



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

**“CONSTRUCCIÓN DE UN BANCO DIDÁCTICO PARA EL  
MONTAJE, Y ANÁLISIS DE FALLOS DE SISTEMAS DE  
TRANSMISIÓN POR ENGRANAJES RECTOS, HELICOIDALES Y  
TORNILLO SIN FIN”**

**Trabajo de Integración Curricular**

Tipo: Propuesta Tecnológica

Presentado para optar al grado académico de:  
**INGENIERO DE MANTENIMIENTO**

**AUTORES:**

**GILSON FERNANDO MORENO MUSO**  
**VÍCTOR FERNANDO PILCO CÓRDOVA**

Riobamba – Ecuador

2022



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

**“CONSTRUCCIÓN DE UN BANCO DIDÁCTICO PARA EL  
MONTAJE, Y ANÁLISIS DE FALLOS DE SISTEMAS DE  
TRANSMISIÓN POR ENGRANAJES RECTOS, HELICOIDALES Y  
TORNILLO SIN FIN”**

**Trabajo de Integración Curricular**

Tipo: Propuesta Tecnológica

Presentado para optar al grado académico de:

**INGENIERO DE MANTENIMIENTO**

**AUTORES: GILSON FERNANDO MORENO MUSO**

**VÍCTOR FERNANDO PILCO CÓRDOVA**

**DIRECTORA: Ing. EUGENIA MERCEDES NARANJO VARGAS**

Riobamba – Ecuador

2022

© 2022, **Gilson Fernando Moreno Muso y Víctor Fernando Pilco Córdova**

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 del Autor.

Nosotros, Gilson Fernando Moreno Muso y Víctor Fernando Pilco Córdova, 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, 07 de marzo de 2022



---

**Gilson Fernando Moreno Muso**

**C.I. 050381828-8**



---

**Víctor Fernando Pilco Córdova**

**C.I. 155005467-8**

**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: Propuesta Tecnológica, **CONSTRUCCIÓN DE UN BANCO DIDÁCTICO PARA EL MONTAJE, Y ANÁLISIS DE FALLOS DE SISTEMAS DE TRANSMISIÓN POR ENGRANAJES RECTOS, HELICOIDALES Y TORNILLO SIN FIN**, realizado por los señores: **GILSON FERNANDO MORENO MUSO Y VÍCTOR FERNANDO PILCO CÓRDOVA**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros 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. Cristian David Redroban Dillon Mgs. <b>PRESIDENTE DEL TRIBUNAL</b>	 _____	2022-03-07
Ing. Eugenia Mercedes Naranjo Vargas Mgs. <b>DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR</b>	 _____	2022-03-07
Ing. Marco Antonio Ordóñez Viñan Mgs. <b>MIEMBRO DEL TRIBUNAL</b>	 _____	2022-03-07

## **DEDICATORIA**

A Dios por permitirme llegar a este momento tan anhelado de mi vida. A mis padres, Hugo y Pilar por su amor y apoyo incondicional en este sueño tan importante para mí, a mis tíos por siempre ser una guía en este largo camino académico, a pesar de la distancia nunca me sentí solo. A mi dupla perfecta, Alejandra por siempre estar ahí por y para mí, brindándome su amor y comprensión. Gracias a todos por confiar en mí.

Gilson.

A Dios por haberme guiado siempre por el camino correcto y darme el valor necesario en los momentos que más lo necesitaba, a mi madre Beatriz por apoyarme en cada momento y darme los ánimos necesarios para seguir adelante, a mi padre Víctor por todo el sacrificio que hizo para poder darme el estudio para mi formación académica y a mis abuelos Anselmo y Victoria por confiar en mí desde siempre y por todo el amor y cariño que me demostraron en cada paso de mi vida durante mi formación profesional.

Víctor.

## AGRADECIMIENTO

A Dios por haberme guiado y permitirme llegar a este momento de mi vida. A la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo por acogerme durante el desarrollo de mi carrera y cada uno de los docentes por ser partícipes de mi preparación profesional. A mi tutora académica, Ing. Eugenia Naranjo por su disposición y conocimientos para culminar con éxito este trabajo de integración curricular.

Gilson.

A Dios por darme salud y vida, lo cual me ha hecho poder disfrutar de esta experiencia académica universitaria y me ha ayudado a adquirir mayor experiencia y conocimiento.

A mi familia por el apoyo y la confianza que depositaron en mí desde el primer día que empecé mi carrera, gracias a todo su esfuerzo y la educación que me inculcaron para poder llegar lo más lejos posible durante mi formación como profesional, son un pilar fundamental en mi vida.

A la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo y especialmente a la Carrera de Mantenimiento Industrial por abrir sus puertas al crecimiento de mi carrera como profesional, a sus docentes, profesionales de gran carácter cuyo conocimiento fue fundamental durante mi formación académica y de forma especial agradezco a la directora y Miembro del trabajo de integración curricular por haberme guiado y apoyado para culminar con éxito este proyecto.

Víctor.

## TABLA DE CONTENIDO

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

### CAPÍTULO I

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

### CAPÍTULO II

2.	MARCO TEÓRICO.....	4
2.1	Máquinas y mecanismos.....	5
2.1.1	<i>Partes de una máquina</i> .....	5
2.1.2	<i>Mecanismos</i> .....	5
2.2	Sistemas de transmisión.....	6
2.3	Clasificación de transmisiones con movimiento de rotación.....	7
2.3.1	<i>Transmisiones por rozamiento</i> .....	7
2.3.1.1	<i>Rodillos de fricción</i> .....	8
2.3.1.2	<i>Mecanismos de Correa</i> .....	8
2.3.2	<i>Transmisiones por engranajes</i> .....	8
2.4	Sistemas de transmisión con engranajes rectos.....	9
2.4.1	<i>Funcionamiento</i> .....	9
2.5	Sistemas de transmisión con engranajes helicoidales.....	10



2.6	<b>Sistema de transmisión con tornillo sin fin</b> .....	10
2.6.1	<i>Características de los tornillos sin fin</i> .....	10
2.7	<b>Modos de fallo en sistemas de transmisión</b> .....	11
2.7.1	<i>Factores que generan fallos</i> .....	11
2.8	<b>Mantenimiento</b> .....	13
2.8.1	<i>Funciones del Mantenimiento Industrial</i> .....	13
2.8.2	<i>Tipos de Mantenimiento</i> .....	14
2.9	<b>Proceso de desmontaje y montaje de una máquina</b> .....	14
2.9.1	<i>Pasos para realizar el montaje de elementos</i> .....	16
2.9.2	<i>Pasos para realizar un desmontaje</i> .....	16
2.10	<b>Fallos volumétricos y fallos superficiales</b> .....	17
2.10.1	<i>Fallas volumétricas</i> .....	17
2.10.1.1	<i>Fractura por fatiga de inflexión</i> .....	17
2.10.1.2	<i>Fractura por sobrecarga a la inflexión</i> .....	18
2.10.2	<i>Fallas superficiales</i> .....	19
2.10.2.1	<i>Fatigas por contacto</i> .....	19
2.10.2.2	<i>Desgaste de la superficie de trabajo de los dientes</i> .....	20
2.10.2.3	<i>Agarramiento de los flancos de los dientes</i> .....	22
2.10.2.4	<i>Deformación plástica del perfil del diente o fluencia friccional</i> .....	23

### CAPÍTULO III

3.	<b>DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL BANCO DIDÁCTICO</b> .....	26
3.1	<b>Diseño del banco didáctico de engranajes rectos, helicoidales y tornillo sin fin</b> 26	
3.1.1	<i>Sistema estructural</i> .....	26
3.1.1.1	<i>Estructura principal</i> .....	26
3.1.1.2	<i>Estructura base</i> .....	26
3.1.1.3	<i>Construcción de la estructura</i> .....	31
3.1.2	<i>Sistema eléctrico</i> .....	31
3.1.3	<i>Sistema mecánico</i> .....	36
3.1.3.1	<i>Cálculo de la cadena de transmisión</i> .....	36
3.1.3.2	<i>Cálculo de engranajes rectos</i> .....	42
3.1.3.3	<i>Cálculo de engranajes helicoidales</i> .....	48
3.1.3.4	<i>Cálculo de tornillo sin fin</i> .....	57
3.2	<b>Modelado de la estructura y sistemas de transmisión por engranajes</b> .....	64
3.3	<b>Proceso de construcción del banco didáctico</b> .....	67

3.3.1	<i>Dimensionamiento de las bases estructurales</i> .....	67
3.4	<b>Montaje y desmontaje del banco didáctico</b> .....	71
3.4.1	<i>Proceso de montaje</i> .....	71
3.4.1.1	<i>Montaje del sistema de transmisión de engranajes rectos</i> .....	73
3.4.1.2	<i>Montaje del sistema de transmisión de engranajes helicoidales</i> .....	75
3.4.1.3	<i>Montaje del sistema de transmisión por tornillo sin fin</i> .....	77
3.4.2	<i>Proceso de desmontaje</i> .....	79
3.4.2.1	<i>Desmontaje del sistema de transmisión por tornillo sin fin</i> .....	80
3.4.2.2	<i>Desmontaje del sistema de transmisión por engranajes helicoidales</i> .....	81
3.4.2.3	<i>Desmontaje del sistema de transmisión por engranajes rectos</i> .....	82
3.4.2.4	<i>Desmontaje de los elementos de traslación de las bases</i> .....	83
3.4.2.5	<i>Desmontaje de los elementos primarios</i> .....	85
3.5	<b>Análisis de fallos en los sistemas de transmisión del banco didáctico</b> .....	87
3.5.1	<i>Inspección visual engranaje cónico piñón MST03-002</i> .....	87
3.5.1.1	<i>Análisis de falla engranaje cónico piñón MST03-002</i> .....	88
3.5.2	<i>Inspección visual engranaje helicoidal MST05-006</i> .....	88
3.5.2.1	<i>Análisis de falla engranaje helicoidal MST05-006</i> .....	89
3.5.3	<i>Inspección visual corona MST06-004</i> .....	89
3.5.3.1	<i>Análisis de Fallos corona MST06-004</i> .....	90
3.5.4	<i>Inspección visual engranaje recto MST04-004</i> .....	90
3.5.4.1	<i>Análisis de falla engranaje recto MST04-004</i> .....	91
3.5.5	<i>Inspección visual engranaje recto MST04-002</i> .....	91
3.5.5.1	<i>Análisis de falla engranaje recto MST04-002</i> .....	92
3.5.6	<i>Inspección visual engranaje helicoidal MST05-008</i> .....	92
3.5.6.1	<i>Análisis de falla engranaje helicoidal MST05-008</i> .....	93
3.6	<b>Plan de mantenimiento</b> .....	93
<b>CONCLUSIONES</b> .....		100
<b>RECOMENDACIONES</b> .....		101
<b>GLOSARIO</b>		
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>		
<b>ANEXOS</b>		

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1-2:</b>	Causas más comunes que producen fallos.....	12
<b>Tabla 1-3:</b>	Datos para el cálculo de un perfil cuadrado .....	27
<b>Tabla 2-3:</b>	Verificación de K4 .....	39
<b>Tabla 3-3:</b>	Parámetros de codificación de niveles.....	72
<b>Tabla 4-3:</b>	Tareas de mantenimiento sistema de engranajes recto .....	93
<b>Tabla 5-3:</b>	Tarea de mantenimiento sistema de engranajes helicoidal.....	95
<b>Tabla 6-3:</b>	Tarea de mantenimiento sistema de tornillo sin fin.....	96
<b>Tabla 7-3:</b>	Tarea de mantenimiento sistema de accionamiento .....	97

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1-2:</b>	Partes de una máquina .....	5
<b>Figura 2-2:</b>	Sistemas de transmisión .....	6
<b>Figura 3-2:</b>	Rodillos de fricción.....	8
<b>Figura 4-2:</b>	Mecanismos de correa.....	8
<b>Figura 5-2:</b>	Engranaje recto .....	9
<b>Figura 6-2:</b>	Engranaje helicoidal.....	10
<b>Figura 7-2:</b>	Mecanismo tornillo sin fin .....	11
<b>Figura 8-2:</b>	Ishikawa factores que influyen en la ocurrencia de fallas en engranajes.....	11
<b>Figura 9-2:</b>	Funciones primarias y secundarias de mantenimiento.....	13
<b>Figura 10-2:</b>	Fractura por fatiga de inflexión.....	18
<b>Figura 11-2:</b>	Fractura por sobrecarga.....	18
<b>Figura 12-2:</b>	Fatigas por contacto .....	20
<b>Figura 13-2:</b>	Desgaste abrasivo.....	21
<b>Figura 14-2:</b>	Desgaste debido a la corrosión.....	21
<b>Figura 15-2:</b>	Desgaste debido a la adhesión y transferencia de metal. ....	22
<b>Figura 16-2:</b>	Agarramiento de los flancos de los dientes.....	23
<b>Figura 17-2:</b>	Deformación plástica del perfil del diente. ....	24
<b>Figura 1-3:</b>	Diagrama de fuerzas .....	28
<b>Figura 2-3:</b>	Diagrama de momento cortante, (b) Diagrama de momento flexionante .....	30
<b>Figura 3-3:</b>	Circuito de potencia del motor monofásico del banco didáctico .....	35
<b>Figura 4-3:</b>	Circuito de mando del motor monofásico del banco didáctico.....	36
<b>Figura 5-3:</b>	Selección del tipo de cadena .....	41
<b>Figura 6-3:</b>	Módulo A, B y C.....	43
<b>Figura 7-3:</b>	Módulo.....	47
<b>Figura 8-3:</b>	Sistema de engranajes .....	49
<b>Figura 9-3:</b>	Engranajes He1 y He2 .....	52
<b>Figura 10-3:</b>	Sistema de transmisión por tornillo sin fin. ....	57
<b>Figura 11-3:</b>	Diseño de tornillo sin fin – corona.....	57
<b>Figura 12-3:</b>	Engranaje cónicos .....	58
<b>Figura 13-3:</b>	Engranajes rectos sistema de tornillo sin fin.....	61
<b>Figura 14-3:</b>	Sistema estructural.....	65
<b>Figura 15-3:</b>	Estructura superior con sus sistemas.....	65
<b>Figura 16-3:</b>	Montaje de los sistemas de transmisión .....	66

<b>Figura 17-3:</b>	Modelado final del banco didáctico .....	67
<b>Figura 18-3:</b>	Corte de tubos cuadrados .....	68
<b>Figura 19-3:</b>	Desbaste y limpieza de tubos .....	68
<b>Figura 20-3:</b>	Estructura armada .....	69
<b>Figura 21-3:</b>	Soldadura de la estructura .....	69
<b>Figura 22-3:</b>	Estructura superior .....	69
<b>Figura 23-3:</b>	Acoplamiento de tubos en la parte superior .....	70
<b>Figura 24-3:</b>	Construcción de bases para ejes .....	70
<b>Figura 25-3:</b>	Corte de bocines .....	70
<b>Figura 26-3:</b>	Estructura base con cubierta .....	71
<b>Figura 27-3:</b>	Estructura limpia y pintada .....	71
<b>Figura 28-3:</b>	Montaje del sistema de transmisión .....	73
<b>Figura 29-3:</b>	Inserción de los ejes en los bocines .....	74
<b>Figura 30-3:</b>	Introducción de ejes en la base .....	74
<b>Figura 31-3:</b>	Colocación de engranajes en sus respectivos ejes .....	75
<b>Figura 32-3:</b>	Montaje del sistema de transmisión de engranajes helicoidales .....	75
<b>Figura 33-3:</b>	Ingreso de ejes en los bocines .....	76
<b>Figura 34-3:</b>	Introducción de ejes en las bases .....	76
<b>Figura 35-3:</b>	Montaje de engranajes helicoidales en los ejes .....	76
<b>Figura 36-3:</b>	Ajuste y acoplamiento de ejes en la base .....	77
<b>Figura 37-3:</b>	Montaje del sistema de transmisión por tornillo sin fin .....	77
<b>Figura 38-3:</b>	Colocación de chumacera .....	78
<b>Figura 39-3:</b>	Introducción de ejes en bocinas .....	78
<b>Figura 40-3:</b>	Introducción de ejes en la base .....	78
<b>Figura 41-3:</b>	Acoplamiento de engranajes en los ejes .....	79
<b>Figura 42-3:</b>	Acoplamiento de ejes en las bocinas .....	79
<b>Figura 43-3:</b>	Máquina ensamblada .....	80
<b>Figura 44-3:</b>	Desajuste de prisioneros .....	80
<b>Figura 45-3:</b>	Retiro de tornillos de chumacera .....	80
<b>Figura 46-3:</b>	Base de la corona y engranaje rectos flojos .....	81
<b>Figura 47-3:</b>	Desmontaje de la corona y engranajes rectos .....	81
<b>Figura 48-3:</b>	Desajuste de prisioneros de la base .....	81
<b>Figura 49-3:</b>	Engranajes helicoidales listos para retirar .....	82
<b>Figura 50-3:</b>	Desplazamiento de prisioneros de la base .....	82
<b>Figura 51-3:</b>	Desplazamiento de engranajes rectos .....	82
<b>Figura 52-3:</b>	Prisioneros listos para ser retirados .....	83

<b>Figura 53-3:</b>	Engranajes rectos flojos .....	83
<b>Figura 54-3:</b>	Desajuste de prisioneros .....	83
<b>Figura 55-3:</b>	Eje recto retirado.....	84
<b>Figura 56-3:</b>	Retiro de la base.....	84
<b>Figura 57-3:</b>	Desmontaje de las bases de engranajes helicoidales.....	85
<b>Figura 58-3:</b>	Desmontaje del sistema primario.....	85
<b>Figura 59-3:</b>	Desajuste de prisioneros de las catalinas .....	85
<b>Figura 60-3:</b>	Caja reductora y motor.....	86
<b>Figura 61-3:</b>	Desmontaje del eje.....	86
<b>Figura 62-3:</b>	Retiro de los pernos de las chumaceras .....	86
<b>Figura 63-3:</b>	Chumaceras y engranajes.....	87
<b>Figura 64-3:</b>	Picaduras destructivas y desprendimientos, desgaste por corrosión.....	88
<b>Figura 65-3:</b>	Desgaste superficial, picaduras iniciales, abrasión, corrosión. ....	89
<b>Figura 66-3:</b>	Desprendimiento de material, Abrasión, picado inicial.....	90
<b>Figura 67-3:</b>	Picado destructivo, picado inicial, abrasión, fisura.....	91
<b>Figura 68-3:</b>	Picado destructivo, picado inicial. ....	92
<b>Figura 69-3:</b>	Picado inicial, desprendimiento de partículas.....	93

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

<b>Gráfico 1-2:</b>	Diferencias entre ejes y árboles de transmisión .....	7
<b>Gráfico 2-2:</b>	Clasificación de transmisión por rozamiento.....	7
<b>Gráfico 3-2:</b>	Clasificación de transmisión por engranes.....	9
<b>Gráfico 4-2:</b>	Tipos de mantenimiento.....	14
<b>Gráfico 5-2:</b>	Procesos de montaje y desmontaje.....	14
<b>Gráfico 6-2:</b>	Pasos para realizar el procedimiento de montaje.....	16
<b>Gráfico 7-2:</b>	Pasos para realizar el procedimiento de desmontaje.....	17
<b>Gráfico 8-2:</b>	Clasificación de las fallas en los engranajes.....	25
<b>Gráfico 1-3:</b>	Cálculo de número de dientes.....	38
<b>Gráfico 2-3:</b>	Cálculo de número de eslabones o enlaces.....	39
<b>Gráfico 3-3:</b>	Cálculo de K5 .....	40

## **ÍNDICE DE ANEXOS**

**ANEXO A:** TABLA DE SELECCIÓN DE FACTOR DE SEGURIDAD

**ANEXO B:** TABLA DE SELECCIÓN DE PERFILES CUADRADOS

**ANEXO C:** TABLA DE SELECCIÓN DE CALIBRE CONDUCTOR

**ANEXO D:** GUÍA PRÁCTICA PARA EL MONTAJE Y ANÁLISIS DE FALLOS DE SISTEMAS DE TRANSMISIÓN POR ENGRANAJES RECTOS, HELICOIDALES Y TORNILLO SIN FIN.

**ANEXO E:** PLANOS ESTRUCTURALES DEL BANCO DIDÁCTICO



## RESUMEN

El objetivo del presente proyecto fue la construcción de un banco didáctico para el montaje y análisis de fallos de sistemas de transmisión por engranajes dado que existe un déficit en la preparación profesional de los técnicos, operadores e ingenieros en el área de mantenimiento referente a los equipos de transmisión mecánica, por la inexistencia de módulos durante su formación académica en las instituciones educativas. Se aplicaron métodos de diseño mecánico para el modelamiento de mecanismos basados en sistemas de transmisión por engranajes rectos, helicoidales y tornillo sin fin con una velocidad inicial del elemento motriz de 1700 rpm y una reducción de 1:10, es decir 170 rpm para la transmisión de los engranajes. Además, el banco permitió analizar los fallos producidos en cada uno de los elementos mencionados mediante la elaboración de una bitácora según los resultados obtenidos por inspección visual, manipulación de elementos finales o aplicación de carga para ocasionar errores en el funcionamiento y verificar fallos existentes durante la transmisión de movimiento. Para el modelamiento mecánico se utilizó el software SolidWorks académico, en base a los cálculos del sistema estructural, eléctrico y mecánico. Como resultado se obtuvo un módulo didáctico conformado por tres secciones con sus diferentes sistemas de transmisión: engranajes rectos, helicoidales y tornillo sin fin, constando así de velocidades finales de 107 rpm, 152 rpm y 31 rpm respectivamente, para las prácticas de montaje y plan de mantenimiento preventivo, permitiendo que los estudiantes en formación realicen las prácticas correspondientes. Previo al análisis de fallos se recomienda establecer los parámetros de funcionamiento para reconocer los fallos superficiales que se obtienen de la inspección visual.

**Palabras clave:** <INGENIERÍA DE MANTENIMIENTO>, <SISTEMA DE TRANSMISIÓN>, <ANÁLISIS DE FALLOS>, <ENGRANAJES>.

1117-DBRA-UTP-2022



## SUMMARY

The objective of this project was the construction of a didactic bench for the assembly and failure analysis of gear transmission systems, given that there is a deficit in the professional preparation of technicians, operators and engineers in the maintenance area related to equipment of mechanical transmission, due to the non-existence of modules during their academic training in educational institutions. Mechanical design methods were applied for the modeling of mechanisms based on spur, helical gear and worm screw transmission systems with an initial speed of the driving element of 1700 rpm and a reduction of 1:10, that is, 170 rpm for the gear transmission. In addition, the bench made it possible to analyze the failures produced in each of the elements mentioned by preparing a logbook according to the results obtained by visual inspection, handling of final elements or load application to cause errors in operation and verify existing failures during the motion transmission. For the mechanical modeling, the academic SolidWorks software was used, based on the calculations of the structural, electrical and mechanical system. As a result, a didactic module made up of three sections with their different transmission systems was obtained: spur, helical gears and worm screw. Thus, final speeds of 107 rpm, 152 rpm and 31 rpm respectively, for assembly, plan practices and preventive maintenance, allowing students in training to carry out the corresponding practices. Prior to the failure analysis, it is recommended to establish the operating parameters to recognize the superficial failures that are obtained from the visual inspection.

**Keywords:** <MAINTENANCE ENGINEERING>, <TRANSMISSION SYSTEM>, <FAULT ANALYSIS>, <GEARS>, <SOLIDWORKS (SOFTWARE)>.



Lic. Sandra Paulina Porras Pumalema Mgs.

C.I. 0603357062

## INTRODUCCIÓN

En la industria existe gran cantidad y variedad de máquinas cuyo funcionamiento ayuda a agilizar el trabajo del ser humano, éstas constan de tres partes principales que son: elemento motriz, mecanismo y elemento receptor, en donde para transmitir el movimiento se utilizan sistemas de transmisión de potencia clasificados en engranajes y poleas, las transmisiones por engranajes son las que principalmente se utilizan debido al movimiento constante que mantienen durante el funcionamiento, además de la gran variedad de velocidades, relaciones de transmisión y potencia que podemos llegar a obtener con estos elementos.

Existen varios tipos de transmisiones por engranajes, y dentro de los más usados encontramos los engranajes rectos, helicoidales y tornillo sin fin, los cuales permiten elevar o reducir velocidades dependiendo del funcionamiento al que se requieran aplicar, pero al ser elementos que se encuentran en constante contacto tienden a sufrir fallos si no se realiza el mantenimiento adecuado, dentro de los fallos más comunes tenemos: desgaste, fracturas y corrosión que con el paso del tiempo pueden llegar a disminuir la capacidad de rendimiento del sistema si no son analizados y corregidos con anticipación; por lo tanto, es necesario tener conocimiento acerca de cómo distinguir este tipo de problemas presentes en engranajes para poder resolverlos de la mejor manera posible, pero en ocasiones cierta cantidad de técnicos y profesionales desconocen del funcionamiento de estos elementos, debido a la falta de práctica durante su formación, como es el caso de la Carrera de Mantenimiento Industrial que carece de la existencia de módulos donde se puedan apreciar el funcionamiento real de los sistemas de transmisión por engranajes.

Para ello, esta propuesta tecnológica está dirigida hacia la construcción de un banco didáctico para el montaje y análisis de fallos de sistemas de transmisión por engranajes rectos, helicoidales y tornillo sin fin, de tal manera que los estudiantes adquieran conocimiento tanto teórico como técnico acerca de los diferentes tipos de engranajes, su funcionamiento y los fallos que se pueden llegar a producir en ellos, y así realizar un plan de mantenimiento con las tareas necesarias para solucionar los problemas presentes en estos elementos; de la misma forma tendrán conocimiento acerca del procedimiento que se debe realizar para el montaje de los mecanismos del banco didáctico.

# CAPÍTULO I

## 1. GENERALIDADES

### 1.1 Antecedentes

Hoy en día los sistemas de transmisión por engranajes (rectos, helicoidales y tornillo sin fin) son muy utilizados en la industria para transmitir potencias con pares elevados de fuerza a velocidades altas y que no requieran de un operador entre ellas, son sistemas silenciosos y con mayores rangos de velocidad, por ende, sus aplicaciones son muy variadas y van desde reductores, máquinas herramientas, cajas de cambios en automóviles, entre otros (Carvajal, 2010 p. 20).

Una gran ventaja de los sistemas de transmisión por engranajes sobre las transmisiones por bandas es la ausencia de deslizamiento y relaciones de transmisión más estables. En la actualidad existen módulos de sistemas de transmisión de potencia, como es el caso de la universidad tecnológica de Pereira, en este mencionan la gran importancia de este tipo de módulos didácticos, cálculos para la selección de los elementos, entre otros, pero dicho estudio solo se lo realizó con un solo tipo de engranaje, en este caso helicoidales.

El estudio a realizarse se enfocará en engranajes rectos, helicoidales y tornillo sin fin, al ser un banco didáctico permitirá trabajar y analizar cada uno de los modos de fallo que se presenten, como, por ejemplo, fracturas dúctiles, fractura frágil, desgaste abrasivo, desgaste adhesivo, por fatiga, sobrecalentamiento entre otros (Sanchez et.al., 2007, pp.60-64). Cada uno de estos modos de fallo se presentan según el modo de operación, por desalineación o por la cantidad de torque que le aplican, he aquí la importancia de saber el por qué y las causas que conllevan al desarrollo de estos fallos, estos serán analizados con la ayuda de técnicas de análisis no destructivo como por ejemplo inspección visual. La Carrera de Mantenimiento Industrial posee los equipos necesarios para realizar dichos análisis y cuenta con un personal altamente capacitado para solucionarlos, también se dará al banco didáctico una aplicabilidad técnica y sostenible.

El banco didáctico será montable y desmontable, tendrá su respectiva hoja de procesos y un plan de mantenimiento dependiendo de su aplicabilidad, finalmente será entregado al laboratorio de Mantenimiento Correctivo perteneciente a la Carrera de Mantenimiento Industrial, para ser utilizado como base en el estudio de sistemas de transmisión por engranajes.

## **1.2 Planteamiento del problema**

Los sistemas de transmisión por engranajes durante su vida útil llegan a presentar problemas recurrentes que pueden ser ocasionados ya sea por: los esfuerzos a los que están sometidos, el contexto operacional en que trabajan, el tipo de material con el que están contruidos, el desgaste o el excesivo ruido que producen. Cuando se presentan estos problemas, los operadores, técnicos e ingenieros no pueden saber con exactitud qué es lo que está ocurriendo o por qué se desató la falla, esto en ciertas ocasiones debido a que en las universidades no existe una capacitación previa en el uso de este tipo de mecanismos, tal es el caso de la Carrera de Mantenimiento Industrial, que dentro del laboratorio de Mantenimiento Correctivo no existen bancos didácticos de sistemas de transmisión por engranajes (rectos, helicoidales, tornillo sin fin), por lo que los estudiantes no pueden ser capacitados técnicamente para solucionar las fallas en estos sistemas, también se carece del conocimiento para su proceso de montaje y desmontaje, tal desconocimiento genera un descontento y problemas en la vida profesional del Ingeniero en Mantenimiento Industrial.

## **1.3 Justificación**

En la actualidad la industria utiliza sistemas de transmisión por engranajes de diferentes tipos dependiendo del proceso, así como también de la capacidad de carga que estos pueden llegar a soportar y la potencia que pueden llegar a transmitir, por tal motivo en estos sistemas se presentan fallos, que si no se detectan a tiempo o se previenen adecuadamente llegan a ocasionar problemas serios con el transcurso de su funcionamiento.

El banco didáctico será diseñado y construido con el fin de que los estudiantes tengan un conocimiento más concreto acerca de sistemas de transmisión por engranajes, realizando prácticas de montaje, para que conozcan acerca de su funcionamiento y puedan realizar análisis de fallos con los datos obtenidos para definir las tareas correspondientes y solucionar los problemas que se presenten.

Dentro del proyecto se podrá apreciar el funcionamiento real de un sistema de transmisión por engranajes, se utilizará diferentes tipos de ruedas dentadas que son principalmente utilizadas en la industria, la formación teórica y técnica del estudiante de la Carrera de Mantenimiento Industrial ayudará a dar solución a posibles problemas que puedan ocurrir en estos sistemas de transmisión, lo cual genera una idea clara para realizar el respectivo plan de mantenimiento.

## **1.4 Objetivos**

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

Construir un banco didáctico para el montaje, y análisis de fallos de sistemas de transmisión por engranajes rectos, helicoidales y tornillo sin fin.

### ***1.4.2 Objetivos específicos***

Realizar el modelado de los elementos mecánicos que conforman el banco didáctico.

Seleccionar los elementos mecánicos para cada uno de los sistemas de transmisión por engranajes (rectos, helicoidales y tornillo sin fin).

Analizar los fallos producidos en cada uno de los elementos mecánicos.

Desarrollar un plan de mantenimiento y hoja de procesos de montaje para cada uno de los sistemas de transmisión por engranajes.

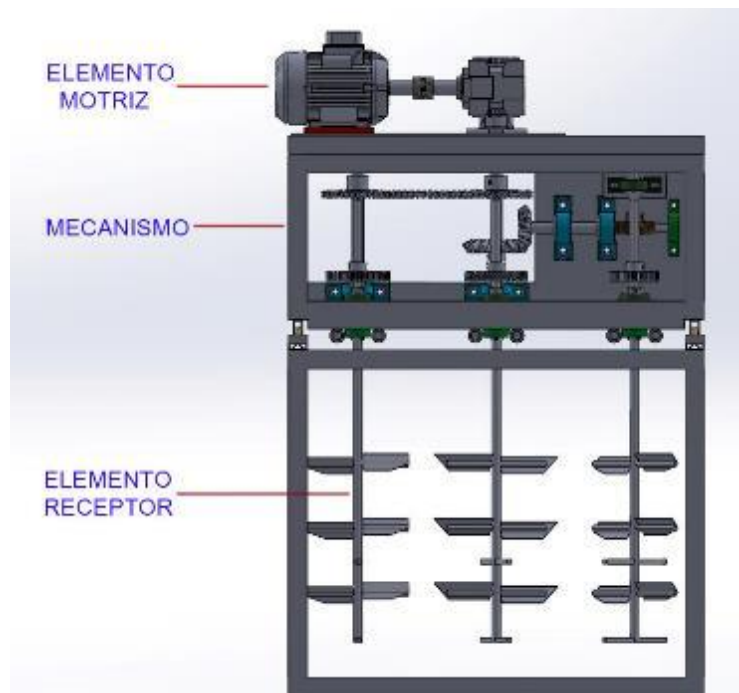
## CAPÍTULO II

### 2. MARCO TEÓRICO

#### 2.1 Máquinas y mecanismos

Una máquina es un objeto o dispositivo diseñado y construido con el propósito de reducir el esfuerzo que deben realizar los seres humanos para realizar un trabajo determinado, toda máquina modifica, transforma o dirige las fuerzas aplicadas a la misma para cumplir un objetivo específico, es decir, se transforma un tipo de energía en movimiento o trabajo (Myszka, 2012).

**2.1.1 Partes de una máquina.** – De manera simplificada se podría decir que una máquina consta de tres partes principales: Elemento motriz, mecanismo y elemento receptor (Sallán, 2012 p. 2).



**Figura 1-2:** Partes de una máquina

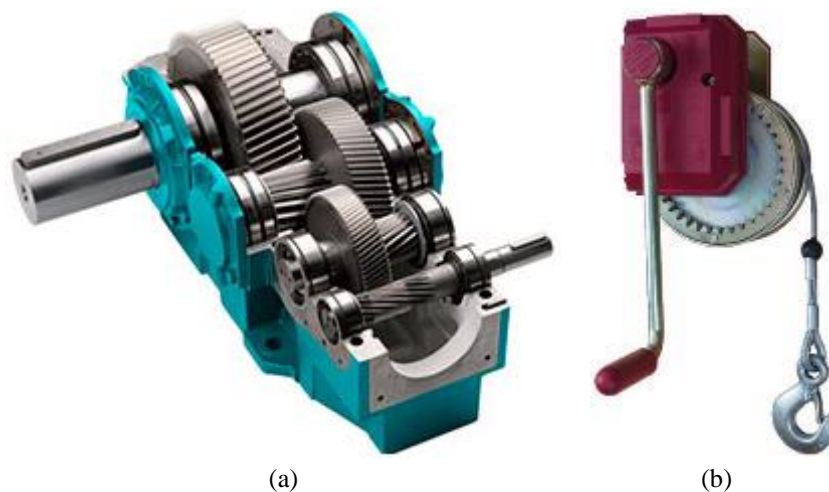
Realizado por: Moreno, G.; Pilco, V. 2022

**2.1.2 Mecanismos.** – Toda maquinaria cuenta con mecanismos, los cuales se pueden definir como el conjunto de elementos entrelazados mediante diferentes tipos de uniones cuyo propósito principal es la transmisión de movimientos y fuerzas (Myszka, 2012 p. 2).

Los mecanismos se pueden clasificar de diversas maneras, una de ellas es en base al tipo de movimiento entregado a la máquina versus el movimiento de salida de la misma, bajo estos parámetros se clasifican como: mecanismos de transmisión de movimiento cuando el elemento motriz y el elemento receptor de la máquina tienen el mismo tipo de movimiento (lineal, circular o alternativo) y mecanismos de transformación de movimiento cuando el elemento motriz y el elemento receptor de la máquina tienen diferente tipo de movimiento (Sallán, 2012).

## 2.2 Sistemas de transmisión

Varios autores (Flores, 2018 & Máquinas y equipos, 2016) definen a una transmisión mecánica como todo y cualquier mecanismo que se utilice para transmitir la energía o potencia mecánica desde el elemento motriz hasta el elemento receptor de una máquina. Además, establece que el sistema de transmisión puede transformar las velocidades, fuerzas y momentos torsores (Figura 2-2, a), y también puede transformar el carácter o tipo del movimiento (Figura 2-2, b).



**Figura 2-2:** Sistemas de transmisión

**Fuente:** (Flores, 2018, p. 35)

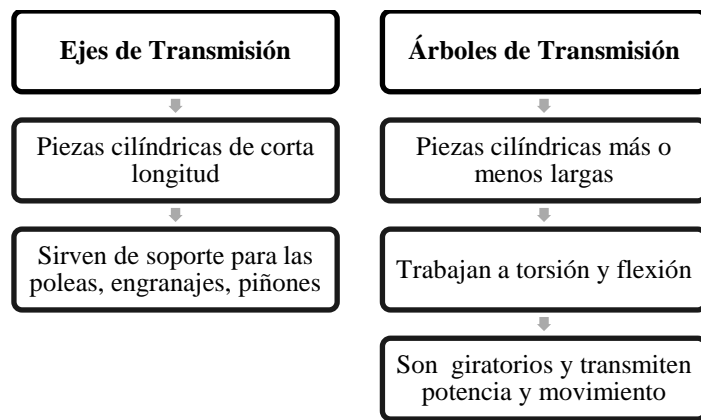
La transmisión de la fuerza y el movimiento producido por un motor se cumple por medio de cadenas cinemáticas o también llamadas como transmisiones mecánicas, que son eslabones generalmente rígidos y conectados unos a otros por medio de juntas de tal manera que permitan que el movimiento se realice en conjunto para transmitir la fuerza y el movimiento al mismo tiempo (Carvajal et al., 2010, p. 20).



### 2.3 Clasificación de transmisiones con movimiento de rotación

Las transmisiones mecánicas según los elementos empleados para transmitir el movimiento se pueden clasificar desde un punto de vista geométrico, dinámico y cinético en: transmisiones por rozamiento y transmisiones por engranajes.

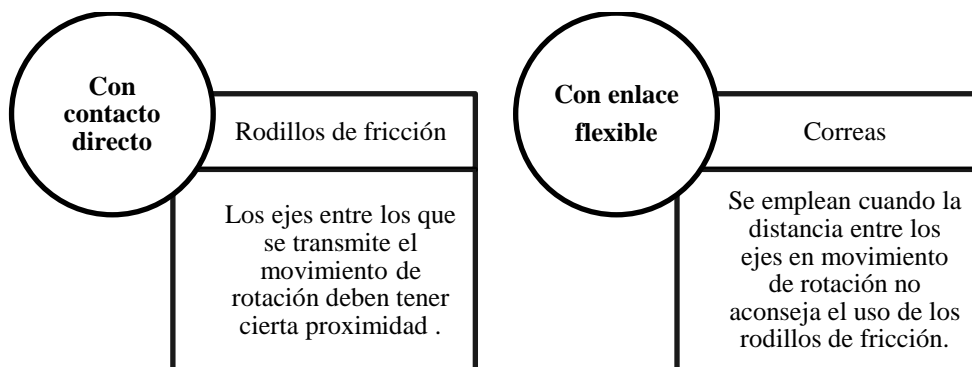
Para transmitir la fuerza y el movimiento se emplean transmisores mecánicos, entre los más utilizados tenemos: las transmisiones por correa, la transmisión por cadena y las transmisiones por engranajes, debido a que el movimiento que se transmite por lo general es circular. En los ejes de transmisión o árboles de transmisión se pueden montar los elementos mecánicos, en el gráfico 1-2 se detalla sus diferencias (Suarez, 2017 p. 8).



**Gráfico 1-2:** Diferencias entre ejes y árboles de transmisión

Fuente: (Carvajal et al., 2010: p. 20).

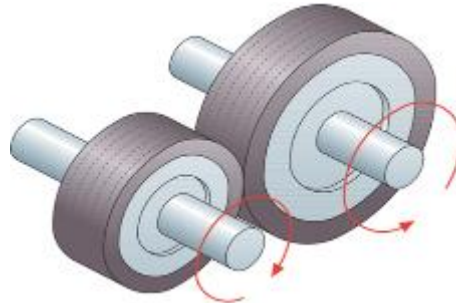
**2.3.1 Transmisiones por rozamiento.** – Para transmitir potencia las transmisiones por rozamiento utilizan la fuerza de rozamiento que se genera entre dos elementos. De acuerdo a la existencia o no de un elemento intermedio de transmisión estos dispositivos se dividen en transmisiones con contacto directo y con enlace flexible (Gráfico 2-2).



**Gráfico 2-2:** Clasificación de transmisión por rozamiento

Fuente: (Carvajal et al., 2010: p. 20).

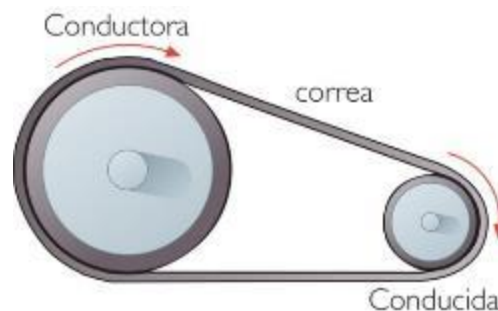
2.3.1.1 *Rodillos de fricción.* – Son aquellas transmisiones de potencia también conocida como rueda de fricción que se ejecutan por contacto directo y se realiza sobre ejes paralelos y la característica principal es que el sentido de giro del eje motriz es contrario al del eje conducido como se muestra en la Figura 3-2.



**Figura 3-2:** Rodillos de fricción

**Fuente:** (Landín, 2020, p. 5)

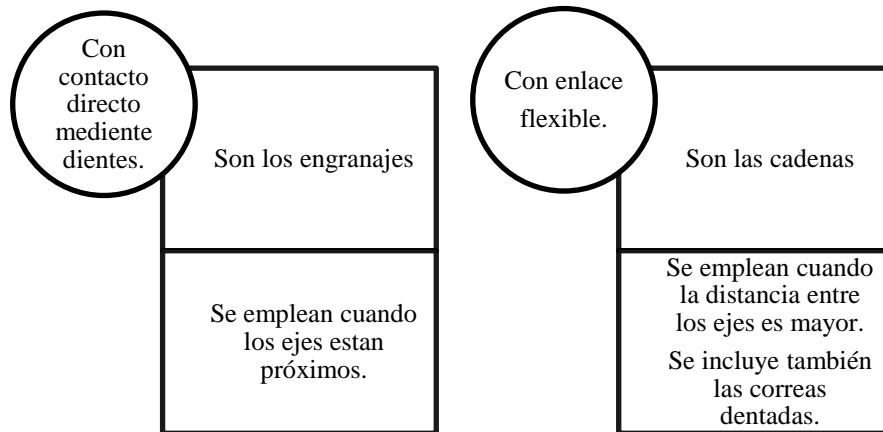
2.3.1.2 *Mecanismos de Correa.* – Estas transmisiones se utilizan para transmitir movimiento de rotación entre dos ejes, estos pueden ser paralelos o no. Las correas más utilizadas son las trapeciales tienen una sección en forma de cuña, ejercen mayor presión, su capacidad de transmisión de potencia tiene relación directa con la fuerza de rozamiento entre polea y correa (Roda et al., 2016: p. 276).



**Figura 4-2:** Mecanismos de correa

**Fuente:** (CLR, 2016. P. 2)

2.3.2 *Transmisiones por engranajes.* – Es un mecanismo que transmite el movimiento mediante la interacción de dos o más elementos conectados entre sí. Son empleados en las aplicaciones donde la fuerza del ser humano no puede ser utilizada debido a la gran demanda de esfuerzo que se requiere para realizarla y solo una máquina esta apta para ejecutar la actividad. Este tipo de transmisión se divide en dos grupos como se describe en el grafico 3-2.



**Gráfico 3-2:** Clasificación de transmisión por engranajes.

Fuente: (Carvajal et al., 2010: p. 20).

## 2.4 Sistemas de transmisión con engranajes rectos

Este tipo de sistemas transmiten la potencia a través de ejes paralelos, por lo cual se encuentran mayormente expuestos a esfuerzos radiales y no cargas axiales. Lo engranajes rectos son los más sencillos que existen y se utilizan para velocidades pequeñas y medias, a mayor velocidad producen un ruido excesivo (CLR, 2016). Además, (Myszka, 2012 p. 261), menciona que el diseño simple de los engranajes rectos los convierte en el tipo de engranaje más común al cual se lo puede encontrar en diversas aplicaciones.



**Figura 5-2:** Engranaje recto

Fuente: (CLR, 2016, p.8)

**2.4.1 Funcionamiento.** – En estos sistemas solo un diente del engranaje es el punto de contacto para la transmisión de potencia, cuando un diente se desprenden del punto de contacto entra de inmediato en contacto el siguiente, por lo cual el par o torque se transmite de una manera más dura comparada a los helicoidales (CLR, 2016, p. 10).

## 2.5 Sistemas de transmisión con engranajes helicoidales

Con este tipo de sistemas se puede transmitir la potencia a través de ejes paralelos o perpendiculares, poseen dientes oblicuos en relación al eje de rotación, pueden transmitir mayores potencias y velocidad que un sistema de engranajes cilíndricos rectos, en estos sistemas el punto de contacto para transmisión de potencia corresponde a más de un diente y de manera progresiva por lo cual la transmisión de potencia es más suave, fluida y silenciosa. Por sus características de diseño tienden a desgastarse rápidamente si no se realiza un adecuado engrase (CLR, 2016).



**Figura 6-2:** Engranaje helicoidal

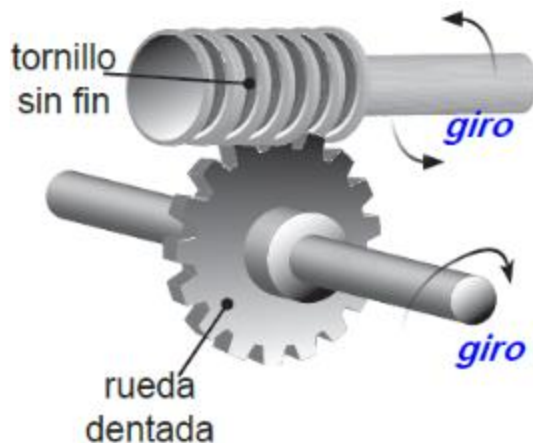
Fuente: (CLR, 2016, p. 10)

## 2.6 Sistema de transmisión con tornillo sin fin

Varios autores indican que mecanismos con tornillo sin fin se utilizan para transmitir fuerza y movimiento entre dos ejes perpendiculares es decir entre ejes que están en ángulo recto ( $90^\circ$ ) (Lozano y Soria , 2009 citado en CLR, 2016 p.11).

Permite una ganancia mecánica elevada, siendo siempre el elemento motriz el tornillo sin fin que engrana en el eje conducido que corresponde a la corona, en este sistema por cada giro que da el tornillo sin fin, el avance en la corona sería de un diente (Carvajal et al., 2010, p. 28).

**2.6.1 Características de los tornillos sin fin.** – Entre las principales características que aportan este tipo de mecanismos se pueden destacar que trabajan perfectamente en espacios muy reducidos, permiten rotar la dirección de salida del eje, se utilizan siempre y cuando en el sistema que se apliquen se tolere la pérdida de rendimiento debido a pérdidas de energía por calor (CLR, 2016).



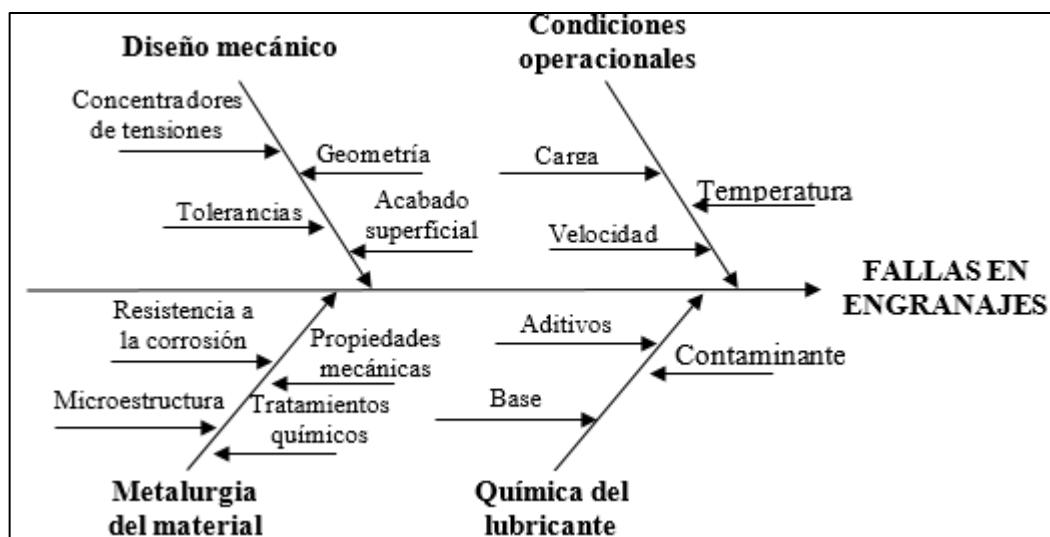
**Figura 7-2:** Mecanismo tornillo sin fin

Fuente: (Lozano y Soria , 2009 citado en CLR, 2016 p.11).

## 2.7 Modos de fallo en sistemas de transmisión

**2.7.1 Factores que generan fallos.** – Los fallos que se pueden producir en los sistemas de transmisión por engranajes se pueden atribuir a diversos factores o causas, al identificar las mismas y controlarlas se puede mitigar los efectos negativos resultantes.

Según (Suarez, 2017, p. 4), menciona que los factores que inciden en la ocurrencia de fallas en los sistemas de engranajes se pueden atribuir al: diseño mecánico, condiciones operacionales, metalurgia del material, química del lubricante.



**Figura 8-2:** Ishikawa factores que influyen en la ocurrencia de fallas en engranajes

Fuente: (Suarez, 2017 p. 4)

Según varios autores: (Dobrovolski, 1980, Dudley, 1994., Gear Design, 1990, Mendéz, 2013, Reshetov, 1985, South, 1995, L, Shigley, 2008 citados en Suarez, 2017 p. 4), en la tabla 1-2 se detallan las causas más comunes que inciden para la ocurrencia de fallos en los sistemas de engranajes.

**Tabla 1-2:** Causas más comunes que producen fallos

Causas	Detalle
Carga actuante sobre el diente excede el valor previsto	Debido a : Mal diseño Sobrecargas imprevistas inducidas por vibraciones Aumento en la carga principal asumida
Carga asumida, aunque fuera correcta, no se distribuye uniformemente sobre el diente	Debido a: Errores del perfil o de la hélice Errores en la alineación de los arboles o de los dientes o Localización axial incorrecta de los engranajes cónicos o ruedas sin fin, espacios incorrectos en el caso de engras helicoidales
Introducción de tensiones residuales peligrosas durante la fabricación	Debido a: Interferencia excesiva en las uniones prensadas, donde intervenga la rueda dentada. Tensiones de tracción residuales por tratamiento térmico incorrecto
Tensiones normales en el material del diente pueden incrementarse por elevadores o concentradores de tensiones	Debido a: Deficiente acabado superficial. Inadecuados radios de transición. Mal acabado de los extremos de los dientes. Grietas del rectificando o del fresado. Marcas estampadas para la identificación en el final de las caras.
El material es incapaz de resistir las tensiones aplicadas	Debido a: Uso accidental de un material no apropiado. Material que no cumple con las especificaciones o mal tratado térmicamente. Defectos internos tales como inclusiones, grietas, poros, etc. Estructura del grano defectuosa o inadecuada dirección del flujo del grano. Descarburación de la superficie.
Daños que surgen de accidentes durante el ensamblaje u operación	Principalmente por: Alineación incorrecta de los reductores y la maquinaria acoplada. Desatención a la lubricación: uso de lubricante no apropiado, contaminación del mismo, no observar el nivel de aceite, no limpiar los filtros. Arena, virutas, limallas y herramientas dejadas en la carcasa.

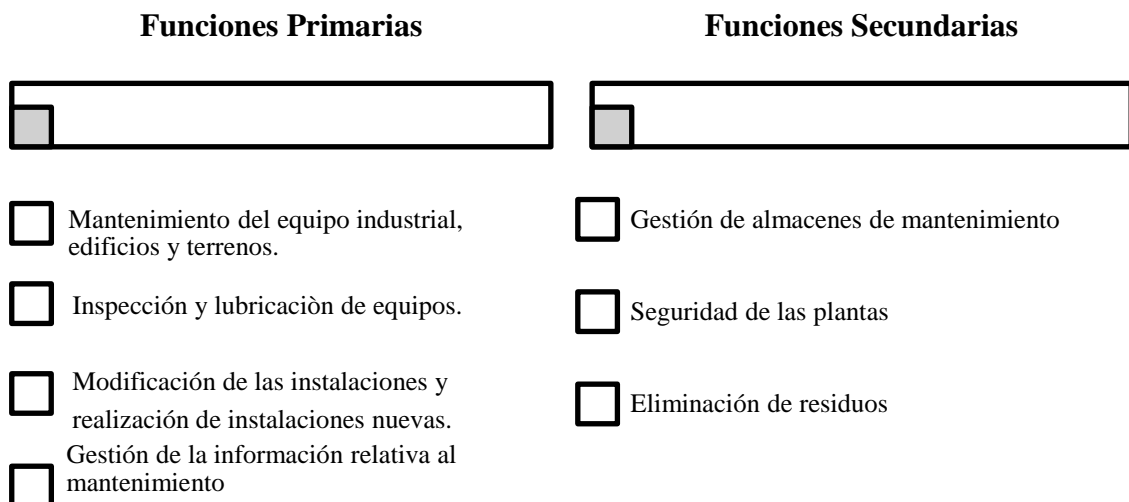
Fuente: (Suarez, 2017 p. 5)

## 2.8 Mantenimiento

En las operaciones industriales el área de Mantenimiento Industrial juega un papel muy importante, ya que es el encargado de asegurar un eficiente funcionamiento de las instalaciones con estrategias que pueden ser aplicadas de manera intensiva para brindar soluciones inmediatas y eficaces. En la industria no es un trabajo fácil la implementación de un sistema de mantenimiento porque involucra a todos los departamentos (Sanchez et al.,2007, p. 7).

El proceso para desarrollar un mantenimiento en una empresa industrial es primordial debido a que de esta depende la durabilidad de los equipos, maquinaria y herramientas, los cuales intervienen directamente en la productividad en las líneas de procesado de la materia prima, la calidad de los productos, la eficiencia de las maquinarias, reducción de costos por cambio de pieza o elementos de rápido deterioro, es decir, la industria depende de un sistema de mantenimiento eficiente para que no exista pérdidas de producción , reducción en la calidad del producto, tiempos de paradas muy extensos entre otros.

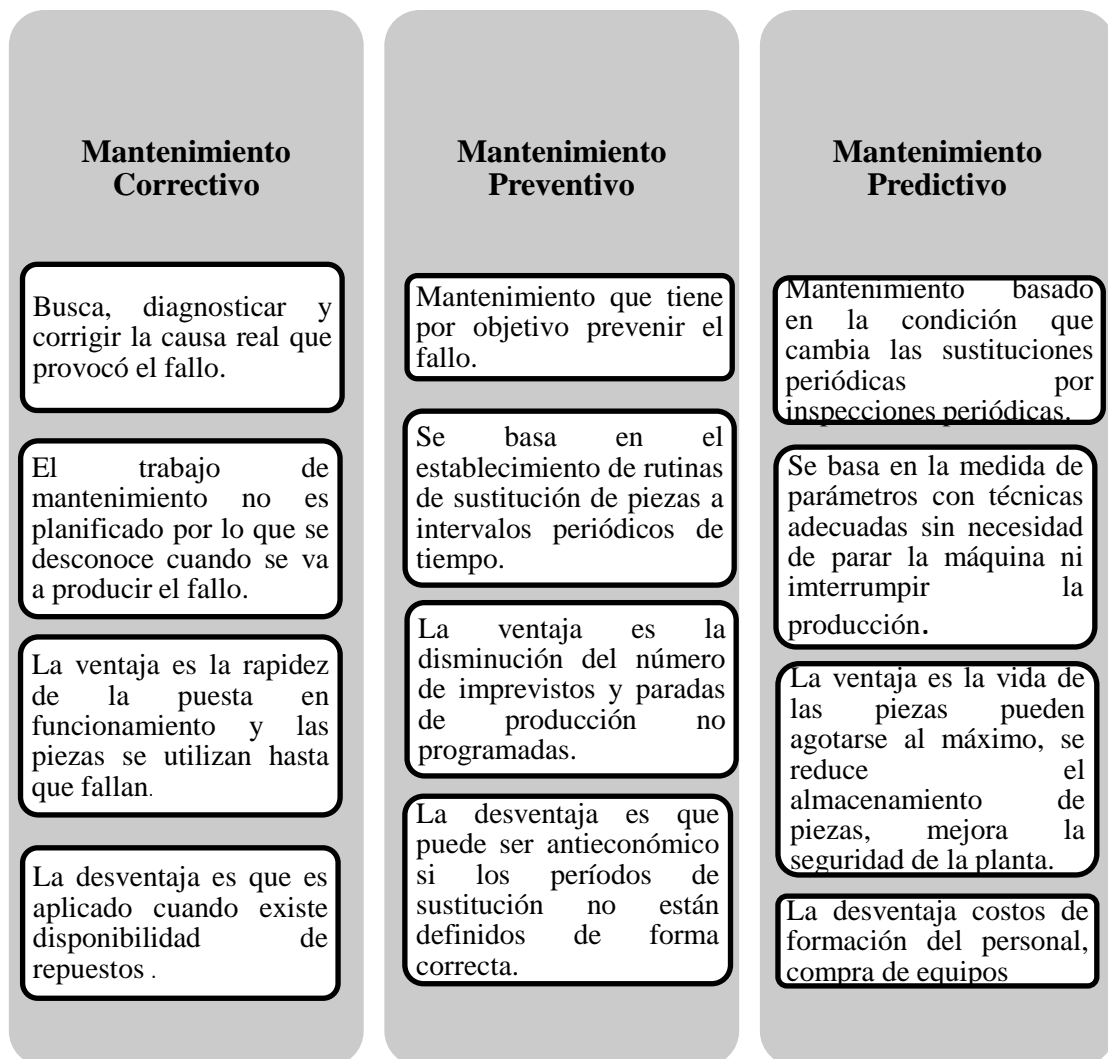
**2.8.1 Funciones del Mantenimiento Industrial.** – Según (Sánchez et al., 2007: pp. 7-9), el mantenimiento industrial tiene funciones primarias que se deben realizar diariamente y funciones secundarias que son atribuidas por requerimientos técnicos. La Figura 9-2 muestra las actividades de mantenimiento de acuerdo a la clasificación de las funciones.



**Figura 9-2:** Funciones primarias y secundarias de mantenimiento

Fuente: (Sánchez et al., 2007, p. 7).

**2.8.2 Tipos de Mantenimiento.** – Existen diferentes tipos de mantenimiento, su clasificación se puede realizar de acuerdo a los objetivos, planificación y recursos necesarios que utilizan cada uno de ellos como se muestra en el gráfico 4-2.



**Gráfico 3-2:** Tipos de mantenimiento

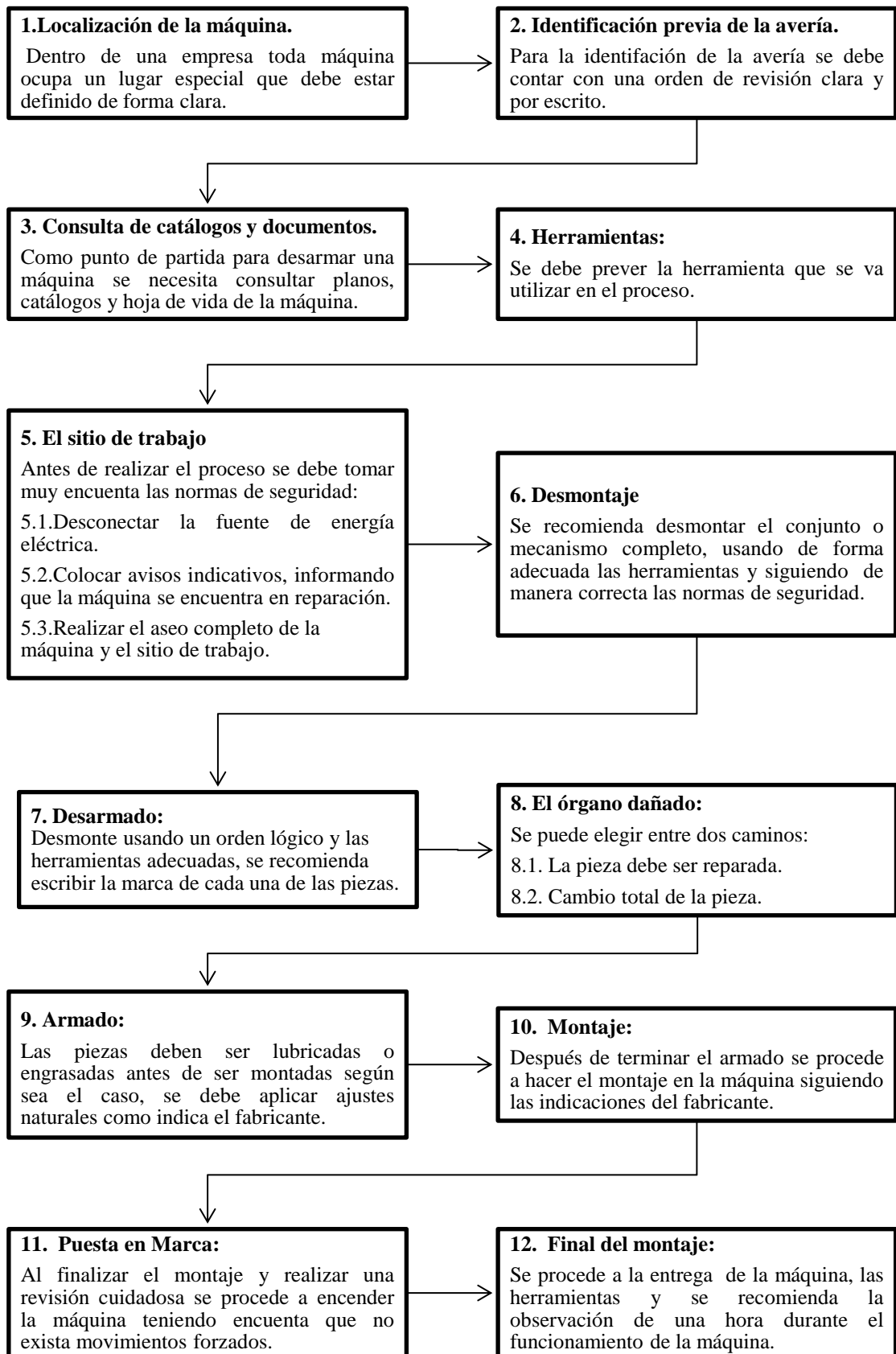
Fuente: (Sánchez et al., 2007: pp. 10-13),

## 2.9 Proceso de desmontaje y montaje de una máquina

Los diferentes procesos de instalación o puesta en marcha, procesos de mantenimiento y garantizar su correcto funcionamiento, es primordial conocer los procedimientos adecuados de ciertas actividades que incluyen el montaje y desmontaje de ciertas máquinas, elementos o equipos que componen los diferentes sistemas.

El gráfico 5-2 muestra los procesos de desmontaje y montaje requeridos para la revisión y mantenimiento de una máquina (SENA, 1985).

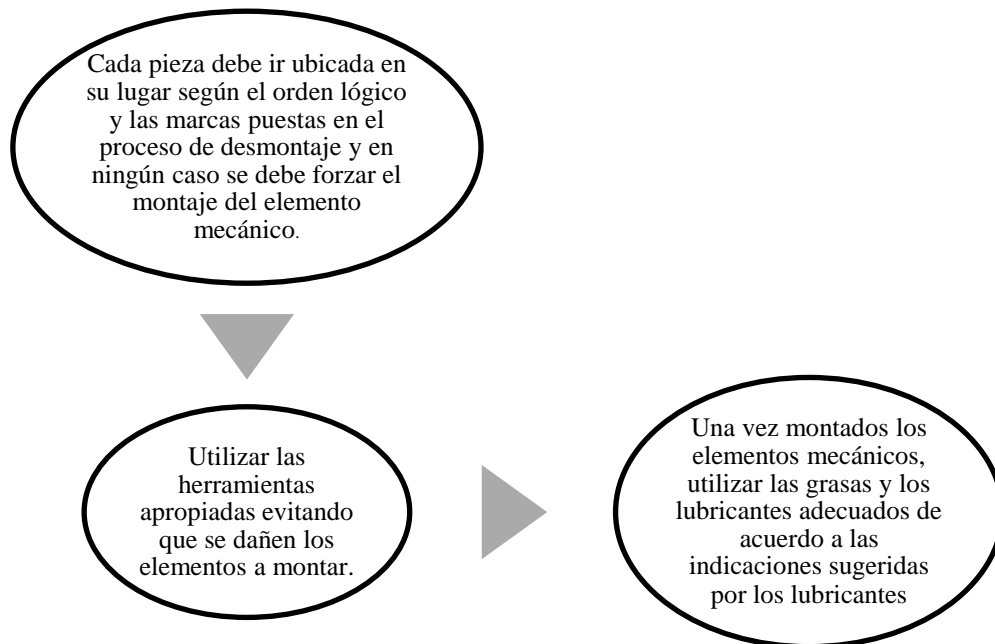




**Gráfico 4-2:** Procesos de montaje y desmontaje

Fuente: (SENA, 1985, pp. 15-18).

**2.9.1 Pasos para realizar el montaje de elementos.** – Se define como montaje al proceso mediante el cual cada pieza de un equipo, máquina o estructura es ubicada en su respectivo lugar de modo que el instalador se ha de enfrentar en la mayoría de los casos a un trabajo multidisciplinario que requerirá destreza y dominio de las técnicas que en cada caso son requeridas. En el grafico 6-2 se observa los pasos para realizar el procedimiento de montaje:

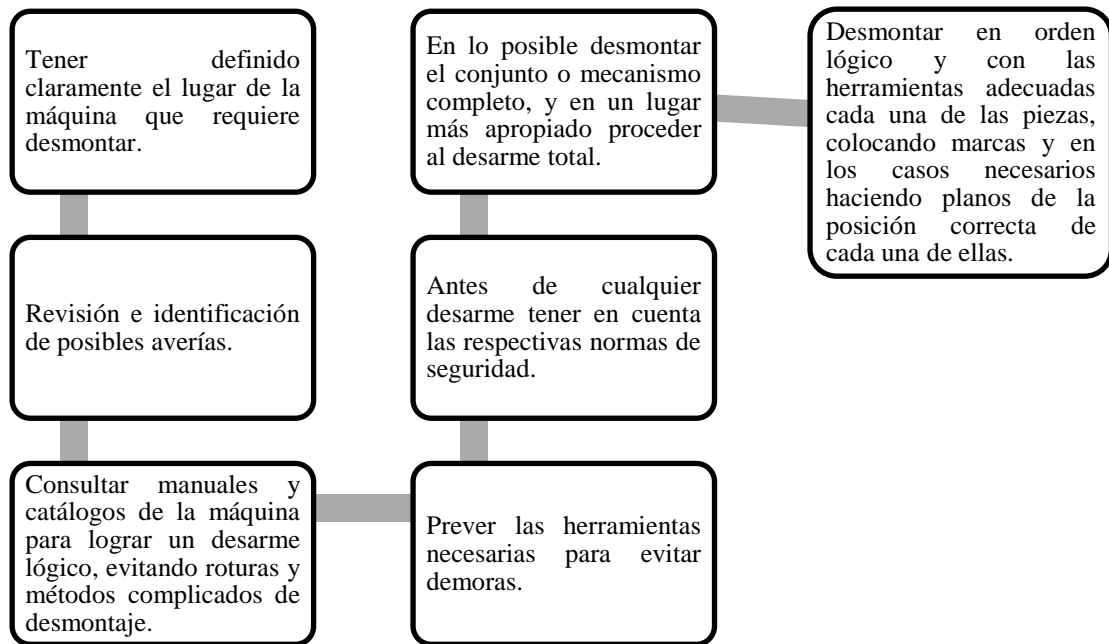


**Gráfico 5-2:** Pasos para realizar el procedimiento de montaje

Fuente: (VEM, 2015).

**2.9.2 Pasos para realizar un desmontaje.** – El desmontaje se define como un proceso en el cual el personal calificado va siguiendo una serie de pasos correspondientes al equipo que se desee desmontar, ubicando cada pieza en lo posible señalada de alguna forma, en un lugar adecuado para su respectiva limpieza o reparación.

En el momento en que se requieran la reparación de equipos o elementos industriales, es necesario desarmar, desmontar o desarticular parcial o totalmente los mismos, para ello es necesario realizar una serie de pasos. En el grafico 7-2 se puede observar los pasos para realizar el procedimiento de desmontaje:



**Gráfico 6-2:** Pasos para realizar el procedimiento de desmontaje

Fuente: (VEM, 2015, p. 25).

## 2.10 Fallos volumétricos y fallos superficiales

### 2.10.1 Fallas volumétricas

Este tipo de fallas es provocado por tensiones de flexión ocasionando reducir el tipo de vida útil de los engranajes provocando fallos severos bajo picos de carga, estas fallas son comunes en los engranajes. Las fracturas más comunes son la cabeza o base del diente (Suarés, 2017). Se clasifica en:

#### 2.10.1.1 Fractura por fatiga de inflexión

En este tipo de fallos según (Díaz, 2013, p. 49) su característica de desgaste es que empieza con una grieta en el pie del diente bajo tensiones de tracción cuando la carga es unidireccional, el progreso de la grieta es hacia adentro y preferencialmente hacia abajo, desplazándose hasta el otro lado de la zona de transición del pie del diente, la forma de la fractura es en V.

**Causas:** Para provocar este tipo de fallas existen diferentes causas como, por ejemplo: la elevación de la tensión por el efecto de tallado, marcas dejadas por manipulación de herramientas defectuosas, exceso de rugosidad de los flancos, fallas del material como influencia de la escoria y arrugas de forja, entre otras.



**Figura 7-2:** Fractura por fatiga de inflexión

**Fuente:** (Díaz, 2013, p. 19).

### *2.10.1.2 Fractura por sobrecarga a la inflexión*

Tiene como característica que la superficie quebrada está hundida y áspera en todo su corte transversal.

**Causas:** El exceso de la capacidad de la materia, el esfuerzo de flexión-tracción y rotura por quiebra, son uno de los factores que causan esta falla. La causa por rotura se produce por un aumento del esfuerzo como sobrecarga por golpes, momento de arranque demasiado grande, cuerpos extraños en el engrasamiento, bloqueo de la máquina operadora, capacidad de esfuerzo deficiente, dimensionamiento incorrecto. (Espinoza, 2007, p. 45).



**Figura 8-2:** Fractura por sobrecarga

**Fuente:** (Díaz, 2013, p. 19).

### **2.10.2 Fallas superficiales**

Afectan la capacidad y el rendimiento en la superficie del diente del engranaje a largo plazo. Dentro de este grupo se encuentran: las fallas por fatiga superficial, fallas por desgaste, fallas por gripado y otras (Rodríguez, 2001 citado en Suarés, 2017).

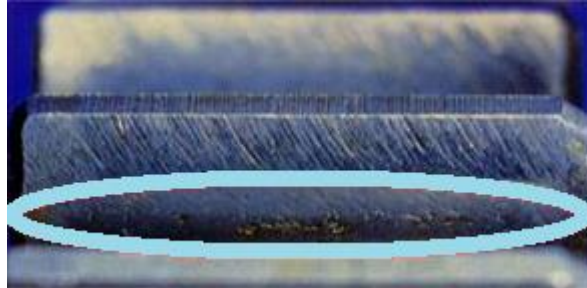
#### **2.10.2.1 Fatigas por contacto**

Conocida como picadura es la causa principal que inutiliza las transmisiones por engranaje que trabajan con abundante lubricación. De acuerdo con (Ulloa et, al., 2020, pp. 7-9), las superficies de los dientes se destruyen en la zona inferior a la línea polar, porque en esta zona la velocidad de deslizamiento es pequeña y la tensión de contacto máxima; formando una grieta la misma que se divide en micro picadura y picadura.

- **Micro picadura:** Aparece ser una mancha gris bajo condiciones de una capa fina o como un esmerilado, su superficie tiene un acabado como de grabado a agua fuerte, siguiendo un patrón de arrugas o crestas.
- **Picadura:** Es la aparición de pequeños hoyos sobre la superficie, similares a cavidades alveolares que crecen, convirtiéndose luego en un vacío. La picadura puede ser inicial o progresiva.
  - a) **Picadura inicial:** Se produce en la línea polar, en los pies de los dientes, donde se originan grandes esfuerzos de fricción. Por las pequeñas velocidades de desplazamiento.  
**Causa:** Por concentración de la carga en la longitud de los dientes.
  - b) **Picadura progresiva:** Se extiende a toda o una parte de la longitud de los dientes, llevando al aumento de la presión sobre las partes aún no desmenuzadas de la superficie, a la expulsión del lubricante a las cavidades y finalmente, al aplastamiento plástico o bien al agrietamiento y desprendimiento de las asperezas superficiales.
  - c) **Picadura descostrada:** Es la continuación de la picadura progresiva, las cavidades se funden formando cráteres irregulares que cubren un área significativa de la superficie del diente activo.  
**Causa:** Surgen en el flanco del diente en la zona de concentración de carga, o en los sitios de irregularidades de las superficies que quedan después del maquinado o rectificado.

d) **Picadura desconchada:** Esta picadura es visible al ojo humano, cerca de la línea de contacto se encuentran grandes hoyos poco profundos que se extienden en toda la zona de contacto. (Rodríguez, 2014, p. 79).

**Causa:** La separación del flanco del diente de finas capas de material en forma de abanicos o escamas.



**Figura 12-2:** Fatigas por contacto

**Fuente:** (Díaz, 2013, p. 19).

#### 2.10.2.2 Desgaste de la superficie de trabajo de los dientes

Por el maquinado deficiente se puede originar el desgaste mismo que puede estar acentuado durante el período inicial de funcionamiento, según (Rodríguez, 2014, p. 85), el ritmo de desgaste se disminuye cuando después que las rugosidades de las superficies de trabajo de los dientes se alisen y la altura quede menor que el espesor de la película de lubricante entre los mismos. El desgaste es mayor cuando exista mayor deslizamiento entre los dientes y la torsión sea mayor por contacto a la compresión entre las superficies, por ende, el máximo desgaste se produce en los pies y en las cabezas de los dientes.

Según (Reshetov, 1981, p. 384), menciona que los desgastes se dividen entre los principales en:

- **Desgaste adhesivo:** Es un fenómeno que se produce en superficies de deslizamiento cuando las asperezas en contacto provocan la deformación y la adhesión de superficies menos resistentes llegando a la destrucción. . (ANSI AGMA 1010-E95, 2014, Rodríguez, 2014)
- **Desgaste abrasivo:** Este tipo de desgaste no es uniforme, pero por los cambios de radio de curvatura se hacen uniformes, los dientes desgastados adquieren una forma aguzada, es una de las causas de inutilización en engranajes cerrados y abiertos especialmente en ambientes agresivos. (Reshetov, 1981, p. 384)



**Figura 13-2:** Desgaste abrasivo

**Fuente:** (Díaz, 2013, p. 20).

- **Desgaste por pulido:** Son pulidas hasta tener superficies lisas y brillantes por ende se reduce la precisión de agarre del engranaje debido a su desgaste en los perfiles de los dientes, esto se da por eliminar asperezas de las superficies de contacto de los dientes. (Rodríguez, 2001, Rodríguez, 2014)
- **Desgaste debido a la corrosión:** Este efecto se produce por la reacción química o electroquímica al estar expuesto el material por el que está fabricado el engranaje donde se observa superficies de color rojizos. (Reshetov, 1981, p. 384)



**Figura 14-2:** Desgaste debido a la corrosión

**Fuente:** (Díaz, 2013, p. 20).

- **Rayado:** En ruedas dentadas con módulos grandes con poca velocidad tangencial y al existir impurezas minerales en el lubricante, se puede apreciar el rayado producido por el desgaste del diente el cual se produce de manera rápida. (Reshetov, 1981, Rodríguez, 2014)
- **Desgaste por erosión:** Al eliminar material de la superficie del diente se produce este desgaste por pequeñas partículas sólidas, cráteres finos y longitudinales cerca de los extremos de los dientes. (Reshetov, 1981, p. 384)
- **Desgaste debido a descargas eléctricas:** Esta falla es producida por el alcance de la corriente eléctrica al mecanismo de engranajes, provocando una superficie picada, en la microscopía electrónica de barrido se observan pequeños cráteres hemisféricos y esferas de metal fundido.

- **Desgaste debido a la cavitación:** La deformación y el desprendimiento de fragmentos de la superficie del diente es su principal factor de producción, esto se da debido al colapso e implosión de burbujas de vapor o lubricante, las picaduras hechas a presión son de tamaño microscópico. (Rodríguez, 2014, p.17)
- **Desgaste debido a la adhesión y transferencia de metal:** La adhesión severa y la transferencia de metal entre los dientes son la causa de que la temperatura de contacto del diente, supere la temperatura al desgaste abrasivo del lubricante provocando este fallo. (Rodríguez, 2014, p.18)



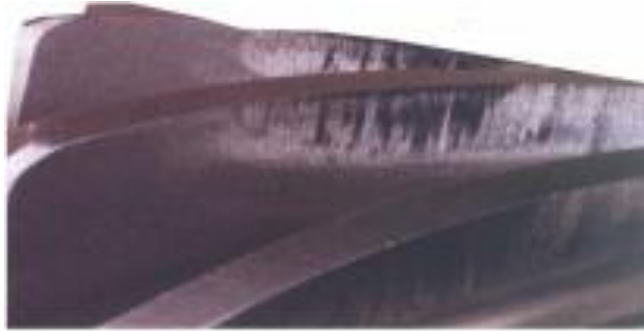
**Figura 15-2:** Desgaste debido a la adhesión y transferencia de metal.  
Fuente: (Díaz, 2013, p. 22).

**Causas:** El deslizamiento y la deficiente lubricación son las causas principales para este tipo de fallos. El desgaste del perfil de los dientes es producto de las altas velocidades con escasa lubricación, cuando existe abundante lubricante si la velocidad de deslizamiento es muy baja puede producirse el contacto entre las irregularidades producto de la ausencia de la película y ocurre el desgaste, otra causa es un lubricante insuficientemente viscoso, sin embargo, la contaminación del lubricante con partículas abrasivas también es otro factor. (Reshetov, 1981, p. 384).

#### *2.10.2.3 Agarramiento de los flancos de los dientes*

De acuerdo con (Pérez, 2014, p. 45), es producido por la soldadura en fase sólida entre superficies que se resbalan, por lo que se transfiere metal de una a otra superficie, se divide en ralladuras, surcos y mordeduras; pero generalmente se la divide por escoriación de primer y segundo grado.





**Figura 16-2:** Agarramiento de los flancos de los dientes

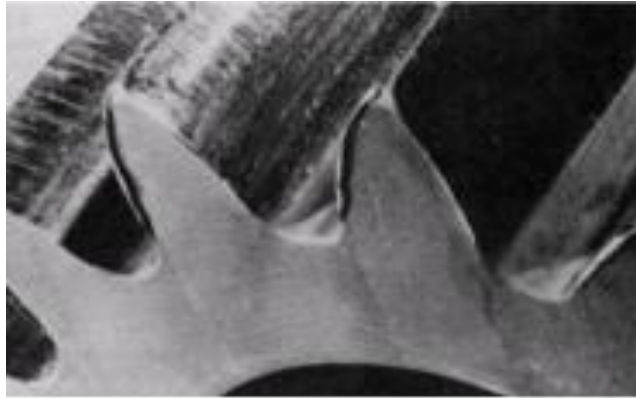
Fuente: (Díaz, 2013, p. 25).

- **Escoriación de primer grado:** La lubricación deficiente y cuando existe esfuerzo excesivo, se producen pequeñas zonas ásperas, rugosas, con formación de surcos y zonas de corrosión en todos los dientes del engranaje situado en una posición relativa, también se ocasiona cuando no se puede conseguir mantener una película de lubricante entre flancos conjugados. (Peréz, 2014, p. 4)
- **Escoriación de segundo grado:** Se produce por zonas estriadas en la región de rodadura, que son producto de un desgarramiento por soldadura (Peréz, 2014, p. 5).

**Causa:** Cuando la película del lubricante se destruye, o si la presión es fuerte no se forma la película, o si el aceite se arrastra en la zona del engranaje es insuficiente; se puede observar este tipo de fallas cuando la transmisión es de marcha lenta y fuertemente cargadas, sin embargo, cuando la transmisión es rápida la película lubricante se destruye por pérdida de viscosidad por altas temperaturas en las zonas de grandes cargas y velocidades de deslizamiento. (Peréz, 2014, p. 6).

#### *2.10.2.4 Deformación plástica del perfil del diente o fluencia friccional*

Esta deformación se produce por la acción de las fuerzas de rozamiento en los dientes muy cargados de las ruedas dentadas de acero. De acuerdo con (Rodríguez, 2001 citado en Suarés, 2017), argumenta que estas deformaciones plásticas aparecen en los dientes de acero con dureza poco elevada, especialmente con insuficiencia de lubricación y en las transmisiones con una velocidad mínima.



**Figura 17-2:** Deformación plástica del perfil del diente.

**Fuente:** (Díaz, 2013, p. 26).

**Causas de la falla:** Una de las causas más comunes se debe a la falta de lubricación, apareciendo con más intensidad en dientes con poca dureza y en engranajes de transmisiones de baja velocidad (Méndez et al., 2013, p.18)

También se puede ocasionar por el elevado calentamiento provocado por la deficiente y falta parcial o total de lubricación. En ocasiones va acompañado de la formación de pitting progresivo. (Méndez et al., 2013, p.18)

**Efectos de la falla:** la falla puede evidenciarse a través de un difícil o duro engranamiento, y por el aumento de la temperatura de operación. (Méndez et al., 2013, p.18)

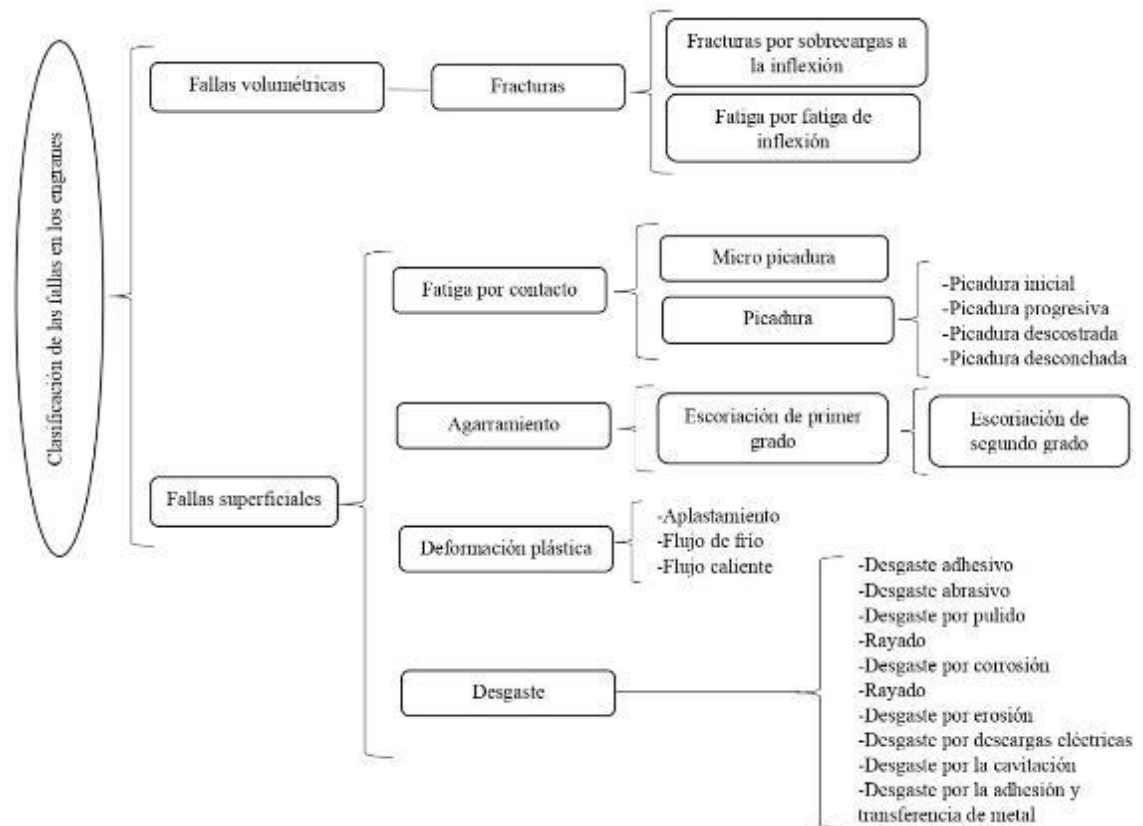
**Prevención y solución de la falla:** para prevenir la falla se debe realizar las siguientes acciones: utilizar aceites con mayor viscosidad, reducir el esfuerzo (para limitar el momento torsor), emplear materiales que formen pareja y con mayor límite de fluencia, realizar un correcto tratamiento térmico a la superficie. (Méndez et al., 2013, p.18)

Existen factores que influyen de manera considerable a este tipo de deformación como:

- **Aplastamiento:** Es la creación de deformaciones plásticas en la cabeza del diente indicando que existe una insuficiencia respecto a la dureza del material en relación con la carga. Es el mismo aplastamiento del flanco, por medio de una prensa o martillo, adicionalmente estará acompañado de escoriación. (Rodríguez, 2014, p.19)

- **Flujo en frío:** Es la deformación de los dientes de los engranajes, se recomienda para evitar esta falla aumentar la resistencia a la fluencia y mejorar la lubricación además de reducir la carga. (Rodríguez, 2014, p.19)

• **Flujo en caliente:** Los dientes de los engranajes permanecen deformados y cubiertos por una capa de óxido negro ferroso, producto de un sobrecalentamiento y falta de lubricación. (Rodríguez, 2014, p.19)



**Gráfico 8-2:** Clasificación de las fallas en los engranajes

Realizado por: Moreno, G.; Pilco, V. 2022

## CAPÍTULO III

### 3. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL BANCO DIDÁCTICO

#### 3.1 Diseño del banco didáctico de engranajes rectos, helicoidales y tornillo sin fin

Para que el sistema de engranajes del banco didáctico pueda funcionar correctamente es necesario tomar en cuenta los parámetros como: el contexto operacional, la tensión de ingreso y la relación de transmisión bajo los cuales va a trabajar la máquina, por lo tanto, para que el diseño sea el adecuado, el banco se ha dividido en tres sistemas fundamentales que lo complementan.

- Sistema estructural.
- Sistema eléctrico.
- Sistema mecánico.

##### 3.1.1 *Sistema estructural*

El sistema estructural se divide en dos partes: la estructura principal en donde se ubicarán los sistemas de engranajes y la estructura base sobre la cual será montada la estructura principal.

##### 3.1.1.1 *Estructura principal*

Para la construcción de la estructura principal se utiliza tubo cuadrado fabricado con material de acero negro y cuyas dimensiones son de 40 mm x 40 mm x 2 mm.

El modelado de la estructura principal se realiza con el software CAD SolidWorks académico, para efectuar el modelado 2D y 3D con medidas reales, de manera conjunta con el ensamblado de cada uno de los componentes que constituyen los sistemas de transmisión.

##### 3.1.1.2 *Estructura base*

Para la construcción de la estructura base se utiliza tubo cuadrado de acero negro de 40 mm x 40 mm x 2 mm.

La selección del perfil cuadrado se realiza mediante cálculos, considerando que la base de la estructura metálica va a ser el soporte principal de peso de los componentes del módulo, por lo

tanto, considerando, el tipo de material con mayor resistividad y durabilidad, se procede a realizar los cálculos correspondientes para la selección del perfil:

**Datos para el cálculo del perfil cuadrado a seleccionar:**

**Tabla 1-3:** Datos para el cálculo de un perfil cuadrado

Descripción	Cantidad	Peso por unidad (kg)	Peso total (kg)
Estructura principal	1	117,55	117,55
Ejes deslizantes	6	1,9	11,4
Eje de 3/4" engranajes rectos y helicoidales	2	0,63	1,26
Eje de 3/4" corona	1	0,83	0,83
Eje de 1" para engranajes rectos	1	1,6	1,6
Eje de 1" para engranajes helicoidales	1	1,9	1,9
Eje con paletas para engranajes rectos	1	2,67	2,67
Eje con paletas para engranajes helicoidales	1	3,57	3,57
Eje con paletas para el sistema de tornillo sin fin	1	2,67	2,67
Chumacera de piso de 1"	6	0,7	4,2
Chumacera de piso de 3/4"	1	0,6	0,6
Chumacera de pared de 3/4"	6	0,55	3,3
Soporte para eje de tornillo sin fin	1	0,5	0,5
Base para eje de 3/4"	3	1,15	3,45
Base para eje de 3/4" con paletas	3	1,2	3,6
Bocín para catalina	2	0,8	1,6
Catalina	2	0,4	0,8
Cadena	1	0,7	0,7
Engranaje cónico de 10 dientes	1	1,1	1,1
Engranaje cónico de 16 dientes	1	3,1	3,1
Engranaje recto de 35 dientes	1	0,7	0,7
Engranaje recto de 39 dientes	1	1,1	1,1
Engranaje recto de 56 dientes	1	3,1	3,1
Engranaje helicoidal de 43 dientes	1	1,7	1,7
Engranaje helicoidal de 31 dientes	1	1,3	1,3
Engranaje helicoidal de 48 dientes	1	2	2
Tornillo sin fin	1	1,3	1,3
Corona de 28 dientes	1	0,9	0,9
Engranaje recto de 24 dientes tornillo sin fin	1	1,52	1,52
Engranaje recto de 27 dientes tornillo sin fin	1	1,56	1,56
Motor eléctrico	1	9,54	9,54
Tablero de control	1	2,3	2,3
Base para motor	1	2,93	2,93
Eje motor-acople	1	0,38	0,38
Eje acople-reductor	1	0,25	0,25

Acople entre motor y reductor	1	1,2	1,2
Reductor de velocidad	1	2,5	2,5

Realizado por: Moreno, G.; Pilco, V. 2022

Peso de la estructura principal y todos sus componentes = 200,68 kg

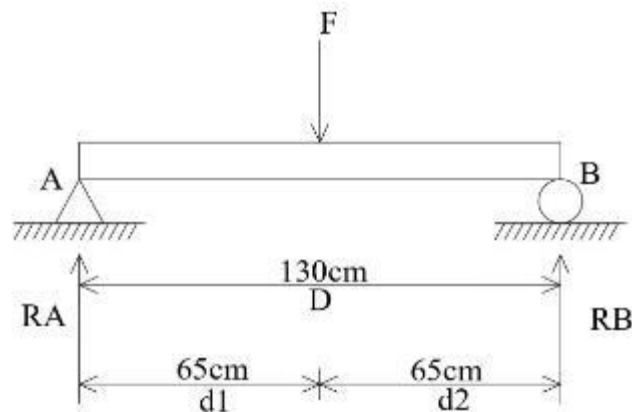
Resistencia a la fluencia Acero ASTM A – 36 = 250MPA = 25000  $\frac{N}{cm^2}$

Gravedad = 9,8  $\frac{m}{s^2}$

Factor de seguridad = 1,3

El factor de seguridad se elige para sobredimensionar la carga que va a soportar la estructura, de tal forma que se minimice el riesgo de pandeo, este debe ser mayor a 1, por lo tanto, se elige un factor de seguridad de 1,3 acorde a la tabla mostrada en el anexo A.

**Gráfico:**



**Figura 1-3:** Diagrama de fuerzas

Realizado por: Moreno, G.; Pilco, V. 2021

**Cálculo del perfil de la estructura base:**

**Fuerza Total aplicada**

$$F = Pxg \quad (1)$$

Dónde:

F: fuerza total.

P: es el peso total de la estructura y todos sus elementos.

g: es la gravedad.

$$F = 200,68 \text{ kg} \times 9,8 \frac{m}{s^2}$$

$$F = 1966,66 \text{ N}$$

### Reacciones en los puntos A y B

$$\overset{\curvearrowright}{+} \sum M_A = 0 \quad (2)$$

$$(F \times d1) + (R_B \times D) = 0$$

$$R_B = \frac{-(F \times d1)}{D} \quad (3)$$

$$R_B = \frac{-(-1966,66 \text{ N} \times 65 \text{ cm})}{130 \text{ cm}}$$

$$R_B = 983,33 \text{ N}$$

$$+\uparrow \sum F_y = 0 \quad (4)$$

$$R_A - F + R_B = 0$$

$$R_A = F - R_B \quad (5)$$

$$R_A = 1966,66 \text{ N} - 983,33 \text{ N}$$

$$R_A = 983,33 \text{ N}$$

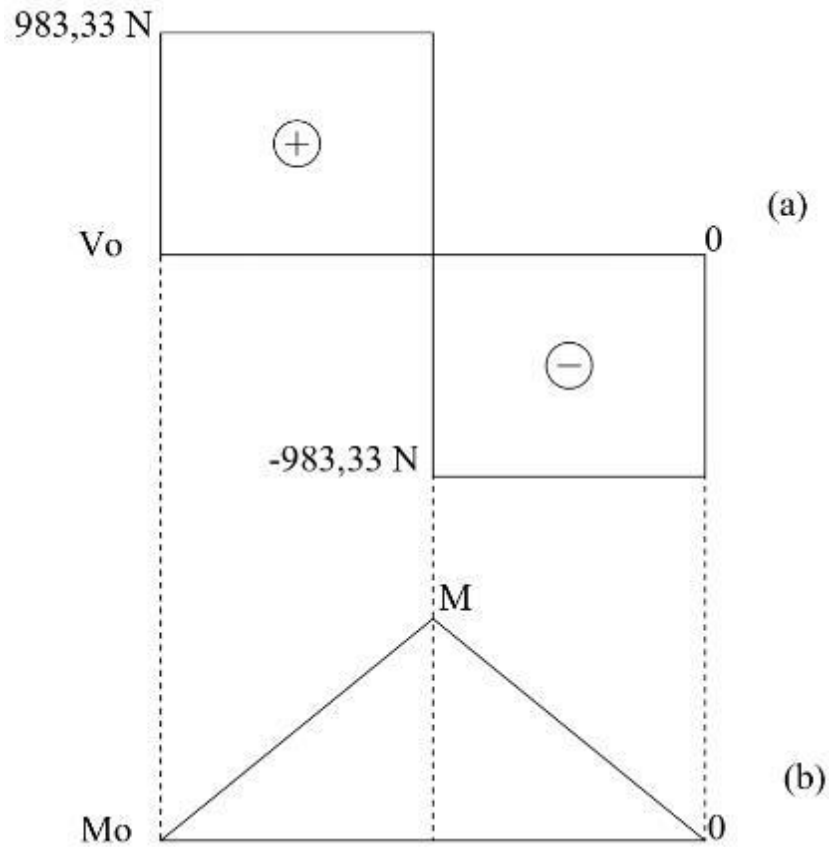
### Momento flector máximo

Para este caso el momento flector máximo se encuentra en la mitad de la viga por lo tanto realizamos el siguiente cálculo:

$$M = R_A \times d1 \quad (6)$$

$$M = 983,33 \text{ N} \times 65 \text{ cm}$$

$$M = 63916,45 \text{ N.cm}$$



**Figura 9-3:** (a) Diagrama de momento cortante, (b) Diagrama de momento flexionante

Realizado por: Moreno, G.; Pilco, V. 2021

### Esfuerzo admisible

$$\sigma = \frac{\sigma_f}{F.S} \quad (7)$$

Dónde:

$\sigma$ : es el esfuerzo admisible.

$\sigma_f$ : es la resistencia a la fluencia acero ASTM A-36.

$F.S$ : es el factor de seguridad.

$$\sigma = \frac{25000 \frac{N}{cm^2}}{1,3}$$

$$\sigma = 19230,77 \frac{N}{cm^2}$$



### **Módulo de sección**

$$Z = \frac{M}{\sigma} \quad (8)$$

$$Z = \frac{63916,45 \text{ N} \cdot \text{cm}}{19230,77 \frac{\text{N}}{\text{cm}^2}}$$

$$Z = 3,32 \text{ cm}^3$$

Una vez encontrado el módulo de sección, con el valor de Z nos dirigimos a la tabla mostrada en el anexo B para seleccionar las dimensiones del perfil adecuado, dando como resultado un perfil de: 40mm x 40mm x 2mm.

#### *3.1.1.3 Construcción de la estructura*

#### **Materiales y herramientas:**

- 5 tubos cuadrados de 40 mm x 40 mm x 2 mm
- 1 rollo de alambre para soldadura MIG
- 3 discos de corte #14
- 4 lijas de grano medio #220
- 4 lijas de grano extrafino #1000
- Escuadra metálica
- Flexómetro

#### **Equipos:**

- Trozadora
- Amoladora
- Soldadora MIG

#### *3.1.2 Sistema eléctrico*

Para la selección del motor eléctrico se plantea una carga a mover de 7 kg a una distancia de 0,60 m, para ello es necesario calcular el torque al que estará sometido el elemento motriz en accionamiento. A continuación, se realiza el cálculo correspondiente:

Determinamos la fuerza de oposición

$$F = P \times g$$

$$F = 7 \text{ kg} \times 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$F = 68,6 \text{ N}$$

Realizamos el cálculo del torque requerido

$$T = F \times d$$

Donde:

T: es el torque requerido para mover la carga

F: es la fuerza de oposición

d: es la distancia desde el elemento motriz hasta la carga

$$T = 68,6 \text{ N} \times 0,6 \text{ m}$$

$$T = 41,16 \text{ N.m}$$

Calculamos la potencia del motor

$$P_t = T \times \omega \tag{9}$$

Donde:

$P_t$ : es la potencia [W]

T: es el torque [N.m]

$\omega$ : es la velocidad angular [rad/s]

$$P_t = 41,16 \times \frac{170 \text{ rev}}{\text{min}} \times \frac{2\pi \text{ rad}}{1 \text{ rev}} \times \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}}$$

$$P_t = 732,75 \text{ W}$$

$$P_t = 732,75 \text{ W} \times \frac{1 \text{ HP}}{746 \text{ W}}$$

$$P_t = 0,98 \text{ HP} \approx 1 \text{ HP}$$

Se seleccionó un motor eléctrico de 1 Hp de acuerdo a la carga aplicada, en este caso monofásico debido a que el costo de adquisición es bajo y su construcción es de menor tamaño en comparación a los motores trifásicos, de manera que se pueda adaptar correctamente al dimensionamiento del

banco didáctico. Se tiene una alimentación a 220V bifásica con un capacitor de  $20 \mu f$ . El contexto operacional es el siguiente:

Tiempo de funcionamiento: 5h/semana

Ambiente: cerrado

Temperatura de trabajo: T. ambiente

#### **Datos del motor eléctrico monofásico:**

$$U_n = 220 V$$

$$I_L = 6,7 A$$

$$rpm = 1700$$

$$P_{mec} = 1 HP = 746 W$$

$$\cos\varphi = 0,9$$

$$f = 60 Hz$$

#### **Cálculo del calibre conductor:**

Se dimensiona el calibre conductor con la finalidad de que el circuito eléctrico trabaje bajo condiciones normales de tensión y no existan pérdidas de energía.

#### **Potencia eléctrica del motor**

Debido a que en la placa del motor no se encuentra el valor de la eficiencia, la potencia eléctrica se calcula con la fórmula a continuación:

$$P_{elec} = V_L \times I_L \times \cos\varphi \tag{10}$$

$$P_{elec} = 220V \times 6,7A \times 0,9$$

$$P_{elec} = 1327 W$$

#### **Intensidad nominal**

$$I_n = \frac{P_{elec}}{U_n \times \cos\varphi} \tag{11}$$

$$I_n = \frac{1327 W}{220 V \times 0,9}$$

$$I_n = 6,7 A$$

### Intensidad total

$$I = I_n + 25\%I_n \quad (12)$$

$$I = 6,7 A + (0,25 \times 6,7 A)$$

$$I = 8,38 A$$

Con la corriente obtenida seleccionamos el guardamotor para el circuito de potencia, en este caso obtenemos un guardamotor de 6 a 10 A seteándolo en 10 A.

### Sección del conductor

$$S = \frac{2 \times \rho \times l \times I}{\Delta U} \quad (13)$$

Dónde:

$\rho$ : es la resistividad del cobre

$l$ : es la longitud del conductor

$I$ : es la intensidad total

$\Delta U$ : es la caída de tensión en el conductor

$$\Delta U = 3\% \times U_n \quad (14)$$

$$\Delta U = 0,03 \times 220 V$$

$$\Delta U = 6,6 V$$

Por lo tanto:

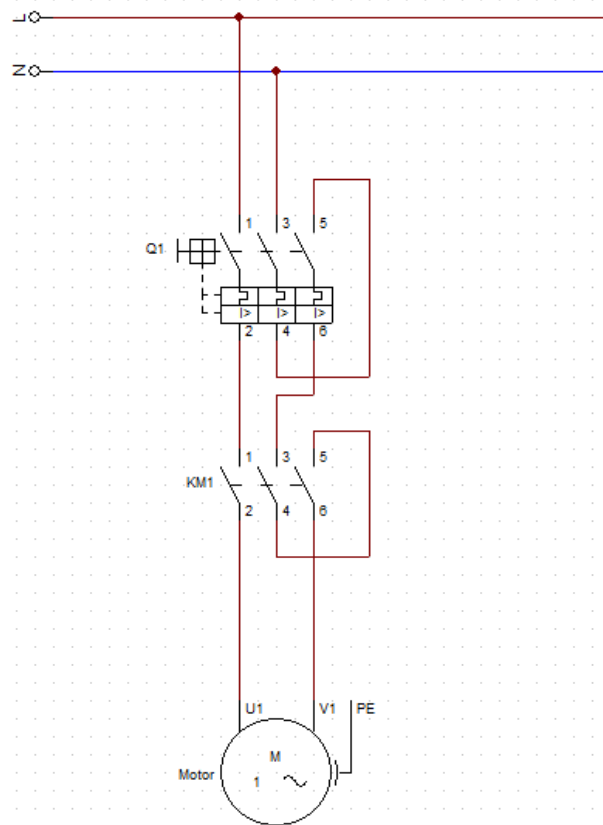
$$S = \frac{2 \times 0,0172 \frac{\Omega \cdot mm^2}{m} \times 2m \times 8,38 A}{6,6 V}$$

$$S = 0,087 mm^2$$

Según el cálculo de la sección obtendremos un calibre del conductor AWG #22, sin embargo (Martinez, A; et al 2015, p.3) nos menciona que el área mínima de un conductor para circuitos de potencia es de  $2,5 \text{ mm}^2$ , por lo tanto en base a lo señalado se seleccionó un calibre conductor AWG #14 como se muestra en el anexo C.

### Diagrama de potencia

En la figura 3-3 se muestra el circuito de potencia del arranque directo del motor monofásico del banco didáctico.

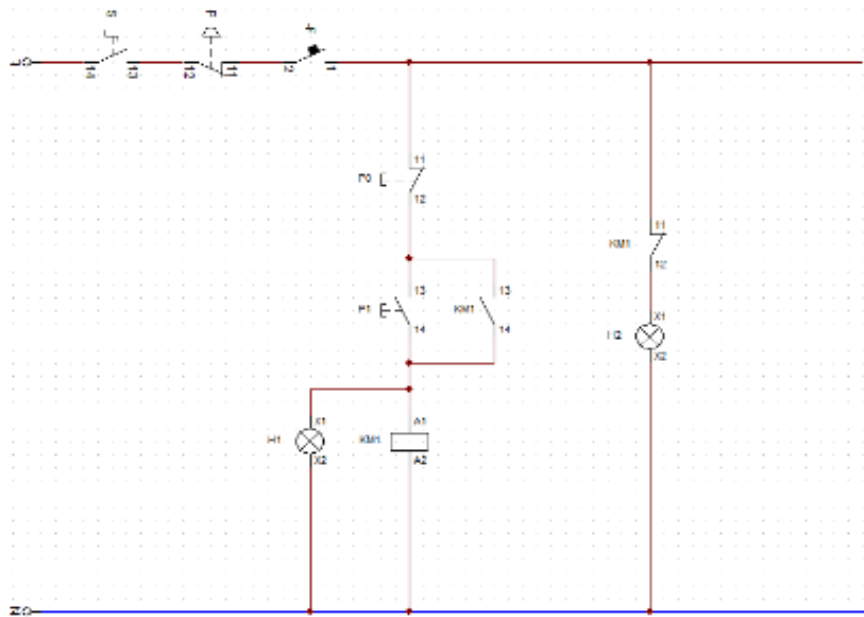


**Figura 3-3:** Circuito de potencia del motor monofásico del banco didáctico

**Realizado por:** Moreno, G; Pilco, V. 2021

## Diagrama de control

En la figura 4-3 se muestra el circuito de control del motor monofásico del banco didáctico.



**Figura 4-3:** Circuito de mando del motor monofásico del banco didáctico  
Realizado por: Moreno, G; Pilco, V. 2021

### 3.1.3 Sistema mecánico

Es un conjunto de componentes o elementos físicos siendo su función principal la de convertir o transmitir el movimiento y la fuerza.

#### 3.1.3.1 Cálculo de la cadena de transmisión

Para la selección de la cadena utilizaremos los datos del motor y reductor con los que trabajará la máquina.

Potencia del motor: 1 HP

Equipo reductor de velocidad: relación de reducción 10:1

Velocidad del eje del motor: 1700 rpm

Velocidad de salida del reductor: 170 rpm

Eje 1:

Tamaño del eje accionamiento: 25,4 mm

Velocidad del eje de accionamiento: 170 rpm

Eje 2

Tamaño del eje impulsado: 25,4 mm  
Velocidad del eje impulsado: 170 rpm  
Distancia entre centros: 300 mm

**Datos:**

$$P = 1 \text{ HP} = 0,746 \text{ kW}$$

$$n1 = 170 \text{ rpm}$$

$$n2 = 170 \text{ rpm}$$

$$C = 300 \text{ mm}$$

**Sistema de transmisión por cadena**

Se conecta un motor eléctrico a una caja reductora obteniendo a la salida 170 R.P.M

La potencia del motor es de 0,746 kW.

Relación de transmisión: 1

Duración vida útil estimada: 10000 horas.

**Número de dientes de las ruedas de transmisión**

Z1=número de dientes de la rueda menor o piñón = 36

Z2= número de dientes de la rueda mayor = 36

**Relación de transmisión**

$$R = \frac{Z2}{Z1} \tag{95}$$

$$R = \frac{36}{36} = 1$$

**Cálculo de la potencia corregida (Pc):**

La potencia corregida de cálculo (Pc), obtenida a partir de la potencia transmitida (P) se obtiene a partir de la siguiente expresión.

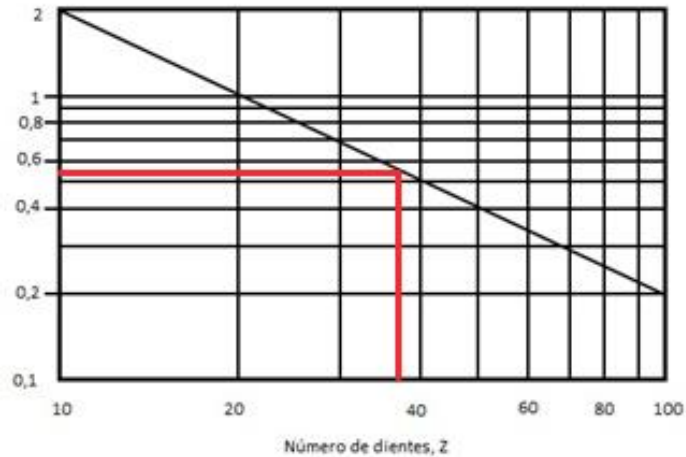
$$Pc = K1 * K2 * K3 * K4 * K5 * P \tag{16}$$

Dónde:

$P = 0,746$  kW, es la potencia que transmite la máquina conductora.

Los coeficientes correctores

### **Coeficiente K1:**



**Gráfico 1-3:** Cálculo de número de dientes

Fuente: (Galbarro, H, 2022)

$$K1 = \frac{19}{Z1}$$

Este coeficiente se basa según el número de dientes, para ello se especifica el número 19 como el valor neutral, en el caso de tener un número de dientes menor, el K1 es la unidad (1), caso contrario se puede calcular teniendo en cuenta el 19.

$$K1 = \frac{19}{36} = 0,527$$

### **Coeficiente K2:**

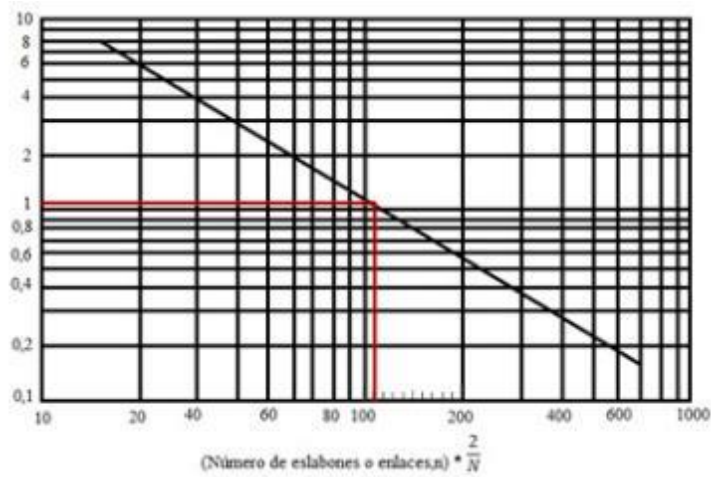
El coeficiente de multiplicidad se basa en la cantidad de cadena que utiliza el sistema para la transmisión de movimiento en este caso es una sola cadena es decir la unidad.

$$K2 = 1$$

### **Coeficiente K3:**

Este coeficiente considera la cantidad de eslabones que conforman la cadena. En esta primera iteración del cálculo, la cadena posee 110 eslabones.





**Gráfico 2-3:** Cálculo de número de eslabones o enlaces  
**Fuente:** (Galbarro, H, 2022)

$$K3 = 1,1$$

**Coefficiente K4:**

Es el factor de servicio, en este caso al tratarse de un motor eléctrico como máquina conductora o motriz, y de un sistema mecánico de juego de engranajes obtenemos el siguiente valor:

**Tabla 2-3:** Verificación de K4

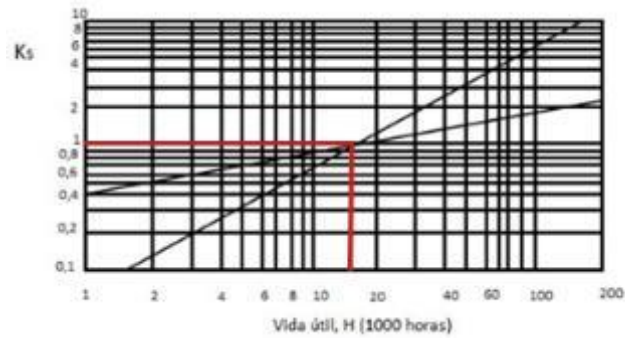
Tipo de cargas	Tipo de impulsor		
	Impulsador hidráulico	Motor eléctrico o turbina	Motor de combustión interna con transmisión mecánica
Uniforme (agitadores, ventiladores transportadores con carga ligera y uniforme)	1,0	1,0	1,2
Choque moderno (máquinas herramientas, grúas, transportadores pesados, mezcladoras de alimento y molinos)	1,2	1,3	1,4
Choque pesado (prensas de troquelado, molino de martillos, transportadores alternos, accionamiento de molino de rodillos)	1,4	1,5	1,7

**Fuente:** (Mott, 2006, p. 290)

$$K4 = 1,3$$

### Coefficiente K5:

Este dato indica la vida útil prevista en la cadena según un determinado tiempo a ello se conoce como el coeficiente de duración. En este caso, se supone una duración de 15000 horas.



**Gráfico 3-3:** Cálculo de K5

Fuente: (Galbarro, H, 2022)

$$K5 = 1$$

Al determinar todos los coeficientes, se obtiene la potencia corregida a partir de la ecuación (16):

$$P_c = 0,527 * 1 * 1,1 * 1,3 * 1 * 746 \text{ W}$$

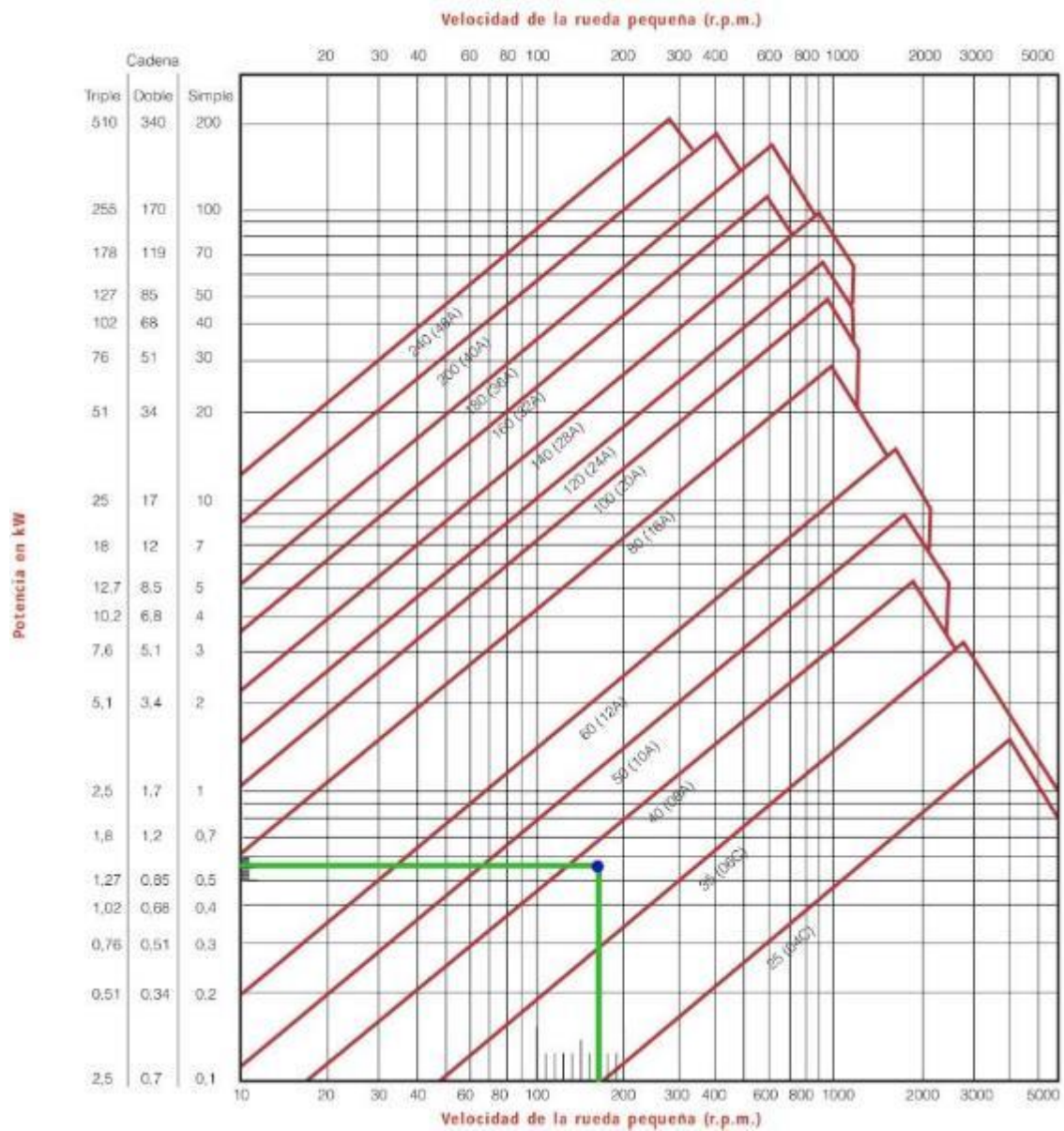
$$P_c = 562,19 \text{ W}$$

$$P_c = 0,562 \text{ KW}$$

### Selección del tipo de cadena:

La selección del tipo de cadena se realiza utilizando los siguientes parámetros:

- Potencia corregida de cálculo (Pc): 0,562 kW
- Cadena simple
- Velocidad de giro del piñón: 170 r.p.m.



**Figura 5-3:** Selección del tipo de cadena

Fuente: (Cadenas Joresa, 2010, p.58)

Con estos valores resulta una cadena Tipo 08A; de paso,  $p = 12,7$  mm

### Cálculo del diámetro de las ruedas:

Se dimensiona los diámetros primitivos ( $D_p$ ) de la rueda y del piñón mediante la siguiente expresión

$$D_p = \frac{P}{\text{sen}(\pi/z)} \quad (17)$$

Dónde:

P= paso en mm

Z= número de dientes

Rueda

$$Dp = \frac{12,7}{\text{sen}(\pi/36)} = 145,71 \text{ mm}$$

Rueda piñón

$$Dp = \frac{12,7}{\text{sen}(\pi/36)} = 145,71 \text{ mm}$$

### **Sistema de engranajes**

#### *3.1.3.2 Cálculo de engranajes rectos*

Potencia de transmisión: 0,562 kW

Velocidad (W): 170 R.P.M

Ángulo de presión: 20 °

Velocidad deseada: 153 RPM

Engranaje A= 35 dientes

**Torque:**

$$\text{Torque} = \frac{\text{Potencia}}{W} \tag{18}$$

$$\text{Torque} = \frac{0,562 \text{ Kw}}{\frac{170 \text{ rev}}{\text{min}} \cdot \frac{2\pi \text{ rad}}{1 \text{ rev}} \cdot \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ seg}}} = 0,032 \text{ Nm}$$

**Relación de transmisión:**

$$i = \frac{Wm}{Wr} \tag{19}$$

$$i = \frac{170 \text{ rpm}}{153 \text{ rpm}} = 1,11$$

### Número de dientes Engranaje A

El valor normalizado de este ángulo es  $20^\circ$ , siendo este de un número de dientes como parámetro inicial de 35 dientes.

### Número de dientes Engranaje B

Con la relación de transmisión determinamos el número de dientes de la rueda.

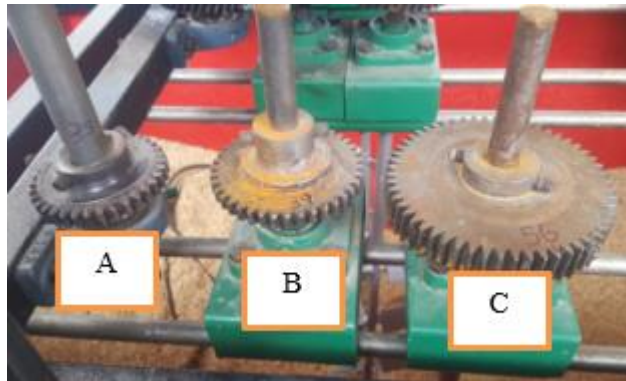
$$i = \frac{NB}{NA} \quad (20)$$

$$i = \frac{NB}{35}$$

$$1,11 = \frac{NB}{35}$$

$$NB = 38,85 = 39 \text{ dientes}$$

### Módulo



**Figura 6-3:** Módulo A, B y C.  
Realizado por: Moreno, G.; Pilco, V. 2022

Módulo engranaje A

Circunferencia de paso ( $DpA$ ): 80,5 mm

$$mA = \frac{80,5}{35} = 2,3$$

Módulo engranaje B

Circunferencia de paso (DpB): 96,3mm

$$mB = \frac{96,3}{39} = 2,46$$

**Diámetro exterior engranaje A**

$$de = mA (NA + 2) \quad (21)$$

$$de = 2,3 (35 + 2) = 85,1 \text{ mm}$$

**Paso circular**

$$Pc = \pi * mA \quad (22)$$

$$Pc = \pi * 2,3 = 7,22 \text{ mm}$$

**Espesor del diente**

$$e = \frac{Pc}{2} \quad (23)$$

$$e = \frac{7,22}{2} = 3,61 \text{ mm}$$

**Altura del diente**

$$h = 2,25 * mA \quad (24)$$

$$h = 2,25 * 2,3 = 5,175 \text{ mm}$$

**Addendum**

$$ac = mA \quad (25)$$

$$ac = 2,3 \text{ mm}$$

### **Deddendum**

$$ap = 1,25 * mA \quad (26)$$

$$ap = 1,25 * (2,3) = 2,875 \text{ mm}$$

### **Paso diametral**

$$Pd = \frac{N}{D} \quad (27)$$

$$Pd = \frac{35}{80,5} = 0,43 \text{ diente/mm}$$

### **Diámetro exterior engranaje B**

$$deB = mB (NB + 2) \quad (28)$$

$$deB = 2,46(39 + 2) = 100,86 \text{ mm}$$

### **Paso circular**

$$Pc = \pi * mB \quad (29)$$

$$Pc = \pi * 2,46 = 7,72 \text{ mm}$$

### **Espesor del diente B**

$$eB = \frac{Pc}{2} \quad (30)$$

$$eB = \frac{7,72}{2} = 3,86 \text{ mm}$$

### **Altura del diente**

$$hB = 2,25 * mB \quad (31)$$

$$hB = 2,25 * 2,46 = 5,535 \text{ mm}$$

### Ancho de dientes recomendado para los engranajes

Se determina en función del paso circular

$$\frac{8 P_c}{\pi} < F < \frac{16 P_c}{\pi} \quad (32)$$

$$\frac{8 * 7,72}{\pi} < F < \frac{16 * 7,72}{\pi}$$

$$19,65 < F < 39,31 \text{ (mm)}$$

### Distancia entre centros

$$C = \frac{D_{pA} + D_{rB}}{2} \quad (33)$$

$$C = \frac{80,5 \text{ mm} + 96,3 \text{ mm}}{2}$$

$$C = 88,4 \text{ mm}$$

### Sistema de engranajes B y engranaje C

Ángulo de depresión: 20 °

Velocidad engranaje B: 153 RPM

Velocidad deseada: 107 RPM

Engranaje B= 39 dientes

### Relación de transmisión

$$i = \frac{W_m}{W_r}$$

$$i = \frac{153 \text{ rpm}}{107 \text{ rpm}} = 1,43$$



**Número de dientes Engranaje B se tiene como dato de transmisión 35**

**Número de dientes Engranaje C**

Con relación de transmisión determinamos el número de dientes de la rueda

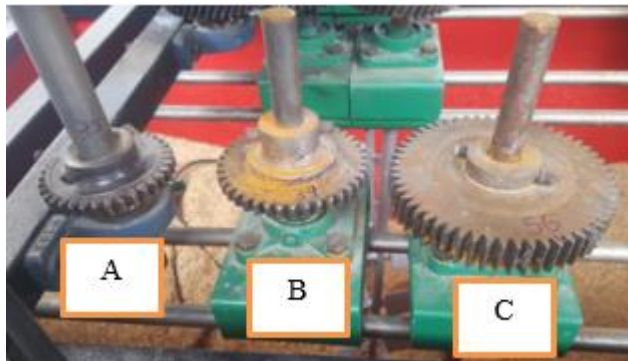
$$i = \frac{NC}{NB}$$

$$i = \frac{NC}{39}$$

$$1,43 = \frac{NC}{39}$$

$$NC = 55,77 = 56 \text{ dientes}$$

**Módulo**



**Figura 7-3: Módulo**

Realizado por: Moreno, G.; Pilco, V. 2022

Circunferencia de paso (DpC): 134,2 mm

$$m3 = \frac{134,2}{56} = 2,39$$

**Diámetro exterior del engranaje C**

$$DeC = mC * NC$$

(34)

$$DeC = 2,39 * 56 = 133,84 \text{ mm}$$

### **Paso circular**

$$P_c = \pi * m_C \quad (35)$$

$$P_c = \pi * 2,39 = 7,508 \text{ mm}$$

### **Espesor del diente B**

$$e_B = \frac{P_c}{2} \quad (36)$$

$$e_B = \frac{7,508}{2} = 3,754 \text{ mm}$$

### **Altura del diente**

$$h_B = 2,25 * m_B \quad (37)$$

$$h_B = 2,25 * 2,39 = 5,377 \text{ mm}$$

### **Distancia entre centros**

$$C_2 = \frac{D_{pB} + D_{pC}}{2} \quad (38)$$

$$C_2 = \frac{96,3 \text{ mm} + 134,2}{2}$$

$$C_2 = 115,25 \text{ mm}$$

#### *3.1.3.3 Cálculo de engranajes helicoidales*

### **Sistema de transmisión por engranajes helicoidales**

- Potencia del motor: 1 Hp
- Velocidad del piñón: 170 rpm
- Ángulo de presión normal  $\theta$ :  $20^\circ$
- Paso circular: 8,4 mm
- Ángulo de hélice  $\psi = 30^\circ$
- Número de dientes del piñón  $N_p$  : 43 dts

Velocidad deseada: 236 rpm



**Figura 8-3:** Sistema de engranajes  
Realizado por: Moreno, G.; Pilco, V. 2022

**Diámetro primitivo (D) engranaje He0**

$$p = \frac{\pi * D}{N} \quad (39)$$

Dónde:

P= paso circular

N= número de dientes

$$D_{He0} = \frac{p * N}{\pi}$$

$$D_{He0} = \frac{8,4 * 43}{\pi}$$

$$D_{He0} = 114,97 \text{ mm}$$

**Paso circular normal  $p_n$ :**

$$P_n = p \cos \psi \quad (40)$$

$$P_n = 8,4 * \cos 30^\circ$$

$$P_n = 7,27 \text{ dientes/mm}$$

**Paso diametral**

$$P_d = \frac{N}{D}$$

$$P_d = \frac{43}{114,97}$$

$$P_d = 0,373 \text{ dientes/mm}$$

**Paso diametral normal  $P_{dn}$** 

$$P_{dn} = \frac{P_d}{\cos \psi} \quad (41)$$

$$P_{dn} = \frac{0,373}{\cos(30^\circ)}$$

$$P_{dn} = 0,43 \text{ dientes/mm}$$

**Paso axial:**

$$p_x = \frac{p}{\tan \psi} \quad (42)$$

$$p_x = \frac{8,4}{\tan(30^\circ)}$$

$$p_x = 14,55 \text{ mm}$$

**Ancho del diente:**

Flanco del diente, es la cara interior del diente (se recomienda que el ancho del diente debe ser por lo menos el doble del paso axial).

$$F = 2p_x$$

$$F = 2 * 14,55$$

$$F = 29 \text{ mm}$$

**Relación de velocidad:**

$$r_v = \frac{\omega_2}{\omega_1} = \frac{n_2}{n_1} = \frac{N_1}{N_2} = \frac{D_1}{D_2} \quad (43)$$

$$r_v = \frac{x}{170}$$

$$r_v = \frac{236}{170}$$

$$r_v = 1,388$$

**Velocidad de salida**

$$r_v = \frac{\omega_2}{\omega_1}$$

$$1,388 = \frac{\omega_2}{170}$$

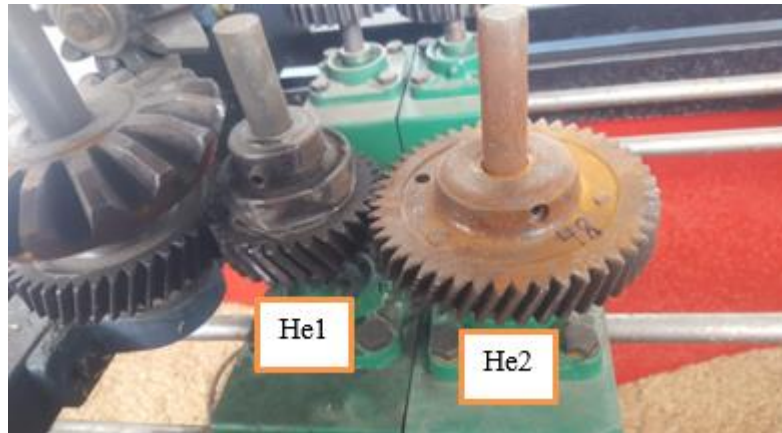
$$\omega_2 = 236 \text{ rpm}$$

**Número de dientes del engranaje He1:**

$$N_{He1} = \frac{N_p}{r_v}$$

$$N_{He1} = \frac{43}{1,388}$$

$$N_{He1} = 31$$



**Figura 9-3:** Engranajes He1 y He2  
 Realizado por: Moreno, G.; Pilco, V. 2022

Velocidad del He1= 236 rpm

Número de dientes He1: 31

Velocidad deseada: 152 RPM

**Diámetro primitivo (D) engranaje He1**

$$p = \frac{\pi * D}{N}$$

Dónde:

P= paso circular=7,7 mm

N= número de dientes

$$D_{He1} = \frac{p * N}{\pi}$$

$$D_{He1} = \frac{7,7 * 31}{\pi}$$

$$D_{He1} = 75,98 \text{ mm}$$

**Paso circular normal pn:**

$$P_n = p \cos \psi \tag{44}$$

$$P_n = 7,7 * \cos 30^\circ$$

$$P_n = 6,68 \text{ dientes/mm}$$

**Paso diametral**

$$P_d = \frac{N}{D_{He1}}$$

$$P_d = \frac{31}{75,98}$$

$$P_d = 0,408 \text{ dientes/mm}$$

**Paso diametral normal  $P_{dn}$** 

$$P_{dn} = \frac{P_d}{\cos \psi}$$

$$P_{dn} = \frac{0,408}{\cos(30^\circ)}$$

$$P_{dn} = 0,471 \text{ dientes/mm}$$

**Paso axial:**

$$p_x = \frac{p}{\tan \psi} \tag{45}$$

$$p_x = \frac{7,7}{\tan(30^\circ)}$$

$$p_x = 13,33 \text{ mm}$$

**Ancho del diente:**

Flanco del diente, es la cara interior del diente (se recomienda que el ancho del diente debe ser por lo menos el doble del paso axial).

$$F = 2p_x \tag{46}$$

$$F = 2 * 13,33$$

$$F = 26,67 \text{ mm}$$

**Relación de velocidad:**

$$r_v = \frac{\omega_2}{\omega_1} = \frac{n_2}{n_1} = \frac{N_1}{N_2} = \frac{D_1}{D_2} \quad (47)$$

$$r_v = \frac{152}{236}$$

$$r_v = 0,64$$

**Velocidad de salida**

$$r_v = \frac{\omega_2}{\omega_1}$$

$$0,64 = \frac{\omega_2}{236}$$

$$\omega_2 = 151,04 \text{ rpm}$$

**Número de dientes del engranaje He2:**

$$N_{He1} = \frac{N_{He1}}{r_v}$$

$$N_{He1} = \frac{31}{0,64}$$

$$N_{He1} = 48,4 = 48 \text{ dientes}$$

**Módulo**

$$m_{He1} = \frac{75,98}{31} = 2,45$$

**Distancia entre centros**

$$C2 = \frac{D_{He0} + D_{He1}}{2}$$

$$C2 = \frac{114,97 \text{ mm} + 75,98 \text{ mm}}{2}$$

$$C2 = 95,47 \text{ mm}$$



## Cálculo engranaje helicoidal He2

Velocidad del He2= 152 rpm

Número de dientes He2: 48

### Diámetro primitivo (D) engranaje He2

$$p = \frac{\pi * D}{N}$$

Dónde:

P= paso circular=8,8 mm

N= número de dientes

$$D_{He2} = \frac{p * N}{\pi}$$

$$D_{He2} = \frac{8,8 * 48}{\pi}$$

$$D_{He2} = 134,45 \text{ mm}$$

### Paso circular normal Pn:

$$P_n = p \cos \psi \tag{48}$$

$$P_n = 8,8 * \cos 30^\circ$$

$$P_n = 7,62 \text{ dientes/mm}$$

### Paso diametral

$$P_d = \frac{N}{D_{He2}}$$

$$P_d = \frac{48}{134,45}$$

$$P_d = 0,356 \text{ dientes/mm}$$

**Paso diametral normal  $P_{dn}$** 

$$P_{dn} = \frac{P_d}{\cos \psi}$$

$$P_{dn} = \frac{0,356}{\cos(30^\circ)}$$

$$P_{dn} = 0,412 \text{ dientes/mm}$$

**Paso axial:**

$$p_x = \frac{p}{\tan \psi} \quad (49)$$

$$p_x = \frac{8,8}{\tan(30^\circ)}$$

$$p_x = 15,24 \text{ mm}$$

**Ancho del diente:**

$$F = 2p_x$$

$$F = 2 * 15,24 \text{ mm}$$

$$F = 30,48 \text{ mm}$$

**Módulo**

$$m_{He2} = \frac{134,45}{48} = 2,82$$

**Distancia entre centros**

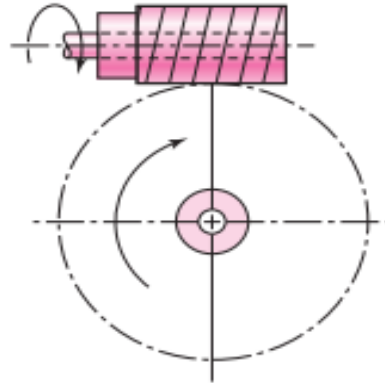
$$C3 = \frac{D_{He1} + D_{He2}}{2}$$

$$C3 = \frac{75,98 \text{ mm} + 134,45 \text{ mm}}{2}$$

$$C3 = 105,2 \text{ mm}$$

### 3.1.3.4 Cálculo de tornillo sin fin

#### Sistema de transmisión por tornillo sin fin



**Figura 10-3:** Sistema de transmisión por tornillo sin fin.

Fuente: (Budynas y Keith, 2008, p. 727)



**Figura 11-3:** Diseño de tornillo sin fin – corona  
Realizado por: Moreno, G.; Pilco, V. 2022

Existe un sistema de transmisión por engranajes cónicos, el impulsor gira a una velocidad de 170 rpm, el mismo posee 16 dientes y el engranaje que transmite el movimiento al tornillo sin fin consta de 10 dientes.



**Figura 12-3:** Engranaje cónicos

Realizado por: Moreno, G.; Pilco, V. 2022

### Relación de velocidad

$$r_v = \frac{N_1}{N_2} \quad (50)$$

$$r_v = \frac{16}{10} = 1,6$$

Se establece las revoluciones aproximadas con las que está conectado el engranaje cónico al tornillo sin fin.

$$1,6 = \frac{W_1}{W_2}$$

$$1,6 = \frac{W_1}{170}$$

$$W_1 = 272 \text{ rpm}$$

Se establece los siguientes parámetros del sistema de transmisión por tornillo sin fin.

- Paso diametral normal  $P_{nd}$ : 12
- Ángulo de hélice  $\psi = 30^\circ$

### Datos:

Potencia de transmisión: 1Hp

Velocidad de giro: 272 RPM

Número de dientes de la corona  $N_{corona}$ : 28 dientes

Número de hilos del tornillo  $N_{tor}$ : 4

Diámetro exterior del tornillo sin fin: 29 mm

Diámetro de paso del tornillo sin fin ( $d_{pt}$ ): 25,5 mm

Diámetro de raíz (eje tornillo sin fin): 17,5 mm

Paso axial del tornillo sin fin: 8,5 mm

Diámetro de paso (diámetro primitivo corona,  $d_{pc}$ ): 78 mm

El ángulo de presión normal:  $14,5^\circ$

### **Distancia entre centros**

$$C = \frac{d_{pt} + d_{pc}}{2}$$

$$C = \frac{25,5 + 78}{2}$$

$$C = 51,75 \text{ mm}$$

### **Diámetro de paso de la rueda**

$$d_{corona} = 2C - d_{pt} \tag{51}$$

$$d_{corona} = 2 * 51,75 - 25,5$$

$$d_{corona} = 78 \text{ mm}$$

### **Ancho de la cara de la rueda helicoidal**

$$F_{max} = 0,67 d_{corona} \tag{52}$$

$$F_{max} = 0,67 * 78 \text{ mm}$$

$$F_{max} = 52,26 \text{ mm}$$

### **Paso circular corona**

$$p = \frac{\pi * d_{corona}}{N} \tag{53}$$

$$p = \frac{\pi * 78 \text{ mm}}{28}$$

$$p = 8,75 \text{ dientes /mm}$$

### **Razón requerida de corona**

(54)

$$m_{corona} = \frac{N_{corona}}{N_{tor}}$$

$$m_{corona} = \frac{28}{4}$$

$$m_{corona} = 7$$

### **Velocidad de salida de la corona**

Relación de transmisión

$$i = \frac{1}{10}$$

$$i = \frac{v_2}{v_1}$$

$$v_2 = i * v_1$$

$v_1 = \text{velocidad de ingreso al tornillo sin fin de } 272 \text{ rpm}$

$$v_2 = 0,1 * 272$$

$$v_2 = 27,2 \text{ RPM}$$

### **Subsistema de engranajes rectos**

Velocidad de salida requerida: 31 rpm

Engranaje recto A

### **Relación de transmisión:**

$$i = \frac{V_{salida}}{V_{entrada}}$$

(55)

$$i = \frac{31 \text{ rpm}}{27,2 \text{ rpm}} = 1,139$$

### Número de dientes Engranaje ER-B

Con la relación de transmisión determinamos el número de dientes de la rueda.

$$i = \frac{NA}{NB}$$

(56)

$$1,139 = \frac{27}{NB}$$

$$NB = \frac{27}{1,139}$$

$$NB = 23,70$$

$$NB = 24 \text{ dientes}$$

### Módulo



**Figura 13-3:** Engranajes rectos sistema de tornillo sin fin.  
Realizado por: Moreno, G.; Pilco, V. 2022

Módulo engranaje ER-A

Circunferencia de paso (DpA): 97 mm

$$mA = \frac{97}{27} = 3,59$$

Modulo engranaje ER-B

Circunferencia de paso (DpB): 87 mm

$$m_B = \frac{87}{24} = 3,62$$

### **Diámetro exterior engranaje ER-A**

$$de = mA (NA + 2) \quad (57)$$

$$de = 3,59 (27 + 2) = 104,11 \text{ mm}$$

### **Paso circular**

$$Pc = \pi * mA \quad (58)$$

$$Pc = \pi * 3,59 = 11,27 \text{ mm}$$

### **Espesor del diente**

$$e = \frac{Pc}{2} \quad (59)$$

$$e = \frac{11,27}{2} = 5,639 \text{ mm}$$

### **Altura del diente**

$$h = 2,25 * mA \quad (60)$$

$$h = 2,25 * 3,59 = 8,07 \text{ mm}$$

### **Addendum**

$$ac = mA$$

$$ac = 3,59 \text{ mm}$$

### **Deddendum**

$$ap = 1,25 * mA \quad (61)$$

$$ap = 1,25 * (3,59) = 4,48 \text{ mm}$$



### **Paso diametral**

$$Pd = \frac{N}{D} \quad (62)$$

$$Pd = \frac{27}{97} = 0,278 \text{ diente/mm}$$

### **Diámetro exterior engranaje ER-B**

$$deB = mB (NB + 2) \quad (63)$$

$$deB = 3,62 (24 + 2) = 94,12 \text{ mm}$$

### **Paso circular**

$$Pc = \pi * mB \quad (64)$$

$$Pc = \pi * 3,62 = 11,37 \text{ mm}$$

### **Espesor del diente B**

$$eB = \frac{Pc}{2} \quad (65)$$

$$eB = \frac{11,37}{2} = 5,68 \text{ mm}$$

### **Altura del diente**

$$hB = 2,25 * mB \quad (66)$$

$$hB = 2,25 * 3,62 = 8,145 \text{ mm}$$

### **Ancho de dientes recomendado para los engranajes**

Se determina en función del paso circular

$$\frac{8 Pc}{\pi} < F < \frac{16 Pc}{\pi} \quad (67)$$

$$\frac{8 * 8,145}{\pi} < F < \frac{16 * 8,145}{\pi}$$

$$20,74 < F < 41,48 \text{ (mm)}$$

### **Distancia entre centros**

$$C = \frac{DpA + DrB}{2} \tag{68}$$

$$C = \frac{97 \text{ mm} + 87 \text{ mm}}{2}$$

$$C = 92 \text{ mm}$$

### **3.2 Modelado de la estructura y sistemas de transmisión por engranajes**

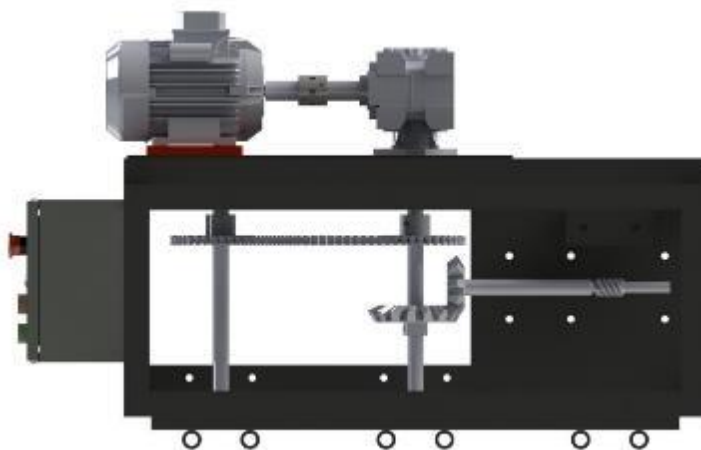
El modelado se lo desarrolla mediante el software de diseño CAD SolidWorks, el mismo que permite crear piezas 3D a partir de bocetos 2D, el acoplamiento de sus piezas mediante la aplicación de ensamblado 3D y además la elaboración de planos con sus dimensiones, cotas y características previo a la construcción de manera real. Este software permite en gran medida modelar, simular, fabricar, publicar y gestionar los datos del proceso de diseño.

En la figura 14-3, se presenta el sistema estructural del banco didáctico que se compone de dos partes: la estructura base y la estructura superior dónde están ubicadas las diferentes secciones de los sistemas de transmisión.



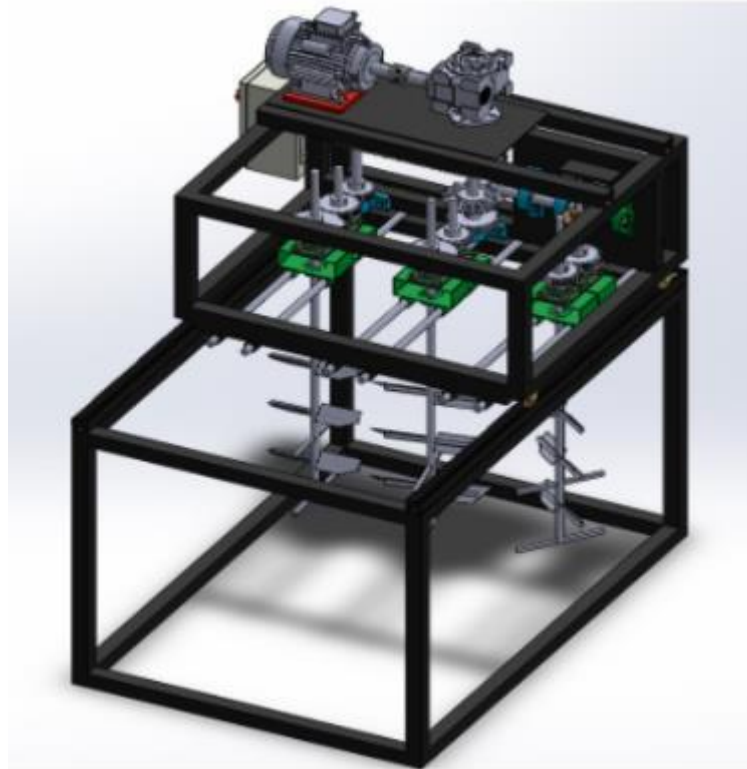
**Figura 14-3:** Sistema estructural  
Realizado por: Moreno, G.; Pilco, V. 2022

En la estructura superior se sitúa el elemento motriz conjuntamente con una caja reductora la misma que mediante un eje acoplado a un sistema de transmisión por cadena y un sistema de engranajes cónicos transmitirán el movimiento a los tres mecanismos principales como se muestra en la figura 15-3. Además está acoplado el sistema eléctrico conjuntamente con los elementos de accionamiento y control.



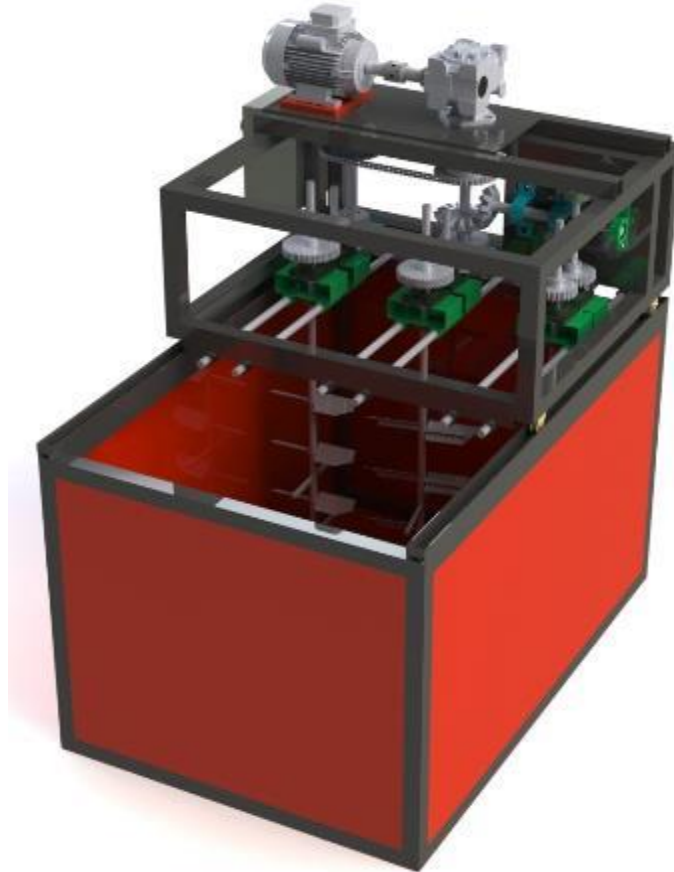
**Figura 15-3:** Estructura superior con sus sistemas  
Realizado por: Moreno, G.; Pilco, V. 2022

En la figura 16-3, se observa el montaje de los sistemas de transmisión principales compuestos por secciones, la primera sección conformada por engranajes rectos, la siguiente por engranajes helicoidales y finalmente la última sección mediante tornillo sin fin, cada uno de los engranajes finales posee carga la cual se sujeta a ejes con paletas de mezcla en un reservorio.



**Figura 16-3:** Montaje de los sistemas de transmisión  
Realizado por: Moreno, G.; Pilco, V. 2022

Se presenta el modelado final de la estructura base y estructura superior conjuntamente con las diferentes piezas que conforman los sistemas de transmisión por engranajes, las vigas de deslizamiento para el montaje y desmontaje de cada elemento.



**Figura 17-3:** Modelado final del banco didáctico  
Realizado por: Moreno, G.; Pilco, V. 2022

### **3.3 Proceso de construcción del banco didáctico**

La construcción se procede a realizar mediante un proceso secuencial, para ello se presentan las siguientes fases.

#### **3.3.1 Dimensionamiento de las bases estructurales**

Se establece previamente el modelado del banco didáctico en el software CAD solidworks, se procede a colocar las dimensiones en los perfiles cuadrados (40x40x2)mm y empezar a cortarlos mediante equipos de corte, hasta obtener todas la piezas necesarias para armar la estructura del banco.



**Figura 18-3:** Corte de tubos cuadrados  
**Realizado por:** Moreno, G.; Pilco, V. 2022

**Nota:** Los cortes deben estar a 45 grados para acoplar los tubos y realizar el proceso de soldadura.

Proceso de desbaste y limpieza de los tubos, para evitar que exista alguna desviación en el proceso de soldadura o accidentes de cortes.



**Figura 19-3:** Desbaste y limpieza de tubos  
**Realizado por:** Moreno, G.; Pilco, V. 2022

Proceso de soldadura, para la unión de todas las partes previamente cortadas. Primero se procede a armar la estructura base mediante la unión de los cortes a 45 grados. Se verifica mediante una escuadra que los tubos estén a 90 grados y se coloca puntos de soldadura para evitar que estos se separen.



**Figura 20-3:** Estructura armada  
Realizado por: Moreno, G.; Pilco, V. 2022

Se hacen los cordones de soldadura en la estructura base (uniones). Luego se procede a quitar el material excedente mediante el proceso de pulido.



**Figura 21-3:** Soldadura de la estructura  
Realizado por: Moreno, G.; Pilco, V. 2022

Se realiza el armado de la estructura superior como se observa en la figura 22-3, donde van a estar acoplados los sistemas de transmisión, para ello se unen los perfiles cuadrados con los cortes establecidos conjuntamente con puntos de soldadora.



**Figura 22-3:** Estructura superior  
Realizado por: Moreno, G.; Pilco, V. 2022

Se procede a soldar dos tubos largos en la parte superior en donde se ubica una plancha de 3mm de espesor como base para el motor y el reductor. De la misma forma se coloca en la parte inferior un tubo cuadrado a nivel del perfil superior para colocar un eje mediante dos chumaceras.



**Figura 23-3:** Acoplamiento de tubos en la estructura superior  
Realizado por: Moreno, G.; Pilco, V. 2022

Se realiza la construcción de las bases donde están montados los ejes para los sistemas de transmisiones.



**Figura 24-3:** Construcción de bases para ejes  
Realizado por: Moreno, G.; Pilco, V. 2022

Se corta bocines de diámetro interior de 3/4 de pulgada, además de los ejes donde se va a realizar el movimiento de las bases para variar el ajuste de los engranajes.



**Figura 25-3:** Corte de bocines  
Realizado por: Moreno, G.; Pilco, V. 2022



Se cubre la base estructural con planchas de tol de 1 mm de espesor mediante soldadura.



**Figura 26-3:** Estructura base con cubierta  
Realizado por: Moreno, G.; Pilco, V. 2022

Se realiza el proceso de lijado y limpieza de la estructura completamente para iniciar con el proceso de pintado a base de horno, en este caso se utilizarán tres colores (verde, rojo y negro).



**Figura 27-3:** Estructura limpia y pintada  
Realizado por: Moreno, G.; Pilco, V. 2022

### **3.4 Montaje y desmontaje del banco didáctico**

#### **3.4.1 Proceso de montaje**

El montaje de los sistemas de transmisión consiste en instalar cada uno de los elementos según sea su funcionalidad y características técnicas, se debe tener en cuenta el acoplamiento entre los sistemas de engranajes, además de sus accesorios como ejes, rodamientos, chumaceras entre otros. Este proceso se realiza secuencialmente según las etapas o instrucciones de cada sistema.

Se procede a desarrollar la codificación según los niveles desde la planta tomando como referencia la escuela de mantenimiento, a continuación, se presenta la descripción y los parámetros a consideración.

**Tabla 3-3:** Parámetros de codificación de niveles

Nivel	Definición	Código	Descripción
1	Planta	IM	Carrera Ingeniería en Mantenimiento Industrial
2	Sección	LC	Laboratorio de Mantenimiento Correctivo
3	Equipo	BD	Banco didáctico de sistemas de transmisión por engranajes
4	Elemento	IM-LC-BD-EME01	Motor eléctrico
		IM-LC-BD-ETA01	Tablero de control
		IM-LC-BD-MST01	Transmisión por acople entre motor y reductor
		IM-LC-BD-MRD01	Reductor de velocidad
		IM-LC-BD-MST02	Sistema de transmisión por cadena
		IM-LC-BD-MST03	Sistema de transmisión por engranajes cónicos
		IM-LC-BD-MST04	Sistema de transmisión por engranajes rectos
		IM-LC-BD-MST05	Sistema de transmisión por engranajes helicoidales
		IM-LC-BD-MST06	Sistema de transmisión por tornillo sin fin
5	Componente	IM-LC-BD-MST02-002	Catalina A de 36 dientes
		IM-LC-BD-MST02-004	Catalina B de 36 dientes
		IM-LC-BD-MST02-006	Cadena
		IM-LC-BD-MST03-002	Engranaje cónico de 16 dientes
		IM-LC-BD-MST03-004	Engranaje cónico de 10 dientes
		IM-LC-BD-MST04-002	Engranaje recto de 35 dientes
		IM-LC-BD-MST04-004	Engranaje recto de 39 dientes
		IM-LC-BD-MST04-006	Engranaje recto de 56 dientes
		IM-LC-BD-MST04-008	Base engranaje recto de 39 dientes
		IM-LC-BD-MST04-010	Base engranaje recto de 56 dientes
		IM-LC-BD-MST04-012	Eje 1" engranaje recto de 35 dientes
		IM-LC-BD-MST04-014	Eje 3/4" engranaje recto de 39 dientes
		IM-LC-BD-MST04-016	Eje 3/4" engranaje recto de 56 dientes
		IM-LC-BD-MST04-018	Chumacera de piso A, eje de engranajes rectos
		IM-LC-BD-MST04-020	Chumacera de piso B, eje de engranajes rectos
		IM-LC-BD-MST04-022	Eje 3/4" deslizante A, base de engranajes rectos
		IM-LC-BD-MST04-024	Eje 3/4" deslizante B, base de engranajes rectos
		IM-LC-BD-MST05-002	Engranaje helicoidal de 43 dientes
		IM-LC-BD-MST05-004	Engranaje helicoidal de 31 dientes
		IM-LC-BD-MST05-006	Engranaje helicoidal de 48 dientes
		IM-LC-BD-MST05-008	Base engranaje helicoidal de 31 dientes
		IM-LC-BD-MST05-010	Base engranaje helicoidal de 48 dientes
		IM-LC-BD-MST05-012	Eje 1" engranaje helicoidal de 43 dientes
		IM-LC-BD-MST05-014	Eje 3/4" engranaje helicoidal de 31 dientes

	IM-LC-BD-MST05-016	Eje 3/4" engranaje helicoidal de 48 dientes
	IM-LC-BD-MST05-018	Chumacera de piso A, eje de engranajes helicoidales
	IM-LC-BD-MST05-020	Chumacera de piso B, eje de engranajes helicoidales
	IM-LC-BD-MST05-022	Eje 3/4" deslizante A, base de engranajes helicoidales
	IM-LC-BD-MST05-024	Eje 3/4" deslizante B, base de engranajes helicoidales
	IM-LC-BD-MST06-002	Tornillo sin fin
	IM-LC-BD-MST06-004	Corona de 28 dientes
	IM-LC-BD-MST06-006	Engranaje recto de 27 dientes
	IM-LC-BD-MST06-008	Engranaje recto de 24 dientes
	IM-LC-BD-MST06-010	Base engranaje recto de 27 dientes y corona
	IM-LC-BD-MST06-012	Base engranaje recto de 24 dientes
	IM-LC-BD-MST06-014	Eje 3/4" engranaje recto de 27 dientes
	IM-LC-BD-MST06-016	Eje 3/4" engranaje recto de 24 dientes
	IM-LC-BD-MST06-018	Chumacera de piso A, eje de corona
	IM-LC-BD-MST06-020	Chumacera de piso B, eje de tornillo sin fin
	IM-LC-BD-MST06-022	Chumacera de piso C, eje de tornillo sin fin
	IM-LC-BD-MST06-024	Eje 3/4" deslizante A, base de corona
	IM-LC-BD-MST06-026	Eje 3/4" deslizante B, base de engranaje recto

Realizado por: Moreno, G.; Pilco, V. 2022

Para desarrollar el proceso del montaje se lo describe mediante los códigos establecidos para evitar errores en el funcionamiento que puedan ocasionar desgaste en los elementos mecánicos.

#### 3.4.1.1 Montaje del sistema de transmisión de engranajes rectos

Se reconoce las chumaceras MST04-018 y MST04-020, para ser colocadas en la parte superior e inferior, las mismas que van acoplarse al eje MST04-012, previo a su inserción se debe incluir el engranaje MT04-002, la catalina MST02-002 y la cadena MST02-006.

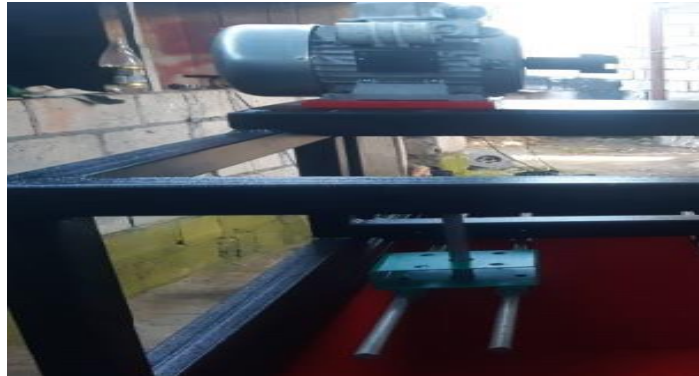


**Figura 28-3:** Montaje del sistema de transmisión

Realizado por: Moreno, G.; Pilco, V. 2022

**Nota:** Al insertarse en las chumaceras se deberá ajustar los prisioneros en la ubicación, MST02-002 (superior), MST04-002 (inferior). Se recuerda que la cadena no va a estar ajustada debido a que no está incluida la segunda catalina MST02-004, eso se desarrollará con la inclusión del eje del sistema de engranajes helicoidales

Se procede a colocar los ejes MST04-022 y MST04-024 a media longitud en los bocines de acoplamiento, con el objetivo de incluir la base MST04-008 y MST04-010 respectivamente.



**Figura 29-3:** Inserción de los ejes en los bocines  
Realizado por: Moreno, G.; Pilco, V. 2022

Los ejes MST04-014 y MST04-016 se introducen en las bases según su detalle técnico, tener en cuenta el ajuste de los prisioneros.



**Figura 30-3:** Introducción de ejes en la base  
Realizado por: Moreno, G.; Pilco, V. 2022

Se procede a colocar los engranajes MST04-004 y MST04-006 en los respectivos ejes (bases), se debe ajustar los prisioneros hasta la ubicación del sistema de engranajes (alineación). Finalmente se termina de colocar los ejes MST04-022 y MST04-024.



**Figura 31-3:** Colocación de engranajes en sus respectivos ejes  
**Realizado por:** Moreno, G.; Pilco, V. 2022

#### 3.4.1.2 Montaje del sistema de transmisión de engranajes helicoidales

Para el montaje del segundo sistema se procede a colocar las chumaceras MST05-018 y MST05-020 en la parte superior e inferior, para la inserción del eje MST05-012 se debe tener en cuenta que primero se debe acoplar la caja reductora en la parte superior de la estructura, la misma que va a transmitir el movimiento a los diferentes sistemas, a continuación se procede a insertar el eje desde la parte inferior tomando en cuenta el ajuste de la chaveta en el reductor, antes de ajustar se incluye la catalina MST02-004, cadena MST02-006 y el engranaje cónico MST03-002 (dientes en dirección hacia la parte superior) y el engranaje helicoidal MST05-002.



**Figura 32-3:** Montaje del sistema de transmisión de engranajes helicoidales  
**Realizado por:** Moreno, G.; Pilco, V. 2022

**Nota:** La ubicación de los elementos de ser la siguiente: la catalina MST02-004 (superior) en la parte superior, el engranaje cónico MST03-002 intermedio y en la parte inferior el engranaje helicoidal MST05-002, los mismos que se ajustan con los prisioneros.

Se ingresa los ejes MST05-022 y MST05-024 en los bocines a media longitud para el ingreso de las bases MST05-014 y MST05-016 respectivamente.



**Figura 33-3:** Ingreso de ejes en los bocines  
Realizado por: Moreno, G.; Pilco, V. 2022

Los ejes MST05-014 y MST05-016 se introducen en las bases según las especificaciones técnicas para el ajuste de los mismos.



**Figura 34-3:** Introducción de ejes en las bases  
Realizado por: Moreno, G.; Pilco, V. 2022

Se procede a introducir los engranajes helicoidales MST05-004 y MST05-006 respectivamente en los ejes, y se ajusta mediante los prisioneros de forma que se encuentre alineados.



**Figura 35-3:** Montaje de engranajes helicoidales en los ejes  
Realizado por: Moreno, G.; Pilco, V. 2022

Finalmente se complementa el ingreso de los ejes MST05-022 y MST05-024 a los bocines para proceder con el ajuste y el acoplamiento de las bases según vayan encajando los engranajes helicoidales.





**Figura 36-3:** Ajuste y acoplamiento de ejes en la base  
Realizado por: Moreno, G.; Pilco, V. 2022

#### 3.4.1.3 Montaje del sistema de transmisión por tornillo sin fin

Para el acople del tornillo sin fin se coloca las chumaceras MST06-018, MST06-020 y MST06-022 (cantidad 3) de forma horizontal para proceder a colocar el eje de transmisión con una distancia establecida en la parte frontal de la estructura, para ello se introduce el engranaje cónico MST03-004 acoplado al eje y a continuación el tornillo sin fin MST06-002 como se muestra en la figura 37-3.



**Figura 37-3:** Montaje del sistema de transmisión por tornillo sin fin  
Realizado por: Moreno, G.; Pilco, V. 2022

Además, se coloca la chumacera MST06-018 para el acoplamiento y sujeción del eje MST06-014.



**Figura 38-3:** Colocación de chumacera  
Realizado por: Moreno, G.; Pilco, V. 2022

Se procede a incluir los ejes MST06-024 y MST06-026 en los bocines hasta media longitud e insertar las bases MST06-010 y MST06-012 respectivamente en los ejes para su acoplamiento.



**Figura 39-3:** Introducción de ejes en bocinas  
Realizado por: Moreno, G.; Pilco, V. 2022

A continuación, se escoge los ejes MST06-014 y MST06-016 para introducir en las bases asignadas para realizar el ajuste mediante los prisioneros.



**Figura 40-3:** Introducción de ejes en la base  
Realizado por: Moreno, G.; Pilco, V. 2022

Se acopla los engranajes rectos MST06-006 y MST06-008 en los ejes respectivos, para ello se ajusta los prisioneros y se alinean los engranajes.





**Figura 41-3:** Acoplamiento de engranajes en los ejes  
Realizado por: Moreno, G.; Pilco, V. 2022

Finalmente, se acoplan los ejes MST06-024 y MST06-026 a los bocines para completar el ajuste y el deslizamiento de las bases para encajar con el juego de engranajes, evitando la fricción durante la transmisión de movimiento.



**Figura 42-3:** Acoplamiento de ejes en los bocines  
Realizado por: Moreno, G.; Pilco, V. 2022

### **3.4.2** *Proceso de desmontaje*

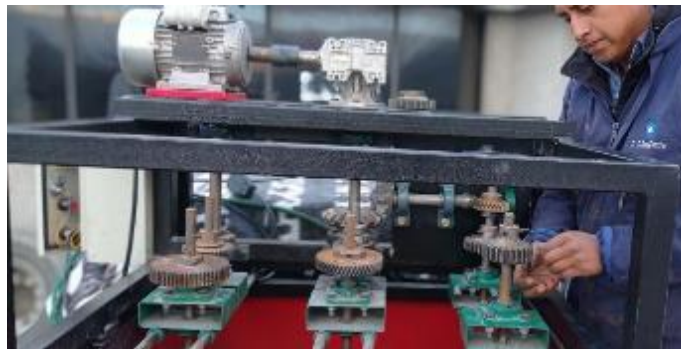
Se realiza cuando se va a desarrollar un mantenimiento preventivo o correctivo según sea el caso, pero es importante tener en cuenta los detalles del equipo y accesorios para iniciar con el desmontaje del mismo. Un desmontaje de manera adecuada permite reconocer cada uno de los elementos, la ubicación y la facilidad de extraer cada una de las piezas evitando dañar alguna de ellas por fricción o golpes externos.



**Figura 43-3:** Máquina ensamblada  
Realizado por: Moreno, G.; Pilco, V. 2022

#### 3.4.2.1 Desmontaje del sistema de transmisión por tornillo sin fin

Se aflojan los prisioneros de las bases MST06-010 y MST06-012 del sistema del tornillo sin fin, para deslizar e iniciar con el desmontaje del engranaje recto MST06-008 aflojando el prisionero del mismo.



**Figura 44-3:** Desajuste de prisioneros  
Realizado por: Moreno, G.; Pilco, V. 2022

Los pernos que sujetan la chumacera MST06-018 se retiran, posterior el eje del engranaje recto MST06-014 es retirado.



**Figura 45-3:** Retiro de tornillos de chumacera  
Realizado por: Moreno, G.; Pilco, V. 2022

Aflojar la base MST06-010 de la corona y engranaje recto acoplados al tornillo sin fin para poder separar la corona del tornillo.



**Figura 46-3:** Base de la corona y engranaje rectos desajustados  
Realizado por: Moreno, G.; Pilco, V. 2022

Se procede a aflojar los prisioneros de la corona MST06-004 y del engranaje recto MT06-006 para desmontarla del eje, cómo se observa en la figura 47-3.



**Figura 47-3:** Desmontaje de la corona y engranajes rectos  
Realizado por: Moreno, G.; Pilco, V. 2022

#### *3.4.2.2 Desmontaje del sistema de transmisión por engranajes helicoidales*

Se debe aflojar los prisioneros de la base MST05-010 del sistema helicoidal, para desplazar el engranaje conjuntamente con la base.



**Figura 48-3:** Desajuste de prisioneros de la base  
Realizado por: Moreno, G.; Pilco, V. 2022

Se desajustan los prisioneros del engranaje helicoidal MST05-006, para retirarlo.



**Figura 49-3:** Engranajes helicoidales listos para retirar  
Realizado por: Moreno, G.; Pilco, V. 2022

Se afloja los prisioneros de la base MST05-008 para desplazarlo. Ahora se debe aflojar el prisionero del engranaje helicoidal MST05-004 para retirarlo del eje.



**Figura 50-3:** Desplazamiento de prisioneros de la base  
Realizado por: Moreno, G.; Pilco, V. 2022

### 3.4.2.3 Desmontaje del sistema de transmisión engranajes rectos

Se desajusta los prisioneros de la base MST04-010 del sistema de engranaje recto y se procede a desplazar.



**Figura 51-3:** Desplazamiento de engranajes rectos  
Realizado por: Moreno, G.; Pilco, V. 2022



Los prisioneros del engranaje recto MST04-006 se aflojan y se retira del eje MST04-016.



**Figura 52-3:** Prisioneros listos para ser retirados  
Realizado por: Moreno, G.; Pilco, V. 2022

Se afloja la base del engranaje recto MST04-008 y se afloja los prisioneros del engranaje recto MST04-004 para proceder a retirarlo.



**Figura 53-3:** Engranajes rectos flojos  
Realizado por: Moreno, G.; Pilco, V. 2022

#### *3.4.2.4 Desmontaje de los elementos de traslación de las bases*

Con ayuda de llaves hexagonales se aflojan los prisioneros de los bocines de los ejes MST04-022 y MST04-024 de soporte de las bases.



**Figura 54-3:** Desajuste de prisioneros  
Realizado por: Moreno, G.; Pilco, V. 2022

Los ejes del sistema recto son retirados hasta media longitud para proceder a retirar las bases MST04-010 y MST04-008 respectivamente.



**Figura 55-3:** Eje recto retirado  
Realizado por: Moreno, G.; Pilco, V. 2022

**Nota:** La base MST04-008 del sistema recto se retira con cuidado porque está unida al eje con las paletas de mezcla.

De la misma forma se procede a retirar la base MST04-010 del sistema de engranajes rectos y finalmente son extraídos completamente los ejes MST04-022 y MST04-024 cómo se observa en la figura 56-3.



**Figura 56-3:** Retiro de la base  
Realizado por: Moreno, G.; Pilco, V. 2022

Para el desmontaje de las bases del sistema de engranajes helicoidales y del tornillo sin fin se sigue los mismos procedimientos antes mencionados, para finalmente tener los sistemas de transmisión primarios como se muestra en la figura 57-3.



**Figura 57-3:** Desmontaje de las bases de engranajes helicoidales  
**Realizado por:** Moreno, G.; Pilco, V. 2022

#### 3.4.2.5 Desmontaje de los elementos primarios

Para ello se afloja los pernos que sostienen las chumaceras MST06-020-MST06-022- MST06-024 de los ejes del tornillo sin fin y el engranaje cónico. Como se observa en la figura 58-3, se mantiene un cuerpo con las chumaceras y el eje del tornillo.



**Figura 58-3:** Desmontaje del sistema primario sin fin  
**Realizado por:** Moreno, G.; Pilco, V. 2022

Se desajusta los prisioneros de las catalinas MST02-004 para poder aflojar la cadena de transmisión al sistema de engranajes rectos.



**Figura 59-3:** Desajuste de prisioneros de las catalinas  
**Realizado por:** Moreno, G.; Pilco, V. 2022

Los prisioneros del engranaje MST05-002 y del engranaje cónico MT03-002 se deben aflojar, para poder retirar el eje MST05-012 de 1" del reductor. Para ello se debe quitar la chaveta del eje de transmisión de la caja reductora aplicándose una fuerza desde la parte superior para aflojar el eje y retirarlo.



**Figura 60-3:** Caja reductora y motor  
Realizado por: Moreno, G.; Pilco, V. 2022



**Figura 61-3:** Desmontaje del eje  
Realizado por: Moreno, G.; Pilco, V. 2022

Retirar los pernos de las chumaceras MST04-018 y se retira en un solo cuero del eje MST04-012, catalina MST02-002, engranaje recto MST04-002.



**Figura 62-3:** Retiro de los pernos de las chumaceras  
Realizado por: Moreno, G.; Pilco, V. 2022



Finalmente, separar las chumaceras del eje y los engranajes de los diferentes sistemas.



**Figura 63-3:** Chumaceras y engranajes  
Realizado por: Moreno, G.; Pilco, V. 2022

### 3.5 Análisis de fallos en los sistemas de transmisión del banco didáctico

El fallo de un diente de un engranaje se puede producir a consecuencia de diversos factores, entre los que se encuentran desde los inherentes a un trabajo correcto del engranaje, con el consiguiente desgaste con el paso de las horas de funcionamiento, hasta los determinados por un funcionamiento defectuoso, ya sea por un cálculo erróneo de las características del diente, o por defectos de montaje, lubricación, y otros.

#### **Inspección visual**

Para el análisis de fallas es muy importante realizar la inspección visual de manera detenida y detallada en cada etapa, porque esta inspección permite obtener la información necesaria sobre la deducción del tipo y posible origen de la falla a la que estuvo sometida la pieza analizada, con la elaboración de este análisis se obtiene datos acerca de la instalación o montaje, el uso donde se ubica la pieza y los esfuerzos directos a los que está sometida.

#### *3.5.1 Inspección visual engranaje cónico MST03-002*

Se puede observar que el engranaje tiene muchos picados debido al desgaste en algunos de sus dientes, lo que indica la presencia de desgaste superficial. Este problema va ligado a la falta de lubricación suministrada a la pieza, se establece que inicia con un picado inicial leve pero que debido a las condiciones de trabajo al que estaba expuesto se convierte en picado destructivo, es decir se forman pequeños cráteres de picado de diferentes tamaños y formas como desgaste. Existen varios dientes que tienen un desprendimiento o desconchado, se observa que la superficie y los vértices del diente del engranaje se ha deformado debido a la carga transmitida, formándose

ondulaciones que se desplazan adelante o hacia atrás de la línea de contacto entre engranajes. Esto resulta debido a sobrecargas superficiales que no fueron aliviadas en un principio en el picado inicia y después con la exposición prolongada se produce hasta en el peor de los casos el fraccionamiento del diente.

En el engranaje se empieza a visualizar corrosión debido a que existe en ciertas partes formaciones de una película de óxido la cual va a debilitar el metal provocando un desgaste por corrosión.



**Figura 64-3:** Picaduras destructivas y desprendimientos, desgaste por corrosión

Realizado por: Moreno, G.; Pilco, V. 2022

#### 3.5.1.1 *Análisis de falla engranaje cónico MST03-002*

Existen varias deformaciones superficiales debido a que la pieza transmite el movimiento desde el motor hacia todos los sistemas de engranajes, por tal motivo se encuentra en constante fricción, además existe sobrepeso que genera un desgaste continuo en los dientes y la generación de deslizamiento entre materiales provocando un rallo y daños en las paredes del diente, esto debido a que no existe una película de aceite que ayude al contacto entre dientes.

#### 3.5.2 *Inspección visual engranaje helicoidal MST05-006*

Se observa que el engranaje tiene picado inicial en las paredes de algunos de sus dientes, lo que indica la presencia de desgaste superficial. En algunos dientes ya se está produciendo picado destructivo porque existen cráteres de formaciones pequeñas, esto indica que existe un esfuerzo anormal en el sistema de transmisión que puede a largo plazo provocar el desprendimiento de cierta parte del diente. Existe desgaste por abrasión debido al roce que existe entre la unión de los dientes generando partículas duras de bordes filosos que causan el desgaste paulatino de los dientes, esto es porque existe un choque entre engranaje y no un juego entre engranaje y piñón.

En el engranaje es notable la generación de óxido debido a la falta de lubricación que permita generar una protección de capa al metal, además de brindar una capa de aceite para que no exista fricción entre los dientes al momento de transmitir el movimiento.



**Figura 65-3:** Desgaste superficial, picaduras iniciales, abrasión, corrosión.

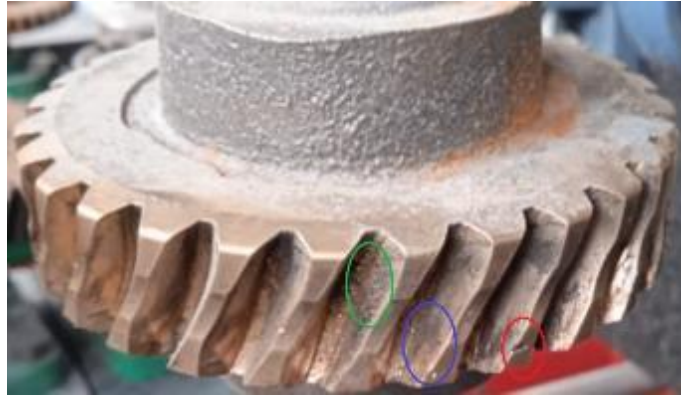
**Realizado por:** Moreno, G.; Pilco, V. 2022

#### *3.5.2.1 Análisis de falla engranaje helicoidal MST05-006*

Se deduce un desgaste por corrosión en aumento debido a que no existe un mantenimiento en base a la lubricación del engranaje, y por la falta de este se puede generar desgaste y desprendimiento en el contorno del diente. Además, el desgaste por abrasión es generado por un mal ajuste o choque entre dientes debido a que la distancia que debe mantener entre las caras de los dientes no es la adecuada provocando la generación de partículas que se van desgastando continuamente.

#### *3.5.3 Inspección visual corona MST06-004*

Se observa que en la corona se ha producido un desgaste superficial siendo este de picado inicial donde se observa en las paredes de los dientes ciertos cráteres de dimensiones pequeñas, además se ha producido un desgaste debido a la abrasión porque existe cierto rallado en las paredes, se puede deducir que el acoplamiento que existe entre el tornillo sin fin y la corona es inadecuado porque genera partículas que dañan las paredes de los dientes. En uno de los dientes se observa que existe un desprendimiento o desconchado, es decir, una proporción reducida de material se desprendió del diente debido a una falla por fatiga durante el funcionamiento.



**Figura 66-3:** Desprendimiento de material, Abrasión, picado inicial.

**Realizado por:** Moreno, G.; Pilco, V. 2022

#### 3.5.3.1 *Análisis de Fallos corona MST06-004*

El fallo superficial como es el desprendimiento se observa en uno de sus dientes de la corona, es decir, se deformó por la transmisión de movimiento, entre las posibles causas pueden ser que está expuesto a una desalineación entre el tornillo sin fin donde pudo estar sujeto a esfuerzos de corte, compresión o tensión y la abrasión generada por una fricción inadecuada entre el tornillo sin fin y la corona ocasionando rallado en las paredes de los dientes.

#### 3.5.4 *Inspección visual engranaje recto MST04-004*

Mediante la inspección visual se indica que el engranaje tiene picado inicial en las paredes de algunos de sus dientes (círculos rojos) esto se da por la presencia de desgaste superficial en el contacto de engranajes. Se indica que en algunos dientes posee un picado destructivo porque existen cráteres de formaciones pequeñas que en uno de ellos se observa que un esfuerzo alto en el sistema de transmisión ha provocado el desprendimiento de los perfiles del diente.

El desgaste por abrasión ocasionado por el mal contacto de los dientes genera partículas duras de bordes filosos que causan el desgaste continuo de los dientes al estar muy friccionado en el movimiento. También se establece que el engranaje ha generado óxido debido a la falta de lubricación y a la exposición directa de un ambiente muy agresivo para el sistema. Se observa una anomalía muy grave en el cuerpo del engranaje el cual ha producido que se desprendan ciertas partículas de material notándose un desgaste de torsión, pudiendo ser por un golpe fuerte o una fuerza externa muy grande que ocasionó dicha fisura.



**Figura 67-3:** Picado destructivo, picado inicial, abrasión, fisura.

**Realizado por:** Moreno, G.; Pilco, V. 2022

#### *3.5.4.1 Análisis de falla engranaje recto MST04-004*

La falla ocasionada por el picado inicial es el comienzo de una falla superficial que existe por una fricción inadecuada entre la transmisión de movimiento de engranajes, por tal motivo se debe dar un mantenimiento preventivo evitando que siga creciendo esta falla, provocando el picado destructivo como se observa en la figura (color amarillo), además, otra de las fallas que podemos encontrar es la abrasión que es el desprendimiento de partículas por la falta de lubricación y la constante fricción entre engranajes.

#### *3.5.5 Inspección visual engranaje recto MST04-002*

Al desarrollar la inspección visual se establece que el engranaje tiene picado inicial en las paredes de sus dientes (círculos rojos) debido a la existencia de desgaste superficial, el mismo que no está teniendo las precauciones adecuadas y se está convirtiendo en algunos dientes en un picado destructivo el cual es reducido, pero se va a ir incrementando si sigue existiendo un alto esfuerzo por diferentes motivos durante la transmisión de movimiento. Se observa que el engranaje en un inicio posee lubricación, pero la cual se ha ido desgastando con el tiempo, por lo tanto, se presenta pequeñas zonas con óxido y al estar expuesto al ambiente externo se puede acelerar el proceso de corrosión del material.



**Figura 68-3:** Picado destructivo, picado inicial.  
Realizado por: Moreno, G.; Pilco, V. 2022

#### *3.5.5.1 Análisis de falla engranaje recto MST04-002*

El engranaje luego del análisis visual presenta algunos fallos de picado inicial y en algunos dientes picado destructivo, debido a que existe alguna fuerza anormal que se está dando en el sistema de transmisión, además puede empezar a generar el desprendimiento de partículas que van a generar nuevos fallos de desgaste por abrasión. El desgaste por corrosión es muy reducido, pero al no estar con una lubricación adecuada existe ya la presencia de zonas con óxido que van a provocar una reducción en las características mecánicas del material.

#### *3.5.6 Inspección visual engranaje helicoidal MST05-008*

Se visualiza que el engranaje helicoidal posee desgaste superficial reducido debido a que existe picado inicial en las paredes de ciertos dientes. Un aspecto importante es la fractura de un diente y el desprendimiento de partículas de los dientes que puede ser ocasionada por la fatiga de flexión o sobrecarga generada al no estar correctamente alineado el sistema de engranajes, lo cual no ha permitido que encaje los engranajes de manera adecuada uno con otro y en su caso existió flexión y el desprendimiento de partículas (rallado) en la parte intermedia de los dientes.





**Figura 69-3:** Picado inicial, desprendimiento de partículas.

Realizado por: Moreno, G.; Pilco, V. 2022

### 3.5.6.1 Análisis de falla engranaje helicoidal MST05-008

El engranaje presenta un inicio de falla debido a un esfuerzo provocado por la fricción del engranaje generado en el inicio y el final del conjunto de engranajes, esta falla superficial es de picado inicial además ha sufrido el desprendimiento de partículas en los extremos de los dientes y en la parte intermedia pudiendo ser por un esfuerzo externo de flexión o en su defecto golpes externos.

## 3.6 Plan de mantenimiento

**Tabla 4-3:** Tareas de mantenimiento del sistema de engranajes rectos

Código del elemento	Código de Componente	Descripción	Tareas de mantenimiento	Frecuencia
IM-LC-BD-MST04	MST04-002	Engranaje recto de 35 dientes	Limpiar el polvo, residuos de material o limallas	Semanal
			Revisar la lubricación en el engranaje	Semanal
			Verificar que se encuentre alineado con el engranaje continuo	Mensual
			Ajustar los prisioneros tomando en cuenta la alineación entre engranajes	Semanal
	Verificar que no exista fricción en el movimiento entre engranajes	Semanal		
	MST04-004	Engranaje recto de 39 dientes	Limpiar el polvo, residuos de material o limallas	Semanal
			Revisar la lubricación en el engranaje	Semanal

			Verificar que se encuentre alineado con el engranaje continuo	Mensual
			Ajustar los prisioneros tomando en cuenta la alineación entre engranajes	Semanal
			Verificar que no exista fricción en el movimiento entre engranajes	Semanal
	MST04-006	Engranaje recto de 56 dientes	Limpiar el polvo, residuos de material o limallas	Semanal
			Revisar la lubricación en el engranaje	Semanal
			Verificar que se encuentre alineado con el engranaje continuo	Mensual
			Ajustar los prisioneros tomando en cuenta la alineación entre engranajes	Semanal
			Verificar que no exista fricción en el movimiento entre engranajes	Semanal
	MST04-008 MST04-010	Base engranaje recto de 39 dientes Base engranaje recto de 56 dientes	Limpieza de residuos o polvo	Semanal
			Verificar la ubicación de la base se encuentre centrada con el engranaje	Semanal
			Ajustar los prisioneros tomando en cuenta la ubicación	Semanal
	MST04-012 MST04-014 MST04-016	Eje 1" engranaje recto de 35 dientes Eje 3/4" engranaje recto de 39 dientes Eje 3/4" engranaje recto de 56 dientes	Limpiar el polvo o residuos de materiales externos	Semanal
			Verificar que se encuentre alineado formando 90° con la base	Mensual
			Ajustar los prisioneros	Semanal
	MST04-018 MST04-020	Chumacera de piso A y B eje de engranajes rectos	Limpiar el polvo o residuos de materiales externos	Semanal
			Ajustar los pernos que sujeta a la base	Semanal
			Revisar que no exista atascamiento del rodamiento	Mensual
			Revisar que exista lubricación en los rodamientos internos	Mensual
	MST04-022 MST04-024	Eje 3/4 deslizante A y B de bases	Limpiar el polvo o residuos de materiales externos	Semanal
			Revisar la lubricación para el deslizamiento	Semanal
			Ajustar los bocines de los extremos del eje	Mensual

Realizado por: Moreno, G.; Pilco, V. 2022



**Tabla 5-3:** Tareas de mantenimiento del sistema de engranajes helicoidales

<b>Código del elemento</b>	<b>Código de Componente</b>	<b>Elemento</b>	<b>Tareas de mantenimiento</b>	<b>Frecuencia</b>
IM-LC-BD-MST05	MST05-002	Engranaje helicoidal de 43 dientes	Limpiar el polvo, residuos de material o limallas	Semanal
			Revisar la lubricación en el engranaje	Semanal
			Verificar que se encuentre alineado con el engranaje continuo	Mensual
			Ajustar los prisioneros tomando en cuenta la alineación entre engranajes	Semanal
			Verificar que no exista fricción en el movimiento entre engranajes	Semanal
	MST05-004	Engranaje helicoidal de 31 dientes	Limpiar el polvo, residuos de material o limallas	Semanal
			Revisar la lubricación en el engranaje	Semanal
			Verificar que se encuentre alineado con el engranaje continuo	Mensual
			Ajustar los prisioneros tomando en cuenta la alineación entre engranajes	Semanal
			Verificar que no exista fricción en el movimiento entre engranajes	Semanal
	MST05-006	Engranaje helicoidal de 48 dientes	Limpiar el polvo, residuos de material o limallas	Semanal
			Revisar la lubricación en el engranaje	Semanal
			Verificar que se encuentre alineado con el engranaje continuo	Mensual
			Ajustar los prisioneros tomando en cuenta la alineación entre engranajes	Semanal
			Verificar que no exista fricción en el movimiento entre engranajes	Semanal
MST05-008 MST05-010	Base engranaje helicoidal de 31 y 48 dientes	Limpeza de residuos o polvo	Semanal	
		Verificar la ubicación de la base se encuentre centrada con el engranaje	Semanal	
		Ajustar los prisioneros tomando en cuenta la ubicación	Semanal	
MST05-012 MST05-014 MST05-016	Eje 1" engranaje helicoidal de 43 dientes Eje 3/4" engranaje helicoidal de 31 y 48 dientes	Limpiar el polvo o residuos de materiales externos	Semanal	
		Verificar que se encuentre alineado formando 90° con la base	Mensual	
		Ajustar los prisioneros	Semanal	
MST05-018 MST05-020	Chumacera de piso A y B eje de	Limpiar el polvo o residuos de materiales externos	Semanal	

		engranajes helicoidales	Ajustar los pernos que sujeta a la base	Semanal
			Revisar que no exista atascamiento del rodamiento	Mensual
			Revisar que exista lubricación en los rodamientos internos	Mensual
	MST05-022 MST05-024	Eje 3/4 deslizante A y B de bases	Limpiar el polvo o residuos de materiales externos	Semanal
			Revisar la lubricación para el deslizamiento	Semanal
			Ajustar los bocines de los extremos del eje	Mensual

Realizado por: Moreno, G.; Pilco, V. 2022

**Tabla 6-3:** Tareas de mantenimiento del sistema de tornillo sin fin

Código del elemento	Código de Componente	Elemento	Tareas de mantenimiento	Frecuencia
IM-LC-BD-MST06	MST06-002	Tornillo sin fin	Limpiar el polvo, residuos de material o limallas	Semanal
			Revisar la lubricación en el engranaje	Semanal
			Verificar que se encuentre alineado con el engranaje continuo	Mensual
			Ajustar los prisioneros tomando en cuenta la alineación entre engranajes	Semanal
			Verificar que no exista fricción en el movimiento entre engranaje	Semanal
	MST06-004	Corona de 28 dientes	Limpiar el polvo, residuos de material o limallas	Semanal
			Revisar la lubricación en el engranaje	Semanal
			Verificar que se encuentre alineado con el engranaje continuo	Mensual
			Ajustar los prisioneros tomando en cuenta la alineación entre engranajes	Semanal
			Verificar que no exista fricción en el movimiento entre engranaje	Semanal
	MST06-006	Engranaje recto de 27 dientes	Limpiar el polvo, residuos de material o limallas	Semanal
			Revisar la lubricación en el engranaje	Semanal
			Verificar que se encuentre alineado con el engranaje continuo	Mensual
			Ajustar los prisioneros tomando en cuenta la alineación entre engranajes	Semanal
			Verificar que no exista fricción en el movimiento entre engranaje	Semanal
MST06-008	Engranaje recto de 24 dientes	Limpiar el polvo, residuos de material o limallas	Semanal	

			Revisar la lubricación en el engranaje	Semanal
			Verificar que se encuentre alineado con el engranaje continuo	Mensual
			Ajustar los prisioneros tomando en cuenta la alineación entre engranajes	Semanal
			Verificar que no exista fricción en el movimiento entre engranaje	Semanal
	MST06-010 MST06-012	Base engranaje recto de 27 dientes y corona Base engranaje recto de 24 dientes	Limpieza de residuos o polvo	Semanal
			Verificar la ubicación de la base se encuentre centrada con el engranaje	Semanal
			Ajustar los prisioneros tomando en cuenta la ubicación	Semanal
	MST06-014 MST06-016	Eje 3/4" engranaje recto de 27 y 24 dientes	Limpia el polvo o residuos de materiales externos	Semanal
			Verificar que se encuentre alineado formando 90° con la base	Mensual
			Ajustar los prisioneros	Semanal
	MST06-018 MST06-020 MST06-022 MST06-024	Chumacera de piso A eje corona Chumacera de piso B, C y D eje de tornillo sin fin	Limpia el polvo o residuos de materiales externos	Semanal
			Ajustar los pernos que sujeta a la base	Semanal
			Revisar que no exista atascamiento del rodamiento	Mensual
			Revisar que exista lubricación en los rodamientos internos	Mensual
	MST06-026 MST06-028	Eje 3/4" deslizante A y B base de corona	Limpia el polvo o residuos de materiales externos	Semanal
			Revisar la lubricación para el deslizamiento	Semanal
			Ajustar los bocines de los extremos del eje	Mensual

Realizado por: Moreno, G.; Pilco, V. 2022

**Tabla 7-3:** Tareas de mantenimiento de los elementos de accionamiento

Código del elemento	Descripción	Tareas de mantenimiento	Frecuencia
IM-LC-BD-EME01	Motor Eléctrico	Limpia el polvo, residuos de material o limallas	Semanal
		Comprobar estado en los puntos de conexión eléctrica	Semanal
		Comprobar engrase y estado de los rodamientos	Mensual
		Ajustar los pernos base	Mensual
		Examinar si existen señales de humedad grasa o aceite en el interior del motor	Mensual
		Verificar que no exista sonidos que identifique posibles vibraciones o desalineación	Semanal
		Comprobar el estado de la carcasa y el sistema de ventilación	Semanal

IM-LC-BD-MRD01	Reductor de velocidad	Limpiar el polvo, residuos de material o limallas	Semanal
		Revisar la lubricación en el engranaje	Semanal
		Verificar que se encuentre alineado con el engranaje continuo	Mensual
		Revisar el nivel de aceite del reductor y si es necesario reponerlo.	Mensual
		Verificar que no exista fricción en el movimiento entre engranaje	Mensual
IM-LC-BD-ETA01	Tablero de control	Verificar que el sistema este conectado a tierra	Semanal
		Revisar los empalmes o puntos de conexión eléctrica	Semanal
		Observar el estado de los cables y elementos electromecánicos	Mensual
		Revisar que no exista sobrecarga o temperatura excesiva en los elementos eléctricos	Mensual
		Medición de los parámetros eléctricos en funcionamiento	Semanal
IM-LC-BD-MST01	Sistema de transmisión por acople entre motor y reductor	Limpiar el polvo, residuos de material o limallas	Semanal
		Verificar alineación entre motor y reductor	Mensual
		Revisar ajuste de prisioneros	Mensual

Realizado por: Moreno, G.; Pilco, V. 2022

Código del elemento	Código de Componente	Descripción	Tareas de mantenimiento	Frecuencia
IM-LC-BD-MST02	MST02-002 MST02-004	Catalina A de 36 dientes Catalina B de 36 dientes	Limpeza de residuos o polvo	Semanal
			Revisar la lubricación de la catalina	Semanal
			Revisar la alineación de las catalinas 1 y 2	Mensual
			Ajustar los prisioneros	semanal
			Verificar que no exista fricción en la transmisión	Semanal
	MST02-006	Cadena		Semanal
			Verificar que no estén flojos los rodillos	Mensual
			Revisar que exista lubricación en la cadena	Semanal

Realizado por: Moreno, G.; Pilco, V. 2022

Código del elemento	Código de Componente	Descripción	Tareas de mantenimiento	Frecuencia
IM-LC-BD-MST03	MST03-002	Engranaje cónico de 16 dientes	Limpiar el polvo, residuos de material o limallas	Semanal
			Revisar la lubricación en el engranaje	Semanal
			Verificar que se encuentre alineado con el engranaje continuo	Mensual

			Ajustar los prisioneros tomando en cuenta la alineación entre engranajes	Semanal
			Verificar que no exista fricción en el movimiento entre engranaje	Semanal
	MST03-004	Engranaje cónico de 16 dientes	Limpia el polvo, residuos de material o limallas	Semanal
			Revisar la lubricación en el engranaje	Semanal
			Verificar que se encuentre alineado con el engranaje continuo	Mensual
			Ajustar los prisioneros tomando en cuenta la alineación entre engranajes	Semanal
			Verificar que no exista fricción en el movimiento entre engranaje	Semanal

**Realizado por:** Moreno, G.; Pilco, V. 2022

## CONCLUSIONES

Se realizó la construcción del banco didáctico para el reconocimiento y montaje de los mecanismos por engranajes rectos, helicoidales y tornillo sin fin para transmisión de potencia, teniendo en cuenta que el módulo no se encuentra herméticamente cerrado, sus componentes están expuestos permitiendo que los fallos superficiales puedan ser analizados mediante inspección visual, dicho análisis permite enriquecer y evaluar los conocimientos adquiridos de los estudiantes de la Carrera de Mantenimiento Industrial.

Se desarrolló el diseño estructural del módulo teniendo en cuenta las tres secciones de los sistemas de transmisión por engranajes según un análisis técnico, para ello se realizó el levantamiento dimensional de las piezas mecánicas y los equipos electromecánicos, los cuales fueron diseñados en el software CAD SolidWorks académico para la distribución y el ensamblaje.

Se estableció tres secciones de sistemas de transmisión contemplado entre engranajes rectos, helicoidales y tornillo sin fin por ser los más utilizados dentro de las transmisiones de potencia en el ámbito industrial, considerando una velocidad de salida de 107 rpm, 152 rpm y 31 rpm respectivamente, teniendo en cuenta una velocidad de ingreso de 170 rpm desarrollada por el elemento motriz y la caja reductora. Con estos datos se realizó los cálculos de relación de transmisión y velocidad, obteniendo el número de dientes de cada engranaje según su sistema de transmisión.

Se analizó los fallos producidos durante el funcionamiento del módulo didáctico al detectar anomalías como desgaste, deterioro y otros efectos producidos cuando no existe un mantenimiento preventivo o en su defecto correctivo, provocando paradas inesperadas, para ello la inspección visual permitió reconocer los siguientes fallos en los sistemas de transmisión; picado destructivo, picado inicial, desprendimiento de partículas, abrasión, fisura, fractura por fatiga de flexión o sobrecarga y corrosión, siendo el fallo de picado inicial el más común en los tres sistemas.

Se elaboró un plan de mantenimiento mediante un conjunto de actividades o tareas que se requieren implementar en cada componente de los sistemas de transmisión y la frecuencia para su ejecución, con la finalidad que el sistema cumpla correctamente su función durante su tiempo de vida útil, para ello, se realizó una codificación con el objetivo de reconocer cada uno de los elementos. Además, se establece una guía práctica de montaje para los estudiantes.

## **RECOMENDACIONES**

Es importante mantener hojas de seguimiento para el mantenimiento desarrollado durante las prácticas dentro de la formación del estudiante, para establecer un protocolo de supervisión a nivel industrial.

Incorporar normas de seguridad durante el proceso de montaje con la finalidad de evitar accidentes o daños, además de disponer de equipos de protección personal EPP.

Previo al análisis de fallos superficiales se deben establecer los parámetros que se realizan dentro de la inspección visual, con la finalidad de reconocer los efectos producidos en los sistemas de transmisión.

Ejecutar nuevos estudios en el área de control y automatización industrial con el objetivo de reconfigurar el banco didáctico a un sistema automático o que se asemeje a un proceso de manufactura, permitiendo al estudiante reconocer sistemas electromecánicos y de control

## **GLOSARIO**

**Acción Correctiva:** Acción tomada para eliminar las causas de una no conformidad, defecto o cualquier situación indeseable existente, para evitar su repetición.

**Acción Preventiva:** Acción tomada para eliminar las causas de una no conformidad, defecto o cualquier situación indeseable potencial, con el fin de evitar que se produzca.

**Avería:** Cese de la capacidad de un ítem para realizar su función específica, equivalente al término falla.

**Capacidad:** Habilidad o pericia para llevar a cabo una determinada tarea.

**Ciclo de Vida:** Plazo de tiempo durante el cual un Ítem conserva su capacidad de utilización. El periodo va desde su compra hasta que es substituido o es objeto de restauración.

**Fiabilidad:** La probabilidad de que una maquina no falle, es decir, funcione satisfactoriamente dentro de los límites de desempeño establecidos, en una determinada etapa de su vida útil.

**Reparación:** Trabajos efectuados para corregir los daños que haya tenido un recurso, o los defectos de fabricación que esté presente, o una de sus partes.



## BIBLIOGRAFÍA

**ANSI/AGMA 1010-E95.** *Appearance or Gear Teeth-Terminology of Wear and Failure.*

**Budynas, R; & Keith, J.** *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley.* Mexico : The McGraw-Hill, 2008. ISBN 13: 978-0-07-312193-2. pp. 1-37.

**Carvajal, D.; & Rojas, M.** Banco de pruebas de sistemas de transmisión de potencia. (Trabajo de grado). [En línea] 2010, pp 25-30. [Consulta: 28 de Marzo de 2020.] Disponible en: [https://repository.upb.edu.co/bitstream/handle/20.500.11912/1095/digital\\_19134.pdf?sequence=1](https://repository.upb.edu.co/bitstream/handle/20.500.11912/1095/digital_19134.pdf?sequence=1).

**Cegarra, M.** Optimización de herramientas de monitorización para el mantenimiento predictivo de maquinaria lenta y de velocidad variable. (Trabajo final de carrera). [En línea] Universitat Politecnica de Catalunya, 2010. pp 5-10. [Consulta: 2021-05-13]. Disponible en: [https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/11256/PFC\\_2-110.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/11256/PFC_2-110.pdf?sequence=1&isAllowed=y).

**Compañía Levantina de Reductores.** *¿Engranajes helicoidales o engranajes rectos?.* [blog]. 2017. [Consulta: 2021-08-05]. Disponible en: <https://clr.es/blog/es/engranajes-rectos-engranajes-helicoidales/>.

—. **2016.** Elementos mecánicos de transmisión: Tipos de engranajes y utilidad. Alicante : Compañía Levantina de reductores, 2016.

—. **2017.** Ventajas y desventajas del husillo sinfín. *CLR.* [En línea]. 2017. [Consulta: 2021-08-01]. Disponible en: <https://clr.es/blog/es/ventajas-y-desventajas-del-husillo-sinfin/>.

**Cordova, G.** Cómo funciona un reductor de velocidad. [blog]. [En línea]. 2019. pp. 1-37. [Consulta: 2020-03-30.] Disponible en: <https://inducom-ec.com/como-funciona-un-reductor-de-velocidad/>.

**Díaz, F.** Engranajes: Historia, fabricación y fallas. [En línea] 2013. pp. 1-37. [Consulta: 2021-05-07]. Disponible en: [http://olimpia.cuautitlan2.unam.mx/pagina\\_ingenieria/mecanica/mat/mat\\_mec/m1/Engranajes%20historia%20fabricacion%20fallas.pdf](http://olimpia.cuautitlan2.unam.mx/pagina_ingenieria/mecanica/mat/mat_mec/m1/Engranajes%20historia%20fabricacion%20fallas.pdf).

**Espinoza, J.** *Análisis de la falla de fatiga por flexión en la raíz de un diente de engranaje recto.* España : s.n., 2007. pp. 1-46.

**Flores, J.** Sistemas de transmisión mecánica (Trabajo de aplicación). [En línea] Universidad Mayor de San Andrés, 2018. pp. 30-42. [Consulta: 2020-12-15.] Disponible en: <https://repositorio.umsa.bo/bitstream/handle/123456789/15454/EG-1080-%20Flores%20Garc%C3%ADa%2C%20Juan%20Carlos.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

**Galbarro, H.** *Transmisión por cadenas, cálculo y diseño*. [blog]. 2022. pp. 23-26. [Consulta: 2022-02-14]. Disponible en: <https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn127.html>

**Guerra, C.** *Análisis y síntesis de mecanismos con aplicaciones*. México : Grupo Editorial Patria, 2015. 9786077442684.

**Jiménez, B.** *Montaje y reparación de los sistemas mecánicos*. Andalucía : IC Edditorial, 2012. 9788415792383.

**JORESA**, "Cadenas de Rodillos", *EJoresa*, (2010), (España), pp 58- 60.

**Landín, P.** Máquinas y mecanismos. [En línea] 2020. pp. 8-15. [Consulta: 2020-12-16.] Disponible en <https://www.edu.xunta.gal/centros/iesfelixmuriel/system/files/M%C3%A1quinas%20y%20mecanismos.pdf>.

**Lindis, L.** Engranajes de tornillos sinfín: estándar o customizados. [En línea] 2016. pp. 12-18. [Consulta: 2021-08-05]. Disponible en: [http://www.interempresas.net/Componentes\\_Mecanicos/FeriaVirtual/Producto-Engranajes-de-tornillos-sinfin-KHK-171451.html](http://www.interempresas.net/Componentes_Mecanicos/FeriaVirtual/Producto-Engranajes-de-tornillos-sinfin-KHK-171451.html).

**Lojano, F.** Señales acústicas y de vibración. (Trabajo de titulación) . [En línea] Universidad Politecnica Saleciana sede Cuenca, 2019. pp. 37-52. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/18212/1/UPS-CT008654.pdf>.

**Lozano, J; & Soria, F.** Mecanismos. [En línea] 2009. pp. 5-12. [Consulta: 2020-12-21.] Disponible en: [https://mestreacasa.gva.es/web/guest/tecnologias\\_eso\\_1\\_6?p\\_p\\_id=101\\_INSTANCE\\_MsG\\_T&p\\_p\\_action=0&p\\_p\\_state=maximized&p\\_p\\_mode=view&p\\_p\\_col\\_id=column-](https://mestreacasa.gva.es/web/guest/tecnologias_eso_1_6?p_p_id=101_INSTANCE_MsG_T&p_p_action=0&p_p_state=maximized&p_p_mode=view&p_p_col_id=column-)

[2&p p col count=1& 101 INSTANCE MsGT struts action=%2Ftagged\\_content%2Fview\\_content& 101 INSTANCE MsGT redir.](#)

**MÁQUINAS Y EQUIPOS.** Transmisiones mecánicas. [En línea] pp. 6-8. [Consulta: 2020-12-25]. Disponible en: <https://maquinasyequipos.com.ar/transmisiones-mecanicas/>.

**Martínez A; et al.** Cálculo del circuito que alimenta a un motor eléctrico. [En línea] Universidad Politécnica de Valencia, 2015. pp. 12-15. [Consulta: 2022-02-14.] Disponible en: [chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/viewer.html?pdfurl=https%3A%2F%2Friunet.upv.es%2Fbitstream%2Fhandle%2F10251%2F51872%2FOA\\_CALCULO\\_MOTO\\_RES.pdf%3Fsequence%3D3&clen=322273](chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/viewer.html?pdfurl=https%3A%2F%2Friunet.upv.es%2Fbitstream%2Fhandle%2F10251%2F51872%2FOA_CALCULO_MOTO_RES.pdf%3Fsequence%3D3&clen=322273)

**MecatrónicaLATAM.** Engranajes rectos. *MecatrónicaLATAM*. [En línea] 06 de 2021. pp. 3-5. [Consulta: 2021-08-05.] Disponible en: <https://www.mecatronicalatam.com/es/tutoriales/mecanica/mecanismos/engranaje/engranajes-rectos/>.

**Méndez C.; et al.** *Los engranajes, su diseño y las fallas que presentan.* [blog]. 2013. Scribd. pp. 7-9. [Consulta: 26-01-2022]. Disponible en: <https://www.scribd.com/document/366775312/Engranajes-Su-Diseno-y-Fallas-Que-Presentan>

**Mott, R.** *Diseño de elementos de maquinas.* Mexico : Pearson Educación, 2006. ISBN: 970-26-0812-0.

**Myszka, D.** *Máquinas y mecanismos.* México : Pearson, 2012. 978-607-32-1216-8.

**Nieto, C.; et al.,** Mantenimiento de reductores de velocidad. [documento web]. [En línea] 2015. pp 17-19 [Consulta: 2020-03-31.] [https://www.academia.edu/18094805/14\\_MANTENIMIENTO\\_REDUCTORES\\_DE\\_VELOCIDAD](https://www.academia.edu/18094805/14_MANTENIMIENTO_REDUCTORES_DE_VELOCIDAD).

**Peréz, J.** Optimización multicriterial aplicada al diseño de engranajes cilíndricos metálicos de dientes oblicuos (Trabajo de diploma). s.l. : Universidad Central Martha "ABREU" de las Villas, 2014. pp-30-42

**González, G.** 2, España : Revista de Ingeniería mecánica,, 2008, Vol. 11. pp. 35-41.

**Reshetov, D.** *Elementos de Máquinas.* s.l. : Ed. Mir Moscú, 1981.

**Roda, A.; et al.,** *Máquinas y mecanismos.* Valencia : Universitat Politècnica de València, 2016. 9788490485132.

**Rodríguez, Á.** Consideraciones acerca del Diseño de los Engranajes Cilíndricos de Dientes Rectos aplicables a su recuperación. 2001. Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas.

**Rodriguez, D.** *Deterioro y modos de fallo en engranajes.* Mexico : s.n., 2014.

**Sallán, J.** Mecanismos. [En línea] 12 de abril de 2012. [Consulta: 2020-12-15.] Disponible en: <http://iesparquegoya.es/files/tecnologia/mecanismos/mecanismos10-11%20pirmera%20parte.pdf>.

**Sánchez, F.; et al.** Mantenimiento mecánico de máquinas. [En línea] 2007. pp-23-36. Disponible en: <https://ebookcentral.proquest.com/lib/epochsp/reader.action?docID=3216894&query=Lubricacion+de+reductores.9788415443896>.

**SENA.** Elementos de máquinas. [En línea] 1985. pp 42-27. Disponible en: [https://repositorio.sena.edu.co/sitios/elementos\\_maquinas/pdf/1-desmontaje-de-elementos-de-maquinas.pdf](https://repositorio.sena.edu.co/sitios/elementos_maquinas/pdf/1-desmontaje-de-elementos-de-maquinas.pdf).

**Suarés, J.** Deterioro y modo de fallo en engranajes. Repositorio Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas. [En línea] 2017. [Consulta: 2021-07-04.] Disponible en: <https://dspace.uclv.edu.cu/bitstream/handle/123456789/8537/Suarez%20Michelena%2C%20Jos%C3%A9%20Alejandro.pdf?sequence=1&isAllowed=n>.

**Ulloa, L; & Vasco, O.** Diseño y construcción de una máquina para ensayo de engranajes rectos sometidos a fatiga. Repositorio Universidad Politécnica Salesiana. [En línea] 2020. pp14-21 [Consulta: 2021-07-05] Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/19207/1/UPS%20-%20TTS139.pdf>.

**VEM.** Instrucciones de montaje, manejo y mantenimiento. [En línea]. 2015. pp 9-11. Disponible en: [https://www.vem-group.com/fileadmin/content/pdf/Produkte\\_Komponente/Niederspannung/Downloads/buw\\_es.pdf](https://www.vem-group.com/fileadmin/content/pdf/Produkte_Komponente/Niederspannung/Downloads/buw_es.pdf).

**White, G.** Introducción al Análisis de Vibraciones . [En línea]. 2010. pp-15-16. Disponible en: <https://termogram.com/images/pdf/analisis-vibraciones/introduccion-al-analisis-de-vibraciones-azima-dli.pdf>.

## ANEXOS

### ANEXO A: TABLA DE SELECCIÓN DE FACTOR DE SEGURIDAD PARA ESTRUCTURAS

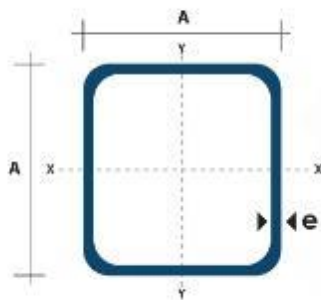
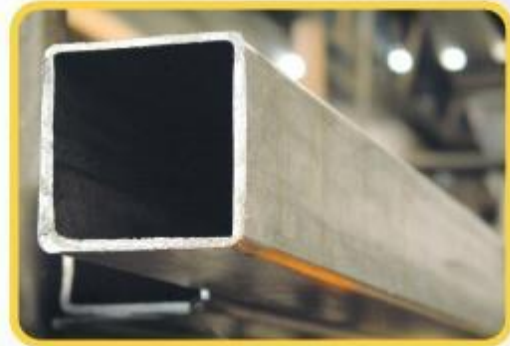
Aplicaciones	Factor de seguridad - FOS -
Para uso con materiales altamente confiables donde la carga y las condiciones ambientales no son severas y donde el peso es una consideración importante	1.3 - 1.5
Para usar con materiales confiables donde la carga y las condiciones ambientales no son severas	1.5 - 2
Para uso con materiales ordinarios donde la carga y las condiciones ambientales no son severas	2 - 2,5
Para uso con materiales menos probados y quebradizos donde la carga y las condiciones ambientales no son severas	2.5 - 3
Para uso con materiales donde las propiedades no son confiables y donde las condiciones ambientales y de carga no son severas, o donde se usan materiales confiables bajo condiciones ambientales difíciles	3 - 4

## ANEXO B: TABLA DE SELECCIÓN DE PERILES CUADRADOS

### TUBO ESTRUCTURAL CUADRADO

#### Especificaciones Generales:

<b>Norma:</b>	NTE INEN 2415
<b>Calidad:</b>	SAE J 403 1008
<b>Acabado:</b>	Acero negro o Galvanizado
<b>Largo Normal:</b>	6.00m y medidas especiales
<b>Dimensiones:</b>	Desde 20mm a 100mm
<b>Espesores:</b>	Desde 1,20mm a 5,00mm



Dimensiones			Área	Ejes X-Xe Y-Y		
A mm	Espesor mm (e)	Peso Kg/m	Área cm <sup>2</sup>	I cm <sup>4</sup>	W cm <sup>3</sup>	i cm <sup>3</sup>
20	1.2	0.72	0.90	0.53	0.53	0.77
20	1.5	0.88	1.05	0.58	0.58	0.74
20	2.0	1.15	1.34	0.69	0.69	0.72
25	1.2	0.90	1.14	1.08	0.87	0.97
25	1.5	1.12	1.35	1.21	0.97	0.95
25	2.0	1.47	1.74	1.48	1.18	0.92
30	1.2	1.09	1.38	1.91	1.28	1.18
30	1.5	1.35	1.65	2.19	1.46	1.15
30	2.0	1.78	2.14	2.71	1.81	1.13
40	1.2	1.47	1.80	4.38	2.19	1.25
40	1.5	1.82	2.25	5.48	2.74	1.56
40	2.0	2.41	2.94	6.93	3.46	1.54
40	3.0	3.54	4.44	10.20	5.10	1.52
50	1.5	2.29	2.85	11.06	4.42	1.97
50	2.0	3.03	3.74	14.13	5.65	1.94
50	3.0	4.48	5.61	21.20	4.48	1.91
60	2.0	3.66	3.74	21.26	7.09	2.39
60	3.0	5.42	6.61	35.06	11.69	2.34
75	2.0	4.52	5.74	50.47	13.46	2.97
75	3.0	6.71	8.41	71.54	19.08	2.92
75	4.0	8.59	10.95	89.98	24.00	2.87
100	2.0	6.17	7.74	122.99	24.60	3.99
100	3.0	9.17	11.41	176.95	35.39	3.94
100	4.0	12.13	14.95	226.09	45.22	3.89
100	5.0	14.40	18.36	270.57	54.11	3.84

ANEXO C: TABLA DE SELECCIÓN DE CALIBRE CONDUCTOR

<b>INDECO</b>						
<b>CAPACIDAD DE CORRIENTE</b>						
<b>CALIBRE AWG/MCM</b>	<b>SECCION mm<sup>2</sup></b>	<b>AIRE</b>				
		<b>TW-70</b>	<b>THW-75</b>	<b>TW-80</b>	<b>THW-90</b>	<b>THHW-90</b>
<b>14</b>	2.08	25	30	28	35	35
	<b>2.5</b>	27	32	30	37	37
<b>12</b>	3.31	30	35	33	40	40
	<b>4</b>	32	40	35	45	45
<b>10</b>	5.26	40	50	44	56	56
	<b>6</b>	45	52	50	61	61
<b>8</b>	8.37	60	70	66	80	80
	<b>10</b>	67	78	74	88	88
<b>6</b>	13.3	80	95	88	107	107
	<b>16</b>	90	110	99	124	124
<b>4</b>	21.15	105	125	116	141	141
	<b>25</b>	120	140	132	158	158
<b>2</b>	33.62	140	170	154	192	192
	<b>35</b>	150	175	165	197	197
	<b>50</b>	185	215	204	245	245
<b>1/0</b>	53.49	195	230	215	260	260
<b>2/0</b>	67.43	225	265	248	300	300
	<b>70</b>	230	270	253	307	307
<b>3/0</b>	85.01	260	310	286	350	350
	<b>95</b>	275	330	303	375	375
<b>4/0</b>	107.2	300	360	330	406	406
	<b>120</b>	320	380	352	437	437
<b>250</b>	127	340	405	374	457	457
	<b>150</b>	375	440	413	501	501
<b>300</b>	152	375	445	413	505	505



**ANEXO D: GUÍA PRÁCTICA PARA EL MONTAJE Y ANÁLISIS DE FALLOS DE SISTEMAS DE TRANSMISIÓN POR ENGRANAJES RECTOS, HELICOIDALES Y TORNILLO SIN FIN.**

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO  
VICERRECTORADO ACADÉMICO  
DIRECCIÓN DE DESARROLLO ACADÉMICO**



**FACULTAD: MECÁNICA**

**CARRERA: MANTENIMIENTO INDUSTRIAL**

**GUÍA DE PRÁCTICA DEL LABORATORIO  
DE MANTENIMIENTO CORRECTIVO**

**CÓDIGO DE LA ASIGNATURA**

**LUGAR DONDE SE REALIZA LA PRÁCTICA:  
TALLER DE MANTENIMIENTO CORRECTIVO**

## **PRÁCTICA No. 01**

### **MONTAJE Y ANÁLISIS DE FALLOS DE SISTEMAS DE TRANSMISIÓN POR ENGRANAJES RECTOS, HELICOIDALES Y TORNILLO SIN FIN**

**FECHA:** 2022-01-24

#### **1. OBJETIVO:**

Realizar el montaje y análisis de fallos de los sistemas de transmisión por engranajes rectos, helicoidales y tornillo sin fin, mediante la determinación de los elementos que conforman el banco didáctico, mejorando así las habilidades prácticas de los estudiantes de la Carrera de Mantenimiento Industrial en el reconocimiento de sistemas de transmisión de potencia.

#### **2. INSTRUCCIONES**

La práctica de laboratorio se desarrollará mediante el cumplimiento secuencial de los siguientes pasos:

- 2.1 El método utilizado en la elaboración de la guía de laboratorio fue el descriptivo, dado que se centra en detallar todos los aspectos relacionados con el objeto de estudio.
- 2.2 Realizar la desconexión de la fuente de energía de 220V, precautelando la integridad física de los estudiantes.
- 2.3 Realizar una inspección visual del estado actual del equipo, con el propósito de tener una referencia de los daños actuales.
- 2.4 Utilizar EPP durante el montaje y desmontaje.
- 2.5 Se debe reconocer las herramientas que se van a utilizar en este caso: llaves mixtas – llaves hexagonales - destornilladores aislados.
- 2.6 Reconocer el orden del montaje siguiendo la codificación presente en cada elemento.
- 2.7 Para realizar la práctica de montaje primero separamos el equipo en 3 partes:
  - Elemento Motriz
  - Mecanismo
  - Elemento receptor
- 2.8 Teniendo en claro cada uno de los aspectos mencionados con anterioridad, procedemos a realizar el montaje del banco didáctico.

### 3. PROCEDIMIENTO:

Las actividades o etapas en forma secuencial para el desarrollo de la práctica, se indican de la siguiente manera:

#### 3.1 Equipos de protección personal

- Guantes
- Gafas de seguridad
- Mandil

#### 3.2 Equipos y herramientas



**Llaves mixtas**



**Llaves hexagonales**



**Destornilladores aislados**

### 3.2.1 Desarrollo



⚠ Utilizar los EPP durante todo el proceso de montaje.

- Como primer punto reconocemos cada uno de los elementos según la codificación presente en cada uno de ellos.

#### **MONTAJE DEL SISTEMA DE TRANSMISIÓN DE ENGRANES RECTOS**

- Se reconoce las chumaceras MST04-018 y MST04-020, para ser colocadas en la parte superior e inferior, las mismas que van acoplarse al eje MST04-012, previo a su inserción se debe incluir el engrane MT04-002, la catalina MST02-002 y la cadena MST02-006.
- Se procede a colocar los ejes MST04-022 y MST04-024 a media longitud en los bocines de acoplamiento, con el objetivo de incluir la base MST04-008 y MST04-010 respectivamente.
- Los ejes MST04-014 y MST04-016 se introducen en las bases según su detalle técnico, tener en cuenta el ajuste de los prisioneros.
- Se procede a colocar los engranes MST04-004 y MST04-006 en los respectivos ejes (bases), se debe ajustar los prisioneros hasta la ubicación del sistema de engranes (alineación). Finalmente se termina de colocar los ejes MST04-022 y MST04-024.

#### **MONTAJE DEL SISTEMA DE TRANSMISIÓN DE ENGRANES HELICOIDALES**

- Para el montaje del segundo sistema se procede a colocar las chumaceras MST05-018 y MST05-020 en la parte superior e inferior, para la inserción del eje MST05-012 se debe tener en cuenta que primero se debe acoplar la caja reductora en la parte superior de la estructura, la misma que va a transmitir el movimiento a los diferentes sistemas, a continuación se procede a insertar el eje desde la parte inferior tomando en cuenta el ajuste de la chaveta en el reductor, antes de ajustar se incluye la catalina MST02-004, cadena MST02-006 y el engrane cónico MST03-002 (dientes en dirección hacia la parte superior) y el engrane helicoidal MST05-002.

- Se ingresa los ejes MST05-022 y MST05-024 en los bocines a media longitud para el ingreso de las bases MST05-014 y MST05-016 respectivamente.
- Los ejes MST05-014 y MST05-016 se introducen en las bases según las especificaciones técnicas para el ajuste de los mismos.
- Se procede a introducir los engranes helicoidales MST05-004 y MST05-006 respectivamente en los ejes, y se ajusta mediante los prisioneros de forma que se encuentre alineados.
- Finalmente se complementa el ingreso de los ejes MST05-022 y MST05-024 a los bocines para proceder con el ajuste y el acoplamiento de las bases según vayan encajando los engranes helicoidales.

### **MONTAJE DEL SISTEMA DE TRANSMISION POR TORNILLO SIN FIN**

- Para el acople del tornillo sin fin se coloca las chumaceras MST06-018, MST06-020 y MST06-022 (cantidad 3) de forma horizontal para proceder a colocar el eje de transmisión con una distancia establecida en la parte frontal de la estructura, para ello se introduce el engrane cónico MST03-004 acoplado al eje y a continuación el tornillo sin fin MST06-002 como se muestra en la figura 63-3
- Además, se coloca la chumacera MST06-018 para el acoplamiento y sujeción del eje MST06-014.
- Se procede a incluir los ejes MST06-024 y MST06-026 en los bocines hasta media longitud e insertar las bases MST06-010 y MST06-012 respectivamente en los ejes para su acoplamiento.
- A continuación, se escoge los ejes MST06-014 y MST06-016 para introducir en las bases asignadas para realizar el ajuste mediante los prisioneros.
- Se acopla los engranes rectos MST06-006 y MST06-008 en los ejes respectivos, para ello se ajusta los prisioneros y se alinean los engranes.
- Finalmente, se acoplan los ejes MST06-024 y MST06-026 a los bocines para completar el ajuste y el deslizamiento de las bases para encajar con el juego de engranes, evitando la fricción durante la transmisión de movimiento

### **3.3 Manejo de instrumentos y equipos**



- Al ser un equipo que transmite movimiento en base a un elemento motriz, se realiza una inspección visual del estado de los elementos mecánicos, es por ello que no intervienen instrumentos ni equipos de análisis dado que, los fallos son visibles externamente debido a la configuración mecánica de la máquina y su modelo didáctico.

### **3.4 Toma y recolección de datos**

- Los datos a analizar se transfieren a imágenes que representen los daños expuestos en los elementos mecánicos, en este caso hablamos de cada uno de los engranes tanto rectos – helicoidales y el tornillo sin fin.
- Cada engrane fue inspeccionado y los daños presentes deben ser analizados, esto se muestra a continuación en el ítem llamado Resultados.

#### 4. RESULTADOS

ANÁLISIS DE FALLOS SISTEMA DE TRANSMISIÓN DEL BANCO DIDÁCTICO				
TIPO DE ANÁLISIS	TIPO DE ENGRANE	IMAGEN	DESCRIPCIÓN	ANÁLISIS DEL FALLO
INSPECCIÓN VISUAL	Cónico MT03-002		Se puede observar que el engranaje tiene muchos picados debido al desgaste en algunos de sus dientes, lo que indica la presencia de desgaste superficial. Este problema va ligado a la falta de lubricación suministrada a la pieza, se establece que inicia con un picado inicial leve pero que debido a las condiciones de trabajo al que estaba expuesto se convierte en picado destructivo, es decir se forman pequeños cráteres de picado de diferentes tamaños y formas como desgaste	Existen varias deformaciones superficiales debido a que la pieza transmite el movimiento desde el motor hacia todos los sistemas de engranajes, por tal motivo se encuentra en constata fricción, además existe sobrepeso que genera un desgaste continuo en los dientes y la generación de deslizamiento entre materiales provocando un rallado y daños en las paredes del diente, esto debido a que no existe una película de aceite que ayude al contacto entre dientes
INSPECCIÓN VISUAL	Helicoidal MST05-006		Se observa que el engrane tiene picado inicial en las paredes de algunos de sus dientes, lo que indica la presencia de desgaste superficial. En algunos dientes ya se está produciendo picado destructivo porque existen cráteres de formaciones pequeñas, esto indica que existe un esfuerzo anormal en el sistema de transmisión que puede a largo plazo provocar el desprendimiento de cierta parte del diente. Existe desgaste por abrasión debido al rose que existe entre la unión de los dientes generando partículas duras de bordes filosos que causan el desgaste paulatino de los dientes, esto es porque existe un choque entre engrane y no un juego entre engrane y piñón	Se deduce un desgaste por corrosión en aumento debido a que no existe un mantenimiento en base a la lubricación del engrane, y por la falta de este se puede generar desgaste y desprendimiento en el contorno del diente. Además, el desgaste por abrasión es generado por un mal ajuste o choque entre dientes debido a que la distancia que debe mantener entre las caras de los dientes no es la adecuada provocando la generación de partículas que se van desgastando continuamente.
INSPECCIÓN VISUAL	Corona MST06-004		Se observa que en la corona se ha producido un desgaste superficial siendo este de picado inicial donde se observa en las paredes de los dientes ciertos cráteres de dimensiones pequeñas, además se ha producido un desgaste debido a la abrasión porque existe cierto rallado en las paredes, se puede deducir que el acoplamiento que existe entre el tornillo sin fin y la corona es inadecuado porque genera partículas que dañan las paredes de los dientes. En uno de los dientes se observa que existe un desprendimiento o desconchado, es decir, una proporción reducida de material se desprendió del diente debido a una falla por fatiga durante el funcionamiento	El fallo superficial como es el desprendimiento se observa en uno de sus dientes de la corona, es decir, se deformó por la transmisión de movimiento, entre las posibles causas pueden ser que está expuesto a una desalineación entre el tornillo sin fin donde pudo estar sujeto a esfuerzos de corte, compresión o tensión y la abrasión generada por una fricción inadecuada entre el tornillo sin fin y la corona ocasionando rallado en las paredes de los dientes

INSPECCIÓN VISUAL	Recto MST04-004		<p>Mediante la inspección visual se indica que el engranaje tiene picado inicial en las paredes de algunos de sus dientes (círculos rojos) esto se da por la presencia de desgaste superficial en el contacto de engranes. Se indica que en algunos dientes posee un picado destructivo porque existen cráteres de formaciones pequeñas que en uno de ellos se observa que un esfuerzo alto en el sistema de transmisión ha provocado el desprendimiento de los perfiles del diente. El desgaste por abrasión ocasionado por el mal contacto de los dientes genera partículas duras de bordes filosos que causan el desgaste continuo de los dientes al estar muy friccionado en el movimiento. También se establece que el engrane ha generado óxido debido a la falta de lubricación y a la exposición directa de un ambiente muy agresivo para el sistema</p>	<p>La falla ocasionada por el picado inicial es el comienzo de una falla superficial que existe por una fricción inadecuada entre la transmisión de movimiento de engranes, por tal motivo se debe dar un mantenimiento preventivo evitando que siga creciendo esta falla, provocando el picado destructivo como se observa en la figura (color amarillo), además, otra de las fallas que podemos encontrar es la abrasión que es el desprendimiento de partículas por la falta de lubricación y la constante fricción entre engranes</p>
INSPECCIÓN VISUAL	Recto MST04-002		<p>El engranaje luego del análisis visual presenta algunos fallos de picado inicial y en algunos dientes picado destructivo, debido a que existe alguna fuerza anormal que se está dando en el sistema de transmisión, además puede empezar a generar el desprendimiento de partículas que van a generar nuevos fallos de desgaste por abrasión. El desgaste por corrosión es muy reducido, pero al no estar con una lubricación adecuada existe ya la presencia de zonas con óxido que van a provocar una reducción en las características mecánicas del material</p>	<p>Se visualiza que el engrane helicoidal posee desgaste superficial reducido debido a que existe picado inicial en las paredes de ciertos dientes. Un aspecto importante es la fractura de un diente y el desprendimiento de partículas de los dientes que puede ser ocasionada por la fatiga de flexión o sobrecarga generada al no estar correctamente alineado el sistema de engranes, lo cual no ha permitido que encaje los engranes de manera adecuada uno con otro y en su caso existió flexión y el desprendimiento de partículas (rallado) en la parte intermedia de los dientes</p>



## **4.1 Conclusiones y recomendaciones**

### **Conclusiones**

- Se realizó con éxito el montaje de los sistemas de transmisión, verificando así que la relación de transmisión en cada sub sistema aumenta o disminuye de acuerdo a la configuración mecánica de cada engrane.
- Los fallos presentes en cada engrane fueron analizados por medio de una inspección visual, determinando que el fallo más común es el picado inicial, debido al mal montaje permitiendo así que los engranes presenten daños que son frecuentes en el ámbito industrial.

### **Recomendaciones**

- Utilizar las medidas de seguridad durante el transcurso del montaje del banco didáctico.
- Es importante mantener hojas de seguimiento para el mantenimiento desarrollado durante las prácticas dentro de la formación del estudiante, para establecer un protocolo de supervisión a nivel industrial.

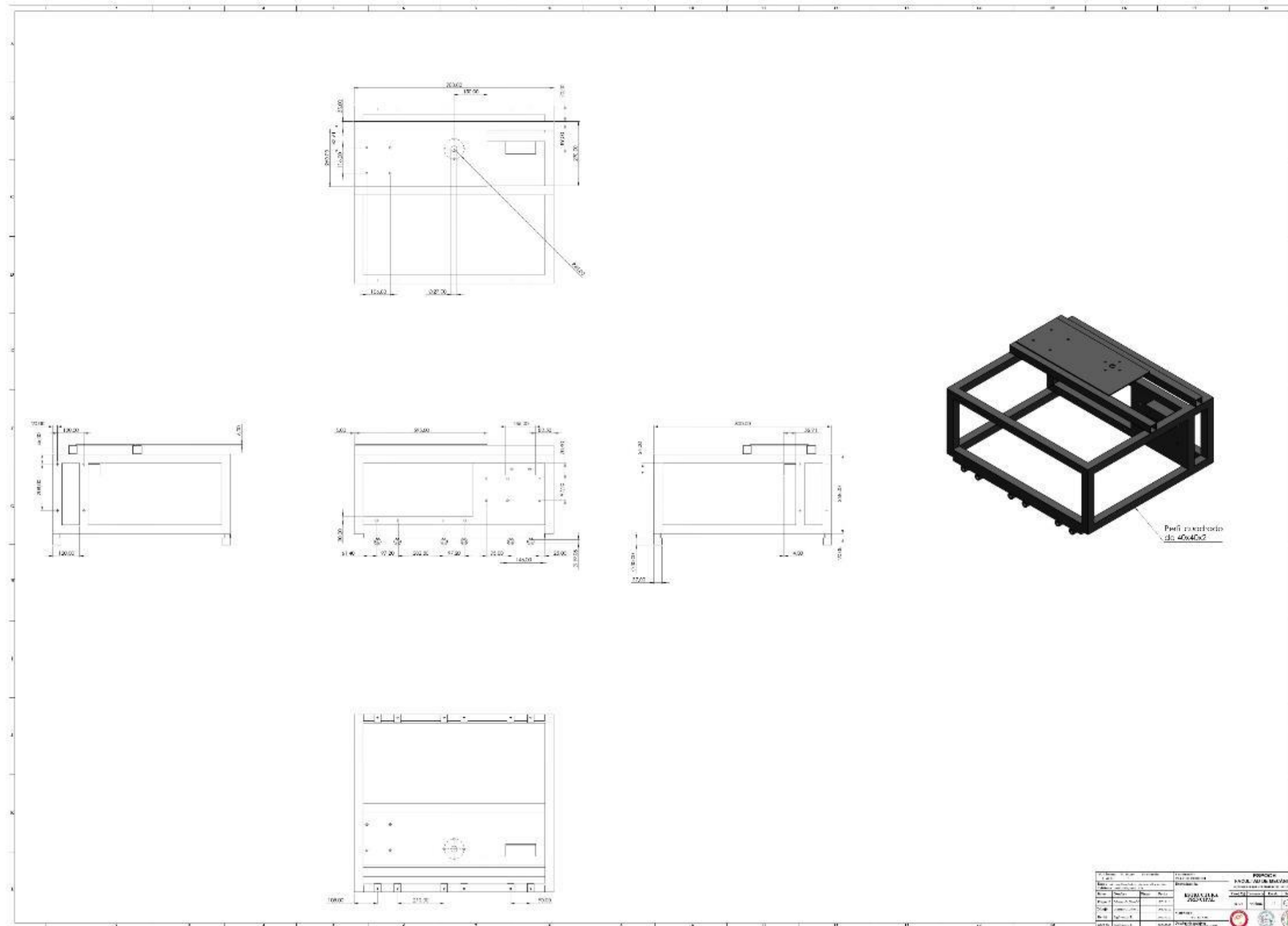
## ANEXOS

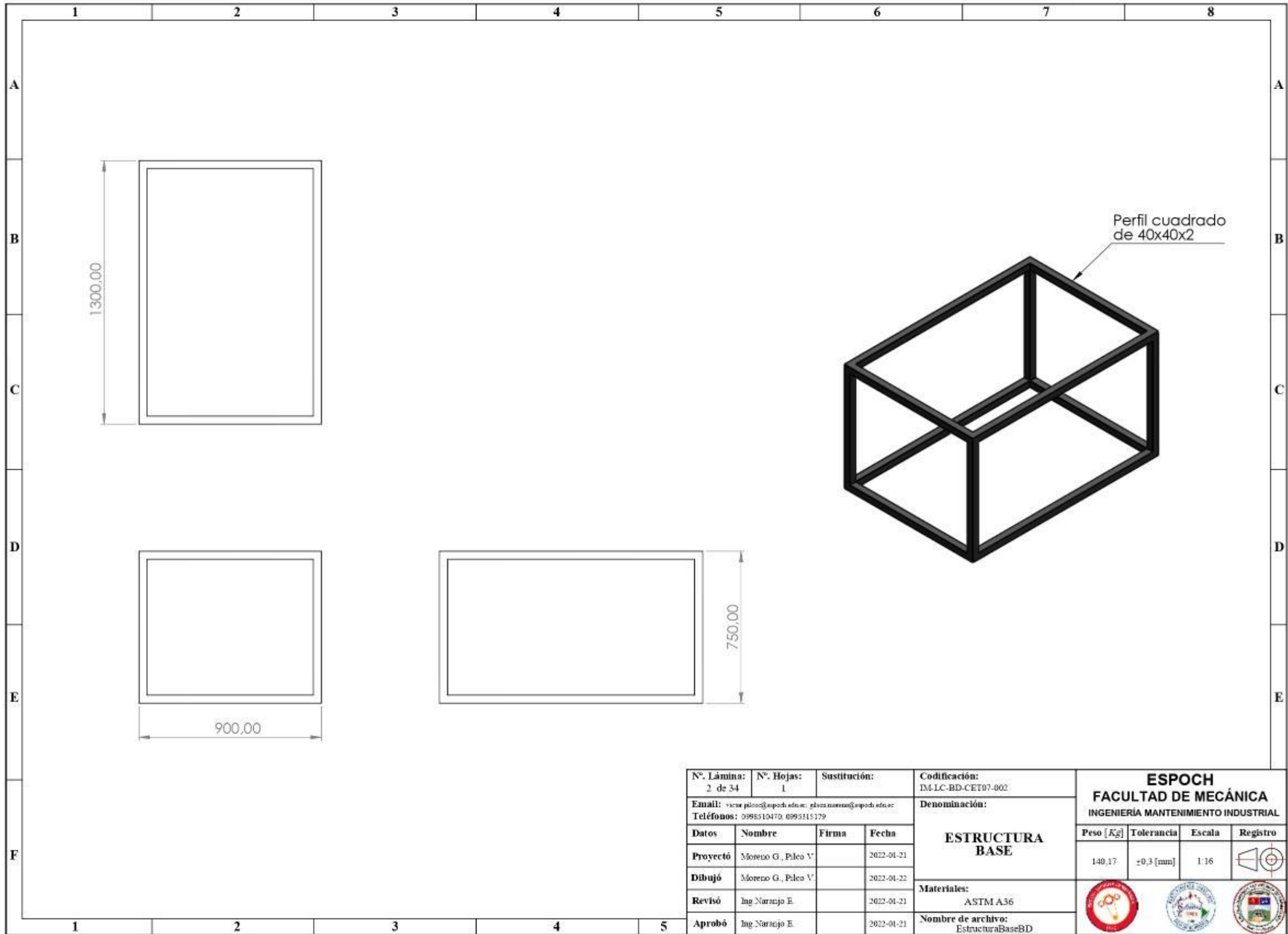
### Cuestionario de evaluación

Se desarrolla el siguiente cuestionario con la finalidad de evaluar las aptitudes y conocimientos adquiridos durante la guía de laboratorio.

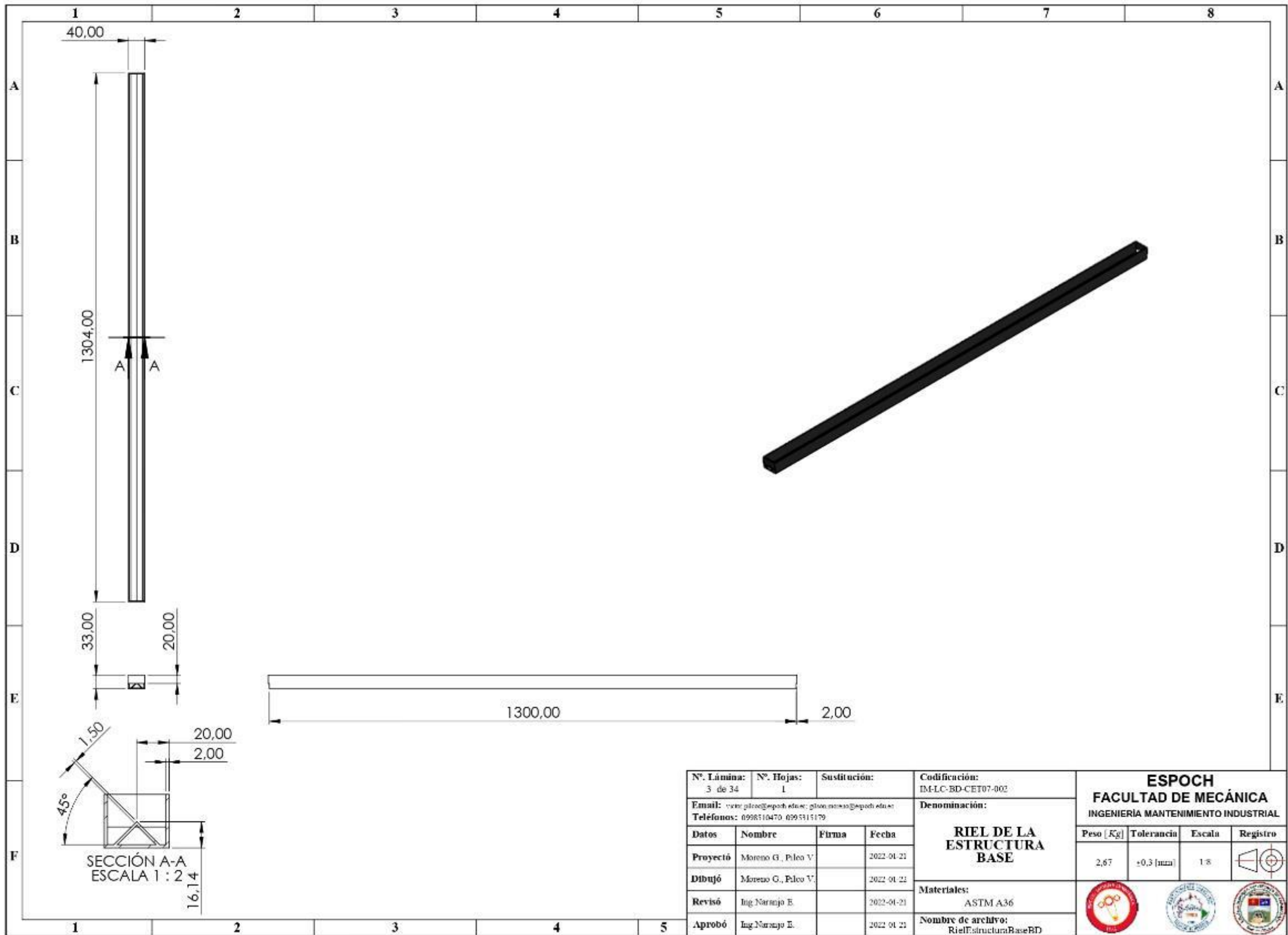
1. ¿Cuáles son los fallos que mayormente se pueden observar?
  - Picado destructivo
  - Picado inicial
  - Desprendimiento de partículas
  - Abrasión
  - Fisura
  - Fractura por fatiga de flexión o sobrecarga
  - Corrosión
2. ¿Qué medidas aplicaría usted para mitigar dichos fallos?
  - Alineación entre engranes.
  - Tareas de lubricación.
  - Disminuir la carga de trabajo.
3. ¿Mencione si la relación de transmisión en el tornillo sin fin es de aumento o reducción?
  - Reducción
4. ¿Nombre 5 tareas de mantenimiento preventivo aplicables en un lapso de tiempo de 3 meses?
  - Verificar la alineación entre engranajes.
  - Verificar que no exista atascamiento en los rodamientos de las chumaceras.
  - Revisar el nivel de aceite de la caja reductora.
  - Reajuste de borneras en el tablero de control.
  - Inspección visual de los elementos mecánicos.
5. ¿Escriba 2 tareas de mantenimiento predictivo y mencione el nombre del sistema al cual se lo aplicaría?
  - Análisis vibracional del sistema motriz.
  - Termografía de los elementos del sistema de control.

ANEXO E: PLANOS ESTRUCTURALES DEL BANCO DIDÁCTICO

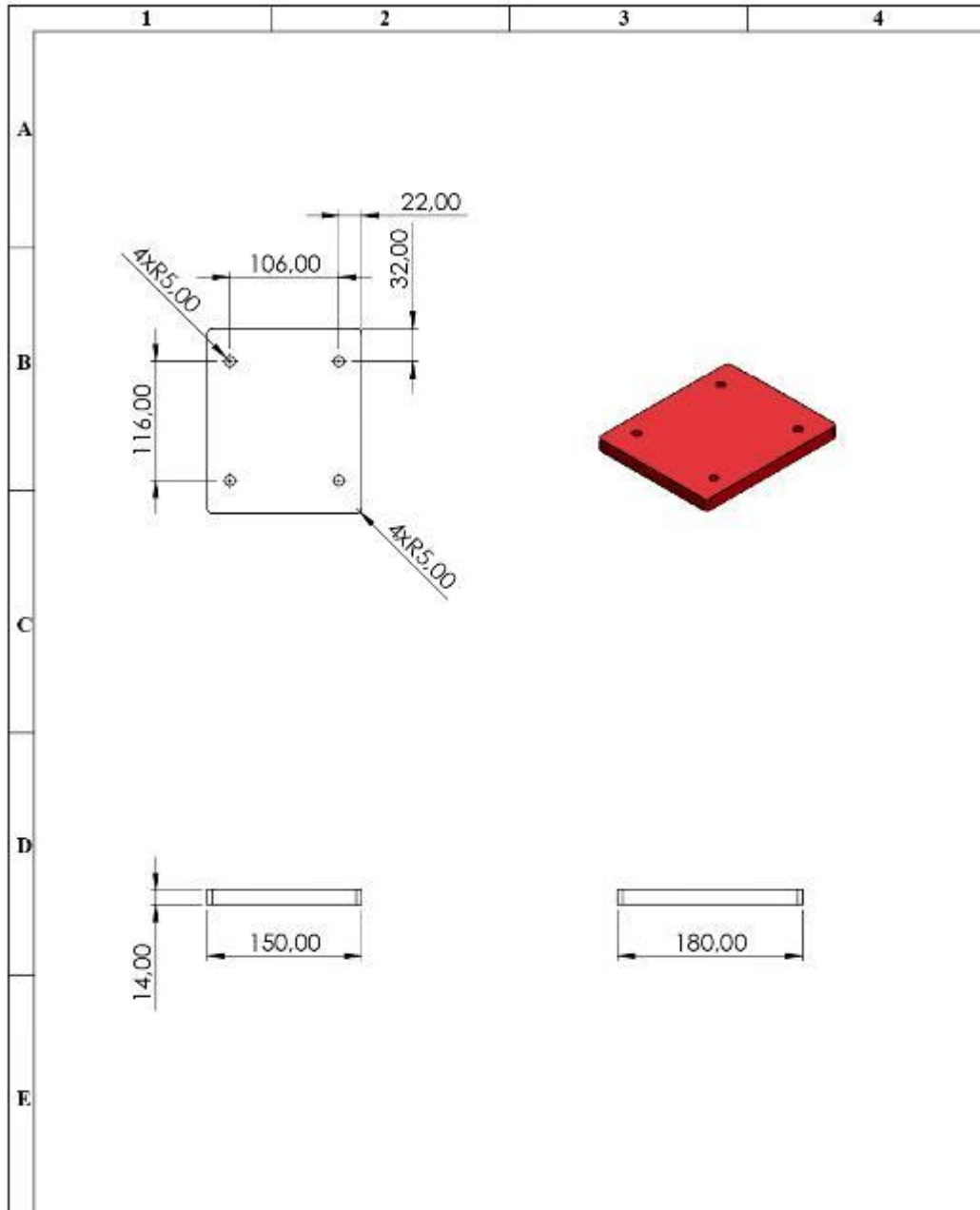




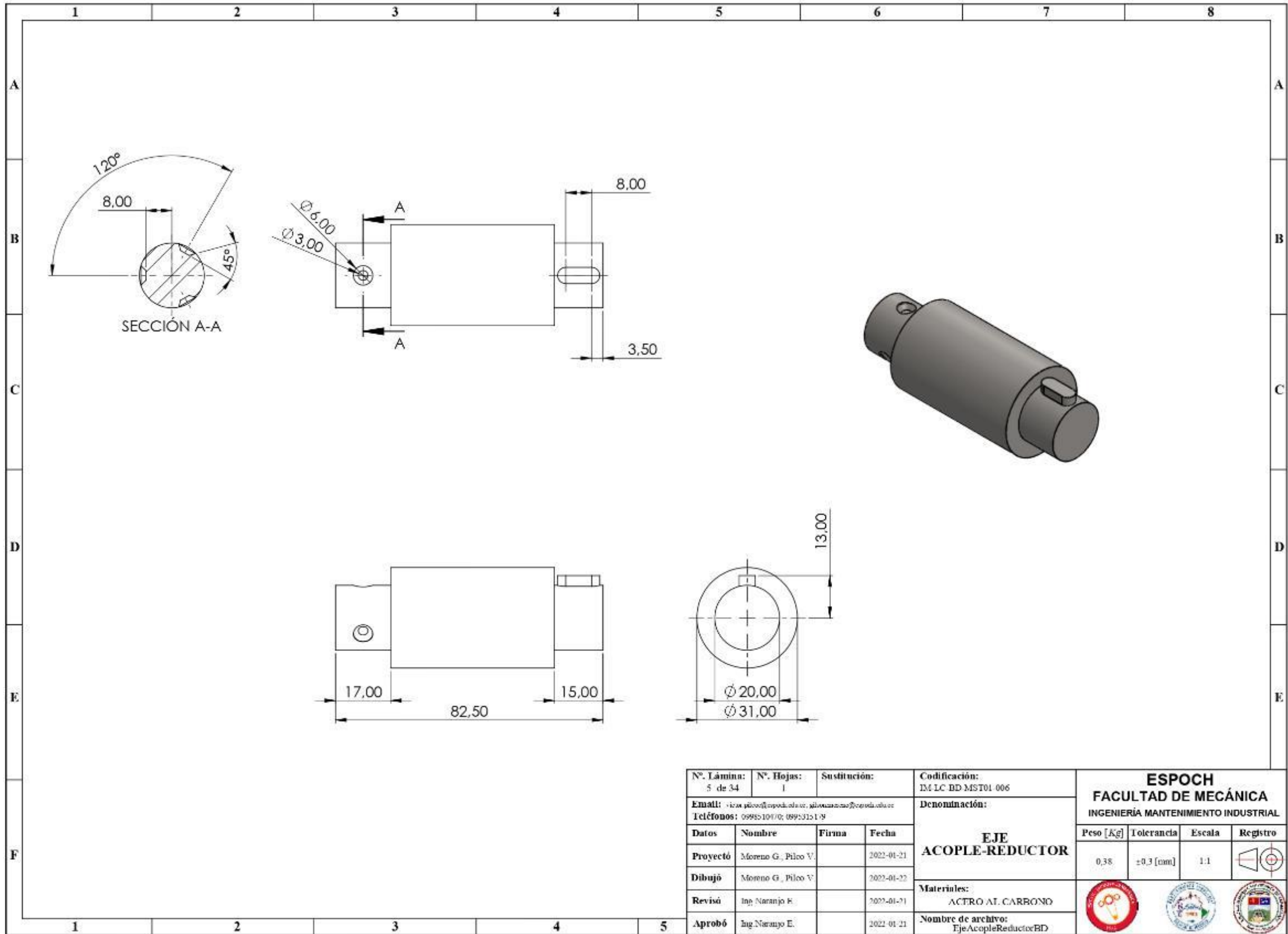
N°. Lámina: 2 de 34		N°. Hojas: 1		Sustitución:		Codificación: IM-LC-BD-CET07-002		<b>ESPOCH</b> <b>FACULTAD DE MECÁNICA</b> INGENIERÍA MANTENIMIENTO INDUSTRIAL			
Email: vicar.pisco@esPOCH.edu.ec; gisela.moreno@esPOCH.edu.ec Teléfonos: 0998510470, 0993315179						Denominación:					
Datos	Nombre	Firma	Fecha	<b>ESTRUCTURA BASE</b>				140,17	±0,3 [mm]	1:16	
Proyectó	Moreno G., Pileo V.		2022-01-21								
Dibujó	Moreno G., Pileo V.		2022-01-22								
Revisó	Ing. Naranjo E.		2022-01-21								
Aprobó	Ing. Naranjo E.		2022-01-21	Materiales: ASTM A36		Nombre de archivo: EstructuraBaseBD					



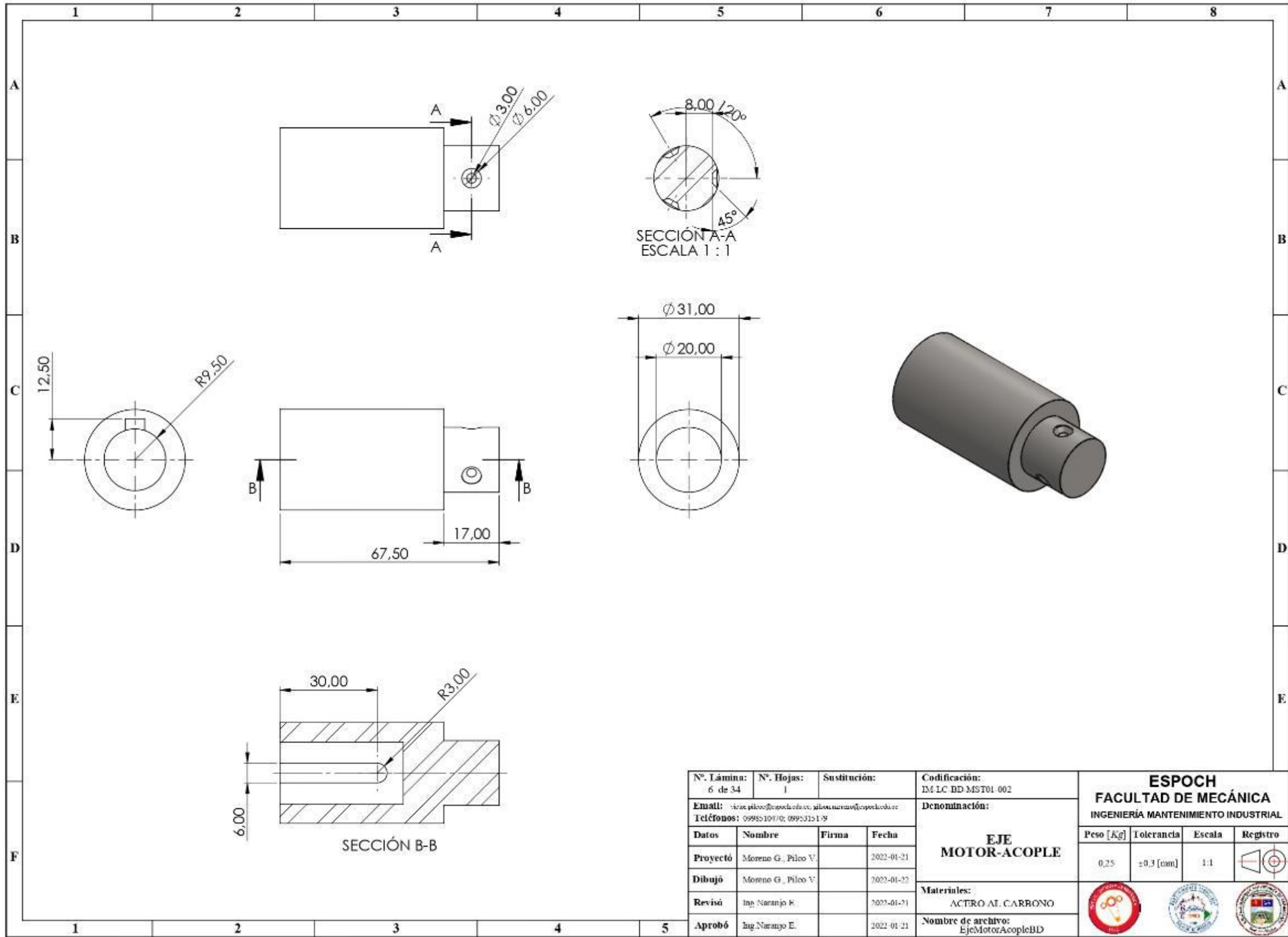
N°. Lámina: 3 de 34		N°. Hojas: 1		Sustitución:		Codificación: IM-LC-BD-CET07-003		<b>ESPOCH</b> <b>FACULTAD DE MECÁNICA</b> INGENIERÍA MANTENIMIENTO INDUSTRIAL					
Email: <a href="mailto:valor.pilco@esPOCH.edu.ec">valor.pilco@esPOCH.edu.ec</a> ; <a href="mailto:pilco.moreno@esPOCH.edu.ec">pilco.moreno@esPOCH.edu.ec</a> Teléfonos: 0998510470, 0995115179						Denominación:						Registro	
Dato		Nombre		Firma		Fecha		Peso [Kg]		Tolerancia		Escala	
Proyectó		Moreno G., Pilco V.				2022-01-21		2,67		±0,3 [mm]		1:8	
Dibujó		Moreno G., Pilco V.				2022-01-21							
Revisó		Ing. Narajo E.				2022-01-21		Materiales:		ASTM A36			
Aprobó		Ing. Narajo E.				2022-01-21		Nombre de archivo:		RielEstructuraBaseBD			



Nº. Lámina: 4 de 34		Nº. Hojas: 1		Sustitución:		Codificación: IM-LC-BD-CET07-006		<b>ESPOCH</b> <b>FACULTAD DE MECÁNICA</b> <b>INGENIERÍA MANTENIMIENTO INDUSTRIAL</b>							
Email: <a href="mailto:vicente.pilco@esPOCH.edu.pe">vicente.pilco@esPOCH.edu.pe</a> Teléfonos: 0998510470, 0995315179				Denominación:  <b>BASE PARA EL MOTOR ELÉCTRICO</b>								Peso [Kg]: 2,93		Tolerancia: ±0,3 [mm]	
Datos		Nombre		Firma		Fecha		Materiales: ASTMA36							
Proyectó		Mariano G. Pilco V.				2 022-01-31									
Dibujó		Mariano G. Pilco V.				2 022-01-31									
Revisó		Ing. Norberto Espinoza				2 022-01-31									
Aprobó		Ing. Norberto Espinoza				2 022-01-31		Nombre de archivo: BaseMotorBD							

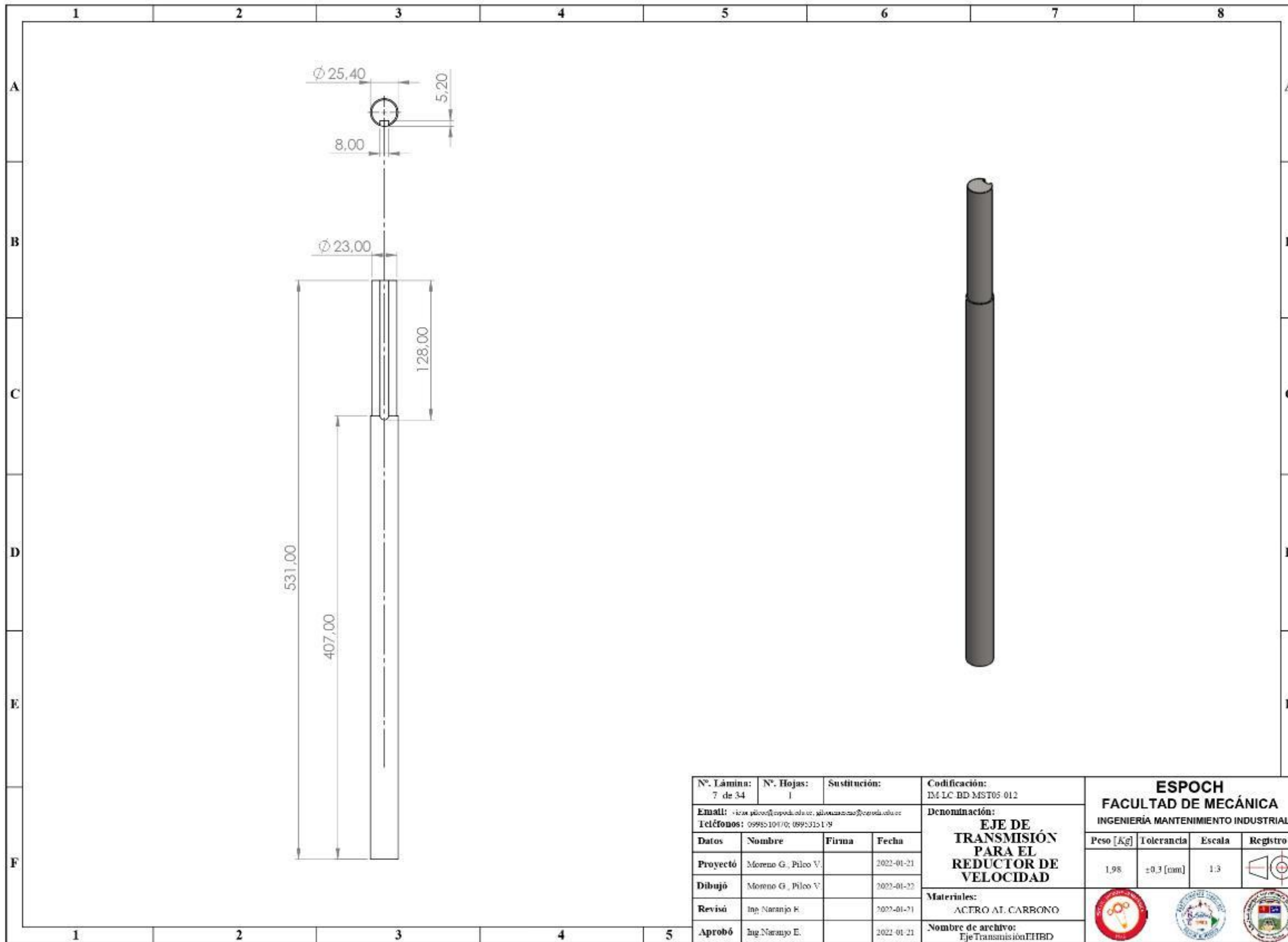


N° Lámina: 5 de 34	N° Hojas: 1	Sustitución:	Codificación: IM LC BD MST01 006	<b>ESPOCH</b> <b>FACULTAD DE MECÁNICA</b> INGENIERÍA MANTENIMIENTO INDUSTRIAL					
Email: <a href="mailto:vicar@esPOCH.edu.ec">vicar@esPOCH.edu.ec</a> , <a href="mailto:almacenamiento@esPOCH.edu.ec">almacenamiento@esPOCH.edu.ec</a> Teléfonos: 0998510470; 0995315119			Denominación:  <b>EJE</b> <b>ACOPLE-REDUCTOR</b>					Peso [Kg]	Tolerancia
Datos	Nombre	Firma	Fecha	Materiales: ACTRO AL. CARRONO		0,38	±0,3 [mm]	1:1	
Proyectó	Moreno G., Pilco V.		2022-01-21	Nombre de archivo: EjeAcopleReductorBD					
Dibujó	Moreno G., Pilco V.		2022-01-22						
Revisó	Ing. Naranjo E.		2022-01-21						
Aprobó	Ing. Naranjo E.		2022-01-21						

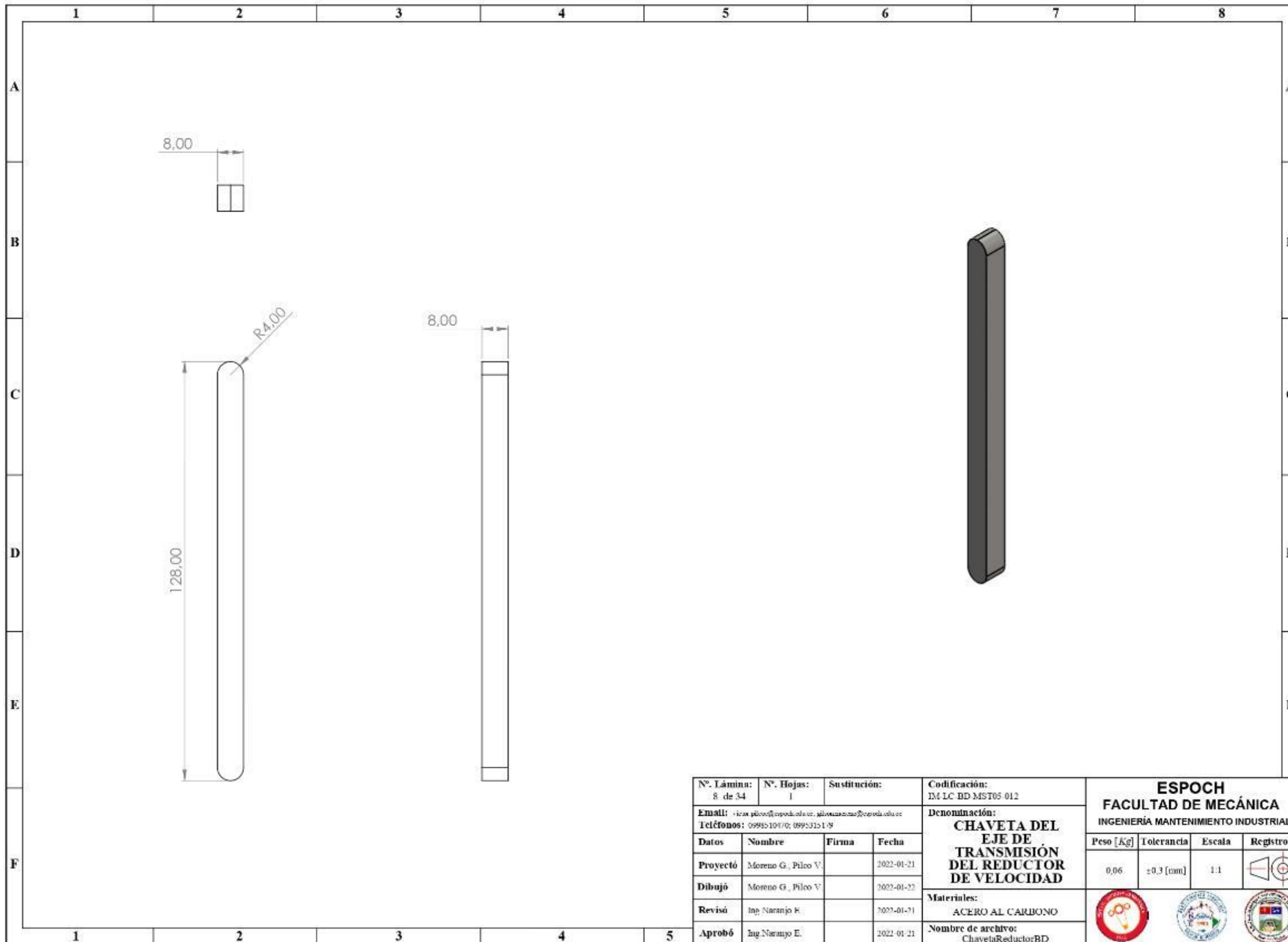


N°. Lámina: 6 de 34	N°. Hojas: 1	Sustitución:	Codificación: IM.LC.BD.MST01.002	<b>ESPOCH</b> <b>FACULTAD DE MECÁNICA</b> INGENIERÍA MANTENIMIENTO INDUSTRIAL					
Email: vicar.pilco@esPOCH.edu.pe, pilco.naranjo@esPOCH.edu.pe Teléfonos: 0995104170; 0995312179			Denominación:  <b>EJE MOTOR-ACOPLE</b>					Peso [Kg]	Tolerancia
Datos	Nombre	Firma	Fecha	Materiales: ACTERO AL CARBONO		0,25	±0,3 [mm]	1:1	
Proyectó	Moreno G., Pilco V.		2022-01-21						
Dibujó	Moreno G., Pilco V.		2022-01-22						
Revisó	Ing. Naranjo E.		2022-01-21						
Aprobó	Ing. Naranjo E.		2022-01-21	Nombre de archivo: EjeMotorAcopleBD					

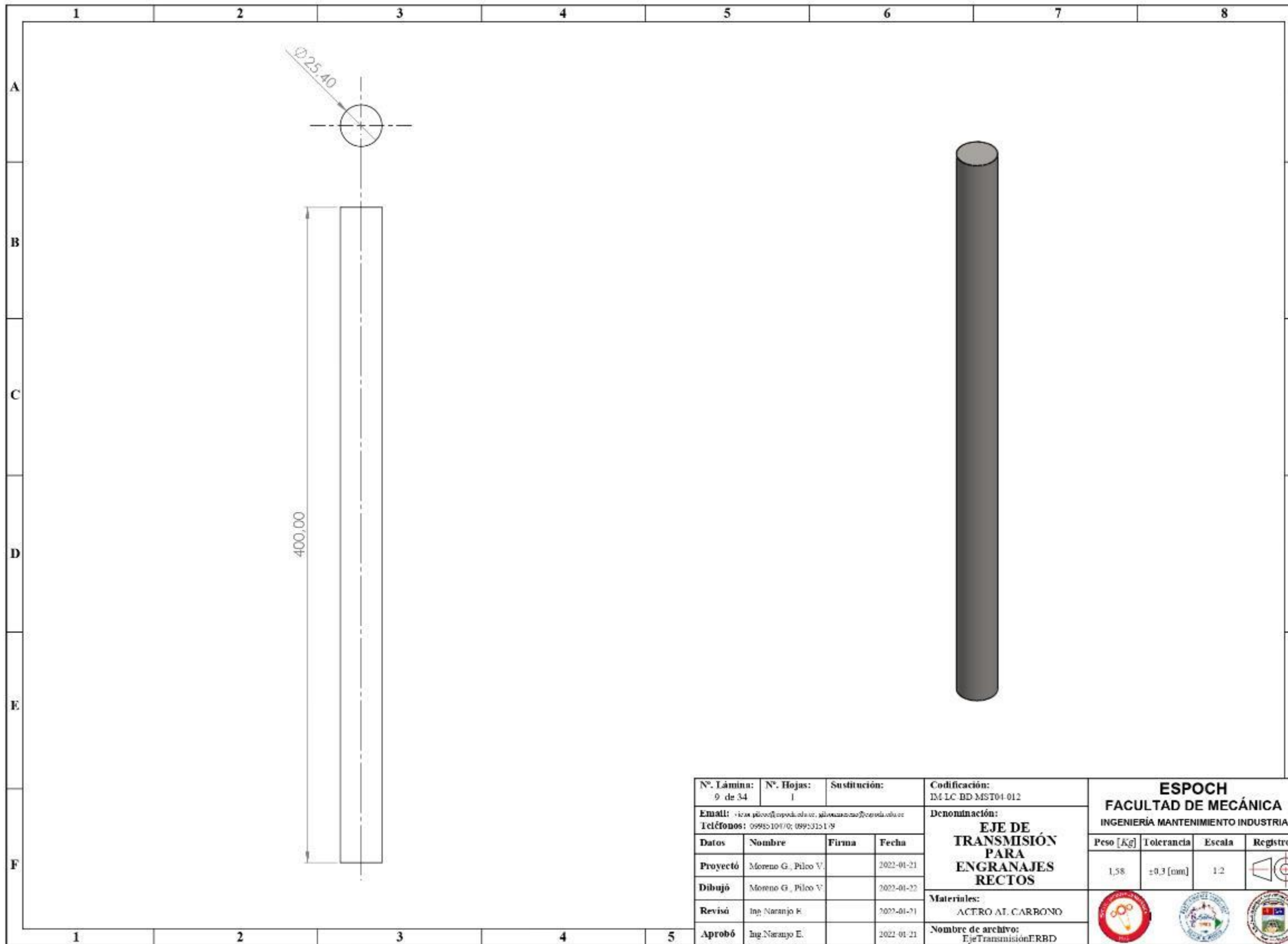




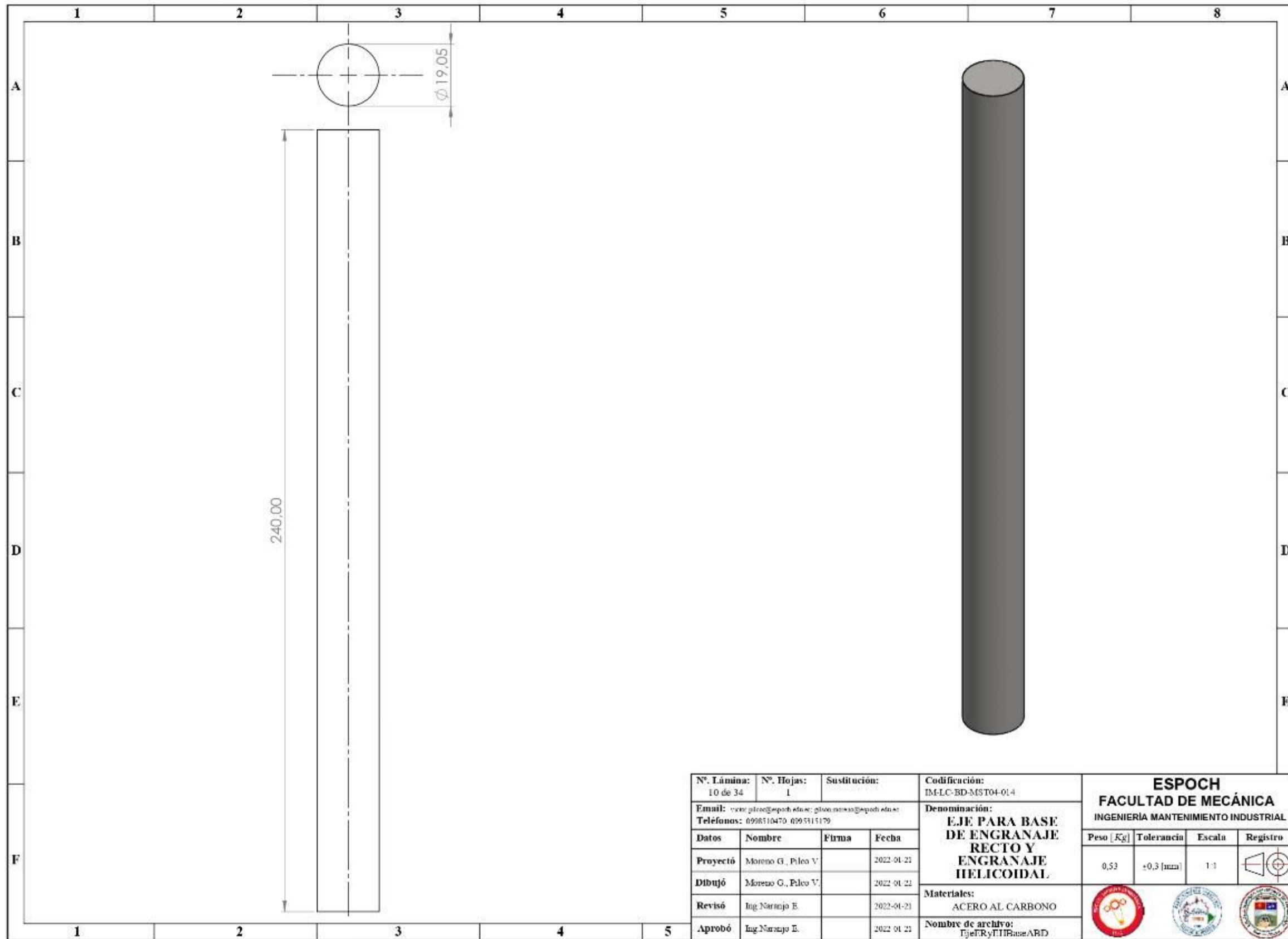
N° Lámina: 7 de 34	N° Hojas: 1	Sustitución:	Codificación: IM LC BD MST05 012	<b>ESPOCH</b> <b>FACULTAD DE MECÁNICA</b> INGENIERÍA MANTENIMIENTO INDUSTRIAL					
Email: <a href="mailto:ingenieria@esPOCH.edu.ec">ingenieria@esPOCH.edu.ec</a> Teléfonos: 0998510470; 0995315119			Denominación: <b>EJE DE TRANSMISIÓN PARA EL REDUCTOR DE VELOCIDAD</b>					Peso [Kg]	Tolerancia
Datos	Nombre	Firma	Fecha	Materiales: ACERO AL CARBONO		1,98	±0,3 [mm]	1:3	
Proyectó	Moreno G., Pilco V.		2022-01-21	Nombre de archivo: Eje TransmisiónEHBD					
Dibujó	Moreno G., Pilco V.		2022-01-22						
Revisó	Ing. Naranjo E.		2022-01-21						
Aprobó	Ing. Naranjo E.		2022-01-21						



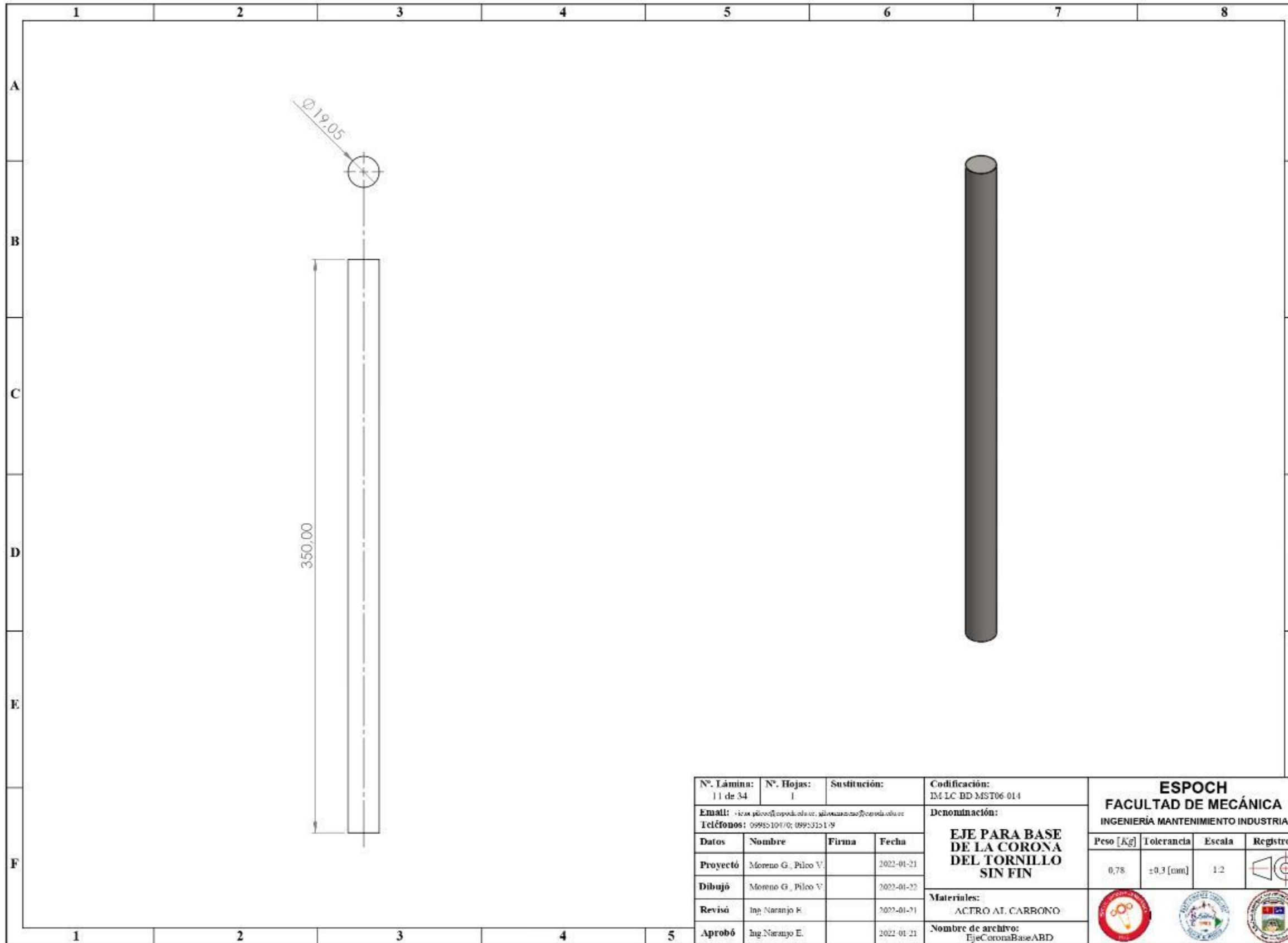
N°. Lámina: 8 de 34		N°. Hojas: 1		Sustitución:		Codificación: IM.LC.BD.MST05.012		<b>ESPOCH</b> <b>FACULTAD DE MECÁNICA</b> INGENIERÍA MANTENIMIENTO INDUSTRIAL			
Email: <a href="mailto:carlos.pilco@esPOCH.edu.pe">carlos.pilco@esPOCH.edu.pe</a> ; <a href="mailto:piromanano@esPOCH.edu.pe">piromanano@esPOCH.edu.pe</a>						<b>CHAVETA DEL EJE DE TRANSMISIÓN DEL REDUCTOR DE VELOCIDAD</b>					
Teléfonos: 0995104170; 0995315179											
<b>Datos</b>	<b>Nombre</b>	<b>Firma</b>	<b>Fecha</b>	<b>Materiales:</b> ACERO AL CARBONO		<b>Nombre de archivo:</b> ChavetaReductorBD		<b>Peso [Kg]</b>	<b>Tolerancia</b>	<b>Escala</b>	<b>Registro</b>
Proyectó	Moreno G., Pilco V.		2022-01-21					0,06	±0,3 [mm]	1:1	
Dibujó	Moreno G., Pilco V.		2022-01-22								
Revisó	Ing. Naranjo E.		2022-01-21								
Aprobó	Ing. Naranjo E.		2022-01-21								



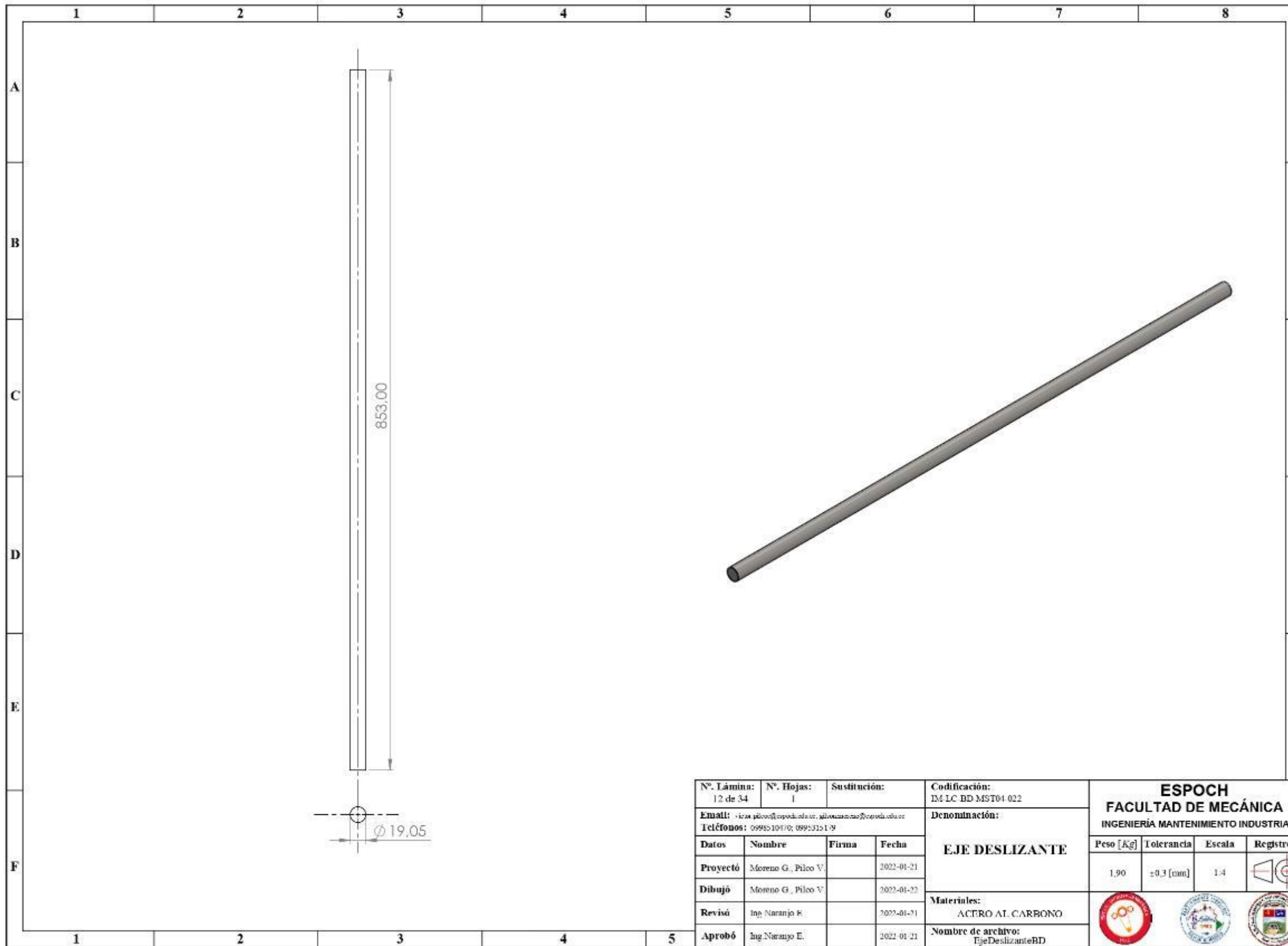
N°. Lámina: 9 de 34		N°. Hojas: 1		Sustitución:		Codificación: IM.LC.BD.MST04-012		<b>ESPOCH</b> <b>FACULTAD DE MECÁNICA</b> INGENIERÍA MANTENIMIENTO INDUSTRIAL			
Email: <a href="mailto:mas.pilco@esPOCH.edu.ec">mas.pilco@esPOCH.edu.ec</a> ; <a href="mailto:mas.pilco@maim.ingenieria.edu.ec">mas.pilco@maim.ingenieria.edu.ec</a>						<b>EJE DE TRANSMISIÓN PARA ENGRANAJES RECTOS</b>					
Teléfonos: 0995210470; 0995315119											
<b>Datos</b>	<b>Nombre</b>	<b>Firma</b>	<b>Fecha</b>	<b>Materiales:</b> ACTRO AL CARBONO		<b>Peso [Kg]</b>	<b>Tolerancia</b>	<b>Escala</b>	<b>Registro</b>		
Proyectó	Moreno G., Pilco V.		2022-01-21			1,58	±0,3 [mm]	1:2			
Dibujó	Moreno G., Pilco V.		2022-01-22								
Revisó	Ing. Naranjo E.		2022-01-21								
Aprobó	Ing. Naranjo E.		2022-01-21			<b>Nombre de archivo:</b> EjeTransmisionERBD					



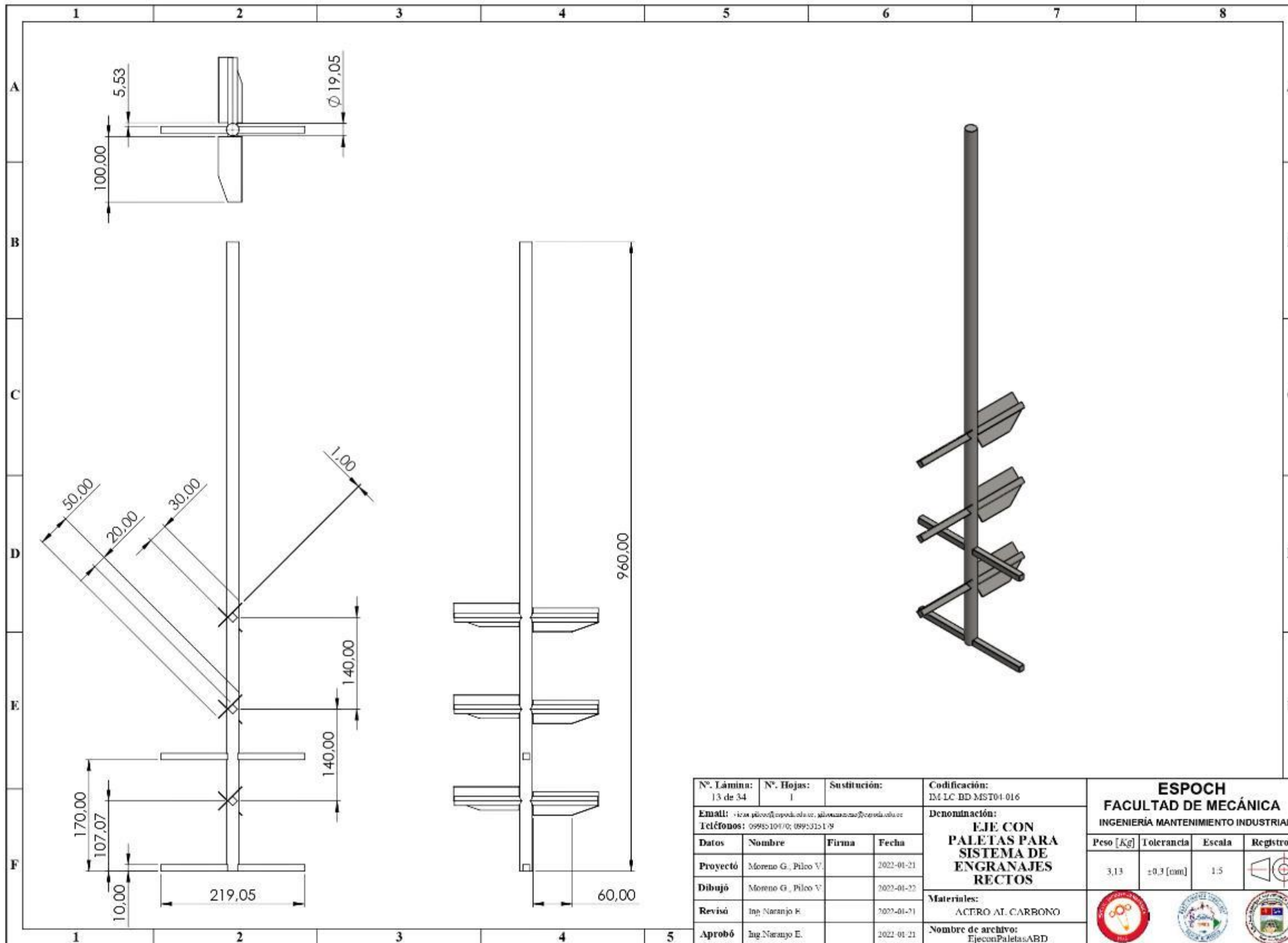
N°. Lámina: 10 de 34	N°. Hojas: 1	Sustitución:	Codificación: IM-LC-BD-MST04-014	<b>ESPOCH</b> <b>FACULTAD DE MECÁNICA</b> INGENIERIA MANTENIMIENTO INDUSTRIAL					
Email: <a href="mailto:carlos.gilroy@esPOCH.edu.ec">carlos.gilroy@esPOCH.edu.ec</a> ; <a href="mailto:gilroy.moreno@esPOCH.edu.ec">gilroy.moreno@esPOCH.edu.ec</a> Telefonos: 0998510470 09953115179			Denominación: <b>EJE PARA BASE          DE ENGRANAJE          RECTO Y          ENGRANAJE          HELICOIDAL</b>					Peso [Kg]	Tolerancia
Datos	Nombre	Firma	Fecha	Materiales: ACERO AL CARBONO		0,53	±0,3 [mm]	1:1	
Proyectó	Moreno G., Pileo V.		2022-04-21	Nombre de archivo: TjeFRyEIBaseABD					
Dibujó	Moreno G., Pileo V.		2022-04-21						
Revisó	Ing. Narrajo E.		2022-04-21						
Aprobó	Ing. Narrajo E.		2022-04-21						



N°. Lámina: 11 de 34		N°. Hojas: 1		Sustitución:		Codificación: IM.LC.BD.MST06.014		<b>ESPOCH</b> <b>FACULTAD DE MECÁNICA</b> <b>INGENIERÍA MANTENIMIENTO INDUSTRIAL</b>			
Email: <a href="mailto:mas.pilco@esPOCH.edu.ec">mas.pilco@esPOCH.edu.ec</a> ; <a href="mailto:pilco@esPOCH.edu.ec">pilco@esPOCH.edu.ec</a>						Denominación:					
Teléfonos: 0995210470; 0995315119						<b>EJE PARA BASE          DE LA CORONA          DEL TORNILLO          SIN FIN</b>		0,78	±0,3 [mm]	1:2	
<b>Datos</b>	<b>Nombre</b>	<b>Firma</b>	<b>Fecha</b>	<b>Materiales:</b>				  			
<b>Proyectó</b>	Moreno G., Pilco V.		2022-01-21	ACTRO AL CARBONO							
<b>Dibujó</b>	Moreno G., Pilco V.		2022-01-22	<b>Nombre de archivo:</b>							
<b>Revisó</b>	Ing. Naranjo E.		2022-01-21	EjeCoronaBaseABD							
<b>Aprobó</b>	Ing. Naranjo E.		2022-01-21								

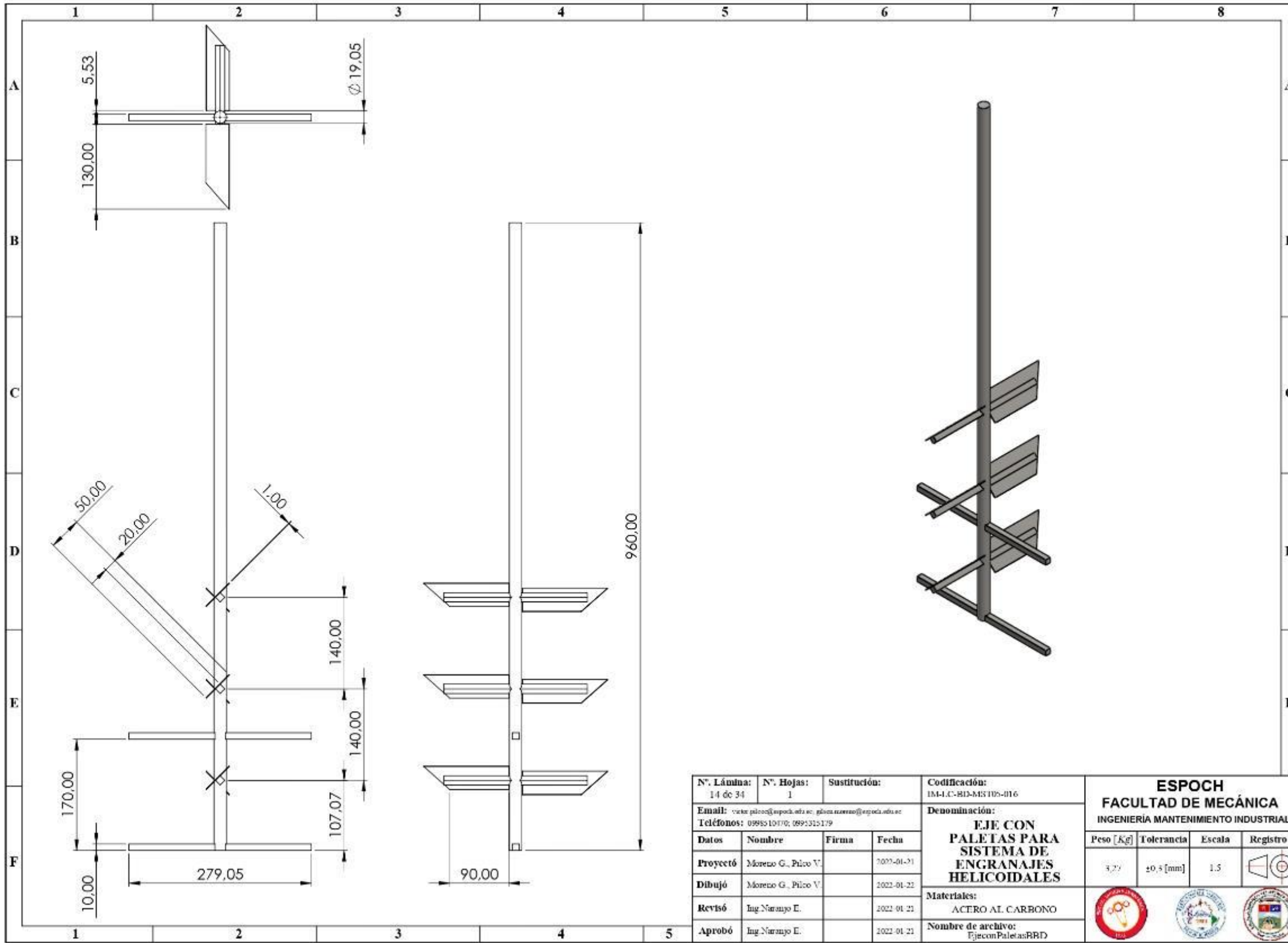


N°. Lámina: 12 de 34		N°. Hojas: 1		Sustitución:		Codificación: IM-LC-BD-MST04-022		<b>ESPOCH</b> <b>FACULTAD DE MECÁNICA</b> <b>INGENIERÍA MANTENIMIENTO INDUSTRIAL</b>			
Email: <a href="mailto:carlos.pilco@esPOCH.edu.ec">carlos.pilco@esPOCH.edu.ec</a> Teléfonos: 0998510910; 0991315119						Denominación:					
<b>Datos</b>		<b>Nombre</b>		<b>Firma</b>		<b>Fecha</b>		<b>EJE DESLIZANTE</b>		Peso [Kg]   Tolerancia   Escala   Registro 1,90   ±0,3 [mm]   1:4	
Proyectó		Moreno G., Pilco V.				2022-01-21		Materiales:			
Dibujó		Moreno G., Pilco V.				2022-01-22		ACTRO AL CARBONO			
Revisó		Ing. Naranjo E.				2022-01-21		Nombre de archivos:			
Aprobó		Ing. Naranjo E.				2022-01-21		EjeDeslizanteRD			



N°. Lámina: 13 de 34		N°. Hojas: 1		Sustitución:		Codificación: EM.LC.BD.MST04.016		<b>ESPOCH</b> <b>FACULTAD DE MECÁNICA</b> INGENIERÍA MANTENIMIENTO INDUSTRIAL			
Email: <a href="mailto:mas.pilco@esPOCH.edu.ec">mas.pilco@esPOCH.edu.ec</a> ; <a href="mailto:masnarango@esPOCH.edu.ec">masnarango@esPOCH.edu.ec</a> Teléfonos: 0998510470; 0992312179						Denominación: <b>EJE CON PALETAS PARA SISTEMA DE ENGRANAJES RECTOS</b>					
Datos	Nombre	Firma	Fecha	Materiales: ACERO AL CARBONO		Nombre de archivo: EjeconPaletasABD		3,13	±0,3 [mm]	1:5	
Proyectó	Moreno G., Pilco V.		2022-01-21	ACTERO AL CARBONO		EjeconPaletasABD					
Dibujó	Moreno G., Pilco V.		2022-01-22								
Revisó	Ing. Narango E.		2022-01-21								
Aprobó	Ing. Narango E.		2022-01-21								

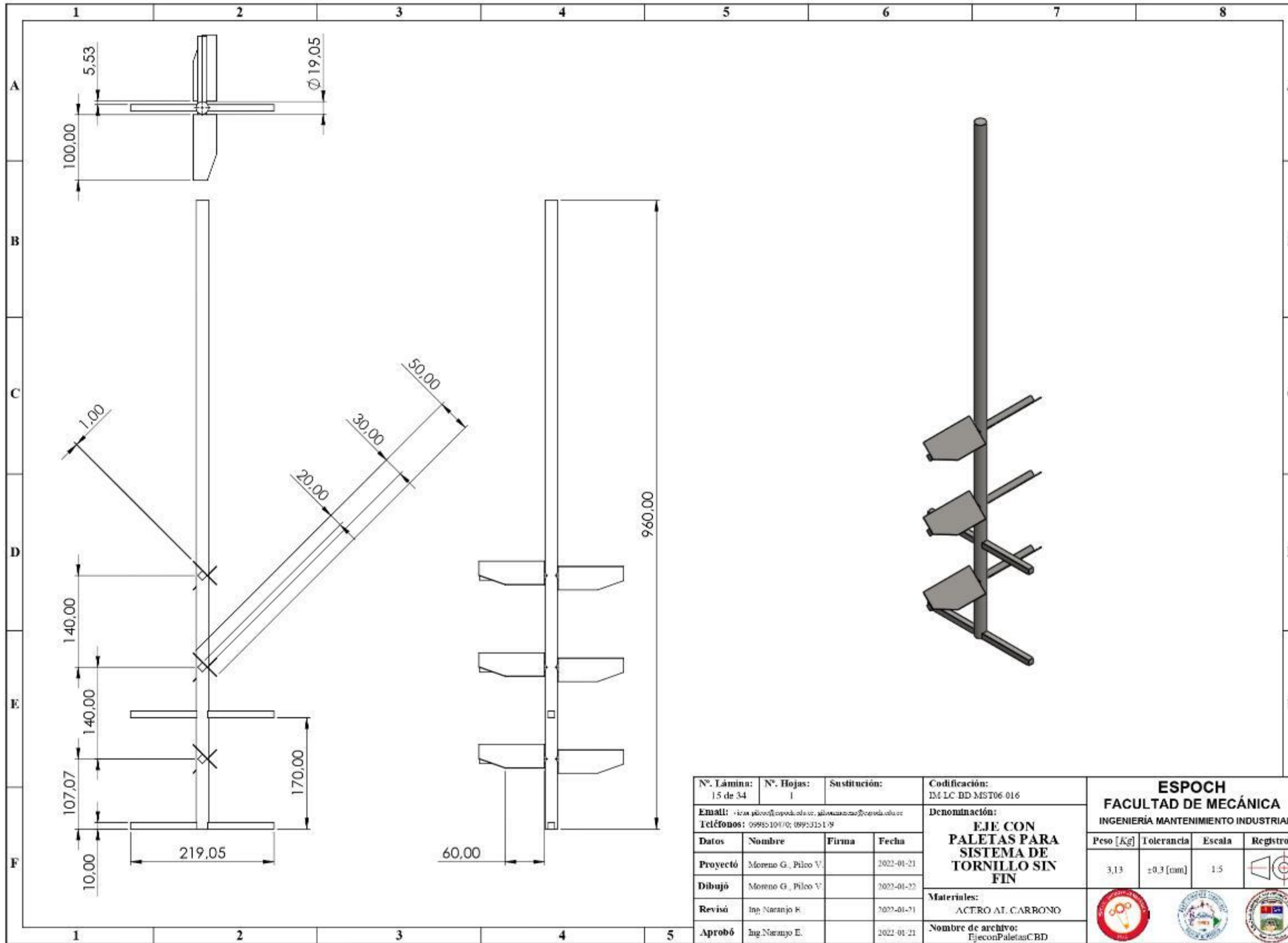




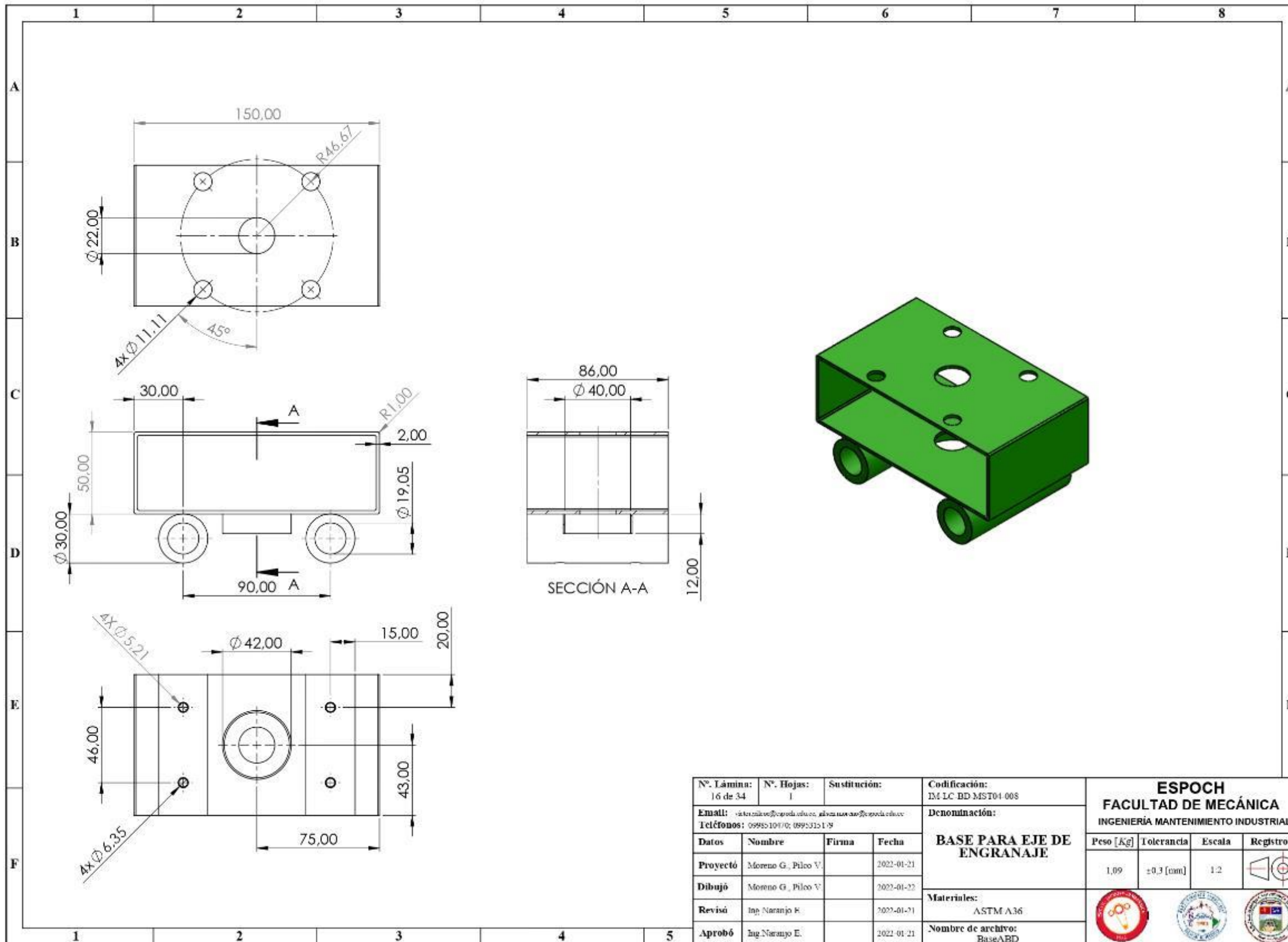
N°. Lámina: 14 de 34	N°. Hojas: 1	Sustitución:	Codificación: IM-LIC-BD-MISTUS-016
Email: <a href="mailto:victor.palaco@esPOCH.edu.ec">victor.palaco@esPOCH.edu.ec</a> Teléfonos: 09955 10170; 0995315179		Denominación: <b>EJE CON PALETAS PARA SISTEMA DE ENGRANAJES HELICOIDALES</b>	
Datos	Nombre	Firma	Fecha
Proyectó	Moreno G., Pilco V.		2022-01-21
Dibujó	Moreno G., Pilco V.		2022-01-22
Revisó	Ing Naranjo E.		2022-01-22
Aprobó	Ing Naranjo E.		2022-01-22

<b>ESPOCH</b> FACULTAD DE MECÁNICA INGENIERÍA MANTENIMIENTO INDUSTRIAL			
Peso [Kg]	Tolerancia	Escala	Registro
3,27	±0,5 [mm]	1:5	
Materiales: ACTERO AL CARBONO			
Nombre de archivo: EjeconPaletasRRD			

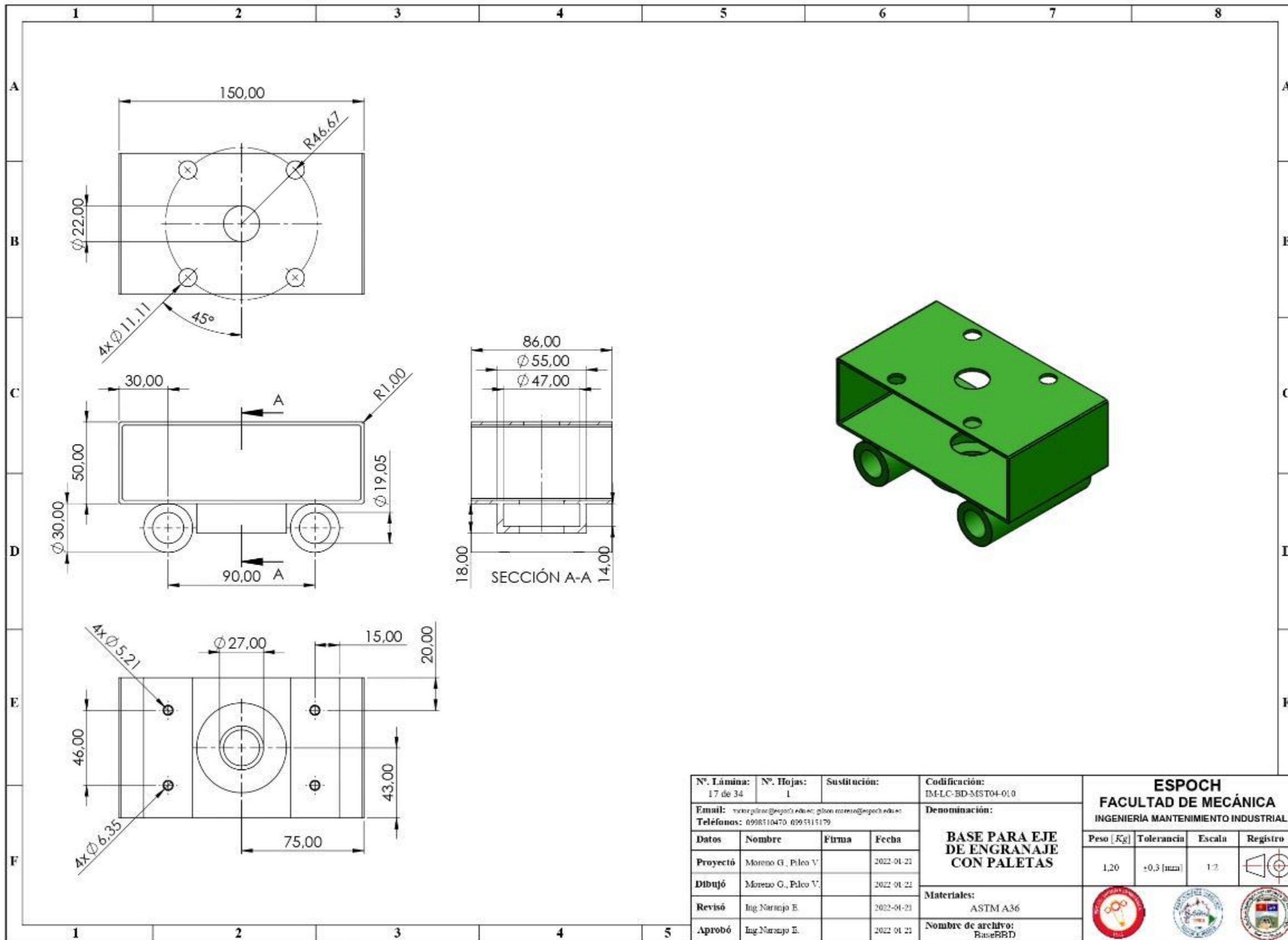




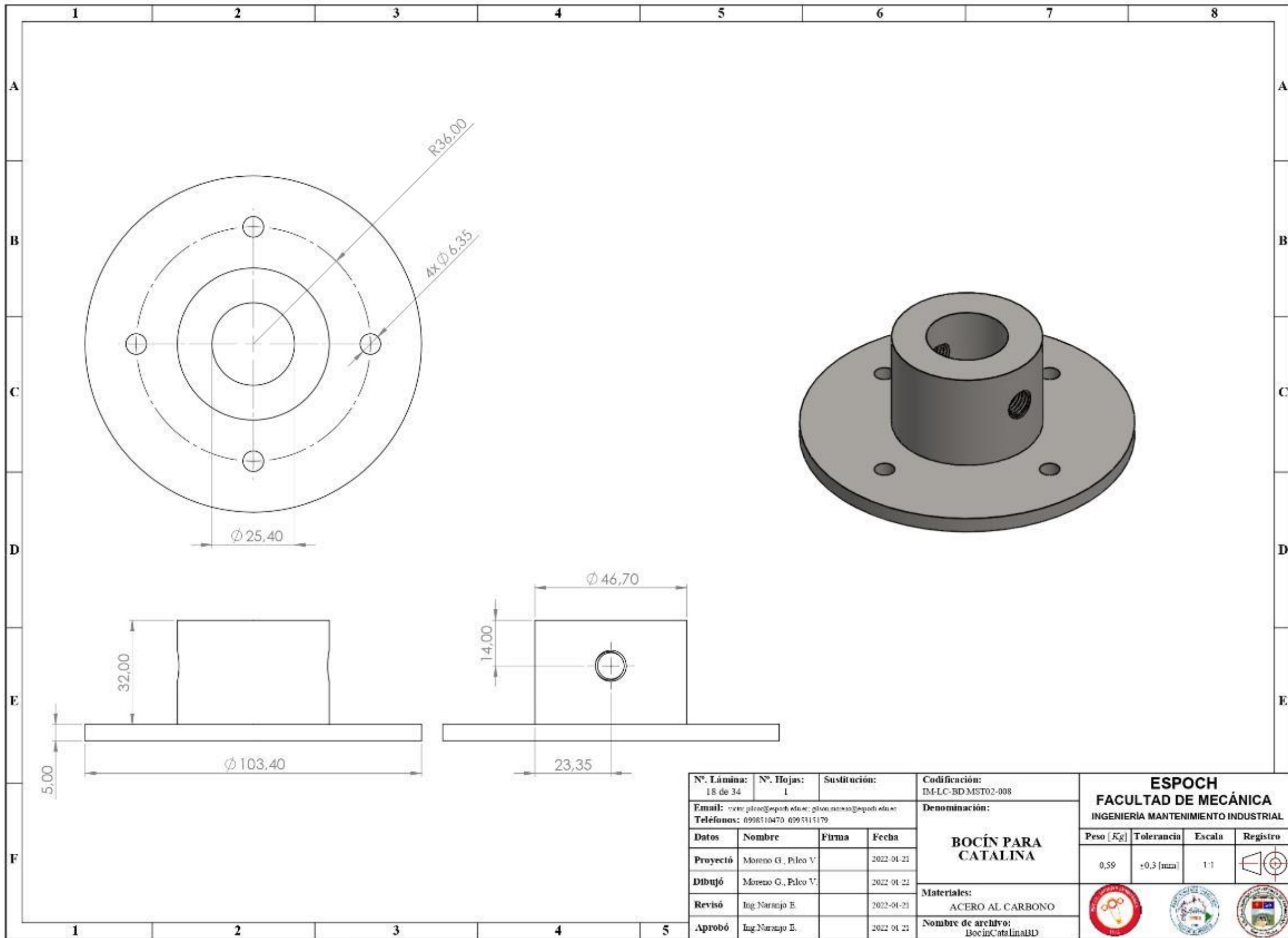
N°. Lámina: 15 de 34		N°. Hojas: 1		Sustitución:		Codificación: EM.LC.BD.MST06.016		<b>ESPOCH</b> <b>FACULTAD DE MECÁNICA</b> INGENIERÍA MANTENIMIENTO INDUSTRIAL			
Email: <a href="mailto:carlos.moreno@esPOCH.edu.ec">carlos.moreno@esPOCH.edu.ec</a>		Teléfonos: 0998510410; 0992312119		Denominación: <b>EJE CON PALETAS PARA SISTEMA DE TORNILLO SIN FIN</b>		Materiales: ACTRO AL CARBONO					
Datos	Nombre	Firma	Fecha	Materiales:		Nombre de archivo:					
Proyectó	Moreno G., Pilco V.		2022-01-21	ACTRO AL CARBONO		EjeconPaletasCBD					
Dibujó	Moreno G., Pilco V.		2022-01-22								
Revisó	Ing. Naranjo E.		2022-01-21								
Aprobó	Ing. Naranjo E.		2022-01-21								



Nº. Lámina: 16 de 34	Nº. Hojas: 1	Sustitución:	Codificación: IM.LC.BD.MST04.008	<b>ESPOCH</b> <b>FACULTAD DE MECÁNICA</b> INGENIERÍA MANTENIMIENTO INDUSTRIAL					
Email: <a href="mailto:victor.milve@esPOCH.edu.ec">victor.milve@esPOCH.edu.ec</a> , <a href="mailto:alvarez.morales@esPOCH.edu.ec">alvarez.morales@esPOCH.edu.ec</a> Teléfonos: 0998510470; 0995315179			Denominación: <b>BASE PARA EJE DE ENGRANAJE</b>					Peso [Kg]	Tolerancia
Datos	Nombre	Firma	Fecha	Materiales: ASTM A36		1,09	±0,3 [mm]	1:2	
Proyectó	Moreno G., Pilco V.		2022-01-21	Nombre de archivo: BaseABD					
Dibujó	Moreno G., Pilco V.		2022-01-22						
Revisó	Ing. Naranjo E.		2022-01-21						
Aprobó	Ing. Naranjo E.		2022-01-21						



N°. Lámina: 17 de 34	N°. Hojas: 1	Sustitución:	Codificación: IM-LC-BD-MST04-010	<b>ESPOCH</b> <b>FACULTAD DE MECÁNICA</b> INGENIERIA MANTENIMIENTO INDUSTRIAL					
Email: victor.gilma@esPOCH.edu.ec; gilma.moreno@esPOCH.edu.ec Teléfonos: 0998110470; 0995311179			Denominación: <b>BASE PARA EJE DE ENGRANAJE CON PALETAS</b>					Peso [Kg]	Tolerancia
Datos	Nombre	Firma	Fecha	Materiales: ASTM A36		1,20	±0,3 [mm]	1:2	
Proyectó	Moreno G., Pileo V.		2022-01-21	Nombre de archivo: BaseRRD					
Dibujó	Moreno G., Pileo V.		2022-01-21						
Revisó	Ing. Narrajo E.		2022-01-21						
Aprobó	Ing. Narrajo E.		2022-01-21						

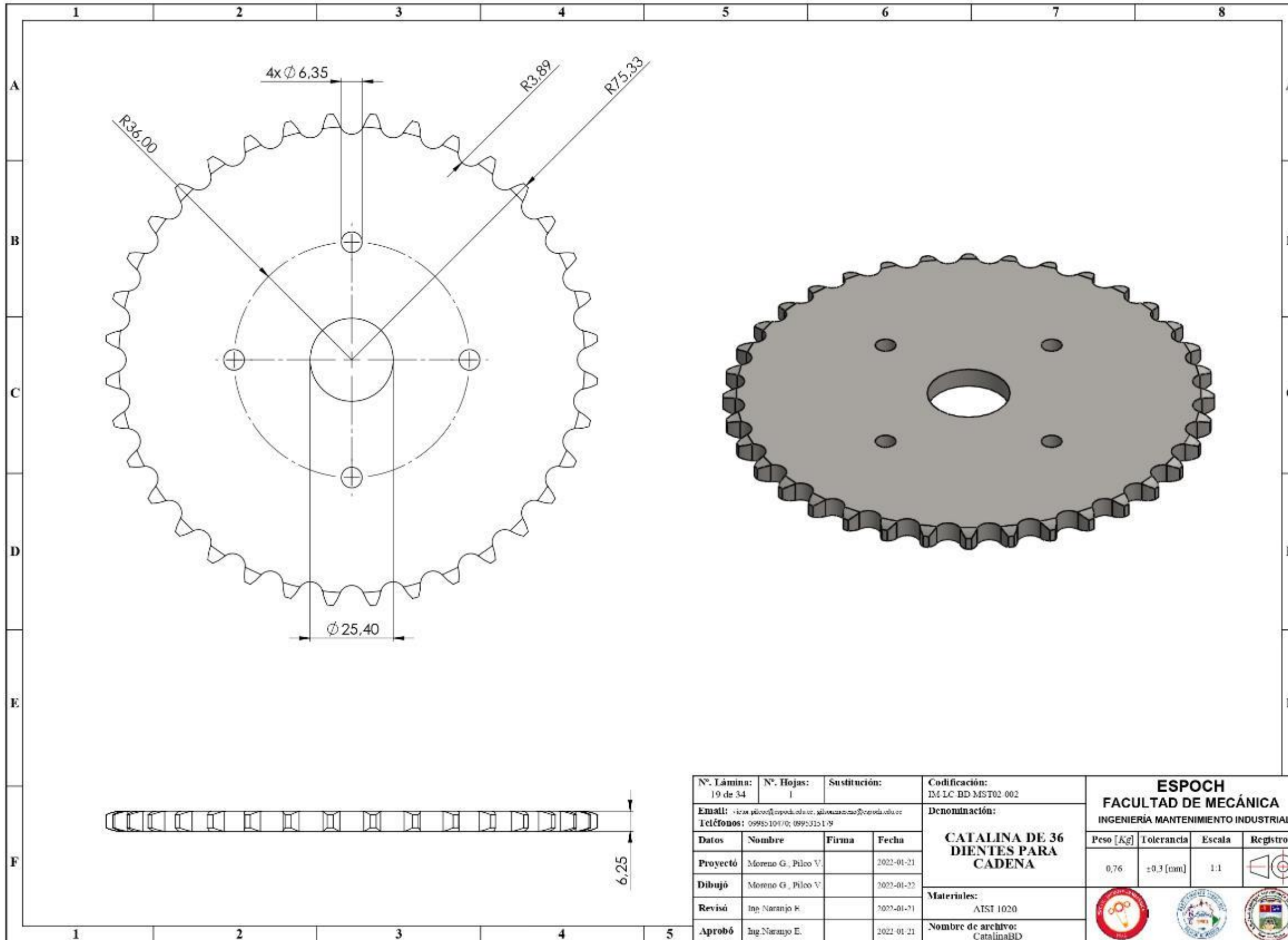


Nº. Lámina: 18 de 34	Nº. Hojas: 1	Sustitución:	Codificación: IM-LC-BD MST02-008		
Email: <a href="mailto:vicar.gilce@esPOCH.edu.ec">vicar.gilce@esPOCH.edu.ec</a> glon.moreno@esPOCH.edu.ec		Denominación:			
Teléfonos: 0998510470-0995315179		<b>BOCÍN PARA CATALINA</b>			
Datos	Nombre			Firma	Fecha
Proyectó	Moreno G., Pico V.				2022-04-21
Dibujó	Moreno G., Pico V.				2022-04-21
Revisó	Ing Narrajo E.		2022-04-21		
Aprobó	Ing Narrajo E.		2022-04-21		
Materiales: ACERO AL CARBONO		Nombre de archivo: BocinCatalinaBD			

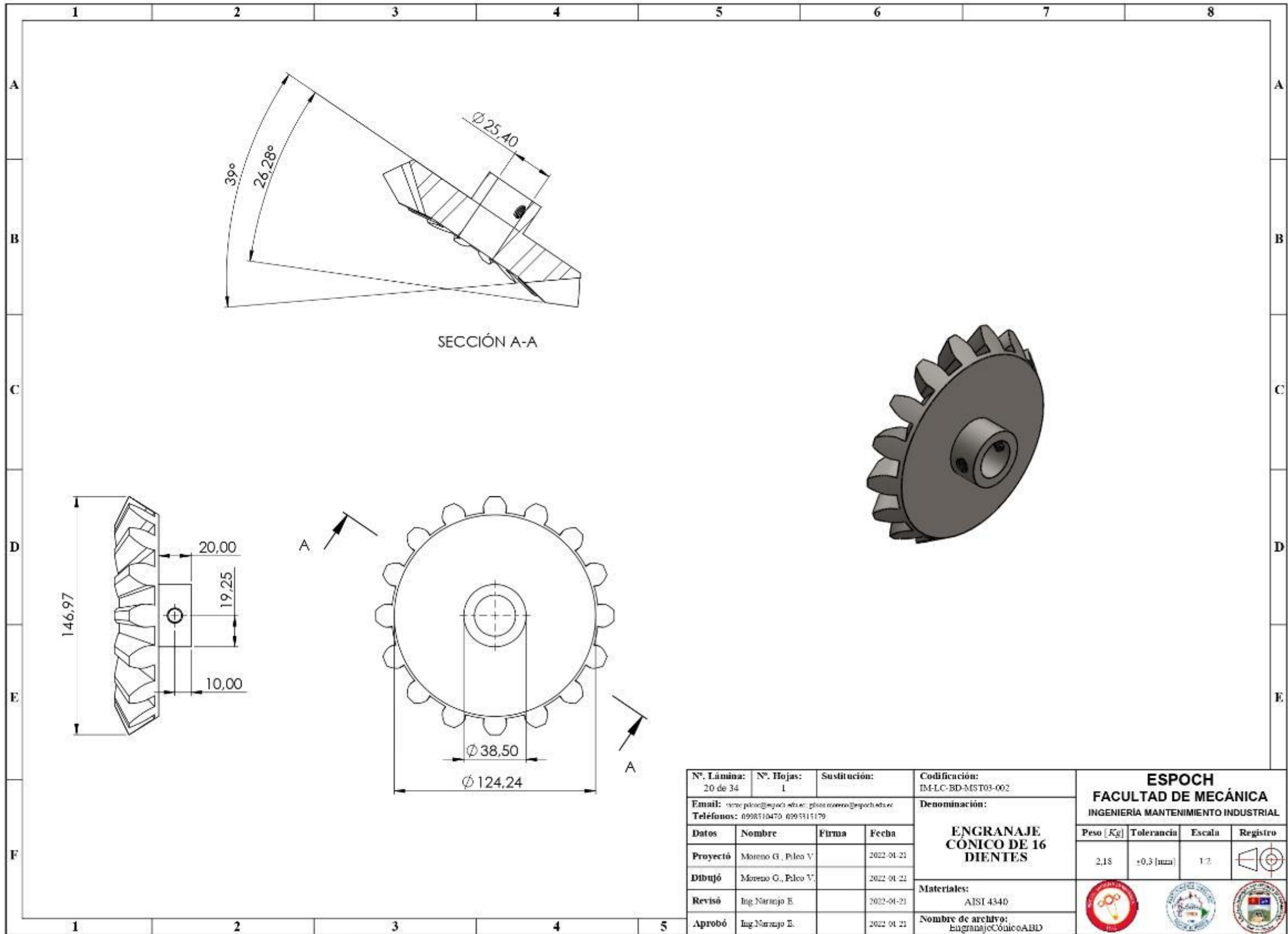
**ESPOCH**  
**FACULTAD DE MECÁNICA**  
INGENIERIA MANTENIMIENTO INDUSTRIAL

Peso [Kg]	Tolerancia	Escala	Registro
0,59	+0,3 [mm]	1:1	

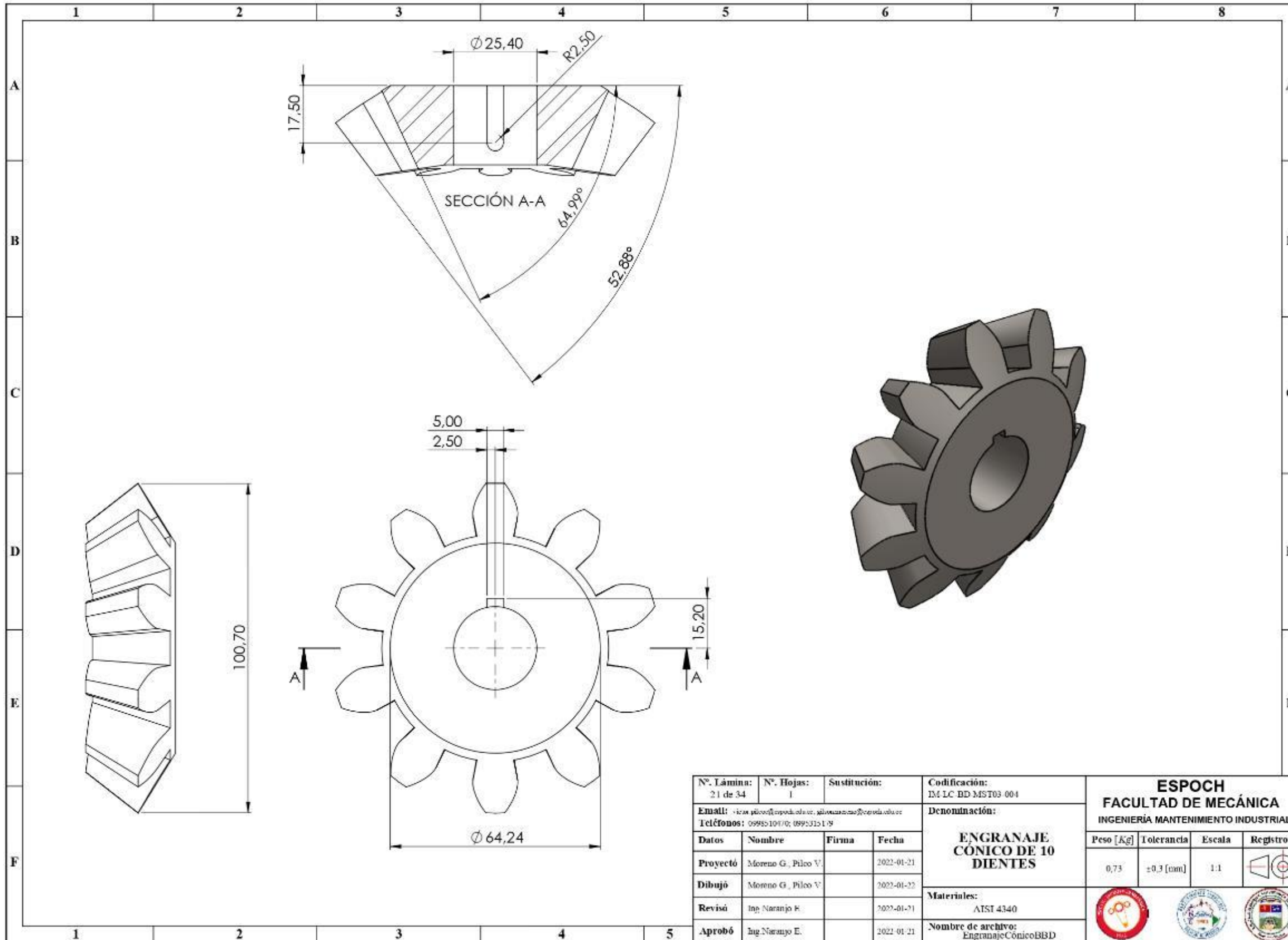




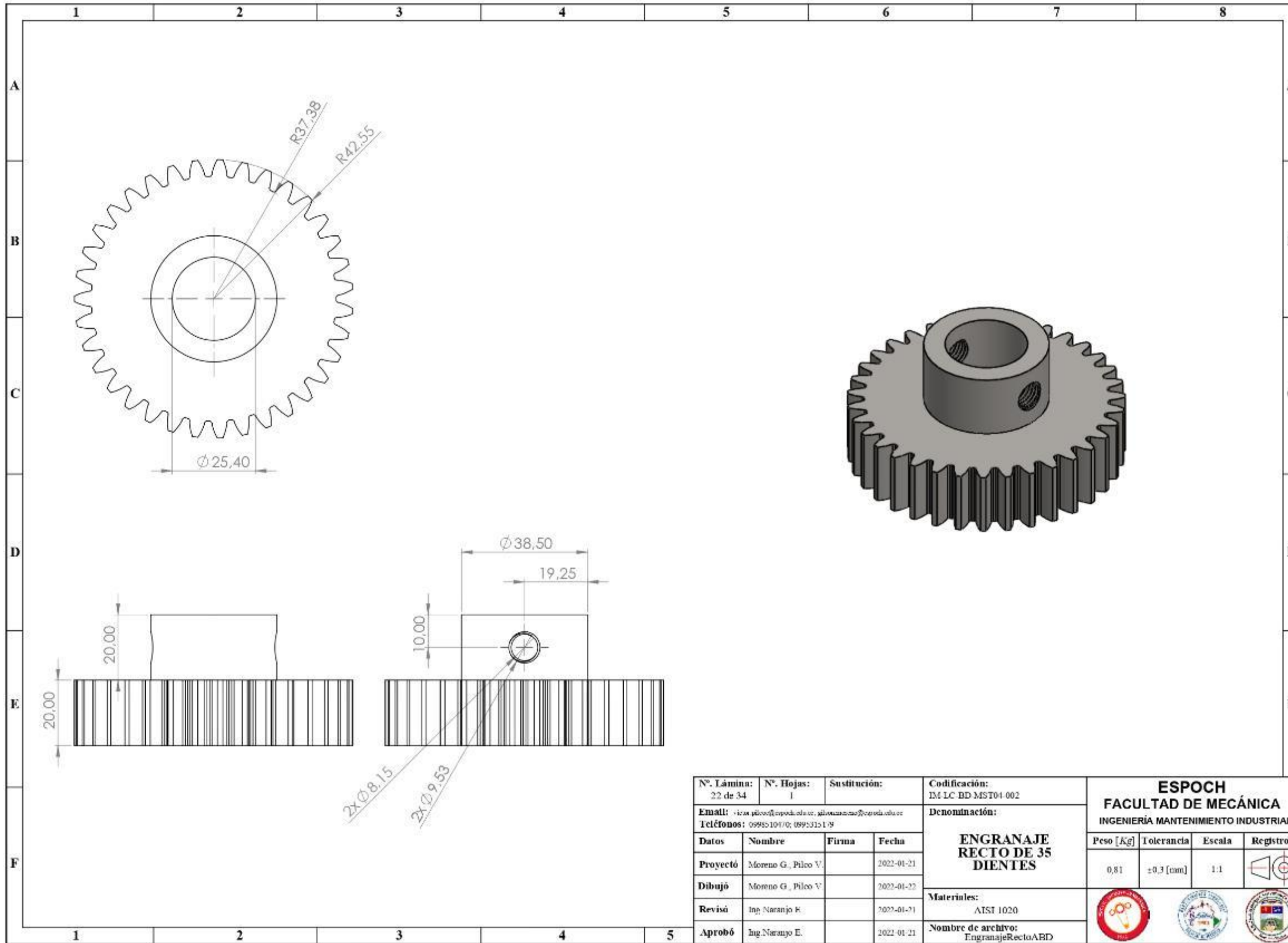
Nº. Lámina: 19 de 34	Nº. Hojas: 1	Sustitución:	Codificación: IM.LC.BD.MST02.002	<b>ESPOCH</b> <b>FACULTAD DE MECÁNICA</b> INGENIERÍA MANTENIMIENTO INDUSTRIAL																									
Email: <a href="mailto:icam.pilco@esPOCH.edu.ec">icam.pilco@esPOCH.edu.ec</a> ; <a href="mailto:pilco@esPOCH.edu.ec">pilco@esPOCH.edu.ec</a> Teléfonos: 0995104100; 0995315179			Denominación: <b>CATALINA DE 36</b> <b>DIENTES PARA</b> <b>CADENA</b>					Peso [kg]	Tolerancia	Escala	Registro																		
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Datos</th> <th>Nombre</th> <th>Firma</th> <th>Fecha</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Proyectó</td> <td>Moreno G., Pilco V.</td> <td></td> <td>2022-01-21</td> </tr> <tr> <td>Dibujó</td> <td>Moreno G., Pilco V.</td> <td></td> <td>2022-01-22</td> </tr> <tr> <td>Revisó</td> <td>Ing. Naranjo E.</td> <td></td> <td>2022-01-21</td> </tr> <tr> <td>Aprobó</td> <td>Ing. Naranjo E.</td> <td></td> <td>2022-01-21</td> </tr> </tbody> </table>				Datos	Nombre	Firma	Fecha	Proyectó	Moreno G., Pilco V.		2022-01-21	Dibujó	Moreno G., Pilco V.		2022-01-22	Revisó	Ing. Naranjo E.		2022-01-21	Aprobó	Ing. Naranjo E.		2022-01-21	Materiales: AISI 1020		0,76	±0,3 [mm]	1:1	
Datos	Nombre	Firma	Fecha																										
Proyectó	Moreno G., Pilco V.		2022-01-21																										
Dibujó	Moreno G., Pilco V.		2022-01-22																										
Revisó	Ing. Naranjo E.		2022-01-21																										
Aprobó	Ing. Naranjo E.		2022-01-21																										
Nombre de archivo: CatalinaBD																													



N°. Lámina: 20 de 34		N°. Hojas: 1		Sustitución:		Codificación: IM-LC-BD-MST03-002		<b>ESPOCH</b> <b>FACULTAD DE MECÁNICA</b> INGENIERÍA MANTENIMIENTO INDUSTRIAL			
Email: <a href="mailto:carro.pisco@esPOCH.edu.ec">carro.pisco@esPOCH.edu.ec</a> ; <a href="mailto:plaza.moreno@esPOCH.edu.ec">plaza.moreno@esPOCH.edu.ec</a> Teléfonos: 0998510470, 0995315179						Denominación:					
Dato		Nombre		Firma		Fecha		ENGRANAJE CÓNICO DE 16 DIENTES		Peso [Kg]   Tolerancia   Escala   Registro 2,18   ±0,3 [mm]   1:2	
Proyectó		Moreno G., Pisco V.				2022-01-21		Materiales:			
Dibujó		Moreno G., Pisco V.				2022-01-21		AISI 4340			
Revisó		Ing. Narrajo E.				2022-01-21		Nombre de archivo:			
Aprobó		Ing. Narrajo E.				2022-01-21		EngranajeCónicoABD			

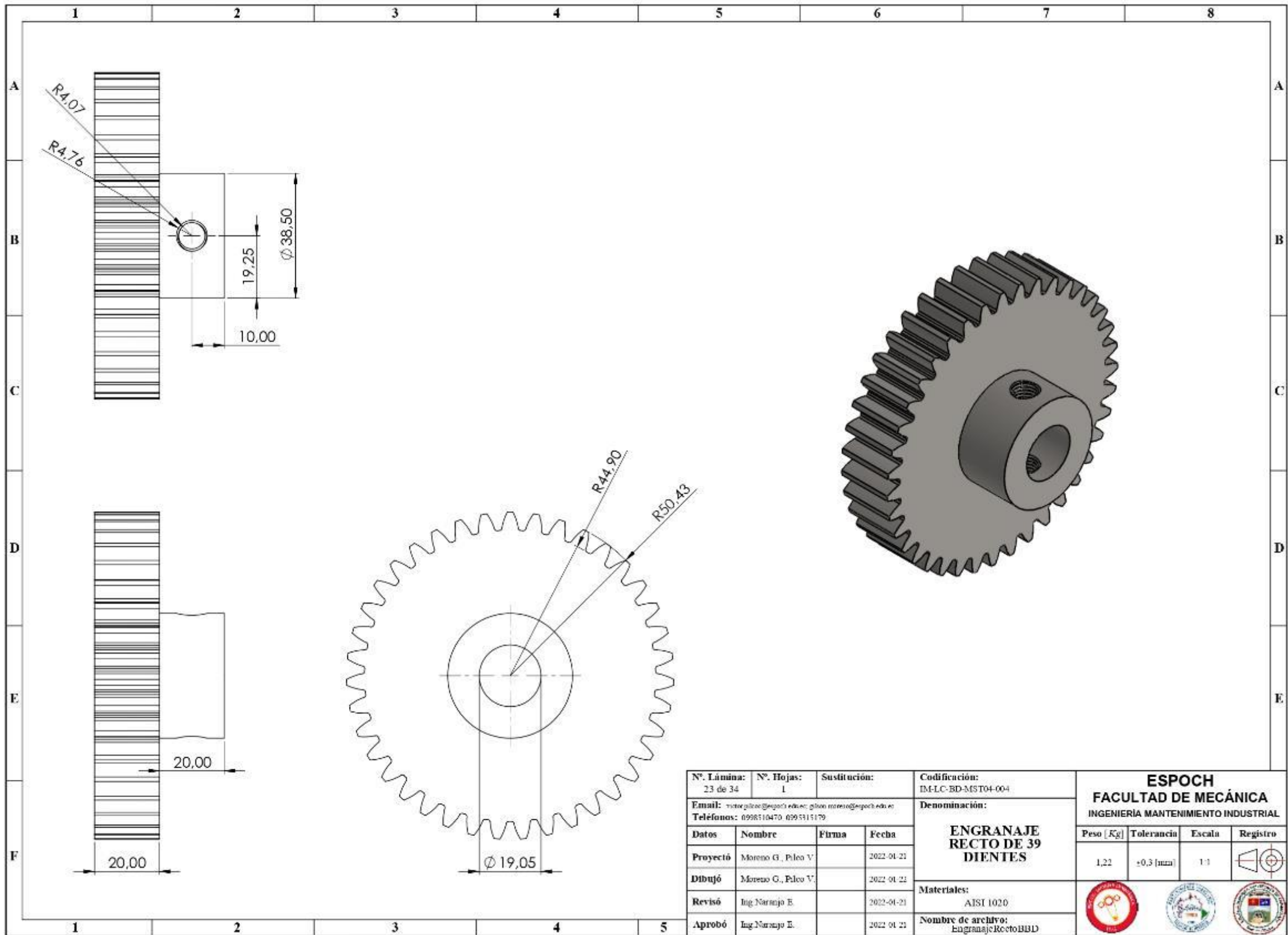


N°. Lámina: 21 de 34	N°. Hojas: 1	Sustitución:	Codificación: IM.LC.BD.MST03.004	<b>ESPOCH</b> <b>FACULTAD DE MECÁNICA</b> INGENIERÍA MANTENIMIENTO INDUSTRIAL																									
Email: <a href="mailto:carlos.moreno@esPOCH.edu.ec">carlos.moreno@esPOCH.edu.ec</a> ; <a href="mailto:piro@esPOCH.edu.ec">piro@esPOCH.edu.ec</a> Teléfonos: 0995104170; 0995315179			Denominación: <b>ENGRANAJE          CÓNICO DE 10          DIENTES</b>					Peso [Kg]	Tolerancia	Escala	Registro																		
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Datos</th> <th>Nombre</th> <th>Firma</th> <th>Fecha</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Proyectó</td> <td>Moreno G., Pilco V.</td> <td></td> <td>2022-01-21</td> </tr> <tr> <td>Dibujó</td> <td>Moreno G., Pilco V.</td> <td></td> <td>2022-01-22</td> </tr> <tr> <td>Revisó</td> <td>Ing. Naranjo E.</td> <td></td> <td>2022-01-21</td> </tr> <tr> <td>Aprobó</td> <td>Ing. Naranjo E.</td> <td></td> <td>2022-01-21</td> </tr> </tbody> </table>				Datos	Nombre	Firma	Fecha	Proyectó	Moreno G., Pilco V.		2022-01-21	Dibujó	Moreno G., Pilco V.		2022-01-22	Revisó	Ing. Naranjo E.		2022-01-21	Aprobó	Ing. Naranjo E.		2022-01-21	Materiales: AISI 4340		0,73	±0,3 [mm]	1:1	
Datos	Nombre	Firma	Fecha																										
Proyectó	Moreno G., Pilco V.		2022-01-21																										
Dibujó	Moreno G., Pilco V.		2022-01-22																										
Revisó	Ing. Naranjo E.		2022-01-21																										
Aprobó	Ing. Naranjo E.		2022-01-21																										
Nombre de archivo: EngranajeCónicoBBD																													



N°. Lámina: 22 de 34		N°. Hojas: 1		Sustitución:		Codificación: EM.LC.BD.MST04.002		<b>ESPOCH</b> <b>FACULTAD DE MECÁNICA</b> INGENIERÍA MANTENIMIENTO INDUSTRIAL							
Email: <a href="mailto:ingenieria@esPOCH.edu.ec">ingenieria@esPOCH.edu.ec</a> ; <a href="mailto:mantenimiento@esPOCH.edu.ec">mantenimiento@esPOCH.edu.ec</a> Teléfonos: 0998510410; 0992312119						Denominación:						Registro			
<b>Datos</b>		<b>Nombre</b>		<b>Firma</b>		<b>Fecha</b>		<b>Peso [Kg]</b>		<b>Tolerancia</b>		<b>Escala</b>		<b>Registro</b>	
Proyectó		Moreno G., Pilco V.				2022-01-21		0,81		±0,3 [mm]		1:1			
Dibujó		Moreno G., Pilco V.				2022-01-22									
Revisó		Ing. Naranjo E.				2022-01-21									
Aprobó		Ing. Naranjo E.				2022-01-21									
						Materiales: AISI 1020		Nombre de archivo: EngranajeRectoABD							

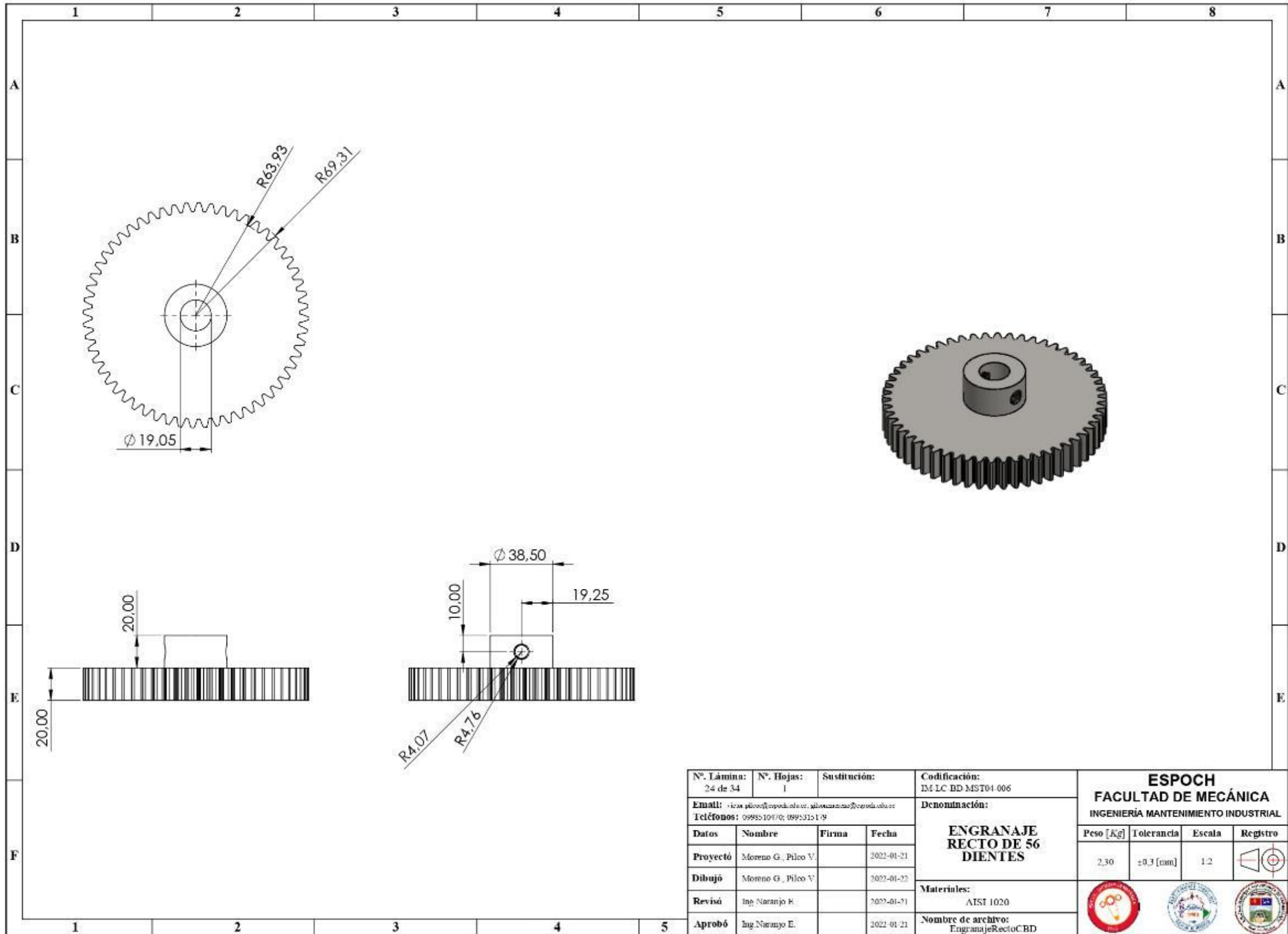




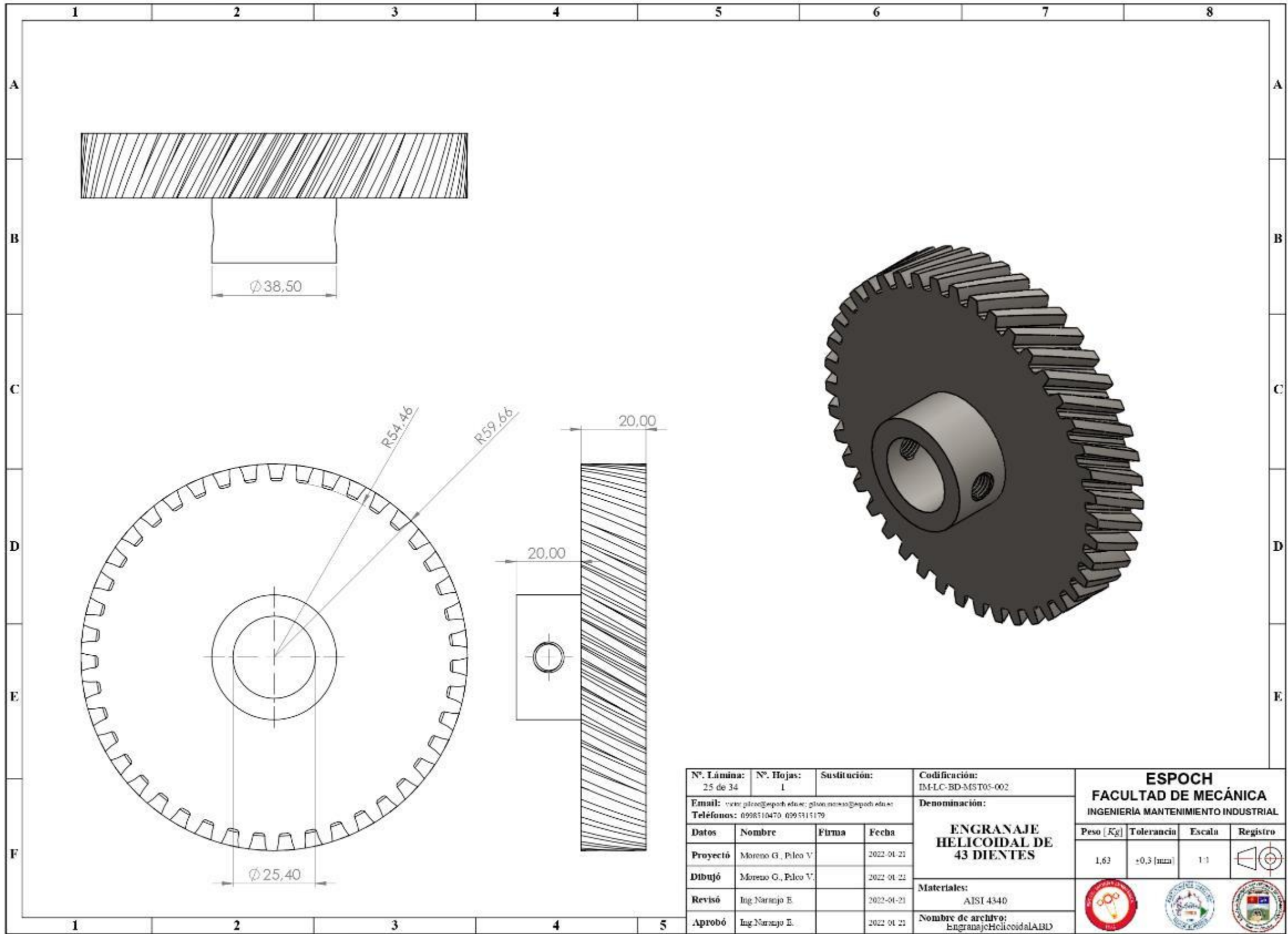
N°. Lámina:	N°. Hojas:	Sustitución:	Codificación:
23 de 34	1		DM-LC-BD-MST04-004
Email: victor.gilroy@esPOCH.edu.ec; gilroy.moreno@esPOCH.edu.ec		Denominación:	
Teléfonos: 0998510470; 0995115179		<b>ENGRANAJE RECTO DE 39 DIENTES</b>	
Datos	Nombre	Firma	Fecha
Proyectó	Moreno G., Pileo V.		2022-01-21
Dibujó	Moreno G., Pileo V.		2022-01-21
Revisó	Ing. Narrajo E.		2022-01-21
Aprobó	Ing. Narrajo E.		2022-01-21
Materiales:			
AISI 1020			
Nombre de archivo:			
EngranajeRectoBDD			

**ESPOCH**  
**FACULTAD DE MECÁNICA**  
 INGENIERÍA MANTENIMIENTO INDUSTRIAL

Peso [Kg]	Tolerancia	Escala	Registro
1,22	±0,3 [mm]	1:1	

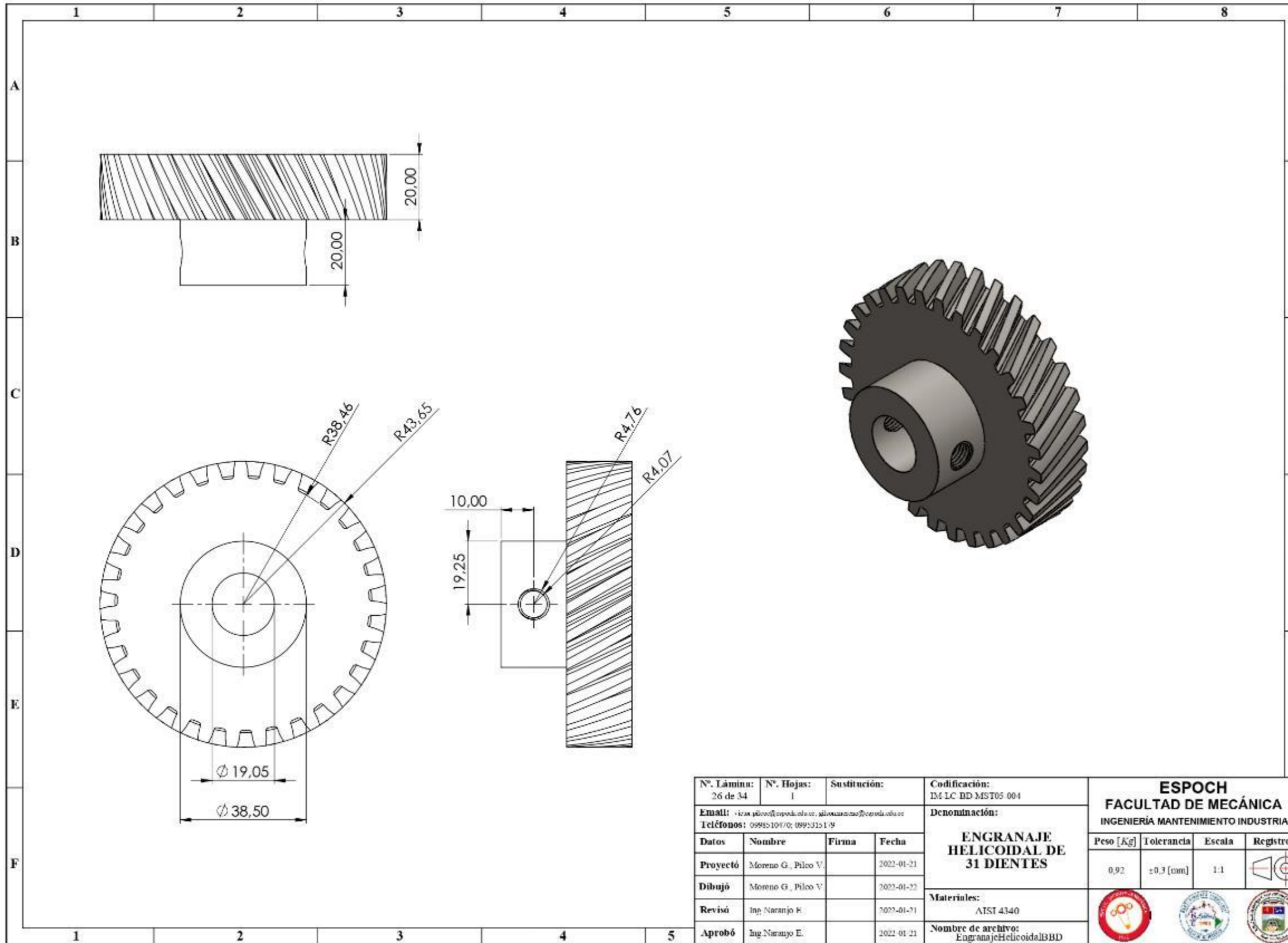


N° Lámina: 24 de 34		N° Hojas: 1		Sustitución:		Codificación: IM LC BD MST01 006		<b>ESPOCH</b> <b>FACULTAD DE MECÁNICA</b> INGENIERÍA MANTENIMIENTO INDUSTRIAL							
Email: <a href="mailto:ingenieria@esPOCH.edu.ec">ingenieria@esPOCH.edu.ec</a> Teléfonos: 0998510470; 0995315119						Denominación:						Registro			
Dato		Nombre		Firma		Fecha		Peso [Kg]		Tolerancia		Escala		Registro	
Proyectó		Moreno G., Pilco V.				2022-01-21		2,30		±0,3 [mm]		1:2			
Dibujó		Moreno G., Pilco V.				2022-01-22		<b>ENGRANAJE RECTO DE 56 DIENTES</b>							
Revisó		Ing. Naranjo E.				2022-01-21									
Aprobó		Ing. Naranjo E.				2022-01-21		Materiales: AISI 1020							
								Nombre de archivo: EngranajeRectoCBD							



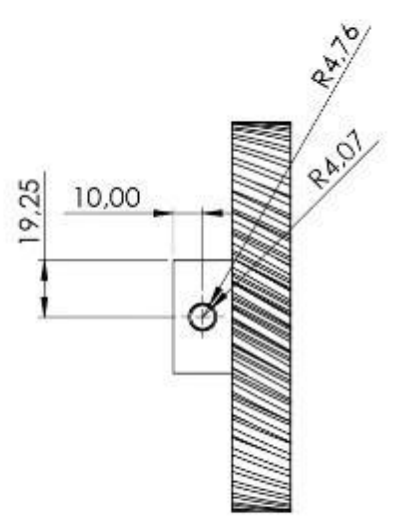
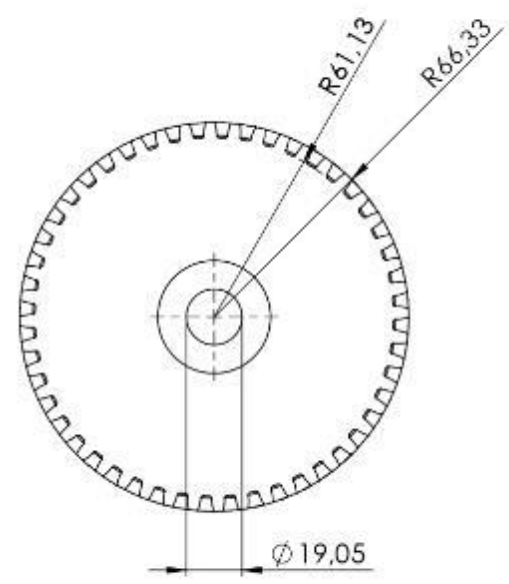
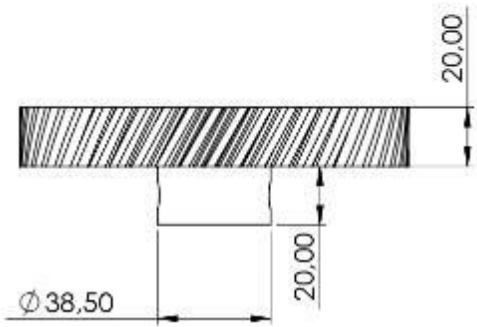
Nº. Lámina: 25 de 34	Nº. Hojas: 1	Sustitución:	Codificación: IM-LC-BD-MST05-002	<b>ESPOCH</b> <b>FACULTAD DE MECÁNICA</b> INGENIERIA MANTENIMIENTO INDUSTRIAL				
Email: <a href="mailto:carlos.moreno@esPOCH.edu.ec">carlos.moreno@esPOCH.edu.ec</a> Teléfonos: 0998110470 0995311179			Denominación:					Peso [Kg]
Datos	Nombre	Firma	Fecha	<b>ENGRANAJE          HELICOIDAL DE          43 DIENTES</b>	1,62	±0,3 [mm]	1:1	
Proyectó	Moreno G., Pileo V.		2022-01-21					
Dibujó	Moreno G., Pileo V.		2022-01-21					
Revisó	Ing. Narrajo E.		2022-01-21					
Aprobó	Ing. Narrajo E.		2022-01-21					
Materiales:				AISI 4340				
Nombre de archivo:				EngranajeHelicoidalABD				



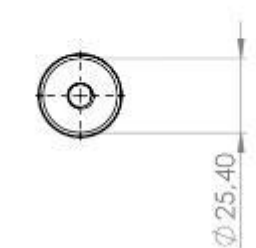
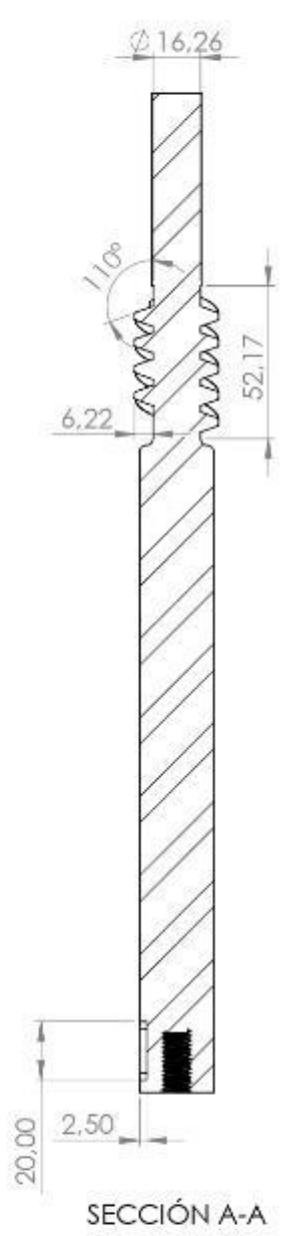
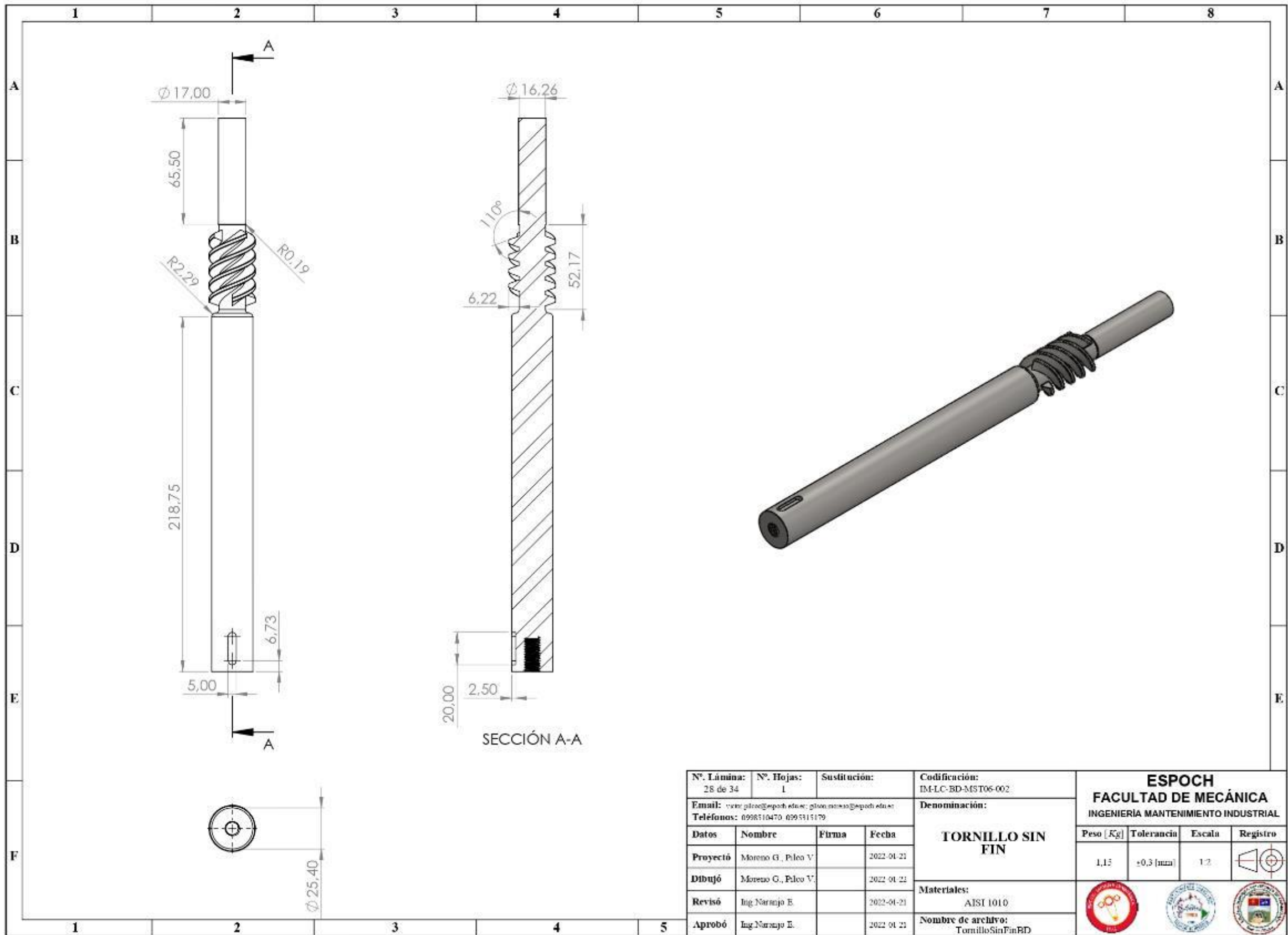


N°. Lámina: 26 de 34		N°. Hojas: 1		Sustitución:		Codificación: IM LC BD MST05 004		<b>ESPOCH</b> <b>FACULTAD DE MECÁNICA</b> <b>INGENIERÍA MANTENIMIENTO INDUSTRIAL</b>			
Email: <a href="mailto:masplata@esPOCH.edu.ec">masplata@esPOCH.edu.ec</a>		Teléfonos: 0995210470; 0995315119		Denominación:  <b>ENGRANAJE HELICOIDAL DE 31 DIENTES</b>		Materiales: AISI 4340					
Peso [Kg]		Tolerancia		Escala		Registro					
0,92		±0,3 [mm]		1:1							

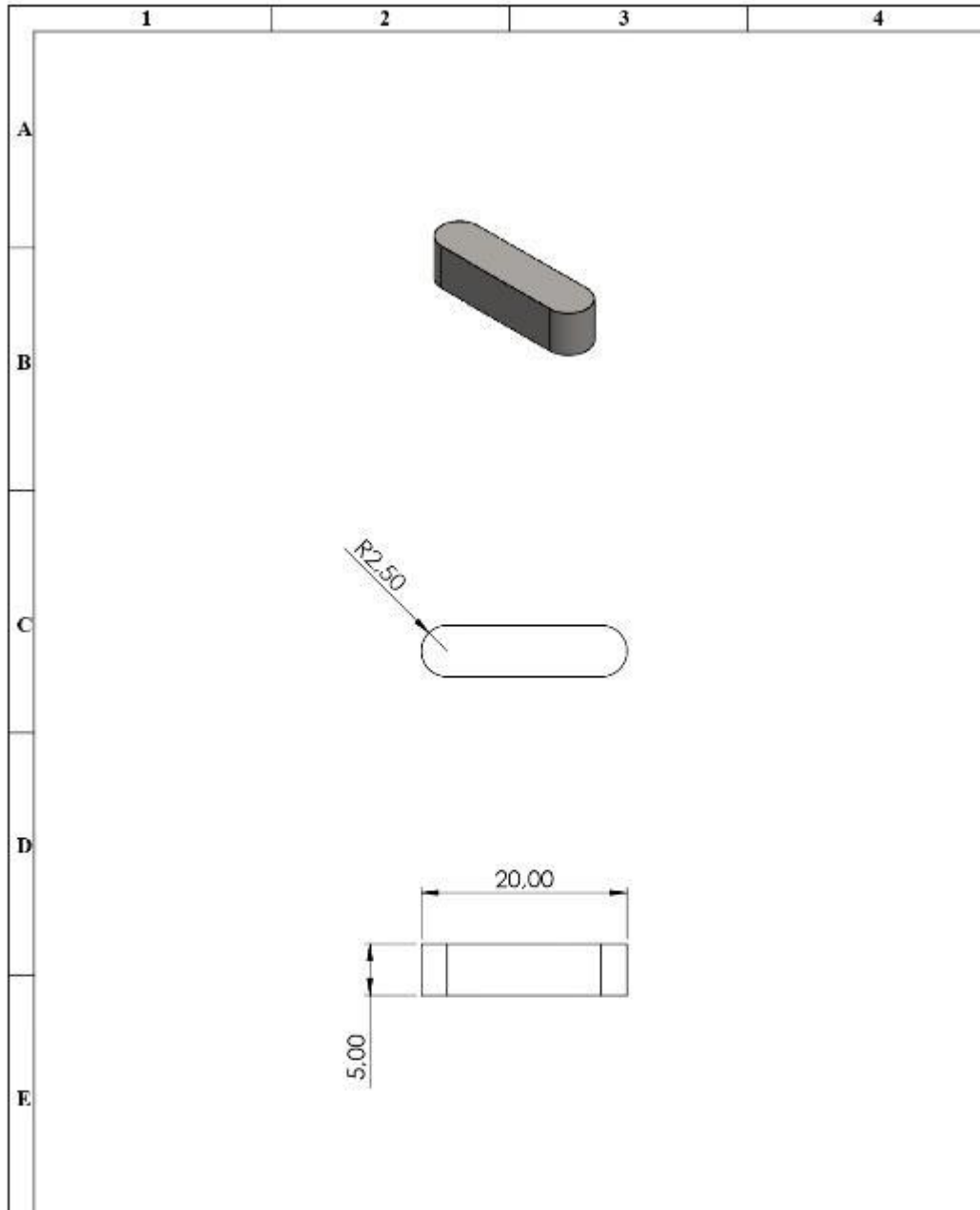




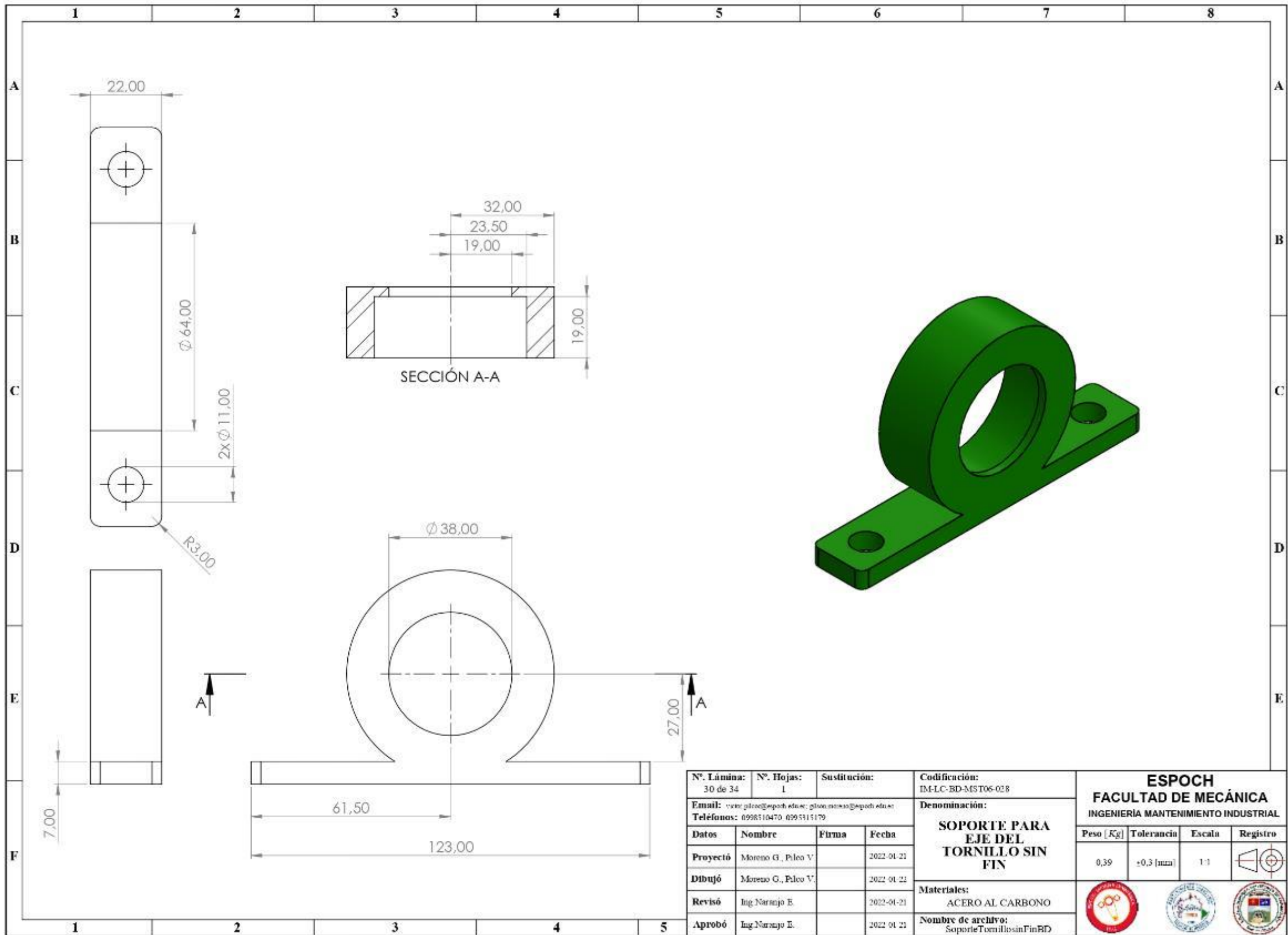
N° Lámina: 27 de 34	N° Hojas: 1	Sustitución:	Codificación: IM.LC.BD.MST05.006	<b>ESPOCH</b> <b>FACULTAD DE MECÁNICA</b> INGENIERÍA MANTENIMIENTO INDUSTRIAL					
Email: <a href="mailto:ingenieria@esPOCH.edu.ec">ingenieria@esPOCH.edu.ec</a> , <a href="mailto:mantenimiento@esPOCH.edu.ec">mantenimiento@esPOCH.edu.ec</a> Teléfonos: 0998510470; 0995315179			Denominación:  <b>ENGRANAJE HELICOIDAL DE 48 DIENTES</b>					Peso [Kg]	Tolerancia
Datos	Nombre	Firma	Fecha	Materiales: AISI 4340		2,09	±0,3 [mm]	1:2	
Proyectó	Moreno G., Pilco V.		2022-01-21	Nombre de archivo: EngranajeHelicoidalCBD					
Dibujó	Moreno G., Pilco V.		2022-01-22						
Revisó	Ing. Naranjo E.		2022-01-21						
Aprobó	Ing. Naranjo E.		2022-01-21						



N°. Lámina: 28 de 34	N°. Hojas: 1	Sustitución:	Codificación: DM-LC-BD-MST06-002	<b>ESPOCH</b> <b>FACULTAD DE MECÁNICA</b> INGENIERÍA MANTENIMIENTO INDUSTRIAL					
Email: <a href="mailto:vario.plano@esPOCH.edu.ec">vario.plano@esPOCH.edu.ec</a> ; <a href="mailto:plano.moreno@esPOCH.edu.ec">plano.moreno@esPOCH.edu.ec</a> Teléfonos: 0998510470, 0995315179			Denominación: <b>TORNILLO SIN FIN</b>					Peso [Kg]	Tolerancia
Datos	Nombre	Firma	Fecha	Materiales: AISI 1010		1,15	±0,3 [mm]	1:2	
Proyectó	Moreno G., Pileo V.		2022-01-21	Nombre de archivo: TornilloSinFinRD					
Dibujó	Moreno G., Pileo V.		2022-01-21						
Revisó	Ing. Narrajo E.		2022-01-21						
Aprobó	Ing. Narrajo E.		2022-01-21						

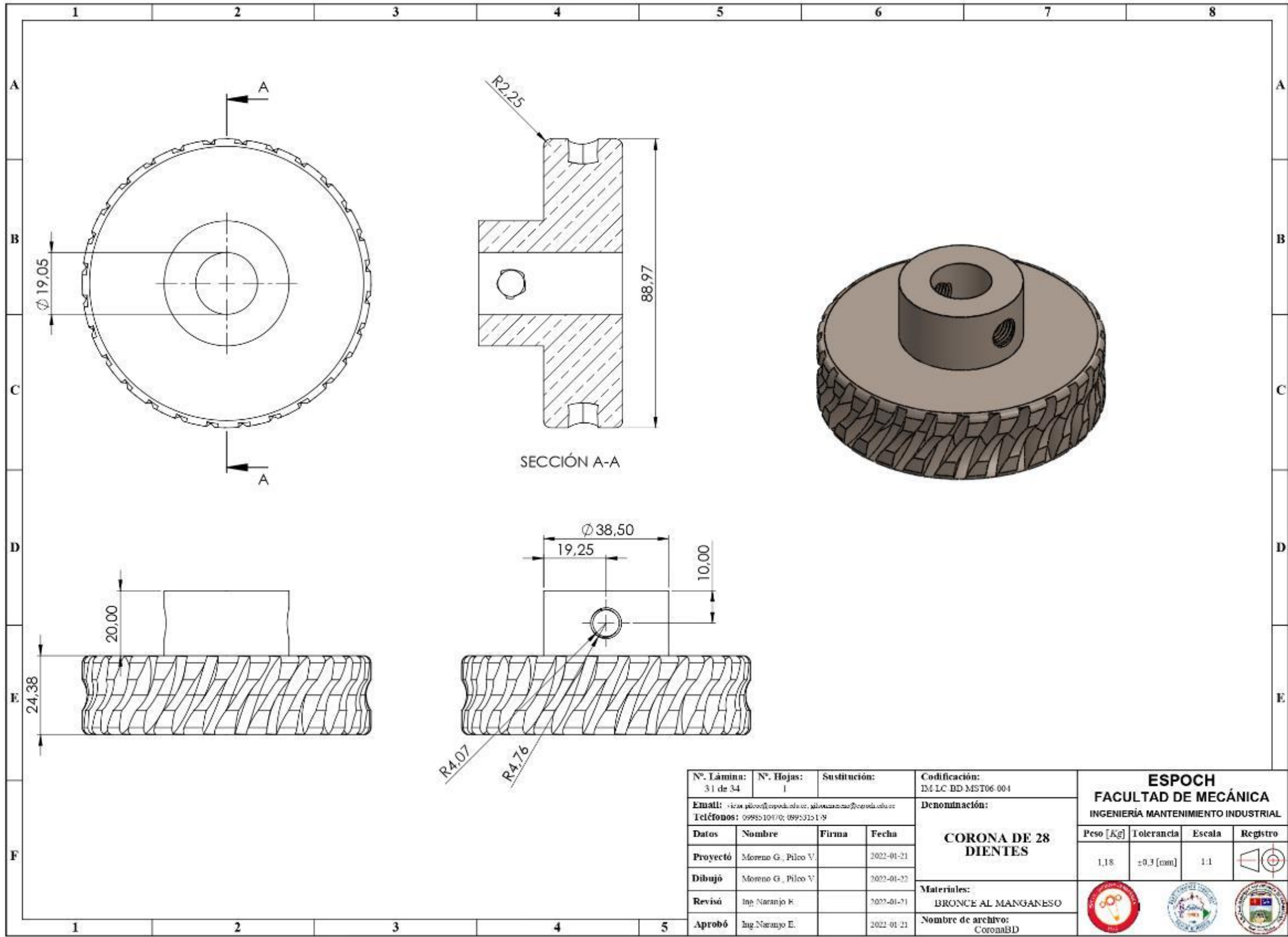


Nº. Lámina: 29 de 34		Nº. Hojas: 1		Sustitución:		Codificación: IM-LC-BD-MST06-002		<b>ESPOCH</b>			
Email: <a href="mailto:vicente.pilco@esPOCH.edu.pe">vicente.pilco@esPOCH.edu.pe</a> ; <a href="mailto:gloria.cano@esPOCH.edu.pe">gloria.cano@esPOCH.edu.pe</a>						Denominación:		<b>FACULTAD DE MECÁNICA</b>			
Teléfonos: 0998510470, 0995315179						<b>CHAVETA PARA EJE DEL TORNILLO SIN FIN</b>		<b>INGENIERÍA MANTENIMIENTO INDUSTRIAL</b>			
Datos	Nombre	Firma	Fecha	Peso [Kg]	Tolerancia			Escala	Registro		
Proyectó	Morano G., Pilco V.		2 022 01 30	0,0037	$\pm 0,3$ [mm]	2:1					
Dibujó	Morano G., Pilco V.		2 022 01 30								
Revisó	Ing. Nazario Egeaiza.		2 022 01 30								
Aprobó	Ing. Nazario Egeaiza.		2 022 01 30	Materiales: ACERO AL CARBONO		Nombre de archivo: ChavetaTornillosinFinBD					

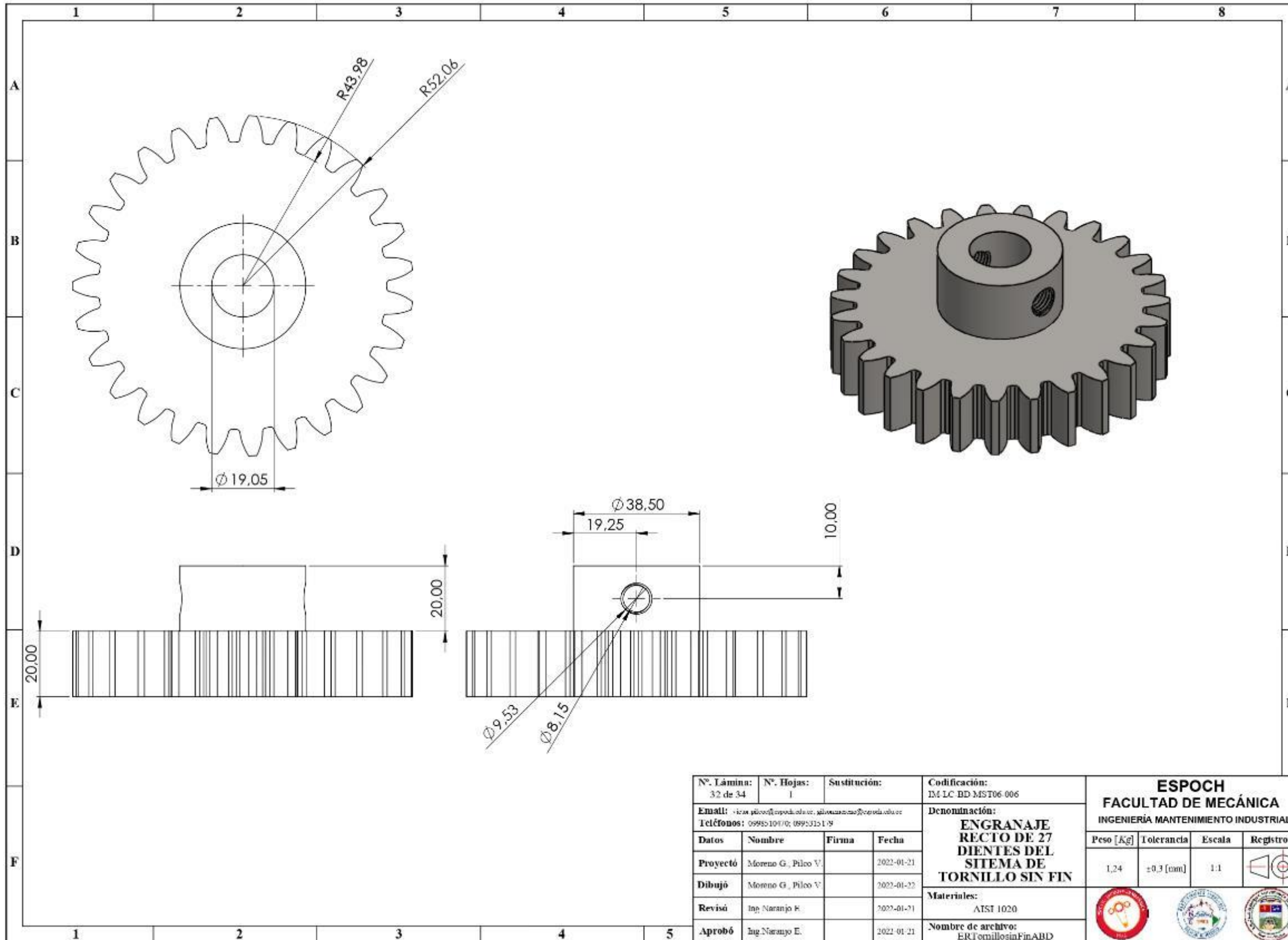


N°. Lámina: 30 de 34		N°. Hojas: 1		Sustitución:		Codificación: IM-LC-BD-MST06-018		<b>ESPOCH</b> <b>FACULTAD DE MECÁNICA</b> INGENIERÍA MANTENIMIENTO INDUSTRIAL			
Email: <a href="mailto:vario.pilco@esPOCH.edu.ec">vario.pilco@esPOCH.edu.ec</a> ; <a href="mailto:gilson.moreno@esPOCH.edu.ec">gilson.moreno@esPOCH.edu.ec</a>				Teléfonos: 0998510470, 0995315179							
Datos	Nombre	Firma	Fecha	Materiales: ACERO AL CARBONO		Peso [Kg]	Tolerancia	Escala	Registro		
Proyectó	Moreno G., Pilco V.		2022-01-21	Nombre de archivo: SoporteTornilloSinFinBD		0,39	±0,3 [mm]	1:1			
Dibujó	Moreno G., Pilco V.		2022-01-21								
Revisó	Ing. Narrajo E.		2022-01-21								
Aprobó	Ing. Narrajo E.		2022-01-21								

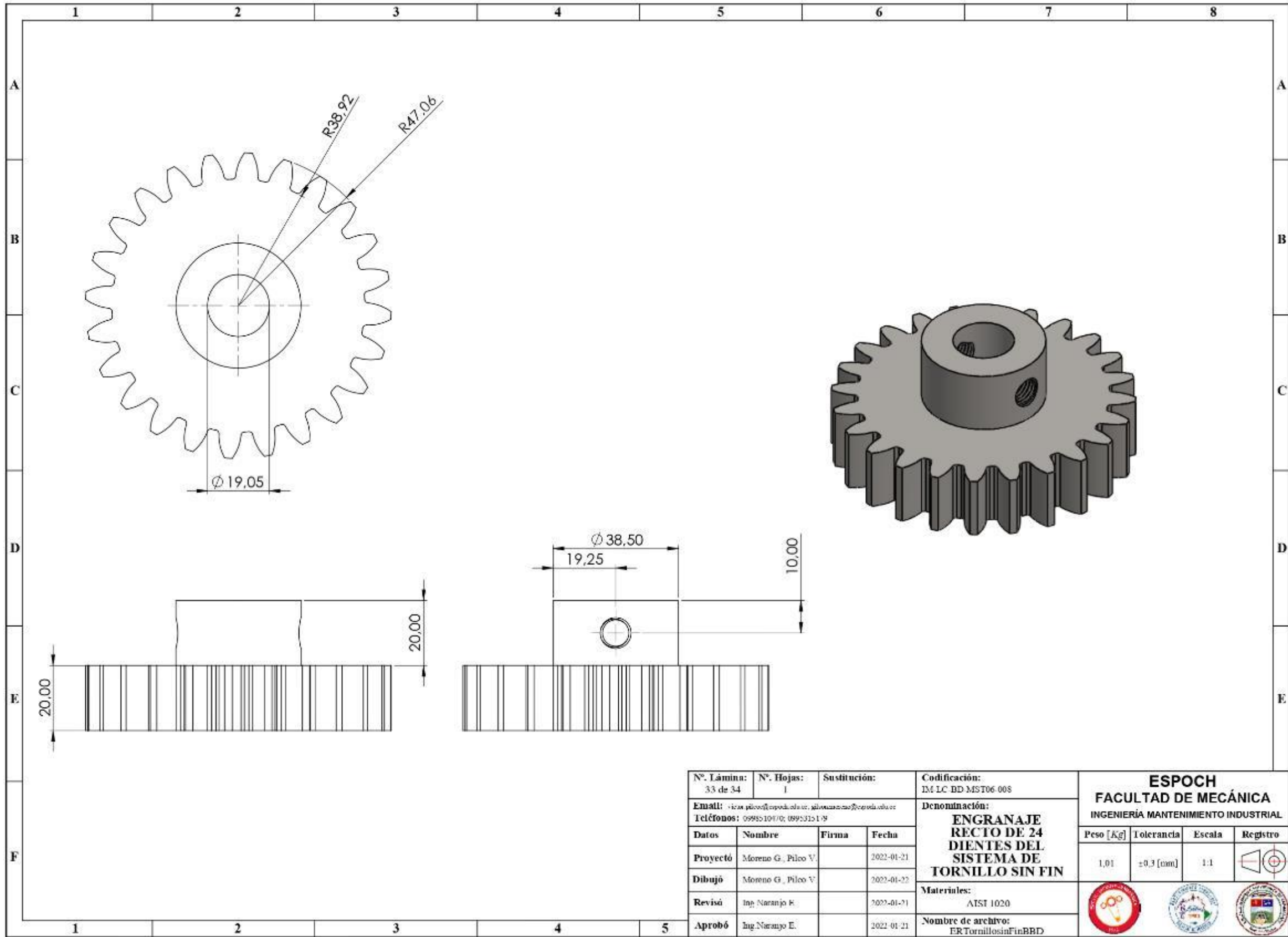




N°. Lámina: 31 de 34		N°. Hojas: 1		Sustitución:		Codificación: DM LC BD MST06 004		<b>ESPOCH</b> <b>FACULTAD DE MECÁNICA</b> INGENIERÍA MANTENIMIENTO INDUSTRIAL			
Email: <a href="mailto:ingenieria@esPOCH.edu.ec">ingenieria@esPOCH.edu.ec</a>		Teléfonos: 0998510470; 0995315119				Denominación:  <b>CORONA DE 28 DIENTES</b>					
Datos	Nombre	Firma	Fecha					1,18	±0,3 [mm]	1:1	
Proyectó	Moreno G., Pilco V.		2022-01-21								
Dibujó	Moreno G., Pilco V.		2022-01-22								
Revisó	Ing. Naranjo E.		2022-01-21								
Aprobó	Ing. Naranjo E.		2022-01-21					Materiales: BRONCE AL MANGANESO		Nombre de archivo: Corona3D	

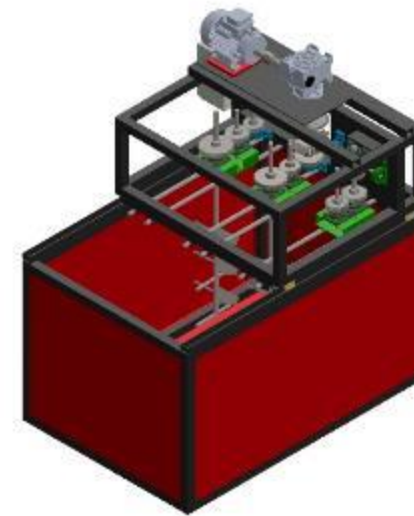
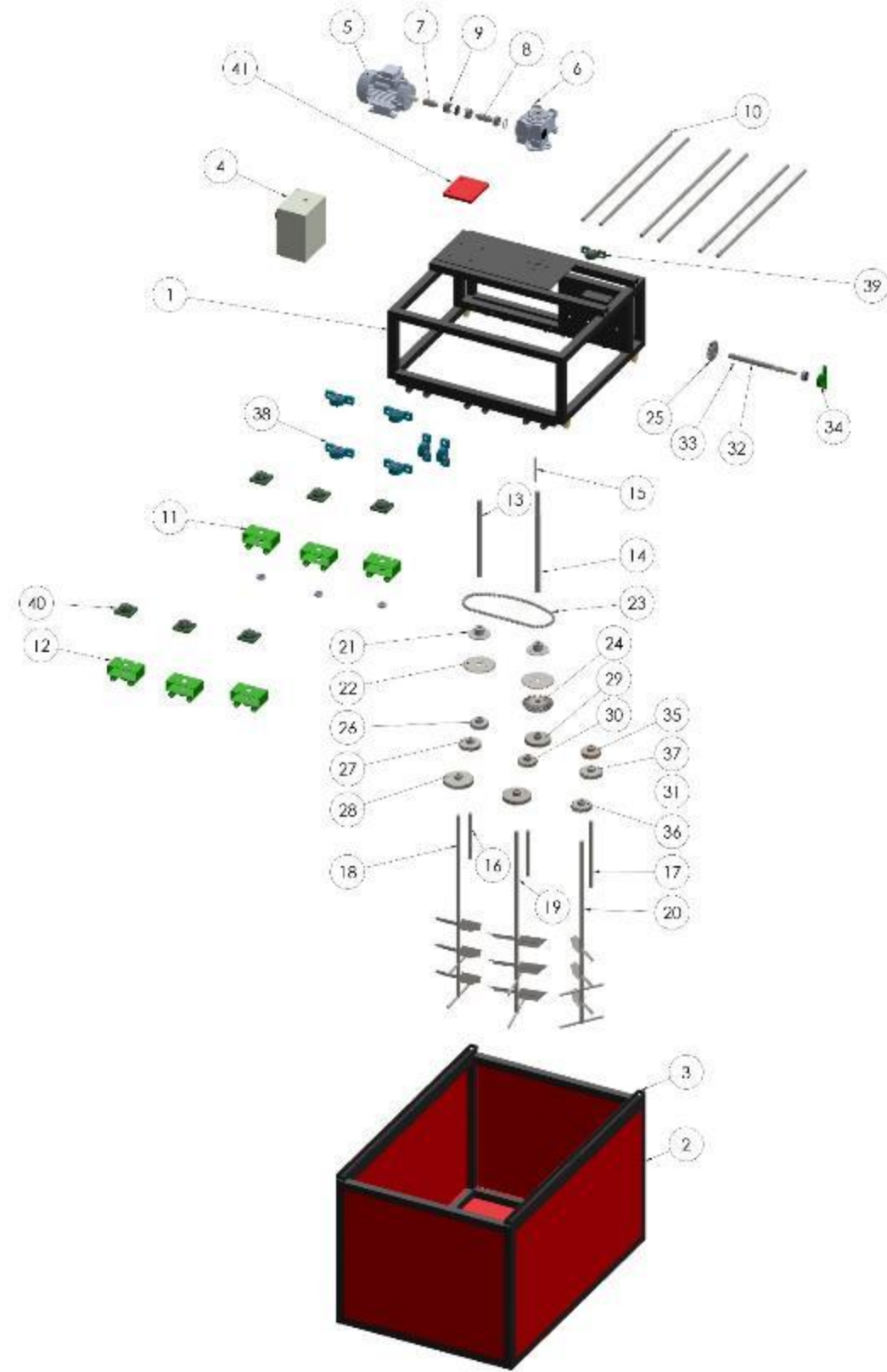


N°. Lámina: 32 de 34		N°. Hojas: 1		Sustitución:		Codificación: IM.LC.BD.MST06.006		<b>ESPOCH</b> <b>FACULTAD DE MECÁNICA</b> INGENIERÍA MANTENIMIENTO INDUSTRIAL							
Email: <a href="mailto:icra.pilco@esPOCH.edu.ec">icra.pilco@esPOCH.edu.ec</a> ; <a href="mailto:pilco.naranjo@esPOCH.edu.ec">pilco.naranjo@esPOCH.edu.ec</a>						Denominación:						Peso [kg]		Tolerancia	
Teléfonos: 0995104170; 0995315179						<b>ENGRANAJE RECTO DE 27 DIENTES DEL SITEMA DE TORNILLO SIN FIN</b>		1,24		±0,3 [mm]		1:1			
Datos		Nombre		Firma		Fecha		Materiales:							
Proyectó		Moreno G., Pilco V.				2022-01-21		AISI 1020							
Dibujó		Moreno G., Pilco V.				2022-01-22		Nombre de archivo:							
Revisó		Ing. Naranjo E.				2022-01-21		ERTornillosinFinABD							
Aprobó		Ing. Naranjo E.				2022-01-21									



N°. Lámina: 33 de 34	N°. Hojas: 1	Sustitución:	Codificación: IM.LC.BD.MST06.008	<b>ESPOCH</b> <b>FACULTAD DE MECÁNICA</b> INGENIERÍA MANTENIMIENTO INDUSTRIAL				
Email: <a href="mailto:icra.pilco@esPOCH.edu.ec">icra.pilco@esPOCH.edu.ec</a> ; <a href="mailto:pilco@esPOCH.edu.ec">pilco@esPOCH.edu.ec</a> Teléfonos: 0995104170; 0995315179			Denominación: <b>ENGRANAJE          RECTO DE 24          DIENTES DEL          SISTEMA DE          TORNILLO SIN FIN</b>					Peso [kg] 1,01
Datos	Nombre	Firma	Fecha	Materiales: AISI 1020				
Proyectó	Moreno G., Pilco V.		2022-01-21	Nombre de archivo: ERTornillosinFinBBD				
Dibujó	Moreno G., Pilco V.		2022-01-22					
Revisó	Ing. Naranjo E.		2022-01-21					
Aprobó	Ing. Naranjo E.		2022-01-21					





ITEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	USO	CANTIDAD
1	Motor eléctrico	AC 220V	1	1
2	Carro de transporte	AC 220V	1	1
3	Carro de transporte	AC 220V	1	1
4	Botón de emergencia	AC 220V	1	1
5	Engranaje de 10 dientes	AC 220V	1	1
6	Engranaje de 20 dientes	AC 220V	1	1
7	Engranaje de 30 dientes	AC 220V	1	1
8	Engranaje de 40 dientes	AC 220V	1	1
9	Engranaje de 50 dientes	AC 220V	1	1
10	Eje de transmisión	AC 220V	1	1
11	Cojinete de bolas	AC 220V	1	1
12	Cojinete de bolas	AC 220V	1	1
13	Cojinete de bolas	AC 220V	1	1
14	Cojinete de bolas	AC 220V	1	1
15	Cojinete de bolas	AC 220V	1	1
16	Cojinete de bolas	AC 220V	1	1
17	Cojinete de bolas	AC 220V	1	1
18	Cojinete de bolas	AC 220V	1	1
19	Cojinete de bolas	AC 220V	1	1
20	Cojinete de bolas	AC 220V	1	1
21	Cojinete de bolas	AC 220V	1	1
22	Cojinete de bolas	AC 220V	1	1
23	Cojinete de bolas	AC 220V	1	1
24	Cojinete de bolas	AC 220V	1	1
25	Cojinete de bolas	AC 220V	1	1
26	Cojinete de bolas	AC 220V	1	1
27	Cojinete de bolas	AC 220V	1	1
28	Cojinete de bolas	AC 220V	1	1
29	Cojinete de bolas	AC 220V	1	1
30	Cojinete de bolas	AC 220V	1	1
31	Cojinete de bolas	AC 220V	1	1
32	Cojinete de bolas	AC 220V	1	1
33	Cojinete de bolas	AC 220V	1	1
34	Cojinete de bolas	AC 220V	1	1
35	Cojinete de bolas	AC 220V	1	1
36	Cojinete de bolas	AC 220V	1	1
37	Cojinete de bolas	AC 220V	1	1
38	Cojinete de bolas	AC 220V	1	1
39	Botón de emergencia	AC 220V	1	1
40	Cojinete de bolas	AC 220V	1	1
41	Cojinete de bolas	AC 220V	1	1

ESPECIFICACIONES	REQUISITOS	CONDICIONES	ESPECIO
Material: Acero inoxidable	Resistencia: 1000 kg	Temperatura: 100°C	AC 220V
Motor: 100W	Velocidad: 1500 RPM	Consumo: 100W	AC 220V
Engranajes: 10, 20, 30, 40, 50 dientes	Material: Acero	Tolerancia: ±0.01 mm	AC 220V
Ejes: 10 mm diámetro	Material: Acero	Tolerancia: ±0.01 mm	AC 220V
Cojinetes: 10 mm diámetro	Material: Acero	Tolerancia: ±0.01 mm	AC 220V
Botón: 10 mm diámetro	Material: Plástico	Tolerancia: ±0.01 mm	AC 220V