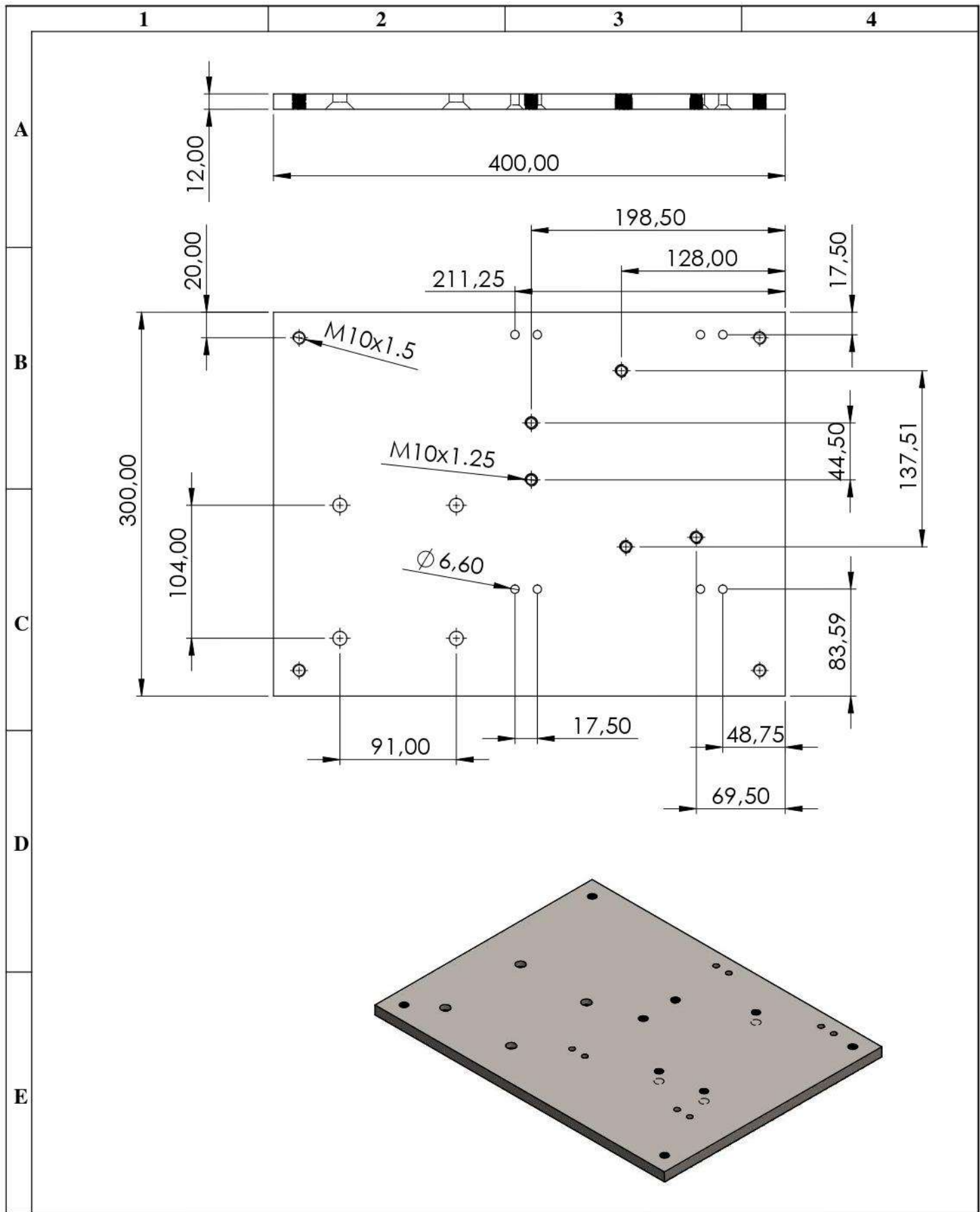
Materiales:  
SEGÚN DISEÑO

Nombre de archivo:  
EnsamblajeDAC.sldprt

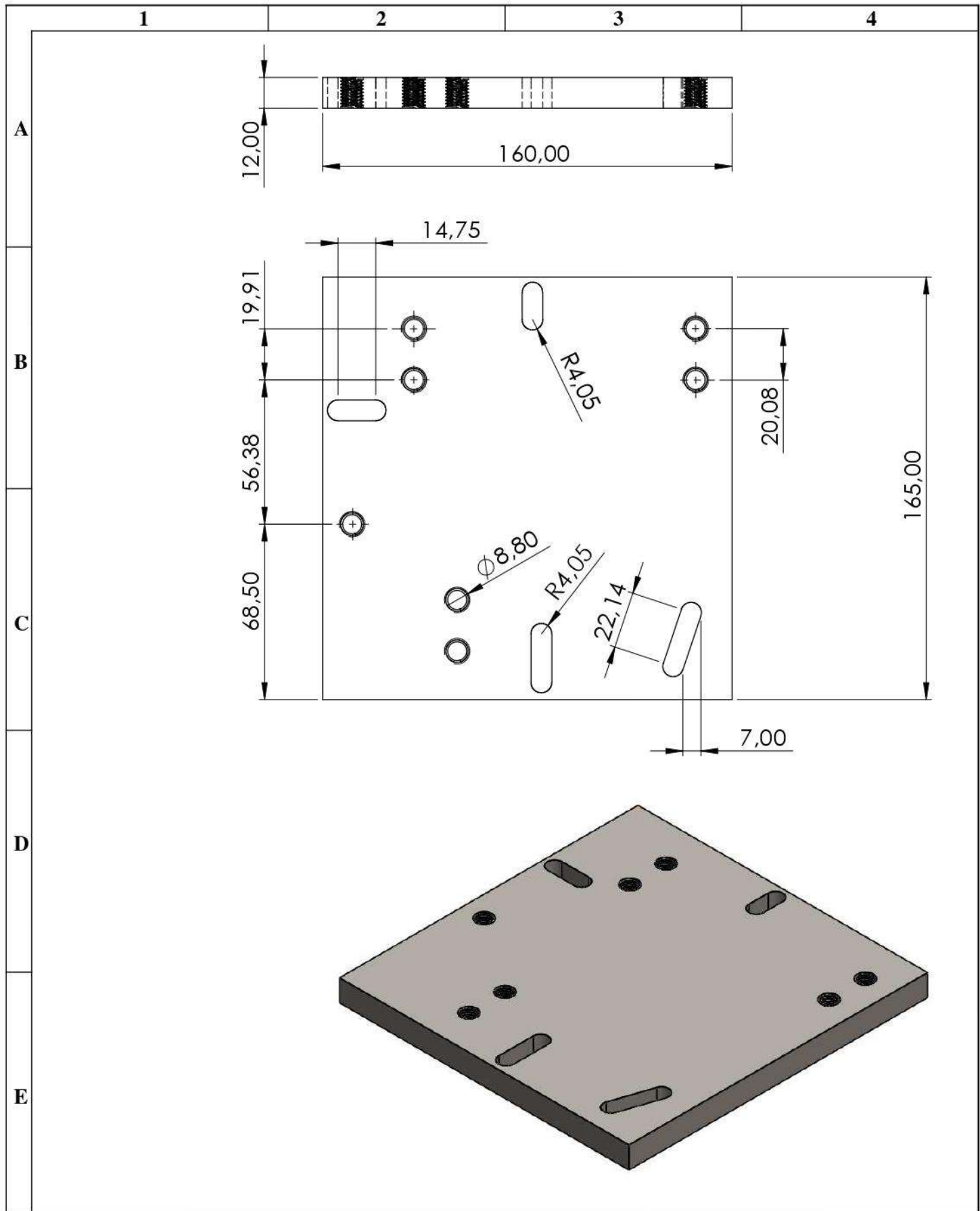
**ESPOCH**  
**FACULTAD DE MECÁNICA**  
MANTENIMIENTO INDUSTRIAL

Peso [Kg]	Tolerancia	Escala	Registro
27,5	±0.3 [mm]	1:5	



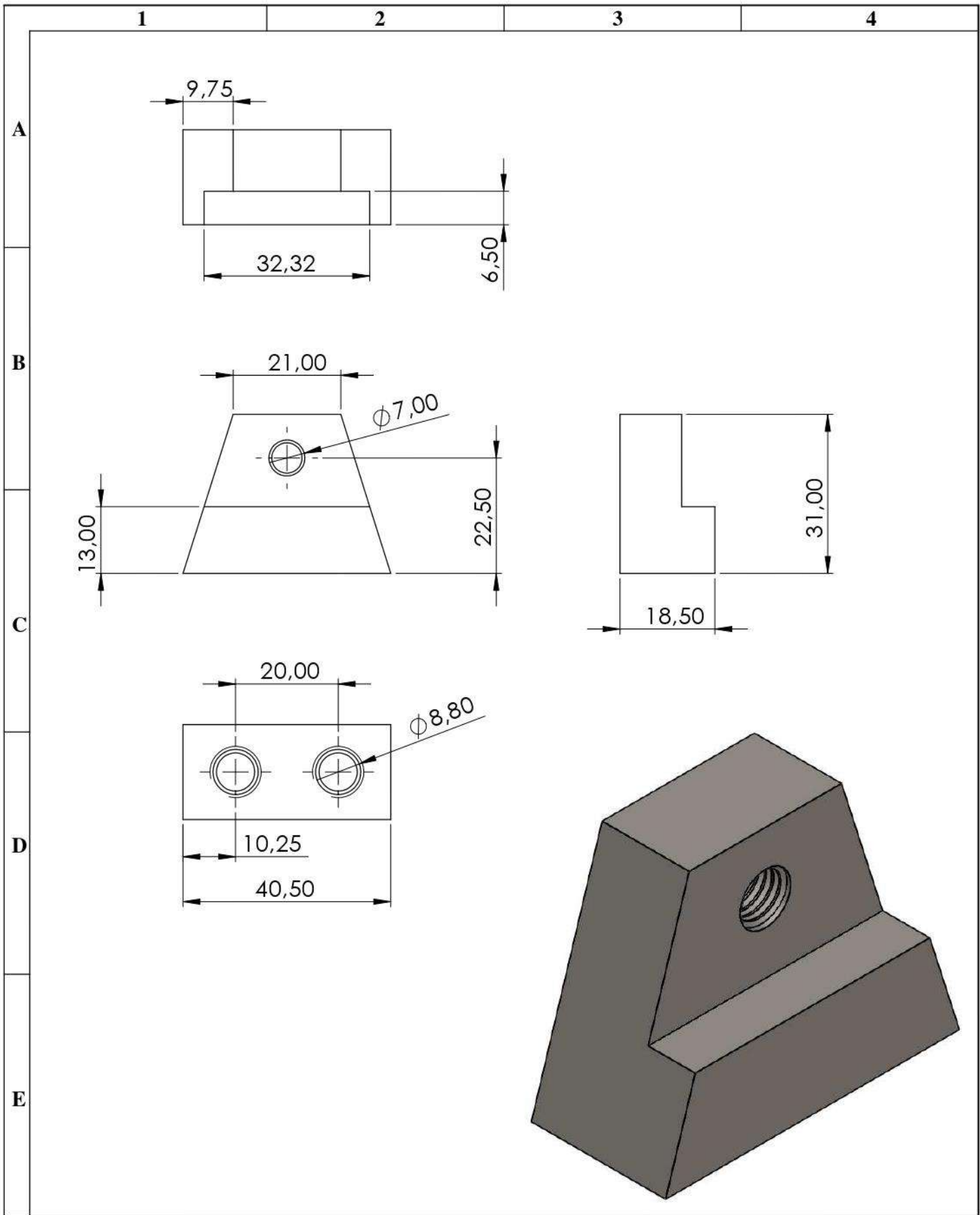


Nº. Lámina: 4 de 15		Nº. Hojas: 15		Sustitución:		Codificación: FM-EIM-MANIT56		<b>ESPOCH</b> <b>FACULTAD DE MECÁNICA</b> <b>MANTENIMIENTO INDUSTRIAL</b>							
Email: oscar.quishpe@esPOCH.edu.ec Teléfonos: 0998991655 / 0995981062						Denominación:  <b>Placa Fija</b>						Peso [Kg]		Tolerancia	
Datos		Nombre		Firma		Fecha		5		±0.3 [mm]		1:5			
Proyectó		Quishpe Oscar				2023-01-31									
Dibujó		Pilamunga Elvis				2023-01-31									
Revisó		Ing. Hernández E.				2023-01-31		Materiales: ACERO ASTM A 36							
Aprobó		Ing. Hernández E.				2023-01-31		Nombre de archivo: EnsamblajeDAC.sldprt							

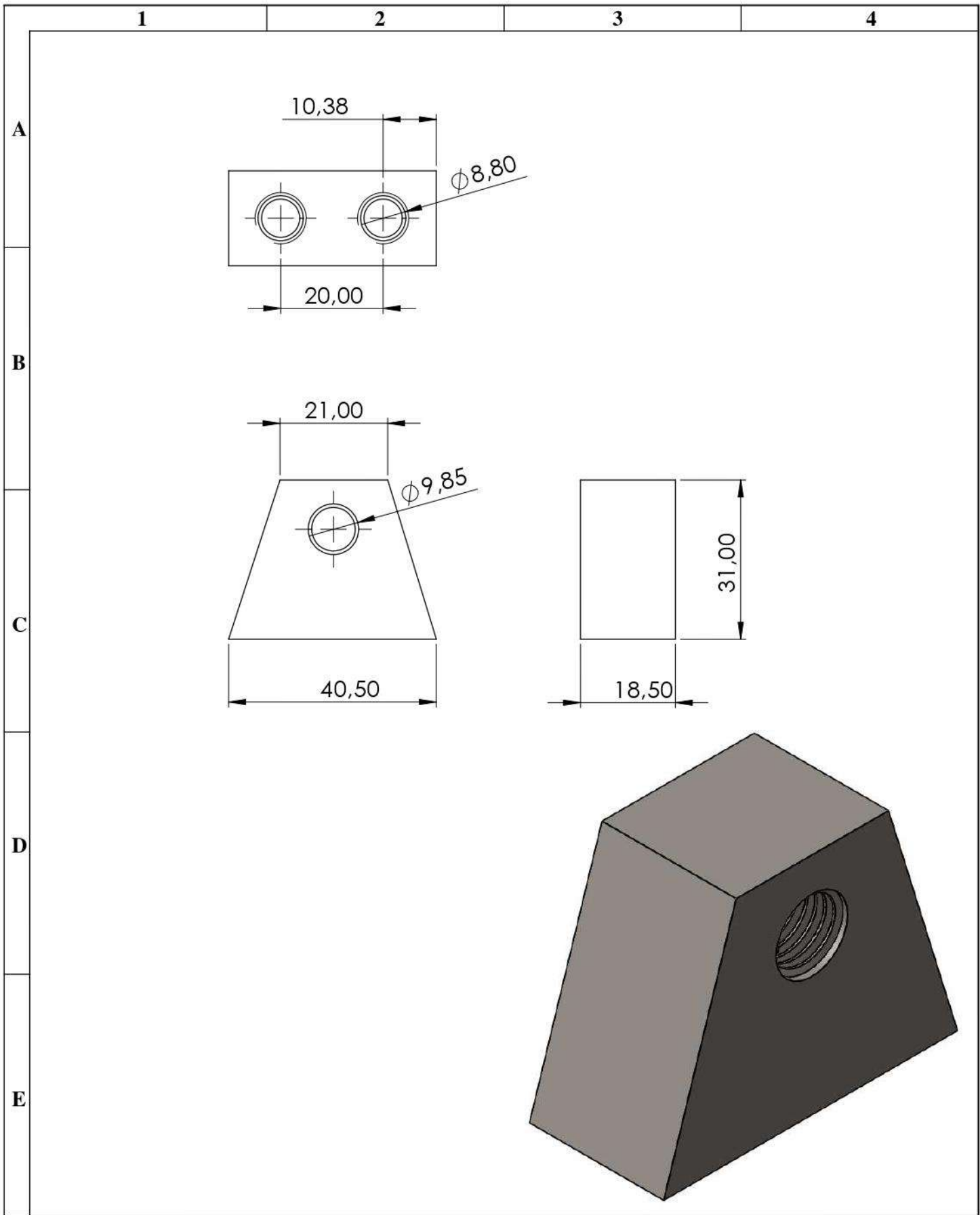


N°. Lámina: 5 de 15		N°. Hojas: 15		Sustitución:		Codificación: FM-EIMI-MANIT56		<b>ESPOCH</b> <b>FACULTAD DE MECÁNICA</b> <b>MANTENIMIENTO INDUSTRIAL</b>											
Email: elvis.pilamunga@esPOCH.edu.ec Teléfonos: 0998991655 / 0995981062						Denominación:						Peso [Kg]		Tolerancia		Escala		Registro	
<b>Datos</b>		<b>Nombre</b>		<b>Firma</b>		<b>Fecha</b>		<b>BASE MÓVIL - ALTERNADOR</b>				3		±0.3 [mm]		1:2			
<b>Proyectó</b>		Quishpe Oscar				2023-01-31						<b>Materiales:</b> ACERO ASTM A 36							
<b>Dibujó</b>		Pilamunga Elvis				2023-01-31													
<b>Revisó</b>		Ing. Hernández E.				2023-01-31		<b>Nombre de archivo:</b> EnsamblajeDAC.sldprt											
<b>Aprobó</b>		Ing. Hernández E.				2023-01-31													

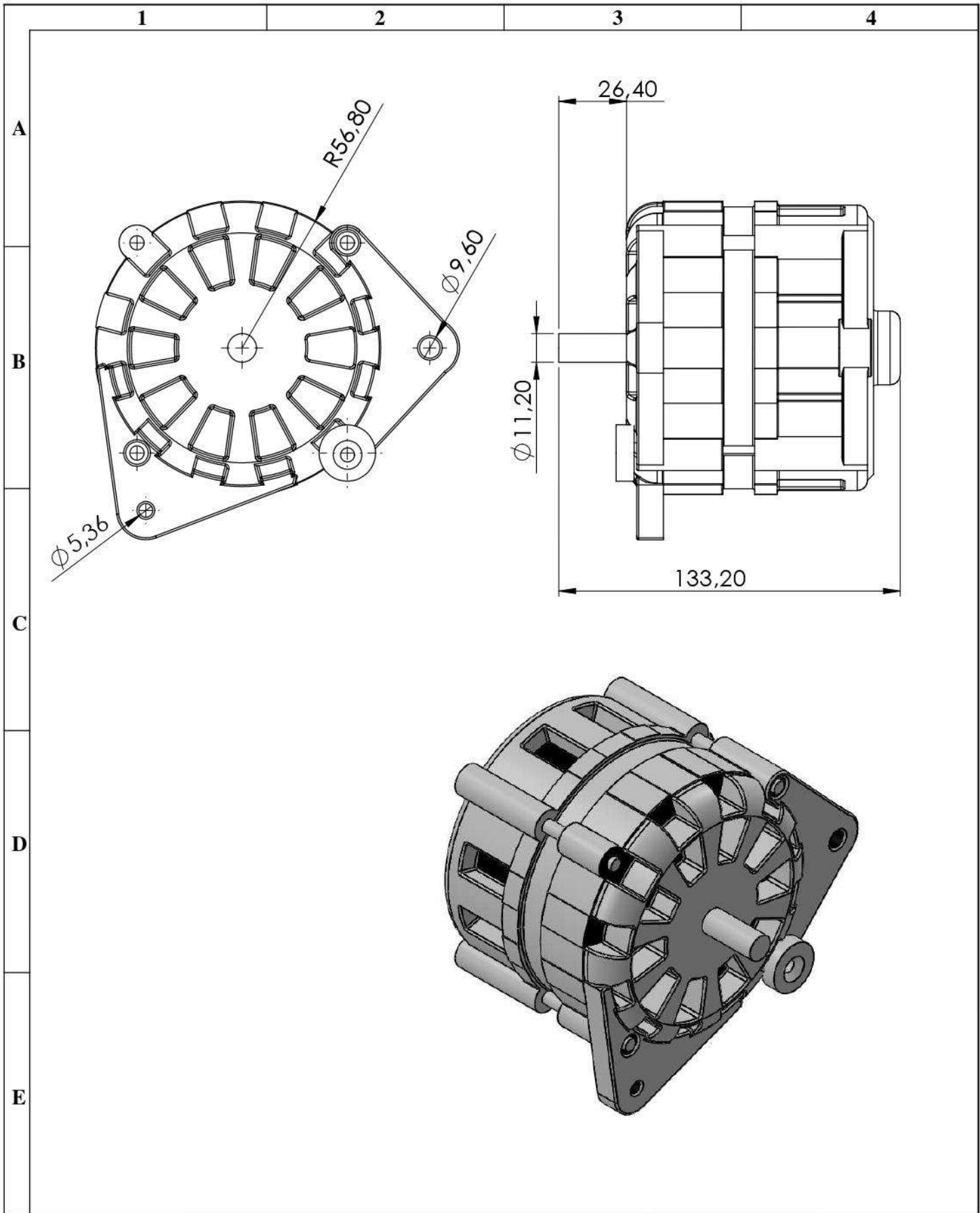




Nº. Lámina: 6 de 15		Nº. Hojas: 15		Sustitución:		Codificación: FM-EIMI-MANIT56		<b>ESPOCH</b> <b>FACULTAD DE MECÁNICA</b> <b>MANTENIMIENTO INDUSTRIAL</b>							
Email: oscar.quishpe@esPOCH.edu.ec Teléfonos: 0998991655 / 0995981062						Denominación:  <b>SOPORTE ROSCADO - ALTERNADOR</b>						Peso [Kg]		Tolerancia	
Datos		Nombre		Firma		Fecha		0.5		±0.3 [mm]		2:1			
Proyectó		Quishpe Oscar				2023-01-31		Materiales: ACERO ASTM A36							
Dibujó		Pilamunga Elvis				2023-01-31									
Revisó		Ing. Hernández E.				2023-01-31		Nombre de archivo: EnsamblajeDAC.sldprt							
Aprobó		Ing. Hernández E.				2023-01-31									

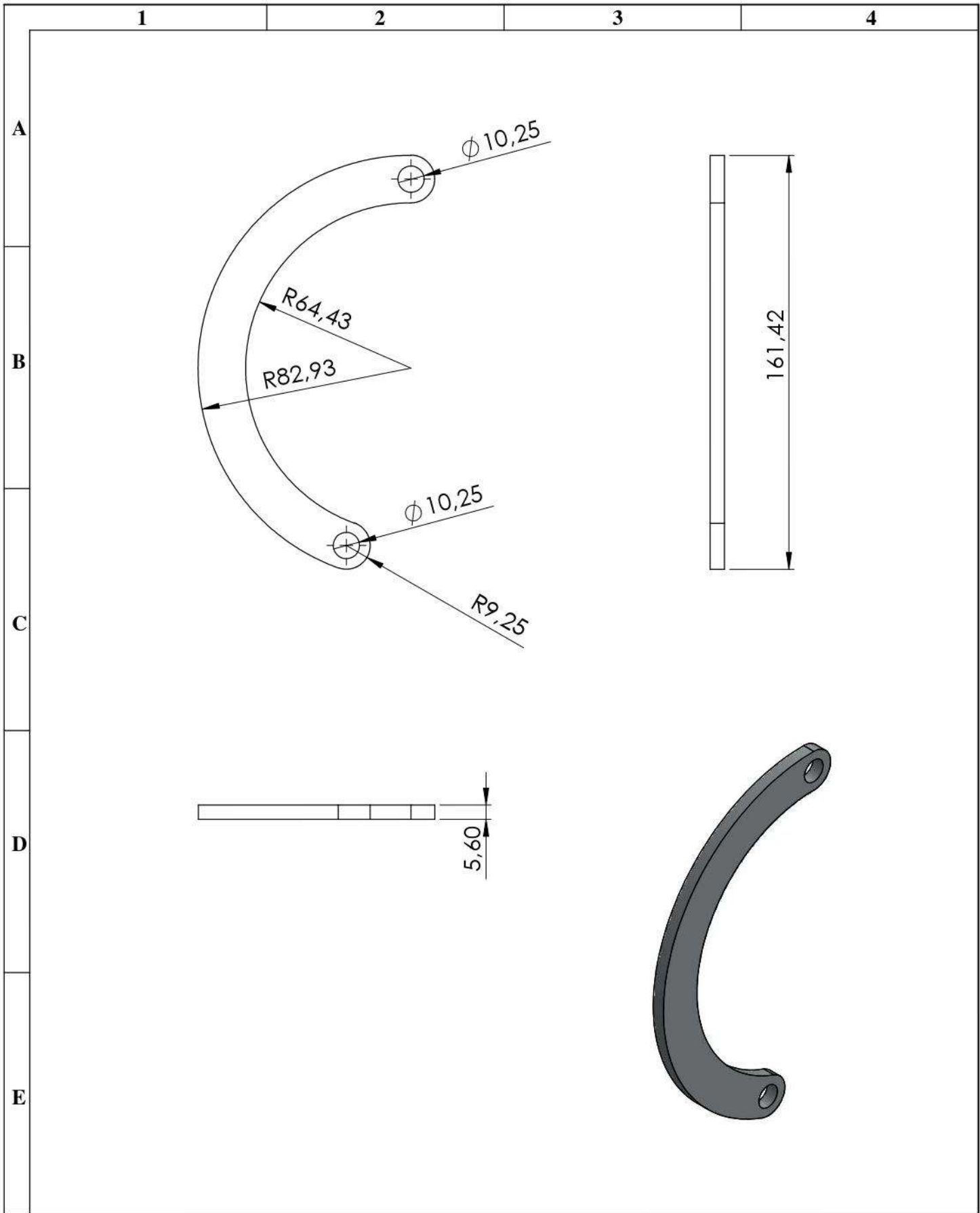


N°. Lámina: 7 de 15		N°. Hojas: 15		Sustitución:		Codificación: FM-EIMI-MANIT56		<b>ESPOCH</b> <b>FACULTAD DE MECÁNICA</b> <b>MANTENIMIENTO INDUSTRIAL</b>					
Email: elvis.pilamunga@esPOCH.edu.ec Teléfonos: 0998991655 / 0995981062				Denominación:									
<b>Datos</b>		<b>Nombre</b>		<b>Firma</b>		<b>Fecha</b>		<b>SOPORTE ALTERNADOR</b>		Peso [Kg]	Tolerancia	Escala	Registro
Proyectó		Quishpe Oscar				2023-01-31				0,5	$\pm 0,3$ [mm]	2:1	
Dibujó		Pilamunga Elvis				2023-01-31							
Revisó		Ing. Hernández E.				2023-01-31		Materiales: ACERO ASTM A36					
Aprobó		Ing. Hernández E.				2023-01-31		Nombre de archivo: EnsamblajeDAC.sldprt					

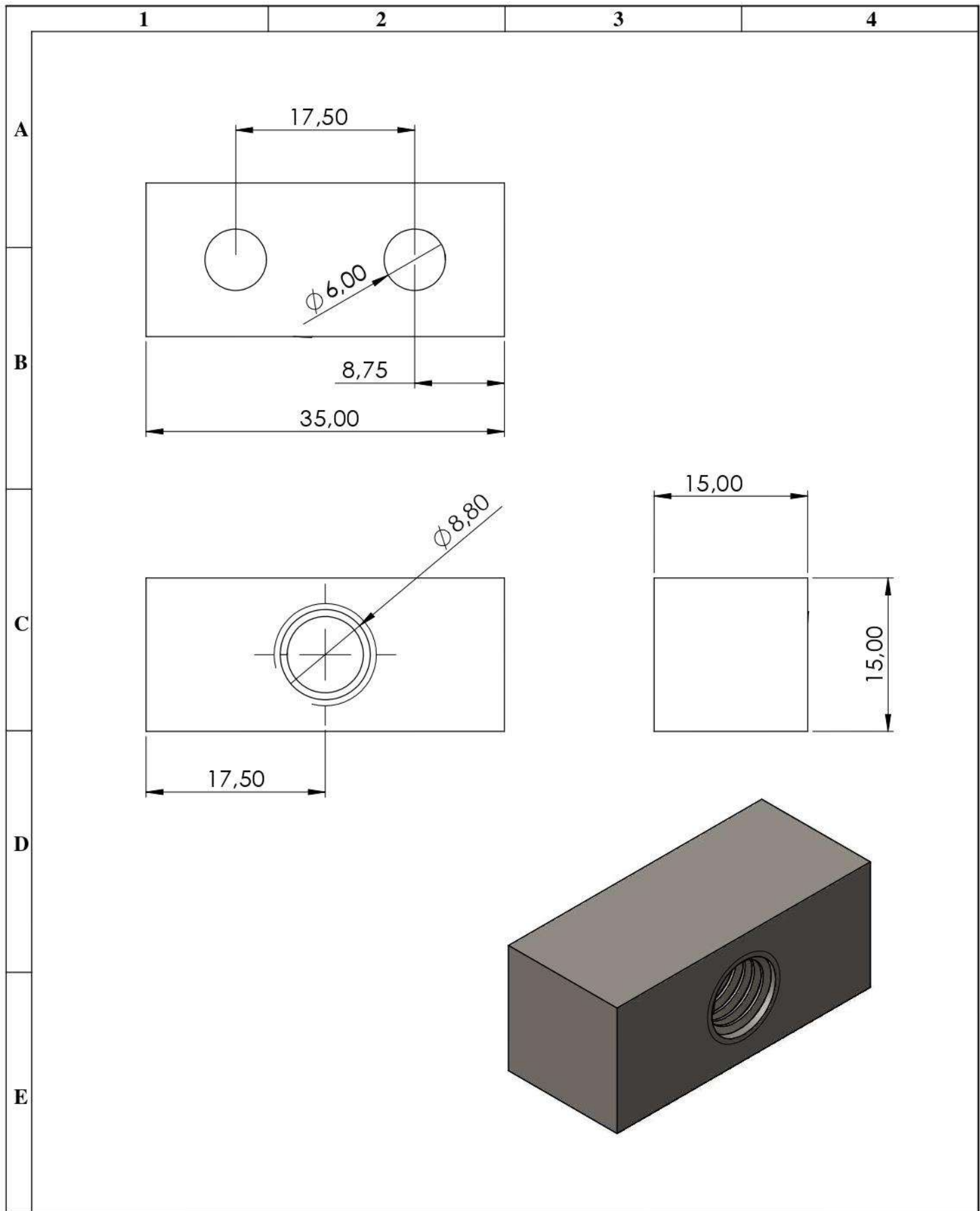


Nº. Lámina: 8 de 15		Nº. Hojas: 15		Sustitución:		Codificación: FM-EIMI-MANIT56		<b>ESPOCH</b> <b>FACULTAD DE MECÁNICA</b> <b>MANTENIMIENTO INDUSTRIAL</b>							
Email: oscar.quishpe@esPOCH.edu.ec Teléfonos: 0998991655 / 0995981062						Denominación:						Peso [Kg]		Tolerancia	
<b>Datos</b>		<b>Nombre</b>		<b>Firma</b>		<b>Fecha</b>		<b>ALTERNADOR</b>							
Proyectó		Quishpe Oscar				2023-01-31									
Dibujó		Pilamunga Elvis				2023-01-31									
Revisó		Ing. Hernández E.				2023-01-31									
Aprobó		Ing. Hernández E.				2023-01-31		Materiales:		ALEACIÓN DE ALUMINIO		Nombre de archivo:		EnsamblajeDAC.sldprt	

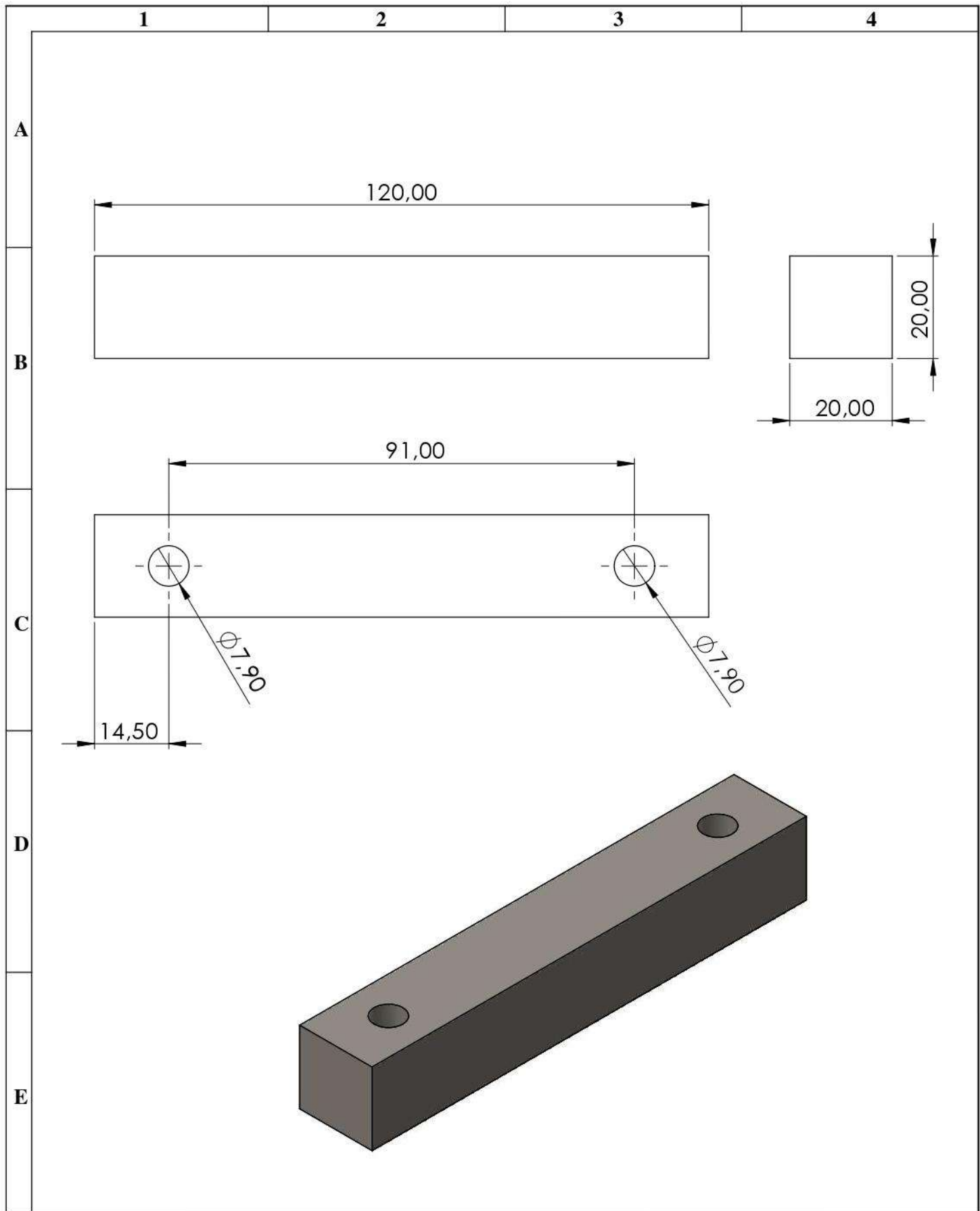




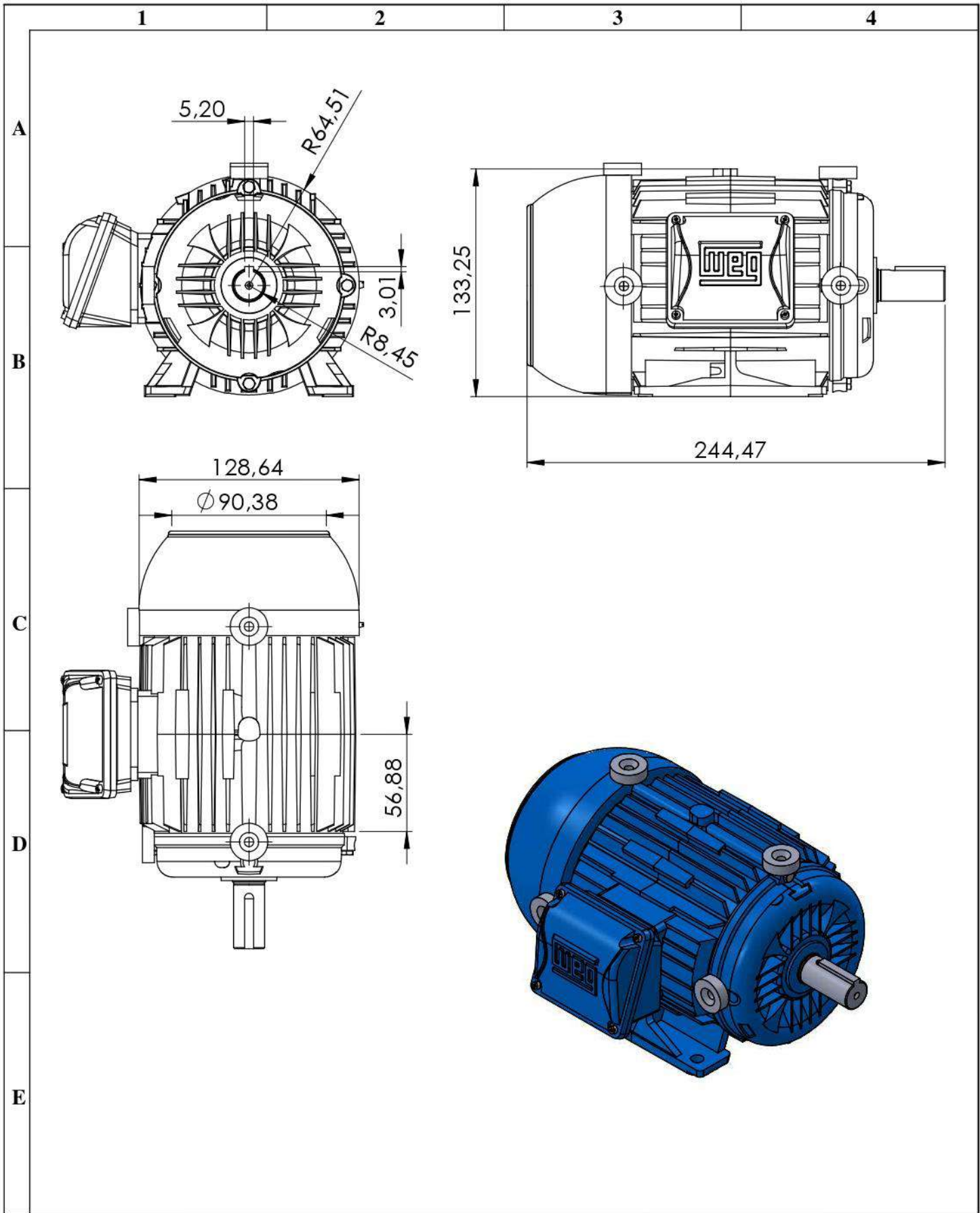
Nº. Lámina: 9 de 15		Nº. Hojas: 15		Sustitución:		Codificación: FM-EIMI-MANIT56		<b>ESPOCH</b> <b>FACULTAD DE MECÁNICA</b> <b>MANTENIMIENTO INDUSTRIAL</b>											
Email: elvis.pilamunga@esPOCH.edu.ec Teléfonos: 0998991655 / 0995981062						Denominación:						Peso [Kg]		Tolerancia		Escala		Registro	
<b>Datos</b>		<b>Nombre</b>		<b>Firma</b>		<b>Fecha</b>		<b>BASE CIRCULAR</b>				1		±0.3 [mm]		1:2			
<b>Proyectó</b>		Quishpe Oscar				2020-06-24													
<b>Dibujó</b>		Pilamunga Elvis				2020-06-24		<b>Materiales:</b> ACERO ASTM A36											
<b>Revisó</b>		Ing. Hernández E.				2020-06-24		<b>Nombre de archivo:</b> EnsamblajeDAC.sldprt											
<b>Aprobó</b>		Ing. Hernández E.				2020-06-24													



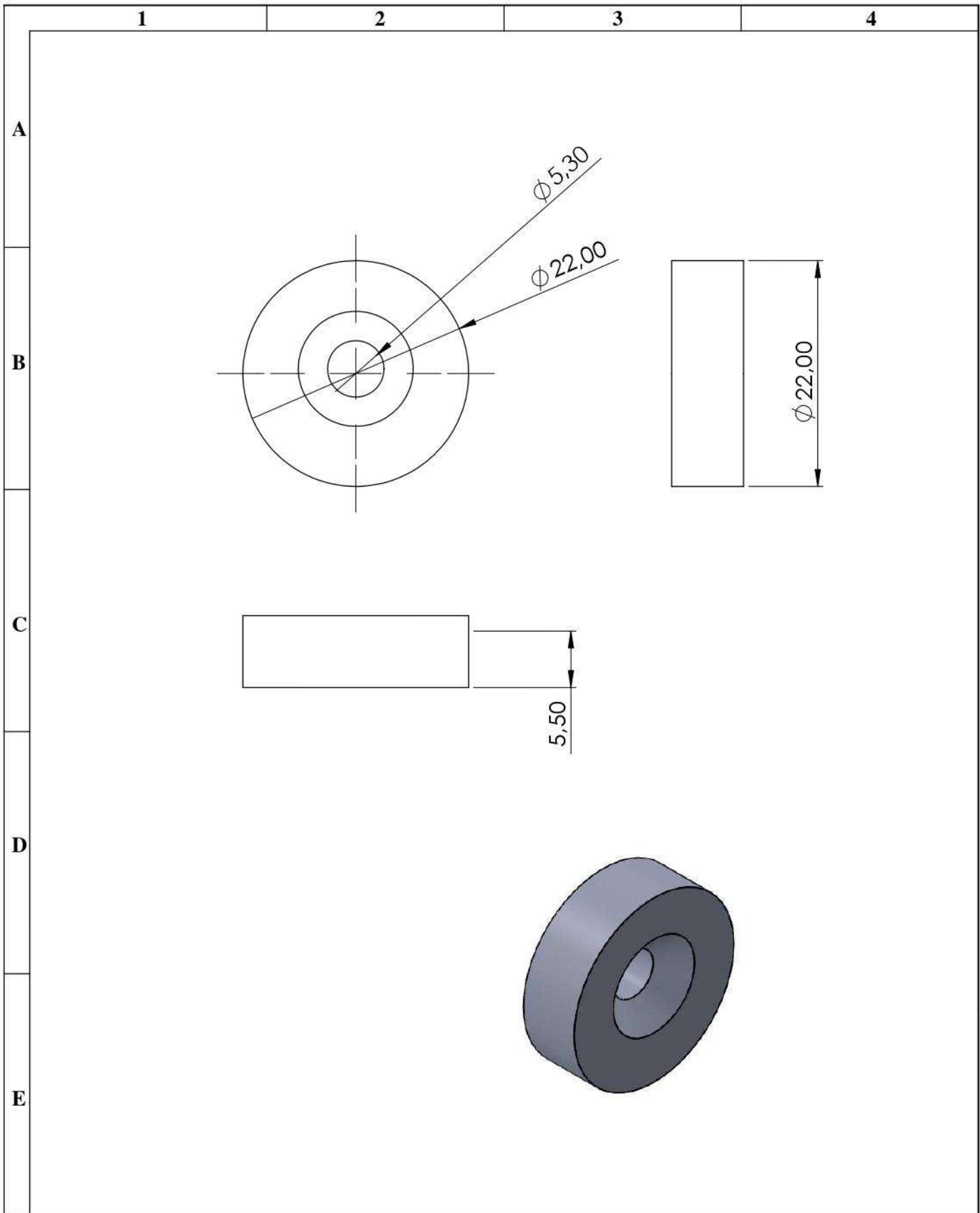
Nº. Lámina: 10 de 15		Nº. Hojas: 15		Sustitución:		Codificación: FM-EIMI-MANT56		<b>ESPOCH</b> <b>FACULTAD DE MECÁNICA</b> <b>MANTENIMIENTO INDUSTRIAL</b>											
Email: oscar.quishpe@esPOCH.edu.ec Teléfonos: 0998991655 / 0995981062						Denominación:						Peso [Kg]		Tolerancia		Escala		Registro	
<b>Datos</b>		<b>Nombre</b>		<b>Firma</b>		<b>Fecha</b>		<b>BASES DE AJUSTE</b>				0,6		±0.3 [mm]		2:1			
<b>Proyectó</b>		Quishpe Oscar				2023-01-31						<b>Materiales:</b>		  					
<b>Dibujó</b>		Pilamunga Elvis				2023-01-31						ACERO ASTM A36							
<b>Revisó</b>		Ing. Hernández E.				2023-01-31		<b>Nombre de archivo:</b>											
<b>Aprobó</b>		Ing. Hernández E.				2023-01-31		EnsamblajeDAC.sldprt											



N°. Lámina: 11 de 15		N°. Hojas: 15		Sustitución:		Codificación: FM-EIML-MANIT56		<b>ESPOCH</b> <b>FACULTAD DE MECÁNICA</b> <b>MANTENIMIENTO INDUSTRIAL</b>			
Email: oscar.quishpe@esPOCH.edu.ec Teléfonos: 0998991655 / 0995981062				Denominación:  <b>BASE FIJA MOTOR</b>							
<b>Datos</b>	<b>Nombre</b>	<b>Firma</b>	<b>Fecha</b>	<b>Materiales:</b> ACERO ASTM A 36		<b>Peso [Kg]</b>	<b>Tolerancia</b>	<b>Escala</b>	<b>Registro</b>		
<b>Proyectó</b>	Quishpe Oscar		2023-01-31			2	±0.3 [mm]	1:1			
<b>Dibujó</b>	Pilamunga Elvis		2023-01-31			<b>Nombre de archivo:</b> EnsamblajeDAC.sldprt					
<b>Revisó</b>	Ing. Hernández E.		2023-01-31	2023-01-31							
<b>Aprobó</b>	Ing. Hernández E.										

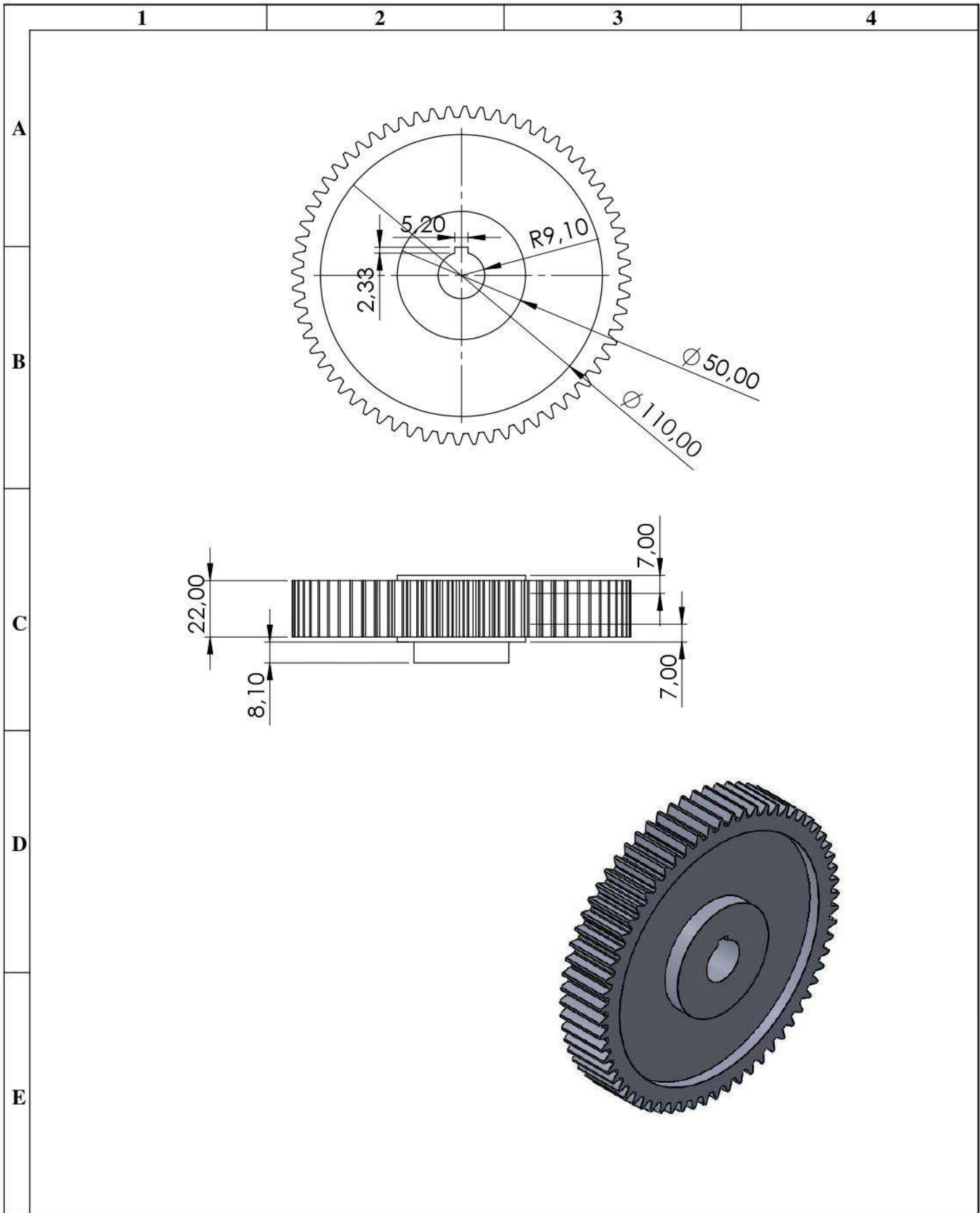


Nº. Lámina: 12 de 15		Nº. Hojas: 15		Sustitución:		Codificación: FM-EIMI-MANIT56		<b>ESPOCH</b> <b>FACULTAD DE MECÁNICA</b> MANTENIMIENTO INDUSTRIAL					
Email: elvis.pilamunga@esPOCH.edu.ec Teléfonos: 0998991655 / 0995981062						Denominación:						Peso [Kg]	Tolerancia
<b>Datos</b>		<b>Nombre</b>		<b>Firma</b>		<b>Fecha</b>		<b>MOTOR WEG</b> <b>W22</b>		8      ±0.3 [mm]      1:3			
<b>Proyectó</b>		Quishpe Oscar				2023-01-31							
<b>Dibujó</b>		Pilamunga Elvis				2023-01-31							
<b>Revisó</b>		Ing. Hernández E.				2023-01-31							
<b>Aprobó</b>		Ing. Hernández E.				2023-01-31		<b>Materiales:</b> HIERRO GRIS					
						<b>Nombre de archivo:</b> EnsamblajeDAC.sldprt							

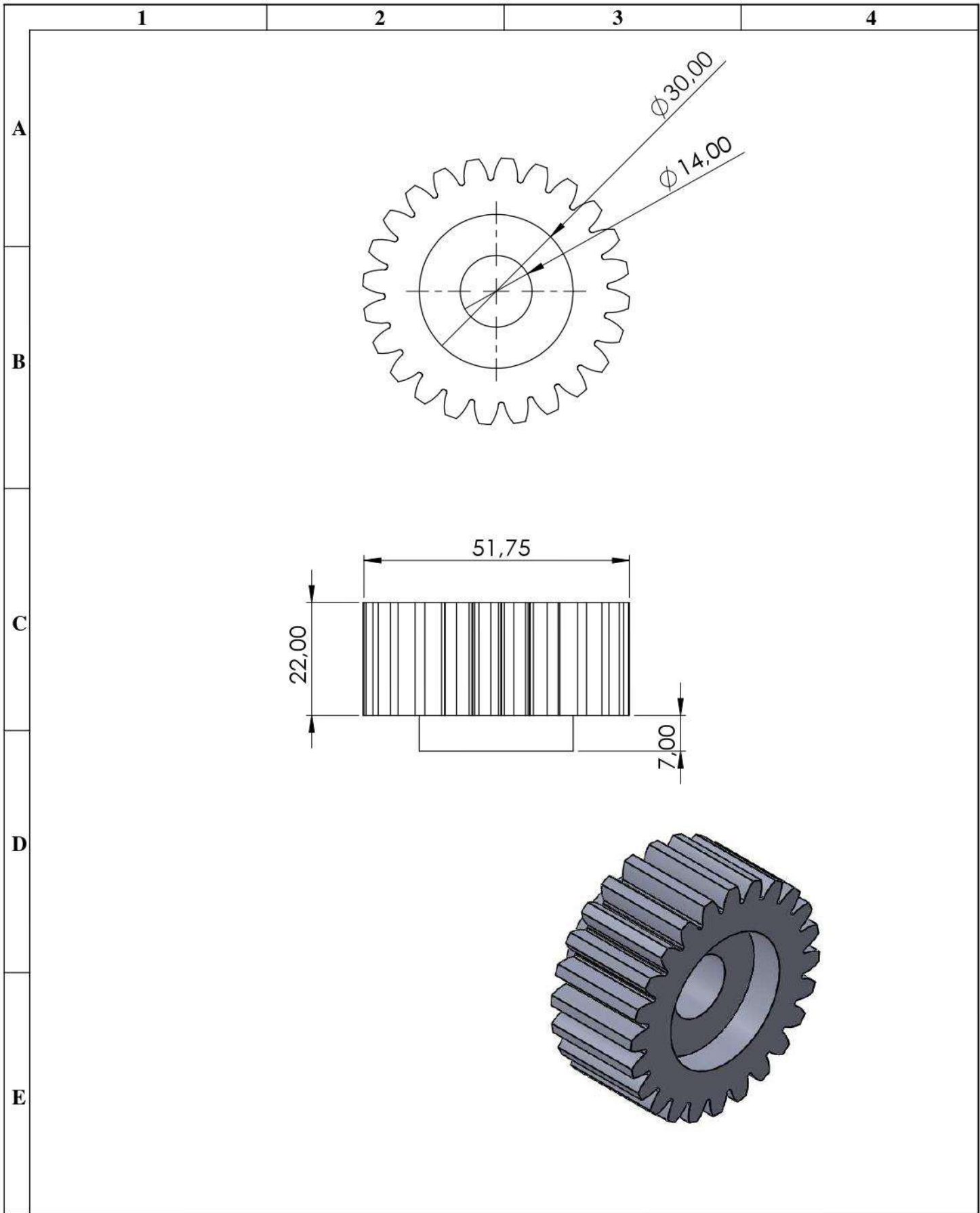


Nº. Lámina: 13 de 15		Nº. Hojas: 15		Sustitución:		Codificación: FM-EIMI-MANIT56		<b>ESPOCH</b> <b>FACULTAD DE MECÁNICA</b> MANTENIMIENTO INDUSTRIAL							
Email: oscar.quishpe@epoch.edu.ec Teléfonos: 0998991655 / 0995981062						Denominación:						Peso [Kg]		Tolerancia	
<b>Datos</b>		<b>Nombre</b>		<b>Firma</b>		<b>Fecha</b>		<b>INSERTO</b>							
<b>Proyectó</b>		Quishpe Oscar				2023-01-31									
<b>Dibujó</b>		Pilamunga Elvis				2023-01-31									
<b>Revisó</b>		Ing. Hernández E.				2023-01-31		<b>Materiales:</b> ACERO AISI 1018							
<b>Aprobó</b>		Ing. Hernández E.				2023-01-31		<b>Nombre de archivo:</b> EnsamblajeDAC.sldprt							





N°. Lámina: 14 de 15		N°. Hojas: 15		Sustitución:		Codificación: FM-EIMI-MANIT56		<b>ESPOCH</b> <b>FACULTAD DE MECÁNICA</b> <b>MANTENIMIENTO INDUSTRIAL</b>											
Email: elvis.pilamunga@esPOCH.edu.ec Teléfonos: 0998991655 / 0995981062						Denominación:						Peso [Kg]		Tolerancia		Escala		Registro	
<b>Datos</b>		<b>Nombre</b>		<b>Firma</b>		<b>Fecha</b>		<b>ENGRANAJE</b>				1,5		±0.3 [mm]		1:2			
<b>Proyectó</b>		Quishpe Oscar				2023-01-31						<b>Materiales:</b>							
<b>Dibujó</b>		Pilamunga Elvis				2023-01-31						ACERO AISI 1018							
<b>Revisó</b>		Ing. Hernández E.				2023-01-31		<b>Nombre de archivo:</b>											
<b>Aprobó</b>		Ing. Hernández E.				2023-01-31		EnsamblajeDAC.sldprt											



Nº. Lámina: 15 de 15		Nº. Hojas: 15		Sustitución:		Codificación: FM-EIML-MANIT56		<b>ESPOCH</b> <b>FACULTAD DE MECÁNICA</b> <b>MANTENIMIENTO INDUSTRIAL</b>											
Email: oscar.quishpe@esPOCH.edu.ec Teléfonos: 0998991655 / 0995981062						Denominación:						Peso [Kg]		Tolerancia		Escala		Registro	
<b>Datos</b>		<b>Nombre</b>		<b>Firma</b>		<b>Fecha</b>		<b>PIÑÓN</b>				0,8		±0.3 [mm]		1:1			
<b>Proyectó</b>		Quishpe Oscar				2023-01-31													
<b>Dibujó</b>		Pilamunga Elvis				2023-01-31													
<b>Revisó</b>		Ing. Hernández E.				2023-01-31		<b>Materiales:</b> ACERO AISI 1018											
<b>Aprobó</b>		Ing. Hernández E.				2023-01-31		<b>Nombre de archivo:</b> EnsamblajeDAC.sldprt											