

UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA



Diseño de una máquina trituradora de plástico con pre-alimentador para incrementar la capacidad de trituración

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO MECÁNICO ELÉCTRICO**

AUTOR

Luis David Vera Constantino

ASESOR

William Fernando Villarreal Albitres

<https://orcid.org/0000-0003-1743-6014>

Chiclayo, 2025

**Diseño de una máquina trituradora de plástico con pre-alimentador
para incrementar la capacidad de trituración**

PRESENTADA POR
Luis David Vera Constantino

A la Facultad de Ingeniería de la
Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo
para optar el título de

INGENIERO MECÁNICO ELÉCTRICO

APROBADA POR

Alejandro Segundo Vera Lázaro
PRESIDENTE

Dante Omar Panta Carraza
SECRETARIO

William Fernando Villarreal Albitres
VOCAL

Dedicatoria

A mis padres, por su amor incondicional y apoyo constante en cada paso de mi camino. A mis profesores, por su guía y sabiduría que inculcaron en mi formación. Y a mis amigos, por su aliento y compañía en los momentos difíciles. Esta tesis es un reflejo de todos ustedes.

Agradecimientos

En primer lugar, agradezco a mis padres, cuyo amor incondicional y constante apoyo han sido fundamentales para alcanzar este logro. Su confianza en mí ha sido una fuente inagotable de motivación y fortaleza.

A los ingenieros, especialmente al Ing. Villarreal que siempre brindaron su guía y valiosos consejos a lo largo del proyecto. Finalmente, agradezco a todos aquellos que, de una forma u otra, han contribuido con su conocimiento, para hacer posible la culminación de esta tesis. A todos ustedes, mi más profundo agradecimiento.

Diseño de una máquina trituradora de plástico con pre-alimentador para incrementar la capacidad de trituración

INFORME DE ORIGINALIDAD

18%	16%	3%	7%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	hdl.handle.net Fuente de Internet	3%
2	tesis.usat.edu.pe Fuente de Internet	3%
3	Submitted to Universidad Tecnologica del Peru Trabajo del estudiante	1%
4	repositorio.unap.edu.pe Fuente de Internet	1%
5	www.coursehero.com Fuente de Internet	1%
6	Submitted to Instituto Superior de Artes, Ciencias y Comunicación IACC Trabajo del estudiante	1%
7	repositorio.ucv.edu.pe Fuente de Internet	<1%
8	alicia.concytec.gob.pe Fuente de Internet	<1%

ÍNDICE

I.	INTRODUCCIÓN	12
1.1.	Objetivos	13
1.1.1.	Objetivo general:	13
1.1.2.	Objetivos específicos:	13
1.2.	Justificación.....	13
1.3.	Importancia.....	14
II.	METODOLOGÍA	14
2.1.	Tipo de investigación	14
2.2.	Tipo de proyecto.....	14
2.3.	Variables y operacionalización.....	14
2.3.1.	Definición conceptual	14
2.3.2.	Definición operacional	15
2.4.	Metodología para el desarrollo del proyecto	15
2.5.	Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	16
2.6.	Diagrama de Flujo	17
2.7.	Formulación de hipótesis:	18
2.8.	Operacionalización de variables.....	19
2.9.	Aspectos éticos	21
III.	MARCO TEORICO	21
3.1.	Antecedentes:	21
3.2.	Sustentos científicos y teóricos	23
3.2.1.	Plásticos:.....	23
3.2.2.	Propiedades de los plásticos	23
3.2.3.	Categorización de los plásticos	24
3.2.4.	Plásticos reciclables.....	25
3.2.5.	Métodos de reciclado:	27
3.2.6.	Definición de máquina	29
3.2.7.	Definición de trituración	29
3.2.8.	Tipos de trituradoras.....	30
3.2.8.1.	De eje único.....	30
3.2.8.2.	De doble eje.....	31
3.2.8.3.	Trituradora tipo III para neumáticos.....	31
3.2.9.	Teoría y fórmulas de diseño	32

3.2.9.1. Leyes energéticas de la trituración	33
3.2.9.2. Inercia rotacional.....	35
3.2.9.3. Módulo de elasticidad	36
3.2.9.4. Curva tensión-deformación	36
3.2.9.5. Momento de torsión	38
IV. RESULTADOS.....	39
4.1. Caracterización de las trituradoras contemporáneas	39
4.1.1. Trituradora de plástico de tipo plano Xiecheng	39
4.1.2. Trituradora shredder	40
4.1.3. Trituradora POR-TAURUS	40
4.2. Diseño metodológico.....	42
4.2.1. Consideraciones de diseño	42
4.2.2. Estructura de funciones	42
4.2.3. Descripción de las funciones.....	43
4.2.4. Criterios de valoración	44
4.2.5. Matriz morfológica.....	47
4.2.6. Proyectos preliminares	48
4.2.7. Matriz ponderada.....	51
4.2.8. Análisis de la solución seleccionada	52
4.3. Cálculos de la máquina trituradora.....	52
4.3.1. Cálculo de la caja de trituración.....	52
4.3.2. Resistencia al cizallamiento del PET	53
4.3.3. Cálculo de la fuerza de corte	53
4.3.4. Cálculo del espesor de la cuchilla	55
4.3.5. Cálculo de la potencia de corte	57
4.3.6. Selección del motorreductor.....	57
4.3.7. Capacidad de corte por revolución.....	58
4.3.8. Cálculos del eje de corte.....	59
4.4. Diseño y análisis de los elementos de la máquina	63
4.4.1. Estudio de grupo de materiales	63
4.4.2. Diseño de las cuchillas	64
4.4.3. Diseño de los espaciadores.....	67
4.4.4. Diseño de las hojas fijas	68
4.4.5. Diseño de los ejes	68
4.4.6. Diseño de la tolva	69

4.5.	Análisis estructural.....	70
4.5.1.	Para el eje	70
4.5.2.	Para las cuchillas	71
4.5.3.	Para la estructura	72
4.6.	Sistema eléctrico de la trituradora.....	73
4.6.1.	Sistema eléctrico de la trituradora.....	75
4.6.2.	Conexiones del sistema eléctrico	77
4.7.	Estructura de costos del diseño propuesto.....	79
V.	DISCUSIÓN	81
VI.	CONCLUSIONES	82
VII.	REFERENCIAS	83
VIII.	ANEXOS.....	86

LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1: Método de desarrollo	15
Ilustración 2: Estructura de los termoplásticos	24
Ilustración 3: Estructura de los termoestables	25
Ilustración 4: Estructura de los elastómeros	25
Ilustración 5: Etapas del reciclado mecánico	28
Ilustración 6: Proceso de Metanólisis	29
Ilustración 7: Trituración de plástico	30
Ilustración 8: Trituradora de eje único	30
Ilustración 9: Trituradora de doble eje	31
Ilustración 10: Trituradora tipo III para neumáticos	32
Ilustración 11: Ecuaciones para la inercia rotacional de algunas formas simples	35
Ilustración 12: Zonas de curva de tensión- deformación	37
Ilustración 13: Trituradora Xiecheng	39
Ilustración 14: Trituradora Shredder	40
Ilustración 15: Trituradora POR-TAURUS	41
Ilustración 16: Trituradora tipo III para neumáticos	42
Ilustración 17: Estructura de funciones	43
Ilustración 18: Funciones de la máquina trituradora	44
Ilustración 19: Manufactura de una trituradora de 2 ejes	44
Ilustración 20: Operación básica de una máquina trituradora	45
Ilustración 21: Referencia de cómo no utilizar una máquina trituradora	45
Ilustración 22: Vista previa de la solución N°1	48
Ilustración 23: Vista previa de la solución N°2	49
Ilustración 24: Vista previa de la solución N°3	50
Ilustración 25: Evaluación con pesos ponderados	51
Ilustración 26: Vista isométrica de la caja de trituración	53
Ilustración 27: DCL de las fuerzas en la cuchilla	55
Ilustración 28: Perfil del eje estriado	56
Ilustración 29: DCL del eje con la carga total	59
Ilustración 30: Resultados MDSolids fuerza en los apoyos	60
Ilustración 31: Resultados momento flector en MDsolids	61
Ilustración 32: Modelos de cuchillas	65
Ilustración 33: Parámetros para el fresado y torneado de plásticos	66
Ilustración 34: Geometría de las cuchillas	66
Ilustración 35: Disposición de las cuchillas	67
Ilustración 36: Geometría de los espaciadores	67
Ilustración 37: Geometría de las hojas fijas	68
Ilustración 38: Geometría del eje	68
Ilustración 39: Geometría de la tolva	69
Ilustración 40: Deformación del eje	70
Ilustración 41: Equivalent elastic Strain del eje	70
Ilustración 42: Factor de seguridad del eje	71
Ilustración 43: Deformación de la uña de la cuchilla	71
Ilustración 44: Factor de seguridad de la cuchilla	72
Ilustración 45: Deformación de la estructura	72

Ilustración 46: Factor de seguridad de la estructura.....	73
Ilustración 47: Circuito de Fuerza, arranque estrella-triángulo.....	77
Ilustración 48: Circuito de mando, para el arranque	78
Ilustración 49: Características del motorreductor	86
Ilustración 50: Gráfica de estudio de propiedades de los materiales seleccionados	88
Ilustración 51: Gráfica de estudios de propiedades de los materiales seleccionados.....	89
Ilustración 52: Gráfica de estudio de propiedades de los materiales seleccionados	90

LISTA DE TABLAS

Tabla 1: Formulación de hipótesis	18
Tabla 2: Operación de variables	19
Tabla 3: Indicadores	20
Tabla 4: Propiedades de los plásticos	23
Tabla 5: Categorías de los plásticos reciclados	25
Tabla 6: Aplicaciones con plástico reciclado	26
Tabla 7: Matriz morfológica del diseño	47
Tabla 8: Matriz ponderada de las alternativas seleccionadas	51
Tabla 9: Ventajas y desventajas de la solución seleccionada	52
Tabla 10: Datos técnicos del PET.....	53
Tabla 11: Medidas normalizadas para ejes estriados.....	55
Tabla 12: Datos de presión admisible para la zona interna con distintos materiales	56
Tabla 13: Densidad de los materiales	58
Tabla 14: Estructura de costos del diseño	79
Tabla 15: Costo referenciando al material a utilizar.....	80
Tabla 16: Costo de la elaboración del diseño y los análisis realizados	80
Tabla 17: Costo de fabricación y manufactura por cada pieza.....	80
Tabla 18: Costo total de la máquina	81
Tabla 19: Propiedades físicas del material de referencia	87
Tabla 20: Propiedades físicas de los posibles materiales para la estructura.....	87
Tabla 21: Propiedades físicas de los materiales posibles para la tolva y ejes	88
Tabla 22: Propiedades físicas de los materiales posibles para las cuchillas y separadores.....	89

Resumen

El estilo de vida consumista actual genera miles de toneladas de plásticos que provocan desequilibrios en los ecosistemas por lo mucho que tarda en desintegrarse, afectando cada vez más la vida de todo ser vivo. Sin embargo, estos pueden aprovecharse al convertirse en hojuelas, por lo que, las perspectivas en el mercado de reciclado de PET son muy favorable al tener mayores volúmenes de materia prima. No obstante, una de las principales causas para que una empresa no cumpla con la producción solicitada por el mercado, es la falta de una máquina trituradora que tenga mayor cantidad de producción. Por este motivo, el propósito principal de esta investigación fue diseñar una máquina trituradora de plástico, que incremente la capacidad de trituración con el propósito de simplificar el proceso de reciclaje y mejorar la eficiencia en la gestión de los desechos plásticos. Se utilizará un software comercial de ingeniería para validar el estudio.

En la investigación, se analizó los diseños actuales de trituradoras que existentes en el mercado, con esta información, se determinaron parámetros para la elaboración de diseños conceptuales, de los cuales se seleccionó la alternativa de diseño más prometedora. Posteriormente, se realizó los cálculos de los elementos que conforman la trituradora, y se utilizó softwares (CAD) con los que se diseñaron y analizaron las piezas que conforman la máquina. Por último, se elaboró una estructura de costos del diseño propuesto. Con esto realizado se logró el diseño de la máquina trituradora de plástico para incrementar la capacidad de trituración.

Palabras claves: máquina, diseño, trituradora, plástico.

Abstract

Today's consumerist lifestyle generates thousands of tons of plastics that cause imbalances in ecosystems due to the long time it takes to disintegrate, increasingly affecting the life of all living beings. However, these plastics can be used when converted into flakes, so the prospects in the PET recycling market are very favorable as there are greater volumes of raw material. However, one of the main causes for a company not to comply with the production requested by the market is the lack of a shredding machine that has a higher production quantity. For this reason, the main purpose of this research was to design a plastic shredding machine, which increases the shredding capacity in order to simplify the recycling process and improve the efficiency of plastic waste management. Commercial engineering software will be used to validate the study.

In the research, the current designs of existing crushers in the market were analyzed, with this information, parameters were determined for the development of conceptual designs, from which the most promising design alternative was selected. Subsequently, the calculations of the elements that make up the crusher were made, and software (CAD) was used to design and analyze the parts that make up the machine. Finally, a cost structure of the proposed design was elaborated. With this accomplished, the design of the plastic shredding machine was achieved in order to increase the shredding capacity.

Keywords: machine, design, shredder, plastic.

I. INTRODUCCIÓN

El polietileno tereftalato cuya abreviatura en inglés es PET es un polímero plástico muy adecuado para la fabricación de piezas, textiles y en demás variedad de envases, principalmente en la producción de botellas y bandejas. Sin embargo, están diseñados para ser desechables o tener pocos usos, teniendo el modelo de “usar y tirar”.

Un estudio revela que alrededor de 380 millones de toneladas de plásticos fueron producidos solo en 2015 [1], para ser empleados en el uso diario de cada persona, ya sea en utensilios, envases, juguetes, material de construcción y hasta en la ropa misma.

El gran problema que tienen todos estos productos es lo mucho que tardan en desintegrarse luego de ser desechados, siendo más evidente que cada día la baja salud de las personas y los problemas en el medio ambiente son mayores por la contaminación que está afectando al planeta. [2]

Según [3] las botellas de plástico flexible fabricadas con PET pueden ser 100% recicladas, por lo tanto, estas se pueden convertir en artículos como ropa, cortinas, alfombras, juguetes que son de uso común. De acuerdo con un artículo relacionado al reciclaje, el mercado comenzó a percibir como ventaja el uso de materiales reciclados, para hacer nuevos productos de alto valor con gracias al aumento de tecnología, tan solo Japón, registró una tasa de reciclaje de botellas de PET de 77,9 %. Por su parte, Brasil tiene una tasa de 55,6% seguido de Europa con un 48,3%, Argentina con 34% y Estados Unidos de 28%. [4]

Esta tesis tiene como objetivo diseñar una máquina trituradora de plástico, que incremente la capacidad de trituración, teniendo como fin hacer más fácil el reciclaje, y más eficiente el control de residuos plásticos. Se utilizará un software comercial de ingeniería para validar el estudio, obtener resultados de los análisis del diseño elaborado y posteriormente concluir con la investigación.

Formulación del problema

¿En qué medida el diseñar una máquina de trituración permitirá incrementar la capacidad de trituración?

Diseño de una máquina trituradora de plástico con pre- alimentador para incrementar la capacidad de trituración

1.1.Objetivos

1.1.1. Objetivo general:

- Diseño de una máquina trituradora de plástico que incremente la capacidad de trituración.

1.1.2. Objetivos específicos:

- Analizar el diseño de versión actual de la trituradoras de plásticos.
- Realizar el diseño metodológico para establecer alternativas de solución y seleccionar la alternativa de diseño más prometedora.
- Realizar los cálculos de los parámetros de los elementos que conforman la trituradora.
- Utilizar software de diseño asistido por computadora (CAD) para diseñar y analizar los elementos de la máquina que consigan aumentar la capacidad de trituración.
- Estructura de costos del diseño propuesto.

1.2.Justificación

En un mundo donde la producción de plásticos ha aumentado exponencialmente, dejando a su paso mucha cantidad de residuos que afectan el ambiente y la salud de las personas, se plantea diseñar una máquina trituradora con mayor capacidad para ofrecer solución desde diferentes puntos de vista.

Desde el punto de vista ambiental, este trabajo espera reducir los grados de contaminación ambiental, incrementando la capacidad de la máquina con la que se trituran los plásticos, para acelerar el proceso de reciclaje y reducir la cantidad de plásticos en lugares no deseados.

De igual manera este estudio cuenta con una justificación teórica porque resume el aporte teórico de demás investigadores que tienen como variable diseñar una máquina trituradora de plástico.

Así mismo, tiene una justificación social en la medida que ayuda a contribuir a una economía circular, generando nuevas oportunidades de negocio, como la prestación de servicios de

reciclaje o la venta de materiales reciclados a la industria manufacturera, lo que mejoraría la condición socioeconómica del personal dentro de este rubro.

Además, tiene justificación tecnológica, puesto que este diseño representaría un avance tecnológico dentro de la gestión de residuos y el reciclaje, al ser una nueva propuesta de diseño.

Finalmente, tendría una justificación investigativa, pues el proyecto permitirá a los estudiantes tener un procedimiento de como presentar ideas innovadoras, o poder continuar con los estudios en este campo y quizás estudiar otras variables que no se han considerado. De esta manera se observa que existen razones ambientales, económicas y tecnológicas para justificar el diseño de la máquina trituradora.

1.3.Importancia

En concordancia con el informe realizado Alistair Walsh, menciona que, al incrementar el reciclaje de los plásticos, lo que incluye su procesamiento luego de la trituración, podría reducir la contaminación generada por estos en un 20 por ciento. [5]

II. METODOLOGÍA

2.1.Tipo de investigación

La investigación es de naturaleza aplicada-cuantitativa. Como señala Castro et al. esta toma como base lo adquirido en la investigación básica y propone soluciones que serán aplicadas en el cumplimiento de los objetivos. Por ende, la presente investigación llevará a cabo el diseño de una máquina trituradora de PET para mejorar la capacidad de trituración

2.2.Tipo de proyecto

El estudio tiene como finalidad plantear una máquina trituradora que permita aumentar la capacidad de trituración, para ello se utiliza distintos programas de información que permitan validar la solución propuesta, así como la presentación de planos y diagramas para su diseño.

2.3.Variables y operacionalización

2.3.1. Definición conceptual

Variable independiente: Diseño de una máquina trituradora

El diseño de una máquina puede involucrar múltiples factores, como los requisitos funcionales, las restricciones de espacio, el sistema de corte, entre otros. [10]

Variable dependiente: Capacidad

La producción es un proceso del que se utilizan recursos y se aplican diversas técnicas para transformar insumos o materias primas en bienes o servicios. [11]

2.3.2. Definición operacional

Variable independiente: Diseño de una máquina trituradora

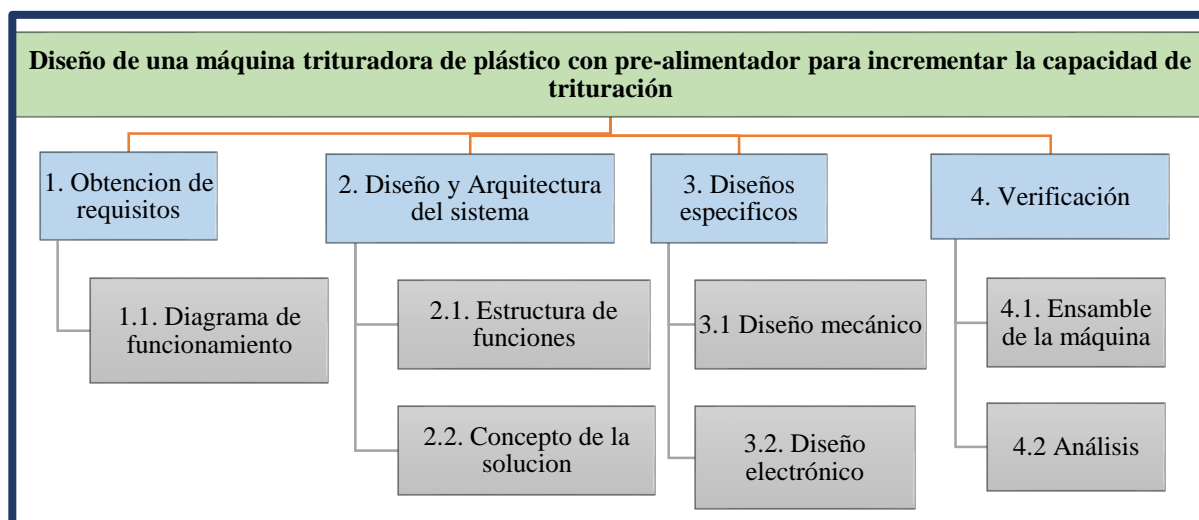
El diseño de la máquina se refiere al proceso de desarrollar sistemas mecánicos que cumplen con un propósito específico, en este caso para una cierta capacidad con un motor de gran potencia que brinde una mayor velocidad de giro.

Variable dependiente: Capacidad

La producción implica obtener mayor cantidad de plástico triturado que es granulado en un menor tiempo.

2.4. Metodología para el desarrollo del proyecto

Se aplica la metodología de diseño de sistemas mecatrónicos VDI 2226, donde se consideró 4 fases. No obstante, el alcance del estudio es la validez mediante el uso de simuladores, tales como SolidWorks para el dominio mecánico y el uso de CADE SIMU en el dominio de control, a continuación, se muestra el esquema a utilizar:



*Ilustración 1: Método de desarrollo
Fuente: Elaboración propia*

2.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

- **Observación:**

Es útil porque permite recopilar información precisa y detallada sobre cómo es el diseño de las máquinas actuales incluyendo detalles sobre sus dimensiones y cualquier otro factor relevante, los que pueden utilizarse para llenar instrumentos de estudio y realizar análisis posteriores.

- **Análisis documental:**

Con esta técnica es posible recopilar información sobre dimensiones, materiales, componentes, que al examinar sistemáticamente estos, ayudaría a identificar tendencias y patrones, y así posteriormente realizar nuevos diseños de máquinas trituradoras.

- **Cuadros comparativos:**

Estos cuadros facilitan la identificación de similitudes, diferencias y patrones significativos entre los elementos comparados, proporcionando una visión clara y estructurada que ayuda en el análisis y la toma de decisiones.

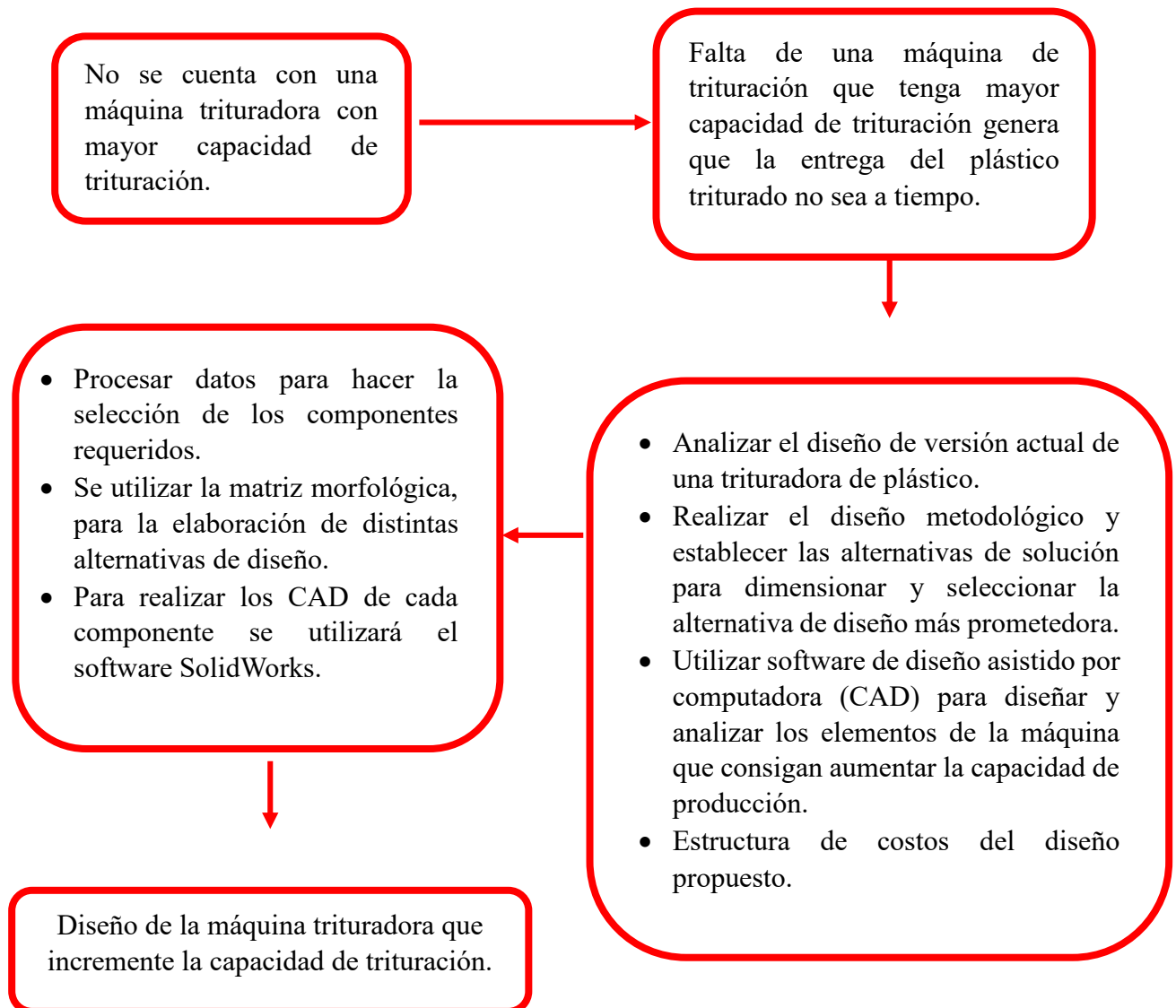
- **Cálculos teóricos de diferentes parámetros:**

Las distintas fórmulas que se presentarán se harán uso para calcular diversos parámetros como la potencia de funcionamiento, capacidad de carga, fuerza de corte necesaria para las cuchillas entre otros aspectos para alcanzar una mejor innovación tecnológica.

- **Estructura de costos estándar:**

Esta metodología proporciona una estructura organizada y sistemática para determinar los costos de fabricación de una máquina trituradora mediante la utilización de cotizaciones de sus componentes.

2.6. Diagrama de Flujo



2.7. Formulación de hipótesis:

Tabla 1: Formulación de hipótesis

OBJETIVO GENERAL	HIPÓTESIS GENERAL
<p>Diseñar una máquina trituradora de plástico que logre incrementar la capacidad de trituración.</p>	<p>El diseño de una máquina de trituración con un sistema de pre-alimentado, incrementará la capacidad de trituración.</p>
OBJETIVOS ESPECIFICOS	HIPÓTESIS ESPECIFICAS
<ol style="list-style-type: none"> 1) Analizar el diseño de versión actual de una trituradora de plástico. 2) Realizar el diseño metodológico y establecer las alternativas de solución para dimensionar y seleccionar la alternativa de diseño más prometedora. 3) Utilizar software de diseño asistido por computadora (CAD) para diseñar y analizar los elementos de la máquina que consigan aumentar la capacidad de producción. 4) Estructurar el costo del diseño propuesto. 	<ol style="list-style-type: none"> 1) Analizar el diseño de una máquina trituradora, permitirá caracterizar las máquinas trituradoras. 2) Al realizar el diseño metodológico de la trituradora, se plantearán diferentes diseños conceptuales para la nueva máquina. 3) Diseñar los elementos de la máquina, se logrará dar una vista preliminar de la máquina trituradora, para calcular sus esfuerzos. 4) Al estructurar el costo del diseño se observará si el diseño elaborado es factible.

2.8.Operacionalización de variables

Tabla 2: Operación de variables

VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICION OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	ITEMS
VARIABLE INDEPENDIENTE	El diseño de una máquina puede involucrar múltiples factores, como los requisitos funcionales, las restricciones de espacio, el sistema de corte, entre otros. [10]	El diseño de la máquina se refiere al proceso de desarrollar sistemas mecánicos que cumplen con un propósito específico, en este caso para una cierta capacidad con un motor de gran potencia que brinde una mayor velocidad de giro.	DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA DE CORTE	VELOCIDAD DE GIRO	rpm
Diseño de una máquina de trituración				POTENCIA	kW

VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICION OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	ITEMS
VARIABLE DEPENDIENTE	Es el proceso de aumentar la cantidad de plástico, que puede ser procesado por unidad de tiempo mediante el uso de recursos y técnicas.[11]	Aumentar la capacidad de trituración implica obtener mayor cantidad de plástico que es triturado.	CAPACIDAD	CANTIDAD	kg
Incrementar la capacidad de trituración					

Tabla 3: Indicadores

DISEÑO DE UNA MÁQUINA TRITURADORA DE PLÁSTICO CON PRE- ALIMENTADOR PARA INCREMENTAR LA CAPACIDAD DE TRITURACIÓN				
PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPOTESIS	VARIABLES	METODOLOGÍA
¿En qué medida el diseñar una máquina de trituración permitirá incrementar la capacidad de trituración?	GENERAL	GENERAL	VARIABLE INDEPENDIENTE	DISEÑO DE INVESTIGACIÓN
	Diseño de una máquina trituradora de plástico que logre incrementar la capacidad de trituración.	Si se diseña una máquina de trituración automatizada con gran potencia de corte, entonces, aumentará la producción de la empresa recicladora.	Diseño de una máquina trituradora	Tipo aplicada-cuantitativa.
	ESPECÍFICOS	ESPECÍFICAS	INDICADORES	TECNICA:
			CAPACIDAD VELOCIDAD DE GIRO POTENCIA	Se usará la recolección de datos de fichas técnicas e investigación de antecedentes relacionados
	Analizar el diseño de una máquina trituradora de versión actual	Si se analiza el diseño de una máquina trituradora, entonces se plantearán diferentes diseños conceptuales para la nueva máquina.	VARIABLE DEPENDIENTE	DISEÑO DE INVESTIGACIÓN
	Diseñar por CAD los elementos de la máquina que logren incrementar la capacidad de producción.	Si se diseña por CAD los elementos de la máquina, entonces, se logrará hacer un diseño preliminar de la máquina trituradora.	Incrementar la capacidad de trituración	La población serán los diseños actuales de las máquinas trituradoras existentes en el mercado.
	Analizar los esfuerzos de la trituradora utilizando un software comercial de ingeniería.	Si se analiza los esfuerzos que sufrirá la trituradora, entonces, se validará el diseño propuesto.		
	Evaluar económicamente el diseño propuesto.	Si se evalúa económicamente el diseño, entonces, se observaría si el diseño elaborado es factible.	INDICADORES	El estudio se realizará sobre las máquinas existentes en comparación al nuevo diseño
		CANTIDAD (PESO)		

2.9.Aspectos éticos

- a. **Autonomía:** Para el estudio el investigador será autónomo, es decir tendrá libertad para tomar decisiones, por lo tanto, las interpretaciones de sus resultados no estarán influenciados por alguna interferencia externa.
- b. **Beneficencia:** El estudio será de ayuda para otras investigaciones relacionadas al diseño de una máquina trituradora, aportando una base sólida en la investigación.
- c. **No-maleficencia:** El investigador rechazará cualquier aspecto negativo relacionado al estudio por parte de las personas involucradas, al manifestar en todo momento empatía, preservación del medio ambiente y la búsqueda por conocimiento en nuevos temas.
- d. **Reflexividad:** El investigador tendrá la capacidad de examinar y analizar sus propias acciones, teniendo así el papel de autocrítica en todo el desarrollo del estudio sobre todo al momento de obtener los resultados.

III. MARCO TEORICO

3.1.Antecedentes:

Referente con la búsqueda de información sobre el diseño de una máquina de trituración de plástico si identificaron los siguientes estudios:

En la tesis que corresponde a Bryan Alvarado y Cristhian Córdova, quienes realizaron el “diseño de un prototipo de una máquina trituradora de plástico”, en el año 2022, se enfocaron en contribuir a la transformación o tratamiento de los residuos plásticos, como parte de una solución de innovación local en la región de Guayaquil, con un prototipo de máquina trituradora con un motor de potencia de 1 HP, 46 Rpm y un torque de 3,84 Kgf.m, junto con un ángulo de cuchillas de 45° para obtener un tamaño de partícula de 10 mm. [6]

Un segundo trabajo elaborado por Joseline Aguirre y Katherine del Carmen Ubillús quienes hicieron la propuesta de “diseño e implementación de una planta piloto automatizada de trituración de plástico de polietileno de baja densidad para la generación de materia prima de ladrillos ecológicos” en el año 2020. Se enfocaron en reutilizar los desechos plásticos de polietileno de baja densidad (PEBD) que se obtuvieron de una empresa papelera, para generar plástico triturado que sirva para la elaboración de bloques de ladrillos que sean sostenibles. Para la planta se instalaron sensores que detecten los desechos plásticos, utilizando un motor de 0,75 HP. También se realizaron pruebas de granulometría consiguiendo longitudes de 10 mm, lo cual fue adecuado para ser empleado como material para los ladrillos. Ellas concluyeron que se

puede determinar la granulometría de los residuos plásticos configurando las cuchillas, el momento de fuerza y la velocidad que tendrá el motorreductor junto con el arreglo del sistema de automatización. Y que la fabricación de ladrillos ecológicos con los desechos provenientes de la empresa papelera tuvo un peso menor que los ladrillos comúnmente utilizados en la construcción, así mismo, la empresa al implementar la trituradora a nivel industrial se ahorra aproximadamente el 60% de los costos de eliminación de residuos anuales. [7]

De la tesis que corresponde a Víctor Taco, Oscar Gonzales y Paola Bonifaz, titulada “diseño y construcción de una máquina trituradora y granuladora de plástico de baja densidad como una herramienta de reciclaje” del año 2021, se enfocaron en diseñar y elaborar un prototipo de máquina recicladora, mostrando los diferentes elementos que la constituyen junto con los planos de cada parte diseñada y su ensamble correspondiente. Obteniendo que la máquina trituradora fue automatizada produciendo un mejoramiento en procesos, que repercutieron en los costos e incremento de un 80% en su producción.

Por otro lado, se muestra que trituró una cantidad de 5918 botellas para un lapso de 24 horas. Dando una generación al año de 19 toneladas de hojuelas PET, por lo tanto, podría haber sido incorporado en la industria para optimizar la producción en una empresa con alto rendimiento. [8]

Otra tesis encontrada perteneciente a John Abanto quien hizo el “diseño de una máquina trituradora de eje horizontal de 15 t/día para aumentar la producción de alimentos en la industria ganadera en la zona rural de Cayaltí”, en el año 2020. Analizó los diseños de una trituradora, definiendo su funcionamiento, los problemas que presenta en la producción y en cuanto a su manipulación, de lo cual obtuvieron un enfoque completo de la molienda junto con el triturado; lo cual finalizó con el diseño de una maquinaria acorde a la demanda, reduciendo el tiempo de producción y manipulación de la máquina, y así contribuyendo con el crecimiento de la industria ganadera en Cayaltí. Para la máquina se instaló un motor de 25 HP que funcionó a 3250 rpm, obteniendo un valor de 0.91 de eficiencia, de los cálculos realizados se obtuvieron datos como la potencia de corte de 2 Hp y el material a utilizar para las cuchillas, como el AISI 1020. Por otro lado, mediante un análisis de VAN TIR, se identificó que el proyecto fue viable puesto que se obtuvieron resultados con un VAN de 7,749.16 y TIR de 22%. [9]

De la tesis de Nuri Aryani, Dede Buchori y Albertus Budi Setiawan de Indonesia, titulada “design of a plastic shredder machine”, del año 2018 utilizaron el método de diseño Pahl y Beitz que consistió en el diseño del concepto del producto, diseño de la realización y diseño de

los detalles. El tipo de plástico de desecho para triturar fue el LDPE, HDPE, PP, PS. La máquina se diseñó con una potencia de 2,34 Hp, dato que sirvió para realizar los análisis de tensiones obteniendo un factor de seguridad superior a 1, el diseño elegido por el método Pahl y Beitz fue la alternativa con un mayor puntaje. [10]

3.2.Sustentos científicos y teóricos

3.2.1. Plásticos:

Entre los materiales orgánicos que contienen carbono principalmente, mezclado con otros elementos como el H, N; O, son los plásticos, el plástico más conocido y antiguo por el hombre es la laca, que fue usada en el siglo XIII a.C., continuando por el caucho, en el siglo XIII d. C., con el que impermeabilizaban objetos. Posteriormente fue conocido por los europeos, que llamaron goma a esta sustancia. [11]

Hasta hoy el plástico está presente en el día a día de todas las personas, convirtiendo a la industria de los plásticos en una de las más importantes y prósperas, incrementando su producción en 10% por año, lo que significa que cada año se utiliza más y más plástico. [12]

3.2.2. Propiedades de los plásticos

Las propiedades más comunes de los plásticos se precisan a continuación:

Tabla 4: Propiedades de los plásticos

PROPIEDADES	DESCRIPCION
Ligereza	Tienen densidades bajas, por lo que pesan poco.
Durabilidad	Tiene un largo tiempo de vida.
Aislante térmico	Transmiten el calor lentamente.
Flexibilidad	Son bastante elásticos.
Resistencia a la corrosión	Soportan soluciones acuosas y ácidos débiles
Económicos	La materia prima es más barata con respecto a otros materiales.
Resistencia a la fatiga	Soportan tensiones mecánicas, es decir, regresan a su estado inicial.

Fuente: El ABC de los plásticos

3.2.3. Categorización de los plásticos

3.2.3.1. Según su procedencia:

➤ Plásticos naturales:

Obtenidos de materias primas naturales, como la madera o del algodón, de la corteza de un árbol, o de la caseína. Como ejemplo de plásticos naturales tenemos algunas lacas, la viscosa o el celuloide.

➤ Plásticos sintéticos:

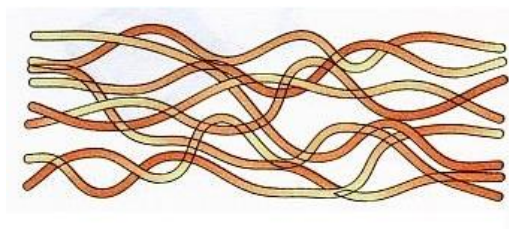
Elaborados a partir de compuestos provenientes del petróleo, carbón o gas natural. Se obtienen de las naftas, que a su vez son procesos de la destilación fraccionada del petróleo.

3.2.3.2. Según su composición:

a) Plásticos termoplásticos:

Se ablandan con el calor y pueden tener formas que se conservan al enfriarse. Sin embargo, si se someten al congelamiento, se vuelven vítreos y se rompen. Este tipo de plástico son fáciles de reciclar.

Existen desde hace mucho tiempo y se usan en la vida cotidiana actual. Por ejemplo, el polietileno, que posiblemente es el plástico más común, se utiliza para botella de champú. Bolsas para la compra, chalecos antibalas, etc. Por otro lado, está el policarbonato que se utiliza para las botellas, recipientes para alimentos, gafas, entre otros. Otro termoplástico común es el acrilonitrilo butadieno estireno (ABS), utilizado en el equipamiento deportivo, juguetes y diversas piezas de automóviles. [13]



*Ilustración 2: Estructura de los termoplásticos
Fuente: Los materiales de los plásticos*

b) Plásticos termoestables:

Se deforman por calor solo una vez, y adquieren su forma definitiva, ya que, si se vuelven a calentar, se queman. Sus moléculas están entrecruzadas y enlazadas entre ellas. Su reciclaje se realiza mediante un proceso químico, siendo más difícil, contaminante y caro. Entre estos encontramos al Poliuretano (PUR) utilizados mayormente en las espumas

aislantes. Un segundo termoestable son las resinas de poliéster (UP) utilizadas a menudo en la construcción de embarcaciones, tuberías, cañas de pescar, entre otros. [14]

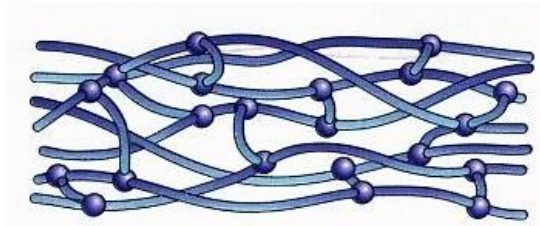


Ilustración 3: Estructura de los termoestables
Fuente: Los materiales de los plásticos

c) Elastómeros:

Poseen características parecidas a las del caucho, especialmente la elasticidad ya que pueden volver a su forma inicial después de resistir grandes deformaciones por estiramiento. Sus moléculas están ordenadas en forma de red con pocos enlaces, lo que permite esa capacidad.

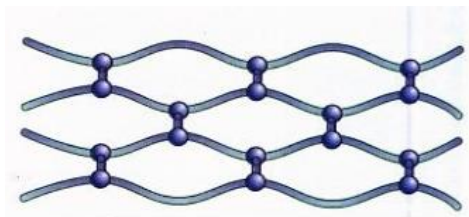









Ilustración 4: Estructura de los elastómeros
Fuente: Los materiales de los plásticos

3.2.4. Plásticos reciclables.

De manera general se puede decir que todos los plásticos son reciclables, sin embargo, se debe conocer el tipo de plástico, ya que si no se sabe dificulta e incluso puede imposibilitar el reciclaje. Se pueden distinguir 7 grados distintos, los cuales se detallarán a continuación.

Tabla 5: Categorías de los plásticos reciclados

	<p>Tereftalato de polietileno (PET). se emplea en envases de refrescos y agua carbonatada, así como en recipientes para calentar alimentos en el microondas. Es ligero, duradero y puede ser reutilizado.</p>
	<p>Polietileno de alta densidad (HDPE). se emplea en la fabricación de recipientes para productos de belleza, así como en la producción de tambores,</p>



	cubetas y contenedores de plástico. Además, se encuentra comúnmente en envases para leche, jugos, yogur, agua y bolsas de desperdicios.
	Cloruro de polivinilo (PVC). Se fabrican persianas, canaletas y en la construcción: ventanas, puertas, tuberías, perfiles, impermeables, etc.
	Polietileno de baja densidad (LDPE). Se producen recipientes para aceite de cocina, artículos de limpieza, así como componentes utilizados en la construcción, como equipos de laboratorio, componentes informáticos, dispensadoras, recubrimientos para cables, entre otros.
	Polipropileno (PP). Se producen recipientes para yogur, vasos de plástico, envases, muebles y depósitos para mantequilla.
	Poliestireno (PS). Se manufactura espuma plástica que se emplea para autopartes, perillas, espuma contra el ruido.
	Otros. Engloba una amplia variedad de plásticos y mezclas de resinas que no se mencionaron anteriormente.






Fuente: CAIRPLAS

Es importante destacar que esta identificación se ajusta a la norma IRAM 13700. Además, si el acrónimo lleva una "R", como en el caso de R-PET, esto indica que el producto contiene plástico reciclado. [15]

En la siguiente tabla se muestra en que se pueden convertir las categorías de plásticos anteriormente mencionadas una vez que se reciclan.

Tabla 6: Aplicaciones con plástico reciclado

	Tereftalato de polietileno (PET), Puede ser empleado en mobiliario, alfombras, textiles, componentes automotrices y reciclarse de manera efectiva para la fabricación de nuevos envases de alimentos.
	Polietileno de alta densidad (HDPE). Se recicla de múltiples maneras, dando lugar a la fabricación de envases para lubricantes, detergentes, productos químicos., entre otros productos.

	<p>Cloruro de polivinilo (PVC), Puede emplearse en la fabricación de tubos para desagües, refuerzos para calzados, mangueras, tarimas y otros productos similares.</p>
	<p>Polietileno de baja densidad (LDPE). Luego de ser reciclado, puede ser reutilizado en la fabricación de films, productos químicos, entre otros productos.</p>
	<p>Polipropileno (PP). Puede emplearse en diversas aplicaciones como en envases, baldes, palets, bandejas, y otros productos similares.</p>
	<p>Poliestireno (PS). Después de ser reciclado, es posible obtener una variedad de productos, como materiales para la construcción, aislantes y otros.</p>
	<p>Otros. Estos plásticos se utilizan en la fabricación de algunos materiales resistentes a balas, DVDs, gafas de sol, reproductores de MP3, computadoras y otros productos similares.</p>

Fuente: CAIRPLAS

3.2.5. Métodos de reciclado:

3.2.5.1. Reciclado Mecánico.

Se trata de un procedimiento por el cual los polímeros se transforman y adquieren las propiedades finales requeridas sin alterar su composición química. El reciclado mecánico permite la producción de pellets, que pueden ser reintegrados en las líneas de producción, reduciendo la cantidad necesaria de materia prima virgen. [16]

A continuación, se muestra una imagen de las fases involucradas en el desarrollo del reciclado mecánico, desde la clasificación hasta la peletización.

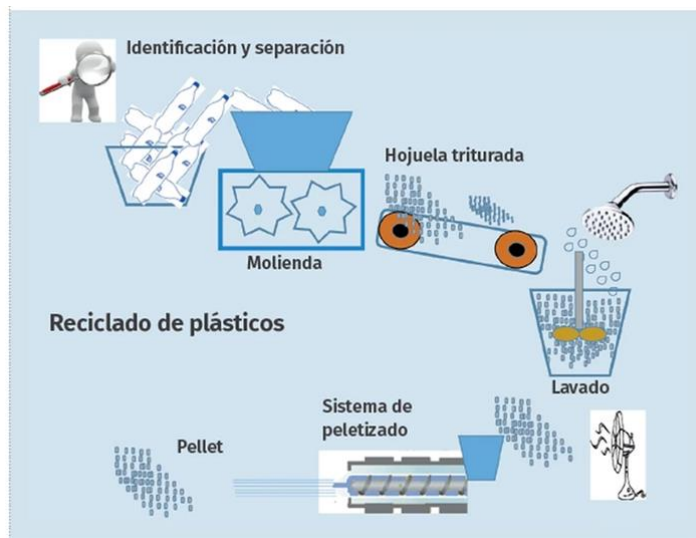


Ilustración 5: Etapas del reciclado mecánico

Fuente: Plastic Technology

Algunas fuentes mencionan que el plástico reciclado imposibilita reutilizarse en recipientes para los alimentos, sin embargo, se han desarrollado métodos de descontaminación térmica, químico-físico y mediante extracción con disolventes, que permiten una súper-limpieza (super clean) para que el PET obtenido a través de estos métodos sea adecuado para su utilización en contacto con alimentos.

3.2.5.2. Reciclado Químico.

Este método representa una opción factible para el tratamiento de residuos de PET. Una de sus principales ventajas radica en que permite obtener materias primas como combustible o plástico nuevo (re-polimerización), en donde el agua, la alta presión y la temperatura son los que permiten descomponer los polímeros en moléculas diminutas para ser utilizadas por la industria. Entre los métodos de reciclaje químico se encuentra: [17]

- Glucólisis:** Los PET son desintegrados a altas temperaturas junto con etilenglicol y otros compuestos para producir cadenas de polímeros desintegrados.
- Metanólisis:** Este proceso se realiza mediante la utilización de elevadas cantidades de metanol en presencia de un catalizador, bajo altas presiones y temperaturas, lo que provoca la descomposición del PET en sus unidades moleculares fundamentales, las cuales pueden ser posteriormente polimerizadas para obtener PET nuevamente.
- Gasificación:** El plástico se somete a calentamiento en presencia de aire u oxígeno, lo que resulta en la producción de monóxido de carbono e hidrógeno. Estos subproductos se utilizan en la fabricación de metanol o amoníaco.



Ilustración 6: Proceso de Metanolisis
Fuente: Tecnología de los plásticos

3.2.6. Definición de máquina

Una máquina es un sistema conformado por componentes resistentes y diversos tipos de mecanismos, organizados de tal manera que, a través de su funcionamiento conjunto, logra llevar a cabo una acción específica. Habitualmente, tiene cuatro tipos de componentes básicos, los elementos estructurales, accionamientos o motores, mecanismos o sistemas de transmisión y los sistemas de control. [18]

3.2.7. Definición de trituración

La trituración es un proceso que tiene como objetivo reducir el tamaño de los materiales, es decir, transformar un material sólido en partes o trozos de menor tamaño. Este proceso implica una modificación únicamente física de la materia, sin alterar su composición o naturaleza química. El resultado de la trituración es la obtención de un material a granel que se busca que sea lo más homogéneo posible con respecto al material de entrada. [19]



Ilustración 7: Trituración de plástico
Fuente: Google

3.2.8. Tipos de trituradoras

3.2.8.1. De eje único

La máquina trituradora de un solo eje se caracteriza por constar de un solo eje equipado con cuchillas giratorias, de un brazo de empuje operado mediante un sistema hidráulico y una pantalla ubicada debajo del eje giratorio. Su principal aplicación radica en la reducción de tamaño de materiales gruesos y sólidos, como paletas de plástico, caucho, madera, huesos, entre otros.

El proceso de operación es bastante sencillo: el brazo impulsado por el sistema hidráulico dirige el material hacia las cuchillas giratorias. Allí, el material se tritura hasta alcanzar un tamaño lo suficientemente pequeño como para pasar a través de los orificios de una pantalla ubicada en la salida del proceso. [20]

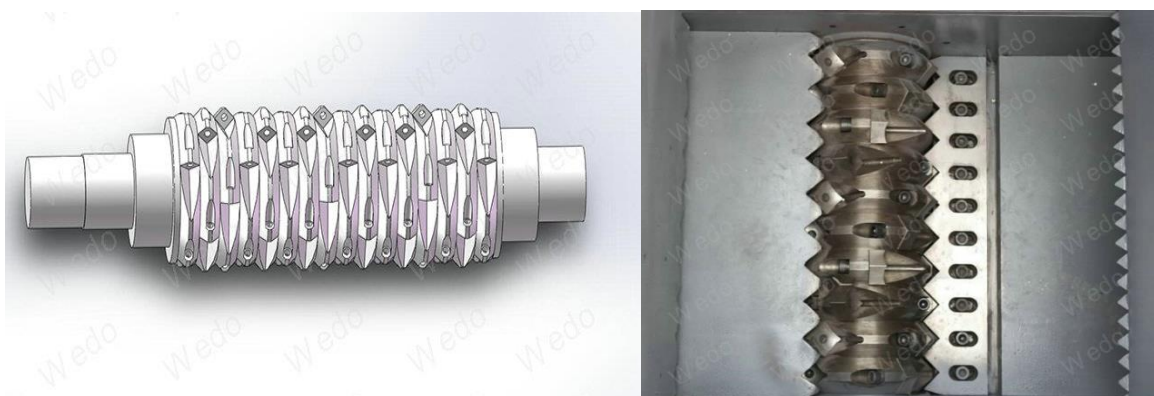
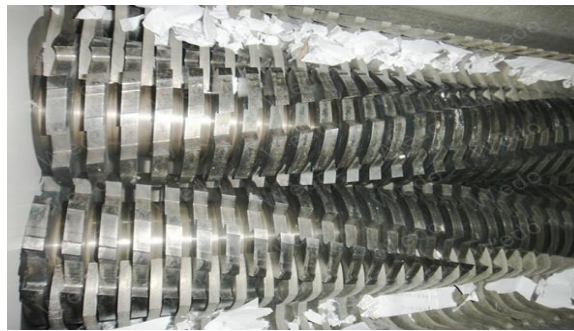


Ilustración 8: Trituradora de eje único
Fuente: Wedo Machinery

3.2.8.2. De doble eje

La máquina trituradora de doble eje como su nombre lo dice tiene dos ejes equipados con cuchillas, también conocidos como sistemas de corte doble. A diferencia de la trituradora de un solo eje, no cuenta con un mecanismo de empuje hidráulico ni con una pantalla de salida. Esta máquina se utiliza principalmente para triturar productos que son relativamente ligeros o huecos y que varían en tamaño desde pequeños hasta grandes, como neumáticos de automóviles, tambores de plástico, chatarra, máquinas de impresión, entre otros.

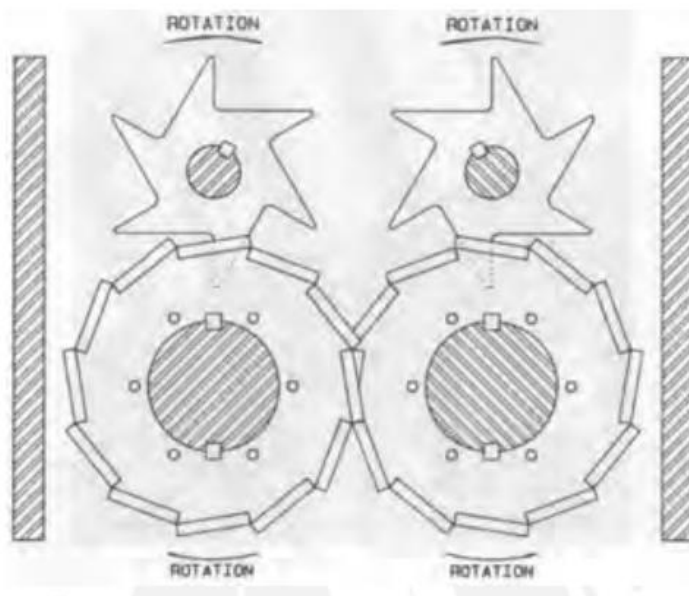
El proceso de trituración con una trituradora de doble eje implica que, una vez que el material es introducido, los dos ejes equipados con cuchillas cortantes se encargan de enganchar y morder el material hasta que este ingresa por completo en la cámara de descarga. En este proceso, generalmente no se utiliza ninguna pantalla de salida, lo que resulta en un tamaño de fragmentos bastante aleatorio. [20]



*Ilustración 9: Trituradora de doble eje
Fuente: Wedo Machinery*

3.2.8.3. Trituradora tipo III para neumáticos

El empleo de estas trituradoras abarca materiales elásticos con mayores propiedades mecánicas, como lo son neumáticos y llantas de vehículos de transporte. En algunos casos, estos no podrían alcanzar la región de trituración, por lo que se ha incorporado rodillos de alimentación en forma de estrella en el diseño. Estos rodillos facilitan la perforación de los neumáticos, lo que a su vez agiliza la entrada del material en la zona de corte. [21]



*Ilustración 10: Trituradora tipo III para neumáticos
Fuente: [21]*

3.2.9. Teoría y fórmulas de diseño

Según Colina Luisa, la energía necesaria para reducir el tamaño de una partícula se puede calcular utilizando la ecuación general [22]:

$$\frac{dE}{dD} = -\frac{k}{D^n}$$

En esta ecuación, E representa la energía por unidad de masa, medida en kilovatios-hora por tonelada (kWh/t), D es el diámetro promedio de las partículas, medido en milímetros, K es una constante y n es la potencia.

Por otro lado, también expresa la energía en función de la potencia y masa, de la siguiente manera:

$$E = \frac{P}{m}$$

En esta fórmula, P representa la potencia consumida, medida en kilovatios (kW) y m es la masa procesada por hora, medida en toneladas (ton/h).

Cabe mencionar que, el grado de ruptura de un material durante el proceso de reducción de tamaño puede expresarse en función de la relación de reducción, que es la relación entre el tamaño inicial del material y el tamaño final después de la reducción.

$$R.R = \frac{\text{Tamaño medio de la carga } (X_1)}{\text{Tamaño medio del producto } (X_2)}$$

3.2.9.1. Leyes energéticas de la trituración

Estas leyes proporcionan información fundamental para entender y planificar una operación de fragmentación específica. Las leyes más importantes en este contexto incluyen:

a) Ley de Kick

La segunda ley de la fragmentación, también conocida como Ley de Rittinger, establece que la energía necesaria para efectuar cambios en el tamaño de cuerpos que son geoméricamente similares es directamente proporcional al aumento en la superficie específica del material. [23]

Cuando se integra la ecuación general, y se considera que $n=1$, la ecuación se expresa de la siguiente manera:

$$E = k_k \cdot \ln \left[\frac{D_{pa}}{D_{pp}} \right]$$

En la expresión, k_k es la constante de Kick, que es una constante específica para un material y un proceso de reducción de tamaño particular, D_{pa} representa el diámetro medio de las partículas alimentadas, medido en milímetros (mm), D_{pp} es el diámetro medio de las partículas del producto, también medido en milímetros (mm).

$$R.R = \frac{D_{pa}}{D_{pp}}$$

b) Ley de Rittinger

La primera ley de la fragmentación, propuesta por Peter Rittinger en 1867, establece que el aumento en el área superficial de las partículas es directamente proporcional a la cantidad de energía consumida durante el proceso de reducción de tamaño. Esto significa que a medida que se reduce el tamaño de las partículas, se crea una superficie adicional que está

relacionada de manera proporcional con la cantidad de energía utilizada para lograr esta reducción de tamaño. [24]. Cuando se integra la ecuación general, y se considera que $n= 2$, la ley de Rittinger matemáticamente se expresa como:

$$W = k_r \cdot \left[\frac{1}{D_{pp}} - \frac{1}{D_{pa}} \right]$$

Donde:

W: Energía consumida en la operación

k_r : Constante de Kick

c) Ley de Bond

La Tercera Ley de la Fragmentación, propuesta por R. Peter Bond en 1952, establece que la energía requerida para reducir el tamaño del 80% de un material es inversamente proporcional a la raíz cuadrada del tamaño del 80%. En otras palabras, cuanto más pequeño es el tamaño objetivo (el 80% de reducción), más energía se necesita para lograr esa reducción de tamaño. [23]

Cuando se integra la ecuación general, y se considera que $n= 1.5$, la ley de Bond matemáticamente se expresa como:

$$E = k_B \cdot \left[\frac{1}{\sqrt{D_{pp}}} - \frac{1}{\sqrt{D_{pa}}} \right]$$

Donde:

E: Energía consumida en la operación

k_B : Constante de Bond: $k_B = \sqrt{100x10^{-3} \cdot W_i} = 0,3162W_i$

W_i : Índice de trabajo de Bond

3.2.9.2. Inercia rotacional

La inercia rotacional constituye una característica inherente a los cuerpos que experimentan un movimiento de rotación. Dentro de la máquina se presenta en las cuchillas por el movimiento que presentan debido a su propia masa y velocidad. Para determinar la inercia rotacional de objetos con geometrías más complejas, suele ser necesario recurrir al cálculo. [25] No obstante, para muchas formas geométricas, es posible encontrar ecuaciones establecidas. Por ejemplo, en la siguiente ilustración se muestra expresiones para algunas figuras simples:

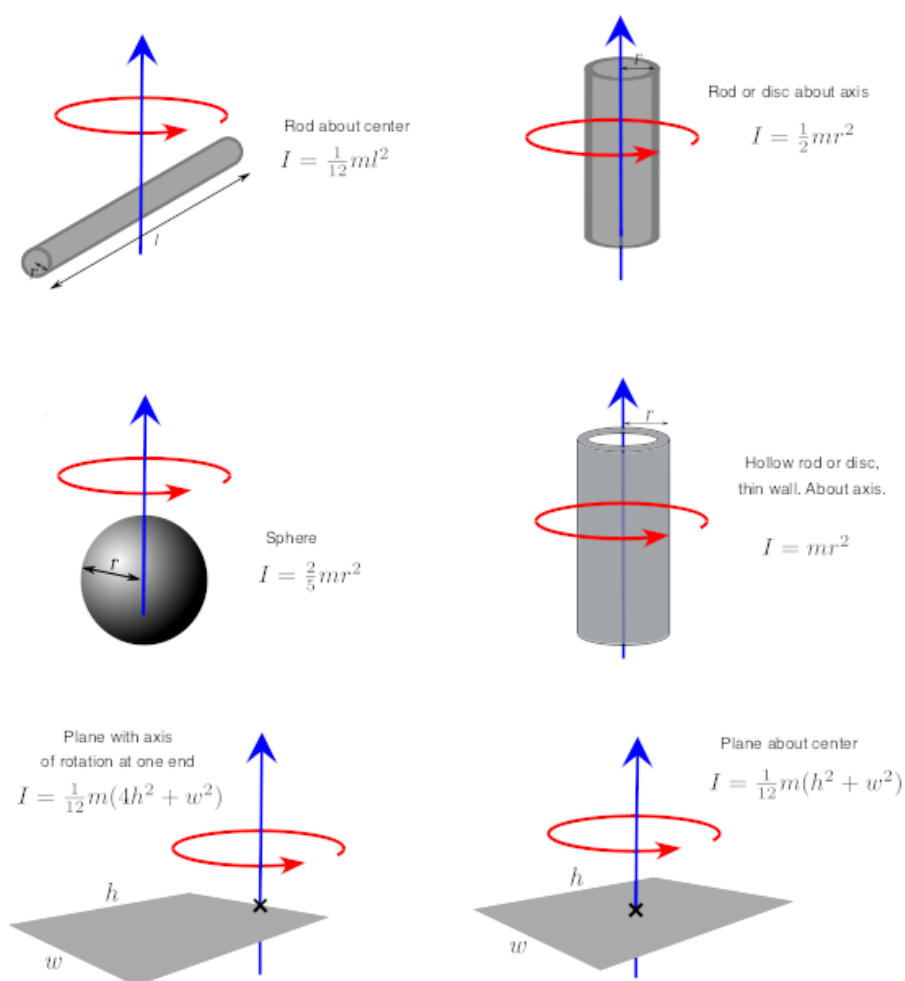


Ilustración 11: Ecuaciones para la inercia rotacional de algunas formas simples
Fuente: Khan Academy

Para el caso de las cuchillas se puede utilizar la ecuación de la siguiente manera:

$$I = \frac{m}{12}(l^2 + b^2)$$

Para la ecuación anterior, m representa la masa de las cuchillas junto con el eje que las soporta, l y b son el largo y ancho de la cuchilla respectivamente.

Por el lado de la carga que entrará a la trituradora, también presentara inercia, por lo tanto, si, por ejemplo, entraran botellas de plástico, y se supone que estas son cilindros para los cálculos, se utilizaría la siguiente ecuación:

$$I = \frac{m}{2} r^2 = \frac{m}{8} D^2$$

Ecuación en la cual, m representaría la masa de toda la carga, r y D , el radio y el diámetro de la botella respectivamente.

Es importante tener en cuenta que lo anterior mencionado es solo una parte de la inercia total de la máquina trituradora, ya que el sistema de transmisión, el motor y otros componentes también contribuyen a la inercia total. La cual se calcula con la sumatoria de las respectivas inercias de todas las partes rotativas.

3.2.9.3. Módulo de elasticidad

El módulo de elasticidad se define como la relación entre el esfuerzo y la deformación. Esta relación se expresa mediante la fórmula:

$$Y = \frac{FL}{S \cdot l^2}$$

Donde F es la fuerza dividida por la unidad de área sobre la sección inicial S y la deformación cuantificada l en relación con la longitud inicial L . El módulo de Young se mide en pascal (Pa/mm^2)

3.2.9.4. Curva tensión-deformación

En un ensayo de tracción, se evalúa la capacidad de un material para resistir la deformación bajo la aplicación gradual de una fuerza. Durante el proceso, se registra la elongación de la probeta entre dos puntos fijos a medida que se incrementa la carga aplicada.

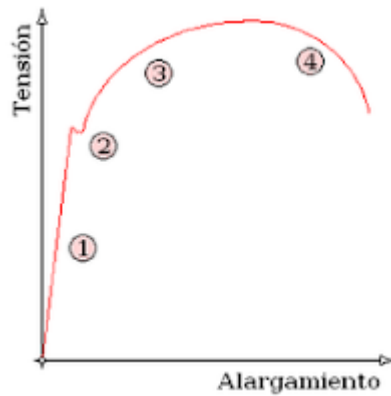


Ilustración 12: Zonas de curva de tensión- deformación
Fuente: Tecnología de los plásticos

Estas zonas se describen de la siguiente manera:

Es la primera fase, conocida como deformación elástica, las deformaciones se distribuyen uniformemente a lo largo de la probeta y son reversibles, lo que significa que la probeta recuperaría su forma inicial si se eliminara la carga aplicada. La tensión máxima que se alcanza en esta fase se llama límite de fluencia, marcando el inicio de la siguiente etapa.

En la segunda fase, llamada fluencia o cedencia, se produce una deformación súbita en la probeta sin un aumento adicional de la carga. Esto ocurre debido a causa de obstáculos internos, como impurezas o elementos de aleación, que obstaculizan el desplazamiento de las dislocaciones en la estructura cristalina, impidiendo su movimiento. Una vez que se supera el límite de fluencia, estas dislocaciones se liberan y la deformación prosigue, aunque ahora de manera uniforme a lo largo de la muestra de prueba.

La tercera fase, deformación plástica, implica que la probeta no recupera su forma original si se elimina la carga, lo que resulta en una deformación permanente. En esta etapa, las deformaciones son más significativas en comparación con la fase elástica.

Finalmente, en la etapa de estricción, la deformación se concentra en el centro de la probeta, lo que resulta en una marcada reducción de su sección transversal. A medida que las deformaciones siguen acumulándose, la probeta finalmente se rompe por esta zona. La estricción es responsable de la disminución de la curva de tensión-deformación, ya que la sección transversal disminuye en esta etapa. Los materiales frágiles no experimentan estricción ni deformaciones plásticas notables y se rompen de manera brusca.

3.2.9.5.Momento de torsión

Es fuerza rotacional que actúa sobre un objeto o una estructura en respuesta a un par de torsión aplicado a ella. Para la máquina trituradora, el momento de torsión es importante para calcular la potencia del motor o viceversa, ya que la potencia del motor puede influir en este. Asociando la inercia rotacional, el momento de torsión queda expresado de la siguiente manera:

$$T = I \cdot \alpha$$

Expresión en la cual, I es la inercia, α es la aceleración angular

Para calcular esta última se puede usar la siguiente ecuación:

$$\alpha = \frac{w}{t}$$

Para w es la velocidad angular y t el tiempo

Por otro lado, la potencia del motor se calcular de la siguiente manera:

$$H = \frac{2\pi \cdot n \cdot M}{f}$$

Ecuación que incluye, a n como la velocidad angular en rpm, M el momento de torsión y f la frecuencia.

IV. RESULTADOS

4.1. Caracterización de las trituradoras contemporáneas

Las máquinas trituradoras formaron parte fundamental en la industria de la trituración y reciclaje de materiales durante décadas. Con avances tecnológicos, las trituradoras modernas han evolucionado considerablemente en términos de eficiencia y capacidad. A continuación, se mostrará algunas máquinas existentes en el mercado actual.

Parámetros que considerar
Velocidad de trituración
Potencia de funcionamiento
Capacidad de corte
Tamaño de partícula
Innovación tecnológica

4.1.1. Trituradora de plástico de tipo plano Xiecheng

Se trata de una máquina trituradora que emplea un diseño de cuchilla plana con una amplia área de corte, esto facilita la trituración eficaz de productos de plástico en pequeñas partículas para su reutilización y procesamiento posterior. Es adecuada para distintos procesos de moldeo de plástico, como la inyección, la extrusión y el soplado, así como para el reciclaje de desechos. Es capaz de tratar una variedad de productos, como botellas, bolsas y películas de plásticos, además este equipo es compacto, fácil de operar y desempeña un papel crucial en el ámbito del reciclaje y la regeneración de plásticos. [26]



*Ilustración 13: Trituradora Xiecheng
Fuente: XIECHENG*

4.1.2. Trituradora shredder

El modelo TSV800 de la trituradora Shredder tiene aplicaciones en la trituración de una amplia variedad de desechos, incluyendo basura urbana, residuos plásticos, material hospitalario, palés, así como residuos de construcción y otros. Este equipo está equipado con cuchillas de 50 mm de ancho cada una y accionadas por dos motores acoplados. Sus dimensiones son de 1430 mm x 2400 mm x 2450 mm, cuenta con una boca de alimentación de 610 mm x 780 mm. Además, incorpora rodillos de trituración, reductores y un inversor de frecuencia, lo que lo convierte en una máquina eficiente para la tarea de trituración. [27]



*Ilustración 14: Trituradora Shredder
Fuente: VANTEC*

4.1.3. Trituradora POR-TAURUS

La trituradora POR, concebida como una solución tecnológica para el reciclaje, se presenta como un modelo especialmente diseñado para abordar la reducción del volumen de desechos de gran tamaño generados en actividades de fabricación. TAURUS, siendo el modelo más potente dentro de su categoría, se ha desarrollado con la finalidad de triturar estos residuos, convirtiendo los fragmentos de menor tamaño que poseen un valor significativo como recurso energético, siendo idóneos para alimentar instalaciones de biogás, calderas u otros fines como la producción de "briquetas". TAURUS, es impulsada por un motor de alto rendimiento con una potencia de 22,3 kW, se establece como una solución eficaz para el procesamiento de residuos de gran envergadura. [28]

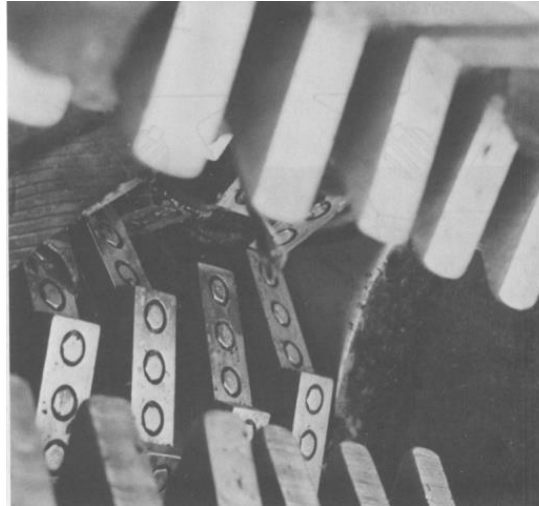


*Ilustración 15: Trituradora POR-TAURUS
Fuente: Internaco*

Con la evolución de las máquinas, los diseños fueron incorporando más variable y parámetros con la posibilidad de incorporar elementos en la máquina para mejorar en la eficiencia del triturado. Puesto que la omisión de estas mejoras podría tener consecuencias negativas, ya que resultaría en una menor productividad y un mayor desgaste de las máquinas. Por lo que, en este diseño se incorporará una caja o tolva de pre triturado como una propuesta de solución para incrementar la capacidad del triturado.

La adición de esta caja permite aumentar la superficie de agarre del material a triturar (ver figura), lo que se traduce en una operación más eficiente. Además, contribuye a mejorar la calidad y uniformidad de los materiales triturados. Este enfoque innovador puede marcar una gran diferencia en la eficiencia de las operaciones de triturado y, en última instancia, en la calidad de los productos resultantes.

En la literatura técnica especializada o en paper revelan la existencia de pocas fuentes que mencionan la adición de un sistema de pre triturado, sin embargo, en el artículo científico de Hill, “Three types of low-speed shredder design”, describe tres diseños básicos de trituradoras, mostrando como con la adición de un sistema de pre triturado logra mejorar la trituración del caucho, y lo considera como el tercer tipo de trituradora el cual posee rodillos de alimentación en forma de estrella, facilitando el ingreso del material a la zona de corte.
[21]



*Ilustración 16: Trituradora tipo III para neumáticos
Fuente: [21]*

4.2. Diseño metodológico

4.2.1. Consideraciones de diseño

Las consideraciones de diseño son características que ejercen una influencia significativa en la configuración del componente, y posiblemente, en todo el sistema en conjunto, entre las más comunes destacan: La funcionalidad, la resistencia/esfuerzo, el desgaste, costo, peso, ruido, vida, tamaño, corrosión, lubricación, mantenimiento, capacidad de reciclado o recuperación de recursos, etc. Ciertas de estas propiedades guardan una relación directa con aspectos tales como las dimensiones, el material, el procesamiento y la unión de los componentes del sistema. [29]

4.2.2. Estructura de funciones

Esto implica la manera en que las distintas funciones se interconectan y se relacionan entre sí para lograr un objetivo específico, para este caso, la trituración de material plástico.

Un ejemplo para una estructuración de funciones se presenta en la siguiente ilustración donde se muestra la trituración de botellas de plásticos.

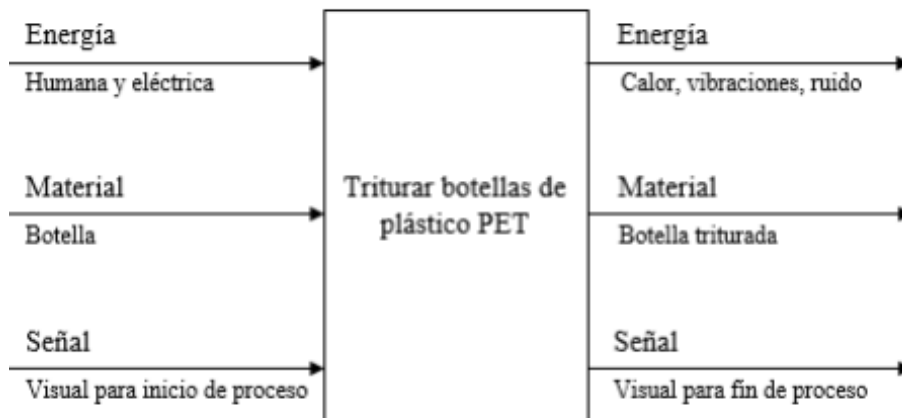


Ilustración 17: Estructura de funciones
Fuente: [30]

4.2.3. Descripción de las funciones

En esta sección, se describirán las tareas que la máquina trituradora debe ejecutar para alcanzar su propósito. Estas tareas se pueden categorizar en función principal y funciones secundarias o parciales.

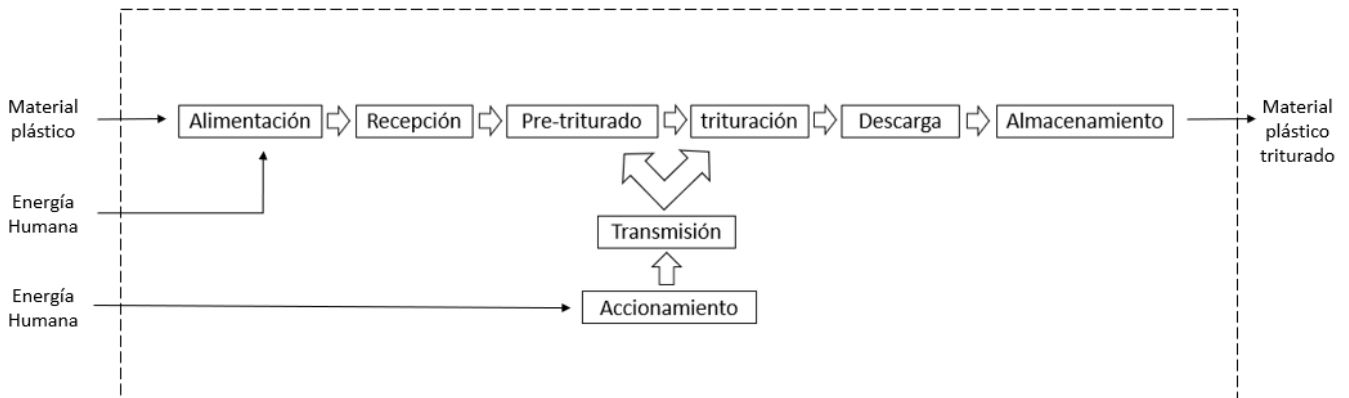
4.2.3.1. Función principal

Tiene como función reducir el material plástico en fragmentos más pequeños o partículas, que luego permitan su reutilización o desecho.

4.2.3.2. Funciones secundarias

- **Alimentación:** Se introduce el material plástico dentro de la máquina.
- **Recepción:** Todo el material se queda depositado en una cámara de recepción.
- **Accionamiento:** Generará el movimiento de todo el sistema
- **Transmisión:** Método con el cual se transmitirá el movimiento del accionamiento.
- **Pre-triturado:** Sistema que realizará un triturado parcial del material, para producir mejor agarre en la siguiente función.
- **Trituración:** Proceso que dará al material el tamaño final, del material plástico.
- **Descarga:** Sistema que llevará el material reciclado a su posterior almacenamiento.

- **Almacenamiento:** El material triturado es depositado en algún recipiente



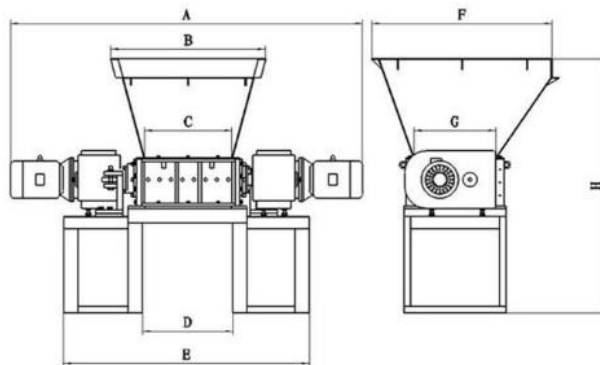
*Ilustración 18: Funciones de la máquina trituradora
Fuente: Elaboración propia*

4.2.4. Criterios de valoración

Siguiendo las consideraciones de diseño establecidas en la sección 3.2.1., se tienen en cuenta ocho criterios que aborda aspectos clave del diseño, de manera que se garantice que la máquina pueda satisfacer las necesidades y expectativas de los usuarios.

a) Manufactura

La idea central es garantizar que la construcción de la máquina no implique costos excesivos y que, al mismo tiempo, se pueda llevar a cabo con facilidad.



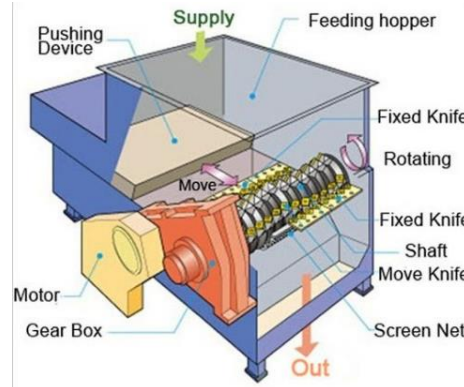
*Ilustración 19: Manufactura de una trituradora de 2 ejes
Fuente: 3E Group*

b) Mantenimiento

Referido a la facilidad de hacerle mantenimiento, es decir que todas las actividades requeridas para asegurar el funcionamiento óptimo de la máquina a lo largo de su vida útil sean accesibles.

c) Operación

Significa que la máquina puede ser operada por cualquier persona de manera sencilla y sin complicaciones. Esto implica un diseño intuitivo y amigable, con controles claros y procedimientos que no requieran habilidades técnicas avanzadas.



*Ilustración 20: Operación básica de una máquina trituradora
Fuente: ENERPAT*

d) Ruido

Considera el exceso de ruido generado durante el funcionamiento de la máquina.

e) Seguridad

Se busca garantizar que el diseño y la operación de la máquina estén libres de riesgos para el operador, de manera que este no corra peligro alguno mientras la utiliza.

f) Ergonomía

Implica tener en cuenta las dimensiones corporales, alcance y capacidad física típicos de las personas que utilizarán la máquina.



*Ilustración 21: Referencia de cómo no utilizar una máquina trituradora
Fuente: Google*

g) Tamaño

Esto es esencial para asegurarse de que la máquina pueda ser instalada y operada de manera eficiente y segura sin ocupar un espacio excesivo, lo que es importante en

entornos industriales. El tamaño está sujeto a las características antropométricas del operador.

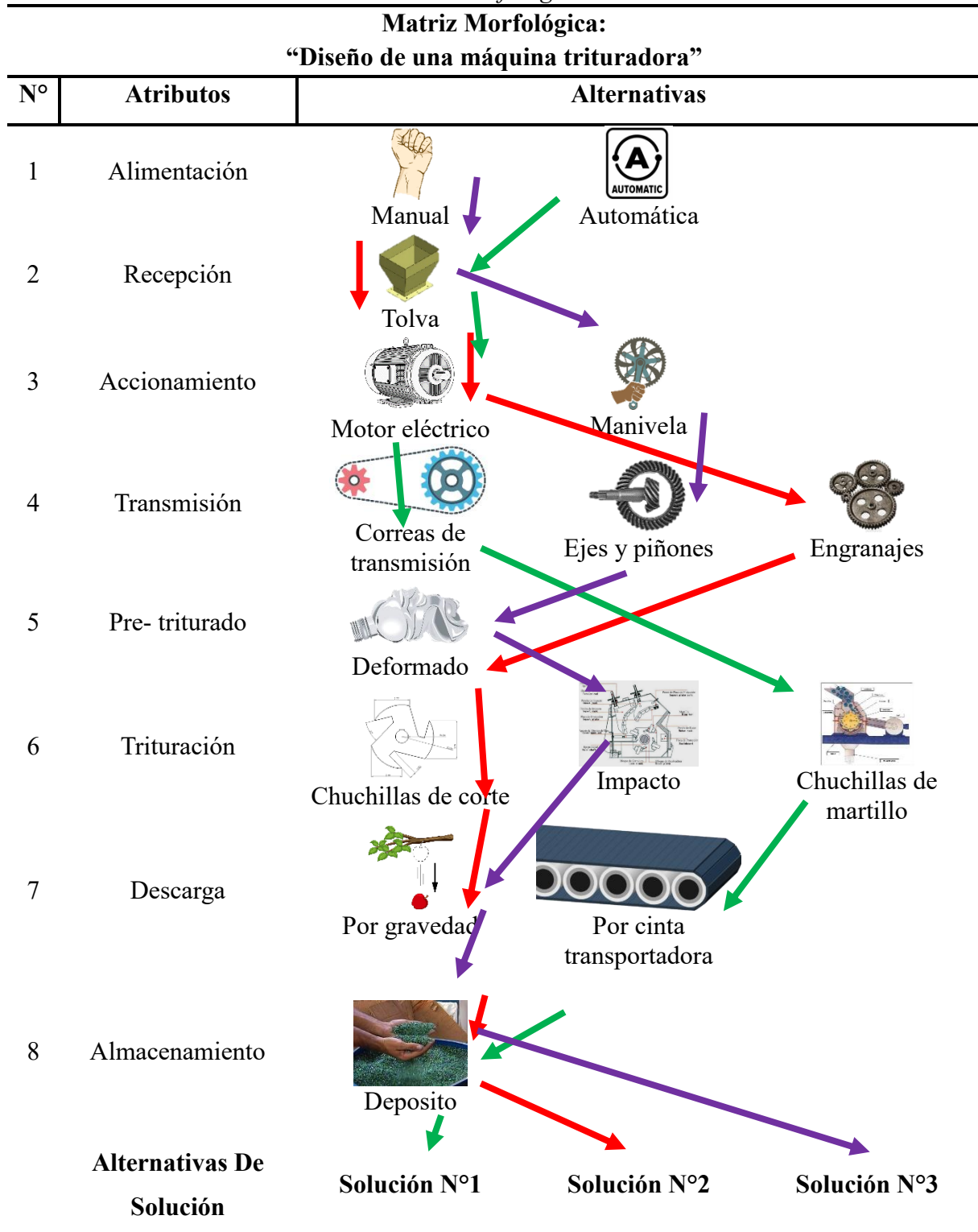
h) Confiabilidad

Esto significa que la máquina debe ser capaz de desempeñar su función principal de manera eficiente y dentro de los plazos establecidos.

4.2.5. Matriz morfológica

Esta herramienta de diseño se empleará para organizar y examinar diversas combinaciones de características o componentes que pueden contribuir a la creación de un diseño de máquina capaz de incrementar la capacidad de trituración.

Tabla 7: Matriz morfológica del diseño



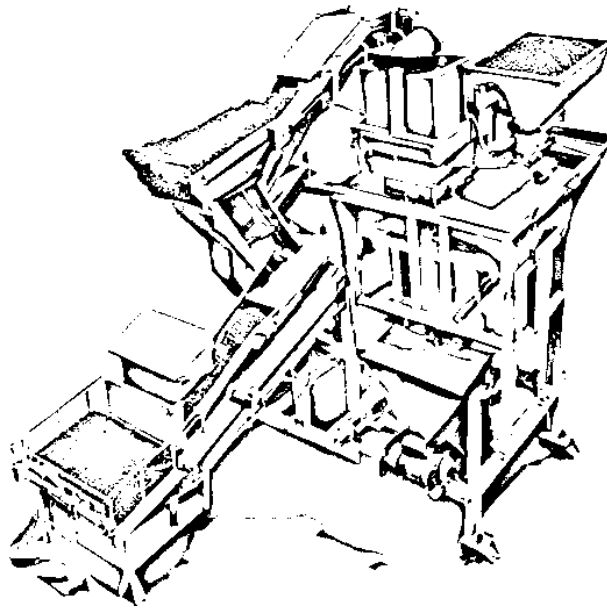
Fuente: Elaboración Propia

4.2.6. Proyectos preliminares

- Solución N°1

El proceso de trituración de plástico comienza con una alimentación automática la cual asegura un suministro constante de plásticos al proceso. Inicialmente, los plásticos son depositados en una tolva, para luego pasar por los martillos trituradores que son accionados por un motor que transmite la potencia por medio de una correa de transmisión, la cual da la velocidad y el torque necesarios para controlar el proceso de trituración.

Después de la trituración, los plásticos triturados son transportados a través de una cinta transportadora, facilitando el transporte de los materiales a la siguiente etapa del proceso o hacia un recipiente de descarga. El recipiente de descarga puede ser un contenedor o cualquier otro sistema de almacenamiento. En este recipiente, los plásticos triturados se acumulan y están listos para su posterior procesamiento.



*Ilustración 22: Vista previa de la solución N°1
Fuente: Elaboración Propia*

- Solución N°2

El proceso de trituración de plástico comienza con la inserción manual del material en la máquina, que está equipada con una tolva de carga para acumular los materiales. Internamente, un motor eléctrico proporciona la potencia necesaria para hacer girar las cuchillas a alta velocidad por medio de una transmisión por

engranajes, que actúa como un mecanismo de amplificación de la velocidad y el torque.

Previa a la trituración principal, se implementa una etapa de pre triturado. En donde se reduce los plásticos a porciones más manejables, para facilitar la posterior trituración y optimizar la eficiencia del proceso. El siguiente paso es la trituración principal, donde las partículas de plástico son sometidas a un proceso de reducción más fino.

Finalmente, las partículas resultantes caen por acción de la gravedad y son recolectadas en un recipiente situado debajo de la máquina. Este recipiente actúa como un depósito temporal, donde las partículas aguardan hasta su posterior utilización en la fabricación de nuevos productos.

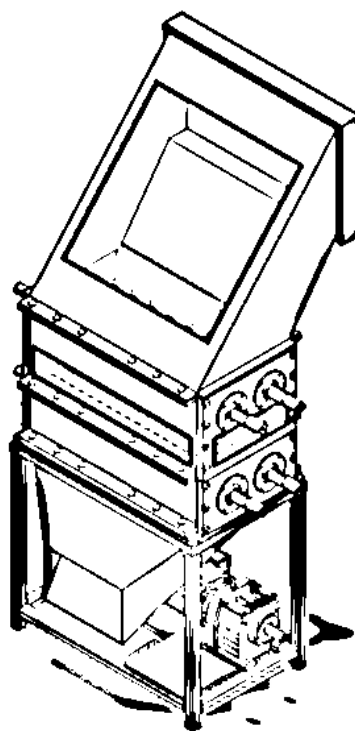


Ilustración 23: Vista previa de la solución N°2
Fuente: Elaboración Propia

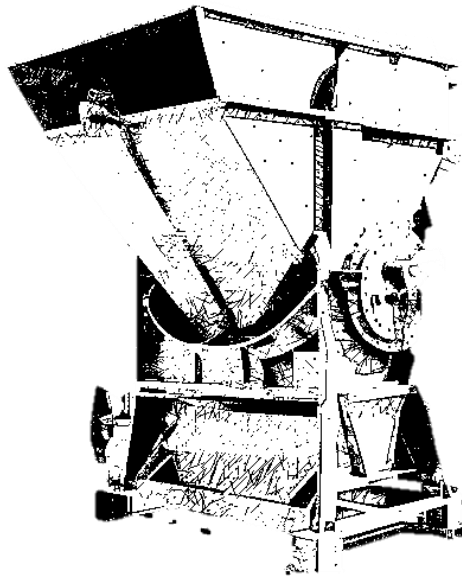
- **Solución N°3**

El proceso de trituración de plástico comienza con la inserción manual del material en la máquina, que está equipada con una tolva de carga para acumular los materiales.

Este diseño proporciona la potencia necesaria para hacer girar las cuchillas por medio de una manivela acoplada a una transmisión por eje y piñón, que actúa como un mecanismo de amplificación de la velocidad y el torque.

En esta solución se implementa una etapa de pre triturado para reducir los plásticos a porciones más manejables, y seguir con la trituración principal, mediante cuchillas de corte donde las partículas de plástico son sometidas a un proceso de reducción más fino.

Finalmente, las partículas resultantes caen por acción de la gravedad y son recolectadas en un recipiente situado debajo de la máquina.



*Ilustración 24: Vista previa de la solución N°3
Fuente: Elaboración Propia*

4.2.7. Matriz ponderada

La siguiente tabla muestra la evaluación para las tres alternativas de solución desarrolladas anteriormente.

Tabla 8: Matriz ponderada de las alternativas seleccionadas

“Diseño de un extractor de rótula hidráulico.”									
p: Puntaje de 0 a 4									
0=No satisface, 1=Aceptable a las justas, 2=Suficiente, 3=Bien, 4=Muy bien (ideal)									
g: Peso en función de la importancia									
Alternativas	S1		S2		S3		S ideal		
Criterios	g	p	gp	p	gp	p	gp	p	gp
Manufactura	4	2	8	4	16	3	12	4	16
Mantenimiento	3	2	6	3	9	3	9	4	12
Operación	4	2	8	4	16	1	4	4	16
Ruido	3	2	6	3	9	2	6	4	12
Seguridad	4	3	12	3	12	1	4	4	16
Ergonomía	4	3	12	3	12	1	4	4	16
Tamaño	3	3	9	3	9	3	9	4	12
Confiabilidad	4	3	12	3	12	1	4	4	16
Punt. Max.	29	20	73	26	95	15	52	32	116
Valor técnico		0.625	0.629	0.813	0.819	0.469	0.448	1	1

Fuente: Elaboración propia

A continuación, se presenta un gráfico que compara las tres alternativas mediante una evaluación de pesos ponderados (gp) con respecto a la solución ideal.

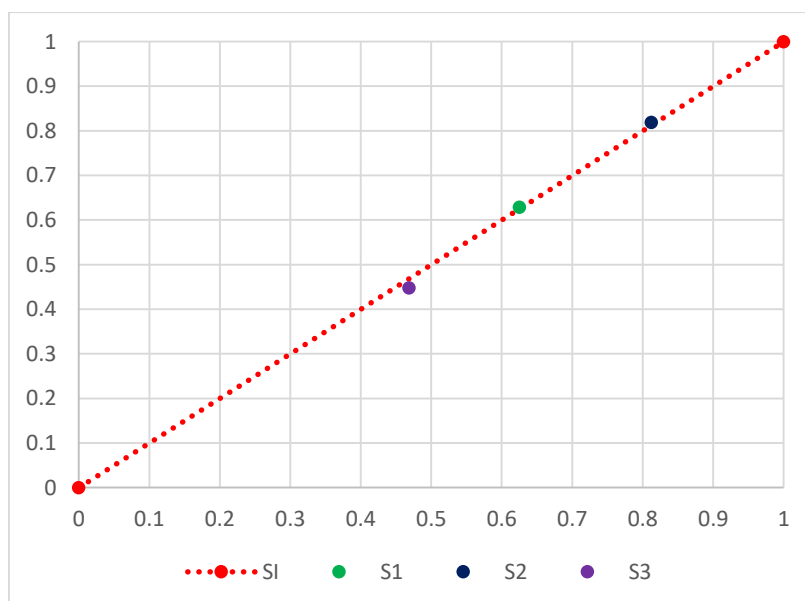


Ilustración 25: Evaluación con pesos ponderados

Fuente: Elaboración propia

Según el gráfico mostrado, se puede visualizar el punto de color rojo que es la solución ideal. Por lo tanto, la mejor opción será la que se encuentra más cerca a está, entonces la elección será la solución N°2.

4.2.8. Análisis de la solución seleccionada

A continuación, se presentarán las ventajas y desventajas asociadas a la solución N°2, proporcionando una visión equilibrada de las capacidades y posibles limitaciones que esta podría tener al abordar el problema del panorama actual.

Tabla 9: Ventajas y desventajas de la solución seleccionada

Ventajas	Desventajas
Mayor capacidad de trituración	Atascamiento
Menor consumo de energía	Mayor altura
Mayor eficiencia	
Calidad del material triturado	

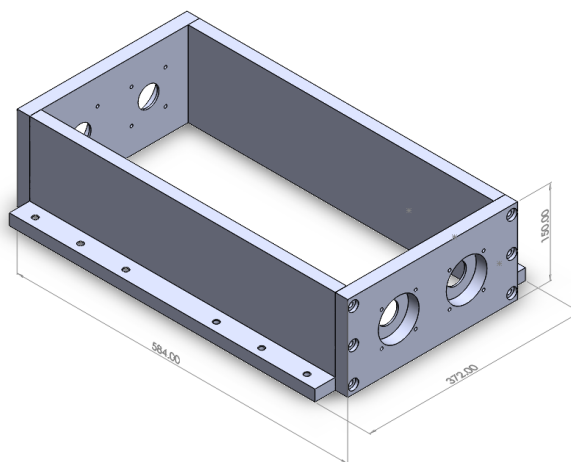
Fuente: Elaboración propia

4.3. Cálculos de la máquina trituradora

Para llevar a cabo el proceso, la máquina se compone de varios elementos clave. En primer lugar, cuenta con una tolva de ingreso que canaliza el material a procesar. Luego, pasa por un pre triturado con rodillos en forma de estrella que reducen el volumen del material a triturar, posteriormente pasa a las cuchillas principales de trituración, junto a sus separadores correspondientes, que entran en acción al girar en direcciones opuestas, reduciendo así el tamaño de las piezas. Finalmente, estas partículas resultantes caen sobre una criba diseñada para permitir únicamente el paso de las hojuelas ya procesadas que caen sobre recipientes móviles los cuales una vez llenos, se retiran para su posterior procesamiento o utilización.

4.3.1. Cálculo de la caja de trituración

En este estudio la caja de trituración dependerá de la geometría de las cuchillas, las cuales tendrán un diámetro máximo entre los valores de 100 a 140 mm, y un espesor de 15 mm. Por otro lado, el largo de la caja dependerá a su vez del eje donde estarán montadas las cuchillas. Por lo tanto, las dimensiones exteriores de la caja serán de 584, 372 y 150 mm de largo, ancho y alto respectivamente.



*Ilustración 26: Vista isométrica de la caja de trituración
Fuente: Elaboración propia*

4.3.2. Resistencia al cizallamiento del PET

Para calcular la resistencia al corte del PET, se utilizará como referencia el estudio normalizado de pruebas en polímeros denominado IZOD y CHARPY, de acuerdo con la normativa ASTM D-256. Como se muestra en la siguiente tabla, se establece un esfuerzo de cizallamiento de 55 kgf/cm².

Tabla 10: Datos técnicos del PET

POLIETILENTEREFTALATO				PET
PROPIEDADES MECANICAS A 23°C	UNIDAD	ASTM	DIN	VALORES
PESO ESPECIFICO	gr/cm ³	D-792	53479	1.39
RESIST. A LA TRACCIÓN	Kg/cm ²	D-638	53455	900/...
RES. A LA COMPRESIÓN	Kg/cm ²	D-695	53454	260/480
RESISTENCIA A LA FLEXIÓN	Kg/cm ²	D-790	53452	1450
RE. AL CIZALLAMIENTO	Kgf/cm ²	D-256	53453	55
ALARGAMIENTO A LA ROTURA	%	D-638	53455	15
MODULO DE ELASTICIDAD	Kg/cm ²	D-638	53457	37000
DUREZA	Shore D	D-2240	53505	85-87
COEF. DE ROCE ESTATICO S/ACERO		D-1894	
COEF. DE ROCE DINAMICO S/ACERO		D-1894		0.20
RES. AL DESGASTE POR ROCE	KPa			10

Fuente: Ensayos IZOD y CHARPY

4.3.3. Cálculo de la fuerza de corte

La fuerza aplicada sobre un material para hacer que dos partes de este material se deslicen una sobre la otra en direcciones opuestas, se refiere al esfuerzo de corte.

Según Dave Hakkens, el esfuerzo de corte del PET tiene un valor de 100 MPa. [31]

Posteriormente a lo proporcionado, se determina la fuerza de corte a partir de la siguiente ecuación:

$$\tau_c = \frac{F_c}{A_c}$$

Que despejando F_c , resultaría:

$$F_c = \tau_c * A_c$$

Donde:

F_c es la fuerza de corte medida en Newton (N), la cual representa la intensidad de la acción de corte; el área de corte A_c , expresada en milímetros cuadrados (mm^2), indica la superficie afectada por el corte; y el esfuerzo de corte (τ_c), medido en Newton por milímetro cuadrado (N/mm^2), representa la carga aplicada sobre la unidad de área, proporcionando una medida crucial de la resistencia del material al proceso de corte.

Por diseño, la cuchilla tendrá una longitud de 15 mm y al ancho de 1 mm, entonces el área de corte de la cuchilla resultaría:

$$A_c = 15 \text{ mm} (1 \text{ mm}) = 15 \text{ mm}^2$$

Reemplazando, en la primera ecuación se procede a calcular la fuerza de corte, dando un valor de:

$$F_c = \tau_c * A_c$$

$$F_c = \left(100 \frac{N}{mm^2} \right) * (15 \text{ mm}^2)$$

$$F_c = 1500 \text{ N}$$

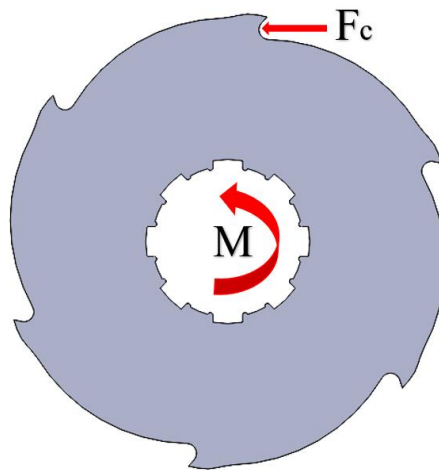
En el diseño conceptual de la solución, se ha determinado que se emplearán 36 cuchillas, las cuales estarán repartidas en 2 ejes, con 18 cuchillas cada uno. En consecuencia, la fuerza total de corte se calculará multiplicando la fuerza ejercida por una sola cuchilla por el número total de cuchillas en el eje.

$$F_{ctot} = F_c \times n_c = 1500 \text{ N} \times (18) = 27 \text{ kN}$$

4.3.4. Cálculo del espesor de la cuchilla

Para determinar el espesor adecuado de las cuchillas de corte, es esencial evaluar la resistencia mecánica en la zona interna. De entre las opciones disponibles para la unión entre el eje y las cuchillas, se tiene el eje con forma geométrica y al eje estriado. De estas se opta por el eje estriado debido a que su proceso de fabricación requiere menos mecanizado en comparación con un eje con forma geométrica.

Dado que las cuchillas están sujetas a cargas de impacto durante el corte del material entrante, se realiza un diagrama de cuerpo libre de las cargas aplicadas al eje estriado, aquí se traslada la fuerza de la cuchilla hacia el eje, convirtiendo esta carga en momento para el eje.



*Ilustración 27: DCL de las fuerzas en la cuchilla
Fuente: Elaboración propia*

Para la forma y dimensiones de las nervaduras o estrías que tendrá el eje están normalizados en la DIN 5462, la siguiente tabla nos muestra las medidas normalizadas de los ejes estriados. [31]

Tabla 11: Medidas normalizadas para ejes estriados

d_1	Serie Ligera DIN 5462		
	N° dientes (z_n)	d_2	b
46	8	50	9
52	8	58	10
55	8	62	10
62	8	68	12
72	10	78	12

Fuente: Elaboración propia

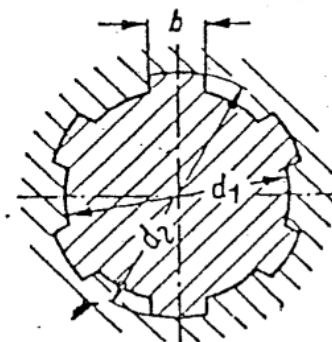


Ilustración 28: Perfil del eje estriado

Se debe tener en cuenta también la presión admisible de la zona interna, cuyos valores están detallados en la siguiente tabla:

Tabla 12: Datos de presión admisible para la zona interna con distintos materiales

	P_{adm} (N/mm ²)
Para cubo de hierro fundido	54 a 60
Para cubo de acero y acero fundido	90 a 100

En el caso de que hubiese choques durante la transmisión se debe considerar un factor de choque C_s que multiplica al momento torsor M_t a transmitir. [31]

$$C_s = 1,43$$

Para encontrar la longitud efectiva de las cuchillas, el primer paso será calcular el diámetro medio del eje estriado y la distancia media entre los diámetros.

$$d_{med} = \frac{d_{ext} + d_{int}}{2} = \frac{50 + 46}{2} = 48 \text{ mm}$$

$$h' = \frac{d_{ext} - d_{int}}{2} = \frac{50 - 46}{2} = 2 \text{ mm}$$

Una vez obtenidos estos datos, se procede a calcular la longitud efectiva, que es la longitud mínima requerida para que la cuchilla pueda resistir la carga a la que está sometida.

$$L_{ef} = \frac{2 \times M_{tc} \times C_s}{0,75 \times d_{med} \times h' \times z_n \times P_{adm}} = \frac{2(65 \times 1500)(1,43)}{0,75(48)(2)(8)(90)} = 5,38 \text{ mm}$$

Con base en este cálculo, se establece que el espesor mínimo requerido para el diseño será de 15 mm para las cuchillas. Esto asegura que no habrá problemas de falla por resistencia en el interior de las cuchillas debido a la fuerza de corte.

4.3.5. Cálculo de la potencia de corte

Para ello se han definido los siguientes parámetros:

- **Torque total del corte (T_c):**

$$T_c = F \times r = (27 \text{ kN})(0.7 \text{ m}) = 1.89 \text{ kN.m}$$

- **Velocidad de rotación (n_{rot}):**

Según Hill [21], la velocidad de rotación sería de un valor de 19 rpm, equivalente a 1.9 rad/s.

- **Eficiencia del motorreductor (n_{tr}): 0.9**

Una vez establecido la fuerza de corte necesaria, se procede a determinar la potencia mecánica requerida para la máquina. Esta potencia total se obtiene a partir de la siguiente fórmula:

$$P_{corte} = \frac{T_c \times n_{rot}}{n_{tr}} = \frac{(1.89 \text{ kN.m})(1.9 \text{ rad/s})}{0.9} = 4 \text{ kW}$$

4.3.6. Selección del motorreductor

Una vez determinada la potencia de corte, se le multiplicará por el factor de servicio indicado por el fabricante que es de 1, para calcular la potencia de diseño por medio de la siguiente fórmula:

$$P_{diseño} = P_{corte}(f_s) = 4 \text{ kW}(1) = 4 \text{ kW}$$

Del catálogo proporcionado por SEW Eudrive, se selecciona el motor más adecuado según lo indicado en la tabla siguiente.

DRN... motor type	P_N Kw	M_N Nm	n_M min^{-1}	I_N 380V A	$\text{Cos } \varphi$	$n_{50\%}$ %	$n_{75\%}$ %	$n_{100\%}$ %	I_A/I_N	M_A/M_N M_H/M_N	M_K/M_N
DRN 132M 6	3.7	30	1182	10.7	0.59	86.8	89	89.5	6.7	3.4 2.8	3.3
DRN 132M 6	4	32.5	1181	11.1	0.61	87.4	89.2	89.5	6.4	3.2 2.6	3.1
DRN 132M 6	5.5	44.5	1185	12.6	0.72	88.4	90.4	91	8.6	2.9 1.3	4.4

El motor seleccionado es el SEW132M6 que tiene una velocidad de rotación de 1185 rpm. Por otro lado, también se selecciona el reductor seleccionando del mismo catálogo. El cual

tiene el siguiente código R87DRN132M6, teniendo una relación de transmisión de 47.58, lo cual daría una velocidad de salida de:

$$n_s = \frac{n_n}{r_t} = \frac{1181}{47.58} = 24.82 \text{ rpm}$$

Basado en la información obtenida de la literatura consultada, se establece que las velocidades de rotación promedio para el proceso de cizallado oscilan entre 16 y 32 rpm. Y como la velocidad de salida se encuentra dentro de ese rango, se garantiza la eficiencia del triturado.

4.3.7. Capacidad de corte por revolución

a) Trituradora sin sistema de pre-triturado:

$$\frac{C_t}{r} = 4A_c * N_e * N_c * t_c * \rho_{PETG}$$

Donde:

- $\frac{C_t}{r}$: Capacidad de corte por revolución
- A_c : Área de corte de la cuchilla
- N_e : Número de ejes
- N_c : Número de cuchillas
- t_c : espesor de la cuchilla
- ρ_{PETG} : densidad del ABS de alto impacto

La densidad del material a triturar se toma de la siguiente tabla:

Tabla 13: Densidad de los materiales

Material	Densidad [g/cm ³]
PLA	1.24
ABS	1.04
PETG	1.27
NYLON	1.52
Flexible (TPU)	1.21
Polycarbonato (PC)	1.3

Fuente: BITFAB

Por lo tanto, la capacidad por cada revolución resultaría de:

$$C_{\frac{t}{r}} = 4A_c * N_e * N_c * t_c * \rho_{PETG}$$

$$C_{\frac{t}{r}} = 4(0.15) * (2) * (36) * (1.5 \text{ cm}) * (1.27 \text{ kg/cm}^3)$$

$$C_{\frac{t}{r}} = 82.3 \text{ kg/rev}$$

b) Trituradora con sistema de pre-triturado:

Aumentando 2 ejes y un sistema de reducción de volumen

$$C_{\frac{t}{r}} = 4(0.15) * (4) * (36) * (1.5 \text{ cm}) * (1.27 \text{ kg/cm}^3)$$

$$C_{\frac{t}{r}} = 164.6 \text{ kg/rev}$$

4.3.8. Cálculos del eje de corte

El diseño de los ejes se basará en la forma de la zona interna de la cuchilla, la cual consistirá en un eje estriado con dimensiones de 62 mm y 55 mm para el diámetro exterior e interior, respectivamente.

Para iniciar el cálculo de los esfuerzos en el eje, se procede con la elaboración de un Diagrama de Cuerpo Libre (DCL), considerando que el eje está simplemente apoyado. Además, se supondrá que el eje se encuentra en su caso crítico, lo que significa que todas las cuchillas estarán operando simultáneamente.

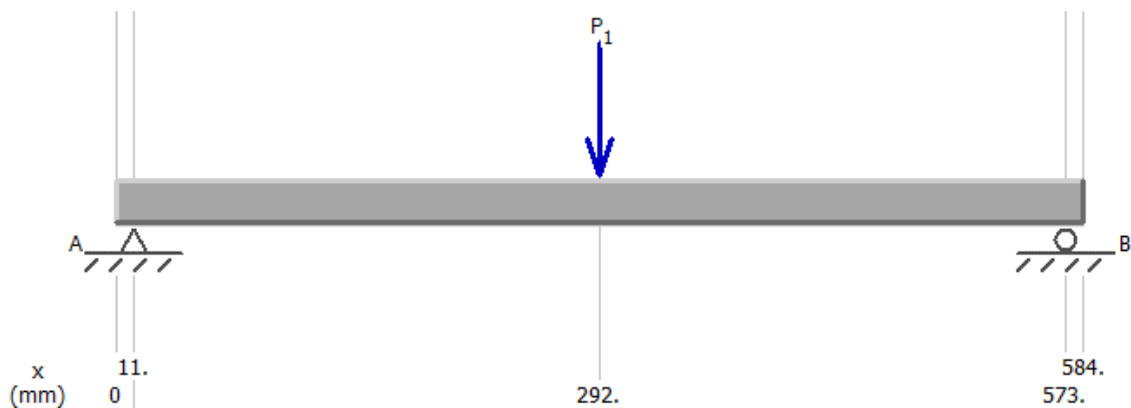


Ilustración 29: DCL del eje con la carga total

Fuente: Elaboración propia

Teniendo como resumen los siguientes datos:

- **Longitud del eje hasta los apoyos (L_{eje}):** 584 mm
- **Posición donde se aplica la carga (a_c):** 292 mm
- **Número de cuchillas apoyadas en el eje (n_c):** 18
- **Fuerza total aplicada (F_{tot}):** 27 kN

Con esos datos se calcula la fuerza que habrá en los apoyos, teniendo en cuenta las ecuaciones del libro “Mechanics of materials” [33]

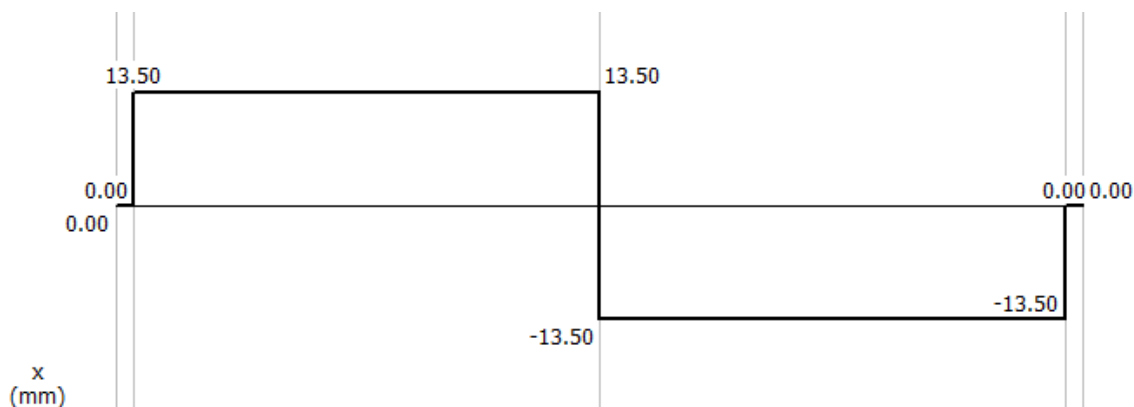
Fuerza en el apoyo izquierdo:

$$A_1 = \frac{F_{tot}(L_{eje} - a_c)}{L_{eje}} = \frac{27(584 - 292)}{584} = 13.5kN$$

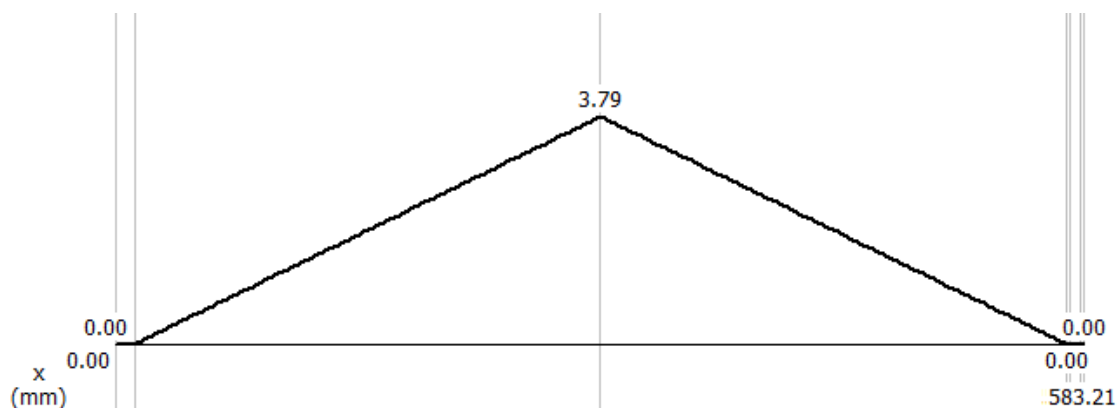
Fuerza en el apoyo derecho:

$$A_2 = \frac{F_{tot}(a_c)}{L_{eje}} = \frac{27(292)}{584} = 13.5kN$$

Estos valores se comprueban mediante el software MDSolids, cuyos resultados se muestran en las siguientes ilustraciones.



*Ilustración 30: Resultados MDSolids fuerza en los apoyos
Fuente: Elaboración propia*



*Ilustración 31: Resultados momento flector en MDsolids
Fuente: Elaboración propia*

Momento de inercia del eje (I_{eje}):

$$I_{eje} = \frac{\pi(D_{med}^4)}{64} = \frac{\pi(48^4)}{64} = 2.6 \times 10^5 \text{ mm}^4$$

Área del eje (A_{eje}):

$$A_{eje} = \frac{\pi(D_{med}^2)}{4} = \frac{\pi(48^2)}{4} = 1.809 \times 10^3 \text{ mm}^2$$

Momento de flexión máximo (M_{flex}):

$$M_{flex} = 3.79 \times 10^3 \text{ N.m}$$

Momento de torsión máximo (M_{tor}):

$$M_{tor} = 405 \text{ N.m.}$$

Fuerza de corte máximo (F_{corte}):

$$F_{corte} = 6.75 \text{ kN}$$

Con los datos proporcionados, se puede calcular el esfuerzo de flexión máximo en el punto crítico utilizando la fórmula:

$$\sigma_{fmax} = \frac{M_{flex} \times \frac{d_{med}}{2}}{I_{eje}} = \frac{3.79 \times 10^6 \left(\frac{48}{2}\right)}{2.6 \times 10^5} = 349.84 \text{ MPa}$$

Esfuerzo de corte en la zona crítica:

$$\tau_{c_{max}} = \frac{F_{corte}}{A_{eje}} = \frac{6.75 \text{ KN}}{1.809 \times 10^3 \text{ mm}^2} = 3.73 \text{ MPa}$$

Esfuerzo de torsión máximo:

$$\tau_{t_{max}} = \frac{16 \times M_{tor}}{\pi \times d_{eje}^3} = \frac{16 (405)(10^3)}{\pi (46^3)} = 21.19 \text{ MPa}$$

Utilizando el teorema de Von Mises, se determina el esfuerzo equivalente en el punto donde se registra el máximo esfuerzo.

$$\sigma_{eq} = \sqrt{\sigma_{f_{max}}^2 + 3(\tau_{c_{max}}^2 + \tau_{t_{max}}^2)} = \sqrt{349.84^2 + 3(3.73^2 + 21.19^2)} = 351.82 \text{ MPa}$$

Comparando este resultado con el límite de fluencia del material del eje, el cual es un acero AISI-430 cuyo valor es de 640 MPa, se obtiene el factor de seguridad.

$$FS = \frac{\sigma_Y}{\sigma_{eq}} = \frac{640}{351.81} = 1.82$$

Luego, se procede a calcular la deflexión y la inclinación máximas del eje. Estos cálculos se basan en la constante de elasticidad del acero (E_{acero}) cuyo valor es:

$$E_{acero} = 2.2 \times 10^5 \frac{N}{\text{mm}^2}$$

La ecuación para la deflexión en el eje máxima es:

$$v_{max} = \frac{F_{corte} \times L_{eje}^3}{48 \times E_{acero} \times I_{eje}} = \frac{(27 \times 10^3)(584^3)}{48(2.2 \times 10^5)(2.6 \times 10^5)} = 1.96 \text{ mm}$$

Por otro lado, la inclinación en el eje máxima es:

$$\theta_{max} = \frac{F_{corte} \times L_{eje}^2}{16 \times E_{acero} \times I_{eje}} = \frac{(27 \times 10^3)(584^2)}{16(2.2 \times 10^5)(2.6 \times 10^5)} = 0.01^\circ$$

Estos resultados sugieren que el eje estriado no experimentará fallas debido a la resistencia mecánica y que su deflexión será la mínima.

4.4.Diseño y análisis de los elementos de la máquina

4.4.1. Estudio de grupo de materiales

Para poder realizar la gráfica de estudio de propiedades se va a tomar un material de referencia propuesto por Chetwynd en el libro “Foundations of ultra-precision mechanism design” [31], las propiedades físicas de este material estarán mostradas en el Anexo 7.2 y serán estas las que se utilizarán para evaluar los criterios y determinar el material adecuado para este diseño.

a) Para la estructura:

En el Anexo 8.3 se muestran los posibles materiales a utilizar para la elaboración de la estructura de la máquina, junto con sus propiedades físicas, las cuales se utilizarán para elaborar la gráfica de estudio de propiedades, que se encuentra en el Anexo 8.4, en donde para seleccionar el material adecuado se tendrán en cuenta distintos criterios, como los siguientes:

- Para evitar deformaciones por propio peso, elegir alto E/p
- Para frecuencias naturales altas, elegir alto E/p

Por lo tanto, como el material a selección es para la estructura y tendrá que soportar todo el sistema, así mismo, la estructura estará en vibración causante por el motor, dicho esto se elegirá el material que tenga alta relación del módulo de Young y densidad (E/p), que según la gráfica este sería el acero al carbono 1045.

b) Para la tolva y los ejes:

En el Anexo 8.5 se muestran los posibles materiales a utilizar para la elaboración de la tolva y los ejes, junto con sus propiedades físicas, las cuales se utilizarán para elaborar la gráfica de estudio de propiedades, que se encuentra en el Anexo 8.6, en donde para seleccionar el material adecuado se tendrán en cuenta distintos criterios, como los siguientes:

- Para reducir el riesgo de fluencia, elegir alto Y
- Para evitar deformaciones por propio peso, elegir alto E/p
- Para frecuencias naturales altas, elegir alto E/p

Por lo tanto, como la tolva que tendrá que soportar el peso todos los plásticos reciclados, y la de su propio peso, se elegirá el material que tenga alta relación del módulo de Young y su densidad (E/p), por lo que, según la gráfica se hará uso del Acero 430.

Por otro lado, los ejes, puesto que, estará en continuo movimiento girando, se tiene que elegir un material para reducir el riesgo de fluencia, por lo que se tomó el material con un alto límite de fluencia, así mismo este sistema, será puesto en movimiento por un motor que hará que este vibre, por lo tanto, para este también se tendrá que elegir un material para frecuencias naturales altas por lo que, según la gráfica también se hará uso del Acero 430.

c) Para las cuchillas y los separadores:

En el Anexo 8.7 se muestran los posibles materiales a utilizar para la elaboración de la tolva y los ejes, junto con sus propiedades físicas, las cuales se utilizarán para elaborar la gráfica de estudio de propiedades, que se encuentra en el Anexo 8.8, en donde para seleccionar el material adecuado se tendrán en cuenta distintos criterios, como los siguientes:

- Para frecuencias naturales altas, elegir alto E/p

Por lo tanto, como el material a selección es para la estructura y tendrá que soportar todo el sistema, así mismo, la estructura estará en vibración causante por el motor, dicho esto se elegirá el material que tenga alta densidad (E/p), que según la gráfica este sería el acero al carbono 1045.

4.4.2. Diseño de las cuchillas

Antes que nada, se va a escoger una cuchilla que permita un mejor corte, y que evite el desgaste, la fatiga y los costos durante la trituración. En concordancia con Moyano Arevalo et al. se puede escoger entre tres modelos de cuchillas: (A) con flancos rectos, (B) con flancos a 75° y (C) con flancos curvos, los cuales están gráficamente mostrados en la siguiente ilustración. [35]

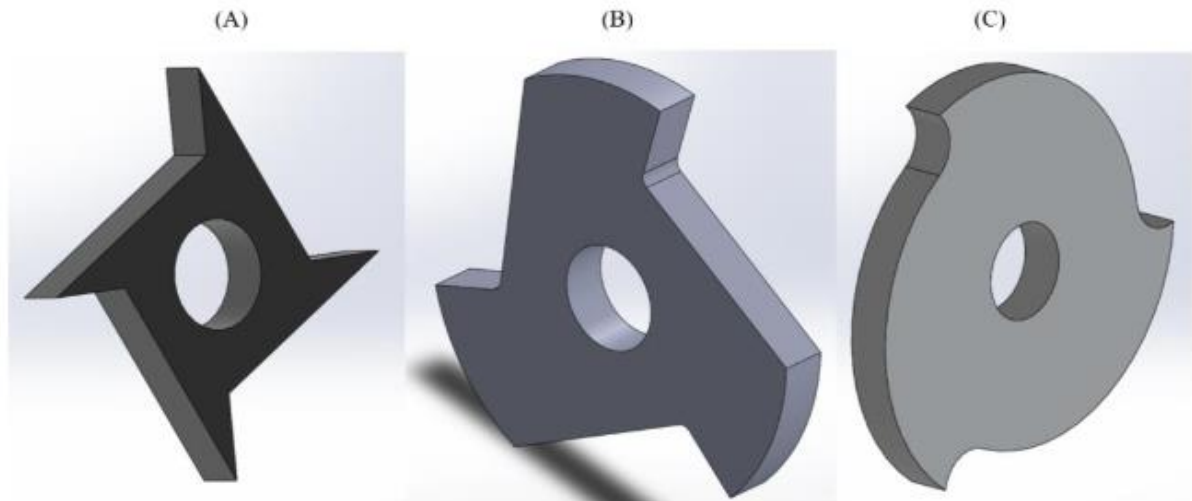


Ilustración 32: Modelos de cuchillas
Fuente: Moyano Arevalo et al. [35]

Según el análisis realizado por el autor, se concluye que las cuchillas con flancos curvos son más eficientes. Estas cuchillas concentran menores esfuerzos, tienen menos deformaciones y sufren un desgaste reducido. Por lo tanto, serían la opción ideal para optimizar el sistema de corte de la máquina trituradora que se está diseñando. Esto ayudaría a reducir los costos, el consumo de energía, los mantenimientos y el desgaste en general.

En cuanto a su geometría las cuchillas se fabrican a partir de discos circulares con un diámetro de 140 mm y un espesor de 15 mm. Tiene un orificio que sigue la norma DIN 5462, con diámetros interno y externo de 46 y 50 mm respectivamente. Por otro lado, para seleccionar el ángulo de despeje (α) y el ángulo de ataque (γ) que tendrá la cuchilla se tomará en cuenta la guía “Machining Recommendations for semi-finished engineering plastics” de la compañía “The Ensinger Group”, encargada de fabricar plásticos de alto rendimiento [36]. Dentro de la empresa llaman al PET, como TECAPET y este será el buscado en la ilustración siguiente.

	Milling			Turning			Cutting speed	Feed rate
	Number of teeth	Cutting speed	Feed rate	Clearance angle	Rake angle	Side angle		
TECAFINE PE, PP	Z2-Z4	250-500	0.1-0.45	6-10	0-5	45-60	250-500	0.1-0.5
TECAFINE PMP	Z2-Z4	250-500	0.1-0.45	6-10	0-5	45-60	250-500	0.1-0.5
TECARAN ABS	Z2-Z4	300-500	0.1-0.45	5-15	25-30	15	200-500	0.2-0.5
TECANYL	Z2-Z4	300	0.15-0.5	5-10	6-8	45-60	300	0.1-0.5
TECAFORM AD, AH	Z2-Z4	300	0.15-0.5	6-8	0-5	45-60	300-600	0.1-0.4
TECAMID, TECARIM, TECAST	Z2-Z4	250-500	0.1-0.45	6-10	0-5	45-60	250-500	0.1-0.5
TECADUR/TECAPET	Z2-Z4	300	0.15-0.5	5-10	0-5	45-60	300-400	0.2-0.4
TECANAT	Z2-Z4	300	0.15-0.4	5-10	6-8	45-60	300	0.1-0.5
TECAFLON PTFE, PVDF	Z2-Z4	150-500	0.1-0.45	5-10	5-8	10	150-500	0.1-0.3
TECAPEI	Z2-Z4	250-500	0.1-0.45	10	0	45-60	350-400	0.1-0.3
TECASON S, P, E	Z2-Z4	250-500	0.1-0.45	6	0	45-60	350-400	0.1-0.3
TECATRON	Z2-Z4	250-500	0.1-0.45	6	0-5	45-60	250-500	0.1-0.5
TECAPEEK	Z2-Z4	250-500	0.1-0.45	6-8	0-5	45-60	250-500	0.1-0.5
TECATOR	Z2-Z4	60-100	0.05-0.35	6-8	0-5	7-10	100-120	0.05-0.08
TECASINT	Z2-Z4	90-100	0.05-0.35	2-5	0-5	7-10	100-120	0.05-0.08
Reinforced/filled TECA products*	Z2-Z4	80-150	0.05-0.4	6-8	2-8	45-60	80-150	0.1-0.5

* Reinforcing agents/fillers:
 Glass fibres, glass beads, carbon fibres, graphite, mica, talcum, etc.

● Preheat material to 120 °C
 ● Caution when using coolants: susceptible to stress cracking

Ilustración 33: Parámetros para el fresado y torneado de plásticos
Fuente: The Ensinger Group [36]

Por lo tanto, el ángulo de despeje y de ataque serán de 10° y 5° respectivamente, según lo observado en la ilustración anterior. Por otro lado, con el objetivo de capturar las botellas de plástico PET en su parte más gruesa, se empleará una altura de 7 mm aproximadamente. La ilustración siguiente es el diseño final de la geometría de las cuchillas.

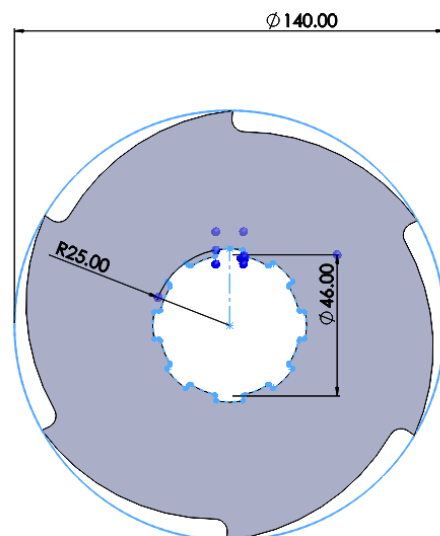


Ilustración 34: Geometría de las cuchillas
Fuente: Elaboración propia

Disposición de las cuchillas

En ambos ejes de la trituradora se colocarán 18 juegos de cuchillas separadas mediante espaciadores del mismo ancho, la ilustración siguiente muestra la disposición de las cuchillas en un eje.

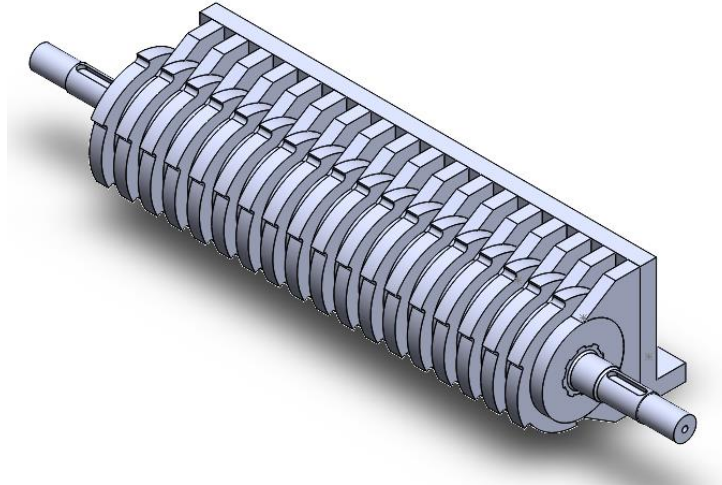


Ilustración 35: Disposición de las cuchillas
Fuente: Elaboración propia

4.4.3. Diseño de los espaciadores

Los espaciadores tendrán el mismo orificio con las medidas anteriormente mencionadas, pero, tendrán un diámetro exterior de 100 mm.

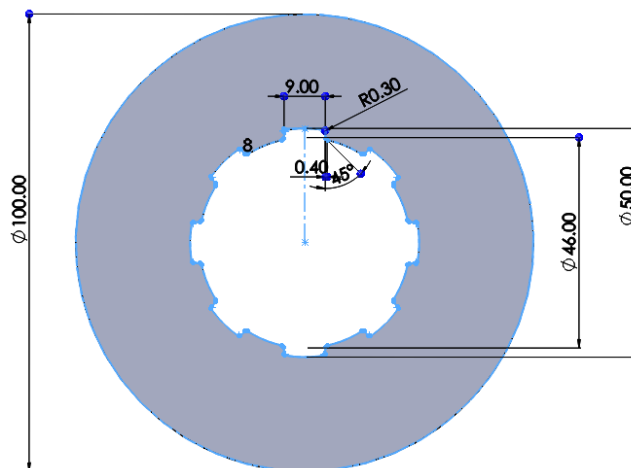


Ilustración 36: Geometría de los espaciadores
Fuente: Elaboración propia

4.4.4. Diseño de las hojas fijas

Estas piezas estarán fijan a la estructura de la máquina y servirán de guía para los espaciadores ubicados entre las cuchillas, tendrán forma de “C”, una altura de 150 mm, un ancho de 70 mm y un espesor de 15 mm.

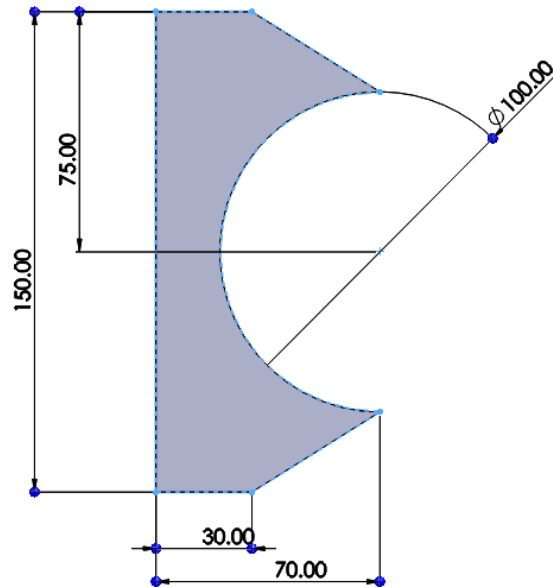


Ilustración 37: Geometría de las hojas fijas
Fuente: Elaboración propia

4.4.5. Diseño de los ejes

El eje tendrá una medida total de 665 mm, los cuales tendrán diferentes secciones, comenzando del centro, tendrá las medidas según los especificado anteriormente con la norma DIN 5462, por una distancia de 270 mm, la segunda sección será un cilindro con un diámetro de 35 mm y una distancia de 30mm; la siguiente sección tendrá un diámetro de 50 mm y una distancia de 50 mm, y la última sección tendrá un diámetro de 28 mm y una distancia de 45 mm; esto es reflejado de igual forma para el otro extremo del eje.

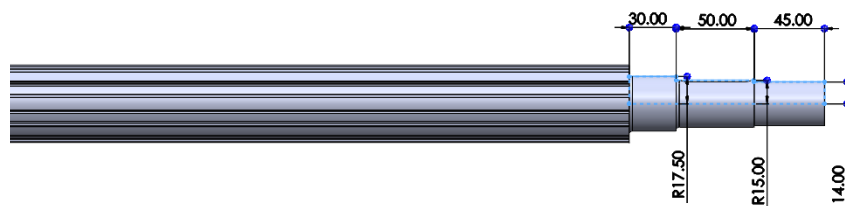


Ilustración 38: Geometría del eje
Fuente: Elaboración propia

4.4.6. Diseño de la tolva

La tolva tendrá una entrada rectangular de 530 x 303 mm, que seguirá cerrándose por una abertura de 500 x 277 mm hasta llegar a una abertura de salida de 250 x 300 mm, con un ángulo de 45°.

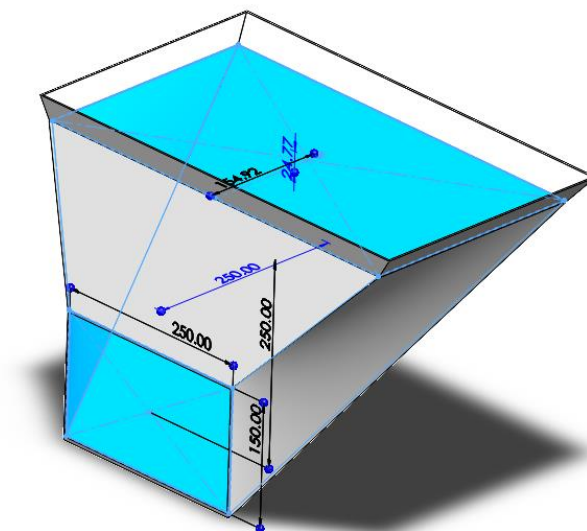


Ilustración 39: Geometría de la tolva
Fuente: Elaboración propia

4.5. Análisis estructural

Este ítem se centrará en el análisis de las piezas estructurales que conforman la máquina trituradora. Utilizando ANSYS, se evaluarán tensiones, deformaciones y posibles puntos de fallo en cada componente. El análisis garantizará que todos los elementos estructurales soporten las cargas y esfuerzos, asegurando la seguridad.

4.5.1. Para el eje

En este apartado se hará uso de la fuerza total de corte hallada anteriormente y las sujeciones correspondientes para realizar su análisis. Este análisis es crucial para comprender el comportamiento del eje bajo cargas aplicadas y asegurar su integridad estructural. Los resultados encontrados son de deformación, esfuerzos y factor de seguridad.

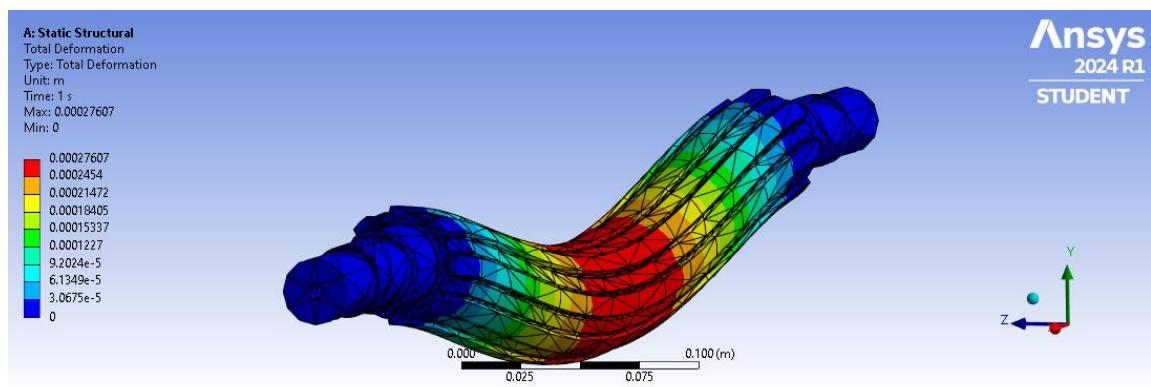


Ilustración 40: Deformación del eje
 Fuente: Elaboración propia

Como se observa en los resultados de la imagen, la máxima deformación encontrada es de 0.000276, lo que indica que el eje no se va a deformar casi nada al aplicar la fuerza de corte de las cuchillas.

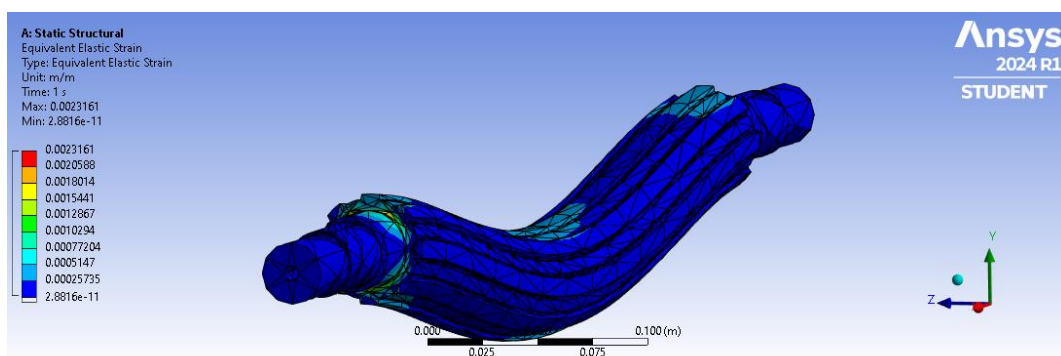


Ilustración 41: Equivalent elastic Strain del eje
 Fuente: Elaboración propia

Ahora bien, al realizar el estudio sobre el factor de seguridad para el eje, da un resultado con valor mínimo de 0.542735 y un máximo de 15, rango de valor que coincide con el calculado en el ítem 4.3.8

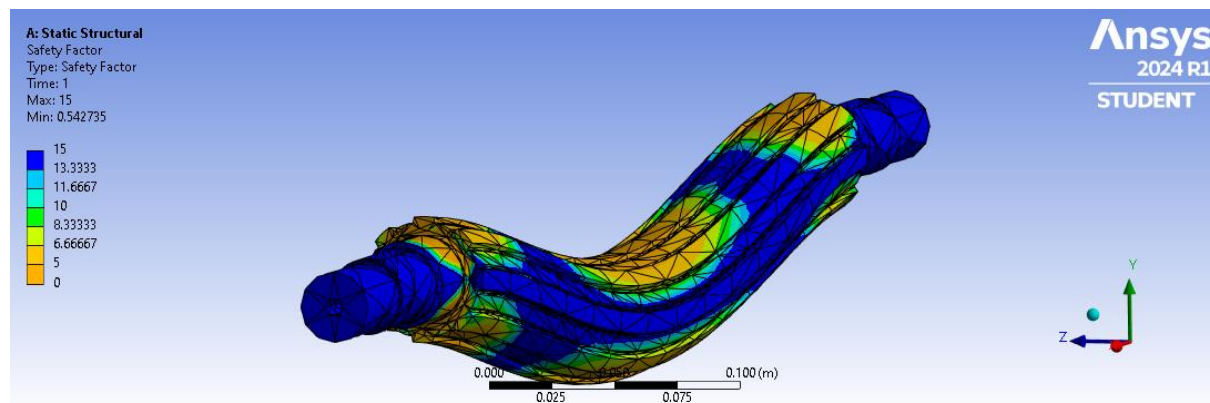


Ilustración 42: Factor de seguridad del eje
Fuente: Elaboración propia

4.5.2. Para las cuchillas

En este apartado se hará uso de la fuerza de corte para una cuchilla hallada anteriormente y las sujeciones correspondientes para realizar su análisis. Este análisis es crucial para comprender el comportamiento de la cuchilla al triturar el plástico. Los resultados encontrados son de deformación, esfuerzos y factor de seguridad.

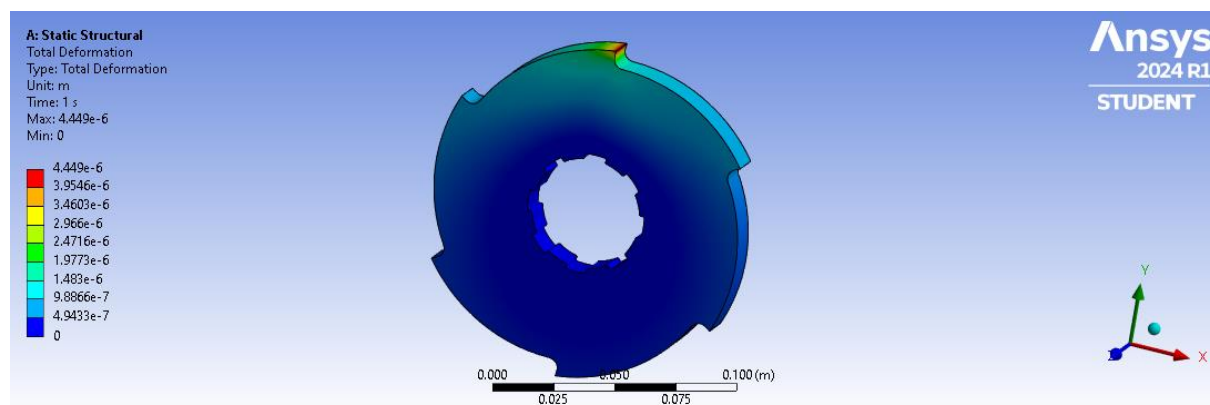
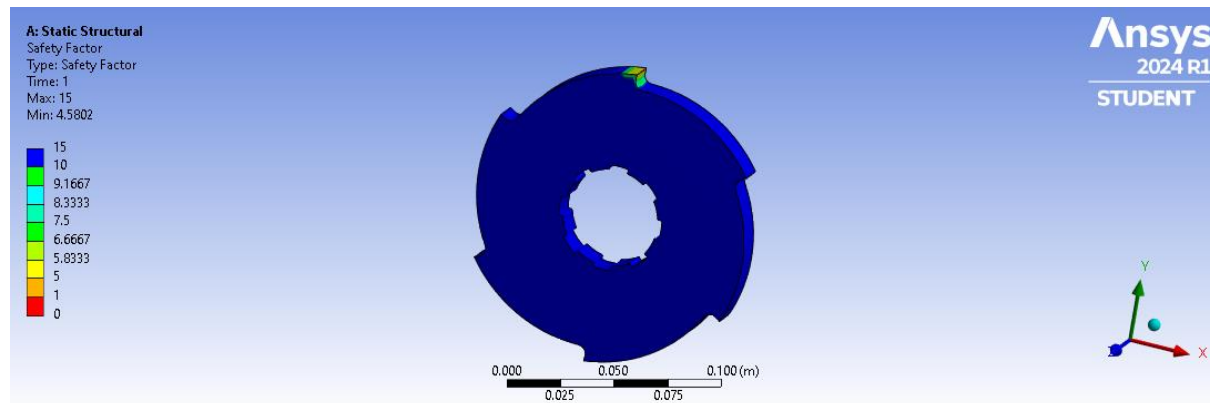


Ilustración 43: Deformación de la uña de la cuchilla
Fuente: Elaboración propia

Como se observa en los resultados de la imagen, la máxima deformación encontrada es de 0.0000445, lo que indica que las cuchillas no se van a deformar casi nada al aplicar la fuerza necesaria para cortar el plástico.

Ahora bien, al realizar el estudio sobre el factor de seguridad para el eje, da un resultado con valor mínimo de 4.5802 y un máximo de 15, lo que resultaría en que la cuchilla tendrá un buen funcionamiento sin sufrir alguna rotura.

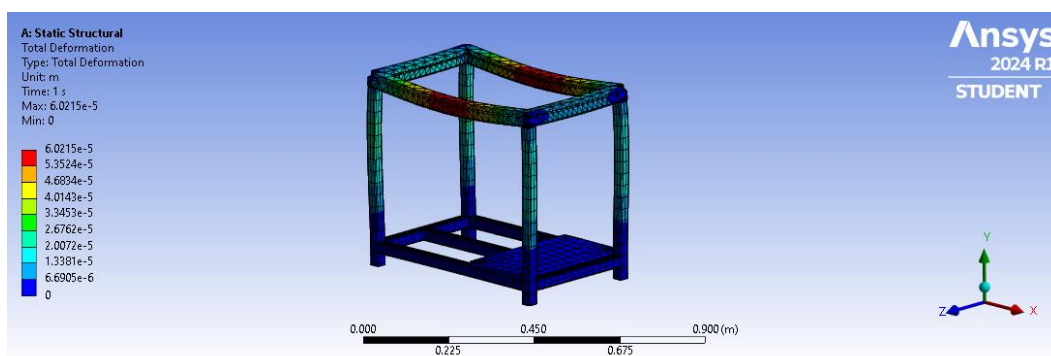


*Ilustración 44: Factor de seguridad de la cuchilla
Fuente: Elaboración propia*

4.5.3. Para la estructura

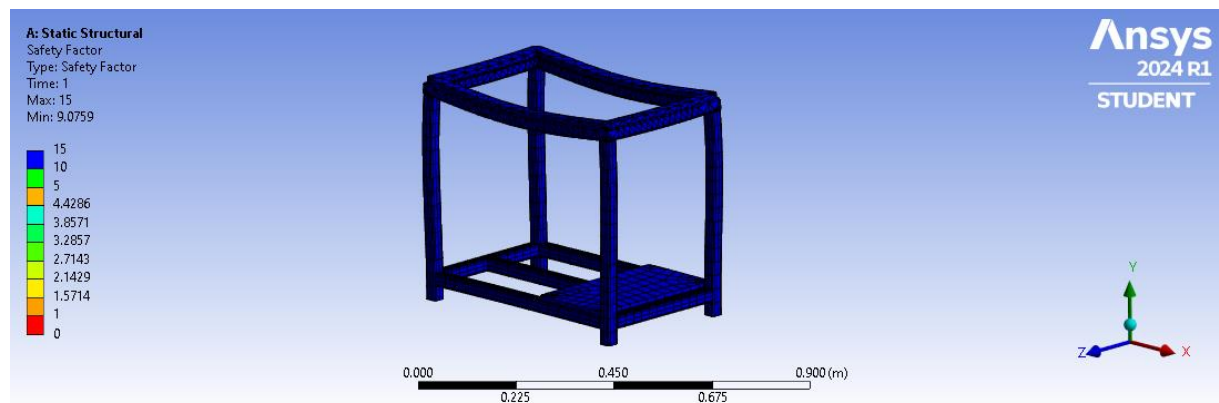
Para este caso la estructura tiene que soportar el peso de todas las cuchillas, tolvas y paredes que conforman la trituradora, por tal motivo, del SOLIDWORKS se extrae la masa de dichas piezas, dando un resultado de 230.72 Kg, este valor es multiplicado por la gravedad para obtener el peso de dicho conjunto de piezas.

Para mayor facilidad en el software ANSYS, se utilizó la presión generada por todo el peso de las piezas mediante la siguiente fórmula, $P = \frac{F}{A}$. El área donde se aplicará la fuerza, según el programa es de 0.05373 m^2 , lo que resultaría entonces en una presión de 42127.36 Pa. Los resultados obtenidos del ANSYS son los siguientes:



*Ilustración 45: Deformación de la estructura
Fuente: Elaboración propia*

Por otro lado, el factor de seguridad encontrado, tiene como valor mínimo de 9.0759, asegurando que la estructura no fallará.



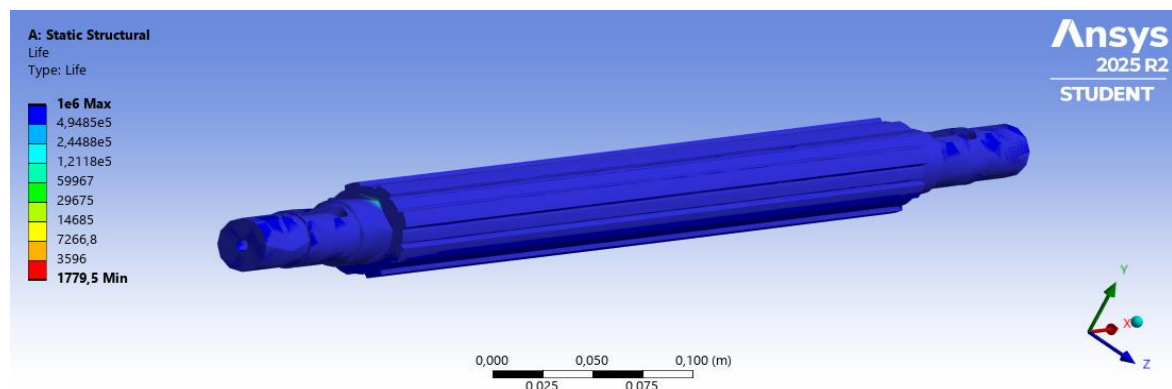
*Ilustración 46: Factor de seguridad de la estructura
 Fuente: Elaboración propia*

4.6. Análisis de Fatiga

Este ítem se centrará en el análisis de la resistencia del material frente a cargas cíclicas para determinar su comportamiento bajo condiciones de operación repetitivas. La información obtenida resulta fundamental, ya que posibilita predecir el tiempo de servicio esperado y anticipar posibles fallas asociadas al fenómeno de fatiga, contribuyendo de esta manera a una mayor confiabilidad en el diseño y en la seguridad del sistema.

4.6.1. Para el eje

Con base en los resultados del análisis estructural, se aplicó a la pieza un total de un millón de ciclos de carga. Este procedimiento permitió estimar la vida útil del componente, así como determinar el grado de daño asociado a su funcionamiento en condiciones de servicio.



*Ilustración 47: Vida útil del eje - Análisis de Fatiga
 Fuente: Elaboración propia*

Como se observa en los resultados de la imagen, el software revela que el eje es capaz de resistir el millón de ciclos evaluados. No obstante, se observa también que la zona más crítica corresponde al cambio de sección del eje, donde se presenta la menor vida útil.

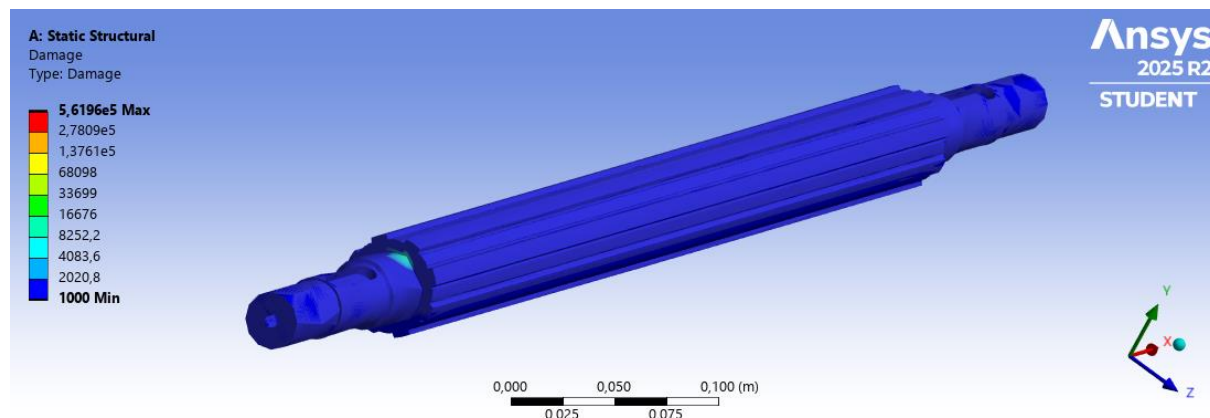


Ilustración 48: Daño del eje - Análisis de Fatiga
Fuente: Elaboración propia

Al evaluar el daño, se observa que el eje no presenta mayor daño en su funcionamiento, salvo en el cambio de sección, donde por correlación se evidencia una menor vida útil.

4.6.2. Para las Cuchillas

De forma similar al procedimiento aplicado al eje, la cuchilla fue evaluada bajo un total de un millón de ciclos de carga, permitiendo estimar su vida útil y determinar el nivel de daño acumulado durante el proceso de trituración.

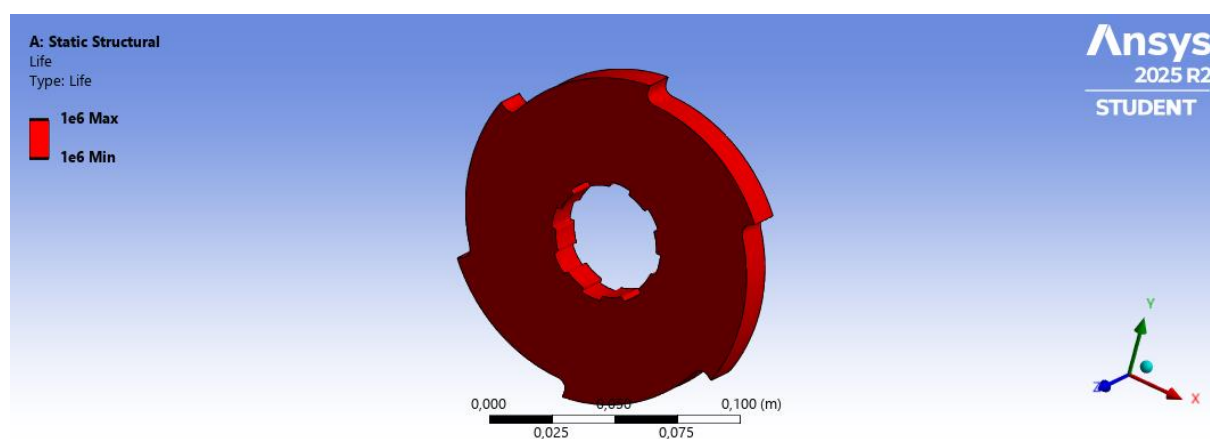


Ilustración 49: Vida útil de las Cuchillas - Análisis de Fatiga
Fuente: Elaboración propia

Los resultados obtenidos mediante el software evidencian que la cuchilla soporta la totalidad de los ciclos aplicados en la prueba, lo que indica que no presentará fallas por fatiga durante su funcionamiento

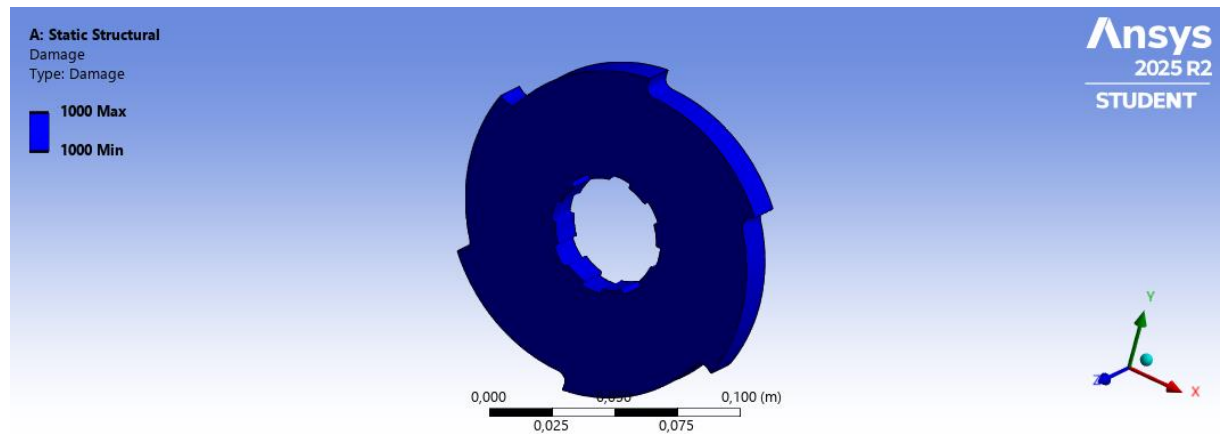


Ilustración 50: Daño de la Cuchilla - Análisis de Fatiga
Fuente: Elaboración propia

En correlación con lo mostrado anteriormente, el daño que experimenta la cuchilla bajo la aplicación de la fuerza de corte es mínimo. Este comportamiento demuestra que no presentará riesgo de fallas por fatiga durante el proceso de trituración.

4.7. Sistema eléctrico de la trituradora

4.7.1. Sistema eléctrico de la trituradora

De apartados anteriores se tiene que la potencia del motor es de 4 kW, y el fabricante nos proporciona el factor de potencia cuyo valor es de 0.61 entonces se calculará la corriente a la que opera el motor estando en plena carga.

$$P = \sqrt{3}(V)(I)(\cos \phi)$$

Donde, P es la potencia eléctrica, V el voltaje del motor, I la corriente en amperios y $\cos \phi$ el factor de potencia del motor dado por el fabricante.

De ello despejamos la intensidad para poder calcularla y poder selección el tipo de conductor que tendrá el sistema eléctrico.

$$I = \frac{P}{\sqrt{3}(V)(\cos \phi)}$$

$$I = \frac{4000 W}{\sqrt{3}(220)(0.61)}$$

$$I = 17.21 A$$

Como la corriente de arranque de un motor es mayor a la corriente nominal se le multiplicará un factor de 1.3 para tener mayor seguridad a la hora del arranque, por lo tanto, la intensidad que pasará por el conductor será de 22.37 A, por ello se tiene que encontrar un conductor con la sección adecuada para dicho amperaje.

Se seleccionó un conductor de 2.5 mm² del catálogo INDECO THW-90, mostrado en el Anexo 8.10, el cual soporta un amperaje de 37 A, lo que garantizaría que el cable no sufra daños en el funcionamiento.

Posteriormente, se selecciona el interruptor termomagnético que es el equipo de protección principal, este es un Acti 9-3P-32A, véase Anexo 8.11 para ver las demás características de este interruptor termomagnético.

Así mismo, se selecciona un contactor con respecto a la intensidad encontrada, es por ello que el conductor seleccionado es el TeSys D 3P AC-3 25^a, véase el Anexo 8.12 para más detalles del contactor.

Otro sistema de protección es el relé térmico el cual se escogió para controlar las sobrecargas el relé seleccionado es el LRD-17...24 A, véase el Anexo 8.13 para mejor detalle del relé.

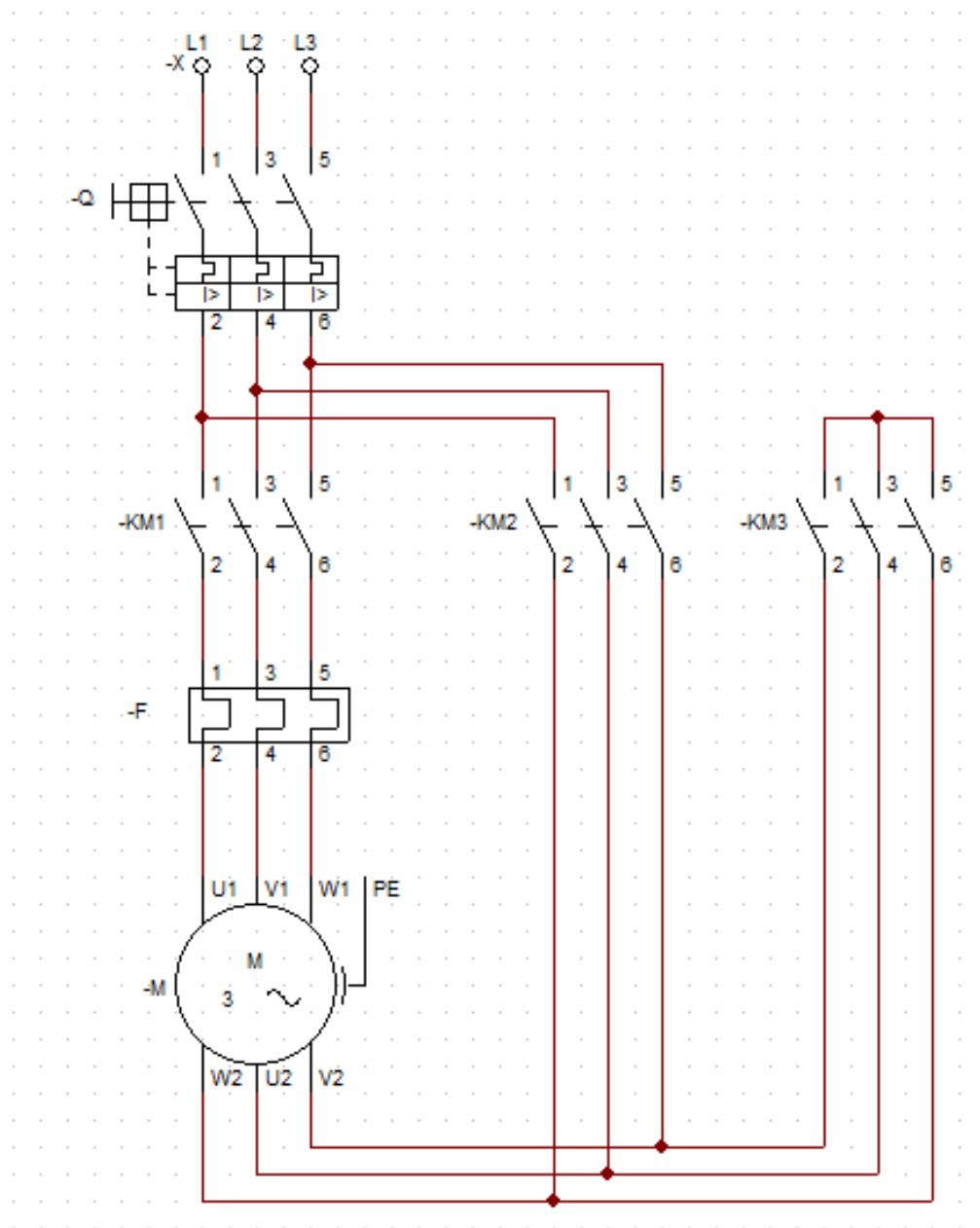
Otros componentes relacionados al sistema eléctrico son los pulsadores y led de señalización que indicarán el estado en el que se encuentra esta máquina. Con el avance de la tecnología, se logró un elemento que une ambos sistemas, conocidos como pulsadores luminosos, para este caso se hará uso de uno color rojo y uno verde de diámetro de 22mm, para más detalles de estos véase el Anexo 8.14.

4.7.2. Conexiones del sistema eléctrico

La conexión del motor será un arranque directo estrella-triángulo, para un arranque más suave de la trituradora, por ello se va a hacer uso del software CADE SIMU, para visualizar tanto el circuito de fuerza como de mando de la máquina trituradora.

Circuito de Fuerza

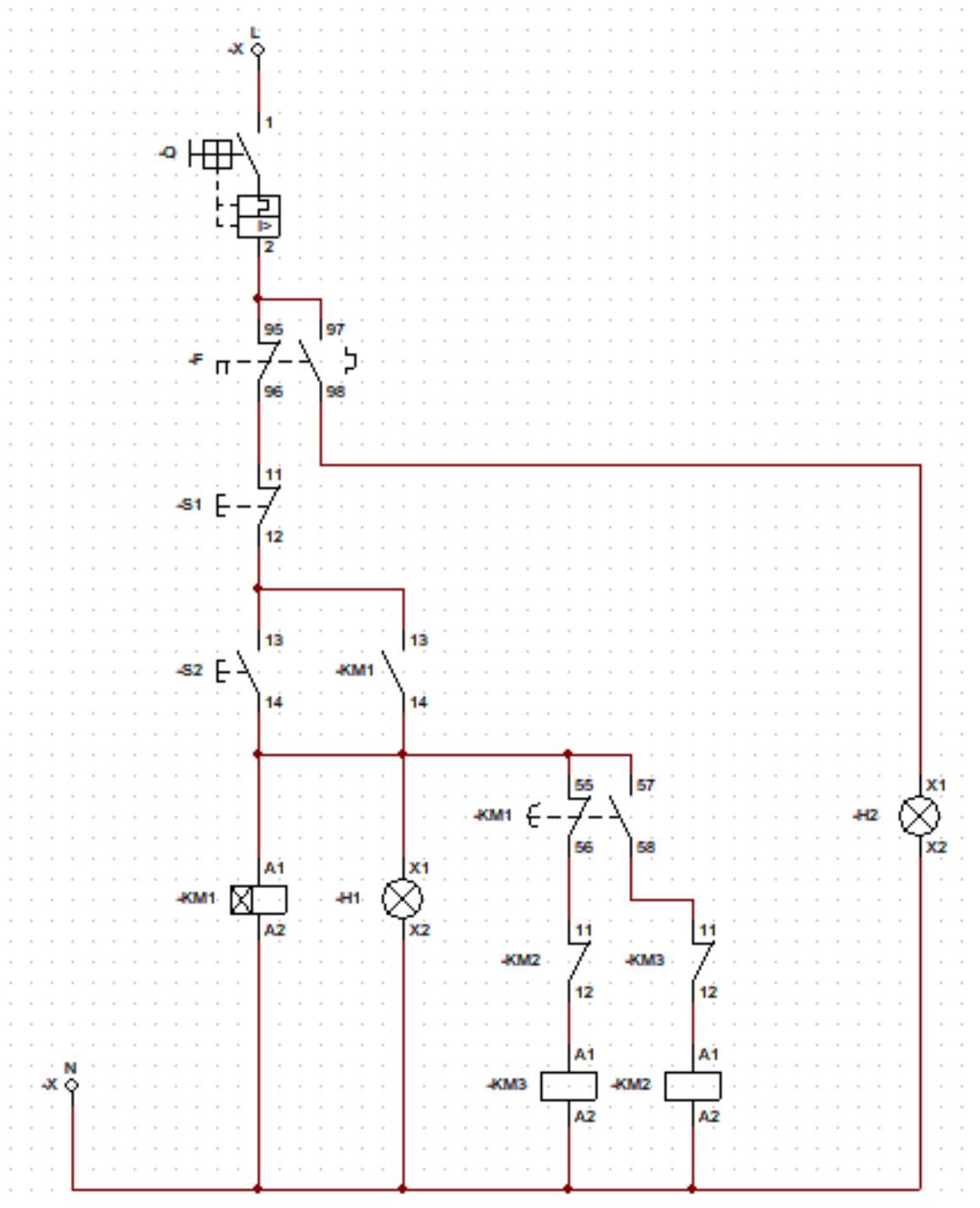
Aquí estarán ubicados tanto los sistemas de protección como los contactores que serán accionados por el circuito de mando para encender el motor.



*Ilustración 51: Circuito de Fuerza, arranque estrella-triángulo
Fuente: Elaboración propia*

Circuito de mando

Aquí se ubicarán los pulsadores luminosos, y demás contactos auxiliares para lograr encender la máquina trituradora.



*Ilustración 52: Circuito de mando, para el arranque
Fuente: Elaboración propia*

4.8. Estructura de costos del diseño propuesto.

En este apartado se determinará el costo de la máquina trituradora de PET, detallada por secciones como el costo por materiales, equipos e insumos para la fabricación.

Tabla 14: Estructura de costos del diseño

Costo de equipos			
Descripcion	Cantidad	Precio por unidad (S/.)	Precio (S/.)
ESTRUCTURA			
BARRA CUADRADA 30X30X2.6 mm	5	190.3	951.5
Motorreductor 4 KW	1	8250.43	8250.43
Tolva de ingreso	1	263.5	263.5
Engranaje recto	1	35	35
CAJA DE TRITURACION			
Rodamiento 6207	4	40	160
Engranaje recto	2	35	70
Tornillo Allen DIN 912 M10x25 Inox. A4	12	1	12
Tornillo ISO 4017 M10x20 Inox. A4	12	1	12
Eje estriado	2	120	240
Separador Fijo	36	10	360
Separador móvil	36	15	540
Cuchillas trituración	36	25	900
CAJA DE PRE-TRITURACION			
Rodamiento 6207	4	40	160
Engranaje recto	2	35	70
Tornillo Allen DIN 912 M10x25 Inox. A4	16	1	16
Tornillo ISO 4017 M10x20 Inox. A4	24	1	24
Eje estriado	2	120	240
Cuchillas pre-trituración	17	20	340
SISTEMA ELECTRICO			
Interruptor temomagnético 3x80 A-220/440 V	1	53	53
Contactador 220 V	1	61	61
Relé térmico	1	75	75
Pulsador de marcha con señalizacion verde NA	1	9	9
Pulsador de paro con señalizacion rojo NC	1	9	9
Conductor THW 8 AWG	5	1	5
Tablero de control	1	52.4	52.4
Total			12908.83

Fuente: Elaboración propia

Una vez obtenido los costos por equipo, de cada partida presente en el diseño de la máquina trituradora, se procede a investigar sobre el costo de la materia prima que presenta cada componente para su posterior construcción y manufactura.

Tabla 15: Costo referenciando al material a utilizar

Costo del material				
Material	Descripción	Precio por Kg (S/.)	Masa (Kg)	Precio (S/.)
AISI 430	Plancha de 2mm de espesor	6.83	40	273.2
AISI 1045	Barra solida de 140 mm de diámetro	4.2	50.76	213.192
AISI 430	Barra solida de 50 mm de diámetro	6.83	35.6	243.148
AISI 1045	Barra solida de 120 mm de diámetro	4.2	7.939	33.3438
AISI 1045	Barra solida de 100 mm de diámetro	4.2	2.556	10.7352
Total				773.619

Fuente: Elaboración propia

En la tabla siguiente, se presenta el costo que tendrá elaborar el diseño y realizar los análisis de todo el diseño de la maquina propuesta.

Tabla 16: Costo de la elaboración del diseño y los análisis realizados

Costo de diseño y Análisis		
Item	Descripcion	Precio (S/.)
1	Diseño de ingenieria	120
2	Dibujo CAD	230
3	Plano de piezas	70
4	Analisis estatico-estructural	150
5	Licencia de Solidworks	370
Total		940

Fuente: Elaboración propia

Además de ello, se tendrá en cuenta los costos de fabricación y manufactura de las piezas que conformaran la máquina, es decir, el costo que tendrá cada pieza al darle el acabado, mediante procesos como torneado, fresado, redondeado, aquellos procedimientos que refinen la pieza para darle el acabado final, listo para su ensamble general.

Tabla 17: Costo de fabricación y manufactura por cada pieza

Costo de fabricación y manufactura			
Descripcion	Cantidad	Precio por unidad (S/.)	Precio (S/.)
Tolva de ingreso	1	25	25
Caja de trituracion	1	30	30
Eje estriado	4	10	40
Separador fijo	36	7	252
Separador movil	36	5	180
Cuchillas trituración	36	8	288
Cuchillas pre-trituración	17	5	85
Caja de pre-trituracion	1	35	35
Total			935

Fuente: Elaboración propia

Posterior a ello, se procede a calcular la estructura de costos de toda la máquina, reuniendo los costos encontrados anteriormente, añadiendo los costos indirectos que incluyen el servicio de transporte de los componentes, y los servicios generales.

Tabla 18: Costo total de la máquina

Costo Total de la máquina	P.total (S/.)
COSTOS DIRECTOS	15557.45
Materia Prima	13682.45
Costo de componentes	12908.83
Costo del material	773.62
Mano de obra	1875
Costo de diseño y Análisis	940
Costo de fabricación y manufactura	935
COSTOS INDIRECTOS	1207.10
Transporte	1094.60
Servicios en general	112.50
TOTAL	16764.54

Fuente: Elaboración propia

V. DISCUSIÓN

Los cálculos obtenidos de los parámetros que conforman la trituradora, concuerdan con otras investigaciones relacionadas al tema, lo que verifica que estos logran mejorar la capacidad de trituración. Por otro lado, también se destaca la importancia de utilizar el material adecuado para soportar diversos criterios que presentara la máquina en su funcionamiento, es por ello por lo que se realizó un estudio de grupo de propiedades, y no simplemente se escogió el material por elección propia. Cabe mencionar, que este estudio no es muy común de ver en investigaciones relacionadas al tema, pero es de mucha utilidad al escoger algún material.

Por otro lado, los costos propuestos varían entre diversos autores, por diferentes factores tales como, el año, la marca y demás características que se cotizaron, es por ello que el valor del costo general para implementar la máquina difiere de otras investigaciones, sin embargo, está dentro de un rango comprensible.

VI. CONCLUSIONES

Con el análisis inicial sobre las máquinas trituradoras que existen actualmente en el mercado, se identificaron algunas características o parámetros que pueden generar limitaciones y áreas de mejora.

Teniendo eso en cuenta se implementó una metodología para desarrollar y evaluar diferentes alternativas de diseño, por medio de una matriz morfológica la cual generó varios conceptos de diseño, los cuales fueron evaluados con una matriz ponderada, identificando requisitos técnicos. La alternativa de diseño seleccionada fue aquella que se presentó como la más cercana a la ideal, esta metodología ayudo a tener un enfoque estructurado para el desarrollo del diseño.

Teniendo el diseño conceptual, se llevaron a cabo cálculos para determinar los parámetros de los componentes de la trituradora, como el dimensionamiento de las cuchillas, la selección del motor, y el análisis estructural. Los resultados confirmaron que el diseño seleccionado es capaz de incrementar la capacidad de trituración, asegurando al mismo tiempo la seguridad de la máquina.

Cabe mencionar que el uso de software CAD permitió la creación de modelos 3D de la nueva trituradora, lo que facilitó el análisis estructural el diseño. Estos análisis demostraron que el diseño propuesto al tener un factor de seguridad de 1.8 presentará una mayor durabilidad en su funcionamiento, reduciendo la necesidad de mantenimiento frecuente.

Por último, se desarrolló una estructura de costos directos e indirectos de la máquina que incluye los costos de inversión inicial, de diseño y análisis, de fabricación y manufactura, junto con el transporte de la máquina, que dan una visualización del costo total de S/16764.54 para la implantación del diseño seleccionado.

VII. REFERENCIAS

- [1] R. Geyer, J. Jenna y L. Kara, «Production, use, and fate of all plastics ever made, » 2017.
- [2] O. Rivera, F. Álvarez, M. Rivas, R. Garelli, C. Pérez y S. Estrada, «Impacto de la contaminación por plástico en áreas naturales protegidas mexicanas,» 2020.
- [3] V. D. Lizcano Rivas y D. J. Guerrero Cantillo, «ANÁLISIS DEL TEREFTALATO DE POLIETILENO (PLÁSTICO PET),» Barranquilla, 2020.
- [4] «Tecnología del plástico,» 05 agosto 2011. [En línea]. Available: <https://www.plastico.com/es/noticias/el-reciclaje-de-pet-esta-en-su-mejor-momento?pagina=1>. [Último acceso: 22 abril 2023].
- [5] A. Walsh, «Made for minds,» 16 mayo 2023. [En línea]. Available: <https://www.dw.com/es/acuerdo-global-podr%C3%ADa-reducir-la-contaminaci%C3%B3n-por-pl%C3%A1sticos-en-un-80-por-ciento/a-65650021#:~:text=Con%20medidas%20de%20reutilizaci%C3%B3n%2C%20como,30%20por%20ciento%20hasta%202040>. [Último acceso: 1 octubre 2023].
- [6] B. G. Rodríguez Alvarado y C. J. Córdova Cabada, «Diseño de un prototipo de una máquina trituradora de plástico,» Guayaquil, 2022.
- [7] J. D. Aguirre Cevallos y K. d. C. Ubillús Aranda, «DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA PLANTA PILOTO AUTOMATIZADA DE TRITURACIÓN DE PLÁSTICO DE POLIETILENO DE BAJA DENSIDAD PARA LA GENERACIÓN DE MATERIA PRIMA DE LADRILLOS ECOLÓGICOS,» Lima, 2020.
- [8] V. Taco, O. Gonzales y P. Bonifaz, «DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA TRITURADORA Y GRANULADORA DE PLÁSTICO DE BAJA DENSIDAD COMO UNA HERRAMIENTA DE RECICLAJE,» Quito, 2021.
- [9] J. M. ABANTO ALARCON, «DISEÑO DE UNA MÁQUINA TRITURADORA DE EJE HORIZONTAL DE 15 T/DÍA PARA AUMENTAR LA PRODUCCIÓN DE ALIMENTOS EN LA INDUSTRIA GANADERA EN LA ZONA RURAL DE CAYALTÍ,» Chiclayo, 2020.
- [10] D. B. Nuri Aryani y A. B. Setiawan, «Design of a Plastic Shredder Machine, » Surabaya, 2018.
- [11] Tecnologia 3º ESO IES Bellavista, «Los plásticos,» [En línea]. Available: <https://blogsaverroes.juntadeandalucia.es/iesbellavista/files/2019/09/5-LOS-PL%C3%81STICOS-Apuntes.pdf>. [Último acceso: 2023 junio 10].
- [12] M. L. Cornish Álvarez, «El ABC de los plásticos,» México, 1997.
- [13] SINTAC, «SINTAC recycling,» 27 mayo 2022. [En línea]. Available: <https://sintac.es/que-son-los-termoplasticos/>. [Último acceso: 3 octubre 2023].

- [14] INFINITIA, «INFINITIA industrial Consulting,» 4 marzo 2022. [En línea]. Available: <https://www.infinitiaresearch.com/noticias/termoestables-y-termoplasticos-definicion-y-diferencias/>. [Último acceso: 3 octubre 2023].
- [15] CAIRPLAS, «CAIRPLAS,» [En línea]. Available: <https://cairplas.org.ar/plasticos-reciclables/>. [Último acceso: 3 octubre 2023].
- [16] Á. A. Castro, «Plastics Technology,» 4 mayo 2023. [En línea]. Available: <https://www.pt-mexico.com/articulos/que-es-y-como-funciona-el-reciclaje-mecanico-de-plasticos>. [Último acceso: 3 octubre 2023].
- [17] «PCC Group,» 14 octubre 2022. [En línea]. Available: <https://www.products.pcc.eu/es/blog/que-es-el-reciclaje-quimico-y-cuales-son-sus-beneficios/>. [Último acceso: 4 octubre 2023].
- [18] J. García, «Mecapedia,» 16 septiembre 2022. [En línea]. Available: <http://www.mecapedia.uji.es/pages/maquina.html#:~:text=Una%20m%C3%A1quina%20es%20un%20sistema,energ%C3%A9tica%20en%20un%20trabajo%20%C3%BAtil>. [Último acceso: 3 octubre 2023].
- [19] V. Vilet, «GTA ambiental,» 5 septiembre 2022. [En línea]. Available: <https://gtaambiental.com/tipos-de-trituracion/>. [Último acceso: 3 octubre 2023].
- [20] «WANROOE HIGH TECH,» 02 agosto 2018. [En línea]. Available: <https://www.wanrooetech.com/es/news/noticias-de-productos/diferencia-entre-la-trituradora-de-un-solo-eje-y-la-trituradora-de-doble-eje/>. [Último acceso: ten octubre 2023].
- [21] R. M. Hill, «THREE TYPES OF LOW-SPEED SHREDDER DESIGN, » Dallas.
- [22] L. Colina Irezabal, «Ingeniería de alimentos III: Reducción de tamaño de sólidos,» 2021.
- [23] N. Crespo Fernández, «Dialnet,» 2017. [En línea]. Available: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=207680>. [Último acceso: 5 octubre 2023].
- [24] B. Álvarez Rodríguez, «Análisis de la influencia de los modelos de distribución de tamaños de partículas en la determinación de consumos energéticos en molienda mediante el método de Bond».
- [25] Khan Academy, «Khan Academy,» 2017. [En línea]. Available: <https://es.khanacademy.org/science/physics/torque-angular-momentum/torque-tutorial/a/rotational-inertia>. [Último acceso: 10 octubre 2023].
- [26] «XIECHENG,» [En línea]. Available: <https://es.jmxiecheng.com/plastic-granulator-for-sale.html>. [Último acceso: 10 octubre 2023].
- [27] «VANTEC,» [En línea]. Available: <https://vantec.ind.br/es/produtos/categoria/reciclagem/triturador-shredder>. [Último acceso: 10 octubre 2023].
- [28] «Internaco,» [En línea]. Available: <https://internacomedioambiente.es/maquinaria/taurus/>. [Último acceso: 10 octubre 2023].

- [29] R. Budynas y J. K. Nisbett, *Diseño en ingeniería Mecánica de Shigley*, México: McGRAW-Hill, 2011, pp. 33-34.
- [30] J. Chavez, «Repositorio de Tesis USAT,» 2021. [En línea]. Available: https://tesis.usat.edu.pe/xmlui/bitstream/handle/20.500.12423/4741/TL_ChavezTantaricoJeison.pdf?sequence=1&isAllowed=y. [Último acceso: 24 octubre 2023].
- [31] D. Hakkens, «Build a shredder. precios plastic.,» [En línea]. [Último acceso: 30 abril 2024].
- [32] K. Paulsen, «Elementos de Máquinas 1,» Lima, 2014.
- [33] Hibbeler, *Mechanics of materials*, Marcia Horion, 2011.
- [34] Smith y Chetwynd, *Foundations of ultra-precision mechanism design*, 2003.
- [35] Universidad Politécnica de Cartagena, [En línea]. Available: https://ocw.bib.upct.es/pluginfile.php/5543/mod_resource/content/1/Tema_2_-_Reduccion_de_Tamano-Introduccion.pdf. [Último acceso: 5 octubre 2023].
- [36] E. A. Mancilla y J. G. León Pico, «Ejes y árboles Manual de diseño,» 2012.

VIII. ANEXOS

8.1. Características del motorreductor SEW

Driveconfigurator		R87DRN132M6		
1 Búsqueda		2 Variantes		
		3 Opciones		
Datos técnicos		Vista previa del producto		
R87DRN132M6				
Características	Valor			Unidad
Velocidad nominal del motor	1181			1/min
Velocidad de salida	25			1/min
Índice de reducción total	47,58			
Par de salida	1540			Nm
Factor de servicio SEW-FB	1,00			
Posición de montaje	M1			
Pintura imprimación/CapaFinal	7031 Gris azulado (51370310)			
Posición de la caja de bornes [°]	0			°
Posición de entrada del cable	X			
Eje de salida	50x100			mm
Tipo de diseño	Diseño con patas			
Salida permitida con carga radial n=1150	17000			N
Cantidad de lubricante 1er reductor	2,3			Litro
Potencia del motor	4			kW
Factor de duración	S1-100%			
Clase eficiente	IE3			
Eficiencia (50/75/100% Pn)	87,4 / 89,2 / 89,5			%
Marcado CE	No			
Tensión del motor	230/460			V
Esquema de conexionado	R76			
Frecuencia	60			Hz
Corriente nominal	18,4 / 9,2			A
Cos Phi	0,61			
Clase de aislamiento	155(F)			
Tipo protección del motor	IP55			
Requisito del diseño	IEC60034 (sin CE)			
Momentos de inercia de masa (en referencia al lado de entrada)	381,00	10 ⁻⁴ kgm ²		
Peso neto	133	Kg		
Opciones del motor		Datos de referencia		
Aislamiento térmico 155(F)		Su n° de material		
Grado de protección IP 55				
Tensión, frecuencia, bobinado		Comentarios		
Opciones 1er reductor				
Eje de salida: 50x100 mm				

Ilustración 53: Características del motorreductor
Fuente: Elaboración propia

8.2. Material de referencia propuesto por Chetwynd

Tabla 19: Propiedades físicas del material de referencia

Material de referencia		
Módulo de Young:	200	GPa
Límite de fluencia:	300	Mpa
Densidad:	4000	Kg/m ³
Expansión térmica:	7	x 10 ⁻⁶ .K ⁻¹
Conductividad térmica:	150	W.m ⁻¹ .K ⁻¹

Fuente: Elaboración propia

8.3. Materiales posibles para la estructura

Tabla 20: Propiedades físicas de los posibles materiales para la estructura

Acero AISI 304		
Módulo de Young:	193	GPa
Límite de fluencia:	215	Mpa
Densidad:	8000	Kg/m ³
Expansión térmica:	16,2	x 10 ⁻⁶ .K ⁻¹
Conductividad térmica:	17,3	W.m ⁻¹ .K ⁻¹
Acero A36L		
Módulo de Young:	200	GPa
Límite de fluencia:	250	Mpa
Densidad:	7850	Kg/m ³
Expansión térmica:	16	x 10 ⁻⁶ .K ⁻¹
Conductividad térmica:	14,6	W.m ⁻¹ .K ⁻¹
Acero galvanizado		
Módulo de Young:	200	GPa
Límite de fluencia:	203,94	Mpa
Densidad:	7870	Kg/m ³
Expansión térmica:	15	x 10 ⁻⁶ .K ⁻¹
Conductividad térmica:	50	W.m ⁻¹ .K ⁻¹
Acero al carbono 1045		
Módulo de Young:	210	GPa
Límite de fluencia:	220,594	Mpa
Densidad:	7800	Kg/m ³
Expansión térmica:	13	x 10 ⁻⁶ .K ⁻¹
Conductividad térmica:	43	W.m ⁻¹ .K ⁻¹

Fuente: Elaboración propia

8.4. Gráfica de estudios de propiedades

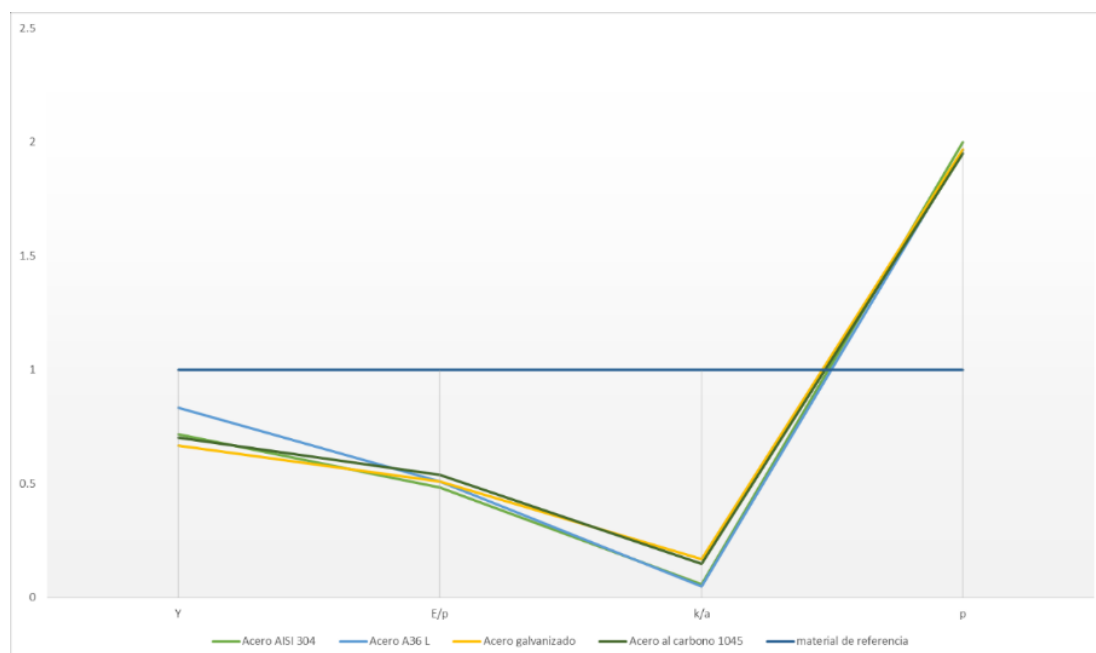


Ilustración 54: Gráfica de estudio de propiedades de los materiales seleccionados
Fuente: Elaboración propia

8.5. Materiales posibles para la tolva y ejes

Tabla 21: Propiedades físicas de los materiales posibles para la tolva y ejes

Acero AISI 304		
Módulo de Young:	193	GPa
Límite de fluencia:	205	Mpa
Densidad:	8000	Kg/m ³
Expansión térmica:	16,2	x 10 ⁻⁶ .K ⁻¹
Conductividad térmica:	17,3	W.m ⁻¹ .K ⁻¹
Acero AISI 316		
Módulo de Young:	193	GPa
Límite de fluencia:	300	Mpa
Densidad:	8000	Kg/m ³
Expansión térmica:	16,2	x 10 ⁻⁶ .K ⁻¹
Conductividad térmica:	16,5	W.m ⁻¹ .K ⁻¹
Acero AISI 430		
Módulo de Young:	220	GPa
Límite de fluencia:	640	Mpa
Densidad:	7800	Kg/m ³
Expansión térmica:	26,1	x 10 ⁻⁶ .K ⁻¹
Conductividad térmica:	10,4	W.m ⁻¹ .K ⁻¹
Acero AISI 201		
Módulo de Young:	197,2	GPa
Límite de fluencia:	640	Mpa
Densidad:	7700	Kg/m ³
Expansión térmica:	8,7	x 10 ⁻⁶ .K ⁻¹
Conductividad térmica:	9,6	W.m ⁻¹ .K ⁻¹

Fuente: Elaboración propia

8.6. Gráfica de estudios de propiedades

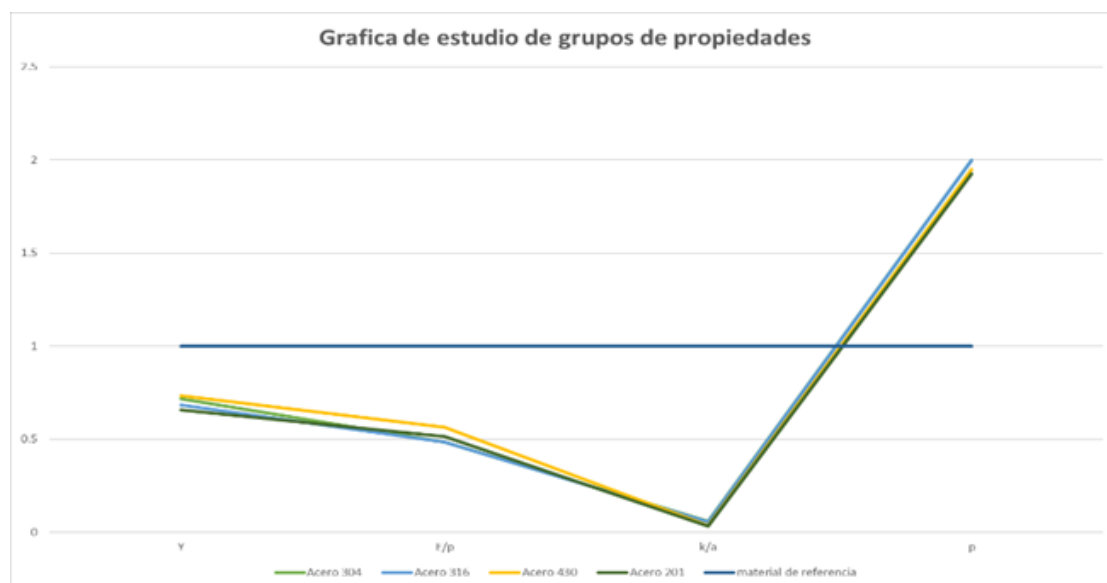


Ilustración 55: Gráfica de estudios de propiedades de los materiales seleccionados
Fuente: Elaboración propia

8.7. Materiales posibles para las cuchillas y separadores

Tabla 22: Propiedades físicas de los materiales posibles para las cuchillas y separadores

Acero AISI 304		
Módulo de Young:	193	GPa
Límite de fluencia:	215	Mpa
Densidad:	8000	Kg/m ³
Expansión térmica:	16,2	x 10 ⁻⁶ .K ⁻¹
Conductividad térmica:	17,3	W.m ⁻¹ .K ⁻¹
Acero 420		
Módulo de Young:	195	GPa
Límite de fluencia:	620	Mpa
Densidad:	7800	Kg/m ³
Expansión térmica:	12.5	x 10 ⁻⁶ .K ⁻¹
Conductividad térmica:	24	W.m ⁻¹ .K ⁻¹
Acero al cromo		
Módulo de Young:	220	GPa
Límite de fluencia:	500	Mpa
Densidad:	7800	Kg/m ³
Expansión térmica:	13.5	x 10 ⁻⁶ .K ⁻¹
Conductividad térmica:	20	W.m ⁻¹ .K ⁻¹
Acero al carbono 1045		
Módulo de Young:	210	GPa
Límite de fluencia:	220,594	Mpa
Densidad:	7800	Kg/m ³
Expansión térmica:	13	x 10 ⁻⁶ .K ⁻¹
Conductividad térmica:	43	W.m ⁻¹ .K ⁻¹

Fuente: Elaboración propia

8.8. Gráfica de estudios de propiedades

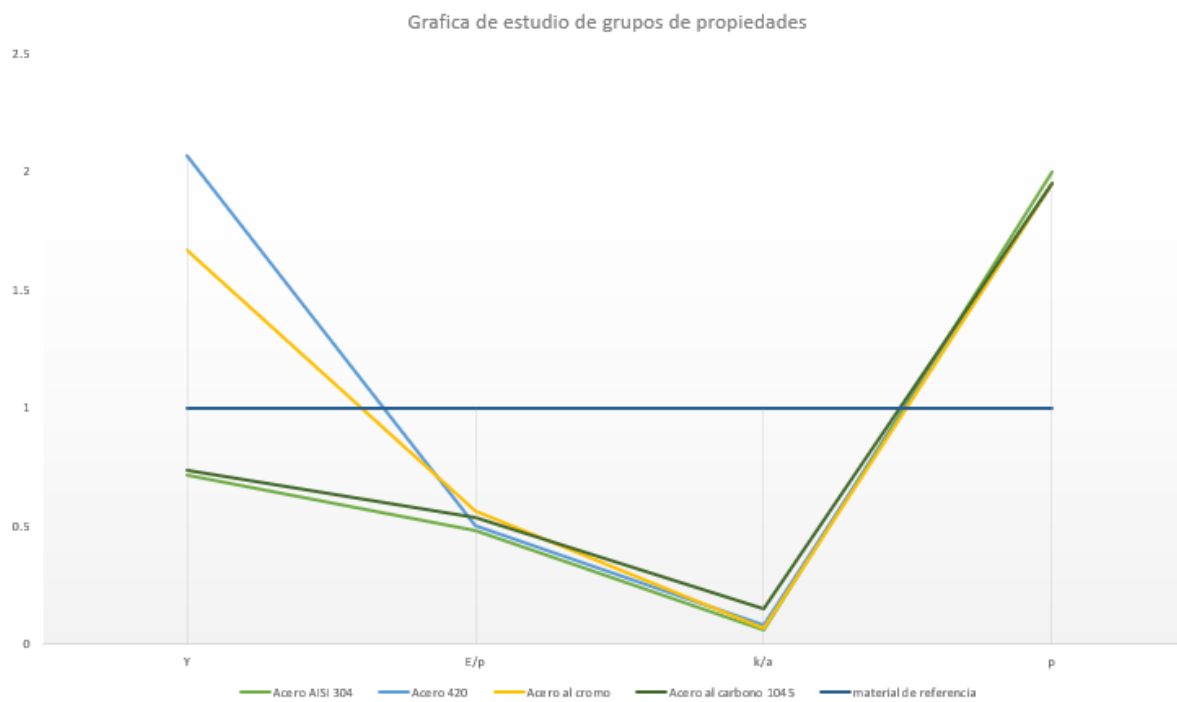


Ilustración 56: Gráfica de estudio de propiedades de los materiales seleccionados
Fuente: Elaboración propia

8.9.Rodamiento 6207 SKF



Image may differ from product. See technical specification for details.

6207

Rodamiento rígido de bolas

Los rodamientos rígidos de una hilera de bolas son especialmente versátiles, tienen una baja fricción y están optimizados para un bajo nivel de ruido y vibraciones, lo que permite alcanzar altas velocidades de giro. Soportan cargas radiales y axiales en ambos sentidos, son fáciles de montar y requieren menos mantenimiento que muchos otros tipos de rodamientos.

- Diseño sencillo, versátil y robusto
- Baja fricción
- Capacidad de alta velocidad
- Soportan cargas radiales y axiales en ambos sentidos
- Requieren poco mantenimiento

Descripción general

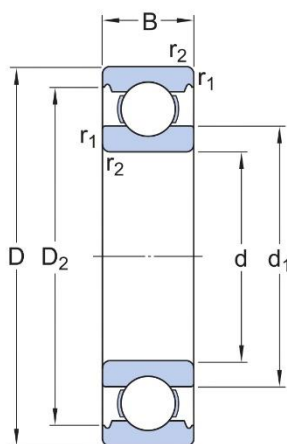
Dimensiones

Diámetro interno	35 mm
Diámetro exterior	72 mm
Ancho	17 mm

Rendimiento

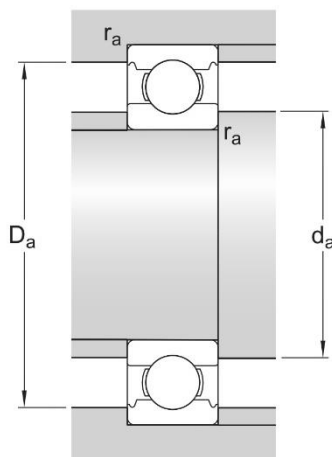
Capacidad de carga dinámica básica	27 kN
Capacidad de carga estática básica	15.3 kN
Velocidad de referencia	20 000 r/min
Velocidad límite	13 000 r/min
Clase de rendimiento SKF	SKF Explorer

Especificación técnica



Dimensiones

d	35 mm	Diámetro del agujero
D	72 mm	Diámetro exterior
B	17 mm	Ancho
d_1	≈ 46.94 mm	Diámetro del resalte
D_2	≈ 62.69 mm	Diámetro del rebaje
$r_{1,2}$	min. 1.1 mm	Dimensión del chaflán



Dimensiones de los resaltes

d_a	min. 42 mm	Diámetro del resalte del eje
D_a	max. 65 mm	Diámetro del resalte del soporte
r_a	max. 1 mm	Radio del eje o acuerdo del soporte

Datos del cálculo

Clase de rendimiento SKF		SKF Explorer
Capacidad de carga dinámica básica	C	27 kN
Capacidad de carga estática básica	C_0	15.3 kN
Carga límite de fatiga	P_u	0.655 kN
Velocidad de referencia		20 000 r/min
Velocidad límite		13 000 r/min
Factor de carga mínima	k_r	0.025
Factor de cálculo	f_0	13.8

Clase de tolerancia

Tolerancias dimensionales	P6
Desviación radial	P6

Productos compatibles

Herramienta recomendada

Kit de extractor de rodamiento rígido de bolas

[TMMD 100](#)

8.10. Cable THW-90

TABLA DE DATOS TECNICOS THW - 90 (mm²)

CALIBRE CONDUCTOR	NUMERO HILOS	DIAMETRO HILO	DIAMETRO CONDUCTOR	ESPESOR AISLAMIENTO	DIAMETRO EXTERIOR	PESO	AMPERAJE (*)	
							AIRE	DUCTO
mm ²		mm	mm	mm	mm	Kg/Km	A	A
2.5	7	0.66	1.92	0.8	3.5	32	37	27
4	7	0.84	2.44	0.8	4.1	47	45	34
6	7	1.02	2.98	0.8	4.6	67	61	44
10	7	1.33	3.99	1.1	6.2	117	88	62
16	7	1.69	4.67	1.5	7.7	186	124	85
25	7	2.13	5.88	1.5	8.9	278	158	107
35	7	2.51	6.92	1.5	10	375	197	135
50	19	1.77	8.15	2	12.3	520	245	160
70	19	2.13	9.78	2	13.9	724	307	203
95	19	2.51	11.55	2	15.7	981	375	242
120	37	2.02	13	2.4	18	1245	437	279
150	37	2.24	14.41	2.4	19.4	1508	501	318
185	37	2.51	16.16	2.4	21.1	1866	586	361
240	37	2.87	18.51	2.4	23.5	2416	654	406
300	37	3.22	20.73	2.8	26.5	3041	767	462
400	61	2.84	23.51	2.8	29.3	3846	908	541
500	61	3.21	26.57	2.8	32.3	4862	1037	603

TABLA DE DATOS TECNICOS THW - 90 (AWG / MCM)

CALIBRE CONDUCTOR	SECCION NOMINAL	NUMERO HILOS	DIAMETRO HILO	DIAMETRO CONDUCTOR	ESPESOR AISLAMIENTO	DIAMETRO EXTERIOR	PESO	AMPERAJE (*)	
								AIRE	DUCTO
AWG/MCM	mm ²		mm	mm	mm	mm	Kg/Km	A	A
14	2.1	7	0.60	1.75	0.8	3.4	28	35	25
12	3.3	7	0.76	2.20	0.8	3.8	40	40	30
10	5.3	7	0.96	2.78	0.8	4.4	59	56	40
8	8.4	7	1.20	3.61	1.1	5.9	98	80	56
6	13.3	7	1.53	4.60	1.5	7.6	161	107	75
4	21.1	7	1.93	5.80	1.5	8.9	240	141	96
2	33.6	7	2.44	7.31	1.5	10.4	363	192	130
1/0	53.4	19	1.87	8.58	2	12.7	570	260	170
2/0	67.4	19	2.10	9.64	2	13.8	704	300	197
3/0	85.1	19	2.35	10.82	2	15	871	350	226
4/0	107.2	19	2.64	12.15	2.4	17.1	1109	406	260
250	126.7	37	2.06	13.25	2.4	18.2	1289	457	290
300	151.9	37	2.25	14.51	2.4	19.5	1527	505	321
350	177.5	37	2.44	15.69	2.4	20.6	1769	569	350
500	253.1	37	2.91	18.73	2.8	24.5	2512	699	429

(*) NO MAS DE TRES CONDUCTORES POR DUCTO / TEMPERATURA AMBIENTE 30°C.

e-mail / ventas@indecocom.pe / marketing@indecocom.pe / web / www.indecocom.pe

2

Todos los dibujos, diseños, especificaciones, planos y detalles sobre pesos y dimensiones contenidos en la documentación técnica o comercial de INDECO, son puramente indicativos y no serán contractuales para INDECO, ni podrán ser consideradas como que constituyen una representación de la parte de INDECO.

8.11. Interruptor Termomagnético

Hoja de datos del producto A9F84332

Características

iC60H - miniature circuit breaker - 3P - 32A - C curve



Principal

Aplicación del dispositivo	Distribución
Gama	Acti 9
Nombre del producto	Acti 9 iC60
Tipo de producto o componente	Interruptor automático en miniatura
Nombre corto del dispositivo	IC60H
Número de polos	3P
Número de polos protegidos	3
Corriente nominal (In)	32 A
Tipo de red	CA DC
Tecnología de unidad de disparo	Térmico-magnético
Código de curva	C
Poder de corte	10000 A Icn en 400 V CA 50/60 Hz acorde a EN/IEC 60898-1 42 KA Icu en 12...60 V CA 50/60 Hz acorde a EN/IEC 60947-2 10 KA Icu en 440 V CA 50/60 Hz acorde a EN/IEC 60947-2 15 KA Icu en 380...415 V CA 50/60 Hz acorde a EN/IEC 60947-2 30 KA Icu en 220...240 V CA 50/60 Hz acorde a EN/IEC 60947-2 42 KA Icu en 100...133 V CA 50/60 Hz acorde a EN/IEC 60947-2 15 kA Icu en <= 180 V DC acorde a EN/IEC 60947-2
Categoría de utilización	Categoría A acorde a EN 60947-2 Categoría A acorde a IEC 60947-2
Apto para seccionamiento	Sí acorde a EN 60898-1 Sí acorde a EN 60947-2 Sí acorde a IEC 60898-1 Sí acorde a IEC 60947-2
Normas	EN 60947-2 IEC 60947-2 IEC 60898-1 EN 60898-1

La información suministrada en esta documentación contiene descripciones generales y/o características técnicas de los productos incluidos y sus prestaciones. Esta documentación no pretende ser un sustituto de, y no se va a usar para determinar, la idoneidad y/o la fiabilidad de estos productos para aplicaciones específicas de usuario. Es responsabilidad de los usuarios o integradores realizar el análisis de riesgos adecuada y completamente, evaluar y testear los productos en relación con la aplicación específica pertinente o uso del mismo. Ni Schneider Electric Industries SAS ni ninguna de sus filiales o subsidiarias serán responsables por el mal uso de la información contenida en el presente documento.

Complementario

Frecuencia de red	50/60 Hz
Límite de enlace magnético	8 x In +/- 20%
[Ics] poder de corte en servicio	15 KA 50 % acorde a EN 60947-2 - 220...240 V CA 50/60 Hz 7.5 KA 50 % acorde a EN 60947-2 - 380...415 V CA 50/60 Hz 5 KA 50 % acorde a EN 60947-2 - 440 V CA 50/60 Hz 15 KA 50 % acorde a IEC 60947-2 - 220...240 V CA 50/60 Hz 7.5 KA 50 % acorde a IEC 60947-2 - 380...415 V CA 50/60 Hz 5 KA 50 % acorde a IEC 60947-2 - 440 V CA 50/60 Hz 7500 A 75 % acorde a EN 60898-1 - 400 V CA 50/60 Hz 7500 A 75 % acorde a IEC 60898-1 - 400 V CA 50/60 Hz 21 KA 50 % acorde a IEC 60947-2 - 12...133 V CA 50/60 Hz 21 KA 50 % acorde a EN 60947-2 - 12...133 V CA 50/60 Hz 15 KA 100 % acorde a IEC 60947-2 - 125...180 V DC 15 kA 100 % acorde a EN 60947-2 - 125...180 V DC
Clase de limitación	3 acorde a EN 60898-1 3 acorde a IEC 60898-1
[Ui] tensión asignada de aislamiento	500 V CA 50/60 Hz acorde a EN 60947-2 500 V CA 50/60 Hz acorde a IEC 60947-2
[Uimp] Tensión asignada de resistencia a los choques	6 KV acorde a EN 60947-2 6 kV acorde a IEC 60947-2
Indicador de posición del contacto	Sí
Tipo de control	Maneta
Señalizaciones en local	Indicador de disparo
Tipo de montaje	Fijo
Tipo de montaje	Carril DIN
Compatibilidad de bloque de distribución de embarrado tipo peine	Arriba o abajo, estado 1 Sí
Pasos de 9 mm	6
Altura	85 mm
Anchura	54 mm
Profundidad	78.5 mm
Peso del producto	0.375 kg
Color	Blanco
Endurancia mecánica	20000 ciclos
Durabilidad eléctrica	10000 ciclos
Conexiones - terminales	Terminal simple - tipo de cable: arriba o abajo) 1...35 mm ² rígido Terminal simple - tipo de cable: arriba o abajo) 1...25 mm ² Flexible
Longitud de cable pelado para conectar bornas	14 mm para arriba o abajo conexión
Par de apriete	3.5 N.m arriba o abajo
Protección contra fugas a tierra	Bloque independiente

Entorno

Grado de protección IP	IP20 acorde a IEC 60529 IP20 acorde a EN 60529
Grado de contaminación	3 acorde a EN 60947-2 3 acorde a IEC 60947-2
Categoría de sobretensión	IV
Tropicalización	2 acorde a IEC 60068-1
Humedad relativa	95 % en 55 °C
Altitud máxima de funcionamiento	0...2000 m
Temperatura ambiente de funcionamiento	-35...70 °C
Temperatura ambiente de almacenamiento	-40...85 °C

8.12. Contactor

Ficha técnica del producto

Especificaciones



Contactor TeSys D 3P AC-3 440V 25A Bobina 220 VAC

LC1D25M7

Principal

Gama De Producto	TeSys Deca
Tipo De Producto O Componente	Conector
Nombre Corto Del Dispositivo	LC1D
Aplicación Del Contactor	Control del motor Carga resistiva
Categoría De Empleo	AC-1 AC-3 AC-4 AC-3e
Número De Polos	3P
[Ue] Tensión Asignada De Empleo	Circuito de alimentación, estado 1 <= 690 V CA 25...400 Hz Circuito de alimentación, estado 1 <= 300 V DC
[Ie] Corriente Asignada De Empleo	25 A (at <60 °C) at <= 440 V CA AC-3 for circuito de alimentación 40 A (at <60 °C) at <= 440 V CA AC-1 for circuito de alimentación 25 A (at <60 °C) at <= 440 V CA AC-3e for circuito de alimentación
Tensión Del Circuito De Control [Uc]	220 V CA 50/60 Hz

Complementario

Potencia Del Motor En Kw	5.5 kW at 220...230 V CA 50/60 Hz (AC-3) 11 kW at 380...400 V CA 50/60 Hz (AC-3) 11 kW at 415...440 V CA 50/60 Hz (AC-3) 15 kW at 500 V CA 50/60 Hz (AC-3) 15 kW at 660...690 V CA 50/60 Hz (AC-3) 5.5 kW at 400 V CA 50/60 Hz (AC-4) 5.5 kW at 220...230 V CA 50/60 Hz (AC-3e) 11 kW at 380...400 V CA 50/60 Hz (AC-3e) 11 kW at 415...440 V CA 50/60 Hz (AC-3e) 15 kW at 500 V CA 50/60 Hz (AC-3e) 15 kW at 660...690 V CA 50/60 Hz (AC-3e)
Potencia Del Motor En Hp	3 hp at 230/240 V CA 50/60 Hz for 1 fase motors 2 hp at 115 V CA 50/60 Hz for 1 fase motors 7.5 hp at 230/240 V CA 50/60 Hz for 3 fases motors 15 hp at 460/480 V CA 50/60 Hz for 3 fases motors 20 hp at 575/600 V CA 50/60 Hz for 3 fases motors 7.5 hp at 200/208 V CA 50/60 Hz for 3 fases motors
Código De Compatibilidad	LC1D
Composición De Los Polos De Contacto	3 NA
Cubierta Protectora	Con
[Ith] Corriente Térmica Convencional	10 A (at 60 °C) for circuito de señalización 40 A (at 60 °C) for circuito de alimentación
Irms Poder De Conexión Nominal	140 A CA for circuito de señalización conforming to IEC 60947-5-1 250 A DC for circuito de señalización conforming to IEC 60947-5-1 450 A at 440 V for circuito de alimentación conforming to IEC 60947

Este es un precio de lista. Para conocer el precio de venta consulta con tu distribuidor

Poder Asignado De Corte	450 A at 440 V for circuito de alimentación conforming to IEC 60947
[Icw] Corriente Temporal Admisible	240 A 40 °C - 10 s for circuito de alimentación 380 A 40 °C - 1 s for circuito de alimentación 50 A 40 °C - 10 min for circuito de alimentación 120 A 40 °C - 1 min for circuito de alimentación 100 A - 1 s for circuito de señalización 120 A - 500 ms for circuito de señalización 140 A - 100 ms for circuito de señalización
Fusible Asociado	10 A gG for circuito de señalización conforming to IEC 60947-5-1 63 A gG at <= 690 V coordination tipo 1 for circuito de alimentación 40 A gG at <= 690 V coordination tipo 2 for circuito de alimentación
Impedancia Media	2 mOhm - Ith 40 A 50 Hz for circuito de alimentación
Potencia Disipada Por Polo	3,2 W AC-1 1,25 W AC-3 1,25 W AC-3e
[UI] Tensión Asignada De Aislamiento	Circuito de alimentación, estado 1 690 V acorde a IEC 60947-4-1 Circuito de alimentación, estado 1 600 V CSA certifiad Circuito de alimentación, estado 1 600 V UL certifiad Circuito de señalización, estado 1 690 V acorde a IEC 60947-1 Circuito de señalización, estado 1 600 V CSA certifiad Circuito de señalización, estado 1 600 V UL certifiad
Categoría De Sobretensión	III
Grado De Contaminación	3
[Uimp] Tensión Asignada De Resistencia A Los Choques	6 kV acorde a IEC 60947
Nivel De Fiabilidad De Seguridad	B10d = 1369863 Ciclos contactor con carga nominal acorde a EN/ISO 13849-1 B10d = 20000000 Ciclos contactor con carga mecánica acorde a EN/ISO 13849-1
Endurancia Mecánica	15 Mcycles
Durabilidad Eléctrica	1.65 Mcycles 25 A AC-3 en Ue <= 440 V 1.4 Mcycles 40 A AC-1 en Ue <= 440 V 1.65 Mcycles 25 A AC-3e en Ue <= 440 V
Tipo De Circuito De Control	CA en 50/60 Hz Estándar
Característica De La Bobina	Sin filtro antiparasitario de serie
Límites De Tensión Del Circuito De Control	0.3...0.6 Uc -40...70 °C desconexión CA 50/60 Hz 0.8...1.1 Uc -40...60 °C operativa CA 50 Hz 0.85...1.1 Uc -40...60 °C operativa CA 60 Hz 1...1.1 Uc 60...70 °C operativa CA 50/60 Hz
Consumo A La Llamada En Va	70 VA 60 Hz cos phi 0.75 (at 20 °C) 70 VA 50 Hz cos phi 0.75 (at 20 °C)
Consumo De Mantenimiento En Va	7.5 VA 60 Hz cos phi 0.3 (at 20 °C) 7 VA 50 Hz cos phi 0.3 (at 20 °C)
Disipación De Calor	2...3 W at 50/60 Hz
Duración De Maniobra	12...22 ms cierre 4...19 ms apertura
Índice De Funcionamiento Máximo	3600 cyc/h en <60 °C

8.13. Relé térmico

Ficha técnica del producto

Especificaciones



Relé de sobrecarga Térmica TeSys LRD - 17...24 A - clase 20

LRD22L

Principal

Gama	TeSys TeSys Deca
Nombre Del Producto	TeSys LRD TeSys Deca
Tipo De Producto O Componente	Reles de sobrecarga térmica diferencial
Nombre Corto Del Dispositivo	LRD
Aplicación Del Relé	Protección del motor
Compatibilidad Del Producto	LC1D38 LC1D25 LC1D32
Tipo De Red	CA DC
Clase De Disparo Por Sobrecarga	Clase 20 acorde a IEC 60947-4-1
Rango De Ajustes De Protección Térmica	17...24 A
[Ui] Tensión Asignada De Aislamiento	Circuito de alimentación, estado 1 600 V acorde a CSA Circuito de alimentación, estado 1 600 V acorde a UL Circuito de alimentación, estado 1 690 V acorde a IEC 60947-4-1

Complementario

Frecuencia De Red	0...400 Hz
SopORTE De Montaje	Placa, con accesorios específicos Carril, con accesorios específicos Bajo contactor
Umbral De Disparo	1,14 +/- 0,06 I _r acorde a IEC 60947-4-1
Composición De Los Contactos Auxiliares	1 NA + 1 NC
[I_{th}] Corriente Térmica Convencional	5 A para circuito de señalización
Corriente Permitida	3 A en 120 V AC-15 para circuito de señalización 0,22 A en 125 V DC-13 para circuito de señalización
[U_e] Tensión Asignada De Empleo	690 V CA 0...400 Hz para circuito de alimentación acorde a IEC 60947-4-1
Fusible Asociado	4 A gG for circuito de señalización 4 A BS for circuito de señalización
[U_{imp}] Tensión De Impulso Asignada (BI)	6 kV
Sensibilidad De Fallo De Fase	Corriente disparo 130% de I _r en de fases, la última a 0
Tipo De Control	Rojo pulsador, estado 1 parada Azul pulsador, estado 1 Reajuste
Compensación De Temperatura	-20...60 °C

Este es un precio de lista. Para conocer el precio de venta consulta con tu distribuidor

8.14. Pulsador Luminoso

Ficha técnica del producto

Especificaciones



Pulsador luminoso, metálico, Ø 22mm, verde, retorno por resorte, 230..240V CA, 1NA + 1NC

XB4BW33M5

Principal

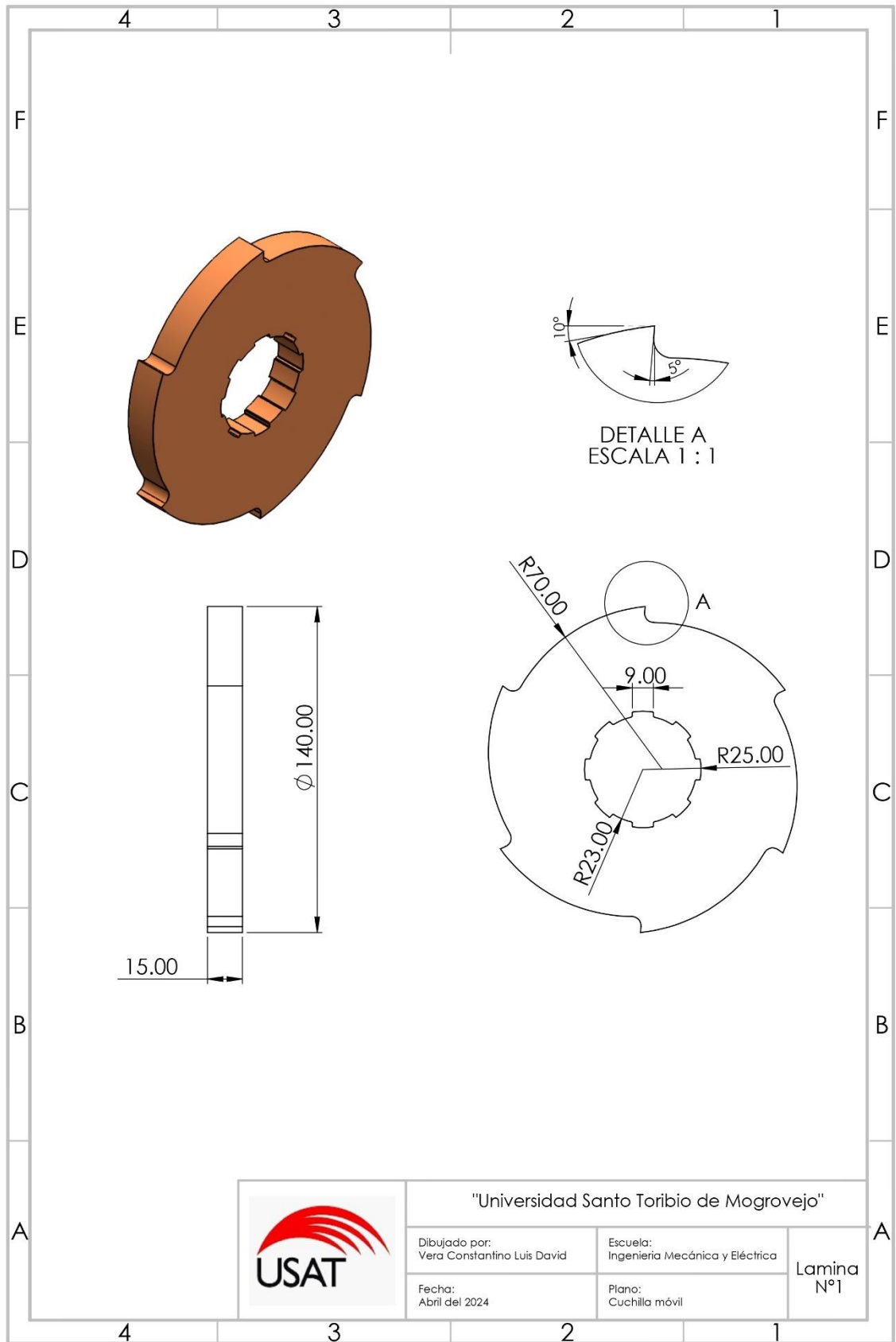
Gama De Producto	Harmony XB4
Tipo De Producto O Componente	Pulsador luminoso
Nombre Corto Del Dispositivo	XB4
Material Del Bisel	Metal cromado
Material Del Anillo De Fijación	Zamak
Diámetro De Montaje	22.5 mm
Se Vende En Cantidades Indivisibles	1
Tipo De Cabezal	Estándar
Forma Del Cabezal De Unidad De Señalización	Redondo
Tipo De Operador	Retorno de resorte
Perfil Del Operador	Verde Empotrado
Información Agregada Del Operador	Con lente liso
Tipo Y Composición De Contactos	1 NA + 1 NC
Funcionamiento De Contacto	Ruptura lenta
Conexiones - Terminales	Terminales de fijación por tornillo, $\leq 2 \times 1.5 \text{ mm}^2$ Con terminal acorde a IEC 60947-1 Terminales de fijación por tornillo, $1 \times 0,22 \dots 2 \times 2,5 \text{ mm}^2$ Sin terminal acorde a IEC 60947-1
Fuente De Luz	LED universal
Base De Bombilla	LED integral
[Us] Tensión De Alimentación	230...240 V AC en 50/60 Hz

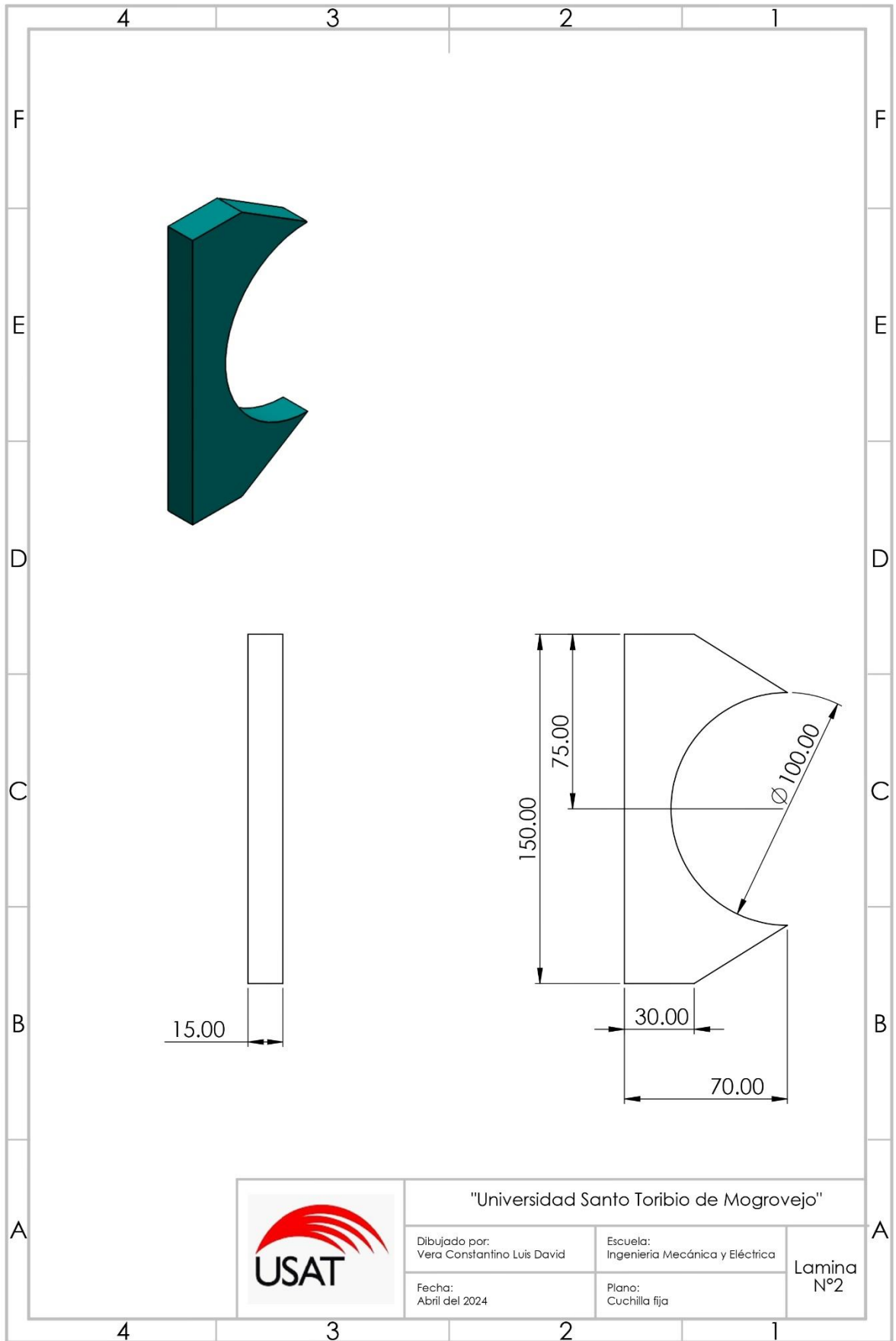
Complementario

Altura	47 mm
Ancho	30 mm
Profundidad	57 mm
Descripción De Terminales Iso N°1	(13-14)NO (21-22)NC
Peso Del Producto	0.097 kg
Resistencia A Lavadoras De Alta Presión	7000000 Pa en 55 °C, distancia: 0.1 M
Uso De Contactos	Contactos estándar
Apertura Positiva	Con acorde a IEC 60947-5-1 anexo K

Este es un precio de lista. Para conocer el precio de venta consulta con tu distribuidor

8.15. Planos de la máquina





"Universidad Santo Toribio de Mogrovejo"

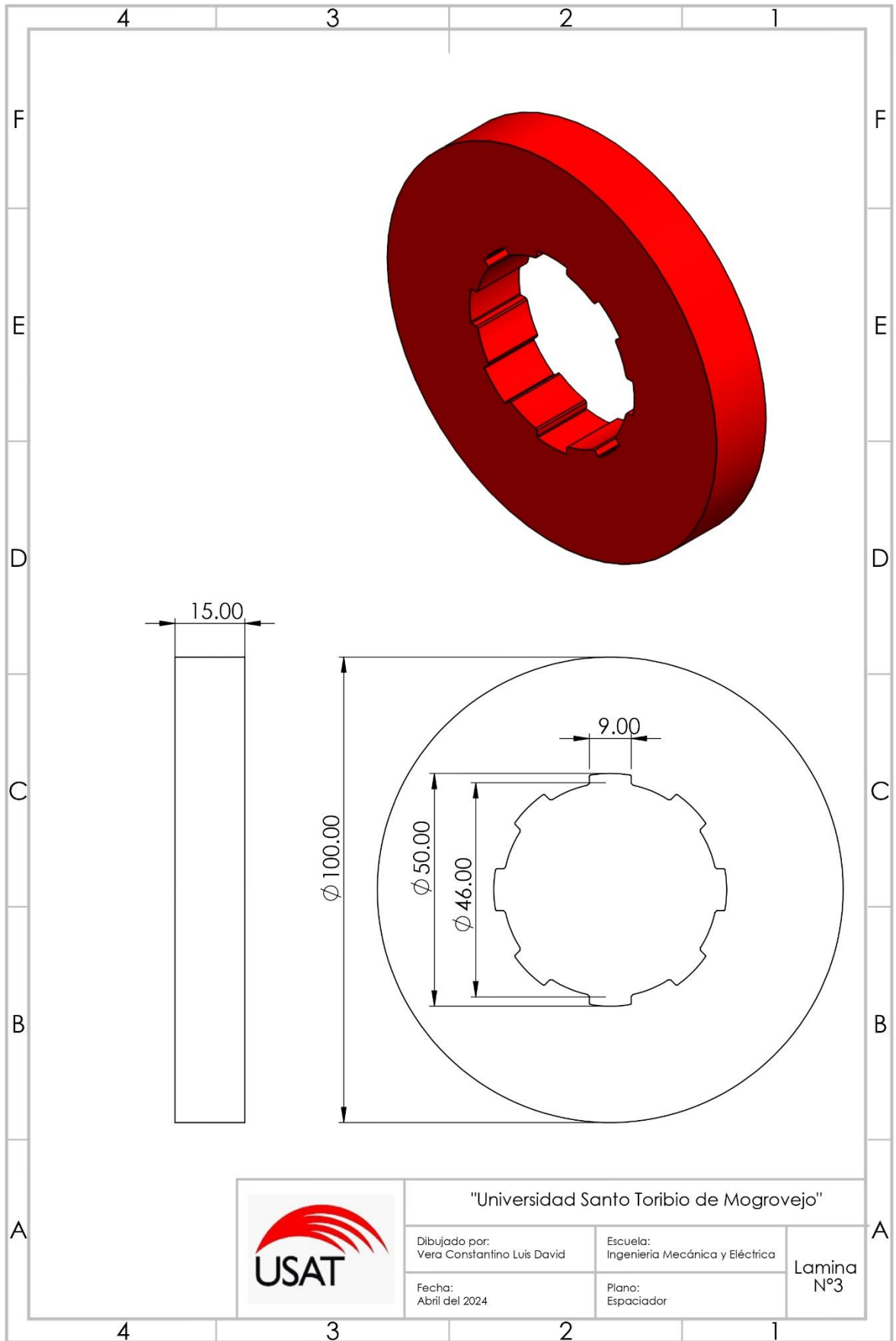
Dibujado por:
Vera Constantino Luis David

Escuela:
Ingeniería Mecánica y Eléctrica

Fecha:
Abril del 2024

Plano:
Cuchilla fija

Lamina
N°2



"Universidad Santo Toribio de Mogrovejo"

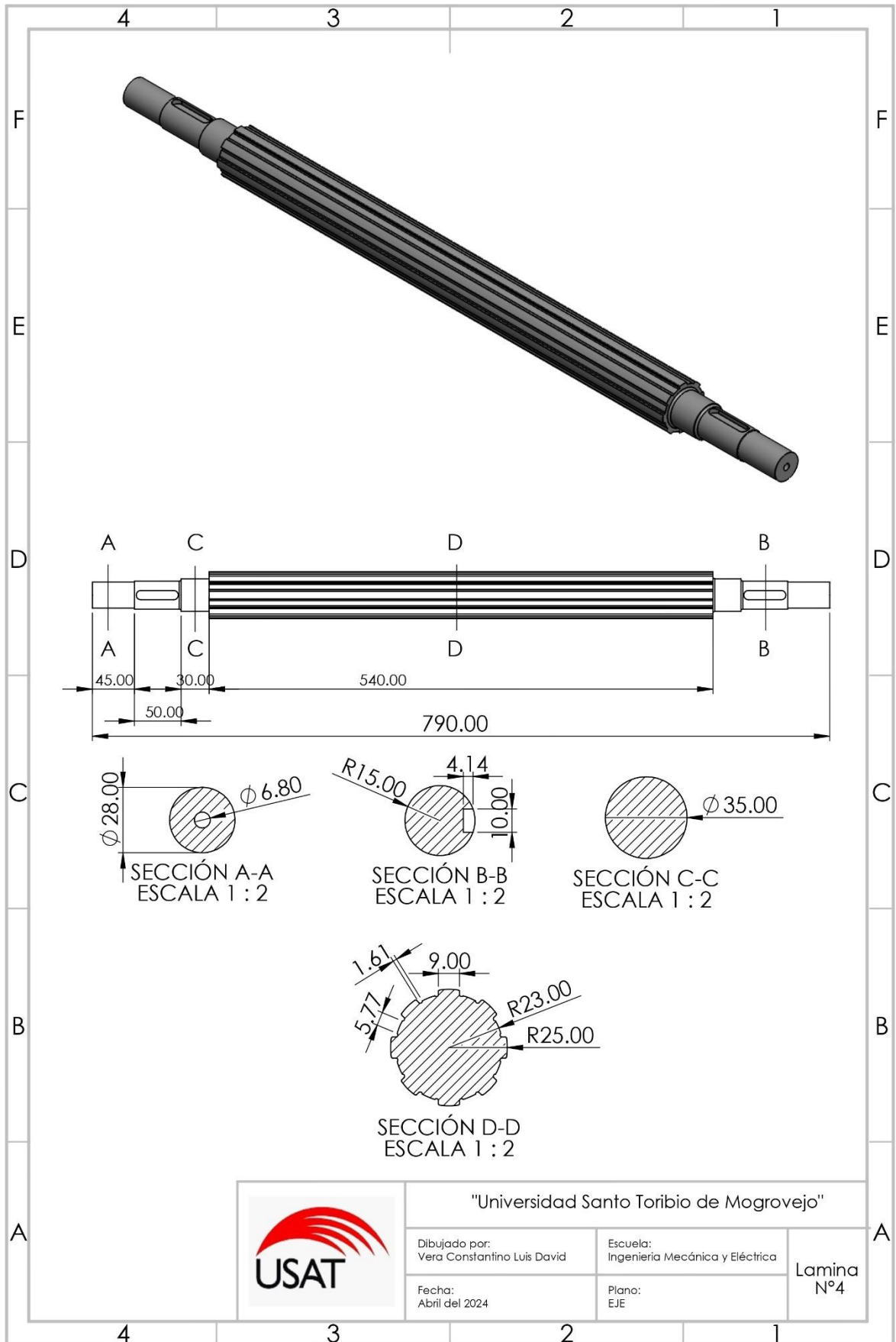
Dibujado por:
Vera Constantino Luis David

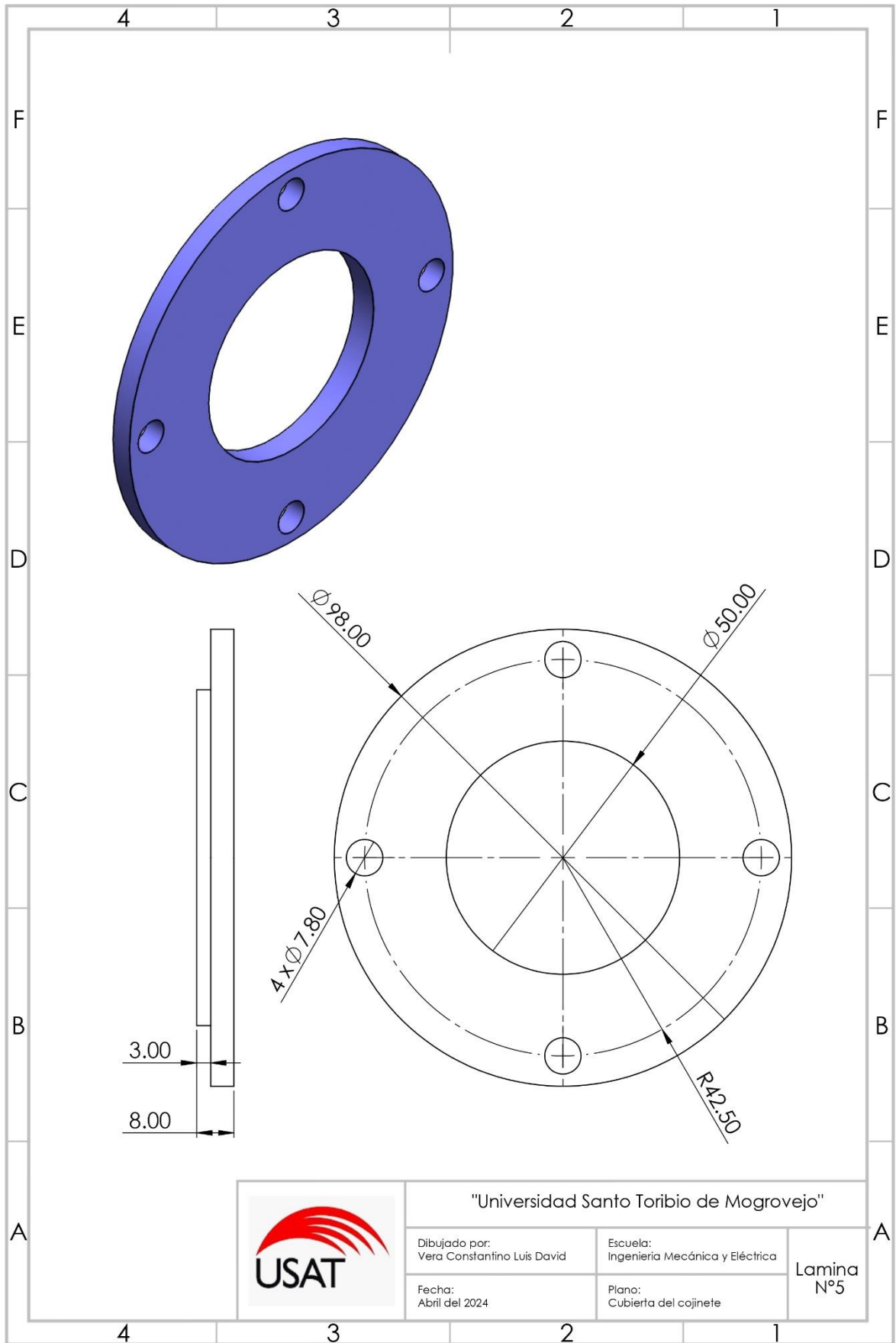
Escuela:
Ingeniería Mecánica y Eléctrica

Fecha:
Abril del 2024

Plano:
Espaciador

Lamina
N°3





"Universidad Santo Toribio de Mogrovejo"

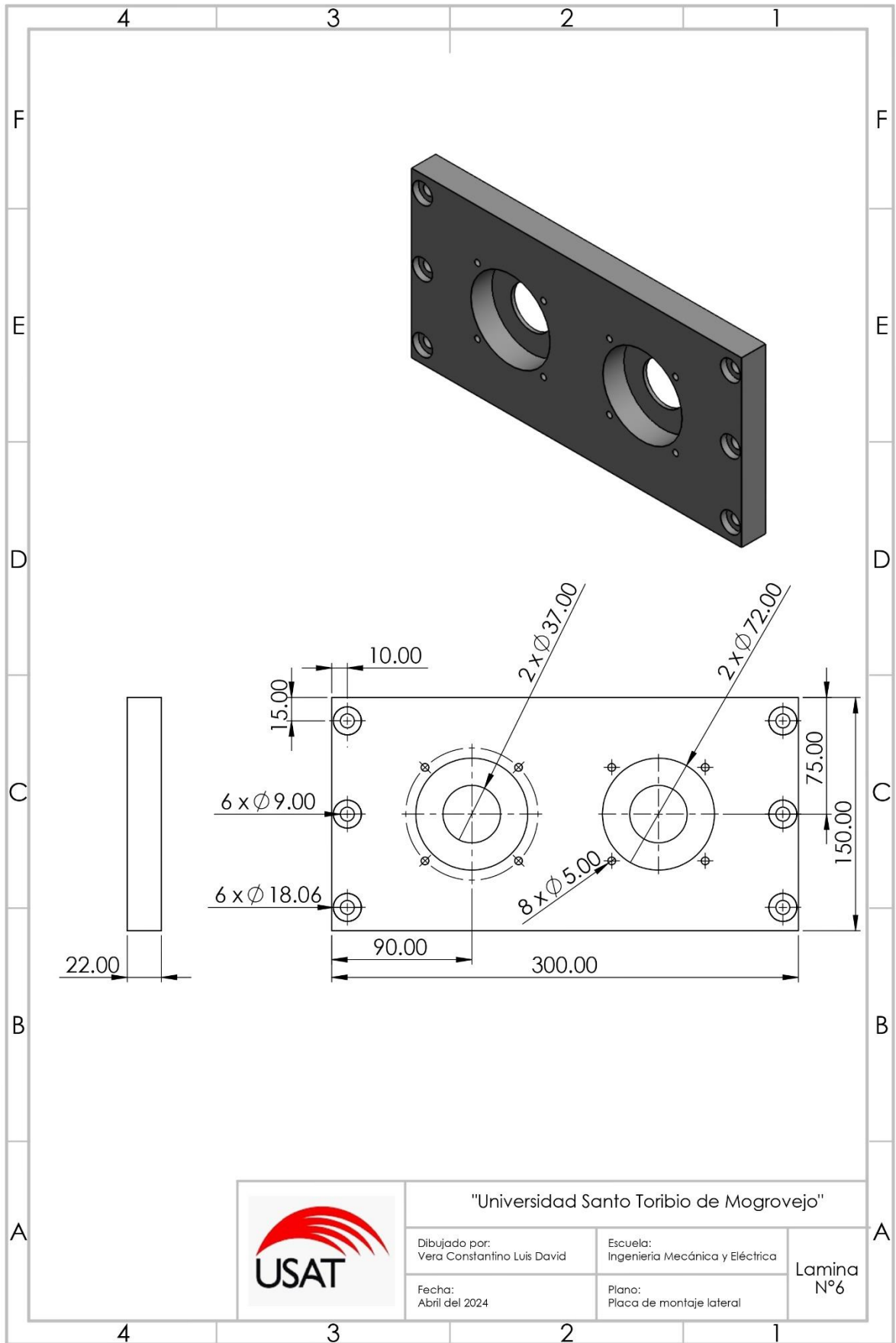
Dibujado por:
Vera Constantino Luis David

Escuela:
Ingeniería Mecánica y Eléctrica

Fecha:
Abril del 2024

Plano:
Cubierta del cojinete

Lamina
N°5



"Universidad Santo Toribio de Mogrovejo"

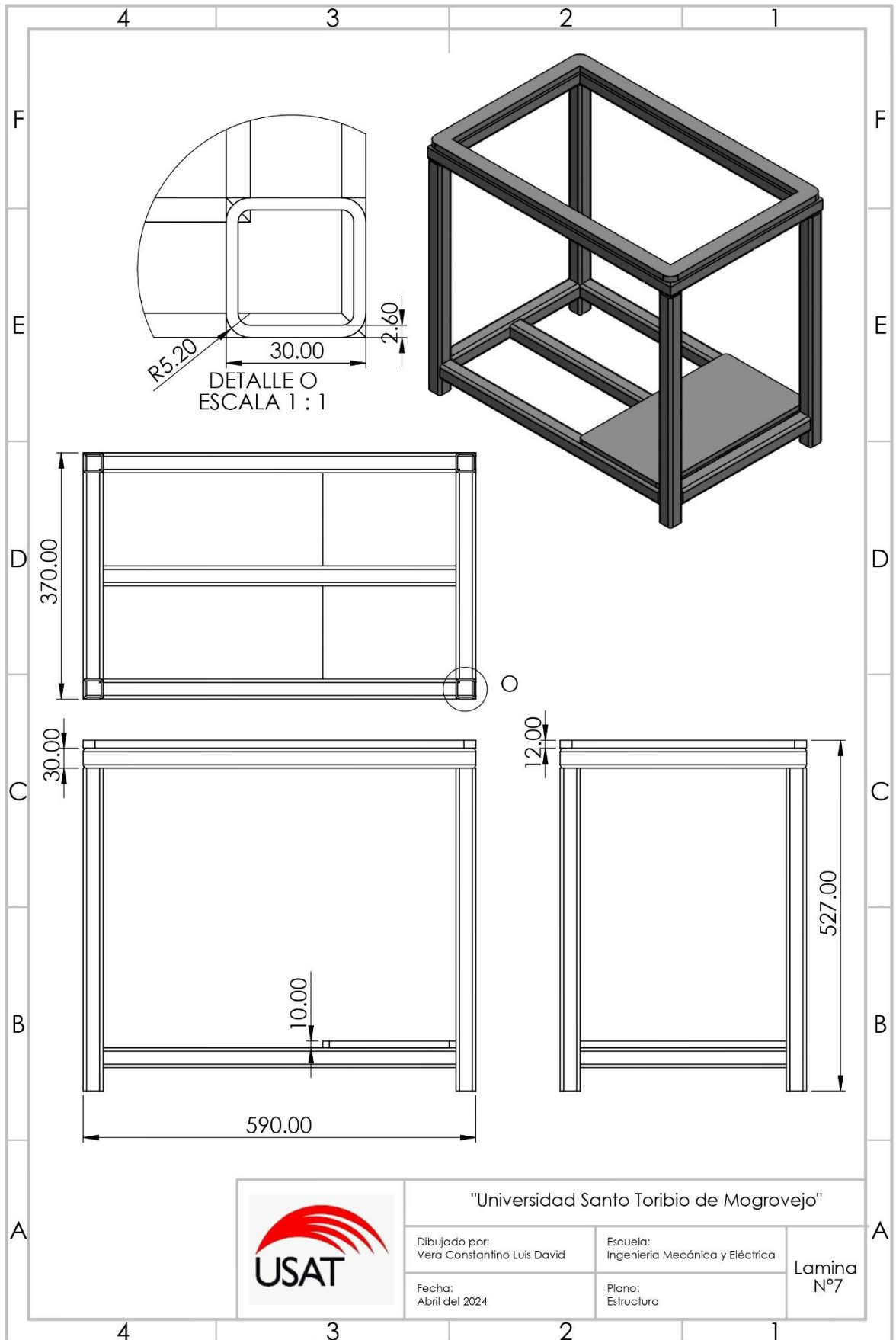
Dibujado por:
Vera Constantino Luis David

Escuela:
Ingeniería Mecánica y Eléctrica

Fecha:
Abril del 2024

Plano:
Placa de montaje lateral

Lamina
N°6



"Universidad Santo Toribio de Mogrovejo"

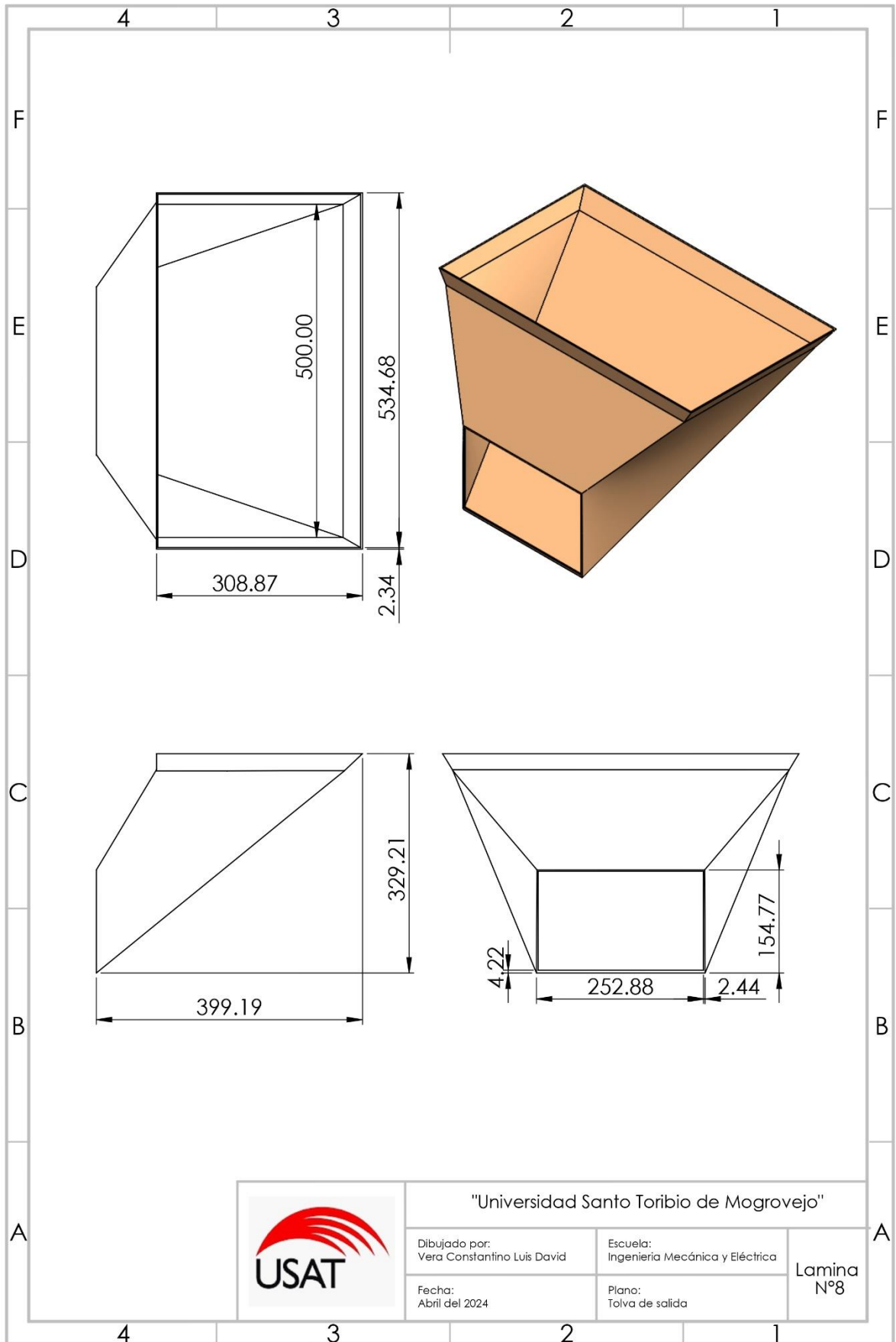
Dibujado por:
Vera Constantino Luis David

Escuela:
Ingeniería Mecánica y Eléctrica

Fecha:
Abril del 2024

Plano:
Estructura

Lamina
N°7



"Universidad Santo Toribio de Mogrovejo"

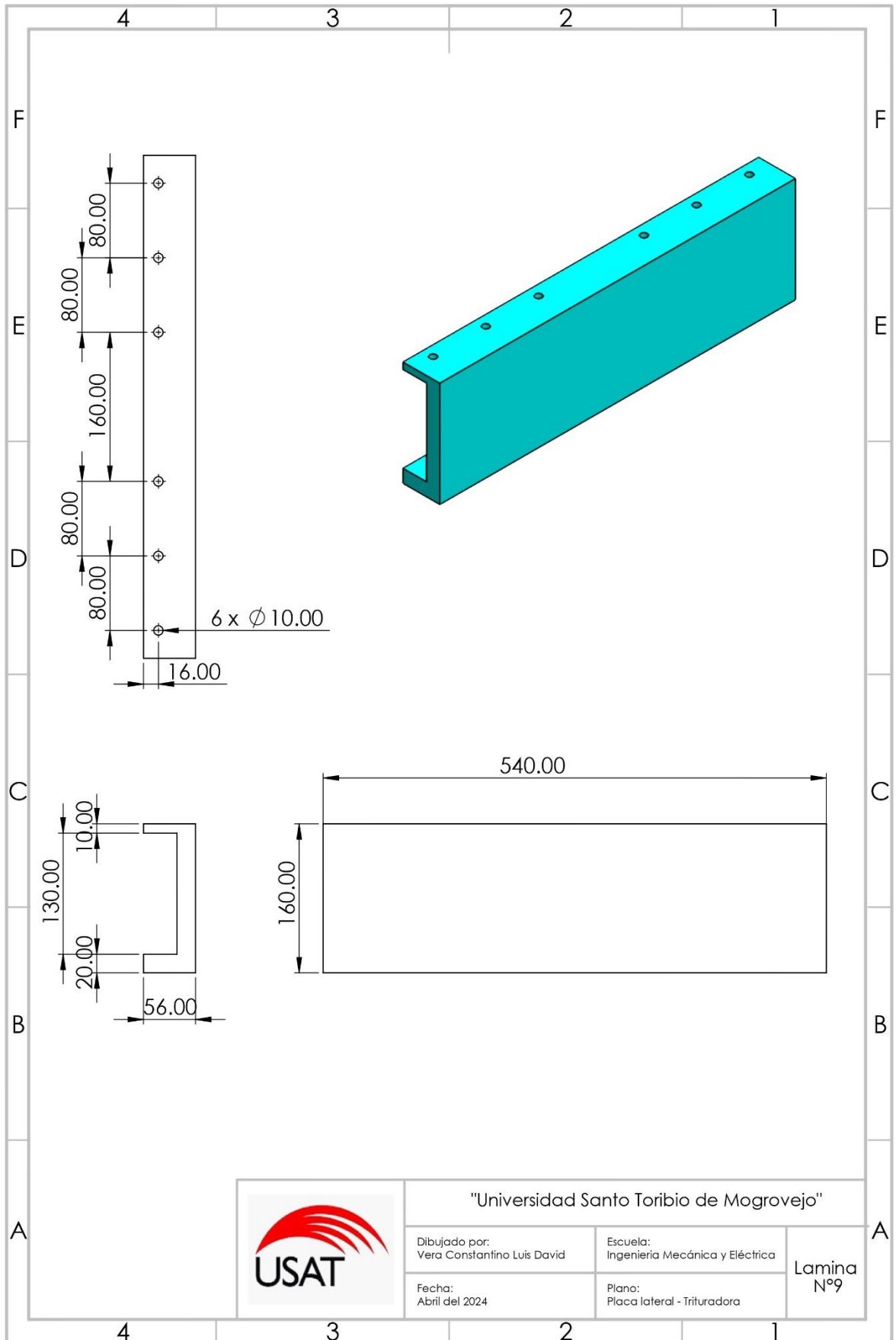
Dibujado por:
Vera Constantino Luis David

Escuela:
Ingeniería Mecánica y Eléctrica

Fecha:
Abril del 2024

Plano:
Tolva de salida

Lamina
N°8



"Universidad Santo Toribio de Mogrovejo"

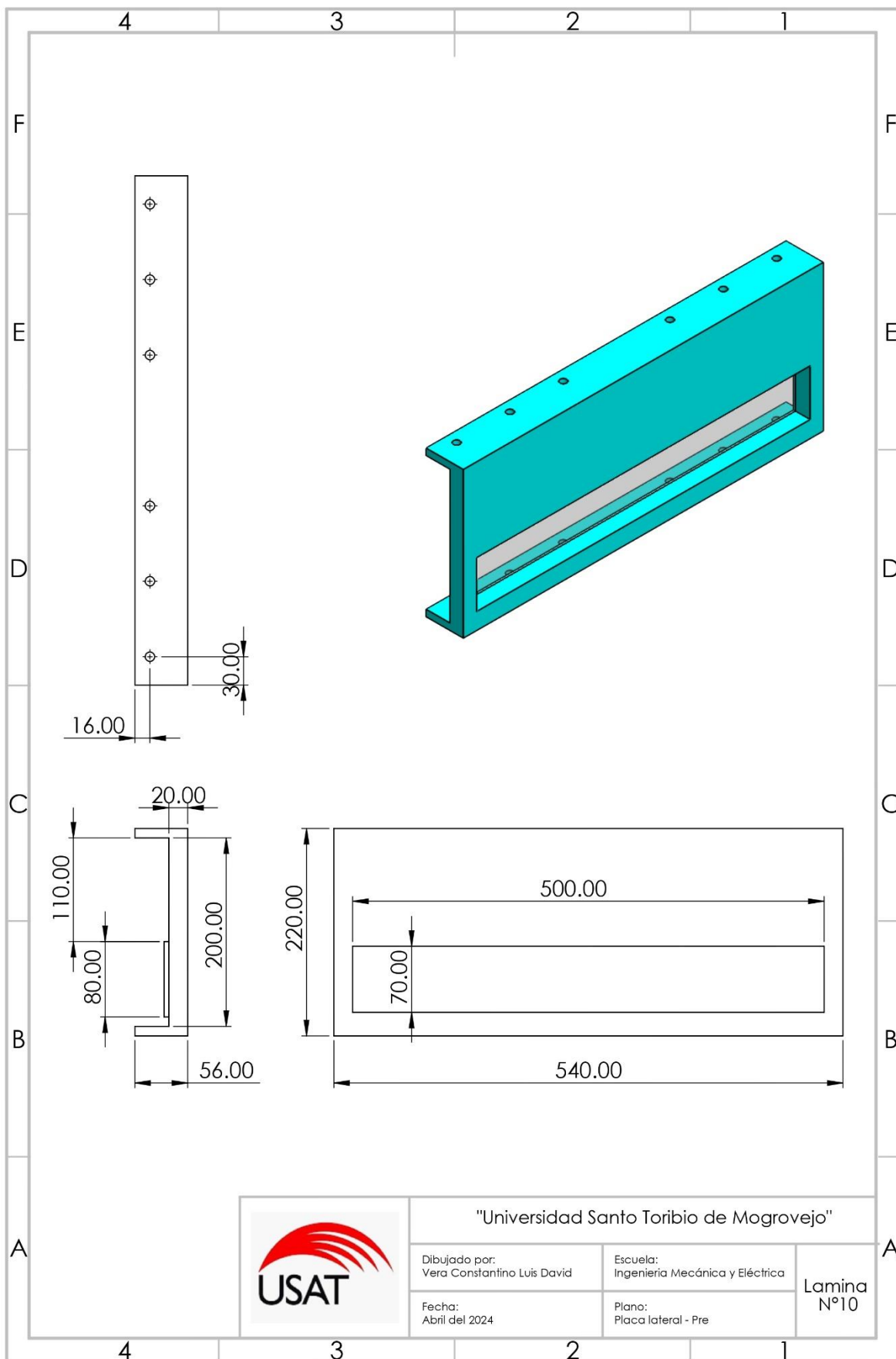
Dibujado por:
Vera Constantino Luis David

Escuela:
Ingeniería Mecánica y Eléctrica

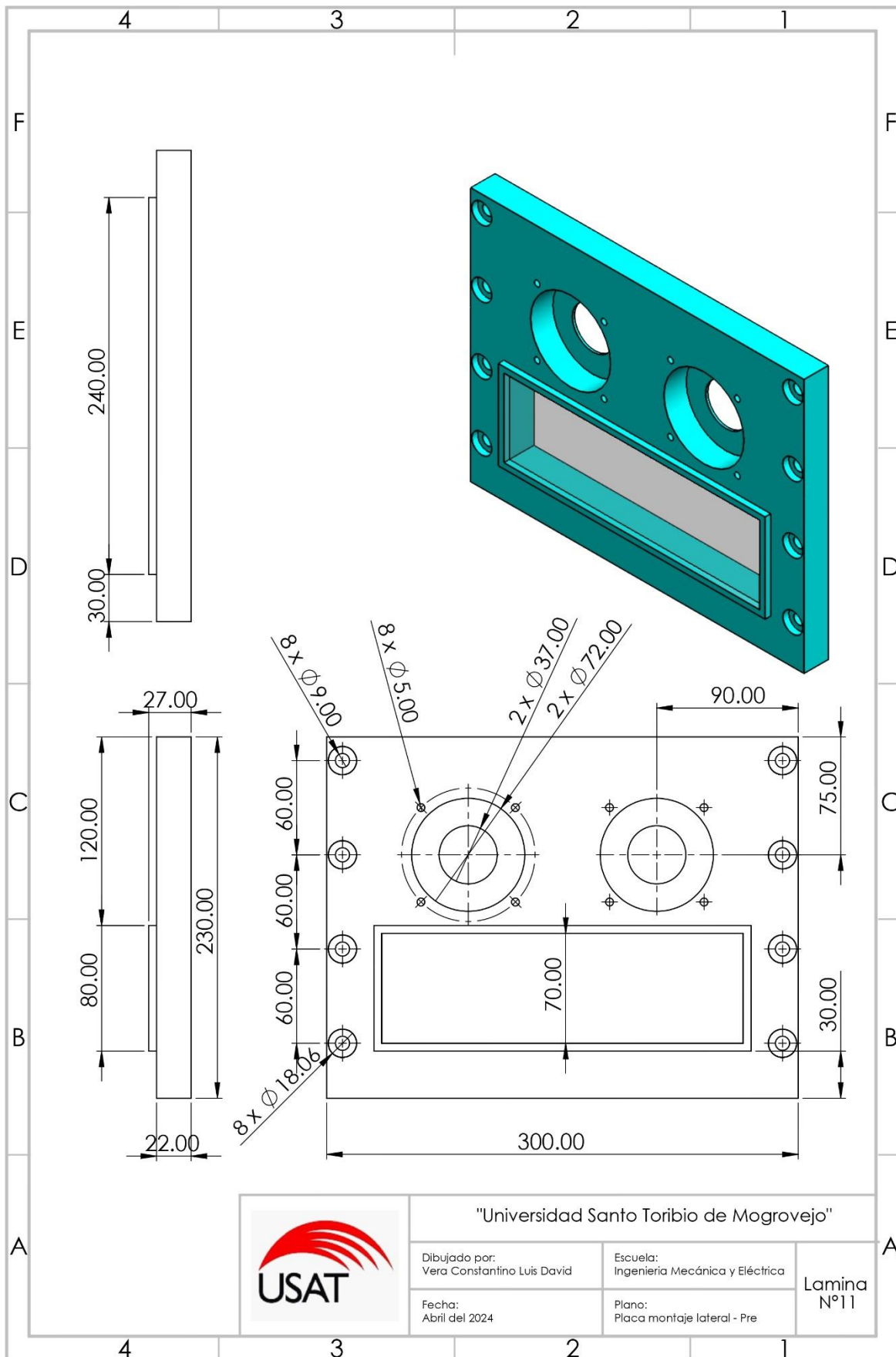
Fecha:
Abril del 2024

Plano:
Placa lateral - Trituradora

Lamina
N°9



	"Universidad Santo Toribio de Mogrovejo"		
	Dibujado por: Vera Constantino Luis David	Escuela: Ingeniería Mecánica y Eléctrica	Lamina N°10
Fecha: Abril del 2024	Plano: Placa lateral - Pre		



"Universidad Santo Toribio de Mogrovejo"

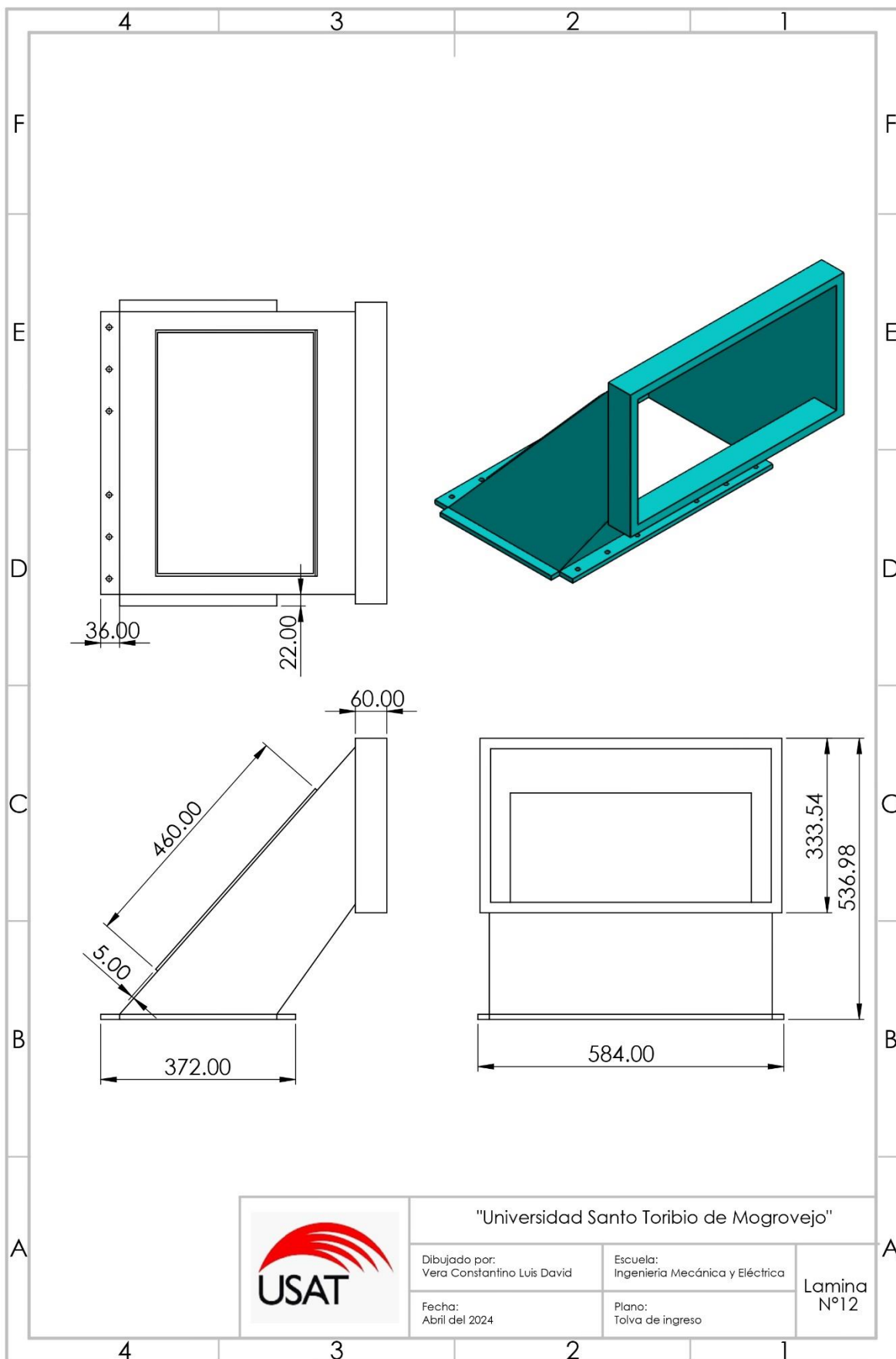
Dibujado por:
Vera Constantino Luis David

Escuela:
Ingeniería Mecánica y Eléctrica

Fecha:
Abril del 2024

Plano:
Placa montaje lateral - Pre

Lamina
N°11



"Universidad Santo Toribio de Mogrovejo"

Dibujado por:
Vera Constantino Luis David

Escuela:
Ingeniería Mecánica y Eléctrica

Fecha:
Abril del 2024

Plano:
Tolva de ingreso

Lamina
N°12