



# **UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI**

**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS**

**CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA**

## **PROPUESTA TECNOLÓGICA**

**“DISEÑO DE PROTOTIPO DE UNA MÁQUINA TRITURADORA  
DE PLÁSTICOS PET”**

Propuesta Tecnológica presentado previo a la obtención del Título de  
Ingeniero Electromecánico

### **AUTORES:**

Bryan Stalin Saquina Moposita  
Bryan Alejandro Simba Tipantuña

### **TUTOR:**

Ing. Héctor Raúl Reinoso Peñaherrera. MsC

**LATACUNGA - ECUADOR  
MARZO – 2024**

## DECLARACIÓN DE AUTORÍA

SAQUINGA MOPOSITA BRYAN STALIN, con cédula de ciudadanía No. **1805533575**,  
SIMBA TIPANTUÑA BRYAN ALEJANDRO, con cédula de ciudadanía No. **0504416603**  
declaramos ser autores de la presente PROPUESTA TECNOLÓGICA: “DISEÑO DE  
PROTOTIPO DE UNA MÁQUINA TRITURADORA DE PLÁSTICOS PET”, siendo el  
Ing. Héctor Raúl Reinoso Peñaherrera MsC., Tutor del presente trabajo; y; eximo expresamente  
a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posibles reclamos o  
acciones legales.

Además, certifico que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en la presente  
propuesta tecnológica, son de nuestra exclusiva responsabilidad.

Latacunga, 23 de febrero del 2024



.....  
Saquinga Moposita Bryan Stalin  
C.C: 1805533575



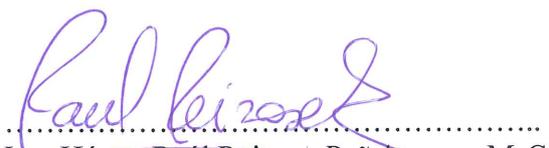
.....  
Simba Tipantuña Bryan Alejandro  
C.C: 0504416603

## AVAL DEL TUTOR DE LA PROPUESTA TECNOLÓGICA

En calidad de Tutor de la Propuesta Tecnológica sobre el título:

**“DISEÑO DE PROTOTIPO DE UNA MÁQUINA TRITURADORA DE PLÁSTICOS PET”**, de Saquina Moposita Bryan Stalin; Simba Tipantuña Bryan Alejandro, de la carrera de Electromecánica, considero que dicho Informe tecnológico es merecedor del aval de aprobación al cumplir las normas técnicas, traducción y formatos previstos, así como también ha incorporado las observaciones y recomendaciones propuestas en la pre-defensa.

Latacunga, 23 de febrero del 2024

  
.....  
Ing. Héctor Raúl Reinoso Peñaherrera. MsC  
C.C: 0502150899  
**TUTOR**

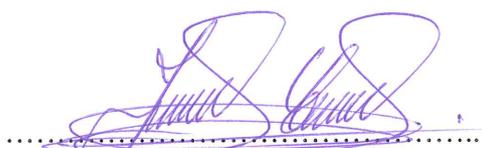
## AVAL DE APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN

En calidad de Tribunal de Lectores, aprueban la presente **Propuesta Tecnológica** de acuerdo a las disposiciones reglamentarias emitidas por la Universidad Técnica de Cotopaxi, y, por la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas; por cuanto; **los postulantes: Saquina Moposita Bryan Stalin** con cédula de ciudadanía No. 1805533575; **Simba Tipantuña Bryan Alejandro** con cédula de ciudadanía No. 0504416603, con el título de la **Propuesta Tecnológica: “DISEÑO DE PROTOTIPO DE UNA MÁQUINA TRITURADORA DE PLÁSTICOS PET”**, ha considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometido al acto de sustentación del trabajo de titulación.

Por lo antes expuesto, se autoriza grabar los archivos correspondientes en un CD, según la normativa institucional.

Latacunga, 23 de febrero del 2024

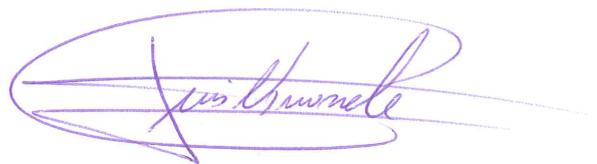
Para constancia firman:



Ing. Segundo Ángel Cevallos Betún. MsC

C.C: 050178243-7

**LECTOR 1 (PRESIDENTE)**



Ing. Luis Miguel Navarrete López. MsC

C.C: 180374728-4

**LECTOR 2 (MIEMBRO)**



Ing. Enrique Torres Tamayo. PhD

C.C: 175712194-0

**LECTOR 3 (MIEMBRO)**

## **AGRADECIMIENTO**

*Primeramente, agradezco a Dios por brindarme la fortaleza y sabiduría para cumplir cada una de mis metas propuestas, a la Universidad Técnica de Cotopaxi, al personal docente y administrativo de la Facultad de CIYA carrera de Electromecánica por el apoyo brindado durante el transcurso de proceso académico. Al Ingeniero Héctor Reinoso MsC y a los ingenieros miembros del tribunal por su apoyo y orientación vocacional brindada durante el desarrollo del proyecto. A mis compañeros y conocidos que de alguna manera me apoyaron, dejando así en grande el más sincero agradecimiento de gratitud y amistad.*

***Bryan Saquina***

## **DEDICATORIA**

*El momento en que el ser humano culmina una meta, es cuando se detiene a hacer un recuento de todas las ayudas recibidas, de las voces de aliento, de las expresiones de amor y comprensión; es por eso que dedico este triunfo estudiantil a mi madre por su esfuerzo incondicional y apoyo moral que con sus consejos de sabiduría siempre ha estado pendiente de mi trabajo y apoyándome sin escatimar sacrificio alguno. A mi padre y a mi querido hermana, por la paciencia y apoyo incondicional brindado, y para que este logro sea un incentivo para continuar luchando y culminar con éxito todas mis metas estudiantiles. Y finalmente al Ingeniero Héctor Raúl Reinoso Peñaherrera MsC que ha contribuido en gran parte con mi trabajo de titulación.*

***Bryan Saquinga***

## **AGRADECIMIENTO**

*Quisiera expresar mi más sincero agradecimiento a todas las personas que han contribuido de manera significativa en la culminación de este proyecto.*

*A mis queridos amigos de clase, les agradezco por llenar estos años de estudio con risas, apoyo y momentos inolvidables. Vuestra presencia ha sido un importante en los momentos de estrés y un motivo de celebración en los triunfos compartidos.*

*Agradezco a mi tutor de tesis, Ing. Raúl Reinoso Peñaherrera MsC, cuya orientación, paciencia y sabiduría han sido fundamentales para dar forma a este proyecto.*

*Finalmente, quiero expresar mi profunda gratitud a mi familia por su amor incondicional, apoyo constante y por ser mi fuente de inspiración.*

*A todos ustedes, amigos, familia y tutor, les agradezco por ser parte de este viaje, por creer en mí y por alentarme a seguir adelante incluso cuando las dificultades parecían insuperables.*

**Bryan Simba**

## **DEDICATORIA**

*Este proyecto se lo dedico a mis padres, quienes han sido mi inspiración y guía, les agradezco por su sacrificio, por su apoyo inquebrantable y por haber sembrado en mí la semilla del conocimiento y el valor del esfuerzo. A mis hermanos, por ser mis cómplices, confidentes y por comprender las ausencias y dedicaciones que este camino ha exigido. Este logro es también vuestro, pues sin su apoyo y comprensión, hoy no estaría celebrando este importante logro en mi vida.*

*Con todo mi cariño y gratitud.*

***Bryan Simba***

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI**  
**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS**

**TÍTULO: “DISEÑO DE PROTOTIPO DE UNA MÁQUINA TRITURADORA DE  
PLÁSTICOS PET”**

**Autores:**

**Saquina Moposita Bryan Stalin**  
**Simba Tipantuña Bryan Alejandro**

**RESUMEN**

Con el fin de afrontar la problemática del limitado aprovechamiento de material PET en relación al volumen/peso que ha generado un incremento considerable en el proceso de reciclaje, se ha optado por fabricar una máquina trituradora para reducir el volumen del plástico en un 85% y facilitar su reutilización en otros procesos. Para lo expuesto, se realizó una exhaustiva revisión de literatura basada en el diseño y selección de componentes, pero antes de abordar con el diseño se ha identificado parámetros clave, como espesores críticos de la botella, selección del tipo material para fabricar cuchillas, dimensión del mejor agarre considerable entre cuchilla/botella y determinar la capacidad de trituración en variable de tiempo. La optimización de este proceso de diseño se llevó a cabo mediante el uso de herramientas CAD - CAE con el propósito de garantizar el diseño y estabilidad de la máquina trituradora, analizando periódicamente el comportamiento de componentes como cuchillas, ejes de trituración y su estructura base. Tomando en consideración la resistencia a la tracción del plástico (90 MPa) se ha complementado la fabricación de cuchillas en acero ASTM A36 para un espesor de 8 mm con un diámetro de 100 mm y de acuerdo al análisis finito esta cuchilla tiene un esfuerzo cortante de 126,6 MPa suficiente para triturar el plástico y un factor de seguridad de 2. Una vez finiquitada la máquina se realizó diferentes pruebas de funcionamiento, dando como resultado las siguientes variables de salida: un tiempo de trituración de 15,20 segundos por 200 gramos de material triturado, esta cantidad se ajusta al dimensionamiento máxima de la tolva, un tamaño de partícula mínimo de 8x12 mm y un máximo de 8x66 mm, un consumo energético  $7,85 \times 10^{-4}$  kWh por ciclo de trituración. Por tanto, esta máquina se fabricó para satisfacer una mejora en la reducción de volumen del plástico PET.

**Palabras clave:** Esfuerzo, máquina, resistencia, tracción, trituración, volumen.

# **TECHNICAL UNIVERSITY OF COTOPAXI**

**FACULTY OF APPLIED SCIENCES AND ENGINEERING**

**THEME: “PLASTIC PET PROTOTYPE DESIGN CRUSHER MACHINE”**

**Authors:**

**Saquina Moposita Bryan Stalin  
Simba Tipantuña Bryan Alejandro**

## **ABSTRACT**

In order to address the utilization limited issue of PET material in relation to volume/weight, which has led to a considerable increase in the recycling process, it has been decided to manufacture a shredder machine to reduce plastic volume by 85% and facilitate its reuse in other processes. For this purpose, an exhaustive literature review was conducted based on design and component selection. However, before proceeding with the design, key parameters were identified, such as critical bottle thickness, selection of material type for blade fabrication, dimension of the optimal grip between blade/bottle, and determination of crushing capacity as a time function. The optimization of this design process was carried out using CAD-CAE tools to ensure the design and stability of the shredder machine, periodically analyzing the components behavior such as blades, crushing shafts, and its structure base. Taking into consideration the tensile strength of plastic (90 MPa), blades manufacturing in ASTM A36 steel with a thickness of 8mm and a diameter of 100mm has been complemented. According to finite analysis, this blade has a shear stress of 126.6 MPa, sufficient for plastic crushing, with a safety factor of 2. Once the machine was completed, various performance tests were conducted, resulting in the following output variables: a crushing time of 15.20 seconds per 200 grams of shredded material, which aligns with maximum hopper dimensioning, a minimum particle size of 8x12 mm and a maximum of 8x66 mm, and an energy consumption of 0.00942 kW per crushing cycle. Therefore, this machine was manufactured to meet an improvement in less volume of PET plastic.

**Keywords:** Effort, machine, resistance, traction, crushing, volume.

## *AVAL DE TRADUCCIÓN*

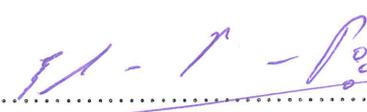
En calidad de Docente del Idioma Inglés del Centro de Idiomas de la Universidad Técnica de Cotopaxi; en forma legal **CERTIFICO** que:

La traducción del resumen al idioma inglés del proyecto tecnológico cuyo título versa: “**DISEÑO DE PROTOTIPO DE UNA MÁQUINA TRITURADORA DE PLÁSTICOS PET**” presentado por: **Saquina Moposita Bryan Stalin** con número de cédula: 1805533575 y **Simba Tipantuña Bryan Alejandro** con número de cédula: 0504416603, egresados de la Carrera de: **Ingeniería Electromecánica**, perteneciente a la **Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas**, lo realizaron bajo mi supervisión y cumple con una correcta estructura gramatical del Idioma.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad y autorizo a los peticionarios hacer uso del presente aval para los fines académicos legales.

Latacunga, 23 de febrero del 2024

Atentamente,

  
 CENTRO  
DE IDIOMAS

Lic. Edison Marcelo Pacheco Pruna Mg.  
**DOCENTE CENTRO DE IDIOMAS-UTC**  
CI: 0502617350

# ÍNDICE DE CONTENIDOS

1. INTRODUCCIÓN.....	2
1.1 Antecedentes .....	2
1.2 Justificación.....	3
1.3 Planteamiento del problema.....	3
1.3.1 Formulación del problema.....	3
1.4 OBJETIVOS.....	4
1.4.1 Objetivo general .....	4
1.4.2 Objetivos específicos.....	4
1.5. DESCRIPCIÓN DE LAS ACTIVIDADES Y TAREAS PROPUESTAS CON LOS OBJETIVOS ESTABLECIDOS .....	5
2 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA .....	6
2.1. El plástico .....	6
2.1.1 Tipos de plásticos .....	6
2.1.2 Tereftalato de polietileno (PET) .....	7
2.1.3 Reciclaje de plásticos en material PET .....	8
2.1.4 Tipos de reciclaje.....	9
2.1.5 Reciclaje Mecánico .....	9
2.1.6 Aplicaciones del PET reciclado.....	10
2.2 PARÁMETROS Y REQUERIMIENTOS .....	10
2.2.1 Tamaño y diseño del plástico PET.....	11
2.2.2 Reducción de volumen del plástico (Granulometría).....	11
2.2.3 Capacidad .....	12
2.2.4 Material a procesar.....	12
2.2.5 Propiedades Mecánicas del plástico PET .....	12
2.3 Materiales de construcción.....	13
2.3.1 Aceros inoxidables .....	13
2.3.2 Aceros estructurales.....	13
2.3.3 Características generales del acero ASTM A36.....	14
2.4 Máquinas Trituradoras .....	14
2.4.1 Definición .....	14
2.4.2 Tipos de máquinas trituradoras.....	14
2.4.3 Características que hay que tomar en cuenta en un triturador.....	15

2.4.4	Selección del tipo de triturador.....	16
2.4.5	Factores de Seguridad.....	16
2.4.6	Proceso de trituración .....	16
2.4.7	Máquina de trituradora de dos ejes.....	16
2.4.8	Funcionamiento por sistemas de la máquina .....	16
2.4.9	Posibles fallas o problemas de la máquina .....	17
2.5	Clasificación de cuchillas .....	17
2.6	Sistema de corte .....	18
2.6.1	Fuerza de corte .....	18
2.6.2	Estructura general de las cizallas.....	18
2.6.3	Velocidades de corte para la molienda y trituración .....	19
2.7	Sistema Estructural.....	20
2.7.1	Sistema de abastecimiento.....	20
2.7.2	Salida del material .....	20
2.7.3	Sistema eléctrico.....	21
2.8	Métodos de proceso de diseño .....	21
2.9	Riesgos de operación de una máquina .....	22
2.9.1	Tipo de riesgos .....	22
2.9.2	Importancia de evaluar los riesgos .....	22
3	DESARROLLO DE LA PROPUESTA.....	23
3.1	Metodología.....	23
3.2	Diseño conceptual.....	23
3.2.1	Análisis de funcionalidad .....	23
3.2.2	Estructura funcional por secciones .....	23
3.2.3	Matriz morfológica.....	25
3.2.4	Análisis de requerimiento del proyecto .....	26
3.3	PARÁMETROS DE DISEÑO.....	27
3.3.1	Resistencia a la cizalladura.....	27
3.3.2	Fuerza de corte de botella PET .....	27
3.3.3	Dimensionamiento del eje .....	28
3.3.4	Selección de motorreductor .....	30
3.3.5	Dimensionamiento de engranajes.....	32
3.3.6	Dimensión de rodamientos .....	33
3.3.7	Diseño de estructura .....	35

3.4	Procedimiento Software de análisis de elementos finitos .....	36
4	ANÁLISIS DE RESULTADOS .....	37
4.1	Cálculo para el diseño y selección de componentes .....	37
4.1.1	Generalidades .....	37
4.2	Cálculo de resistencia a la cizalladura y fuerza de corte .....	37
4.2.1	Resistencia al cizallamiento .....	37
4.2.2	Fuerza de corte .....	37
4.3	Diseño del eje de trituración .....	38
4.3.1	Componentes que actúan sobre el eje de trituración .....	39
4.3.2	Espesor crítico de la botella.....	41
4.3.3	Cálculos para la determinación del diámetro del eje.....	42
4.4	Diagrama de cuerpo libre .....	43
4.5	Diagrama de Momentos.....	44
4.6	Determinación del diámetro del eje trituración .....	45
4.6.1	Límite de fatiga.....	45
4.6.2	Límite de Resistencia a la fatiga del material ( $Se'$ ).....	46
4.6.3	Factores de concentración de esfuerzos.....	47
4.7	Diseño y especificaciones del chavetero .....	50
4.8	Proceso de Selección del motorreductor .....	50
4.8.1	Torque necesario .....	50
4.8.2	Potencia del motor (Pa) .....	50
4.8.3	Potencia de entrada (Pe) .....	51
4.8.4	Relación de transmisión (i).....	51
4.8.5	Factor de servicio (Fs).....	52
4.8.6	Momento generado del motorreductor .....	53
4.9	Diseño y selección de engranajes.....	54
4.10	Selección de rodamientos .....	56
4.11	Diseño del cuerpo de trituración.....	57
4.11.1	Caja trituradora.....	57
4.11.2	Cuchilla de corte.....	59
4.11.3	Diseño de estructura base .....	59
4.12	Diseño del circuito de fuerza y mando .....	63
4.13	Validación de componentes mediante el Análisis de elementos finitos.....	64
4.13.1	Simulación del uso de Software Autodesk Fusion 360 .....	64
4.13.2	Cuchilla en Acero ASTM A36 .....	64

4.13.3	Eje de Trituración Acero AISI 1018 .....	66
4.13.4	Estructura base Acero ASTM A36.....	68
4.14	Pruebas de funcionamiento .....	70
4.14.1	Tiempo de corte en función al peso.....	70
4.14.2	Dimensionamiento de la Tolva Superior .....	70
4.14.3	Comparativo volumen/peso del recipiente .....	71
4.14.4	Tamaño de trituración.....	74
4.15	Análisis del consumo energético dependiendo el volumen y las horas de trabajo .....	74
4.15.1	Consumo energético al procesar 200 gramos en un tiempo de 15,20 segundos.....	74
4.15.2	Consumo energético al procesar 48 kg de material triturado en una Hora.....	75
4.15.3	Análisis de trituración del peso en kg por 20 días.....	75
4.16	Variables que influyen en el proceso de trituración.....	76
4.17	ANÁLISIS ECONÓMICO DEL PROYECTO .....	77
4.17.1	Costos directos de fabricación.....	77
4.18	Impactos que puedan tener la máquina en el proceso de funcionamiento .....	79
5	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	80
5.1	Conclusiones .....	80
5.2	Recomendaciones .....	81
6	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	81
7	ANEXOS.....	85

## Índice de Figuras

<b>Figura 2.1.</b>	Tipos de plásticos .....	7
<b>Figura 2.2.</b>	Propiedades de los plásticos PET .....	8
<b>Figura 2.3.</b>	Ciclo de reciclaje de los plásticos PET [4] .....	8
<b>Figura 2.4.</b>	Tipos de reciclaje y su implantación .....	9
<b>Figura 2.5.</b>	Ciclo Reciclado Mecánico PET .....	9
<b>Figura 2.6.</b>	Aplicaciones más comunes del reciclado del PET .....	10
<b>Figura 2.7.</b>	Esquema de Requerimientos y Parámetros para prototipo de Trituradora PET [6] .....	10
<b>Figura 2.8.</b>	Dimensionamiento reciclable de una botella PET [7] .....	11
<b>Figura 2.9.</b>	Tipos de Máquina Trituradora - ventajas y desventajas .....	15
<b>Figura 2.10.</b>	Sistematización de la Máquina trituradora de doble eje .....	16
<b>Figura 2.11.</b>	Clasificación y características de cuchillas .....	17
<b>Figura 2.12.</b>	Fuerza de corte por cizallamiento [18] .....	18
<b>Figura 2.13.</b>	Ángulo de corte de cizalla [19] .....	19
<b>Figura 2.14.</b>	Ángulo de corte de cizalla [19] .....	19
<b>Figura 2.15.</b>	Fases de proceso de diseño y construcción [22] .....	21
<b>Figura 2.16.</b>	Tipos de Riesgos .....	22
<b>Figura 3.1.</b>	Análisis de proceso de la maquina trituradora .....	23
<b>Figura 3.2.</b>	Estructura funcional por secciones .....	24
<b>Figura 3.3.</b>	Selección de alternativa – Máquina trituradora de doble ejes .....	26
<b>Figura 3.4.</b>	Cizallas de cuchillas paralelas [18] .....	27
<b>Figura 3.5.</b>	Diseño del eje de trituración dividida por secciones .....	28
<b>Figura 3.6.</b>	Especificaciones del diente de un engranaje [29] .....	32
<b>Figura 3.7.</b>	Chumacera tipo brida ovalada [30] .....	33
<b>Figura 3.8.</b>	Software para el realizar modelados 3D .....	36
<b>Figura 3.9.</b>	Selección de del tipo de carga en el software .....	36
<b>Figura 3.10.</b>	Selección restricciones o sujeciones en el software .....	36
<b>Figura 3.11.</b>	Mallado fino en la cuchilla .....	36
<b>Figura 4.1.</b>	Geometría de la cuchilla de 4 dientes .....	40
<b>Figura 4.2.</b>	Cámara de trituración de una botella 500ml .....	40
<b>Figura 4.3.</b>	Medida del espesor en el pico de la botella 500ml .....	42
<b>Figura 4.4.</b>	Medida del espesor en la lámina de la botella 500ml .....	42
<b>Figura 4.5.</b>	Diagrama de cuerpo libre .....	43
<b>Figura 4.6.</b>	Simulación de fuerza cortante y momento flector [37] .....	43
<b>Figura 4.7.</b>	Diagrama de fuerza cortante .....	44
<b>Figura 4.8.</b>	Diagrama momento flector .....	44
<b>Figura 4.9.</b>	Diagrama momento Torsor .....	45
<b>Figura 4.10.</b>	Dimensionamiento del eje .....	50

<b>Figura 4.11.</b>	Selección del Factor de servicio dependiendo el número de horas [40] .....	52
<b>Figura 4.12.</b>	Posición del motorreductor en la máquina trituradora. [41].....	53
<b>Figura 4.13.</b>	Dimensiones de dientes en función al módulo [29]. Ver ANEXO 19 .....	55
<b>Figura 4.14.</b>	Distancia entre centros y distancia de separación entre cuchilla y eje .....	55
<b>Figura 4.15.</b>	Datos del cálculo de rodamiento UCFL205D1 [30].....	57
<b>Figura 4.16.</b>	Estructura metálica.....	57
<b>Figura 4.17.</b>	Soporte frontal y trasera de la caja de trituración.....	58
<b>Figura 4.18.</b>	Soporte lateral por piezas para la caja de trituración.....	58
<b>Figura 4.19.</b>	Cuchilla de corte de 4 filos.....	59
<b>Figura 4.20.</b>	Estructura metálica diseñada por columnas, vigas y con lamina en ASTM A36.....	59
<b>Figura 4.21.</b>	Diagrama eléctrico de encendido de la máquina trituradora .....	63
<b>Figura 4.22.</b>	Tensión de Von Mises (MPa) en los 4 dientes de la cuchilla.....	64
<b>Figura 4.23.</b>	Desplazamiento (mm) por diente de la cuchilla .....	65
<b>Figura 4.24.</b>	Deformaciones en cada diente dependiendo la fuerza aplicada. ....	65
<b>Figura 4.25.</b>	Factor de Seguridad (FDS:2).....	66
<b>Figura 4.26.</b>	Esfuerzos de Von Mises (MPa) del eje de trituración.....	66
<b>Figura 4.27.</b>	Desplazamiento del eje de trituración .....	67
<b>Figura 4.28.</b>	Factor de seguridad del eje de trituración .....	67
<b>Figura 4.29.</b>	Tensión de Von Mises de la estructura base .....	68
<b>Figura 4.30.</b>	Deformación de estructura base mediante una carga puntual .....	68
<b>Figura 4.31.</b>	Factor de Seguridad de la estructura base .....	69
<b>Figura 4.32.</b>	Fabricación del diseño en 3D en Fusión 360.....	69
<b>Figura 4.33.</b>	Volumen de la Tolva Superior .....	70
<b>Figura 4.34.</b>	Recipiente de trituración en base a su volumen .....	71
<b>Figura 4.35.</b>	Peso total de material triturado.....	73
<b>Figura 4.36.</b>	Tamaño de trituración a y b.....	74

## Índice de Tablas

<b>Tabla 1.1.</b>	Sistema de tareas en relación a los objetivos .....	5
<b>Tabla 2.1.</b>	Etapas y dimensiones de trituración de plástico.....	11
<b>Tabla 2.2.</b>	Pesos de diferentes botellas plásticas [9]. ....	12
<b>Tabla 2.3.</b>	Propiedades Mecánicas del PET [11].....	12
<b>Tabla 2.4.</b>	Propiedades mecánicas AISI 1018.....	13
<b>Tabla 2.5.</b>	Propiedades mecánicas del acero ASTM A36 [14].....	14
<b>Tabla 2.6.</b>	Posibles fallas o problemas de la maquina trituradora [17] .....	17
<b>Tabla 3.1.</b>	Resistencia a la fluencia y tensión AISI 1018 .....	28
<b>Tabla 3.2.</b>	Cálculo para el diseño de engranajes .....	32
<b>Tabla 3.3.</b>	Índice básico de vida, factor de vida de fatiga y factor de velocidad [31] .....	34

<b>Tabla 4.1.</b>	Propiedades mecánicas del acero AISI 1018 [14].....	38
<b>Tabla 4.2.</b>	Especificaciones analizadas del eje hexagonal.....	38
<b>Tabla 4.3.</b>	Diseño en Autodesk Fusion 360 de diferentes tipos de cuchillas.....	39
<b>Tabla 4.4.</b>	Propiedades mecánicas del acero ASTM A36 [14].....	40
<b>Tabla 4.5.</b>	Especificaciones analizadas de la cuchilla .....	41
<b>Tabla 4.6.</b>	Especificaciones analizadas del separador .....	41
<b>Tabla 4.7.</b>	Peso específico de la botella PET de 500ml.....	42
<b>Tabla 4.8.</b>	Parámetros en el factor de condición superficial. [38].....	45
<b>Tabla 4.9.</b>	Factores de corrección calculados.....	47
<b>Tabla 4.10.</b>	Tabla de resumen de cálculo .....	49
<b>Tabla 4.11.</b>	Dimensión del chavetero .....	50
<b>Tabla 4.12.</b>	Especificaciones del motor seleccionado [40] .....	51
<b>Tabla 4.13.</b>	Características del motor reductor .....	53
<b>Tabla 4.14.</b>	Cálculo para el dimensionamiento del diente de engranajes [29] .....	54
<b>Tabla 4.15.</b>	Valores del fs por condiciones de funcionamiento [30].....	56
<b>Tabla 4.16.</b>	Resultados de simulación cuchilla 4 filos .....	66
<b>Tabla 4.17.</b>	Resultados de simulación de eje hexagonal .....	67
<b>Tabla 4.18.</b>	Resultados de simulación de estructura base.....	69
<b>Tabla 4.19.</b>	Pruebas de trituración PET.....	70
<b>Tabla 4.20.</b>	Especificaciones de la Tolva Superior .....	70
<b>Tabla 4.21.</b>	Peso botellas sin aplastar.....	71
<b>Tabla 4.22.</b>	Peso botellas sin aplastar trituradas.....	72
<b>Tabla 4.23.</b>	Peso botellas aplastadas .....	72
<b>Tabla 4.24.</b>	Peso botellas aplastadas trituradas .....	72
<b>Tabla 4.25.</b>	Promedio comparativo P3 .....	73
<b>Tabla 4.26.</b>	Tamaño de trituración .....	74
<b>Tabla 4.27.</b>	Datos para el cálculo de consumo energético.....	74
<b>Tabla 4.28.</b>	Costos de consumo energético .....	75
<b>Tabla 4.29.</b>	Datos para el cálculo de consumo energético.....	75
<b>Tabla 4.30.</b>	Costos de consumo energético .....	75
<b>Tabla 4.31.</b>	Datos para el cálculo de consumo energético.....	76
<b>Tabla 4.32.</b>	Costos de consumo energético .....	76
<b>Tabla 4.33.</b>	VARIABLES DE INTERVENCIÓN.....	77
<b>Tabla 4.34.</b>	Costos de material .....	77
<b>Tabla 4.35.</b>	Costos de mano de obra .....	78
<b>Tabla 4.36.</b>	Costos de utilización de máquinas herramientas.....	78
<b>Tabla 4.37.</b>	Costos directos totales.....	78
<b>Tabla 4.38.</b>	Costos indirectos .....	78
<b>Tabla 4.39.</b>	Costos totales de fabricación.....	78

## INFORMACIÓN GENERAL

**Título del proyecto:**

“DISEÑO DE PROTOTIPO DE UNA MÁQUINA TRITURADORA DE PLÁSTICOS PET”

**Fecha de inicio:**

Octubre 2023

**Fecha de finalización:**

Marzo 2024

**Lugar de ejecución:**

**Región:** Sierra

**Provincia:** Cotopaxi

**Parroquia:** Eloy Alfaro

**Sector:** San Felipe

**Facultad que auspicia:** Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas (CIYA)

**Carrera que auspicia:** Ingeniería Electromecánica

**Equipo de trabajo:**

Saquina Moposita Bryan Stalin

Simba Tipantuña Bryan Alejandro

**Tutor:**

Ing. Héctor Raúl Reinoso Peñaherrera MsC.

**Área de conocimiento:**

Área	Subárea
07 ingeniería, industria y construcción	071 ingeniería y profesiones afines

**Línea de investigación:**

Procesos industriales

**Sublínea de investigación:**

Diseño, construcción y mantenimiento de elementos, prototipos y sistemas electromecánicos.

## **1. INTRODUCCIÓN**

En la actualidad, los plásticos han llegado a ser una parte integral de nuestra vida cotidiana, utilizados en una amplia variedad de productos debido a su versatilidad y conveniencia. Sin embargo, esta creciente dependencia también ha generado preocupaciones significativas sobre la acumulación de residuos plásticos y sus impactos ambientales. La acumulación excesiva de botellas de plástico PET, en particular, representa un desafío importante debido a su volumen abrumador y la dificultad para su manejo y transporte.

En este contexto, las máquinas trituradoras de plásticos juegan un papel crucial en la reducción del volumen de estos desechos, facilitando su manejo y reciclaje. Estas máquinas permiten procesar los desechos plásticos, triturándolos en fragmentos más pequeños que ocupan menos espacio y son más fáciles de manejar. Además de abordar la problemática de la acumulación de plásticos, la utilización de máquinas trituradoras también contribuye a promover prácticas sostenibles para la gestión de estos materiales.

### **1.1 ANTECEDENTES**

En los últimos años, la cantidad de residuos plásticos PET (tereftalato de Polietileno) que acaban con el medio ambiente y suelo han aumentado a nivel global. Además, este material necesita más de 500 años para degradarse, sin embargo, su producción dañaría el ecosistema como el impacto ambiental por acumulación de residuos en diferentes zonas del país.

Actualmente, en nuestro país la mayoría de bebidas y alimentos se almacenan en envases de plástico PET, este material se produce a diario y es conocido por tener una alta resistencia a la corrosión y a la vez son transparentes que permiten visualizar el contenido del envase. Por ende, una vez que estos envase o botellas de plástico cumplan su ciclo, serán tiradas a la basura, o almacenados en lugares que por lo general ocupan un volumen excesivo, ya que este material puede reutilizarse como materia prima en distintas aplicaciones, donde se realizan diferentes procesos como separación de botellas y triturado para la reducción del volumen de este material y luego comercializarlos. De este modo, es que se pretende implementar máquinas que realicen estos procesos como la trituración del material PET.

## **1.2 JUSTIFICACIÓN**

El presente estudio se centra en la reducción del volumen de botellas plásticas PET (tereftalato de polietileno), que son ampliamente utilizadas en la industria del envase de bebidas y otros productos. La acumulación excesiva de estas botellas representa un desafío significativo para la gestión de residuos, ya que su volumen dificulta su almacenamiento, transporte y procesamientos de reutilización adecuados.

## **1.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

El transporte o movimiento de diversos productos de plástico constituye una variable dentro de los costos de producción, de tal manera que es necesario buscar procesos que permitan establecer una conexión de eficiencia entre la relación volumen / peso. En el caso particular de los procesos de reciclaje, para interés de este proyecto centrado en plásticos de baja densidad (botellas plásticas PET), las botellas vacías por su propio diseño de funcionalidad hacen que el volumen que estas ocupen esté delimitado por su forma tridimensional y en el mejor de los casos al estar estas compactadas por presión manual en la forma de dimensión plana irregular, existiendo así espacios no aprovechados que hacen que la relación volumen / peso no sea totalmente aprovechada.

El proceso de trituración permite destruir la forma del producto, haciendo que la misma se convierta en filamentos planos de pequeña dimensión, permitiendo que su ordenamiento sea más eficiente y que la relación volumen / peso sea mejor aprovechada.

En la ciudad de Latacunga las empresas recicladoras artesanales, de acuerdo a un muestreo aleatorio realizado, no disponen de equipos de trituración, siendo esta una oportunidad propia que permitiría ofertar un procedimiento de mejora para optimizar los costos de transporte en la dinámica de este proceso particular.

### **1.3.1 Formulación del problema**

Limitado aprovechamiento de la relación volumen / peso en el proceso de reciclado de material plástico de baja densidad (producto: botellas de bebidas; material: PET).

## **1.4 OBJETIVOS**

### **1.4.1 Objetivo general**

- Diseñar un prototipo de máquina trituradora de botellas plásticas PET para reducir el volumen del material almacenado con capacidad de entrada en la tolva superior de hasta 800 g/min.

### **1.4.2 Objetivos específicos**

- Realizar una búsqueda de información bibliográfica que abarque propiedades generales del plástico PET, especificaciones para el diseño y principios de construcción del prototipo.
- Determinar el proceso de selección de materiales para el diseño y fabricación de cuchillas de corte y demás componentes mecánicos de la máquina mediante un análisis matemático.
- Generar una lista de resultados obtenidos mediante pruebas de funcionamiento de la máquina en relación al volumen/peso y tiempo de trituración del material plástico.

## 1.5. DESCRIPCIÓN DE LAS ACTIVIDADES Y TAREAS PROPUESTAS CON LOS OBJETIVOS ESTABLECIDOS

**Tabla 1.1.** Sistema de tareas en relación a los objetivos

PROPÓSITO	ACTIVIDADES	RESULTADOS	MEDIO DE VERIFICACIÓN
Realizar una búsqueda de información bibliográfica que abarque propiedades generales del plástico PET, especificaciones para el diseño y principios de construcción del prototipo.	Caracterización del plástico PET	Procesos de reciclaje, Clasificación y propiedades del plástico	Exploración documental y de campo
	Principios de construcción de prototipo	Procesos de fabricación artesanal de diferentes modelos de máquinas	Investigación audiovisual
	Proceso de molienda del material PET	El tamaño partícula del material resultante de la molienda	Investigación documental
Determinar el proceso de selección de materiales para el diseño y fabricación de cuchillas de corte y demás componentes mecánicos de la máquina mediante un análisis matemático.	Software para el diseño de piezas mediante el proceso CAD - CAE	Documentos que sientan las bases para todas las decisiones de diseño de la máquina	Investigación audiovisual y documental
	Diseño del prototipo de máquina trituradora 3D	Componentes de la máquina en un entorno tridimensional.	Planos de diseño
	Construcción de maquina trituradora	Corte de piezas y armado de la maquina	La máquina trituradoraes en proceso de funcionamiento.
Generar una lista de resultados obtenidos mediante pruebas de funcionamiento de la máquina en relación al volumen/peso y tiempo de trituración del material plástico.	Tiempo de trituración	Selección de componentes necesarios para la construcción del prototipo	Tablas de resumen en relación al tiempo triturado
	Relación volumen/peso	Disminuir el volumen en un 80% el material antes y después de la trituración	Análisis de trituración
	Tamaño de trituración del material plástico	Recipiente de partícula y tiras de trituración de material plástico	Verificación del material y tamaño por partículas y en tiras

## **2 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA**

Este apartado tiene por objetivo comprender y examinar de manera clara conocimientos previos e investigaciones relacionadas con el diseño de la máquina trituradora y material de trituración PET.

### **2.1. EL PLÁSTICO**

Siendo un material sintético u orgánico que en su gran mayoría está compuesto de forma principal de polímeros derivados del petróleo, que pueden ser moldeables y adaptables en diversas formas, se le pueden dar diferentes usos. Su versatilidad, ligereza y durabilidad lo convierten en uno de los materiales más usados en la industria actual [1].

El término plástico es ampliamente utilizado para referirse a una diversidad de materiales sintéticos empleados en la fabricación de diversos productos. Estos materiales se dividen en dos categorías principales: los termoplásticos y los plásticos termoestables. A diferencia de los termoestables, los termoplásticos están compuestos por moléculas poliméricas que, al ser sometidas a altas temperaturas, se vuelven líquidas y, al enfriarse, recuperan su estado sólido con propiedades físicas distintas. Esta característica los convierte en materiales solicitados debido a su capacidad de reciclaje.

El plástico, un material que se utiliza ampliamente en la industria, se obtiene principalmente mediante el procesamiento de combustibles fósiles, lo que implica la explotación de recursos naturales no renovables. Aunque dependemos en gran medida de este proceso, es importante destacar que los beneficios del plástico desempeñan un papel esencial en el impulso de la economía mundial, ya que es uno de los materiales más comunes y utilizados en diversas aplicaciones [1].

#### **2.1.1 Tipos de plásticos**

Los plásticos son materiales fabricados y se los encuentra en diferentes utilidades. por ende, se han vuelto esenciales en nuestro día a día. El plástico se ha transformado en un serio problema ambiental y un contaminante global. Sudurabilidad y resistencia hacen que los desechos plásticos persistan en el medio ambiente, a continuación, se presentan los tipos de plásticos más utilizados [2].

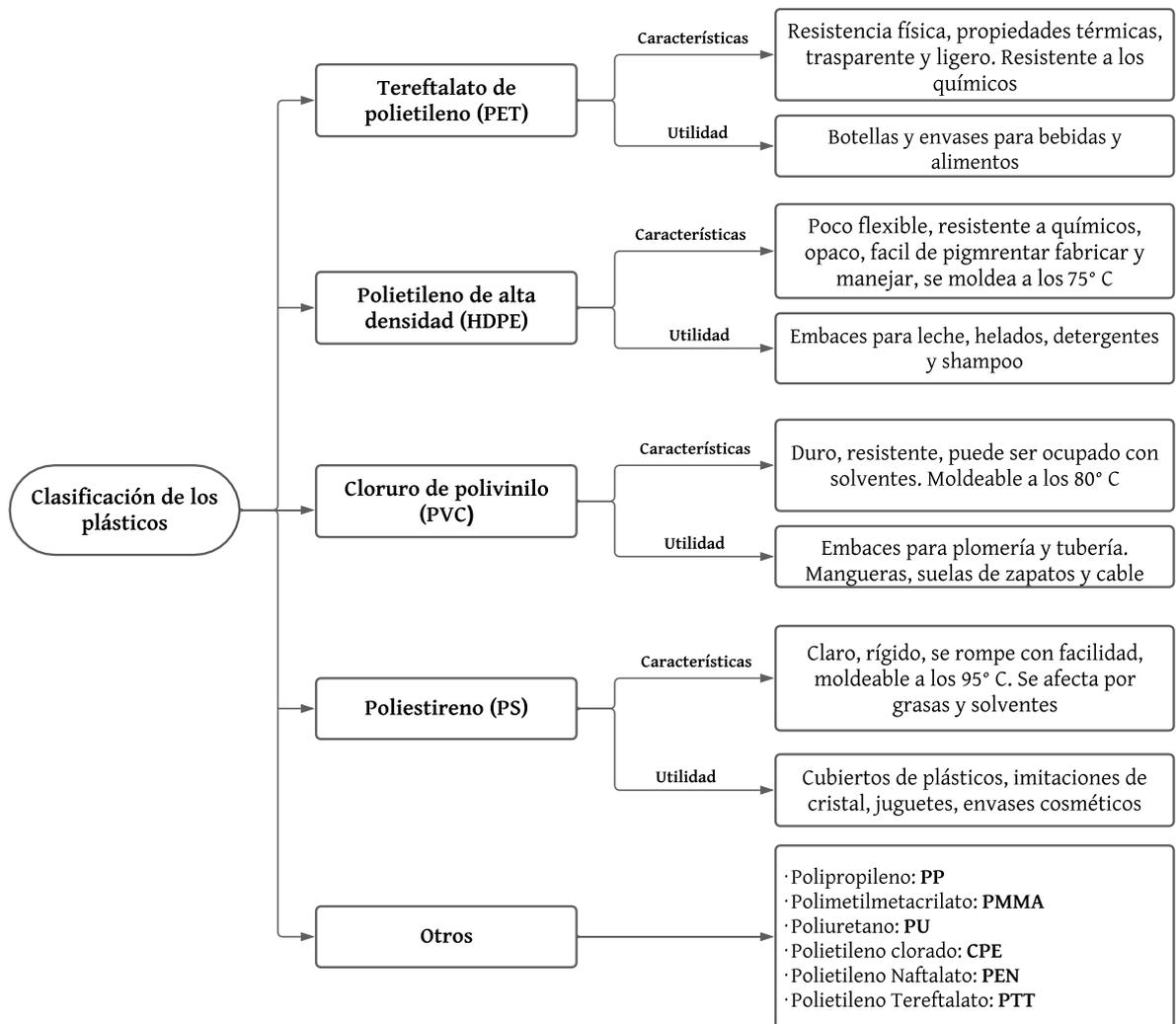


Figura 2.1. Tipos de plásticos

### 2.1.2 Tereftalato de polietileno (PET)

Es un polímero termoplástico que se obtiene a partir de la polimerización del etilenglicol y el ácido Tereftálico. El PET es ampliamente utilizado en la industria del envasado debido a sus propiedades físicas y químicas favorables, además permiten que las industrias quienes utilizan este tipo de envases plástico mantengan su producto en buna calidad, a continuación, se presenta las propiedades de (PET) [3].

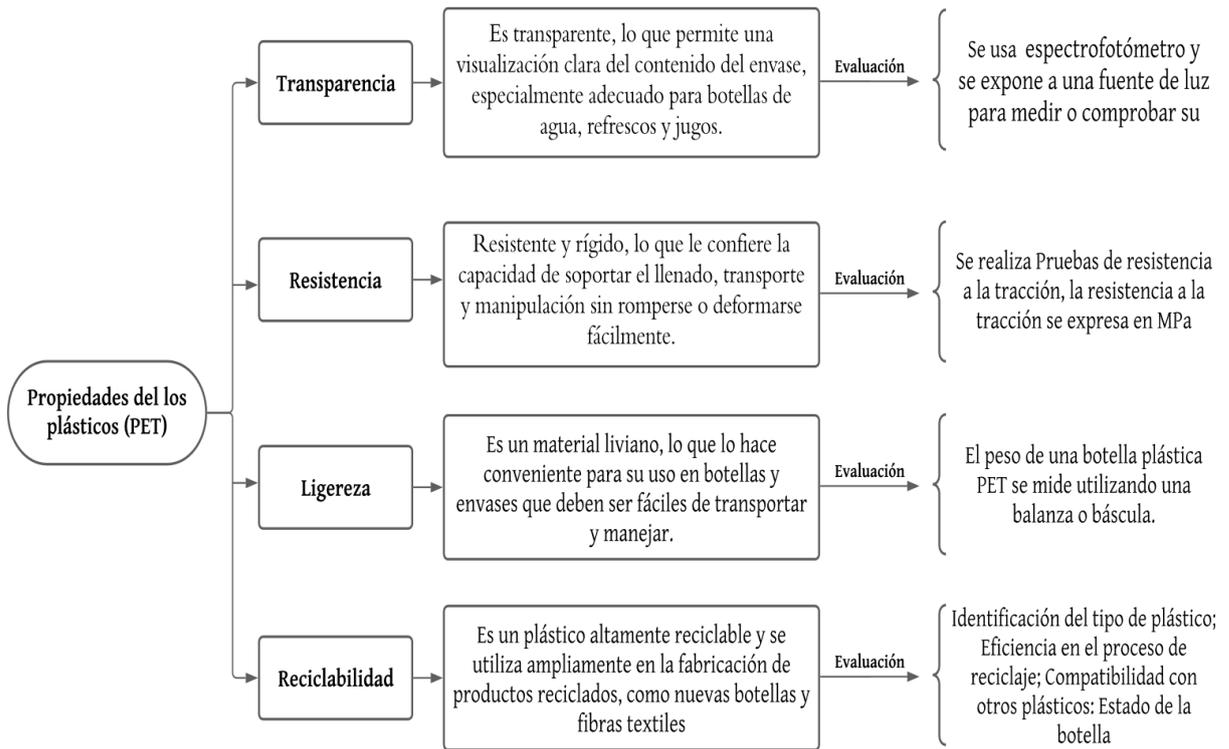


Figura 2.2. Propiedades de los plásticos PET

### 2.1.3 Reciclaje de plásticos en material PET

Este proceso no solo tiene un impacto positivo en el entorno, sino que también impulsa la idea de una economía circular al brindar una nueva oportunidad a los materiales reciclados. En esencia, al reciclar el plástico, estamos dando paso a un ciclo más sostenible y respetuoso con el medio ambiente [4]. El PET es un plástico altamente reciclable y tiene múltiples aplicaciones en la industria del reciclaje, en la figura 2.3 se puede observar el ciclo de reciclaje del PET.



Figura 2.3. Ciclo de reciclaje de los plásticos PET [4]

### 2.1.4 Tipos de reciclaje

El reciclaje en plásticos, es un proceso para aminorar el impacto ambiental de estos materiales y promover la economía. Al existir diferentes tipos de plásticos existen también varios tipos de reciclaje, cada una con sus características y aplicaciones [4].

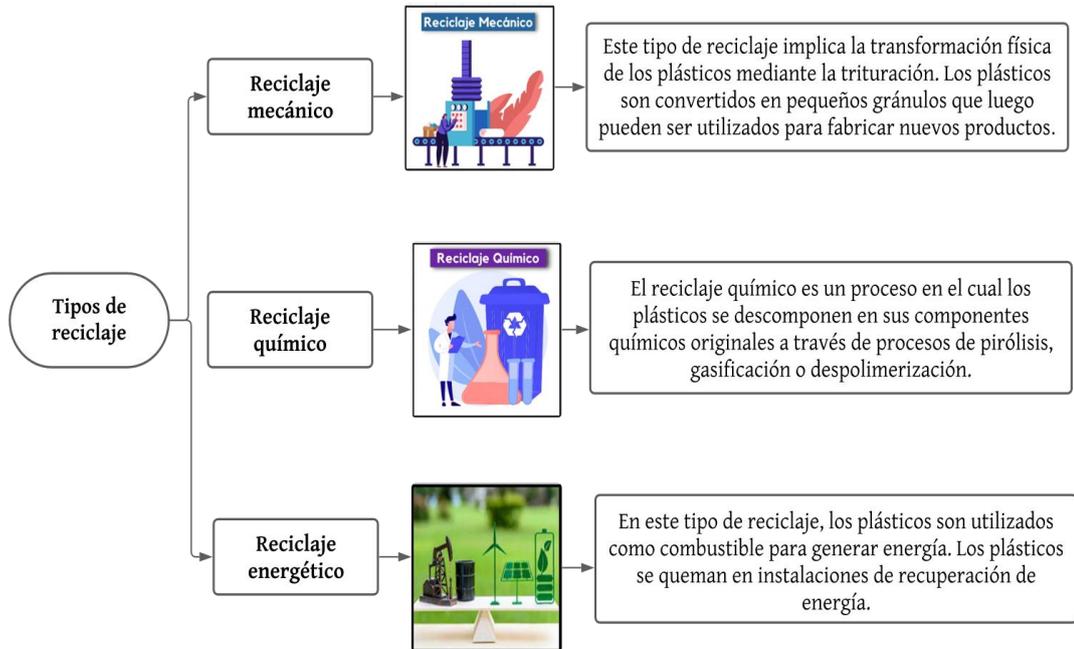


Figura 2.4. Tipos de reciclaje y su implantación

### 2.1.5 Reciclaje Mecánico

Este tipo de reciclaje implica la recolección, clasificación y realización de diversas operaciones mecánicas para convertirlas en nuevos productos plásticos. En la figura 2.5 se muestra el proceso de reciclaje mecánico para este tipo de maquinaria.

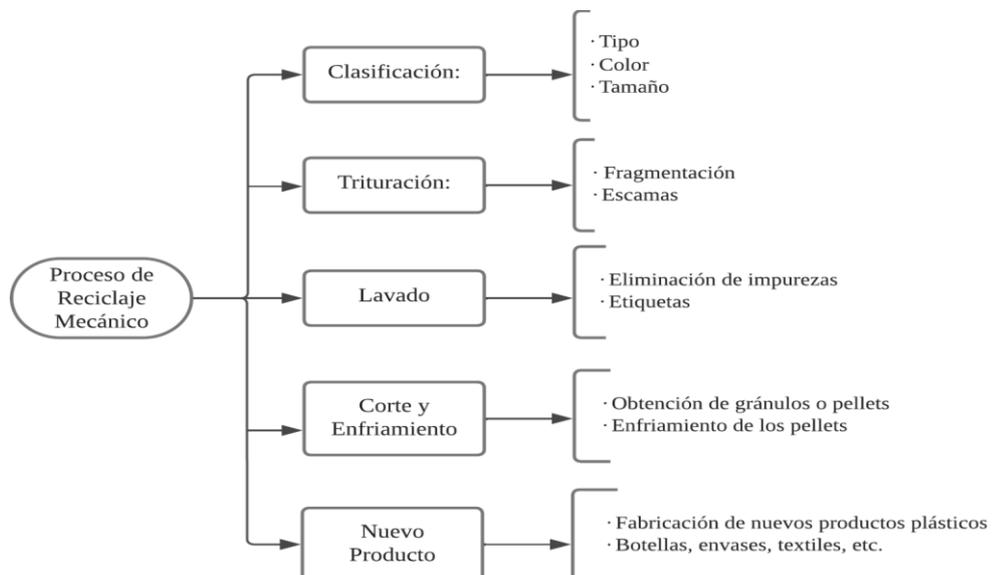
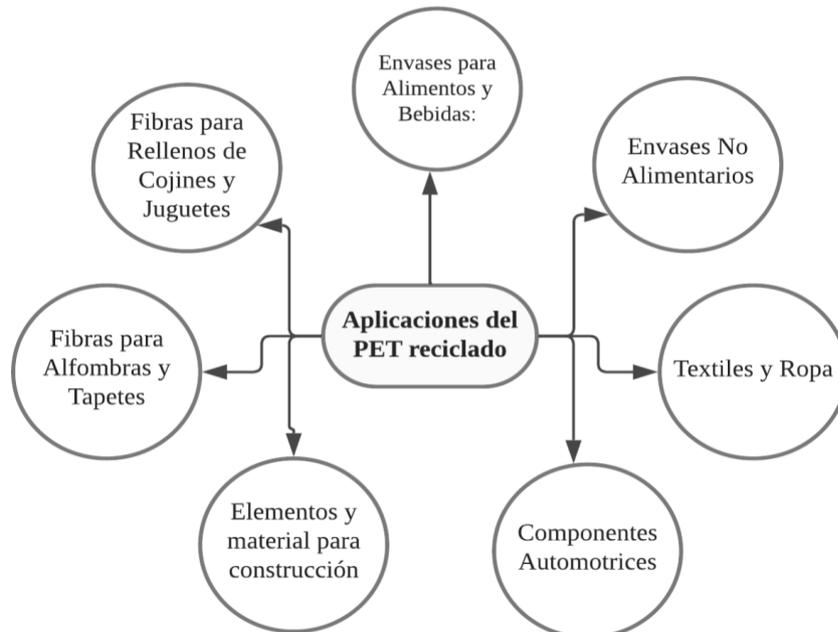


Figura 2.5. Ciclo Reciclado Mecánico PET

### 2.1.6 Aplicaciones del PET reciclado

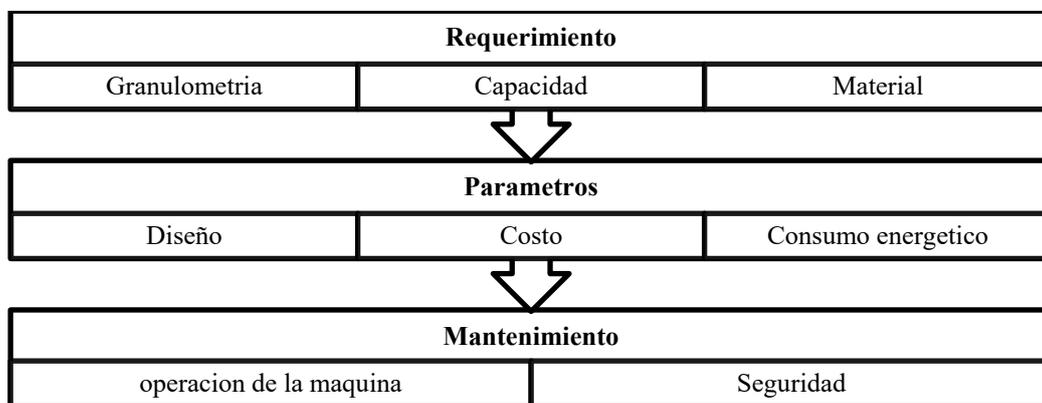
Es la actualidad, es importante generar información a los consumidores sobre el uso que puede dar el plástico PET, primero cuando se emplea como envase y después la utilidad del reciclaje. Este tipo de polímeros es un valioso recurso para crear nuevos productos en diferentes aplicaciones textiles como suéteres, entre otros, en la figura 2.6 se muestran las aplicaciones más comunes del PET reciclado [5].



**Figura 2.6.** Aplicaciones más comunes del reciclado del PET

## 2.2 PARÁMETROS Y REQUERIMIENTOS

Los parámetros y requerimientos para el diseño de prototipo de máquina trituradora de plásticos PET se refieren a las especificaciones y criterios necesarios para desarrollar dicho diseño como se evidencia en la figura 2.7 [6].



**Figura 2.7.** Esquema de Requerimientos y Parámetros para prototipo de Trituradora PET [6]

### 2.2.1 Tamaño y diseño del plástico PET

El tamaño de las botellas de plástico PET es un factor importante a considerar en el diseño del prototipo de máquina. Las botellas de PET vienen en una amplia variedad de tamaños, desde pequeñas botellas de agua hasta botellas de refrescos de mayor capacidad, a continuación, en la figura 2.8 las medidas de una botella de 500 ml [7].

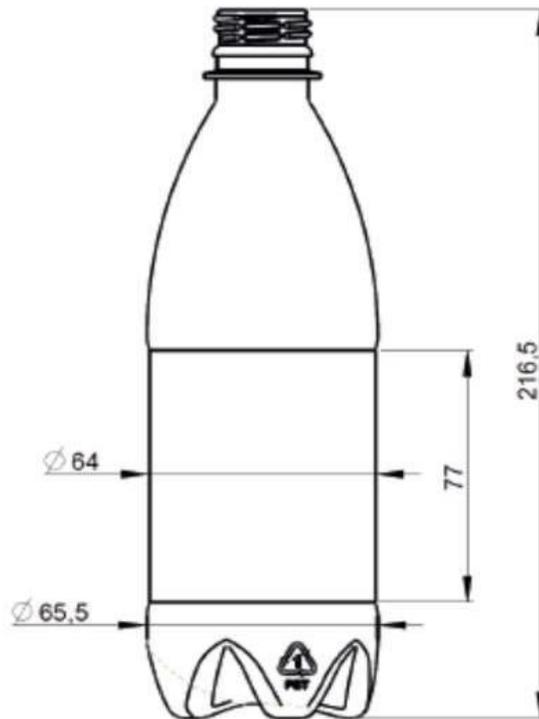


Figura 2.8. Dimensionamiento reciclable de una botella PET [7]

### 2.2.2 Reducción de volumen del plástico (Granulometría)

Los plásticos PET se descomponen en fragmentos más pequeños y esta granulometría se refiere a la clasificación y medición de fragmentos en diferentes rangos de tamaño para el proceso de reutilización. En la siguiente tabla 2.1 se detalla los diferentes tipos de etapas de trituración y molienda del material PET dependiendo factores como el dimensionamiento por partículas de trituración [8].

Tabla 2.1. Etapas y dimensiones de trituración de plástico

Trituración		Molienda	
Tipo de trituración	Tamaños	Tipo de trituración	Tamaños
Trituración gruesa	15 mm	Molienda gruesa	entre 1 y 3 mm
Trituración mediana	3 mm y 15 mm	Molienda fina	Menores a 1 mm
Trituración fina	0,5 mm y 3 mm		

### 2.2.3 Capacidad

La capacidad se mide en términos de peso o volumen de plásticos PET que la máquina puede triturar por unidad de tiempo, expresando en unidades de g/min. Cada máquina tendrá una capacidad máxima establecida que representa la cantidad óptima de plásticos triturado, en la tabla 2.2 especifica diferentes capacidades de botellas [9].

**Tabla 2.2.** Pesos de diferentes botellas plásticas [9].

Volumen	Peso
350 ml	10 g
500 ml	18 g
600 ml	20 g
1000 ml	34 g
2000 ml	68 g

### 2.2.4 Material a procesar

Los envases o plásticos PET son un tipo de plástico termoplástico ampliamente utilizado en la fabricación de envases y botellas. El material PET es elegido por varias razones, por su transparencia, lo que permite una fácil identificación y visualización del material a triturar. Además, el PET es resistente, liviano y presenta una buena barrera contra la humedad [10].

### 2.2.5 Propiedades Mecánicas del plástico PET

Las propiedades mecánicas del PET hacen referencia a las características del material ante cargas mecánicas. En la tabla 2.3 se muestra diferentes propiedades mecánicas del PET [11].

**Tabla 2.3.** Propiedades Mecánicas del PET [11]

Propiedades	Valor	Unidad
Densidad	1,4 – 1,4	g/cm <sup>3</sup>
Resistencia a la tracción	57 – 90	MPa
Resistencia a la rotura	900	kg/cm <sup>2</sup>
Resistencia a la compresión	76 - 128	MPa
Tenacidad a la fractura	10	MPa

#### Resistencia a la tracción (MPa)

Esta resistencia es utilizada para analizar las propiedades mecánicas de un material por su resistencia a la tracción mecánica antes que ocurra el fallo o llegue a romperse el material que se esté usando (Sut) [12]. La resistencia a la tracción de los materiales, se calcula con la siguiente ecuación:

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (1.1)$$

Donde:

Resistencia a la tracción ( $\sigma$ )

Fuerza de tracción máxima del material (F)

Área de sección transversal de la muestra (A)

## 2.3 MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

### 2.3.1 Aceros inoxidables

Estos aceros inoxidables poseen una resistencia a la fluencia de 1240 MPa, además, la fluencia es cuando este material se somete a cargas altas en forma continua para ser utilizadas en diferentes procesos o aplicaciones para su alta resistencia [13].

#### Acero AISI 1018

La norma AISI o Instituto Americano del Hierro y Acero, esta serie se emplea en la producción de barras mecanizadas o árboles de transmisión. Por ejemplo, el acero AISI 1018, es un acero al carbono de media resistencia y destacable en el mercado por su ductilidad y fácil mecanizado. En la tabla 2.4 se muestra las propiedades mecánicas de este material.

**Tabla 2.4.** Propiedades mecánicas AISI 1018

Dureza	Esfuerzo de fluencia (MPa)	Esfuerzo máximo (MPa)	Elongación máxima	Módulo de elasticidad (GPa)
126HB (71 HRb)	370 MPa	440 MPa	15% (en 50 mm)	205 GPa

### 2.3.2 Aceros estructurales

Este acero es una aleación entre la mezcla de carbono y hierro. Son utilizados por ingenieros de fabricación por aplicarse en condiciones de índole estructurales o construcción manufacturera, el acero más común en el mercado en la serie ASTM es el acero A36.

#### Acero ASTM A36

American Society for Testing and Materials, organización de normas Internacionales que brindan calidad en fabricación de diferentes productos. Además, estos aceros al carbono cumplen con los requisitos de las normas ASTM A36M.

La resistencia mínima a la fluencia es de 36 ksi (250 MPa) y puede ser soldable en diferentes aceros, además, son destacables y fácil acceso en el mercado por su costo accesible [13].

**Tabla 2.5.** Propiedades mecánicas del acero ASTM A36 [14]

Tipo de material	Resistencia a la tensión			Espesor (mm)
	ksi	Fluencia (MPa)	Esfuerzo máximo (MPa)	
ASTM A36	36	250	400	2 a 12

### 2.3.3 Características generales del acero ASTM A36

- Este acero al carbono estructural es conocido como hierro negro.
- Resistencia a la fluencia 250 MPa hasta 550MPa.
- A este acero no se le da tratamiento térmico debido a que son parte estructural.
- Puede ser cementado para aumentar la dureza y mantener su núcleo tenaz.

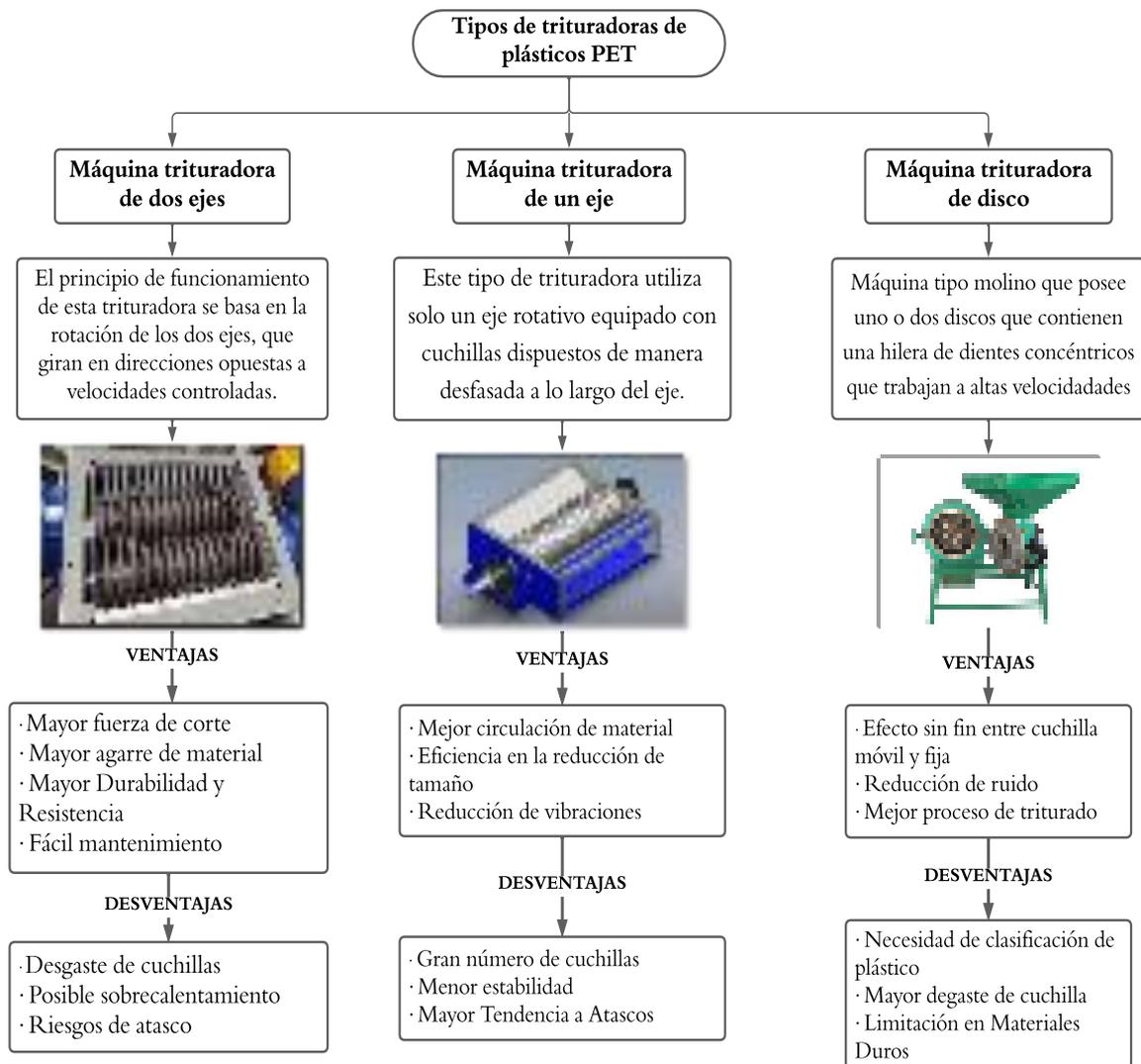
## 2.4 MÁQUINAS TRITURADORAS

### 2.4.1 Definición

Las máquinas trituradoras de plástico, constituyen un conjunto de mecanismos con un objetivo claro de facilitar el reciclaje del plástico para transformarlo en partículas pequeñas y además puedan disminuir el volumen excesivo por el aumento excesivo de botellas plásticas.

### 2.4.2 Tipos de máquinas trituradoras

Estos equipos posibilitan la disminución de materiales como plástico, papel, cartón o metales para luego ser procesados en diferentes aplicaciones. En la siguiente figura 2.9 se evidencia 3 tipos de trituradoras, la sección de la máquina dependerá la mejor alternativa que mejor se apegue a los requerimientos diseño y construcción [15].



**Figura 2.9.** Tipos de Máquina Trituradora - ventajas y desventajas

### 2.4.3 Características que hay que tomar en cuenta en un triturador

Los trituradores de plásticos también se dividen por el tipo de cizallada o corte del material y son:

- Corte en tiras: Se caracteriza por el corte de la botella PET en tiras delgadas de 10 mm hasta 80 mm
- Corte en partículas: Estas cuchillas giran en sentido opuesto para obtener partículas con forma cuadrada de 0,5 mm hasta 20 mm.

Además, estos trituradores permiten cizallar el plástico con sus cuchillas para luego cortar el material. Los trituradores más comunes para plástico son por sistema de corte (cuchillas) fabricadas en un material tipo acero y son utilizados en pocas cantidades en recicladores [16].

#### 2.4.4 Selección del tipo de triturador

La mejor alternativa o selección dependerá del alcance económico y selección de material para fabricar diferentes componentes como cuchillas de corte, ejes de trituración, entre otros.

#### 2.4.5 Factores de Seguridad

Con un previo análisis por elementos finitos o estructurales se deberá cumplir con nivel de seguridad mínimo de 2 según el prontuario de máquinas.

#### 2.4.6 Proceso de trituración

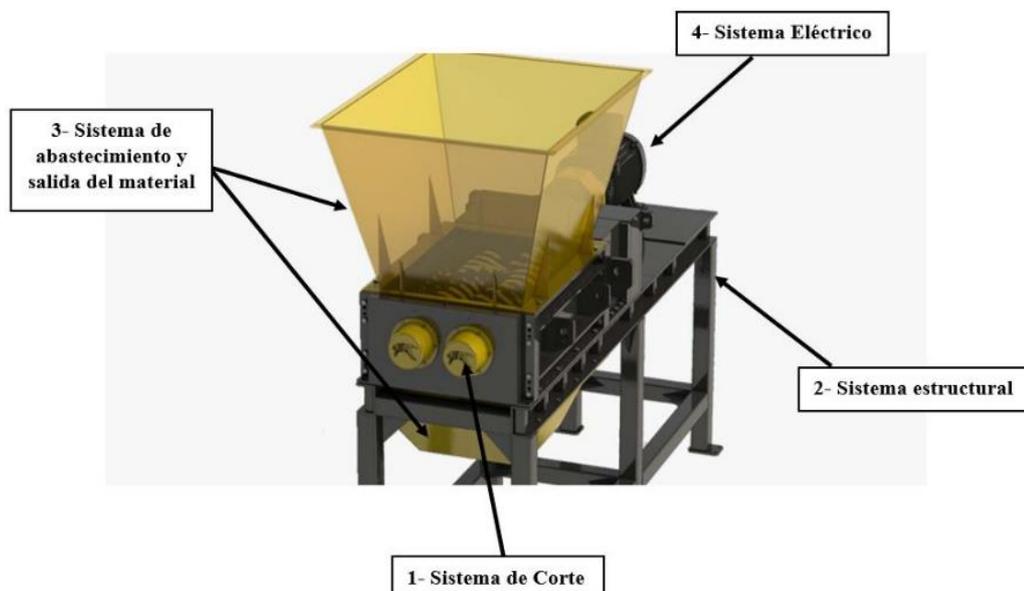
Su proceso empieza al introducir el plástico en la cámara de trituración donde se encuentran las cuchillas fabricadas con un material resistente. Cabe recalcar que, al girar estas cuchillas en sentidos opuestos, estas máquinas convierten el plástico en partículas.

#### 2.4.7 Máquina de trituradora de dos ejes

Como una mejor alternativa se optó por la máquina trituradora de dos ejes. El método de trituración de esta máquina se distingue por contar con dos ejes rotativas en sentidos opuesto para una mejor trituración del material por sus revoluciones de salida de (3.6 a 83 rpm) y por un mejor torque al triturar [16].

#### 2.4.8 Funcionamiento por sistemas de la máquina

En la siguiente figura 2.10, se describen por orden numérico los sistemas principales que componen la máquina trituradora.



**Figura 2.10.** Sistematización de la Máquina trituradora de doble eje

### 2.4.9 Posibles fallas o problemas de la máquina

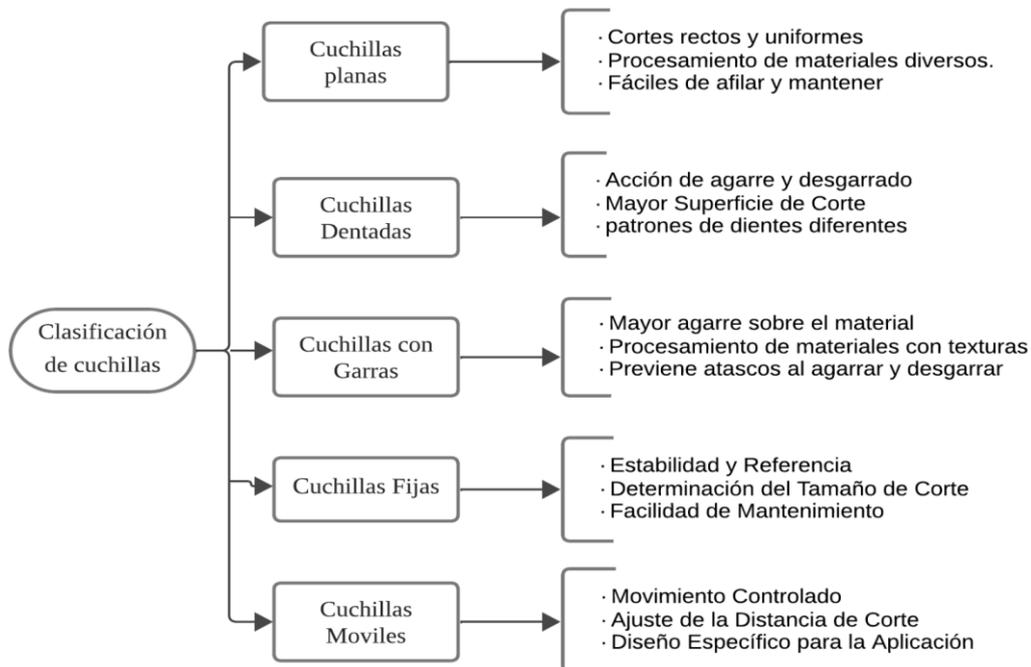
A pesar de que las máquinas trituradoras de plásticos PET son equipos robustos y eficientes, es importante reconocer que pueden presentar fallos o problemas durante el funcionamiento de la trituración del material, ya sea por desgaste de cuchillas o falta de mantenimiento

**Tabla 2.6.** Posibles fallas o problemas de la maquina trituradora [17]

Falla de maquinaria	Detalles	Posibles soluciones
<b>Motor trabado</b>	Puede ser por sobrecarga en la tolva superior al momento de introducir el material PET a triturar	Apagar la máquina y retirar el exceso de plástico trabado en las cuchillas
<b>Motor no arranca</b>	Puede ser que no le esté llegando corriente al motor por conexiones flojas	Revisar las conexiones eléctricas y estén bien ajustados los bornes
<b>Cuchillas no triturar</b>	Puede ser que no tenga el correcto agarre de las cuchillas en las botellas y no logre triturar el material	Apagar la máquina y empujarlo con la herramienta adecuada nunca con las manos

## 2.5 CLASIFICACIÓN DE CUCHILLAS

Es fundamental realizar un análisis detallado del proceso de triturado para seleccionar el tipo de cuchillas más adecuadas, esta selección dependerá de factores como el tipo y grosor del plástico PET y el tipo de aplicación que luego se vaya a procesar [9].



**Figura 2.11.** Clasificación y características de cuchillas

## 2.6 SISTEMA DE CORTE

Las trituradoras de plásticos PET suelen utilizar sistemas de corte por cuchillas rotativas, estas cuchillas son esenciales en el proceso de trituración y están diseñadas para cortar el material.

### 2.6.1 Fuerza de corte

La fuerza de corte puede ser algún tipo de fuerza que requiera el diente de la cuchilla para cortar el material. Algo semejante ocurre al cortar con una tijera (cizallamiento) un pedazo de botella que al presionar en los extremos se aplica una fuerza de corte, en la figura 2.12 se evidencia el tipo de corte por cizallamiento [18].

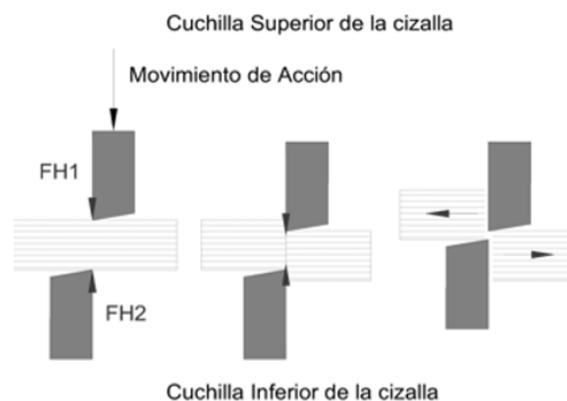


Figura 2.12. Fuerza de corte por cizallamiento [18]

### 2.6.2 Estructura general de las cizallas

El filo de las cuchillas tiene un gran ángulo de corte (aprox.  $80^\circ$ ) para que sean estables durante el agarre y corte del material. Sin embargo, con ángulos de  $2^\circ$  a  $3^\circ$ , los filos no rozaran entre cuchillas y así no exista desgaste del diente y menos pierdan su filo. Además, se debe ajustar el ángulo necesario y un juego de filos en la cizalla para que triture el material [19].

$$J = K * e \quad (1.2)$$

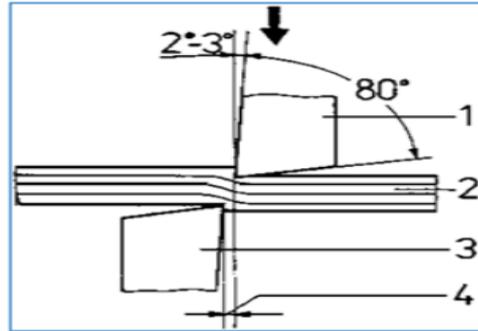
Donde:

J: Juego de filos (m)

K = 0,05 hasta 0,1.

e: Espesor del material (m)

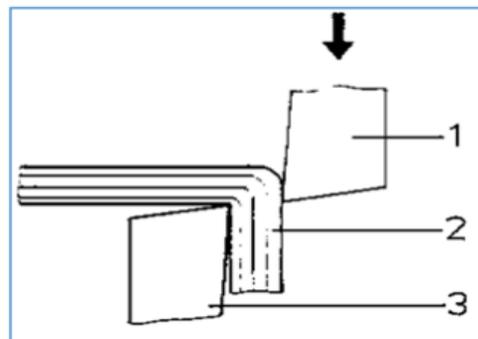
En la figura 2.13 se evidencia el juego de filos de forma correctamente con un ángulo de  $80^\circ$



**Figura 2.13.** Ángulo de corte de cizalla [19]

- 1: cuchilla superior de cizallamiento.
- 2: material.
- 3: cuchilla inferior de cizallamiento.
- 4: juego de filos

Por el contrario, si los filos entre cuchillas no se ajustan correctamente y tiene una separación extremadamente ancha entre como se muestra en la figura 2.14 no ejercerá un mejor corte en el material llegando solo a doblarlo.



**Figura 2.14.** Ángulo de corte de cizalla [19]

- 1: cuchilla superior de cizallamiento.
- 2: material.
- 3: cuchilla inferior de cizallamiento.

### 2.6.3 Velocidades de corte para la molienda y trituración

Existe dos tipos de máquinas para triturar PET, estas son: molinos para plástico que trabajan a altas revoluciones (400 a 1480 rpm) y operan con torque bajo, sin embargo, las máquinas trituradoras como se evidenció en la figura 2.11 trabajan a bajas velocidades (9 a 85 rpm) pero con un mejor torque de trituración. Estos molinos y trituradores comparten la misma función de reducir el material [20].

## 2.7 SISTEMA ESTRUCTURAL

El sistema estructural de una máquina trituradora de dos ejes para plásticos PET está diseñado para proporcionar la estabilidad, resistencia y durabilidad necesarias para soportar las fuerzas y tensiones generadas durante el proceso de trituración. A continuación, se describen los elementos clave del sistema estructural [21]:

- **Carcasa:** La carcasa es la estructura principal de la máquina y proporciona el soporte y la protección necesarios para los componentes internos.
- **Sistema de sujeción:** Es importante para mantener todos los componentes estructurales en su lugar y asegurar que la máquina funcione correctamente.
- **Estructura y patas:** Dependiendo del diseño de la máquina, puede tener una estructura y patas que proporcionan una base estable para la máquina.

### 2.7.1 Sistema de abastecimiento

El sistema de abastecimiento se encarga de proporcionar una alimentación continua y controlada del material a triturar. A continuación, se describen los componentes y características principales del sistema de abastecimiento:

- **Tolva de alimentación:** Es el punto de entrada del material a la máquina trituradora. Es una estructura en forma de embudo ubicada en la parte superior de la máquina.
- **Alimentador:** Estas máquinas cuentan con un sistema de alimentación que ayuda a mover el PET desde la tolva hacia el área de trituración.

### 2.7.2 Salida del material

La salida del material de la máquina trituradora de dos ejes para plásticos PET es el punto donde los fragmentos de PET triturados son expulsados de la máquina una vez que han pasado por el proceso de trituración. La salida está diseñada para permitir una evacuación eficiente de los materiales triturados. A continuación, se describen algunas características comunes de la salida del material:

- **Boca de descarga:** La máquina trituradora tiene una boca de descarga en la parte inferior o lateral que permite que los fragmentos de PET triturados salgan de la máquina.

- **Recolección de material triturado:** Los fragmentos de PET triturados pueden caer directamente en un contenedor para su recolección.

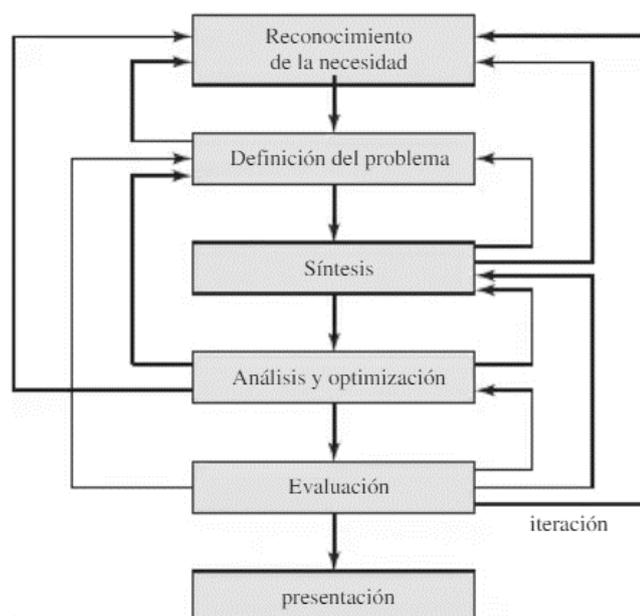
### 2.7.3 Sistema eléctrico

El sistema eléctrico de una máquina trituradora de dos ejes para plásticos PET es responsable de proporcionar la energía y el control necesarios para su funcionamiento seguro y eficiente. A continuación, se describen los componentes y funciones principales del sistema eléctrico.

- **Motor eléctrico:** La máquina trituradora está equipada con un motor eléctrico que proporcionará la potencia necesaria para hacer girar los ejes y las cuchillas.
- **Tablero de encendido eléctrico:** Es el centro del sistema eléctrico y contiene los dispositivos de control y protección necesarios para el funcionamiento de la máquina.
- **Sistema de arranque y paro:** El sistema eléctrico debe contar con un mecanismo que permita iniciar y detener el funcionamiento de la máquina.

## 2.8 MÉTODOS DE PROCESO DE DISEÑO

Por lo general, el proceso de diseño empieza con la necesidad de crear una máquina para sustentar el objetivo y la acción del problema de principio a fin [22], esto se bosqueja en la figura 2.16. Además, este proceso sistemático debe cumplir con el diseño y garantizar la solución al problema y la calidad de la presentación final.



**Figura 2.15.** Fases de proceso de diseño y construcción [22]

## 2.9 RIESGOS DE OPERACIÓN DE UNA MÁQUINA

La operación o funcionamiento de la máquina trituradora de plásticos PET conlleva ciertos riesgos que deben ser considerados en ciertos aspectos, principalmente como la seguridad laboral de todo el personal y posterior a esto se logre garantizar el funcionamiento eficiente entre hombre/máquina.

### 2.9.1 Tipo de riesgos

Los riesgos pueden incluir accidentes y lesiones para los trabajadores debido a la manipulación de herramientas y materiales. Un diseño deficiente o fallos en la seguridad podrían generar malfuncionamientos y peligros potenciales.

A continuación, se describen brevemente los tipos de riesgos.

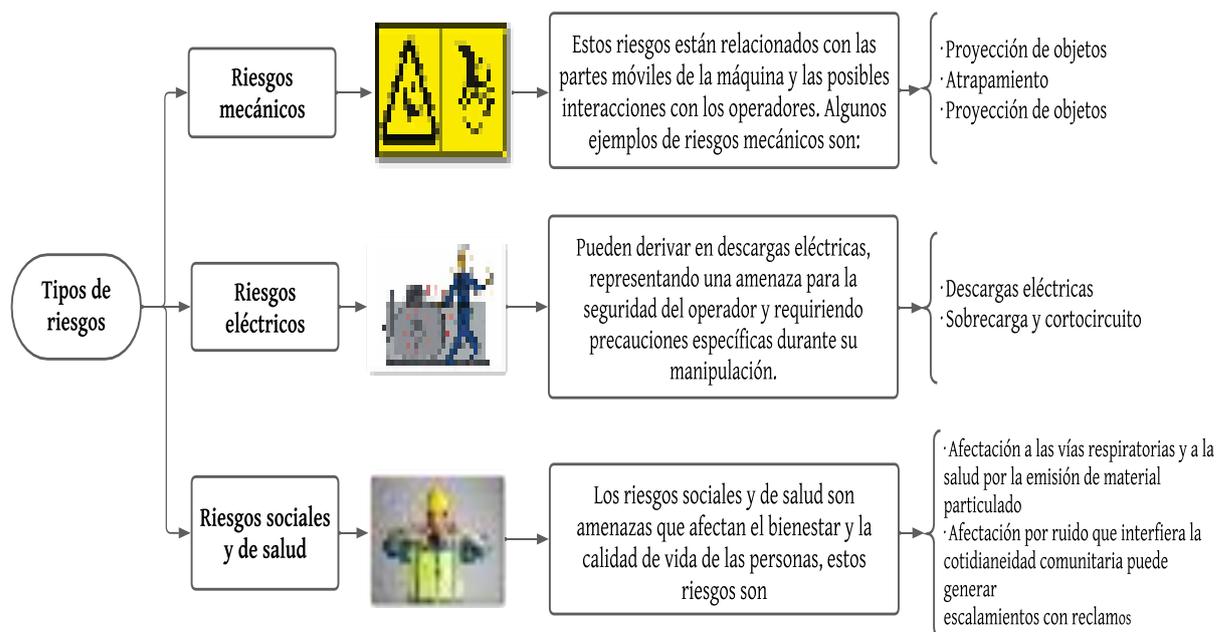


Figura 2.16. Tipos de Riesgos

### 2.9.2 Importancia de evaluar los riesgos

Es importante efectuar una evaluación de riesgos completa de esto antes de que la máquina empiece a operar la máquina trituradora PET de esta manera se puede identificar los riesgos específicos y acatar las medidas de seguridad necesaria para mitigarlos. Además, la evaluación de riesgos permite reducir costes de seguridad y salud de trabajo ya que al identificar los potenciales riesgos se puede reducir el número de lesiones y enfermedades relacionadas con el funcionamiento de la máquina trituradora [23].

### 3 DESARROLLO DE LA PROPUESTA

#### 3.1 METODOLOGÍA

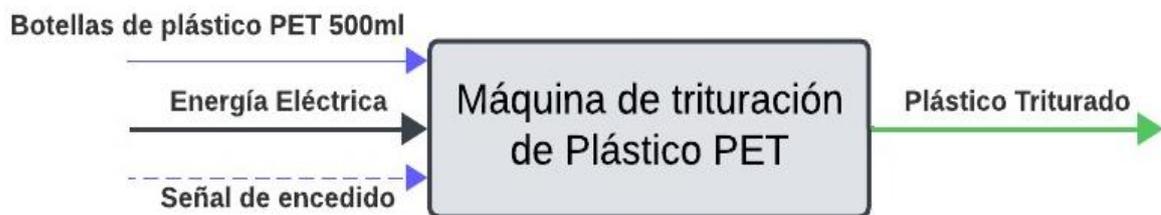
En el presente capítulo, se describe aspectos importantes como el diseño conceptual para posibles soluciones antes de su construcción, con el uso de esta metodología de diseño, se respaldará diferentes etapas y requerimientos de la máquina.

#### 3.2 DISEÑO CONCEPTUAL

Este diseño hace referencia a necesidades y requerimientos que deberá tener la propuesta tecnológica como son: dimensionamiento de cuchillas y cámara o caja trituración.

##### 3.2.1 Análisis de funcionalidad

En la figura 3.1 se evidencia de mejor manera el análisis y proceso principal y secundario de la maquina trituradora de plástico PET [24].



**Figura 3.1.** Análisis de proceso de la maquina trituradora

Variables de ingreso a la máquina son:

- Botellas Plásticas
- Energía eléctrica
- Señal puesta en marcha

Variables de salida de la máquina son:

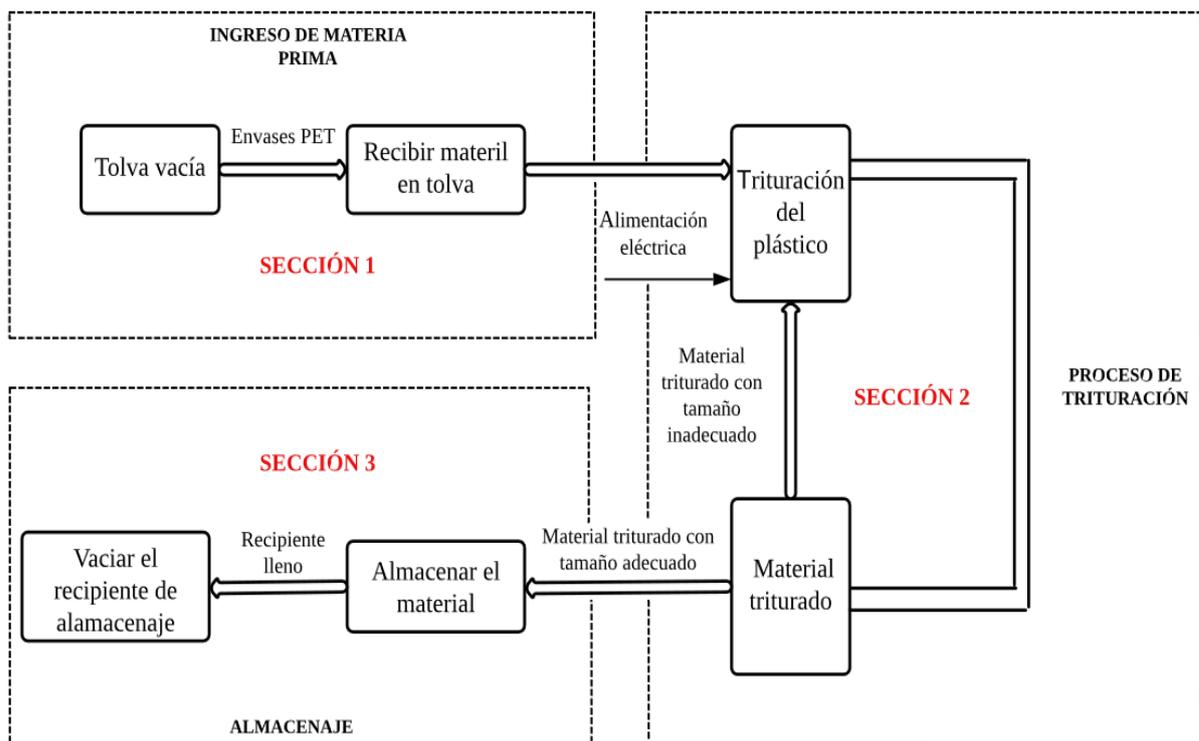
- Plástico triturado por partículas dependiendo el requerimiento del fabricante.

##### 3.2.2 Estructura funcional por secciones

La estructura funcional permite separar por secciones los procesos de nuestra máquina trituradora de plásticos PET para todo el proceso de trituración.

El propósito principal de estas máquinas es facilitar el manejo y el reciclaje de los envases, contribuyendo a la gestión sostenible de residuos plásticos.

La estructura funcional de una máquina trituradora, implica componentes clave y funciones necesarias para su operación o funcionamiento de la máquina antes de su proceso de funcionamiento, validando así el diseño y selección de componentes y material por un análisis CAD – CAE. [25].



**Figura 3.2.** Estructura funcional por secciones

A continuación, se especifica por secciones la estructura de la máquina trituradora:

- **SECCIÓN 1 - INGRESO DE LA MATERIA PRIMA**

El ingreso de la materia prima, comienza desde la selección del material PET hasta el llenado de la misma.

- **SECCIÓN 2 – PROCESO DE TRITURACIÓN**

Al colocar la materia prima (PET) en la cámara de trituración se procede a encender la maquina mediante el accionamiento de un pulsador ON, tal es el caso que una vez triturado el material éste pasa a ser seleccionado, si el material cumple con lo requerido se almacena, caso contrario volverá a la cámara de inicio.

- **SECCIÓN 3 - ALMACENAJE**

Luego del proceso de trituración, aquellas partículas se almacenarán en un recipiente hasta que se llena, se vaciará para poder realizar el proceso nuevamente de la sección 1.

### 3.2.3 Matriz morfológica

Esta matriz busca organizar y estructurar la información de diseño con el propósito de facilitar decisiones, considerando en cualquier forma la mejor opción y solución que se adapte una propuesta. Se ha considerado tres tipos de máquinas trituradoras como se evidencia en la figura 2.9, indicando ventajas y desventajas de diseño y construcción que estas máquinas pueden tener [26].

#### 3.2.3.1 Criterios de evaluación y selección

Para seleccionar la mejor alternativa, se utiliza ponderaciones más selectivas para la construcción de la máquina, y estas son:

- *Dimensiones de la máquina*

Las dimensiones tienen que ser las mejores para poder mover con facilidad la máquina y que ingrese al lugar que sea requerido, eso influye el peso y ancho.

- *Eficiente*

La eficiencia de la máquina debe ser eficiente, además, debe cumplir con la capacidad requerida de trituración del material.

- *Sistema eléctrico*

Este sistema debe cumplir con la parte eléctrica de la máquina donde el usuario tenga la facilidad de manipular en todo su proceso de trituración.

- *Costo*

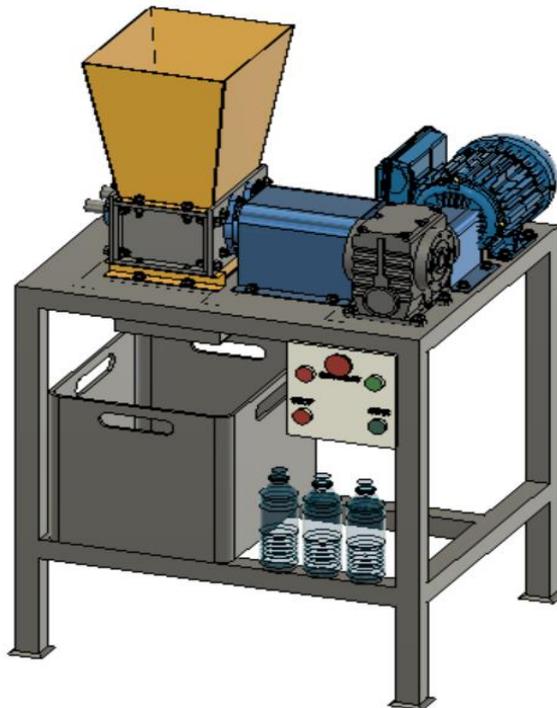
Para pequeños emprendedores, esta máquina debe tener un costo accesible en el mercado, entre materiales de construcción.

- *Mantenimiento*

El mantenimiento debe ser el más accesible para el usuario, como el mantenimiento de sistema eléctrico, mantenimiento de cuchillas y limpieza de residuos de plástico.

### 3.2.3.2 Alternativa de selección

La mejor alternativa para la selección de la maquinaria, se lo analizó dependiendo diferentes factores como: la eficiencia, mantenimiento, tipo de trituración por partículas, ventajas y desventajas de construcción. En nuestro caso, la mejor alternativa en aspectos ya descritos anteriormente, en la figura 3.3 se ha elegido la Máquina Trituradora de doble ejes.



**Figura 3.3.** Selección de alternativa – Máquina trituradora de doble ejes

### 3.2.4 Análisis de requerimiento del proyecto

Con el criterio de evaluación se plateará los siguientes requerimientos para realizar el diseño, construcción y funcionamiento de la máquina trituradora de botellas PET:

1. El tamaño máximo requerido de material triturado será de 10 mm hasta 50 mm.
2. Al triturar el material PET, este deberá caer por una tolva de salida hasta un recipiente, tal es el caso que se diseñó una mesa a una altura de 600 mm.
3. La máquina deberá funcionar con una potencia de un motor eléctrico de 2 a 5Hp y que tenga el torque suficiente para triturar el plástico y no presente fallos.
4. Para introducir las botellas, se deberá construir una tolva superior, ya que al triturar las partículas se dispersarán en diferentes direcciones.

### 3.3 PARÁMETROS DE DISEÑO

#### 3.3.1 Resistencia a la cizalladura

La resistencia a la cizalladura se refiere a la capacidad de fuerza de corte del material y así pueda crear una rotura del material mediante una cuchilla o elementos cortante.

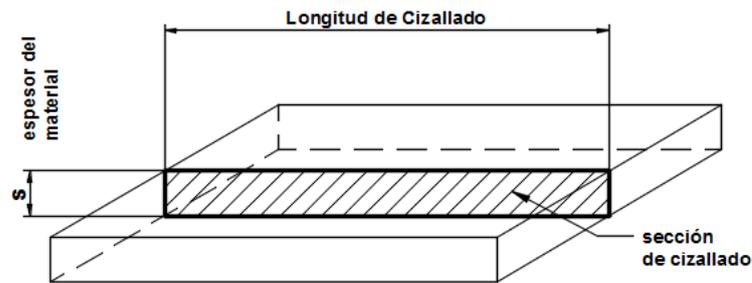


Figura 3.4. Cizallas de cuchillas paralelas [18]

Para determinar el cálculo de la resistencia de cizallado, se utiliza la siguiente ecuación:

$$\tau_B = 0.8 * \sigma_B \quad (3.1)$$

Donde:

$\tau_B$ : Resistencia de cizallado (MPa).

$\sigma_B$ : Resistencia a la rotura (MPa).

#### 3.3.2 Fuerza de corte de botella PET

Hay que considerar que para que exista un corte en el material PET, los filos de las cuchillas deberán tener una mayor fuerza necesaria de corte, además, hay que considerar que el espesor más crítico de la botella es de 3mm.

$$F_c = \tau_B * A_c \quad (3.2)$$

$$F_c = \tau_B * (e_1 * e_2) \quad (3.3)$$

Donde:

$F_c$ : fuerza de corte (Nm)

$\tau_B$  : resistencia de cizallado (MPa)

$A_c$ : área de corte (m<sup>2</sup>)

$e_1$  : espesor del material a triturar (mm)

$e_2$  : espesor de la cuchilla (mm)

### 3.3.3 Dimensionamiento del eje

Hay que considerar el movimiento del sistema de corte, para esto se deberá dimensionar el eje circular para que pueda dar movimiento a la máquina, como se evidencia en la siguiente figura. La sección B está diseñado por una sección hexagonal que permite un mejor acople de los componentes mecánicos para ubicar cuchilla y separadores, mientras en las secciones A y C tendrá secciones circulares para ubicar rodamientos y engranajes.

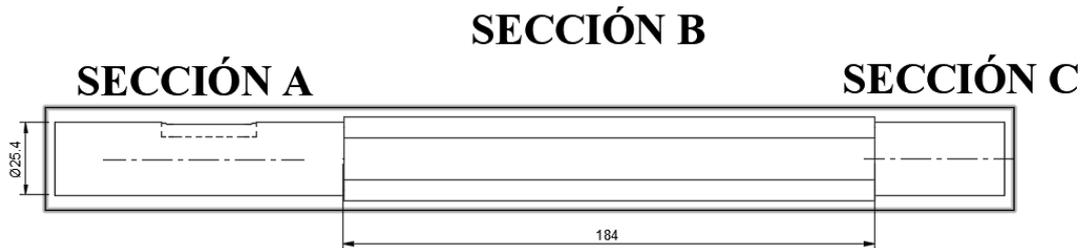


Figura 3.5. Diseño del eje de trituración dividida por secciones

El material para su fabricación será en acero AISI 1018, este material es más utilizado en aceros rolados en frío y tiene una buena resistencia a la tensión y son de fácil acceso en el mercado [27]. Las especificaciones del material se evidencian en la tabla 3.1 y en el ANEXO A.

Tabla 3.1. Resistencia a la fluencia y tensión AISI 1018

Resistencia a la tracción Sut	440MPa
Resistencia a la fluencia Sy	370MPa

#### 3.3.3.1 Límite de Resistencia a la fatiga del material ( $S_e'$ )

La resistencia a la fatiga del material en la mayoría de aceros, se determina con la siguiente ecuación.

$$S_e' = 0,5S_{ut} \quad (3.4)$$

#### 3.3.3.2 Variables que modifican la resistencia a la fatiga

El diseño del eje se debe tomar en cuenta los límites a la resistencia de la fatiga  $S_e$  que puede tener al momento de transmitir movimiento, teniendo en cuenta los factores dinámicos que puedan afectar al dimensionamiento del eje [28]. Esto se calcula mediante la siguiente expresión:

$$S_e = k_a \cdot k_b \cdot k_c \cdot k_d \cdot k_e \cdot k_f \cdot S_e' \quad (3.5)$$

Donde:

$S_e$ : Límite de resistencia a la fatiga corregida

$k_a$ : factor de modificación por la condición superficial

$k_b$ : factor de modificación por tamaño

$k_c$ : factor de confiabilidad

$k_d$ : factor de temperatura

$k_e$ : factor de efectos varios

$k_f$ : factor de modificación por carga

### 3.3.3.3 Factores de concentración de esfuerzos

Para analizar el momento flector máximo en las secciones A y C, se determinará factores de concentración de esfuerzos y se lo calcula con las siguientes ecuaciones:

$$k_e = k_f \cdot k_{fs} \quad (3.6)$$

Donde:

$k_f$ : k flexión

$k_{fs}$ : k torsión

$q$ : sensibilidad a la entalla

Encontrar  $k_f$  para flexión y  $k_{fs}$  para torsión con las siguientes ecuaciones:

$$k_f = 1 + q_1(k_{t1} - 1) \quad (3.7)$$

$$k_{fs} = 1 + q_2(k_{t2} - 1) \quad (3.8)$$

La sensibilidad a la entalla ( $q$ ) del material y la discontinuidad con el radio, se lo calcula con la siguiente ecuación:

$$q = \frac{1}{1 + \frac{\sqrt{a}}{\sqrt{r}}} \quad (3.9)$$

### 3.3.3.4 Cálculo del diámetro en la sección más cargada

Para el diseño de sección circular, La fórmula del diseño de ejes de transmisión propuesta por la B106 - ANSI/ASME. Esta norma establece que el diámetro (d) se puede determinar con la siguiente ecuación:

$$d = \left( \frac{32n}{\pi} \sqrt{\left( \frac{k_f \cdot M}{S_e} \right)^2 + \frac{3}{4} \left( \frac{T}{S_y} \right)^2} \right)^{1/3} \quad (3.10)$$

### 3.3.3.5 El factor de seguridad

De la misma manera, con la ecuación anterior, se podrá despejar hasta encontrar el factor de seguridad despejando (n) para determinar con el mismo valor del diámetro antes obtenido.

$$n = \frac{\pi d^3}{32} \left( \left( \frac{k_f \cdot M}{S_e} \right)^2 + \frac{3}{4} \left( \frac{T}{S_y} \right)^2 \right)^{-1/2} \quad (3.11)$$

### 3.3.4 Selección de motorreductor

#### Torque necesario

Hay que tener en cuenta aspectos importante como su torque necesario para triturar el material sin ningún problema debido a que el PET a triturar tiene un cuerpo demasiado rígido.

$$T_m = F_c * r \quad (3.12)$$

Donde:

$T_m$ : Torque necesario del motor (N)

F: fuerza de corte (N)

r: radio por aplicación de corte (mm)

#### Potencia del motor

La selección de potencia de un motor se refiere a la selección de la potencia adecuada para este tipo de máquinas y deberá ser esencial para garantizar que el motor pueda cumplir con los requisitos de trituración, esta potencia se expresa en vatios kW.

$$P = T * w \quad (3.13)$$

Donde:

P: Potencia de la maquina trituradora (kW)

T: Torque necesario para triturar (Nm)

w: Velocidad angular (rpm)

### **Potencia de entrada (Pe)**

La potencia determinada anteriormente será afectada por el rendimiento del motorreductor que por lo general es la que brinda el fabricante. Ubicar en el tipo de catalogo que se esté guiando.

$$Pe = \frac{Pa}{n} 100\% \quad (3.14)$$

Donde:

Pe: potencia de entrada (Hp)

Pa: Potencia teórica (Hp)

n: rendimiento (%)

### **Relación de transmisión (i)**

Determinará la preselección del motor y revoluciones en la salida del motorreductor.

$$i = \frac{ne}{ns} \quad (3.15)$$

Donde:

i: relación de trasmisión

ne: velocidad de entrada al reductor (rpm)

ns: velocidad de salida del reductor (rpm)

### **Determinación de par generado del motorreductor**

$$M_A = \frac{Hp \cdot 716}{rpm} \quad (3.16)$$

Donde:

M<sub>A</sub>: Momento generado por el motorreductor (Nm)

Hp: Potencia del motor (Hp)

rpm: velocidad de salida del motorreductor (rpm)

### 3.3.5 Dimensionamiento de engranajes

Los engranajes son medios de movimiento que pueden transmitir fuerza y dirección dependiendo la relación de transmisión, su funcionamiento es mediante el engranaje conductor para luego transmitir movimiento al engranaje conducido.

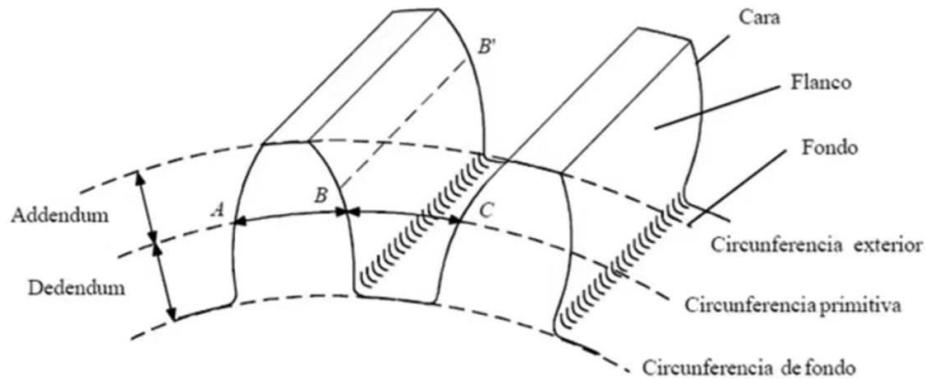


Figura 3.6. Especificaciones del diente de un engranaje [29]

La Asociación Americana de Fabricantes de Engranajes (A.G.M.A), plantea el cálculo para el diseño de engranajes [29].

Tabla 3.2. Cálculo para el diseño de engranajes

Paso circunferencial	Paso diametral	Altura de la cabeza del diente	Altura del pie del diente
$P = \frac{D_p * \pi}{N}$	$P_d = \frac{\pi}{P}$	$L = \frac{1}{P_d}$	$I = \frac{1,25}{P_d}$
Altura total del diente	Radio del pie del diente	Espesor del diente	Espacio entre dientes
$L = \frac{2,25}{P_d}$	$R = \frac{1,57}{P_d}$	$e = 0,5 * P.$	$c = 0,5 * P$

El diámetro primitivo es:

$$D_p = M * N \quad (3.17)$$

El diámetro exterior:

$$D_e = D_p + 2(M) \quad (3.18)$$

Módulo para engranajes (M):

$$M = \frac{De}{N + 2} \quad (3.19)$$

Donde:

Dp: Diámetro primitivo = Distancia entre centros

De: Diámetro exterior

M: Módulo

N: Número de dientes

P: Paso circunferencial

### 3.3.6 Dimensión de rodamientos

Existe diferentes rodamientos que hay en el mercado, esto dependiendo su aplicación y el tipo de carga que se necesite para mover o transmitir movimiento al prototipo [30]. Este componente asegurará la unión móvil del mecanismo y se colocará en línea paralela al eje de rotación.

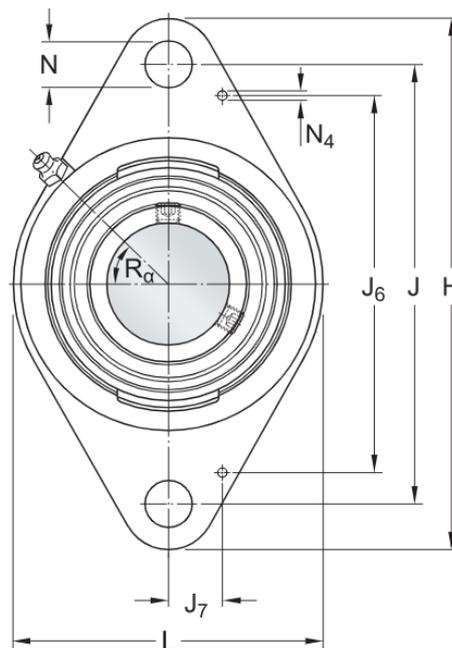


Figura 3.7. Chumacera tipo brida ovalada [30]

### Parámetros de vida del rodamiento

La vida nominal de un rodamiento depende del número de revoluciones que requiera la máquina antes de que ocurran algún tipo de falla por atascamiento, a continuación, se empleará las siguientes ecuaciones en función a parámetros de vida [31].

**Tabla 3.3.** Índice básico de vida, factor de vida de fatiga y factor de velocidad [31]

Parámetros de vida	Rodamientos de bolas
Índice básico de vida	$L_{10h} = \frac{10^6}{60 n} \times \left(\frac{C}{P}\right)^3 \text{ ó } 500 f_n^3$ (3.20)
Factor de vida de fatiga	$f_n = f_n \frac{C}{P}$ (3.21)
Factor de velocidad	$f_n = \left(\frac{10^6}{500 * 60 n}\right)^{1/3}$ (3.22)

Donde:

$L_{10h}$ : Velocidad nominal básica en horas (H)

C: Capacidad básica de carga dinámica (N)

P: Carga dinámica equivalente (N)

$n$ : Velocidad rotacional de aplicación (rpm)

$f_n$ : Factor de vida

$f_n$ : Factor de velocidad

### Factor de seguridad

El factor de seguridad que se asigna a la carga en los rodamientos dependerá de factores como las condiciones de funcionamiento que tendrá la máquina, para calcular su  $F_s$  se emplea la siguiente ecuación:

$$f_s = \frac{C_o}{P_o} \quad (3.23)$$

Donde:

$f_s$ : Factor de seguridad

$C_o$ : Índice de carga estática básica (N)

$P_o$ : Carga equivalente estática (N)

### 3.3.7 Diseño de estructura

Para diseñar la estructura metálica, primero hay que considerar que esta estructura va sujetar toda carga que se genere por componentes como: caja trituradora, cuchillas, ejes, tolvas, caja reductora con el motor, entre otros [32]. Para el cálculo del esfuerzo de columna de la estructura, se utilizará la siguiente ecuación:

$$f_a = \frac{P}{A} \quad (3.24)$$

Donde:

$f_a$ : esfuerzo a compresión

$P$ : carga

$A$ : área

#### El esbeltez y factor de estabilidad

La esbeltez de la columna de la estructura se lo calculará con la siguiente ecuación:

$$\frac{K * L}{r_{\min}} \quad (3.25)$$

$K$ : factor de estabilidad

$L$ : longitud de la columna

$F_a$ : esfuerzo admisible

$r_{\min}$ : radio mínimo

Nota: Para que la columna soporte una carga, la fórmula es:

$$f_a \leq F_a \quad (3.26)$$

#### Esfuerzo de pandeo elástico

$$F_e = \frac{\pi^2 \cdot E}{\left(\frac{K \cdot L}{r}\right)^2} \quad (3.27)$$

$F_e$  : Esfuerzo de Pandeo Elástico [MPa]

$E$ : Modulo Elástico [MPa]

$K$ : Factor de longitud efectiva

$L$ : Longitud [mm]

$r$ : Radio de giro mínimo [mm]

### 3.4 PROCEDIMIENTO SOFTWARE DE ANÁLISIS DE ELEMENTOS FINITOS

El análisis por elementos finitos es una herramienta computarizada que predice el comportamiento de elementos en 3D dependiendo el material bajo condiciones de efectos físicos como cargas o esfuerzos [33]. El proceso del análisis por elementos finitos implica varios pasos:

**Modelado:** Se crea un diseño digital en 3D que se pretenda analizar, en este caso se utilizó el software Autodesk Fusion 360.



Figura 3.8. Software para el realizar modelados 3D

**Cargas:** Para simular la acción del peso, fuerza de corte o cargas puntuales en los componentes, se aplicarán estas cargas en un punto específico del 3D.



Figura 3.9. Selección de del tipo de carga en el software

**Sujeciones:** Aplicar sujeciones en donde la pieza estará sujeta a otro componente del diseño.



Figura 3.10. Selección restricciones o sujeciones en el software

**Mallado:** Implementar un mallado fino garantiza un mejor resultado en aspectos como factores de seguridad, esfuerzos y sobre todo en la fabricación de componentes mecánicos.

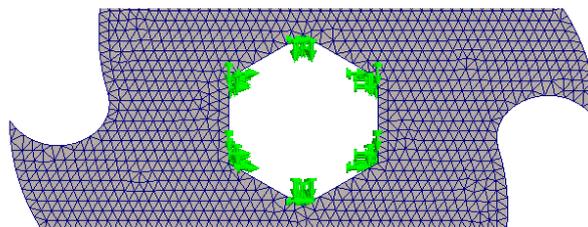


Figura 3.11. Mallado fino en la cuchilla

## 4 ANÁLISIS DE RESULTADOS

### 4.1 CÁLCULO PARA EL DISEÑO Y SELECCIÓN DE COMPONENTES

#### 4.1.1 Generalidades

En el presente capítulo, se determinará el procedimiento matemático de componentes mecánicos de la máquina, además, dar a entender el requerimiento adecuado de diseño para todo su proceso de fabricación.

El objetivo de este capítulo es emplear variables técnicas y logísticas como esfuerzo, deformaciones por cargas a estos componentes que más adelante se interpretará, conocer propiedades mecánicas del material para su construcción y finalmente un análisis a detalle de los resultados obtenidos al haber triturado el material.

### 4.2 CÁLCULO DE RESISTENCIA A LA CIZALLADURA Y FUERZA DE CORTE

#### 4.2.1 Resistencia al cizallamiento

En la tabla 2.3 se especifica el valor de la resistencia máxima de rotura en unidades de kg/cm<sup>2</sup>.

$$\sigma_B = \frac{90\text{MPa}}{0,0981\text{MPa}} = 917,435 \text{ kg/cm}^2$$

$$\tau_B = 0,8 \cdot \sigma_B$$

$$\tau_B = 0,8 \left( \frac{917,435\text{kg}}{\text{cm}^2} \cdot \frac{(1\text{cm})^2}{(10\text{mm})^2} \right)$$

$$\tau_B = 7,34\text{kg/mm}^2$$

#### 4.2.2 Fuerza de corte

Para determinar la fuerza de corte se toma en consideración la mayor resistencia a la rotura de la botella como se evidencia en la tabla 2.3, espesor del material a triturar y espesor de la cuchilla. El espesor más crítico de la boca en la botella es e<sub>1</sub>:3mm y el espesor en la cuchilla de e<sub>2</sub>:8mm.

$$F_c = \tau_B \cdot e_1 \cdot e_2$$

$$F_c = 7,34\text{kg/mm}^2 \cdot (3\text{mm})(8\text{mm})$$

$$F_c = 1728 \text{ N}$$

Cabe destacar que estudiantes de la Universidad Tecnológica Equinoccial realizaron ensayos de fuerza y corte para cortar una botella PET, dando como resultado 3123N como se muestra en el ANEXO B [24]. Se empleará este valor para su fuerza de corte, ya que este material puede variar dependiendo factores como el grosor del material y condiciones de fabricación.

$$F_c = 3123 \text{ N}$$

### 4.3 DISEÑO DEL EJE DE TRITURACIÓN

Para el cálculo del eje de transmisión, se determinará el análisis de fatiga y rigidez del material, cabe destacar que para su fabricación se utilizará el acero AISI 1018 con una densidad de  $7900\text{kg/m}^3$ , este material se muestra en el ANEXO C. La longitud total del eje es 320mm, e irán ubicados cuchillas y separadores en una sección hexagonal de 184 mm.

**Tabla 4.1.** Propiedades mecánicas del acero AISI 1018 [14]

Tipo de material	Densidad (Kg/m <sup>3</sup> )	Módulo de elasticidad		Resistencia a la fluencia ( <i>S<sub>y</sub></i> )		Resistencia a la rotura		Resistencia a la tensión ( <i>S<sub>ut</sub></i> )	
		psi	MPa	ksi	MPa	ksi	MPa	ksi	MPa
<b>AISI 1018</b>	7860	30	207	50	350	57	395	64	450

Determinar la masa y el peso del eje hexagonal.

**Tabla 4.2.** Especificaciones analizadas del eje hexagonal

Masa del eje hexagonal	1385,09 g
Volumen	175,33 cm <sup>3</sup>
Densidad	7,90 g/cm <sup>3</sup>

- Masa del eje:  $1385,09\text{gr} = 1,385\text{kg}$

$$W = m * g \quad (4.1)$$

$$W_{\text{eje}} = 1,385\text{kg} \cdot 9,8\text{m/s}^2 = 13.57 \text{ N}$$

Vinchas de retención para que no haya ningún desplazamiento al producir vibraciones.

- Masa de la vincha retenedora:  $0,21 \text{ gr} \cdot 2 \text{ vinchas} = 0,42 \text{ gr} \rightarrow 0,0042 \text{ kg}$

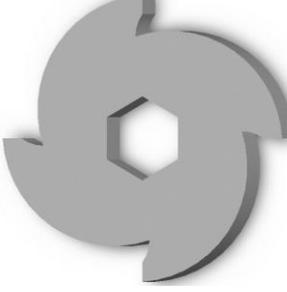
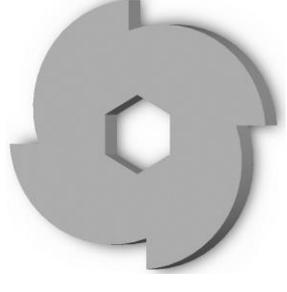
$$W_{\text{vinchas}} = 0,0042 \text{ kg} \cdot 9,8\text{m/s}^2 = 0,04 \text{ N}$$

### 4.3.1 Componentes que actúan sobre el eje de trituración

#### 4.3.1.1 Diseño y selección de Cuchillas

La selección dependerá del tipo de análisis al aplicarse una fuerza de corte de 3123 N en los filos de la cuchilla, con ayuda del programa Autodesk Fusion 360 y con ayuda del catálogo de BOHMAN [34], se analizará el material para su fabricación, cabe recalcar que la botella tiene una resistencia a la rotura de hasta 90 MPa, tomando en consideración este dato se elegirá la mejor alternativa.

**Tabla 4.3.** Diseño en Autodesk Fusion 360 de diferentes tipos de cuchillas

<b>1. Cuchilla diente punta</b> - Espesor = 6mm – 8mm - Diámetro = 100mm	<b>2. Cuchilla medio diente</b> - Espesor = 6mm – 8mm - Diámetro = 100mm	<b>3. Cuchilla diente plano</b> - Espesor = 6mm – 8mm - Diámetro = 100mm
		

#### 4.3.1.2 Selección de material para fabricar las cuchillas

Ya en el programa analizado estos tres tipos de cuchilla dependiendo el mejor agarre que tenga en los filos de la cuchilla y pueda triturar el plástico con facilidad, se ha optado por la *cuchilla diente punta* de la tabla 4.3, el material para su fabricación será en acero ASTM A36.

Dentro de los factores específicos para la selección de un material, está [35]:

1. Resistencia máxima a la tensión, compresión, fatiga, entre otras.
2. El peso y masa del material en unidades de kg.
3. Deformaciones en puntos críticos
4. Costo para procesar el material.
5. Proceso de fabricación.

Para su fabricación se eligió una plancha de 1220x500mm en 8mm de espesor en acero al carbón de serie ASTM A36 del catálogo de DIPAC, por sus buenas propiedades mecánicas como se muestra en el ANEXO D, este acero es utilizado en aplicaciones estructurales.

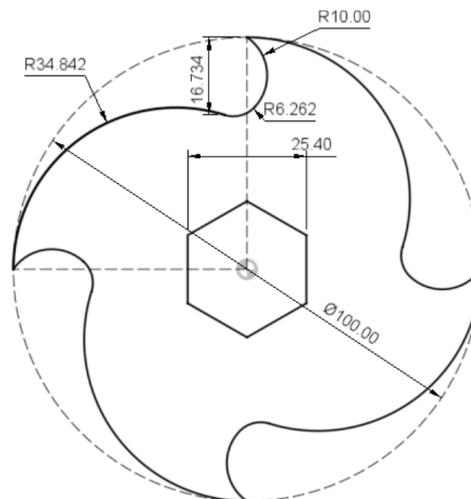
**Tabla 4.4.** Propiedades mecánicas del acero ASTM A36 [14]

Tipo de material	Resistencia a la tensión			Espesor (mm)
	ksi	Fluencia (MPa)	Esfuerzo máximo (MPa)	
ASTM A36	36	250	400	2 a 12

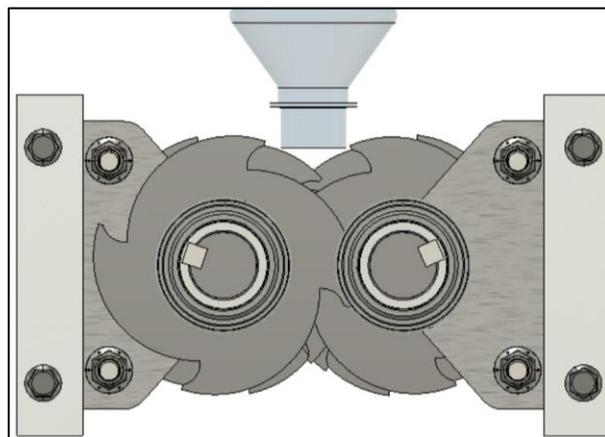
El número de cuchillas dependerá de la aplicación que se vaya a implementar, en este caso se fabricará 20 cuchillas.

### 4.3.1.3 Geometría de la cuchilla

El diseño de la cuchilla es muy importante al triturar y se deberá seleccionar el filo y el número de dientes adecuados. Según Nicolás Larburu del Prontuario de Máquinas, manifiesta que materiales diseñados con una resistencia baja se diseñe un número reducido de dientes [36], en la siguiente la figura se muestra la geometría de la cuchilla.

**Figura 4.1.** Geometría de la cuchilla de 4 dientes

En la figura 4.2 se muestra cómo será el agarre de la botella PET con este tipo de cuchillas.

**Figura 4.2.** Cámara de trituración de una botella 500ml

Determinar la masa y el peso de la cuchilla.

**Tabla 4.5.** Especificaciones analizadas de la cuchilla

Masa de cuchilla	321,23 g
Volumen	40,92 cm <sup>3</sup>
Densidad	7,85 g/cm <sup>3</sup>

- Número de cuchillas: 10 cuchillas
- Masa de la cuchilla: 321.23 gr · 10 cuchillas = 3212.3 gr → 3.21 kg

$$W_{\text{cuchillas}} = 3.21\text{kg} \cdot 9.8\text{m/s}^2 = 31.49 \text{ N}$$

#### 4.3.1.4 Diseño del separador

Este separador separará la parte frontal de la caja para que no haya rozamiento con las primeras cuchillas. Se fabricó en el mismo acero ASTM A36 y con un espesor de 12mm.

Determinar la masa y el peso de los separadores

**Tabla 4.6.** Especificaciones analizadas del separador

Masa del separador	84,17 g
Volumen	10,72 cm <sup>3</sup>
Densidad	7,85 g/cm <sup>3</sup>

- Masa del separador: 84,17gr · 4 separadores
- La masa total de los separadores: 336,68 gr → 0,33 kg

$$W_{\text{separadores}} = 0,33 \text{ kg} \cdot 9,8\text{m/s}^2$$

$$W_{\text{separadores}} = 3,29 \text{ N}$$

#### 4.3.2 Espesor crítico de la botella

Pese a que la botella PET es fácil de compactar con solo la fuerza de las manos, el punto más crítico al triturar será el pico de la botella, como se evidencia en las figuras 4.3 y 4.4.



**Figura 4.3.** Medida del espesor en el pico de la botella



**Figura 4.4.** Medida del espesor en la lámina de la botella

- Espesor de lámina de la botella PET = 0,3mm
- Espesor crítico en pico de la botella = 3mm

### Carga viva de la botella

La masa de la botella de 500ml no será un valor despreciable, en ese sentido, también influye en el esfuerzo admisible de trituración, en la siguiente figura se evidencia que la masa de la botella es de 0.017kg, ahora bien, con este valor se calculará el peso de la botella.

**Tabla 4.7.** Peso específico de la botella PET de 500ml

	<p style="text-align: center;"><b>Peso de la botella PET</b></p> <p>En esta imagen se especifica la masa en kg necesaria que también actúa como una carga.</p> <p>Masa de la botella PET de 500 ml: 0.017 kg</p> $W_{\text{botella}} = (0.017 \text{ kg}) \left(9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right)$ $W_{\text{botella}} = 0,166 \text{ N}$
--	--

### 4.3.3 Cálculos para la determinación del diámetro del eje

#### Peso total que actúa en eje de trituración

El peso total que es aplicado en el eje de trituración, es la sumatoria de todos los pesos actuantes de componentes mecánicos que se determinó anteriormente:

$$\sum W_{\text{Total}} = W_{\text{cuchillas}} + W_{\text{separadores}} + W_{\text{eje}} + W_{\text{vinchas}} + W_{\text{botella}}$$

$$\sum W_{\text{Total}} = 31,49 \text{ N} + 3,29 \text{ N} + 13,57 \text{ N} + 0,04 \text{ N} + 0,166 \text{ N} = \mathbf{48,55 \text{ N}}$$

### Torque necesario para cuchillas

Anteriormente se determinó la fuerza de corte necesaria para triturar el plástico que fue de 3123 N y con un radio de la cuchilla de 50mm. Con la siguiente ecuación se calculará el torque necesario para estas cuchillas.

$$T_c = F_c \cdot r \quad (4.2)$$

$$T_c = 3123 \text{ N} \cdot 0,05\text{m}$$

$$T_c = 156,15 \text{ Nm}$$

### 4.4 DIAGRAMA DE CUERPO LIBRE

Con el cálculo determinado del peso total en el eje de trituración que actúa como una carga los componentes mecánicos sobre el eje, estos se consideran como una carga.

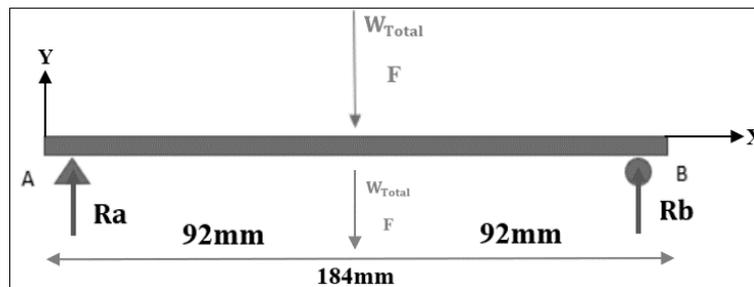


Figura 4.5. Diagrama de cuerpo libre

Mediante sumatoria de fuerzas, se realiza el diagrama de corte y momentos flector/torsor, para luego poder determinar el momento máximo de las cuchillas sobre el eje de trituración.

$\Sigma Fy$  : Sumatoria de fuerzas en el eje y

$\Sigma Ma$  : Sumatoria de fuerzas en el punto A

$Ra$  : Reacciones en el punto A

$Rb$  : Reacciones en el punto B

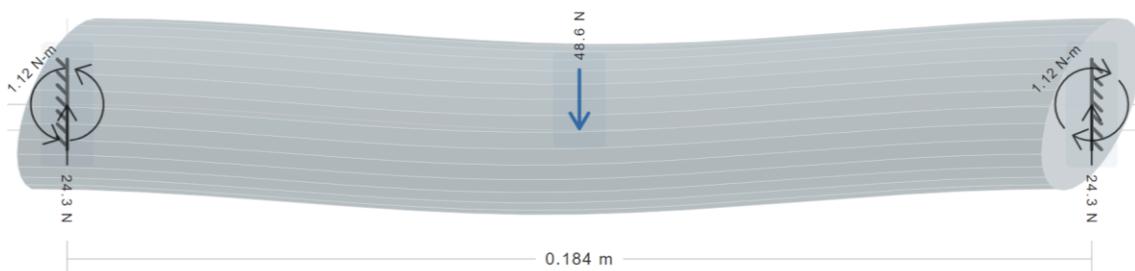


Figura 4.6. Simulación de fuerza cortante y momento flector [37]

$$\sum M_b = 0 \quad (4.3)$$

$$-W \cdot 0,092\text{m} + R_a \cdot 0,184\text{m} = 0$$

$$-48,55 \text{ N} \cdot 0,092\text{m} + R_a \cdot 0,184\text{m} = 0$$

$$R_b = 4,466 \text{ Nm} / 0,184\text{m}$$

$$R_a = 24,27 \text{ N}$$

$$\sum F_y = 0 \quad (4.4)$$

$$R_a - W + R_b = 0$$

$$24,27\text{N} - 48,55\text{N} + R_b = 0$$

$$-24,27\text{N} + R_b = 0$$

$$R_b = 24,27 \text{ N}$$

#### 4.5 DIAGRAMA DE MOMENTOS

En las siguientes figuras se evidencia el diagrama de fueras y momentos que actuaran en el eje:

Diagrama de fuerza cortante:  $V_{max} = 24,27 \text{ N}$

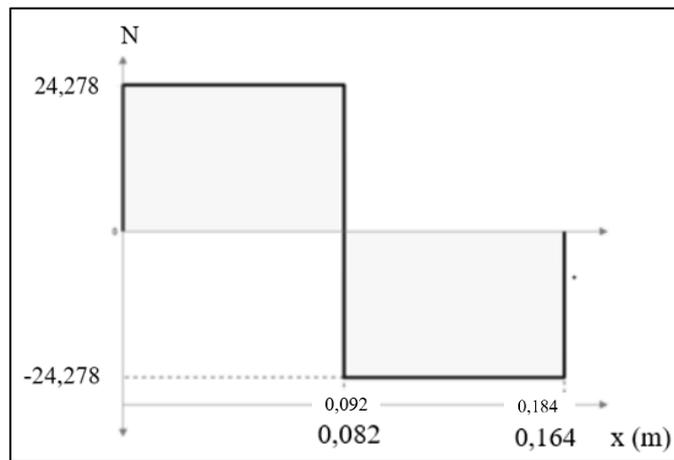


Figura 4.7. Diagrama de fuerza cortante

Diagrama momento Flector:  $M_{max} = 2,23 \text{ Nm}$

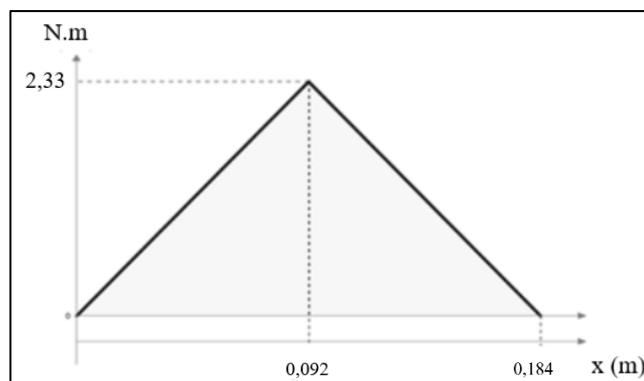


Figura 4.8. Diagrama momento flector

Diagrama de momento Torsor:  $T_{max} = 312,3 Nm$

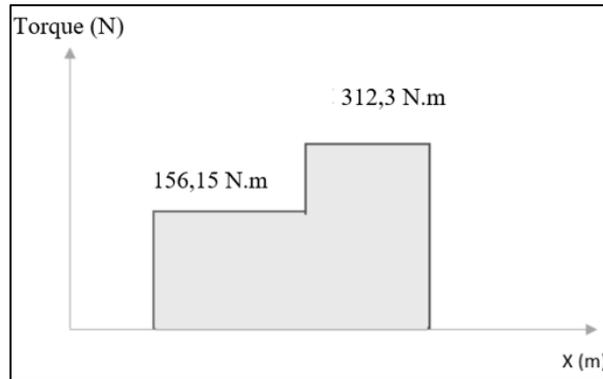


Figura 4.9. Diagrama momento Torsor

## 4.6 DETERMINACIÓN DEL DIÁMETRO DEL EJE TRITURACIÓN

Luego de haber determinado los datos obtenidos, se podrá encontrar el diámetro crítico [38].

### 4.6.1 Límite de fatiga

Para el análisis del límite de fatiga, se lo determina con la ecuación (3.5).

$$S_e = k_a \cdot k_b \cdot k_c \cdot k_d \cdot k_e \cdot k_f \cdot S_e'$$

Para el tipo de material de fabricación del eje AISI 1018, sus propiedades mecánicas son:

$$S_{ut} = 440 \text{MPa}$$

$$S_y = 370 \text{MPa}$$

El factor de modificación por superficie se seleccionó en base al ANEXO E.

Tabla 4.8. Parámetros en el factor de condición superficial. [38]

Acabado superficial	Factor (a)	Exponente (b)
	Sut - MPa	
Maquinado o laminado en frío	4,51	-0,265

$k_a$ : factor de modificación por superficie con acabado de maquinado o laminado en frío.

$$k_a: a S_{ut}^b \quad (4.5)$$

$$k_a: 4,51(440 \text{MPa})^{-0,265}$$

$$k_a = 0,898$$

El factor por tamaño del eje por dimensión es de 25.4 mm, lo cual está en el rango que se evidencia en el ANEXO F.

$k_b$ : factor de modificación por tamaño (Para  $8\text{ mm} < d < 51\text{ mm}$ )

$$k_b: 1,24d^{-0,107} \quad (4.6)$$

$$k_b: 1,24(25,4\text{ mm})^{-0,107}$$

$$k_b = 0,877$$

“Note que, para carga axial no existe efecto de tamaño.”

El factor de confiabilidad se lo seleccionó del ANEXO G para una confiabilidad del 99%:

$k_c$ : factor de confiabilidad (para un 99% de confiabilidad)

$$k_c = 0,814 \quad (4.7)$$

El factor de temperatura se ha seleccionado dependiendo el calor de trabajo que soporte el material de fabricación, así se evidencia en el ANEXO H.

$k_d$ : factor de temperatura si  $\text{Temp} \leq 450^\circ\text{ C}$

$$k_d = 1 \quad (4.8)$$

Se considera que ausencia de corrosión, esfuerzos residenciales o desgaste, se puede tomar:

$k_e$ : factor de efectos varios

$$k_e = 1 \quad (4.9)$$

El factor de carga para flexión, se considerará el siguiente valor del ANEXO I.

$k_f$ : factor de carga

$$k_f = 1 \quad (4.10)$$

#### 4.6.2 Límite de Resistencia a la fatiga del material ( $S_e'$ )

Resistencia a la tracción del AISI 1018 como se muestra en el ANEXO J:  $S_{ut} = 400\text{MPa}$

$$S_e' = 0,5S_{ut}$$

$$S_e' = 0,5 \cdot 440\text{MPa}$$

$$S_e' = 220\text{ MPa}$$

Luego de haber determinado los factores correspondientes, ahora se lo remplace en la ecuación (3.5).

**Tabla 4.9.** Factores de corrección calculados

Factores de modificación	
$k_a$	0,898
$k_b$	0,877
$k_c$	0,814
$k_d$	1
$k_e$	1
$k_f$	1
$S_e'$	220MPa

$$S_e = 0,898 \cdot 0,877 \cdot 0,814 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 220 \text{ MPa} = 141,03 \text{ MPa}$$

### 4.6.3 Factores de concentración de esfuerzos

Para analizar el momento flector máximo en las secciones A y C, se determinará factores de concentración de esfuerzos con las ecuaciones (3.7), (3.8) y (3.9).

$$k_e = k_f \cdot k_{f_s}$$

Donde:

$k_f$ : k flexión

$k_{f_s}$ : k torsión

Determinar  $k_f$  para flexión y  $k_{f_s}$  para torsión con las siguientes ecuaciones:

$$k_f = 1 + q_1(k_{t1} - 1)$$

$$k_{f_s} = 1 + q_2(k_{t2} - 1)$$

La sensibilidad a la entalla ( $q$ ) del material y el radio estimado de  $r$ : 2mm, estos valores y constante  $\sqrt{a}$  denominado constante de Neuber se muestra en el ANEXO K.

$$q = \frac{1}{1 + \frac{\sqrt{a}}{\sqrt{r}}}$$

**Flexión  $k_f$ :**

$$q_1 = \frac{1}{1 + \frac{0,53 \text{ mm}^{0.5}}{\sqrt{2 \text{ mm}}}} = 0,72$$

Para justificar el valor de la entalla ( $q$ ), el resultado se evidencia en el ANEXO L para flexión.

$$q_1 = 0,72$$

La relación de diámetro del eje cambiará de 30 a 25,4 mm:

$$\frac{D}{d} = \frac{30 \text{ mm}}{25,4 \text{ mm}} = 1,18$$

Relación entre el radio de cambio de sección y el diámetro menor:

$$\frac{r}{d} = \frac{2 \text{ mm}}{25,4 \text{ mm}} = 0,078$$

Entonces  $k_{t1} = 1,73$

El valor anterior de  $k_{t1}$  se seleccionó del ANEXO M y con la siguiente ecuación se determinará el factor de concentración de esfuerzos por fatiga para flexión.

$$k_f = 1 + 0,72(1,73 - 1)$$

$$k_f = 1,52$$

**Torsión  $k_{fs}$ :**

$$q_2 = \frac{1}{1 + \frac{0,38 \text{ mm}^{0,5}}{\sqrt{2 \text{ mm}}}} = 0,78$$

Para justificar el valor de la entalla (q), el resultado se evidencia del mismo ANEXO N para flexión.

La relación de diámetro del eje cambiará de 30 a 25,4 mm:

$$\frac{D}{d} = \frac{30 \text{ mm}}{25,4 \text{ mm}} = 1,18$$

Relación entre el radio de cambio de sección y el diámetro menor:

$$\frac{r}{d} = \frac{2 \text{ mm}}{25,4 \text{ mm}} = 0,078$$

Entonces  $k_{t2} = 1,42$

El valor de  $k_{t1}$  se seleccionó del ANEXO O, con la siguiente ecuación se determinará el factor de concentración de esfuerzos por fatiga para flexión.

$$k_{fs} = 1 + 0,78(1,42 - 1) = 1,32$$

Finalmente, se puede aplicar la ecuación (3.10) del diseño de ejes de transmisión ANSI/ASME B106 para calcular el diámetro.

$$D = \left( \frac{32n}{\pi} \sqrt{\left( \frac{k_f \cdot M}{S_e} \right)^2 + \frac{3}{4} \left( \frac{T}{S_y} \right)^2} \right)^{1/3}$$

$$D = \left( \frac{32(2)}{\pi} \sqrt{\left( \frac{1,52 \cdot (2,23\text{Nm})}{141,03\text{MPa}} \right)^2 + \frac{3}{4} \left( \frac{312,3\text{Nm}}{370\text{MPa}} \right)^2} \right)^{1/3}$$

$$D = 24,6\text{mm} \approx 25,4\text{mm}$$

De la ecuación (3.11), se determinará el factor de seguridad despejando (n) con el valor anterior valor del diámetro obtenido.

$$N = \frac{\pi(0,0254\text{m})^3}{32} \left( \left( \frac{1,52 \cdot (2,23\text{Nm})}{141,03\text{MPa}} \right)^2 + \frac{3}{4} \left( \frac{312,3\text{Nm}}{370\text{MPa}} \right)^2 \right)^{-1/2}$$

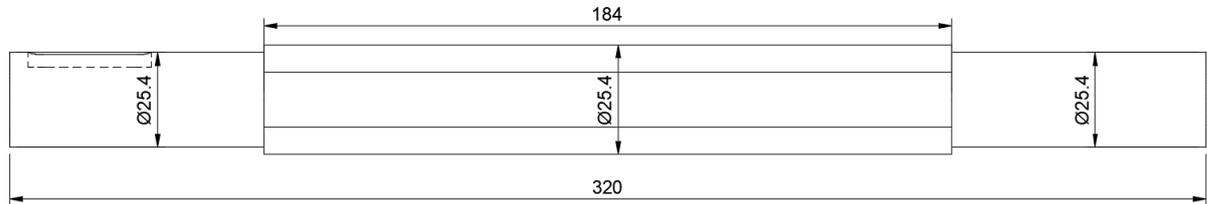
$$N = 2,18$$

### Tabla de resultados obtenidos

Tabla 4.10. Tabla de resumen de cálculo

PARÁMETROS	RESULTADOS		
<b>1</b>	Momento Flector	2,23	N.m
<b>2</b>	Momento torsor	312,3	N.m
<b>Límite de fatiga <math>S_e</math></b>	$k_a$	0,898	141,03 MPa
	$k_b$	0,877	
	$k_c$	0,814	
	$k_d$	1	
	$k_e$	1	
	$k_f$	1	
	$S_e'$	220 MPa	
<b>Factor por la concentración de esfuerzos</b>	Flexión $k_f$	1,52	
	Torsión $k_{fs}$	1,32	
<b>Diámetro del eje</b>	24,60 mm	25,40 mm	
<b>Factor de seguridad</b>	2	2,18	

Una vez determinado el cálculo del diseño del eje de trituración, el diámetro de la sección hexagonal será de 25,4 mm y la sección circular es de 25,4 mm o 1 pulg, como se evidencia en la siguiente figura 4.10.



**Figura 4.10.** Dimensionamiento del eje.

#### 4.7 DISEÑO Y ESPECIFICACIONES DEL CHAVETERO

Note que los ejes de transmisión triturarán a torsión que el motor brinde y producirá mayor esfuerzo en los engranajes. Por lo expuesto es se ha colocado chaveteros que estén fijamente sujetado entre engranes y los ejes, entonces, para su la fabricación del chavetero y con ayuda del catálogo norma DIN 6885 B [39], se eligió chaveteros paralelos en forma B para un diámetro de 25,4 mm como se muestra en el ANEXO P.

**Tabla 4.11.** Dimensión del chavetero

Diámetro del eje d1 y d2 (mm)	Sección de la chaveta b x h (mm)
22 hasta 30	8 x 7

#### 4.8 PROCESO DE SELECCIÓN DEL MOTORREDUCTOR

##### 4.8.1 Torque necesario

Hay que tener en cuenta la potencia y torque que requiera la máquina para triturar el material, para esto es importante saber cuántas cuchillas actuaran al cortar la botella, puesto que tienen 2 frentes de corte. La posición de las cuchillas ha determinado que cortarán 20 cuchillas el material PET con espesor de 3mm.

$$T_m = F_c \cdot r$$

$$T_m = 3123 \text{ N} \cdot 0,05\text{m}$$

$$T_m = 156,15 \text{ Nm}$$

##### 4.8.2 Potencia del motor (Pa)

La velocidad de corte mínima necesaria para este tipo de máquinas es de 9 hasta 60 rpm como especifica el libro Prontuario de Maquina.

En este caso, la velocidad de trituración del material para que la máquina triture se ha elegido un máximo de 60 rpm.

$$P = T \cdot \omega$$

$$P = 156,15 \text{ Nm} \left( \frac{60 \text{ rpm} \cdot 2\pi \text{ rad}}{60\text{s}} \right)$$

$$P = 981,245 \text{ W} \frac{1}{745,7}$$

$$P = 1,32 \text{ Hp}$$

#### 4.8.3 Potencia de entrada (Pe)

Para determinar la potencia de entrada al reductor de velocidad, es necesario saber qué tipo de rendimiento tiene la caja reductora. En el catálogo CHENTA GEAR [40], se evidencia el rendimiento de reductores con un 90%, en ocasiones este rendimiento que brinda el fabricante, afecta a la potencia de cálculo (Pa).

$$P_e = \frac{P_a}{\eta} 100\%$$

$$P_e = \frac{1,32 \text{ Hp}}{90\%} 100\%$$

$$P_e = 1,46 \text{ Hp}$$

Con los datos determinados, se buscará el tipo de reductor con especificas analizadas como se observa en la tabla 4.12.

**Tabla 4.12.** Especificaciones del motor seleccionado [40]

Potencia de entrada	Velocidad de entrada (rpm)	Relación (i)	Modelo	Velocidad salida (rpm)	Factor de servicio
1,10 kW 1,5Hp	ne: 1720 rpm	60:1	SK 1SI 75 IEC90 - 90 SH/4	ns: 29 rpm	0,8

#### 4.8.4 Relación de transmisión (i)

En la placa del motor se evidencia las revoluciones que ingresará al reductor y en la preselección del reductor, la velocidad de salida que trabajará la máquina.

$$i = \frac{n_e}{n_s}$$

$$i = \frac{1720 \text{ rpm}}{29 \text{ rpm}} = 60:1$$

## Selección del motorreductor

### 4.8.5 Factor de servicio (Fs)

El Fs dependerá de varios factores, como el tipo de motor, horas de funcionamiento y cantidad de arranque por hora. En el mismo catálogo de CHENTA GEAR, se seleccionará su Fs para la selección del motorreductor como se muestra en la figura 4.11.

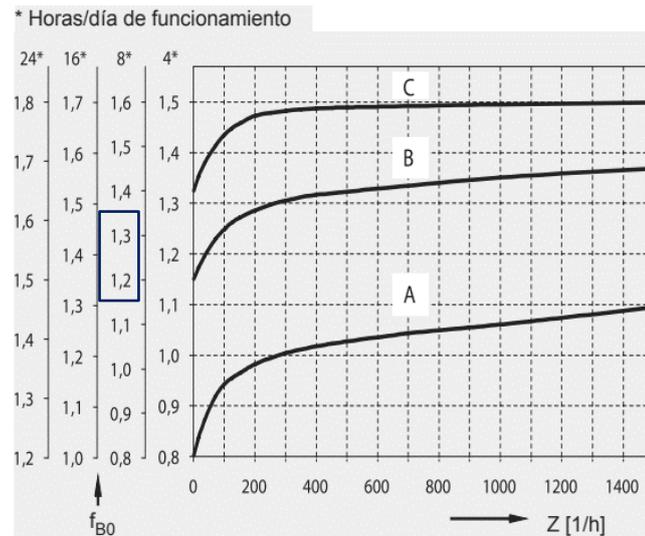


Figura 4.11. Selección del Factor de servicio dependiendo el número de horas [40]

Por ser una máquina rotativa y al trabajar pocas horas al día, el Fs se analiza con un número de funcionamiento de 7 horas diarias con 3 arranques/hora, entonces, como factor de servicio dependiendo este requerimiento será del 1,3.

### Potencia de mando (Pm)

Con este dato se verificará la selección del motorreductor, esta potencia de entrada será afectada por el factor de servicio, así que:

$$P_m = P_e \cdot F_s \quad (4.11)$$

$$P_m = 1,46 \text{ Hp} \cdot 1,3 = 1,9 \text{ Hp}$$

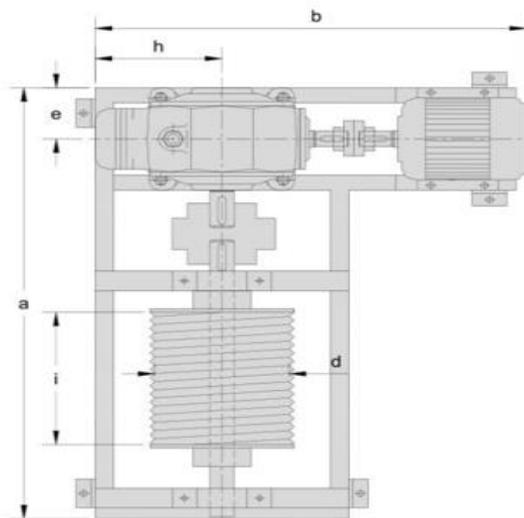
**NOTA:** “Se ha optado por utilizar un motor de 3 Hp, a pesar de que la potencia calculada fue cercana a 2 Hp. De manera que, al realizarse pruebas con un motor de esta categoría, no se obtuvo resultados deseados por la ausencia de Torque, así que, se seleccionó un motorreductor con potencia superior como se especifica en la tabla 4.13.”

Motor reductor – Modelo: *CHENTA GEAR (ASS 70609419 - SIZE 80)*, ver ANEXO Q.

**Tabla 4.13.** Características del motor reductor

Potencia de entrada	Velocidad de entrada (rpm)	Relación (i)	Modelo	Velocidad salida (rpm)	Factor de servicio
2,22kW 3Hp	1720 rpm	60:1	ASS 70609419 - SIZE 80	29 rpm	1,30

Luego de haber analizado ya todo el proceso de selección del motorreductor, a continuación, se evidencia la posición del motorreductor que tendrá en la estructura base (mesa) para constancia de un diseño esquemático, en la siguiente figura 4.12 se evidencia la posición de esta máquina.



**Figura 4.12.** Posición del motorreductor en la máquina trituradora. [41]

#### 4.8.6 Momento generado del motorreductor

Se ha determinado la fuerza de salida generada que proporciona el motorreductor a la máquina, entonces, se utilizará la ecuación (3.16).

$$M_A = \frac{Hp \cdot 716}{rpm}$$

$$M_A = \frac{3 Hp \cdot 716}{29 rpm}$$

$$M_A = 74,06 \text{ kg} \cdot \text{m} \cdot 9,81 \text{ m/s}^2$$

El motorreductor tendrá la fuerza suficiente para transmitir movimiento y triturar el plástico sin ningún problema.

$$M_A = 726,61 \text{ Nm}$$

#### 4.9 DISEÑO Y SELECCIÓN DE ENGRANAJES

Para el diseño de engranajes hay que considerar el # de dientes, en la siguiente se detalla el engranaje de 34 dientes y el tipo de Módulo tendrá como se muestra en el ANEXO R.

**Tabla 4.14.** Cálculo para el dimensionamiento del diente de engranajes [29]

Número de dientes > 30	Para engranajes rectos según su Módulo		Ángulo de presión	Módulo
	<i>ab</i>	<i>bc</i>		
34 – 35	1,019	1,570	20°	2

Los valores de la tabla 4.14 determina la (altura de la cabeza del diente *ab*, y espesor del diente, *bc*), estos valores *ab* y *bc* se lo multiplica en función al Módulo, ver ANEXO S.

Donde:

**ab:** Altura de la cabeza del diente

**bc:** Espesor del diente

$$ab = 1,019 \cdot M \quad (4.12)$$

$$bc = 1,570 \cdot M \quad (4.13)$$

$$ab = 1,019 \cdot 2$$

$$bc = 1,570 \cdot 2$$

$$ab = 2,03 \text{ mm}$$

$$bc = 3,14 \text{ mm}$$

Con el número # de 34 dientes, determinar el cálculo del diámetro primitivo:

$$D_p = M \cdot N$$

Donde:

D<sub>p</sub>: Diámetro primitivo

D<sub>e</sub>: Diámetro exterior

M: Modulo

N: Número de dientes

P: Paso circular

h: Altura total del diente

Determinar el diámetro primitivo:

$$D_p = 2 \cdot 34$$

$$D_p = 68 \text{ mm} \approx \text{Distancia entre centros}$$

Determinar el diámetro exterior:

$$D_e = D_p + 2(M)$$

$$D_e = 68 \text{ mm} + 2(2) = 72 \text{ mm}$$

Determinar el paso circular:

La distancia de un punto de un diente al siguiente diente del engranaje es:

$$P = \frac{D_p \cdot \pi}{N}$$

$$P = \frac{68 \cdot \pi}{34} = 6,28$$

Determinar la altura total del diente, ver ANEXO 18:

$$h = 2,167 \times \text{Módulo} \quad (4.14)$$

$$h = 2,167 \times 2 = 4,33$$

## Resultados

En la siguiente figura 4.13 se evidencia los resultados obtenidos del diseño de engranajes.

Módulo. . . . .	1	1,25	1,5	1,75	2	2,25	2,5	2,75	3	3,25
Paso . . . . . mm.	3,14	3,93	4,71	5,5	6,28	7,07	7,85	8,64	9,42	10,21
Espacio entre dientes. »	1,57	1,97	2,36	2,75	3,14	3,54	3,93	4,32	4,71	5,11
Espesor del diente. . »	1,57	1,97	2,36	2,75	3,14	3,54	3,93	4,32	4,71	5,11
Profundidad del diente. »	2,17	2,71	3,25	3,79	4,33	4,87	5,42	5,96	6,5	7,04

Figura 4.13. Dimensiones de dientes en función al módulo [29]. Ver ANEXO 19

“Entre el diámetro de la cuchilla y el eje de transmisión deberá tener una separación de 3mm para que no haya rozamiento”. Note también que el diseño de los engranajes se fabricó en acero 7210, y como referencia también se ha tomado las siguientes especificaciones:

- Distancia entre centro: 68 mm
- Ángulo de presión: 20°
- Número de dientes: 34
- Relación de transmisión: 1:1

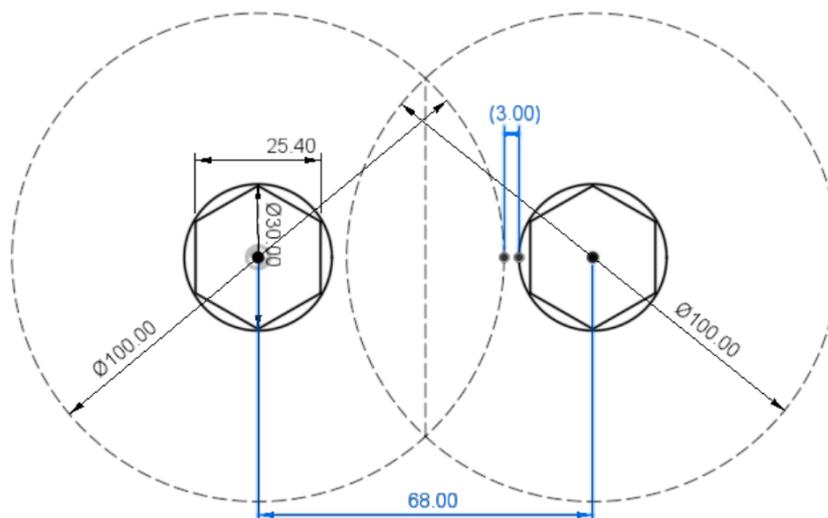


Figura 4.14. Distancia entre centros y distancia de separación entre cuchilla y eje

#### 4.10 SELECCIÓN DE RODAMIENTOS

Como referencia al cálculo, se ha tomado valores en base a la velocidad de salida que producirá el motorreductor y la carga total aplicada en el eje de transmisión.

Donde:

Revoluciones de salida del motorreductor (n): 29 rpm

Carga equivalente estática: 48,55 N

La ecuación para determinar la capacidad básica dinámica de carga radial es:

$$L_{10h} = \frac{10^6}{60 n} \times \left(\frac{C}{P}\right)^3$$

“En el ANEXO 20 se muestra el factor de vida que se considera a una Máquinas en uso 6 a 8 horas/día no totalmente utilizadas son de: 10000 a 20000 horas.” Despejar (C).

$$C = P \left( \frac{L_{10h} \cdot 60(n)}{10^6} \right)^{1/3}$$

$$C = 0,049 \text{ KN} \left( \frac{20000 \text{ horas} \cdot 60(29 \text{ rpm})}{10^6} \right)^{1/3} = 0,16 \text{ KN}$$

#### Factor de seguridad

Este factor de seguridad dependerá de las condiciones de funcionamiento de la máquina:

$$f_s = \frac{C}{P}$$

**Tabla 4.15.** Valores del  $f_s$  por condiciones de funcionamiento [30]

Condiciones de funcionamiento	Valor mínimo de $f_s$ Rodamiento de bolas
Aplicaciones con bajo nivel de ruido	1 – 1,2
Rodamientos sujetos a vibraciones y cargas de impacto	1,5 – 3
Condiciones de funcionamiento normales	1,2 – 1,5

$$f_s = \frac{0,16 \text{ KN}}{0,048 \text{ KN}} = 3$$

Las condiciones de funcionamiento que trabajará este tipo de máquina son vibraciones y cargas de impacto, se considera un factor de seguridad de 3, ver ANEXO U.

## Selección del tipo de rodamiento

Luego de haber determinado la carga estática y el factor de seguridad para garantizar el movimiento mientras la máquina esté funcionando, se seleccionó el catálogo de rodamientos NTN 4 chumaceras de modelo: UCFL205D1 de 25mm de diámetro como se evidencia en el ANEXO V. En el dato de cálculo, este rodamiento soportara cargas estáticas hasta 7.85 kN como se muestra en el ANEXO W.

### Datos del cálculo

Capacidad de carga dinámica básica	C	14 kN
Capacidad de carga estática básica	$C_0$	7.8 kN
Carga límite de fatiga	$P_u$	0.335 kN
Velocidad límite		7 000 r/min

Figura 4.15. Datos del cálculo de rodamiento UCFL205D1 [30]

## 4.11 DISEÑO DEL CUERPO DE TRITURACIÓN

### 4.11.1 Caja trituradora

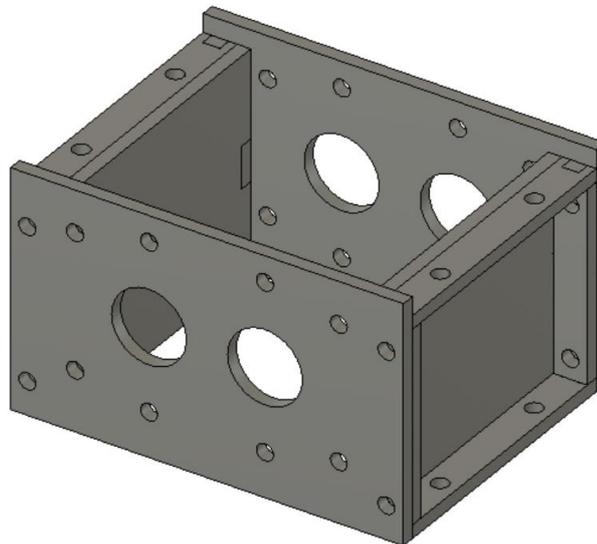
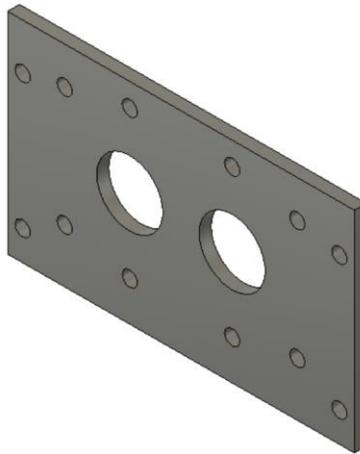


Figura 4.16. Estructura metálica

Para el diseño de paredes frontales y laterales de la caja trituradora, se fabricará con una plancha en acero ASTM A36 con espesor de 8 mm. Esta caja trituradora es de 168x225 mm y será desmontable por medio de pernos de sujeción, solo las paredes laterales estarán sujetas con soldadura. En la parte superior servirá como apoyo para la tolva y en la parte inferior como apoyo en la estructura metálica.

### Pared base frontal I

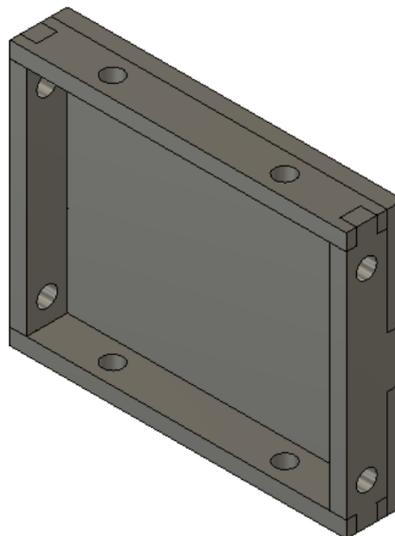
Este soporte frontal permite acoplar ejes, rodamiento y engranajes, además, esta pared permite el ensamble de los elementos para la construcción de la caja trituradora, cabe destacar que, esta placa base no ira soldada a ninguna otra pieza, al contrario, toda su construcción es a base de pernos de sujeción. Para su fabricación se utilizó el acero ASTM A36 de 230x140 mm en 8 mm de espesor como se evidencia en la figura 4.17.



**Figura 4.17.** Soporte frontal y trasera de la caja de trituración

### Pared base lateral II

Esta placa lateral permite asentar la tolva superior, estructura o mesa, pared frontal y trasera con pernos de sujeción. Tal es el caso que sus dimensiones son 164x130 mm en acero ASTM A36 en 8 mm de espesor como se muestra en la siguiente figura 4.18.



**Figura 4.18.** Soporte lateral por piezas para la caja de trituración

#### 4.11.2 Cuchilla de corte

Estas cuchillas sustentan el objetivo de triturado o reducir el volumen del material PET hasta llegar al punto deseado. El diseño de las cuchillas tendrá 4 filos de corte con un diámetro externo de 100 mm y se fabricará en acero ASTM A36 con un espesor de 8 mm.

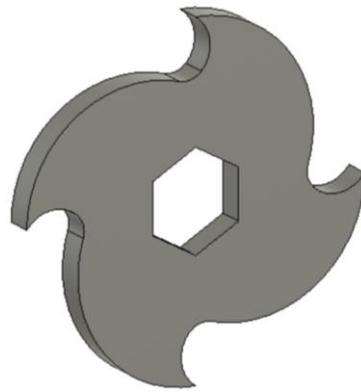
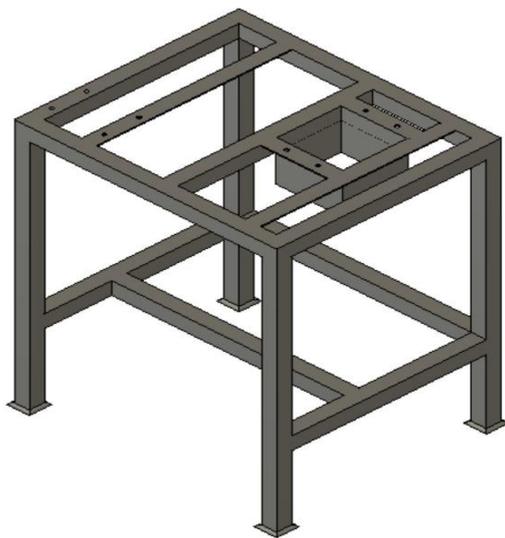


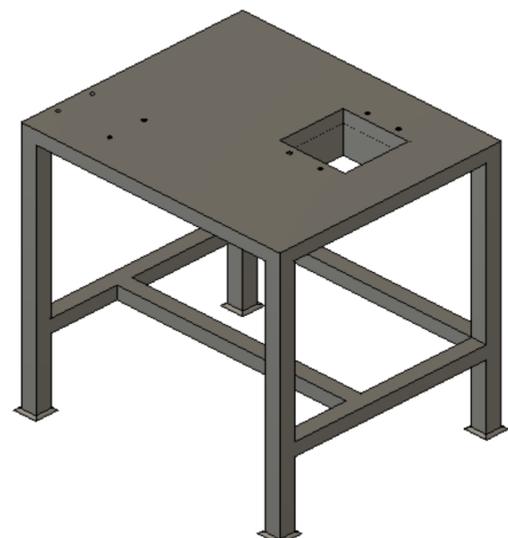
Figura 4.19. Cuchilla de corte de 4 filos

#### 4.11.3 Diseño de estructura base

La estructura va a estar diseñada mediante columnas y vigas donde se apoyará el motorreductor y la caja de trituración. Para su fabricación se utilizó un tubo cuadrado en acero AISI 304, este tipo de perfil se seleccionó del catálogo DIPAC, mismo que se muestra en el ANEXO X.



(a) Estructura por columnas y vigas



(b) Estructura con lamina en acero ASTM A36

Figura 4.20. Estructura metálica diseñada por columnas, vigas y con lamina en ASTM A36

Note que el peso máximo de los componentes mecánicos que ejerce sobre la mesa se los detalla a continuación, se emplea para todo el proceso la ecuación (4.1):  $W = m \cdot g$

**Cargas aplicadas por el motorreductor***Motor*

$$W = 22\text{kg} \cdot 9,8\text{m/s}^2 = 215,6\text{ N}$$

*Reductor*

$$W = 15\text{kg} \cdot 9,8\text{m/s}^2 = 147\text{N}$$

**Carga aplicada por la caja trituradora***Cuchillas ASTM A36*

$$W = 6,42\text{kg} \cdot 9,8\text{m/s}^2 = 62,96\text{N}$$

*Separador de pared ASTM A36*

$$W = 4,50\text{kg} \cdot 9,8\text{m/s}^2 = 44,13\text{N}$$

*Separador de cuchillas ASTM A36*

$$W = 0,336\text{kg} \cdot 9,8\text{m/s}^2 = 3,3\text{N}$$

*Eje de transmisión AISI 2018*

$$W = 2,76\text{kg} \cdot 9,8\text{m/s}^2 = 27,04\text{N}$$

*Barra en acero inoxidable AISI 304*

$$W = 0,482\text{kg} \cdot 9,8\text{m/s}^2 = 4,72\text{N}$$

*Pernos de sujeción AISI 1045*

$$W = 1,61\text{kg} \cdot 9,8\text{m/s}^2 = 15,77\text{N}$$

*Caja de trituración ASTM A36*

$$W = 7,24\text{kg} \cdot 9,8\text{m/s}^2 = 70,95\text{N}$$

*Tolva acero galvanizado*

$$W = 0,85\text{kg} \cdot 9,8\text{m/s}^2 = 8,33\text{N}$$

### Cargas aplicadas por transmisión

*Chumaceras NTN*

$$W = 2,32kg \cdot 9,8m/s^2 = 22,73N$$

*Engranajes Acero 4140*

$$W = 1,2kg \cdot 9,8m/s^2 = 11,76N$$

### Carga total aplicada sobre la mesa

$$\sum W_t = (215,6 + 147 + 62,96 + 44,13 + 3,3 + 27,04 + 4,72 + 15,77 + 70,95 + 8,33 + 22,73 + 11,76)$$

$$\sum W_t = (634,29N)$$

Para el cálculo del esfuerzo de columna de la estructura, se utilizará la ecuación (3.24):

$$f_a = \frac{P}{A}$$

Donde:

fa: esfuerzo a compresión

P: carga

A: área

$$f_a = \frac{634,29N}{0,289m^2} = 2194,77 \text{ Nm}^2$$

### El esbeltez y factor de estabilidad

La esbeltez garantiza que la estructura tenga mejor rigidez y así evitar deflexiones o vibraciones.

$$\lambda = \frac{K \cdot L}{r}$$

$$\lambda = \frac{0,65 \cdot (700mm)}{12,55mm} = 36,25 < 200$$

¡Note que el valor de la relación de esbeltez debe ser menor a 200 por la condición de miembros estructurales que están sometidos a compresión, en este caso, se podrá notar en los siguientes apartados por el análisis de elementos finitos de la estructura base que estará soportando diferentes cargas!

### Esfuerzo de pandeo elástico

Para encontrar el esfuerzo de pandeo elástico, se utiliza la siguiente fórmula:

$$F_e = \frac{\pi^2 \cdot E}{\left(\frac{K \cdot L}{r}\right)^2}$$

$$F_e = \frac{\pi^2 \cdot 200000 \text{ MPa}}{(36,25)^2} = 1502,15 \text{ MPa}$$

### Condiciones de esbeltez:

La condición de esbeltez viene dada por la siguiente ecuación:

- Menor o igual su esbeltez

$$\frac{K \cdot L}{r_{\min}} \leq 4,71 \cdot \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

- Mayor al número especificado (4,71)

$$\frac{K \cdot L}{r_{\min}} > 4,71 \cdot \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

Comprobar la relación de esbeltez con la ecuación anterior:

$$36,25 \leq 4,71 \cdot \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 4,71 \cdot \sqrt{\frac{200000 \text{ MPa}}{250 \text{ MPa}}} = 133,21 \text{ MPa}$$

Luego de haber determinar los esfuerzos por vigas y columnas de la estructura base, se puede observar por cálculo matemático que la estructura resistirá a la carga aplicada sobre la mesa, el cual cumple con las condiciones de diseño y se evidencia que se cumple con su condición de esbeltez en todas sus columnas.

#### 4.12 DISEÑO DEL CIRCUITO DE FUERZA Y MANDO

Luego de haber realizado las pruebas necesarias, finalmente con ayuda del programa CAdE\_SIMU se diseñó el diagrama de un circuito eléctrico trifásico de encendido y apagado para el funcionamiento y desconexión de la máquina, en la figura 4.21 se observa el circuito de fuerza y mando para el arranque del motor trifásico de 230V.

##### Funcionamiento del sistema eléctrico

El sistema eléctrico se encenderá mediante un pulsador llamado START, el mismo que encenderá el motor en sentido horario y al mismo tiempo se encenderá una lámpara piloto de color verde “STAR”, posterior a lo mencionado se pondrá en marcha el funcionamiento de la máquina. Para detener su funcionamiento mediante un pulsador STOP se encenderá la lámpara piloto color roja. Además, en caso de emergencia o la máquina llegase atascarse, se colocó un paro de emergencia y un guardamotor por si exista algún sobrecalentamiento excesivo por corriente o alguna una avería y desconecte por completo el sistema eléctrico del motor.

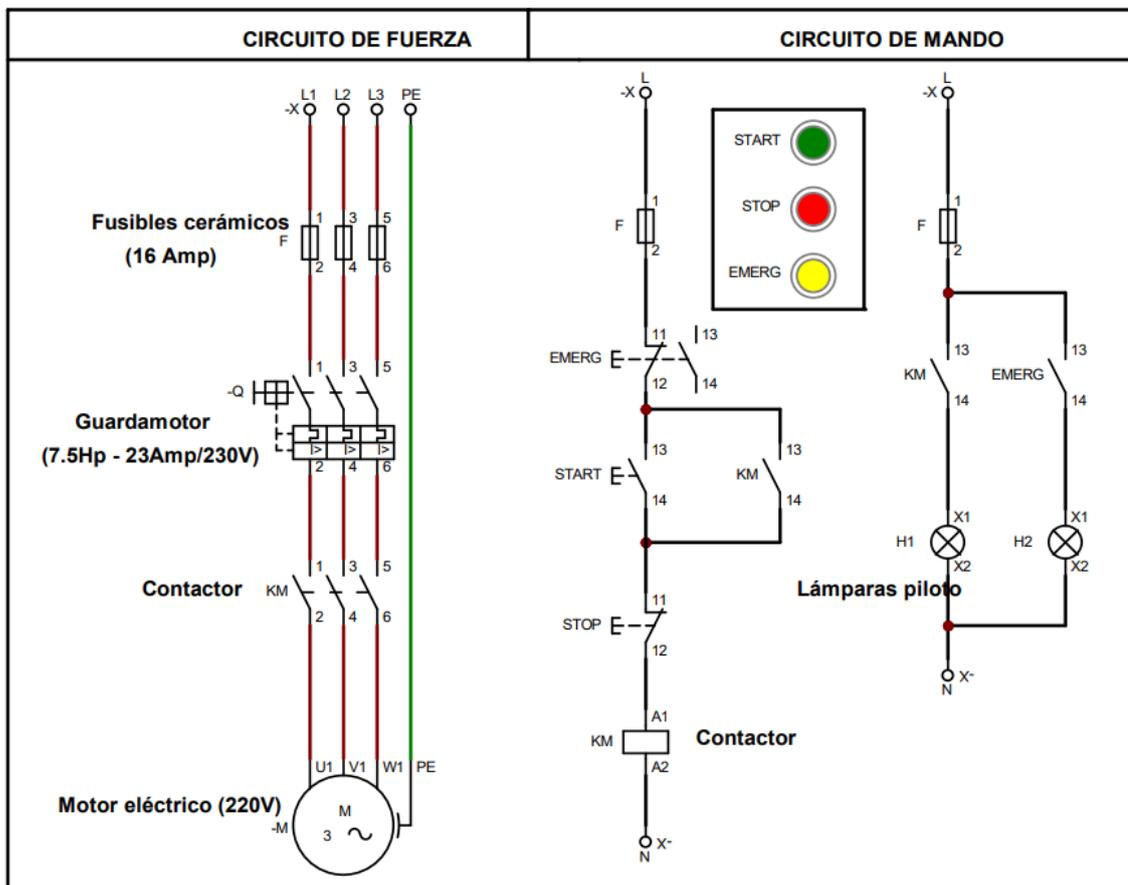


Figura 4.21. Diagrama eléctrico de encendido de la máquina trituradora

### 4.13 VALIDACIÓN DE COMPONENTES MEDIANTE EL ANÁLISIS DE ELEMENTOS FINITOS

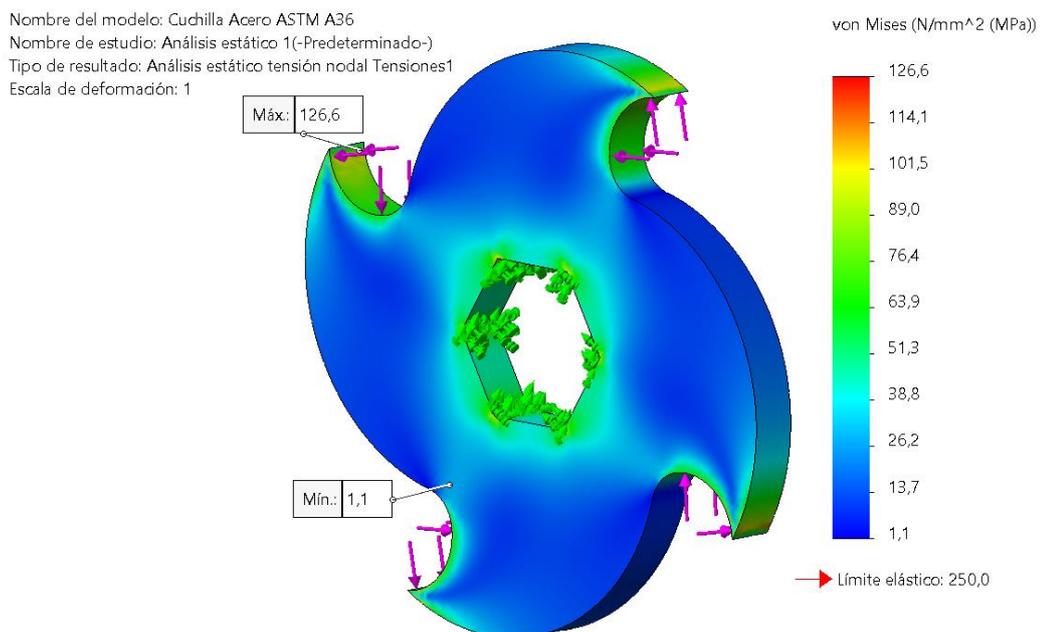
Se considera los elementos más importantes de la máquina trituradora de plásticos PET, de modo que con el apoyo del Softwares CAD - CAE como Autodesk Fusion 360 y ANSYS que permitan analizar cada pieza diseñada en 3D.

A continuación, se analizará el proceso de diferentes simulaciones de los elementos de la máquina, considerando parámetros como Tensión de Von Mises, desplazamiento, deformación y factor de seguridad que deberá ser mayor a 2 validando así la fabricación en función a criterios establecidos.

#### 4.13.1 Simulación del uso de Software Autodesk Fusion 360

#### 4.13.2 Cuchilla en Acero ASTM A36

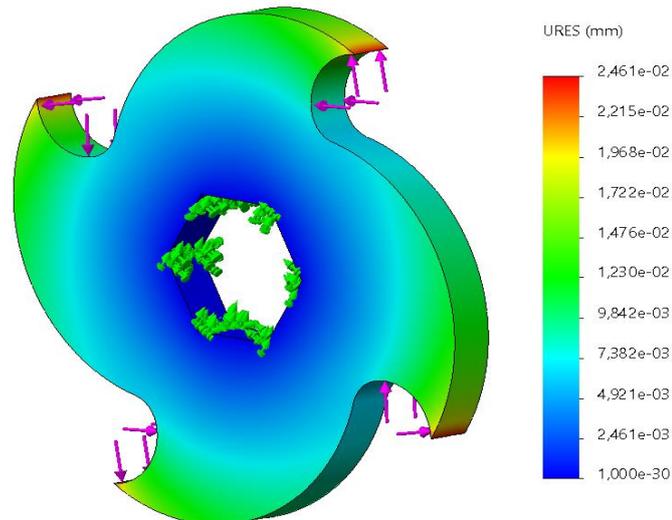
Para cualquier diseño y construcción, es fundamental utilizar algún tipo de simulador de Análisis de materiales, en este caso se utilizó el software Autodesk Fusion 360, en esta cuchilla se aplicó una fuerza de corte en los filos del componente. De hecho, en la siguiente figura se identifica a detalle la Tensión de Von Mises que resistirá el filo de las cuchillas, es decir, la tensión máxima es de 126,6MPa lo que diferencia demasiado a la resistencia de tracción de la botella 90 MPa, en este caso, será el límite de fluencia del material que se utilizó (ASTM A36) para la elaboración de las cuchillas.



**Figura 4.22.** Tensión de Von Mises (MPa) en los 4 dientes de la cuchilla

## Desplazamiento

Se considera la relación de desplazamiento que pueda tolerar el filo del diente de la cuchilla y se deberá tomar en cuenta que debe ser el mínimo para que pueda triturar correctamente el material PET, en la siguiente figura se evidencia el desplazamiento máximo de 0,026 mm, en este caso, no tendrá complicaciones al triturar el material.

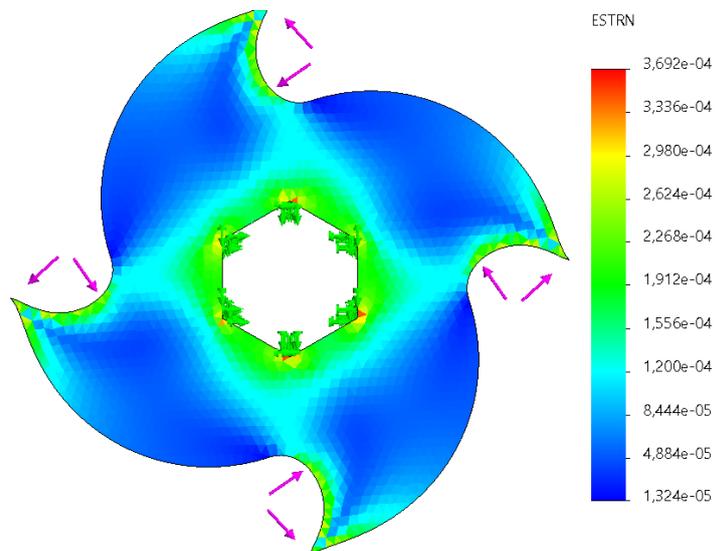


**Figura 4.23.** Desplazamiento (mm) por diente de la cuchilla

## Deformaciones

La deformación de dicho elemento puede ser por el tipo de material que este fabricado y sobre todo por la fuerza a tracción que se le aplique a cada diente de la cuchilla al momento de triturar el material (PET), es tal el caso que se evidencia en la figura 4.24 en una escala de deformación de 175,983 que puede llegar a soportar los dientes de las cuchillas de cada eje.

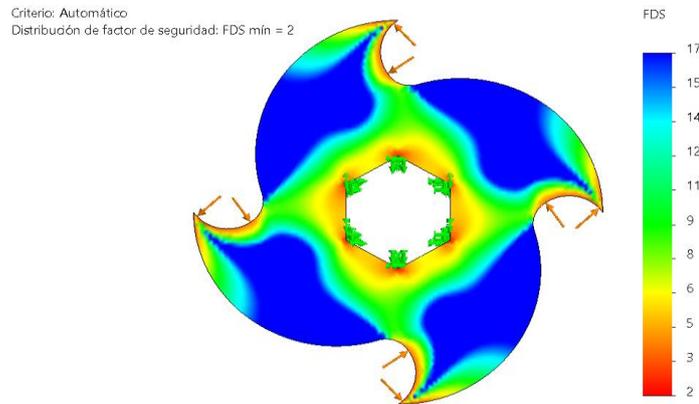
Escala de deformación: 175,983



**Figura 4.24.** Deformaciones en cada diente dependiendo la fuerza aplicada.

## Factor de Seguridad

El factor de seguridad se lo identifico en el filo de la cuchilla y al trabajo de trituración estos filos se desgastarán, sin embargo, se evidencia que el FSD mínimo es 2.



**Figura 4.25.** Factor de Seguridad (FDS:2)

Realizando la simulación se obtuvo los siguientes resultados:

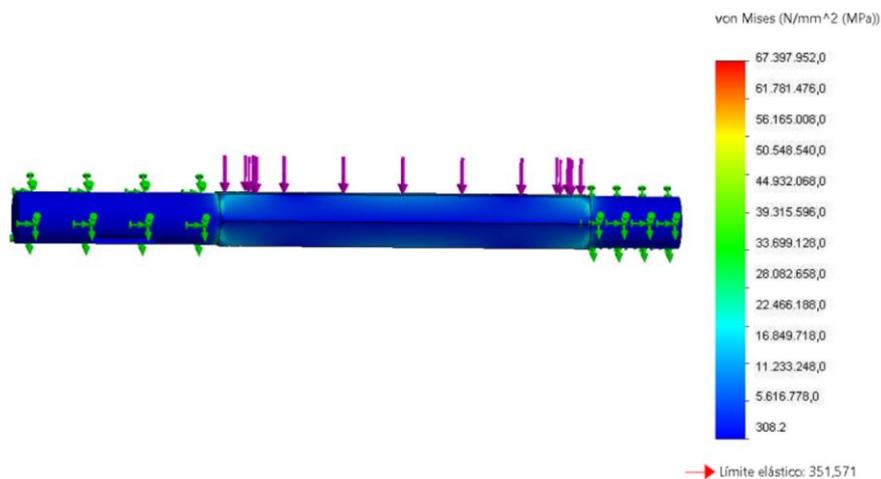
**Tabla 4.16.** Resultados de simulación cuchilla 4 filos

Resultados de simulación Autodesk Fusión 360	
Esfuerzo (Von Mises) (máx.)	126,6 MPa
Desplazamiento (máx.)	0,026 mm
Deformaciones	175,983
Factor de seguridad	máx: 2 – mín: 17

### 4.13.3 Eje de Trituración Acero AISI 1018

#### Tensiones de Von Mises

En los ejes de trituración se aplicará una carga puntual, de modo que cada eje está distribuido por 10 cuchillas. Al analizar el material (AISI 1018) el eje no tendrá deformaciones.



**Figura 4.26.** Esfuerzos de Von Mises (MPa) del eje de trituración

## Desplazamiento

El desplazamiento del eje se deberá considerar el mínimo valor en mm para aquellas fuerzas ejercidas, con este análisis se evidencia desplazamiento máximo de  $1,99 * 10^{-4}mm$ , en este caso, no existe desplazamiento y por no tendrá problemas al someterse a esfuerzos.

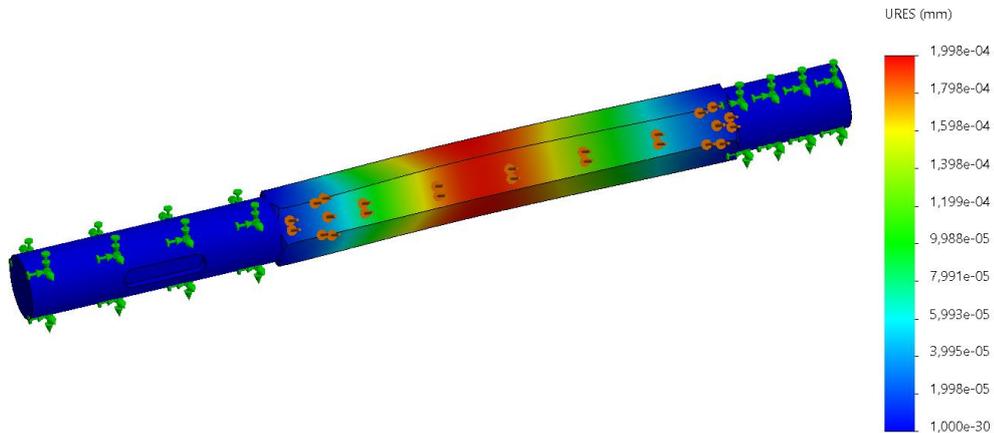


Figura 4.27. Desplazamiento del eje de trituración

## Factor de Seguridad

Este eje estará en constante movimiento y sometidos a esfuerzos mayores entre la carga de las cuchillas y el esfuerzo de impacto al triturar el PET.

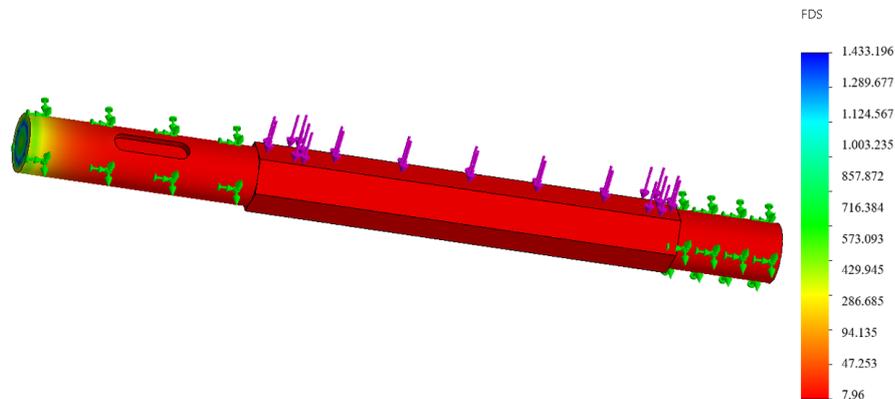


Figura 4.28. Factor de seguridad del eje de trituración

Realizando la simulación se obtuvo los siguientes resultados:

Tabla 4.17. Resultados de simulación de eje hexagonal

Resultados de simulación Autodesk Fusión 360	
Esfuerzo (Von Mises) (máx.)	67,39 MPa
Desplazamiento (máx.)	0,000199mm
Deformaciones	190,042
Factor de seguridad	máx: 7,96 – min: 1.433.196

#### 4.13.4 Estructura base Acero ASTM A36

##### Tensión de Von Mises

La estructura estará sometida a una carga puntual de 634,29 N que estará distribuida por toda la estructura y por una gravedad de  $9,81\text{m/s}^2$ . Esta estructura se fabricó en un tubo cuadrado de acero estructural ASTM A36. En la siguiente figura se evidencia que la estructura que será imperceptible a las vibraciones y esfuerzos.

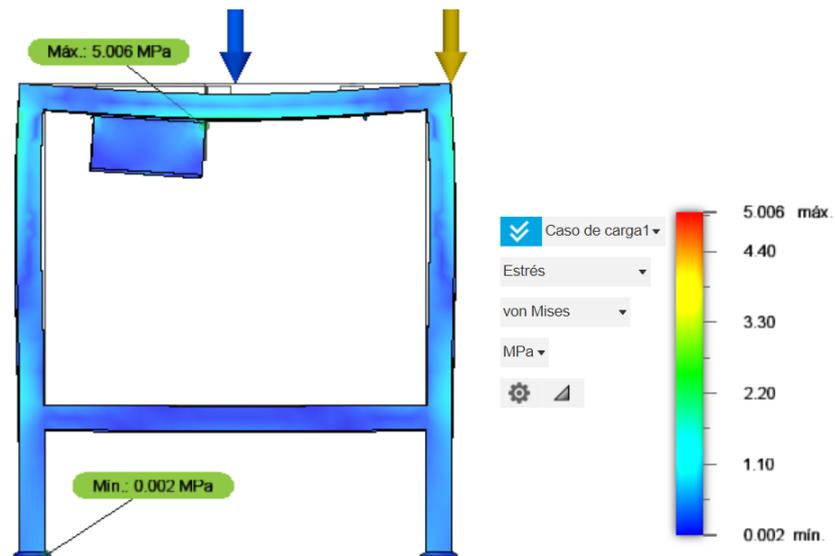


Figura 4.29. Tensión de Von Mises de la estructura base

##### Desplazamiento

Una vez realizado el análisis en el centro de la estructura, en el software se evidenció un desplazamiento de  $0,029\text{ mm}$  como se muestra en la figura 4.30.

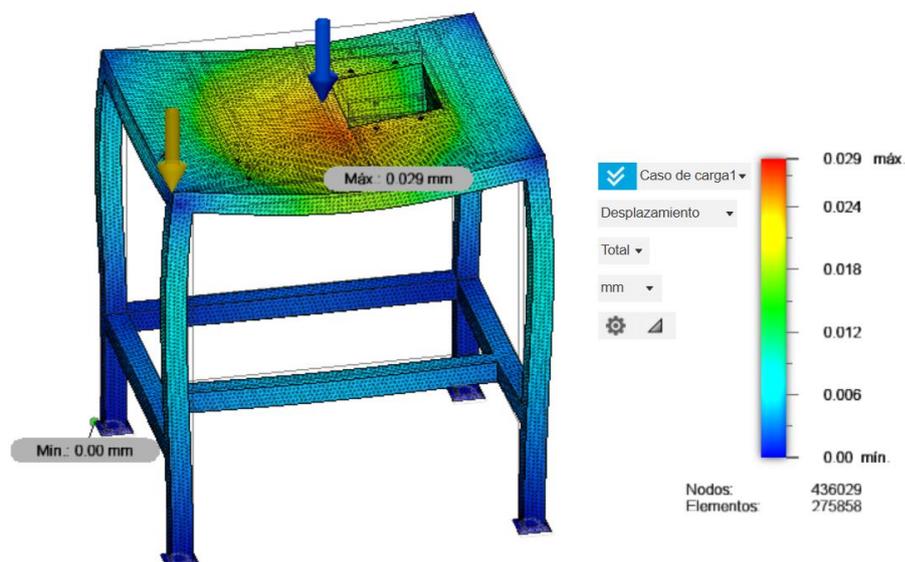


Figura 4.30. Deformación de estructura base mediante una carga puntual

## Factor de Seguridad

Como se observa en la siguiente figura, su FDS mínimo de la estructura es superior al valor de análisis que se esperó, en este caso es su FS es de 15.

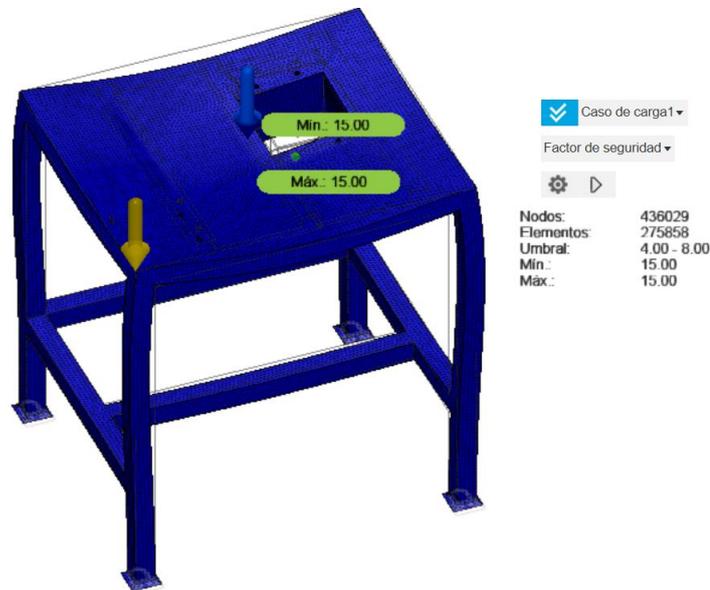


Figura 4.31. Factor de Seguridad de la estructura base

Realizando la simulación se obtuvo los siguientes resultados:

Tabla 4.18. Resultados de simulación de estructura base

Resultados de simulación Autodesk Fusión 360	
Esfuerzo (Von Mises) (máx.)	5,066 MPa
Desplazamiento (máx.)	0,029 mm
Deformaciones	2,82
Factor de seguridad	máx: 15

## Ubicación del sistema de trituración en la estructura final

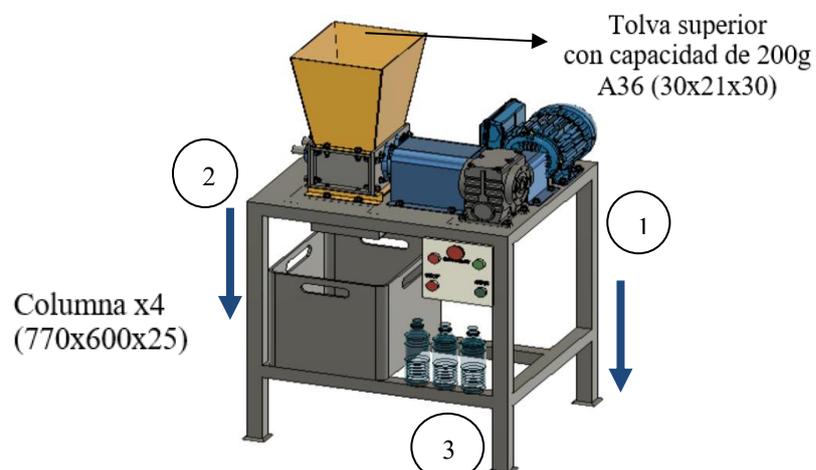


Figura 4.32. Fabricación del diseño en 3D en Fusión 360

## 4.14 PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO

### 4.14.1 Tiempo de corte en función al peso

Para las pruebas respectivas, se ha tomado como punto clave determinar el valor de la capacidad de ingreso de material plástico. Tal es el caso que, se tomó material plástico del reciclador del laboratorio de la Universidad para colocar en la tolva superior hasta llenarlo, poner en funcionamiento la máquina y triturar el material, con ayuda de un cronómetro determinar el tiempo de trituración del PET. En la tabla 4.19 se muestra el tiempo de trituración en función a la cantidad de ingreso.

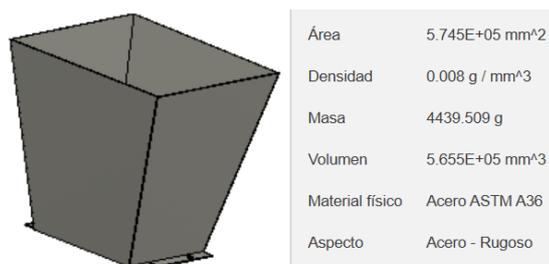
**Tabla 4.19.** Pruebas de trituración PET

Botellas trituradas	Peso (g)	Tiempo de trituración (seg)
	200g	15,20
<b>Promedio =</b>	<b>760g</b>	<b>60</b>
	45600g	3600

Entonces, al llenarse la tolva superior de material plástico, se triturará una capacidad en función al peso de 200 gramos en 15,20 segundos.

### 4.14.2 Dimensionamiento de la Tolva Superior

Los resultados mostrados a continuación, se relacionan en base al volumen de la tolva, este valor se obtuvo mediante propiedades físicas del diseño CAD – CAE del software Fusion 360.



**Figura 4.33.** Volumen de la Tolva Superior

Resultados obtenidos:

**Tabla 4.20.** Especificaciones de la Tolva Superior

Relación volumen/peso		
Cantidad máx. de botellas en la Tolva Superior =	Volumen	Peso
	565,5 cm <sup>3</sup>	200 gramos

El volumen de botellas plásticas en la tolva (565,5 cm<sup>3</sup>) y el peso de estas botellas antes y después de trituradas (200 g) es igual a la relación 2827,5  $\left[\frac{\text{cm}^3}{\text{kg}}\right]$ .

Características técnicas de la tolva superior:

- Tolva superior (30x21x30)
- Capacidad de hasta (200 g) en un solo proceso de trituración
- Relación  $2827,5 \left[ \frac{\text{cm}^3}{\text{kg}} \right]$ .

#### 4.14.3 Comparativo volumen/peso del recipiente

En el recipiente que se pretendió recolectar el material triturado, se calculó su volumen función al largo, ancho y altura del recipiente para posterior a esto poder determinar el peso de botellas sin triturar y trituradas, como resultados realizar diferentes comparativas.



**Figura 4.34.** Recipiente de trituración en base a su volumen

#### Volumen del recipiente

Para determinar el volumen del recipiente se lo calcula con la siguiente ecuación:

$$\text{Volumen recipiente } V_T = L \cdot a \cdot h \quad (4.15)$$

$$V_T = 38,2 \text{ cm} \times 28,5 \text{ cm} \times 30 \text{ cm} = 32\,661 \text{ cm}^3$$

Con este volumen de  $32\,661 \text{ cm}^3$  se permitirá comparar la relación de P1, P2 Y P3.

#### BOTELLAS PLÁSTICAS SIN APLASTAR

El peso 1 constará en que el recipiente se llene por completo de botellas plásticas no hayan sido aplastadas, luego pasarlo al proceso de trituración y finalmente verificar mediante tablas el volumen reducido y el peso.

**Tabla 4.21.** Peso botellas sin aplastar

Comparativa	Peso l (kg)
Botellas sin aplastar	0,50 kg

La relación volumen/peso será:

$$\text{relacion } \eta = \frac{V_T}{P}$$

$$\eta = \frac{32\,661 \text{ cm}^3}{0,50 \text{ kg}} = 65\,322 \frac{\text{cm}^3}{\text{kg}}$$

### Botellas plásticas sin aplastar trituradas

**Tabla 4.22.** Peso botellas sin aplastar trituradas

Comparativa Botellas trituradas	Peso (g)	Tiempo de trituración (seg)
	0,50 kg	44,6

$$\text{Volumen triturado } V_A = L \cdot a \cdot h$$

$$V_A = 38,2 \text{ cm} \times 28,5 \text{ cm} \times 3 \text{ cm} = 3\,266 \text{ cm}^3$$

Entonces, la relación de trituración será:

$$\text{relacion } \eta = \frac{V_A}{P}$$

$$\eta = \frac{3\,266 \text{ cm}^3}{0,50 \text{ kg}} = 6\,532 \frac{\text{cm}^3}{\text{kg}}$$

### Comparativa final

La relación en comparación al volumen entre el material sin triturar y triturado se reducirá significativamente como se observa en la siguiente tabla.

Material sin triturar	65 322 cm <sup>3</sup> /kg
Material triturado	6 532 cm <sup>3</sup> /kg

### BOTELLAS PLÁSTICAS APLASTADAS

En la comparativa 2 consiste en que el recipiente se llene por completo de botellas aplastadas, pesarlas y pasarlo al proceso de trituración y verificar el volumen reducido y el peso triturado.

**Tabla 4.23.** Peso botellas aplastadas

Botellas aplastadas	Peso 2 (g)
	0,80 kg

La relación volumen/peso será:

$$\text{relacion } \eta = \frac{V_T}{P}$$

$$\eta = \frac{32\,661 \text{ cm}^3}{0,80 \text{ kg}} = 40\,826 \frac{\text{cm}^3}{\text{kg}}$$

### Botellas plásticas aplastadas trituradas

**Tabla 4.24.** Peso botellas aplastadas trituradas

Botellas trituradas	Peso (kg)	Tiempo de trituración (seg)
	0,80 kg	65

$$\text{Volumen triturado } V_B = L \cdot a \cdot h$$

$$V_B = 38,2 \text{ cm} \times 28,5 \text{ cm} \times 6 \text{ cm} = 6\,532 \text{ cm}^3$$

Entonces, la relación de trituración será:

$$\text{relacion } \eta = \frac{V_B}{P}$$

$$\eta = \frac{6\,532 \text{ cm}^3}{0,80 \text{ kg}} = 8\,165 \frac{\text{cm}^3}{\text{kg}}$$

### Comparativa final

La relación en comparación al volumen del material plástico antes y después de su trituración se reducirá significativamente como se observa en la siguiente tabla.

Material sin triturar	40 83 cm <sup>3</sup> /kg
Material triturado	8 165 cm <sup>3</sup> /kg

### BOTELLAS TRITURADAS HASTA LLENAR EL RECIPIENTE

Finalmente, en la comparativa 3 consiste en que el recipiente se llene por completo de material ya triturado y determinar su peso total.

**Análisis:** si anteriormente se trituro botellas sin aplastar dando como resultado un peso de 0,50 kg y un volumen de altura de 3 cm, entonces si el recipiente tiene una altura de 30 cm y este al estar completamente lleno de material triturado su peso total será de 5 kg.



Figura 4.35. Peso total de material triturado

Promedio del peso total trituración

Tabla 4.25. Promedio comparativo P3

Altura de trituración (cm)	Peso (kg)
3 cm	0,50 kg
30 cm	<b>5 kg</b>

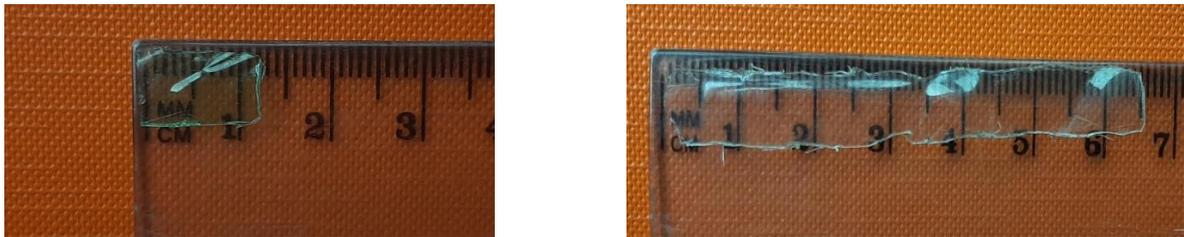
#### 4.14.4 Tamaño de trituración

Luego de haber triturado el material plástico, se determinó las dimensiones de trituración.

**Tabla 4.26.** Tamaño de trituración

Triturado (mm)	
ancho	largo
8	12
8	66

Como se puede observar en la tabla, existe diferencia en el tamaño de trituración, un proceso de partículas trituradas de 8x12 mm y tiras desgarradas de 8x66 mm.



a) Trituración de partícula min.

b) Trituración de tira máx.

**Figura 4.36.** Tamaño de trituración a y b

#### 4.15 ANÁLISIS DEL CONSUMO ENERGÉTICO DEPENDIENDO EL VOLUMEN Y LAS HORAS DE TRABAJO

Para analizar el consumo energético de la máquina, se determinó el precio del kilovatio hora (kWh) en Ecuador, el cual se estableció en diciembre del 2023 en 0,085 centavos de dólar. Este dato es importante para saber el nivel de consumo y así comprender el impacto económico de funcionamiento.

La ecuación que permite calcular el consumo energético es la siguiente:

$$\text{Consumo Energético} = \text{Potencia (kW)} \times \text{Horas al día} \times \text{Días de uso al mes} \quad (4.16)$$

- Potencia de la máquina: se mide en kilovatios (kW) y representa la cantidad de energía que la máquina consume.
- Tiempo de funcionamiento: se mide en horas y representa la duración durante la cual la máquina está en funcionamiento.

##### 4.15.1 Consumo energético al procesar 200 gramos en un tiempo de 15,20 segundos.

Datos de análisis:

**Tabla 4.27.** Datos para el cálculo de consumo energético

Potencia de la máquina		Horas de uso diario	Días de uso al mes
Hp	kW	h	Días
3	2,2	15,26 seg → 0,0042 h	1

### Cálculo de consumo energético en 15,20 segundos

$$\text{Consumo Energético} = \text{Potencia (kW)} \times \text{Horas al día} \times \text{Días de uso al mes}$$

$$\text{Consumo Energético} = 2,2 \text{ kW} \times 0,0042 \text{ h} \times 1$$

$$\text{Consumo Energético} = 9,24 \times 10^{-3} \text{ kWh}$$

### Costo consumo energético en 15,20 segundos

Tabla 4.28. Costos de consumo energético

Consumo mensual kWh	Precio (kWh) en Ecuador	Consumo energético
kWh	\$	\$
$9,24 \times 10^{-3}$	0,085	$7,85 \times 10^{-4}$

A procesar 200 gramos en un tiempo de 15,20 segundos se estimó un consumo de \$ 0,015.

### 4.15.2 Consumo energético al procesar 45,6 kg de material triturado en una Hora

Datos de análisis:

Tabla 4.29. Datos para el cálculo de consumo energético

Potencia de la máquina		Horas de uso diario	Días de uso al mes
Hp	kW	h	Días
3	2,2	1	1

### Cálculo de consumo energético en una hora

$$\text{Consumo Energético} = \text{Potencia (kW)} \times \text{Horas al día} \times \text{Días de uso al mes}$$

$$\text{Consumo Energético} = 2,2 \text{ kW} \times 1 \text{ h} \times 1$$

$$\text{Consumo Energético} = 2,2 \text{ kWh}$$

### Costo consumo energético en una hora

Tabla 4.30. Costos de consumo energético

Consumo mensual kWh	Precio (kWh) en Ecuador	Consumo energético
kWh	\$	\$
2,2	0,085	0,187

A procesar 45,6 kg en una hora se estimó un consumo energético de \$ 0,187, ahora, si la máquina trabaja 6 horas en un día su consumo será de \$ 1,122, entonces, si la máquina trabajará 6 horas al día por 20 días su consumo energético será de \$ 22,44.

### 4.15.3 Análisis de trituración del peso en kg por 20 días.

Si en una hora se trituró 45,6 kg, en 6 horas se triturarán 273,6 kg, entonces, en los 20 días que trabaja la máquina se triturará aproximadamente 5472 kg de material plástico triturado.

Datos de análisis:

**Tabla 4.31.** Datos para el cálculo de consumo energético

Potencia de la máquina		Horas de uso diario	Días de uso al mes
Hp	kW	h	Días
3	2,2	6	20

#### **Cálculo de consumo energético por 20 días**

$$\text{Consumo Energético} = \text{Potencia (kW)} \times \text{Horas al día} \times \text{Días de uso al mes}$$

$$\text{Consumo Energético} = 2,2 \text{ kW} \times 6 \text{ h} \times 20$$

$$\text{Consumo Energético} = 264 \text{ kWh}$$

#### **Costo consumo energético por 20 días**

**Tabla 4.32.** Costos de consumo energético

Consumo mensual kWh	Precio (kWh) en Ecuador	Consumo energético
kWh	\$	\$
264	0.085	22,44

Finalmente, se determinó que el costo de consumo energético de la máquina al trabajar 6 horas al día por 20 días, será de \$22.44 por mes, verificando que el dato obtenido anteriormente es real que se analizó.

#### **4.15.4 Capacidad de corte de la máquina**

Mediante el análisis correctivo para determinar la capacidad promedio de trituración, se ha triturado material plástico en 60 segundos, dando como resultado final una capacidad de 760 g/min, este valor se muestra en la tabla 4.19, acertando de manera satisfactoria al objetivo y parámetros analizados, validando por completo su proceso de fabricación de esta máquina.

### **4.16 VARIABLES QUE INFLUYEN EN EL PROCESO DE TRITURACIÓN**

#### **VARIABLES DE ENTRADA**

Las variables de entrada permiten controlar y ajustar los parámetros del proceso de trituración. Además, el control de variables de entrada facilita la adaptación del proceso a diferentes tipos de operación, lo que aumenta la versatilidad de producción de la máquina.

#### **VARIABLES DE SALIDA**

Estas variables de salida proporcionan datos sobre resultados del proceso. Esta información es crucial para evaluar el rendimiento de la máquina trituradora y realizar ajustes para mejorar la calidad y la eficiencia del proceso si es necesario.

**Tabla 4.33.** Variables de intervención

<b>Variables de entrada (Generadas por el entorno)</b>	
Tipo de material	Botellas plásticas PET
Cantidad de material a triturar por ciclo	200 gramos
Velocidad de trituración	29 rpm
<b>Variables de salida (Determinadas por el sistema)</b>	
Tamaño de las partículas trituradas.	Mínimo de 8x12 mm – Máximo 8x66 mm
Tiempo de ciclo	15,20 segundos
Consumo de energía durante la operación.	0,00924 kWh – $9,24 \times 10^{-3}$ kWh

## 4.17 ANÁLISIS ECONÓMICO DEL PROYECTO

### 4.17.1 Costos directos de fabricación

Los costos directos de fabricación de la máquina incluyen gastos asociados directamente con la producción, como materiales, mano de obra para la construcción de la máquina. En la siguiente figura 4.34 se muestra los costos adquiridos para fabricar este equipo.

**Tabla 4.34.** Costos de material

Elementos	Descripción	Cantidad	Precio c/u	Valor Final (USD)
Plancha de 8 mm de espesor	Acero A 36	(2 x 1.50) m	98,00	98,00
Chumaceras	Chumaceras de pared	4	9,60	38,40
Eje de sujeción para cuchillas	Acero AISI 1018	1m	20,00	20,00
Motor	3Hp	1	300,00	300,00
Hoja de tol de 4mm de espesor	Hoja de tol Galvanizado	(0.80 x 0.80) m	12,75	12,75
Hoja de tol de 2mm de espesor	Hoja de tol Galvanizado	(1 x 0.80) m	14,20	14,20
Eje de sujeción para separadores	Acero AISI 304	1 m	3,50	3,50
Pernos y tuercas M10	Acero	30	0,75	22,50
Tubo cuadrado 30 x30mm	Acero A36	6 m	3,35	20,10
Anillos de sujeción	Acero 1018	4	0,75	3,00
Engranajes	Acero	2	20,00	40,00
Chaveteros	Acero rápido	3	3,00	9,00
Electrodos	Electrodos 6011	1 lb	3,60	3,60
Pintura	Azul y tomate	2 latas	5,50	11,00
Platina de 4mm de espesor	Acero	1 m	2,75	2,75
Pulsadores	Pulsadores rojo y verde	2	1,46	3,12
Paro de emergencia	Retención	1	2,28	2,28
Fusible cerámico	10 Amp	3	0,36	1,08
Base para fusibles	Porta fusibles	3	1,55	4,65
Riel DIM	Riel DIM	1 m	1,32	1,32
Contactador	Contactador	1	18,00	18,00
Cable flexible	Cable #10	2 m	0,94	1,89
Caja	Caja plástica	22x17x10,5 cm	8,54	8,54
			<b>TOTAL</b>	<b>639,68</b>

#### 4.17.2 Costos de mano de obra

Tabla 4.35. Costos de mano de obra

Operario	Horas utilizadas (h)	Precio (c/hr)	Valor Final (USD)
Tornero	2	7,50	15,00
Fresador	2	8,00	16,00
Operario de cortadora en laser	2	7,00	14,00
Soldador	2	6,00	12,00
Pintor	1	3,50	3,50
<b>TOTAL</b>			<b>60,50</b>

#### 4.17.3 Costos de utilización de máquinas herramientas.

Tabla 4.36. Costos de utilización de máquinas herramientas

Descripción	Máquina	Horas utilizadas	Valor Final (USD)
Corte de pieza de la máquina	Cortadora laser	2	190,20
Cilindrado de ejes	Torno	2	47,00
Fresado de chavetas y engranajes	Fresadora	2	25,00
Suelda de uniones de estructura	Soldadora	2	12,00
Perforación para anclaje de componentes	Taladro	1	3,50
Pintura	Compresor	1	5,00
<b>TOTAL</b>			<b>282,70</b>

#### 4.17.4 Costos directos totales

Tabla 4.37. Costos directos totales

Costos directos de fabricación	Valor final (USD)
Costos de material	639,68
Costos de mano de obra	60,50
Costos de utilización de máquinas herramientas	282,70
<b>TOTAL</b>	<b>982,88</b>

#### 4.17.5 Costos indirectos

Estos costos abarcan gastos que, aunque no están directamente vinculados a la producción, son esenciales para su realización, en la tabla 4.38 se indica estos valores.

Tabla 4.38. Costos indirectos

Descripción	Valor Final (USD)
Ingeniería en detalle e investigación	400,00
Trasporte	15,00
Costos imprevistos varios	50,00
<b>TOTAL</b>	<b>465,00</b>

#### 4.17.6 Costo total de fabricación

Este costo engloba tanto los costos directos relacionados directamente con la producción, como los costos indirectos, que influyen en la eficiencia operativa y gestión del proyecto.

Tabla 4.39. Costos totales de fabricación

Descripción	Valor Final (USD)
Costos directos	982,88
Costos indirectos	465,00
<b>TOTAL</b>	<b>1447,88</b>

## **4.18 IMPACTOS (TÉCNICOS, SOCIALES, AMBIENTALES O ECONÓMICOS)**

### **1. Impacto tecnológico**

El aporte significativo en el diseño, constituye el análisis del procesos de fabricación a través de sistemas CAM dentro de la zona para la fabricación de las cuchillas de corte de la máquina, identificándose como uno de los resultados importantes, además de los procesos de corte tradicionales en el mercado (oxicorte y plasma), el proceso de corte por chorro a presión de agua, mismo que se ha identificado con un proveedor en la ciudad de Quito, y el proceso de corte por filamento caliente ubicado por la ciudad de Ambato.

### **2. Impacto social**

Al conocer el funcionamiento y al analizar los resultados de trituración de la máquina a futuro se pretende crear una iniciativa para proporcionar a las pequeñas empresas recicladoras la capacidad de reducir la acumulación del plástico mediante procesos de triturado que ofrece esta máquina. Esto podría conducir a la creación de empleo, especialmente para aquellas personas que se dedican a la recolección y reciclaje de materiales plásticos.

### **3. Impacto ambiental**

Contribuirá significativamente a la reducción del volumen de plástico, lo cual es fundamental para mitigar el impacto ambiental causado por la acumulación de envases de plástico. Esta reducción del volumen no solo facilitará su manejo y transporte, sino que también promoverá su reutilización, promoviendo así prácticas más sostenibles en el manejo de los residuos plásticos.

### **4. Impacto económico**

El impacto financiero del proyecto se centra exclusivamente en los costos de producción de la máquina trituradora de plásticos, abarcando los gastos asociados con la adquisición de materiales, la mano de obra requerida para la fabricación, los equipos y herramientas necesarios, así como los costos de transporte e ingeniería. Estos aspectos financieros son fundamentales ya que han ayudado a determinar el presupuesto total necesario de construcción de este prototipo de máquina.

## 5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1 CONCLUSIONES

- Mediante un análisis CAD - CAE se determinó que fabricar este tipo de cuchilla en acero ASTM A36 garantizará un factor de seguridad igual a 2 y, sobre todo, su funcionamiento y trituración estará dentro de los parámetros que se esperaba.
- El volumen de botellas plásticas en la tolva superior tuvo un valor de (565,5 cm<sup>3</sup>) y el peso de estas botellas antes y después de trituradas fue el mismo de (200 g), entonces la relación entre el volumen/peso es igual a  $2827,5 \left[ \frac{\text{cm}^3}{\text{kg}} \right]$ .
- En relación a P1 y P2, triturar botellas sin aplastar tendrá un valor de 0,50 kg, mientras que triturar botellas aplastadas su peso será de 0,80 kg, concluyendo así que el peso de trituración puede ser mayor o menor dependiendo el volumen de ingreso en la tolva superior.
- En el proceso de trituración se evidencio, que existe una variación en el tamaño de trituración, un proceso de partículas trituradas de 8x12 mm y tiras desgarradas de 8x66 mm.
- La capacidad máxima que tiene la tolva superior para ingresar material es de hasta (200 g) pero en un solo proceso de trituración.
- Una vez finiquitada la máquina se realizó diferentes pruebas de funcionamiento, dando como resultado las siguientes variables de salida: un tiempo de trituración de 15,20 segundos por 200 gramos de material triturado, esta cantidad se ajusta al dimensionamiento máxima de la tolva superior.
- En base a los resultados obtenidos, se concluyó que esta máquina puede trabajar en zonas de reciclaje pequeñas o medianas con el propósito de disminuir el volumen excesivo de material plástico.
- Para negocios, se utiliza un costo a nivel nacional de \$0,085 por kWh, entonces, se evidencia que el consumo energético de la máquina en 20 días laborables al mes tendrá un consumo energético de \$22,44.
- Si en una hora se trituró 45,6 kg, en 6 horas se triturará 273,6 kg, entonces, en los 20 días que trabaje la máquina se triturará aproximadamente 5472 kg de material plástico.

## 5.2 RECOMENDACIONES

- El mantenimiento debe ser el más accesible para la persona que lo manipule, como el mantenimiento de cuchillas, limpieza de residuos plásticos en rodamientos para no obstruir el mecanismo de transmisión y mantenimiento eléctrico.
- Es recomendable no exceder o sobrepasar la capacidad de alimentación de la tolva superior con botellas plásticas.
- Si se desea obtener los mejores resultados con partículas entre 0,5 a 10 mm, se recomienda fabricar cuchillas con un espesor mínimo de 4 mm, pero con aceros más resistentes.
- Es importante analizar el tipo de material que se pretende triturar y que la máquina tenga la potencia y torque suficiente para triturar el material plástico.

## 6 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] O. OLMEDO, «Máquinas Expendedoras Inversas: El Futuro Para el Reciclado de PET en México,» de *Universidad Tecnológica de Juarez*, Chihuahua, 2018, pp. 44 - 60.
- [2] T. N. Conservancy, «Es ahora o para siempre,» The Nature Conservancy, 10 abril 2020. [En línea]. Available: <https://www.nature.org/es-us/que-hacemos/nuestras-prioridades/ciudades-saludables/detener-residuos-plasticos/>. [Último acceso: 19 junio 2023].
- [3] A. C. Jaime Eduardo, «OBTENCIÓN DE FIBRA TEXTIL A PARTIR DEL RECICLADO DEL PLÁSTICO (PET),» 1, BOGOTÁ D.C, 2023.
- [4] M. J. V. Ulloa, «El reciclaje de plásticos, un reto para lograr una economía circular,» *CEDAMAZ*, vol. 12, n° 2, p. 5, 2022.
- [5] Valgroup, «Reciclaje Mecánico,» 2, Bogotá , 2023.
- [6] J. Caviades, «DISEÑO DE UNA MÁQUINA TRITURADORA PARA PLÁSTICO PET,» Tesis de pregrado Fundacion Universidad de America, Bogota, 2022.
- [7] B. Rodriguez, «<https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/23933/1/UPS-GT004118.pdf>,» *Tesis Pregrado Ingenieria Industrial*, n° 37, p. 225, 2022.

- [8] A. Muncino, «GRANULOMETRÍA,» Facultad de Arquitectura UNAM, Mexico, 2019.
- [9] L. Cushicondor, Diseño y construcción de un prototipo de máquina trituradora para botellas plásticas PET reciclables con capacidad de 5kg/h, Loja, 2021.
- [10] CPM, «Papeles y Conversiones de México,» 16 Agosto 2022. [En línea]. Available: <https://www.pcm.com.mx/learning-center/diferencias-entre-el-plastico-virgen-y-pellet-reciclado>. [Último acceso: Martes Noviembre 2023].
- [11] R. & Lonkengard, «Tecnología de los Plásticos,» *Blog dedicado a los materiales plásticos, características, usos, fabricación, procesos de transformación y reciclado*, vol. 2, n° 1, p. 10, 30 mayo 2011.
- [12] INSTRON, «RESISTENCIA A LA TRACCIÓN,» *INSTRON*, n° 3, p. 10, 2015.
- [13] R. L. MOOT, Resistencia de Materiales, México: Quinta Edición, 2009.
- [14] DIPAC, «CATÁLOGO GENERAL DE PRODUCTOS DE ACERO,» *DIPAC LATACUNGA*, vol. 5, n° 18, p. 84, julio 2022.
- [15] A. Ortiz, «Diseño y simulacion de una maquina trituradora de plasticos,» *Escuela Politecnica Nacional*, pp. 10-15, 2013.
- [16] W. A. Goya Trujillo, «“DISEÑO DE UN TRITURADOR PARA PAPEL,» 2015. [En línea]. Available: <https://www.dspace.espol.edu.ec/retrieve/0249b553-0e53-48de-aed2-342446948e38/D-88031.pdf>. [Último acceso: agosto 2023].
- [17] J. Caviedes, «DISEÑO DE UNA MÁQUINA TRITURADORA PARA PLÁSTICO PET.,» Tesis de pregrado Fundacion Universidad de America, Bogota - Colombia , 2022.
- [18] G. G. A. Rivera, «DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MÓDULO ACADÉMICO DE INTERACCIÓN HOMBRE – MÁQUINA PARA LA REHABILITACIÓN DE LA CIZALLA EDWARDS TRUECUT 3.25 mm MODELO 600,» Vol. 1, Sangolqui, 2015.
- [19] G. J. Flores, «Diseño de una herramienta: cuchilla para trabajo en frio,» junio 2015. [En línea]. Available: Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica - México. [Último acceso: enero 2024].
- [20] JENFREX, «Trituradoras y molinos para plásticos,» México, 2018. [En línea]. Available: <https://www.janfrex.mx/site/trituradoras-y-molinos-para-plastico/>. [Último acceso: 7

- noviembre 2023].
- [21] A.-. Internacional, «Aginter,» 21 Mayo 2018. [En línea]. Available: [https://www.aginter.com.ar/perforaciones\\_cribas\\_martillos.php](https://www.aginter.com.ar/perforaciones_cribas_martillos.php). [Último acceso: 12 Octubre 2023].
- [22] R. G. Budynas, Diseño en ingeniería mecánica de Shigley, México: Octava edición, 2008.
- [23] J. Sanchez, «Estudio de factibilidad para la aplicación de una máquina trituradora de plástico en la empresa MG gestores ambientales,» 2018.
- [24] J. A. ORTIZ PALACIOS , «Diseño y construcción de una maquina trituradora automaziado para envases plásticos,» 2016. [En línea]. Available: <https://1library.co/document/zkekemez-diseno-construccion-maquina-trituradora-automatizada-envases-plasticos.html>. [Último acceso: enero 2024].
- [25] E. F. Gómes Jimbo, «DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA TRITURADORA AUTOMÁTICA DE PLÁSTICOS P.E.T,» *ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO*, pp. 14 -16, 2021.
- [26] M. C. Ruiz, Resistencia de Materiales, Barcelona, España: Edit. 01, 2015.
- [27] N. Laura, «Propiedades mecanicas de materiales,» 2, México, 2017.
- [28] L. V. Vanegas Useche, Diseño de Elementos, Pereira, Colombia: Edición 1, 2018.
- [29] A. L. Casillas, MÀQUINAS CÁLCULOS DE TALLER, España: Edición 40, 3 de junio del 2009.
- [30] NTNcorporation, «CATALOGO RODAMIENTOS Y CHUMACERAS,» *CATALOGO*, nº 58, p. 513, 2015.
- [31] NSK, «RODAMIENTOS,» *MOTION & CONTROL NSK*, vol. 5, nº 29, p. 546, 2020.
- [32] W. T. Chairman, «STEEL CONSTRUCCION MANUAL,» *AMERICAN INSTITUTE OF STEEL CONTRUCCTION*, vol. 14 Edición, nº 576, p. 2325, 2015.
- [33] A. M, «3Dnatives - Fusion 360,» 12 Agosto 2023. [En línea]. Available: <https://www.3dnatives.com/es/fusion-360-software-290420202/#!>. [Último acceso: 02 Diciembre 2023].

- [34] BOHMAN, «Cuchillas cuadradas,» BOHMAN, junio 2020. [En línea]. Available: [https://bohman.com.ec/shop?order=list\\_price+desc&category=41](https://bohman.com.ec/shop?order=list_price+desc&category=41). [Último acceso: 15 Diciembre 2023].
- [35] SUMITEC, «SUMINISTROS TECNICOS S.A,» *ACERO ESTRUCTURAL A36*, n° 1, p. 1, 2019.
- [36] N. L. Arrizabalaga, *Prontuario de Máquinas*, España: Editorial Paraninfo, 2008.
- [37] B. Ketchep, «Blue Ketchep,» Deflexión , diciembre 2023. [En línea]. Available: <https://www.blueketchep.com/es>. [Último acceso: 7 enero 2024].
- [38] R. L. NORTON, *DISEÑO DE MÁQUINAS*, México: Cuarta Editorial, 2004.
- [39] O. S.L, «CHAVETAS COMPONENTS,» 2019. [En línea]. Available: <https://rodavigo.net/catalogos/LASIOM/07%20Transmisi%C3%B3n/LASIOM%2011%20Chavetas.pdf>. [Último acceso: 19 enero 2024].
- [40] C. GEAR, «MOTORREDUCTORES,» *CHENTA GEAR SERIES K*, vol. 4, n° 37, p. 140, 2017.
- [41] I. FAMA, «CATALOGO GRUPO MOTRICES DE REDUCCION,» *FAMA*, vol. 3, n° 75, p. 82, 2018.

## **7. ANEXOS**

## CERTIFICACIÓN DE INFORME DE SIMILITUD

En mi calidad de Tutor de la Propuesta Tecnológica con el tema: “**Diseño de prototipo de una máquina trituradora de plásticos PET**”, de Saquina Moposita Bryan Stalin con cédula de ciudadanía N°. 1805533575 y Simba Tipantuña Bryan Alejandro con cédula de ciudadanía N°. 0504416603 , de la carrera de Ingeniería Electromecánica, remito la captura de pantalla del reporte del sistema de reconocimiento de texto Compilatio, con un porcentaje de coincidencias del 7 %; y, expreso una vez más, mi conformidad en cuanto a la dirección del trabajo de titulación.

**INFORME DE ANÁLISIS**  
maquiter

### TESIS\_MAQUINA\_TRITURADORA 4 (2)

**7%** Textos sospechosos

**7% Similitudes**  
• 1% similitudes entre comillas  
• 0% entre las flechas  
• 0% palabras  
• 0% idiomas no reconocidos

Nombre del documento: TESIS\_MAQUINA\_TRITURADORA 4 (2).pdf  
ID del documento: d99563884cf40629ec8d398276a42brc646a70d5  
Tamaño del documento original: 7.14 MB

Depositante: LUGI ORLANDO FREIRE MARTINEZ  
Fecha de depósito: 26/2/2024  
Tipo de carga: Interface  
Fecha de fin de análisis: 26/2/2024

Número de palabras: 24.283  
Número de caracteres: 175.451

Ubicación de las similitudes en el documento:

Particular que comunico a usted para los fines pertinentes.

Latacunga, 23 de febrero del 2024

Ing. Reinoso Peñaherrera Héctor Raúl. MsC  
C.C: 0502150899  
**TUTOR**

## ANEXO A

### PROPIEDADES MECÁNICAS DE LOS MATERIAL SERIE AISI ROLADOS EN CALIENTE (HR) Y ESTIRADOS EN FRÍO (CD) [13]

1	2	3	4	5	6	7	8
UNS NÚM.	SAE Y/O AISI NO.	PROCESA- MIENTO	RESISTENCIA ÚLTIMA, MPa (kpsi)	RESISTENCIA DE FLUENCIA MPa (kpsi)	ELONGACIÓN EN 2 in, %	REDUCCIÓN EN ÁREA %	DUREZA BRINELL
G10060	1006	HR	300 (43)	170 (24)	30	55	86
		CD	330 (48)	280 (41)	20	45	95
G10100	1010	HR	320 (47)	180 (26)	28	50	95
		CD	370 (53)	300 (44)	20	40	105
G10150	1015	HR	340 (50)	190 (27.5)	28	50	101
		CD	390 (56)	320 (47)	18	40	111
G10180	1018	HR	400 (58)	220 (32)	25	50	116
		CD	440 (64)	370 (54)	15	40	126
G10200	1020	HR	380 (55)	210 (30)	25	50	111
		CD	470 (68)	390 (57)	15	40	131
G10300	1030	HR	470 (68)	260 (37.5)	20	42	137
		CD	520 (76)	440 (64)	12	35	149
G10350	1035	HR	500 (72)	270 (39.5)	18	40	143
		CD	550 (80)	460 (67)	12	35	163
G10400	1040	HR	520 (76)	290 (42)	18	40	149
		CD	590 (85)	490 (71)	12	35	170
G10450	1045	HR	570 (82)	310 (45)	16	40	163
		CD	630 (91)	530 (77)	12	35	179
G10500	1050	HR	620 (90)	340 (49.5)	15	35	179
		CD	690 (100)	580 (84)	10	30	197
G10600	1060	HR	680 (98)	370 (54)	12	30	201
G10800	1080	HR	770 (112)	420 (61.5)	10	25	229
G10950	1095	HR	830 (120)	460 (66)	10	25	248

## ANEXO B

### PRUEBAS PARA FUERZA DE CORTE EN ENVASES PLÁSTICOS PET [25]



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA  
LABORATORIO DE ANÁLISIS  
DE ESFUERZOS Y VIBRACIONES



## INFORME TÉCNICO

LAEV – OCT.06.15

Quito, 2 de octubre de 2015

**TRABAJO SOLICITADO POR:** UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA EQUINOCCIAL  
Ing. Luis Hidalgo M.Sc.

### ORDEN DE TRABAJO Nº 0004141

Los resultados contenidos en el presente informe corresponden a ensayos realizados en muestras de plástico, pertenecientes al señor Jaime Ortiz Palacios para el proyecto final de titulación "DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA TRITURADORA AUTOMATIZADA PARA ENVASES PLÁSTICOS PET". Las muestras fueron entregadas en el Laboratorio de Análisis de Esfuerzos y Vibraciones de la Escuela Politécnica Nacional.

### RESULTADOS

**1. MUESTRAS:** Una (1) muestras de envase plástico para ensayo de compresión y ensayo de corte.

### 2. ENSAYO DE COMPRESIÓN A ENVASE PLÁSTICO

En la tabla 1 se presentan los resultados del ensayo de compresión realizado a la muestra de envase plástico.

Tabla 1. Resultados de la resistencia a la compresión de la muestra de envase plástico.

Muestra	Carga máxima registrada	
	lbf	.N
M-1	525	2.334



LAEV-EPN  
Orden de Nº 0004141



### 3. ENSAYO DE CORTE A ENVASE PLÁSTICO

En la tabla 2 se presentan los resultados del ensayo de corte realizado a la muestra de envase plástico.

Tabla 2. Resultados de la resistencia al corte de la muestra de envase plástico.

Muestra	Carga máxima registrada	
	lbf	N
M-1	702	3.123

En el anexo se presenta fotografías de las muestras a ser ensayadas.



## ANEXO C

### PROPIEDADES MECÁNICAS Y SELECCIÓN DE ACERO SERIE AISI 1018 [14]

## EJES

## ACERO DE TRANSMISIÓN

### Especificaciones Generales:

Norma: AISI 1018

Descripción: Es un acero de cementación no aleado principalmente utilizado para la elaboración de piezas pequeñas, exigidas al desgaste y donde la dureza del núcleo no es muy importante.

Aplicaciones: Levas uniones, bujes, pines, pivotes, pernos grado 3.

Largo: 6 mts



COMPOSICIÓN QUÍMICA				
%C	%Si	%Mn	%P	%S
0 - 0,20	0 - 0,25	0 - 0,70	0 - 0,04	0 - 05

PROPIEDADES MECÁNICAS			
RESISTENCIA MECÁNICA (N/mm <sup>2</sup> )	PUNTO DE FLUENCIA (N/mm <sup>2</sup> )	Elongación % Min.	DUREZA ROCKWELL B
410 - 520	235	20	143

### DIMENSIONES

DIÁMETRO
3/8"
1/4"
5/8"
3/4"
7/8"
1"
1-1/4"
1-1/2"
1-3/4"
2"
2-1/4"
2-1/2"
2-3/4"
3"
3-1/2"
4"
4-1/2"
5"
6"

## ANEXO D

### PROPIEDADES MECÁNICAS Y SELECCIÓN DE ACERO SERIE ASTM A36 [14]

#### Especificaciones Generales:

<b>Norma:</b>	NTE INEN 115
<b>Espesores:</b>	ASTM A36 - SAE J 403 1008
<b>Espesores:</b>	2mm a 12mm
<b>Rollos:</b>	Ancho 1000, 1220, 1500mm
<b>Planchas:</b>	4 x 8 pies y medidas especiales
<b>Acabado:</b>	Acero Negro



#### Calidad Comercial

Calidad	Composición Química							Propiedades Mecánicas				Norma Equivalente
	% C	%MN	%P	%S	%SI	%AL	%CU	Esfuerzo Máximo (Mpa)	Alargamiento %	Doblado 180°		
JIS G3131 SPHC	0,08 0,13	0,3 0,6	0,02 max	0,025 max	0,05 max	0,02 0,08	0,2 max	270 min	29 min	0= Oe	SAE 1010 ASTM A-569	
SAE 1008	0,03 0,1	0,25 0,5	0,02 max	0,025 max	0,04 max	0,02 0,08	0,2 max					
SAE 1012	0,1 0,15	0,3 0,6	0,02 max	0,025 max	0,03 max	0,02 0,08	0,2 max					

#### Calidad Estructural

Norma	Composición Química							Propiedades Mecánicas					Norma Equivalente
	% C	%MN	%P	%S	%SI	%CU	OTROS	Fluencia (Mpa)	Esfuerzo Máximo (Mpa)	Alarga- miento %	Doblado 180°		
ASTM A-588M Grado A	0,19 max	0,8 1,25	0,04 max	0,05 max	0,3 0,6	0,25 0,40	Ni 0,15-0,35 Cr 0,40-0,65 V 0,02-0,10	345 min	485 min	18 min	0=1,5e	SAE 1015	
ASTM A-283 Grado C	0,12 0,18	0,3 0,6	0,025 max	0,03 max	0,04 max	0,2 max		205 min	380 516 max	25 min			
JIS G-3101 5541 M	0,17 0,23	0,3 0,6	0,025 max	0,025 max	0,04 max	0,25 max		250 min	400 min 550 max	21 min			
A 36	0,25 0,29	0,80 1,2	0,04 max	0,05 max	0,4 max	0,20 max		250 min	400 min 550 max	20 min			
A570-GR50	0,25	1,35 max	0,035 max	0,04 max				340 min	450 min 550 max	17 min			1-1/2e



## ANEXO F

### FACTORES POR TAMAÑO MATERIAL EN ACERO [28]

$$K_b \approx \left\{ \begin{array}{l} 1 \\ 1, \quad \text{si } d_e \leq 8 \text{ mm (0.3 in)} \\ \boxed{1.24d_e^{-0.107}}, \quad \text{si } 8 < d_e \leq 51 \text{ mm} \\ 1.51d_e^{-0.157}, \quad \text{si } 51 < d_e \leq 254 \text{ mm} \\ 0.879d_e^{-0.107}, \quad \text{si } 0.3 \leq d_e \leq 2 \text{ in} \\ 0.91d_e^{-0.157}, \quad \text{si } 2 < d_e \leq 10 \text{ in} \\ 0.6, \quad \text{si } d_e > 254 \text{ mm (10 in)} \end{array} \right\} \begin{array}{l} \text{Carga} \\ \text{axial} \\ \\ \text{Aceros} \\ \text{en flexión} \\ \text{y torsión} \end{array}$$

## ANEXO G

### FACTOR CONFIABILIDAD [28]

$K_c$ : según confiabilidad

Confiabilidad (%)	50	90	99	99.9	99.99	99.999
$K_c$	1	0.897	0.814	0.753	0.702	0.659

## ANEXO H

### FACTOR DE TEMPERATURA [28]

$$K_d = \left\{ \begin{array}{l} 1, \quad 20 \leq T_{emp} \leq 250 \text{ }^\circ\text{C} \\ \text{De lo contrario, tener en cuenta los diversos efectos de altas temperaturas} \end{array} \right\} \text{SÓLO PARA ACEROS}$$

## ANEXO I

### FACTOR DE CARGA [28]

$$K_{car} = \left\{ \begin{array}{l} 1, \quad \text{flexión (o torsión si se calculan los esfuerzos equivalentes de von Mises)} \\ 0.577, \quad \text{torsión} \\ 0.7, \quad \text{carga axial} \end{array} \right.$$

## ANEXO J

### LÍMITE DE RESISTENCIA POR FATIGA EN ACEROS [28]

$$S_e' \approx \left\{ \begin{array}{l} 0.5 S_u, \\ 690 \text{ MPa} = 100 \text{ ksi,} \end{array} \quad \begin{array}{l} \text{si } S_u < 1380 \text{ MPa (200 ksi)} \\ \text{si } S_u \geq 1380 \text{ MPa (200 ksi)} \end{array} \right\} \text{Aceros}$$

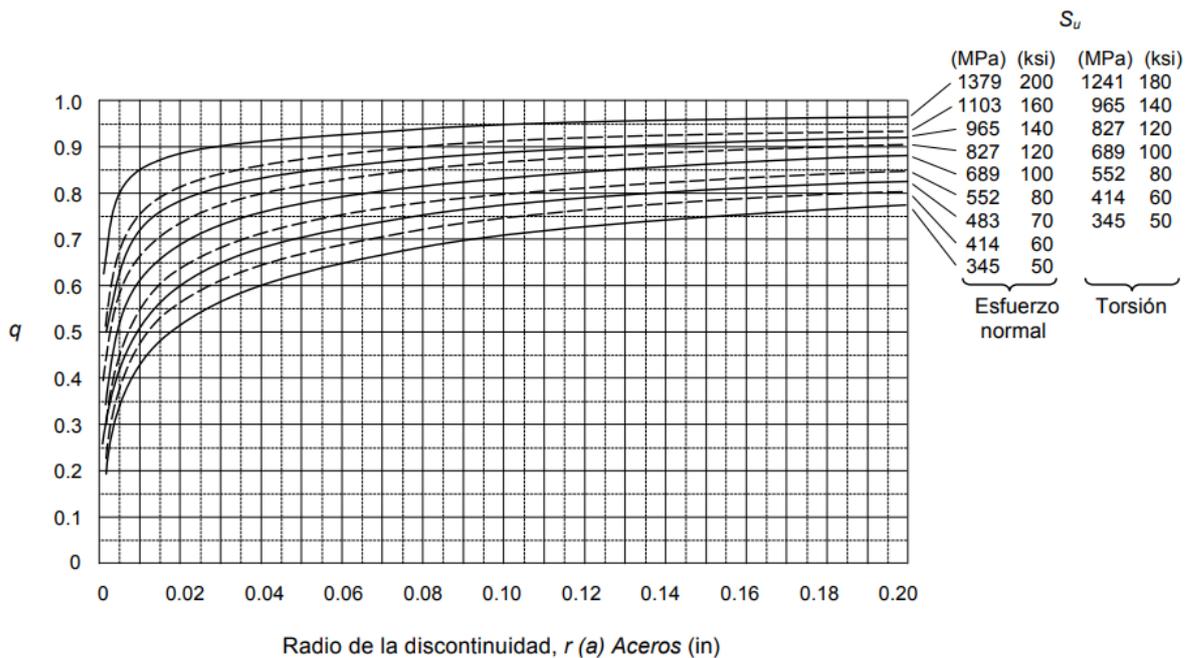
## ANEXO K

### CONSTANTE DE NEUBER PARA ACEROS [28]

$S_u$		$\sqrt{a}$			
		Carga axial y flexión		Torsión	
(ksi)	(MPa)	(in <sup>0.5</sup> )	(mm <sup>0.5</sup> )	(in <sup>0.5</sup> )	(mm <sup>0.5</sup> )
50	345	0.130	0.66	0.093	0.47
55	380	0.118	0.59	0.087	0.44
60	415	0.108	0.54	0.080	0.40
70	485	0.093	0.47	0.070	0.35
80	550	0.080	0.40	0.062	0.31
90	620	0.070	0.35	0.055	0.28
100	690	0.062	0.31	0.049	0.25
110	760	0.055	0.28	0.044	0.22
120	825	0.049	0.25	0.039	0.20
130	895	0.044	0.22	0.035	0.18
140	965	0.039	0.20	0.031	0.16
160	1100	0.031	0.16	0.024	0.12
180	1240	0.024	0.12	0.018	0.09
200	1380	0.018	0.09	0.013	0.07
220	1515	0.013	0.07	0.009	0.05
240	1655	0.009	0.05		

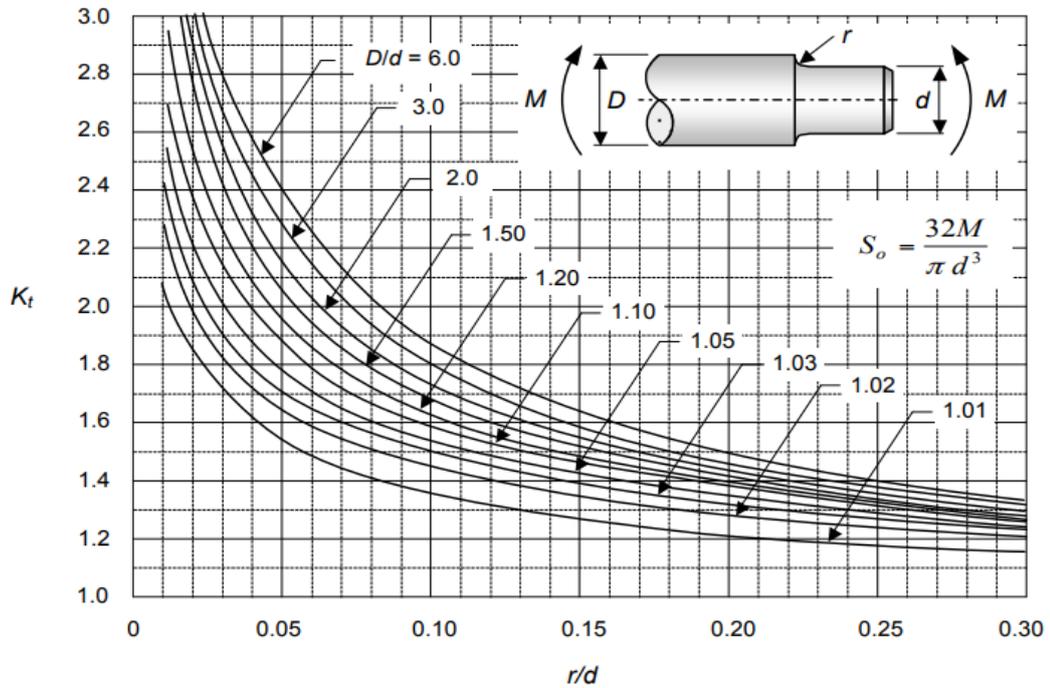
## ANEXO L

### CURVAS PARA DETERMINAR EL ÍNDICE DE SENSIBILIDAD A LA ENTALLA ( $q$ ) [28]



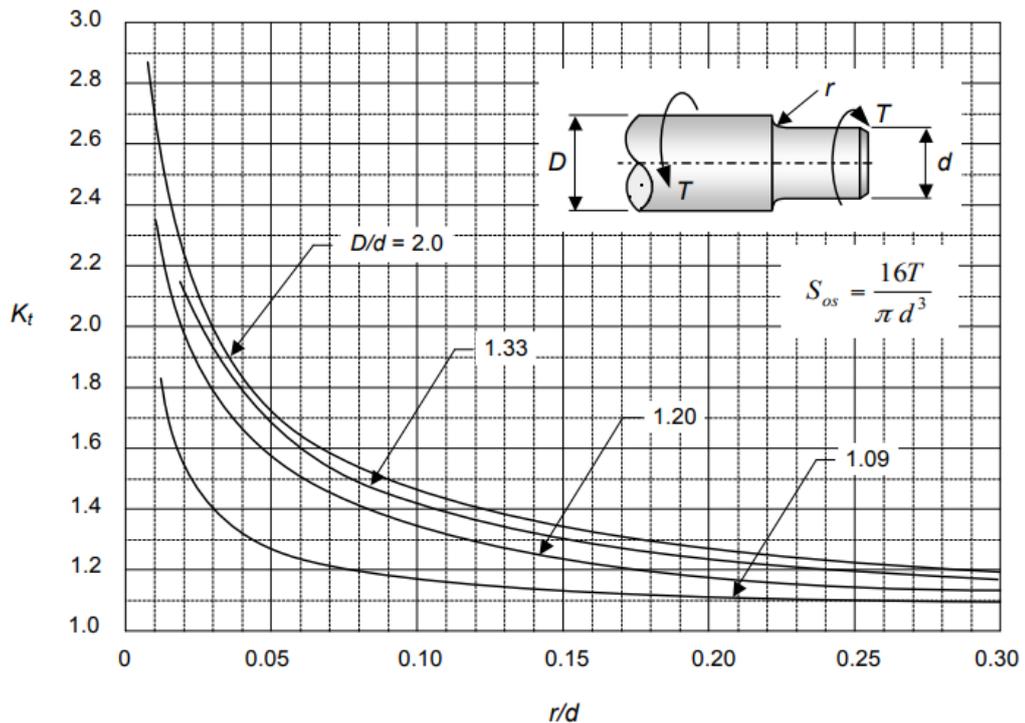
## ANEXO M

### EJE DE SECCIÓN CIRCULAR CON CAMBIO DE SECCIÓN SOMETIDO A FLEXIÓN [28]



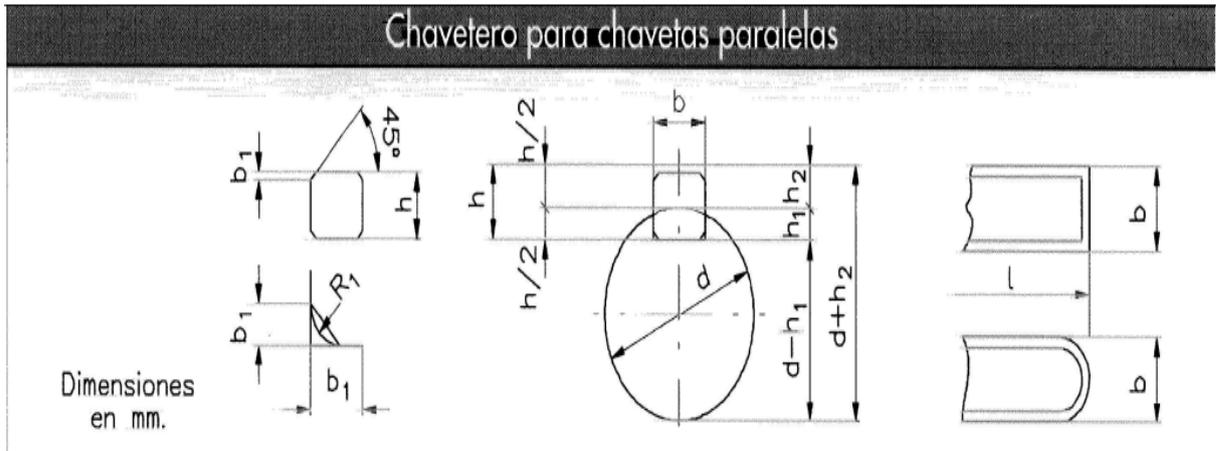
## ANEXO N

### EJE DE SECCIÓN CIRCULAR CON CAMBIO DE SECCIÓN SOMETIDO A TORSIÓN [28]



## ANEXO O

### CHAVETEROS PARA CHAVETAS PARALELAS [39]



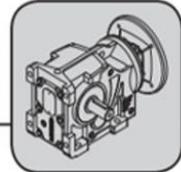
Diámetro del eje d		Sección de la chaveta b X h	Ancho b, tolerancia					Profundidad				Chafilán R1		
			Nominal	Clase de ajuste del enchavetado			Eje h1		Cubo h2					
				Más de	hasta	Libre	Normal	Ajustado	Nominal	Toler.	Nominal	Toler.	Mfn.	Máx.
			Eje h9	Cubo D10	Eje n9	Cubo JS9	Eje y Cubo p9/P9							
10	12	4X4	4						2,5		1,8		0,08	0,16
12	17	5X5	5	+0,030	+0,078	0	±0,015	-0,012	3	+0,1	2,3	+0,1	0,16	0,25
17	22	6X6	6	0	+0,030	-0,030		-0,042	3,5	0	2,8	0	0,16	0,25
22	30	8X7	8	+0,036	+0,098	0	±0,018	-0,015	4		3,3		0,16	0,25
30	38	10X8	10	0	+0,040	-0,036		-0,051	5		3,3		0,25	0,40
38	44	12X8	12						5		3,3		0,25	0,40
44	50	14X9	14	+0,043	+0,120	0	±0,0215	-0,018	5,5		3,8		0,25	0,40
50	58	16X10	16	0	+0,050	-0,043		-0,061	6		4,3		0,25	0,40
58	65	18X11	18						7	+0,2	4,4	+0,2	0,25	0,40
65	75	20X12	20						7,5	0	4,9	0	0,40	0,60
75	85	22X14	22	+0,052	+0,149	0	±0,026	-0,022	9		5,4		0,40	0,60
85	95	25X14	25	0	+0,065	-0,052		-0,074	9		5,4		0,40	0,60
95	110	28X16	28						10		6,4		0,40	0,60
110	130	32X18	32						11		7,4		0,40	0,60
130	150	36X20	36						12		8,4		0,70	1,00
150	170	40X22	40	+0,062	+0,180	0	±0,031	-0,026	13		9,4		0,70	1,00
170	200	45X25	45	0	+0,080	-0,062		-0,088	15		10,4		0,70	1,00
200	230	50X28	50						17		11,4		0,70	1,00
230	260	56X32	56						20	+0,3	12,4	+0,3	0,70	1,00
260	290	63X32	63	+0,074	+0,220	0	±0,037	-0,032	20	0	12,4	0	1,20	1,60
290	330	70X36	70	0	+0,100	-0,074		-0,106	22		14,4		1,20	1,60
330	380	80X40	80						25		15,4		2,00	2,50
380	440	90X45	90	+0,087	+0,260	0	±0,0435	-0,037	28		17,4		2,00	2,50
440	500	100X50	100	0	+0,120	-0,087		-0,124	31		19,5		2,00	2,50

## ANEXO P

### SELECCIÓN DE MOTORREDUCTOR (CHENTA GEAR) [40]

Helical-Bevel Gear Units

Selection Tables [kW] K..F/..M



1720 Rpm Entrada al reductor

Pm [kW]	na [1/min]	Ma [Nm]	i	FRa [N]	fs			m [kg]
2.2 (3HP)	10	450	182.99	7110		KSJ F08009419 SIZE 30 KSG F07294197 SIZE 40 KSP F0649419 SIZE 60 <b>ASS 70609419 SIZE 80</b> AST 70501719 SIZE 1/40 ASP 70401810 SIZE 70 ASK 70422051 SIZE 1/60 ASM 70389419 SIZE 90		
	11	450	164.13	7110	0.8			98.1
	12	450	141.40	7110	0.86			91.2
	14	450	129.16	7110	0.9			87
	16	450	112.90	7110	0.95			104
	17	450	101.77	6890	1			95.3
	19	450	91.91	6600	1.03			
	21	450	82.45	6300	1.08			
	22	450	79.65	6210	1.15			
	24	450	72.56	5960	1.2			98.1
	27	450	64.84	5670	1.25			91.2
	<b>29</b>	<b>450</b>	<b>60.21</b>	<b>5490</b>	<b>1.30</b>			87
	32	450	54.07	5230	1.50			104
	38	450	46.18	4870	1.60			95.3
	41	450	42.48	4690	1.80			
	46	439	38.14	4510	2.02			
	54	363	32.33	4180	2.41			
	63	345	27.61	3960	2.59			
	69	335	25.40	3850	2.85			
77	324	22.81	3720					

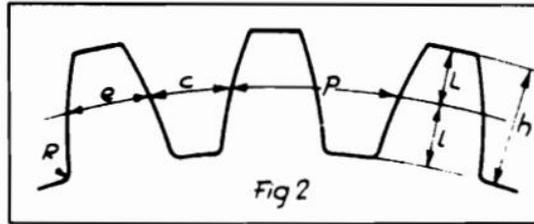
## ANEXO Q

TABLA PARA EL DIMENSIONAMIENTO EN EL CALIBRE POR EL # DE DIENTES [29]

Número de dientes	Para engranajes rectos según el sistema de Módulo		Número de dientes	Para engranajes rectos según el sistema de Módulo		Número de dientes	Para engranajes rectos según el sistema de Módulo	
	ab	bc		ab	bc		ab	bc
10	1.062	1.564	19	1.032	1.569	28-29	1.022	1.570
11	1.056	1.565	20	1.031	1.569	30-31	1.021	1.570
12	1.051	1.566	21	1.029	1.569	32-33	1.020	1.570
13	1.047	1.567	22	1.028	1.569	<b>34-35</b>	<b>1.019</b>	<b>1.570</b>
14	1.044	1.567	23	1.027	1.570	36-37	1.018	1.570
15	1.041	1.568	24	1.026	1.570	38-39	1.017	1.570
16	1.038	1.568	25	1.025	1.570	40-42	1.016	1.570
17	1.036	1.568	26	1.024	1.570	43-44	1.015	1.570
18	1.034	1.569	27	1.023	1.570	45-00	1.014	1.571

## ANEXO R

### DIMENSIONES DEL DIENTE EN FUNCIÓN DEL MÓDULO [29]



- $h$  = Altura total del diente.
- $L$  = Altura de la cabeza del diente.
- $l$  = Altura del pie del diente.
- $R$  = Radio del pie del diente.
- $P$  = Paso circunferencial.
- $e$  = Espesor del diente.
- $c$  = Espacio entre dientes.

Formulas:

$$\begin{aligned}
 h &= 2,167 \times \text{Módulo.} & P &= c + e = 3,1416 \times \text{Módulo.} \\
 L &= \text{Módulo.} & e &= 0,5 \times P. \\
 l &= 1,167 \times \text{Módulo.} & c &= 0,5 \times P. \\
 R &= 0,3 \times \text{Módulo (máximo).}
 \end{aligned}$$

## ANEXO S

### DIMENSIONES DEL DIENTE EN LOS PASOS NORMALES DEL MÓDULO 2 [29]

Módulo. . . . .	1	1,25	1,5	1,75	2	2,25	2,5	2,75	3	3,25
Paso . . . . . mm.	3,14	3,93	4,71	5,5	6,28	7,07	7,85	8,64	9,42	10,21
Espacio entre dientes. »	1,57	1,97	2,36	2,75	3,14	3,54	3,93	4,32	4,71	5,11
Espesor del diente. »	1,57	1,97	2,36	2,75	3,14	3,54	3,93	4,32	4,71	5,11
Profundidad del diente. »	2,17	2,71	3,25	3,79	4,33	4,87	5,42	5,96	6,5	7,04

## ANEXO T

### FACTOR DE VIDA DEL RODAMIENTO DEPENDIENDO LAS HORAS DE TRABAJO [31]

- Máquinas en uso 8 horas/día – no totalmente utilizadas – de 10.000 a 20.000 horas
- Máquinas en uso 8 horas/día – totalmente utilizadas – de 20.000 a 30.000 horas.
- Máquinas en uso 24 horas/día – de 20.000 a 80.000 horas.
- Máquinas en uso temporal – de 4.000 a 8.000 horas.

## ANEXO U

### CONDICIONES DE FUNCIONAMIENTOS POR FACTOR DE SEGURIDAD [32]

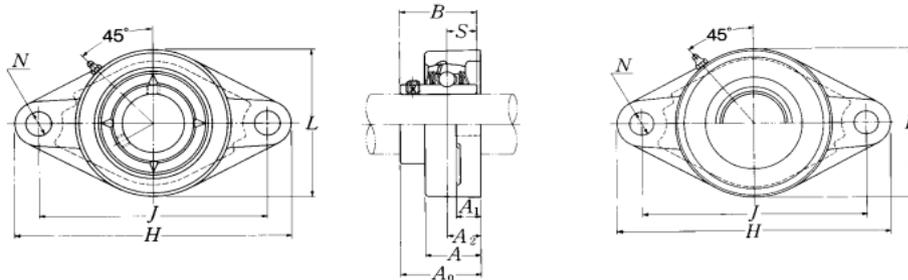
Condiciones de funcionamiento	Aplicaciones típicas	$f_w$
Funcionamiento suave libre de impactos	Motores eléctricos, máquinas herramienta, acondicionadores de aire	1 a 1,2
Funcionamiento normal	Ventiladores, compresores, ascensores, grúas, máquinas para fabricación de papel	1,2 a 1,5
Funcionamiento acompañado de impactos y vibraciones	Maquinaria para la construcción, trituradoras, cribas, Trenes de laminación	1,5 a 3

## ANEXO V

### RODAMIENTO TIPO CHUMCAERA UCFL205D1 [31]

**UCFL2**
**NTN**

**Chumacera tipo brida ovalada, alojamiento de acero fundido  
Con tornillo de fijación (Prisionero)**



**Tipo con guardapolvo de acero prensado**  
Extremo abierto: **S-UCFL...D1**  
Extremo cerrado: **SM-UCFL...D1**

Diámetro del eje mm pulg.	Número <sup>1)</sup> de la chumacera	Dimensiones nominales										Tamaño del perno mm pulg.	Número del rodamiento
		mm					pulg.						
		H	J	A <sub>2</sub>	A <sub>1</sub>	A	N	L	A <sub>0</sub>	B	S		
<b>12</b> 1/2	<b>UCFL201D1</b> <b>UCFL201-008D1</b>	113 4 7/16	90 3 35/64	15 19/32	11 7/16	25.5 1	12 15/32	60 2 3/8	33.3 1 5/16	31 1.2205	12.7 0.500	M10 3/8	UC201D1 UC201-008D1
<b>15</b> 9/16 5/8	<b>UCFL202D1</b> <b>UCFL202-009D1</b> <b>UCFL202-010D1</b>	113 4 7/16	90 3 35/64	15 19/32	11 7/16	25.5 1	12 15/32	60 2 3/8	33.3 1 5/16	31 1.2205	12.7 0.500	M10 3/8	UC202D1 UC202-009D1 UC202-010D1
<b>17</b> 11/16	<b>UCFL203D1</b> <b>UCFL203-011D1</b>	113 4 7/16	90 3 35/64	15 19/32	11 7/16	25.5 1	12 15/32	60 2 3/8	33.3 1 5/16	31 1.2205	12.7 0.500	M10 3/8	UC203D1 UC203-011D1
<b>20</b> 3/4	<b>UCFL204D1</b> <b>UCFL204-012D1</b>	113 4 7/16	90 3 35/64	15 19/32	11 7/16	25.5 1	12 15/32	60 2 3/8	33.3 1 5/16	31 1.2205	12.7 0.500	M10 3/8	UC204D1 UC204-012D1
<b>25</b> 1 3/16 7/8 15/16	<b>UCFL205D1</b> <b>UCFL205-013D1</b> <b>UCFL205-014D1</b> <b>UCFL205-015D1</b> <b>UCFL205-100D1</b>	130 5 1/8	99 3 57/64	16 5/8	13 1/2	27 1 1/16	16 5/8	68 2 11/16	35.8 1 13/32	34.1 1.3425	14.3 0.563	M14 1/2	UC205D1 UC205-013D1 UC205-014D1 UC205-015D1 UC205-100D1

## ANEXO W

### CARGA ESTÁTICA DEL RODAMIENTO TIPO CHUMACERA [31]

Número del rodamiento mm	Capacidad básica de carga		Número del alojamiento mm	Peso de la chumacera kg
	dinámica	estática		
	$C_r$	$C_{or}$		
F-UC204D1/LP03	9.9	6.65	PM204	0.6
F-UC205D1/LP03	10.8	7.85	PM205	0.7
F-UC206D1/LP03	15.0	11.3	PM206	1.1
F-UC207D1/LP03	19.7	15.3	PM207	1.3
F-UC208D1/LP03	22.4	17.8	PM208	1.7
F-UC209D1/LP03	25.2	20.4	PM209	1.8
F-UC210D1/LP03	27.0	23.2	PM210	2.4

## ANEXO X

### TUBO CUADRADO PARA ESTRUCTURA [14]

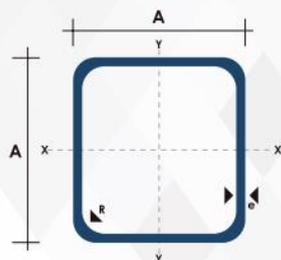
#### TUBO MECÁNICO CUADRADO



#### Especificaciones Generales:

Norma:	NTE INEN 2415
Calidad:	JIS 3141 SPCC SD
Acabado:	Acero negro o galvanizado
Largos:	6,00m y medidas especiales
Dimensiones:	Desde 12mm a 50mm
Espesores:	Desde 0,80mm a 1,50mm

NOMENCLATURA	
Área =	Área de la selección transversal del tubo, cm <sup>2</sup>
I=	Momento de inercia de la sección, cm <sup>4</sup>
W=	Módulo resistente de la sección, cm <sup>3</sup>
i=	Radio de giro de la sección cm



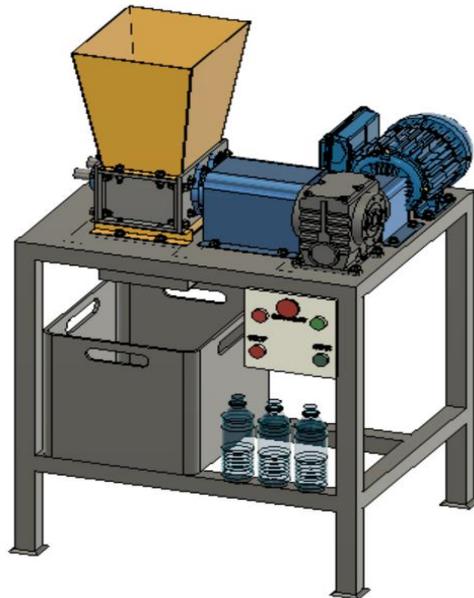
Dimensiones			Área	Ejes X-Xe Y-Y		
A mm	Espesor mm (e)	Peso Kg/m	Área cm <sup>2</sup>	I cm <sup>4</sup>	W cm <sup>3</sup>	i cm <sup>3</sup>
12	0,8	0,30	0,37	0,09	0,14	0,48
12	1,0	0,37	0,50	0,11	0,18	0,47
15	0,8	0,36	0,45	0,15	0,20	0,58
15	1,0	0,45	0,61	0,20	0,26	0,57
20	0,8	0,49	0,61	0,38	0,38	0,79
20	1,0	0,60	0,83	0,50	0,50	0,77
20	1,2	0,72	0,90	0,53	0,53	0,77
20	1,5	0,88	1,05	0,58	0,58	0,74
25	0,8	0,61	0,77	0,61	0,61	0,99
25	1,0	0,76	1,05	0,80	0,80	0,98
25	1,2	0,90	1,14	0,87	0,87	0,97
25	1,5	1,12	1,35	0,97	0,97	0,95
30	0,8	0,74	0,93	0,89	0,89	1,19
30	1,0	0,92	1,27	1,18	1,18	1,18
30	1,2	1,09	1,38	1,28	1,28	1,18
30	1,5	1,35	1,65	1,47	1,47	1,15
40	0,8	0,99	1,25	1,61	1,61	1,60
40	1,0	1,23	1,71	2,16	2,16	1,59
40	1,2	1,47	1,86	2,34	2,34	1,59
40	1,5	1,82	2,25	2,74	2,74	1,56

## ANEXO Y

### COMPONENTES Y ENSAMBLE DE LA MÁQUINA



## MANUAL DE USUARIO MÁQUINA TRITURADORA DE PLÁSTICOS PET



### Instrucciones de seguridad

Para un correcto rendimiento de estas máquinas, es importante revisar el sistema de trituración por si exista alguna acumulación de partículas entre cuchillas que ya haya sido trituradas anteriormente y así no exista problemas por averías o atascamiento.

1. Ubicar la máquina en una superficie firme para su posterior funcionamiento y verificar donde exista un punto de conexión a un tomacorriente de 220V para poner en marcha el sistema de potencia.



2. Verificar que no exista conexiones sueltas del sistema eléctrico y así evitar cortocircuito en el motor eléctrico.



3. Para el funcionamiento de la máquina y para garantizar la seguridad del personal se deberá utilizar el equipo de protección necesario como guantes, gafas, mandil y botas.



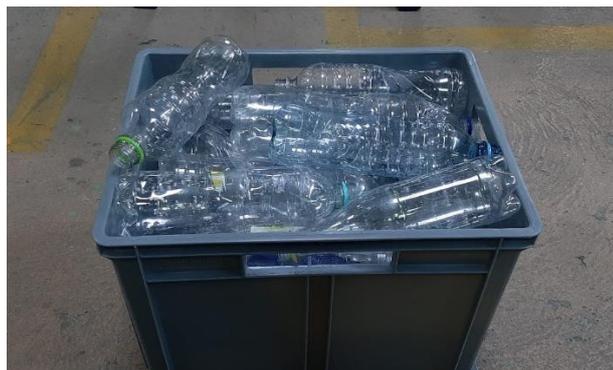
4. Asegurarse que la cámara de alimentación esté libre de material antes de encenderla



5. Mantener las manos alejadas del área de trituración para evitar cualquier problema.



6. No introducir material que no sea plástico PET.



**7. No sobrepasar la capacidad de la tolva.**



**8. No obstruir la salida de material triturado**



**9. Supervisar la máquina mientras está en uso.**



**10. Apagar la máquina correctamente después de usarla.**



## PUESTA EN MARCHA DE LA MÁQUINA

1. Antes de poner en marcha la máquina, el operador debe utilizar equipo de protección personal, para salvaguardar su integridad.
2. Examinar que la caja eléctrica de encendido de la máquina esté en condiciones correctas de funcionamiento.



3. Observar que no existe material atrapado en las cuchillas que produzcan obstrucciones y posibles peligros.
4. Inspeccionar que los rodamientos cuenten con la lubricación correspondiente.



5. Realiza una prueba de arranque sin carga para verificar el funcionamiento básico de la máquina.
6. El material a triturar debe estar libre de sustancias líquidas para evitar daños en la máquina



7. Gradualmente, introduce la materia prima en la tolva de alimentación de manera controlada.



8. Monitorear continuamente el proceso de trituración



9. Una vez completada la operación, apaga la máquina, y realiza una limpieza adecuada.

10. Verificar si existe alguna anomalía interna de máquina trituradora.

### PROCESO DE TRITURACIÓN



### Construcción de máquina trituradora de plásticos PET



## RESULTADO FINAL DE TRITURACIÓN



Peso de botellas antes de triturar



Peso de y botellas después de triturar

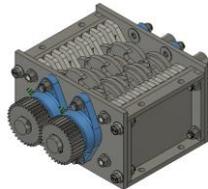


Peso de botellas sin aplastar



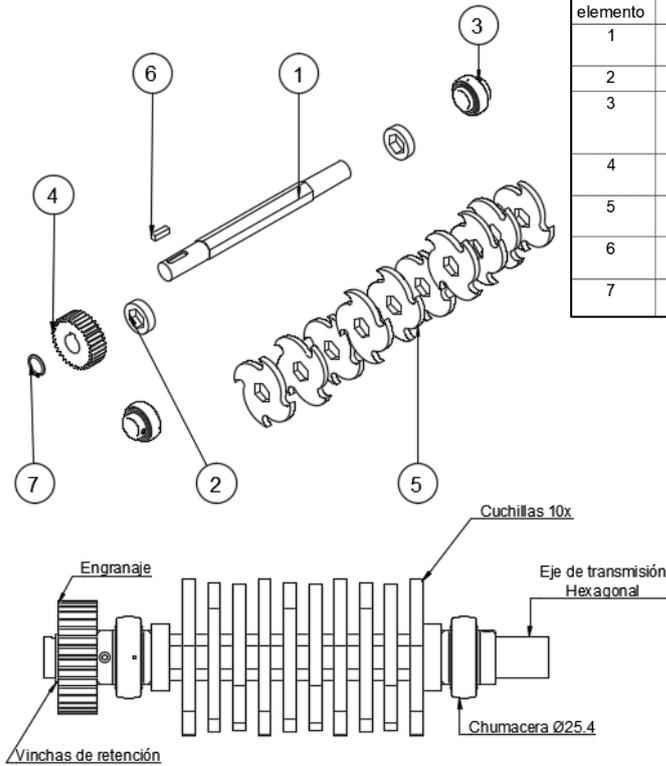
Peso de y botellas aplastadas



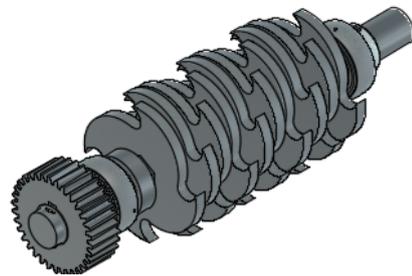
FICHA TÉCNICA DE LA MÁQUINA TRITURADORA			Pág. 1/1
<b>Descripción General</b>			
<b>Tipo de Máquina</b>	<b>Capacidad de Trituración</b>	<b>Fuente de Alimentación</b>	
Trituradora de plásticos PET	800kg/min	Trifásica	
<b>Componentes Principales</b>			
<b>Estructura</b>	<b>Cuchillas</b>	<b>Motor</b>	
Mesa con soportes en material A36	Cuatro dientes en material ASTM 36	Trifásico 3Hp	
<b>Parámetros de Operación</b>			
<b>Velocidad de Trituración</b>	<b>Tipo de Plástico Compatible</b>	<b>Niveles de Ruido</b>	
29 rpm	Plásticos PET	Bajo	
<b>Datos técnicos específicos</b>			
<b>Lubricación</b>	<b>Rodamientos</b>	<b>Engranajes</b>	
Grasa LGHB 2	4 rodamientos UCFL205D1	2 engranajes	
<b>Labores de mantenimiento de la máquina trituradora</b>			
Antes de iniciar las labores de mantenimiento para la máquina trituradora de plásticos PET, es recomendable considerar las siguientes sugerencias:			
<ul style="list-style-type: none"> <li>Realizar un análisis detallado del estado actual de la máquina.</li> <li>Verificar el historial de mantenimiento previo, si lo hubiera.</li> <li>Revisar la documentación técnica y manuales de usuario para obtener información específica sobre los componentes.</li> <li>Contar con las herramientas y equipos necesarios para llevar a cabo las tareas de mantenimiento de manera segura y eficiente.</li> </ul>			
<b>Labores diarias de mantenimiento</b>			
<b>Labores programadas</b>		<b>Personal a cargo</b>	
Inspección visual de componentes mecánicos y eléctricos		Operario de máquina	
Inspeccionar posibles obstrucciones en la tolva de alimentación			
Comprobar niveles de lubricación de rodamientos			
Limpieza de residuos acumulados			
<b>Labores mensuales de mantenimiento</b>			
<b>Labores programadas</b>		<b>Personal a cargo</b>	
Revisar y ajustar los sistemas de seguridad		Operario de máquina	
Verificar el estado de las cuchillas			
Inspeccionar el sistema eléctrico y conexiones			
<b>Labores anuales de mantenimiento</b>			
<b>Labores programadas</b>		<b>Personal a cargo</b>	
Alineación de las cuchillas y rectificación		Operario de mecanizado	
Realizar análisis estructural y ajustes si es necesario		Operario de mecanizado	
Verificar estado de motor		Operario de mecanizado	

## ELEMENTOS DE LA MÁQUINA

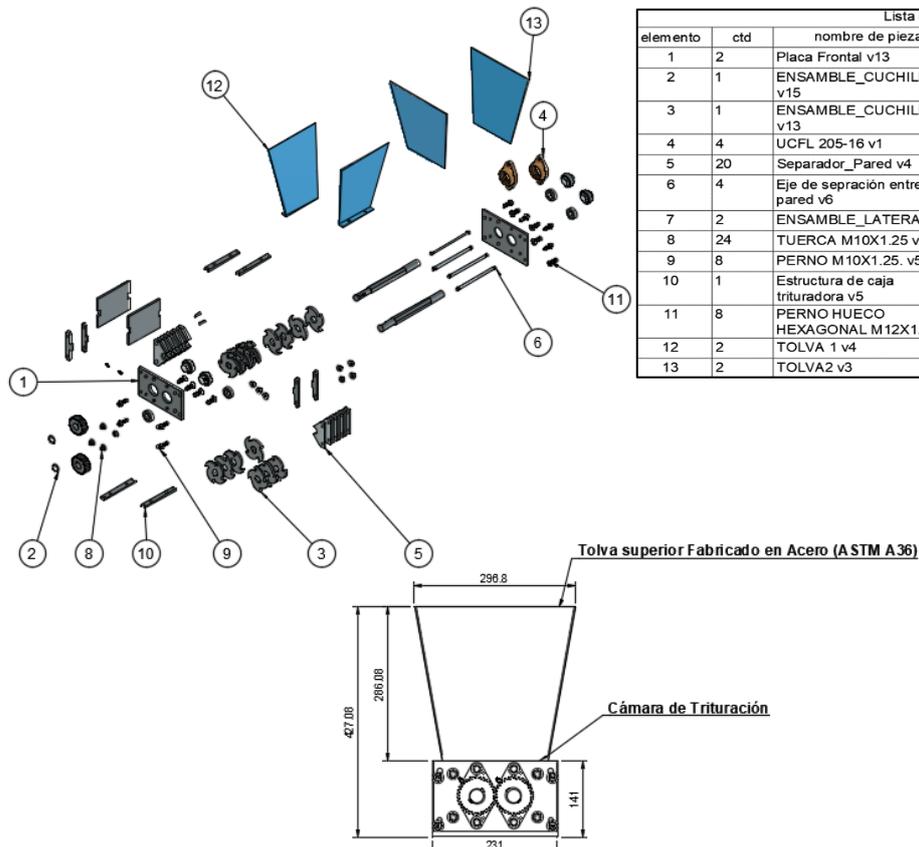
### • Sistema de corte



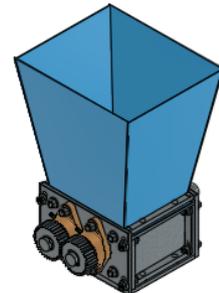
Lista de piezas				
elemento	ctd	nombre de pieza	material	masa
1	1	Eje Hexagonal v39	Acero AISI 1018 209 RT	1.34 kg
2	2	Separador frontal v10	Acero ASTM A36	0.08 kg
3	2	RODAMIENTO_SKF_FYTB 1. TF_YAR 205-100-2 v1	Acero	0.17 kg
4	1	Engranaje Módulo 2 v7	Acero AISI 4142 670 RT	0.60 kg
5	10	Cuchilla de 4 dientes v4	Acero ASTM A36	0.33 kg
6	1	CHAVETERO PARALELO 8X7 v6	Acero AISI 1045 595 RT	0.01 kg
7	1	Vinchas de retención v2	Acero AISI 1020 108 RECO	0.00 kg



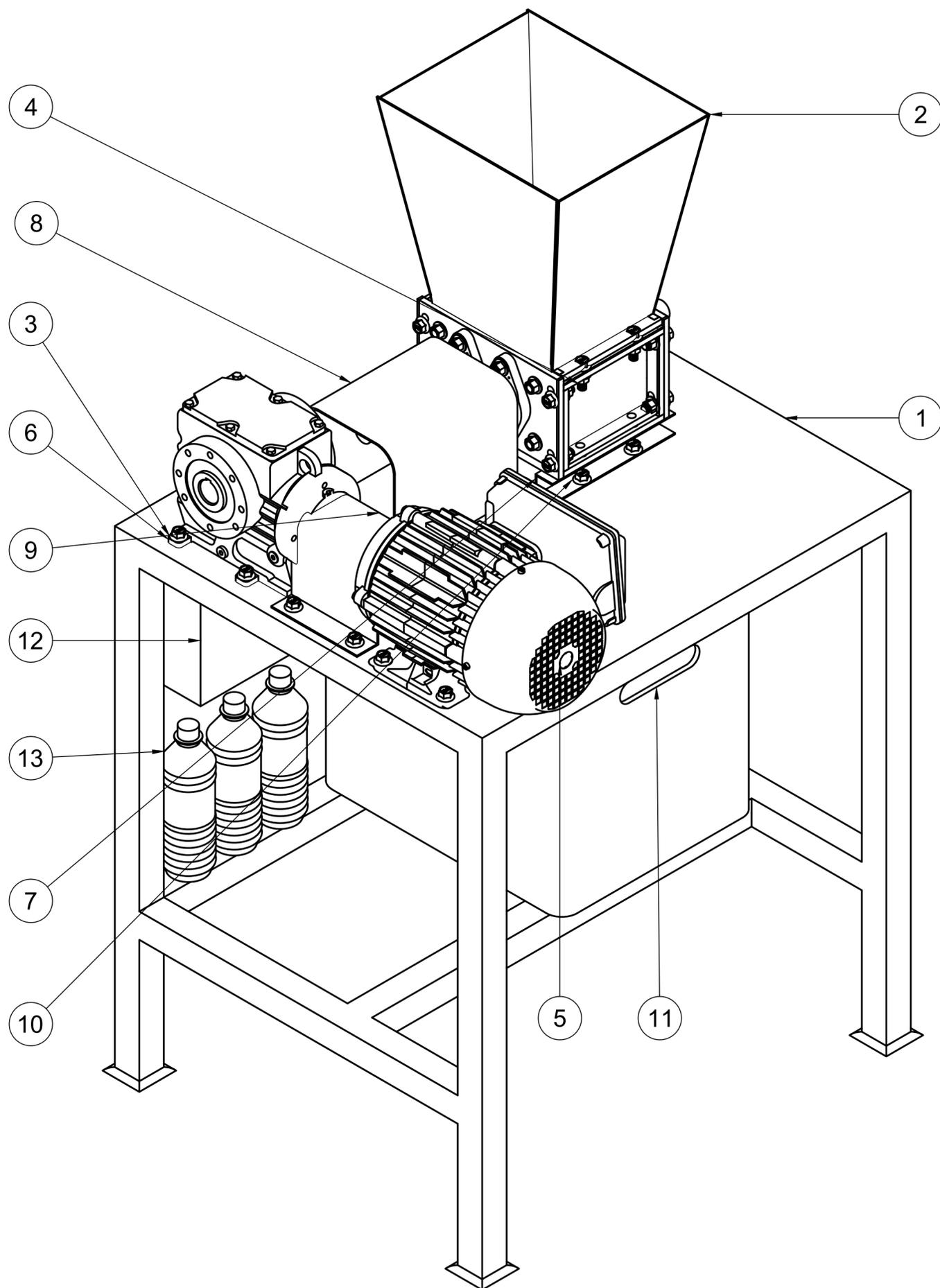
### • Sistema de Trituración



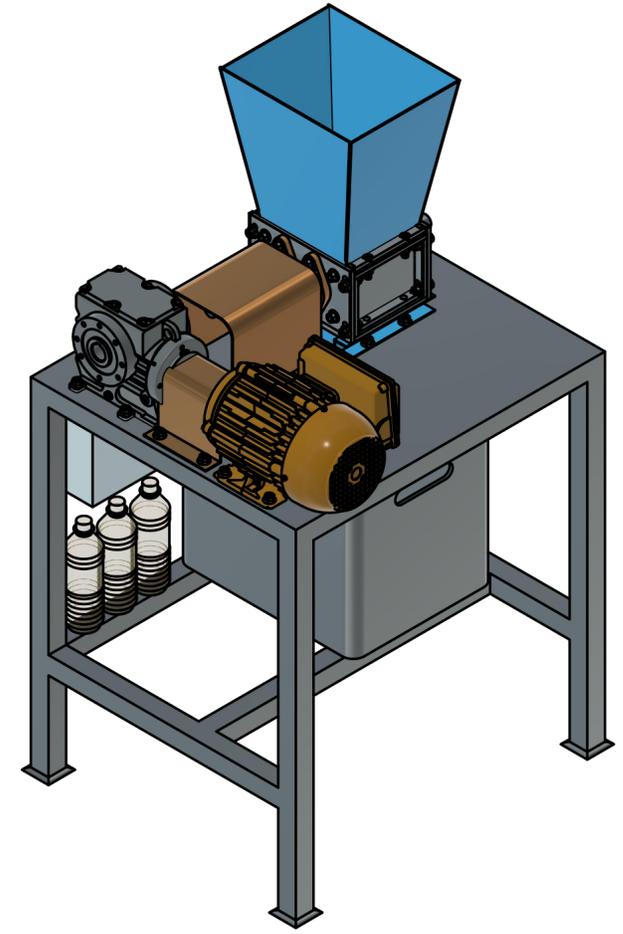
Lista de piezas				
elemento	ctd	nombre de pieza	material	masa
1	2	Placa Frontal v13	Acero	1.58 kg
2	1	ENSAMBLE_CUCHILLA_1 v15		5.79 kg
3	1	ENSAMBLE_CUCHILLA(2) v13		5.79 kg
4	4	UCFL 205-16 v1	Acero	0.65 kg
5	20	Separador_Pared v4	Acero ASTM A36	0.26 kg
6	4	Eje de separación entre pared v6	Acero inoxidable AISI 304	0.12 kg
7	2	ENSAMBLE_LATERAL v9	Acero ASTM A36	2.00 kg
8	24	TUERCA M10X1.25 v2	Acero AISI 1045 450 RT	0.01 kg
9	8	PERNO M10X1.25. v5	Acero AISI 1045 450 RT	0.03 kg
10	1	Estructura de caja trituradora v5	Acero ASTM A36	7.59 kg
11	8	PERNO HUECO HEXAGONAL M12X1.75 v4		0.03 kg
12	2	TOLVA 1 v4	Acero ASTM A36	1.02 kg
13	2	TOLVA2 v3	Acero ASTM A36	1.15 kg



1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12



Lista de piezas				
elemento	ctd	nombre de pieza	material	masa
1	1	Estructura Base v39	Acero ASTM A36	143.02 kg
2	1	Cámara de Trituración v20		39.62 kg
3	18	PERNO M10X1.25. v5	Acero AISI 1045 450 RT	0.03 kg
4	4	TUERCA M10X1.25 v2	Acero AISI 1045 450 RT	0.01 kg
5	1	Motor eléctrico v3	Acero	58.92 kg
6	1	Reductor v9	Acero	28.35 kg
7	1	Soporte de caja trituradora v5	Acero ASTM A36	0.67 kg
8	1	Carcasa de seguridad reductor - máquina v10	Acero ASTM A36	1.66 kg
9	1	Carcasa de seguridad motorreductor v11	Acero ASTM A36	0.83 kg
10	4	PERNO M10X1.25.(2cm) v2	Acero AISI 1045 450 RT	0.03 kg
11	1	RECIPIENTE v6	Acero	26.81 kg
12	1	CAJA_ELÉCTRICA v1	Acero	29.42 kg
13	3	Botella pet 500ml v2	Acero	4.08 kg



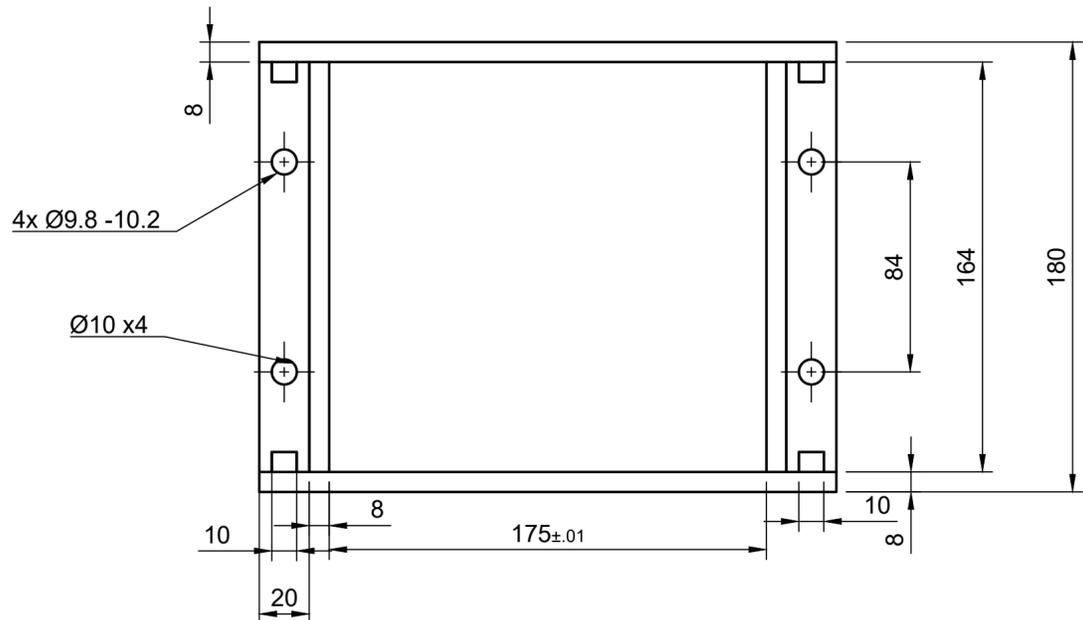
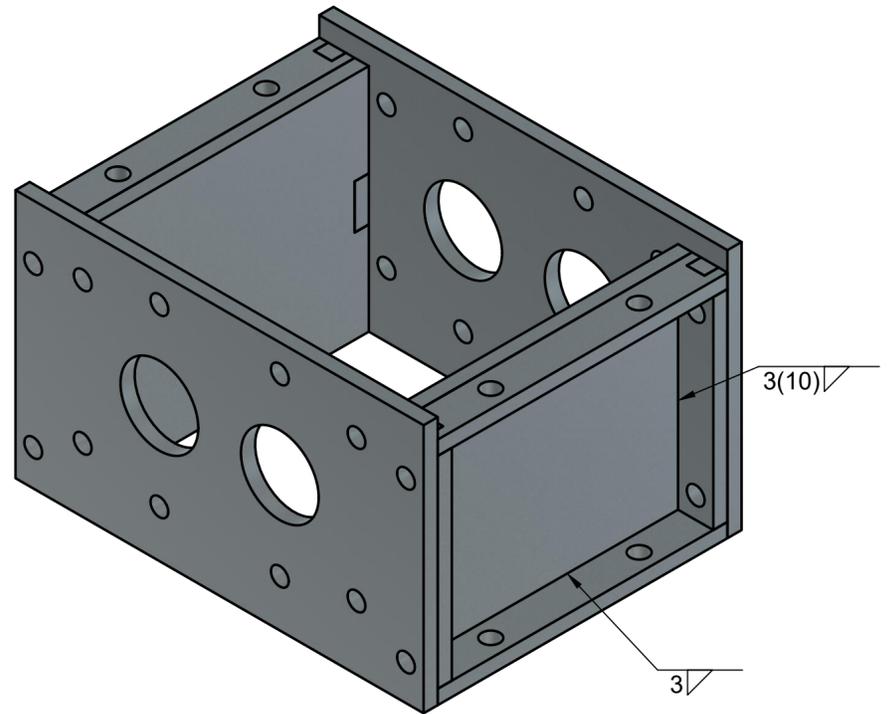
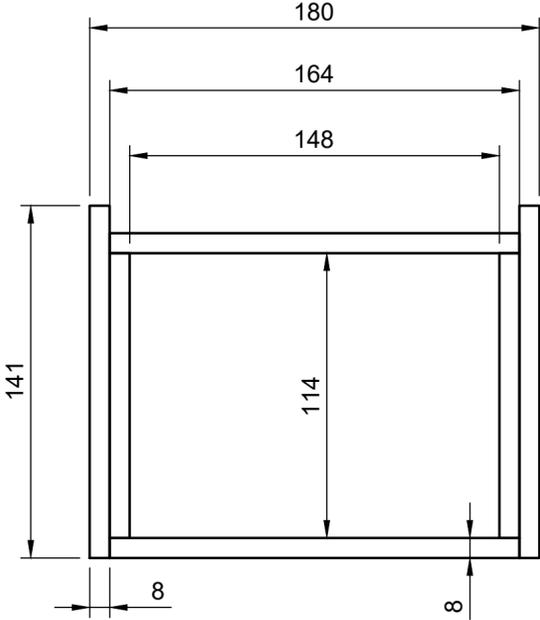
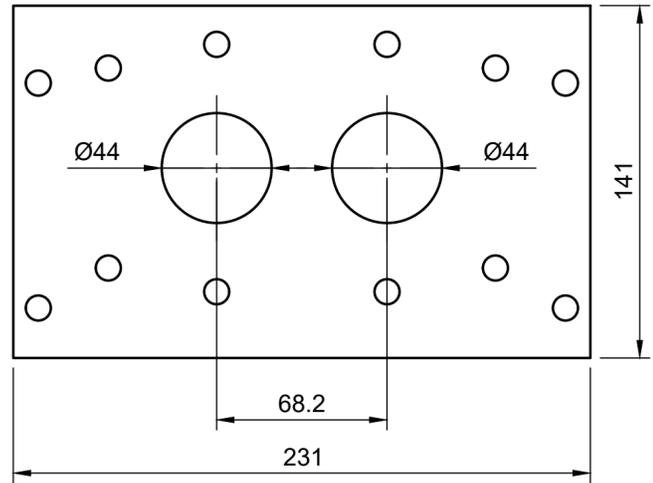
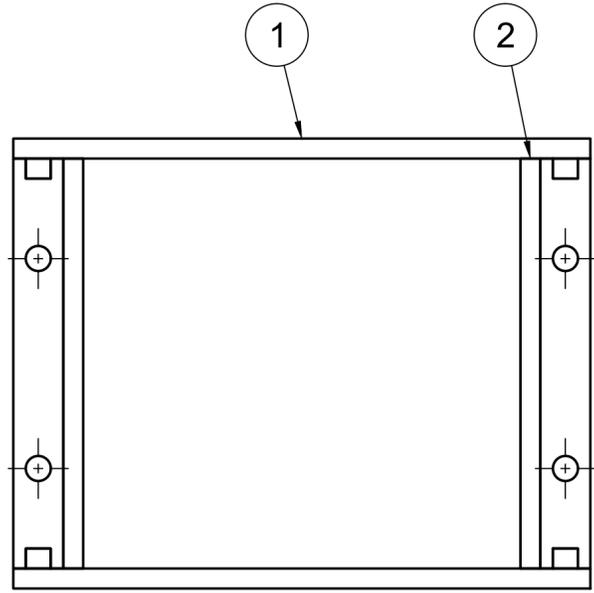
Tolerancias		(Peso)	Materiales	
		95.6kg	ACERO ASTM A36 / AISI 1018	
Fecha		Nombre	Denominación	
Dib. 15/01/2024		Saquina y Simba	MÁQUINA TRITURADORA DE PLÁSTICOS PET	
Rev.		Ing. Hector Reinoso	Escala	
Apro.		Ing. Hector Reinoso	1.4	
Número de Dibujo		01 de 16		
Ingeniería Electromecánica UTC				

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12

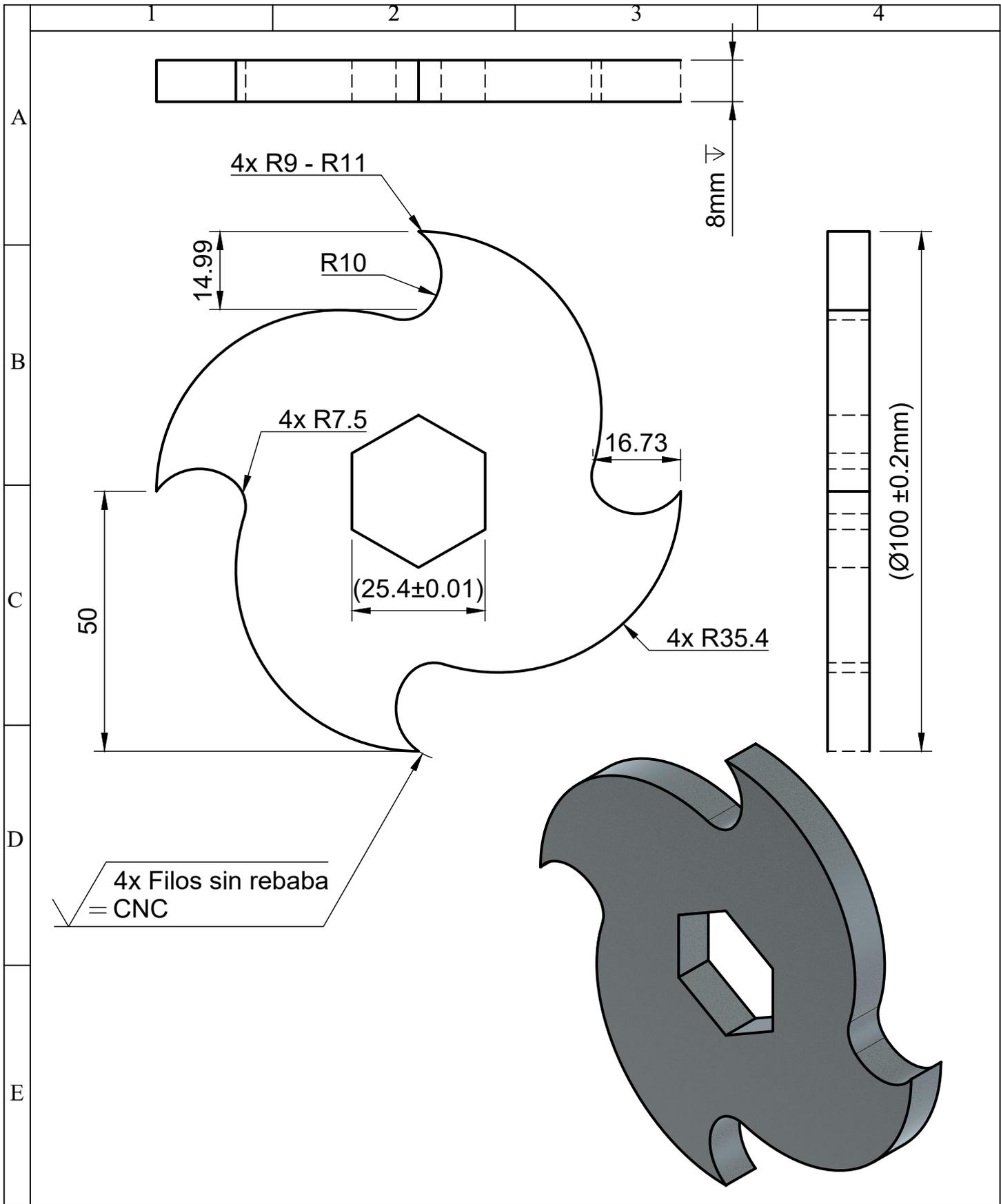
Edición Modificación Fecha Nombre



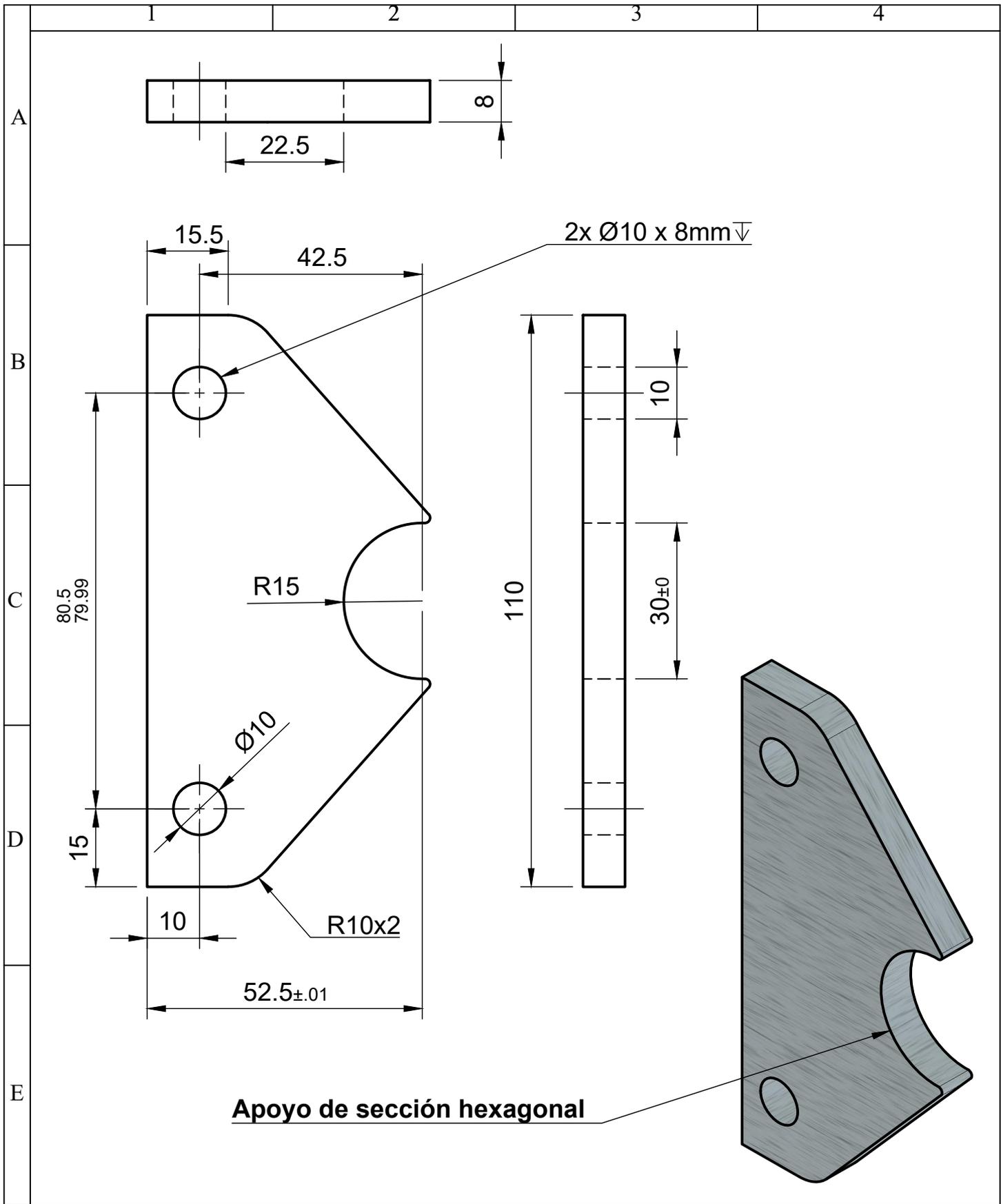
Lista de piezas						
elemento	ctd	número de pieza	nombre de pieza	descripción	material	masa
1	2	PLACA BASE FRONTAL	PLACA BASE FRONTAL v6		Acero ASTM A36	1.80 kg
2	2	ENSAMBLE_LATERAL	ENSAMBLE_LATERAL v9		Acero ASTM A36	2.00 kg

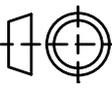


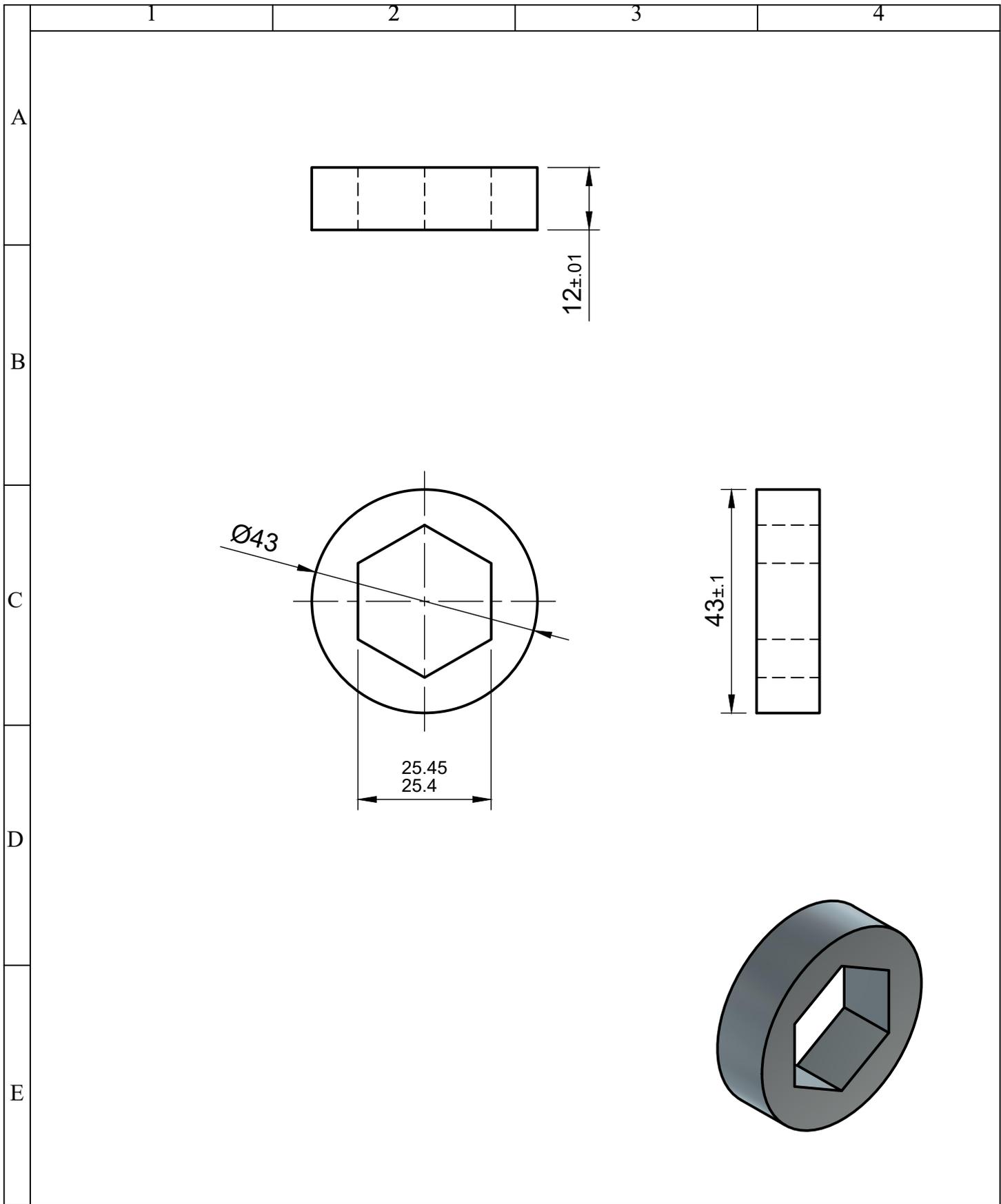
Tolerancias	(Peso)	Materiales	
±0.01mm	71kg	ACERO ASTM A36	
Fecha	Nombre	Denominación	Escala
Dib. 15/01/2024	Saquina y Simba	ENSAMBLE DE CAJA TRITURADORA	1.2
Rev.	Ing. Hector Reinoso		
Apro.	Ing. Hector Reinoso		
Número de Dibujo		Escala	
03 de 16		1.2	
Ingeniería Electromecánica UTC			

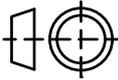


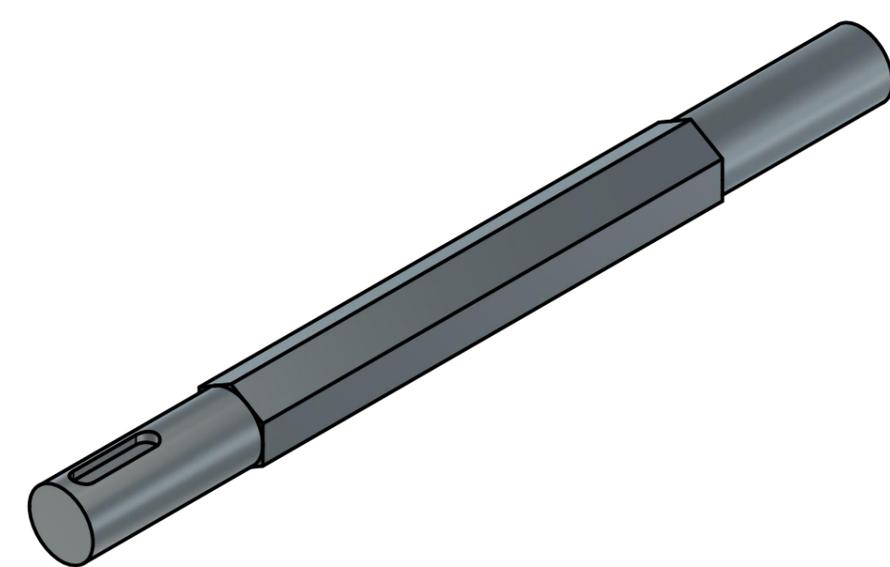
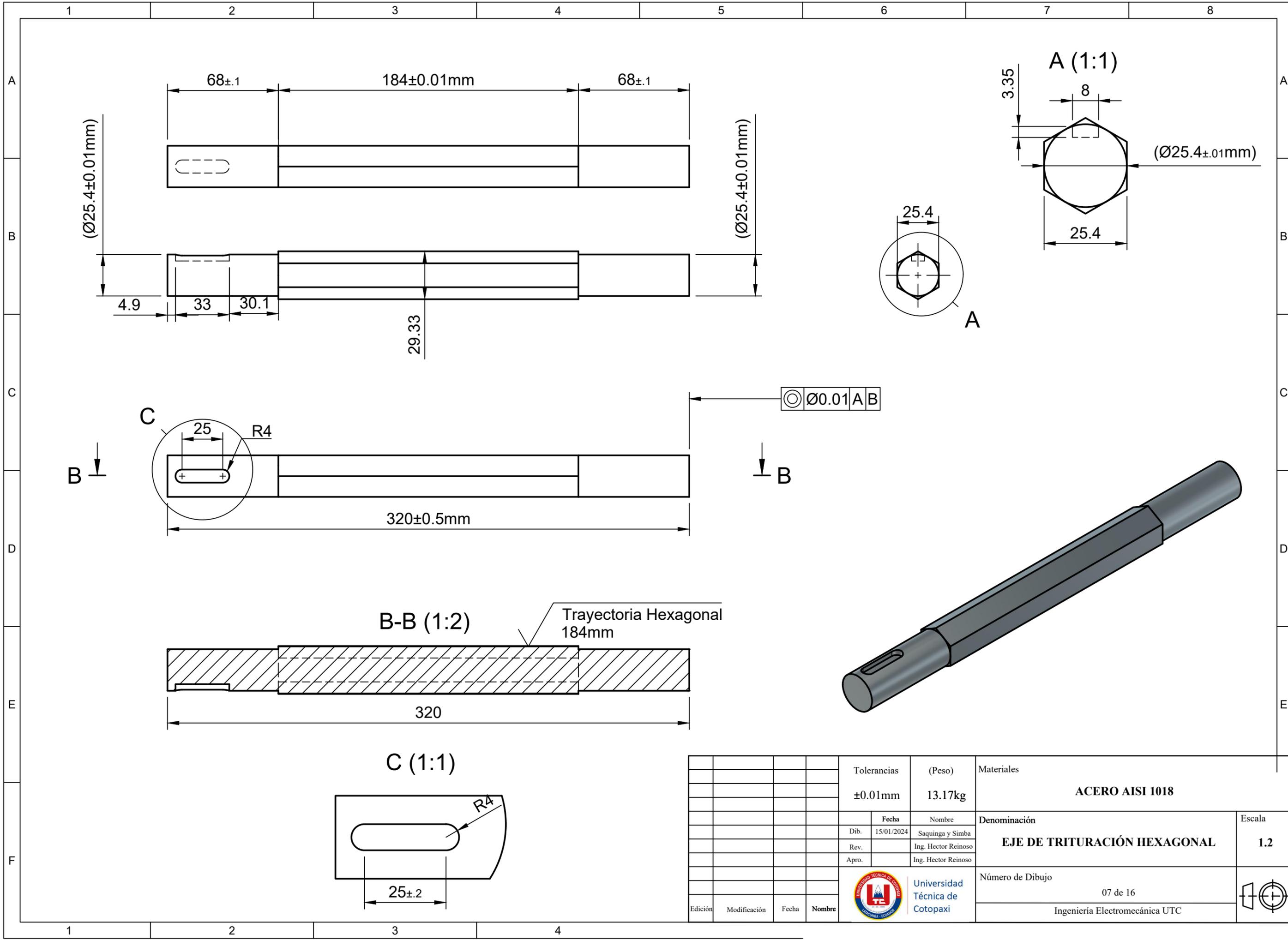
				Tolerancias	(Peso)	Materiales	
				±0.2mm	3.14kg	ACERO ASTM A36	
				Fecha	Nombre	Denominación	Escala
			Dib.	15/01/2024	Saquina y Simba		
			Rev.		Ing. Hector Reinoso		
				Apro.	Ing. Hector Reinoso	CUCHILLA DE 4 FILOS	1.1
				 Universidad Técnica de Cotopaxi		Número de Dibujo	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			04 de 16	
						Ingeniería Electromecánica UTC	



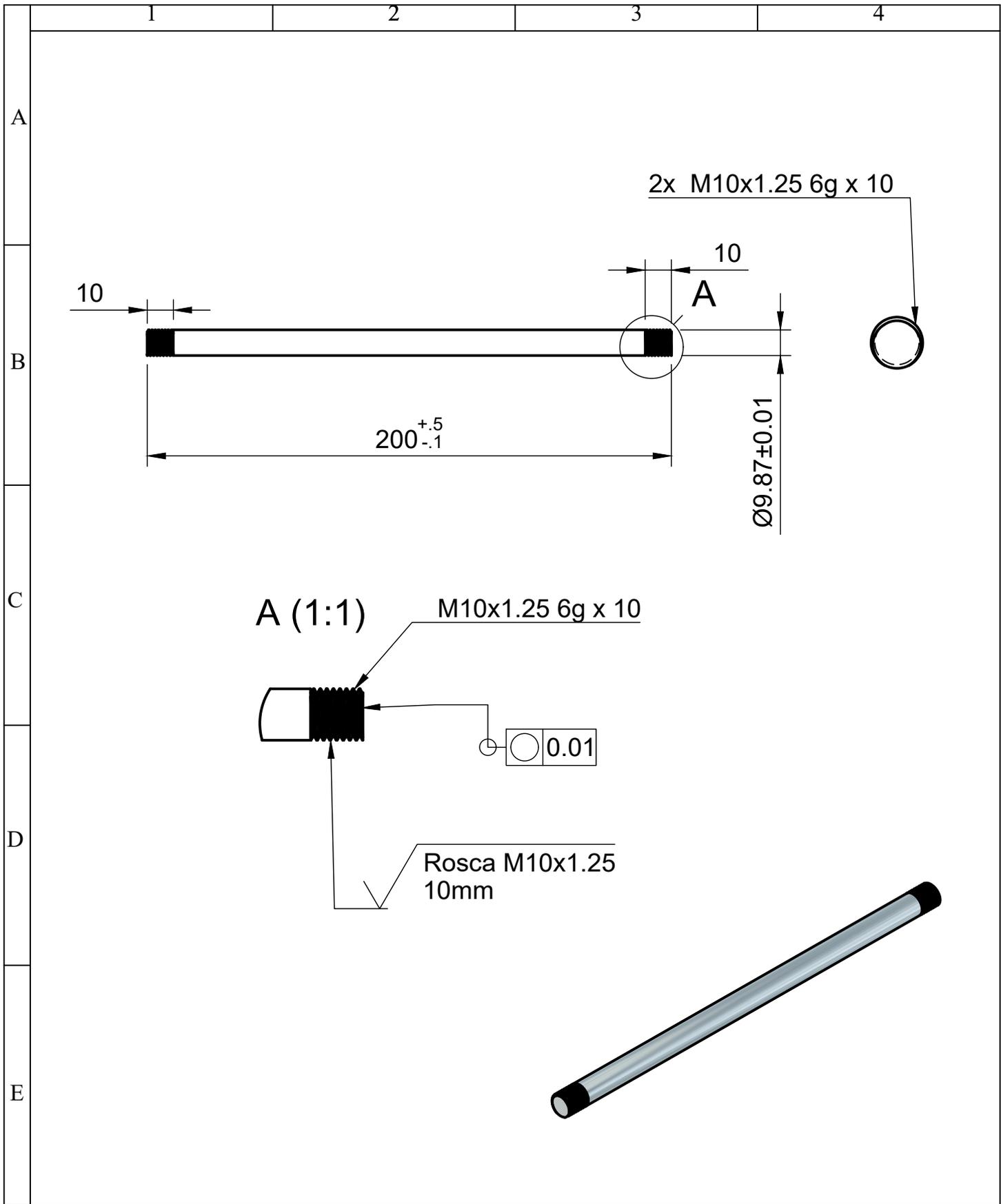
				Tolerancias	(Peso)	Materiales	
				±0.5mm	2.50kg	ACERO ASTM A36	
				Fecha	Nombre	Denominación	Escala
			Dib.	15/01/2024	Saquina y Simba		
			Rev.		Ing. Hector Reinoso		
				Apro.	Ing. Hector Reinoso	SEPARADOR DE PARED Y CUCHILLAS	1.1
						Número de Dibujo	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre	Universidad Técnica de Cotopaxi	05 de 16	Ingeniería Electromecánica UTC	



				Tolerancias	(Peso)	Materiales	
				±0.04mm	0.82kg	ACERO ASTM A36	
				Fecha	Nombre	Denominación	Escala
			Dib.	15/01/2024	Saquina y Simba		
			Rev.		Ing. Hector Reinoso		
				Apro.	Ing. Hector Reinoso	SEPARADOR DE PARED FRONTAL	1.1
						Número de Dibujo	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre	Universidad Técnica de Cotopaxi	06 de 16	Ingeniería Electromecánica UTC	

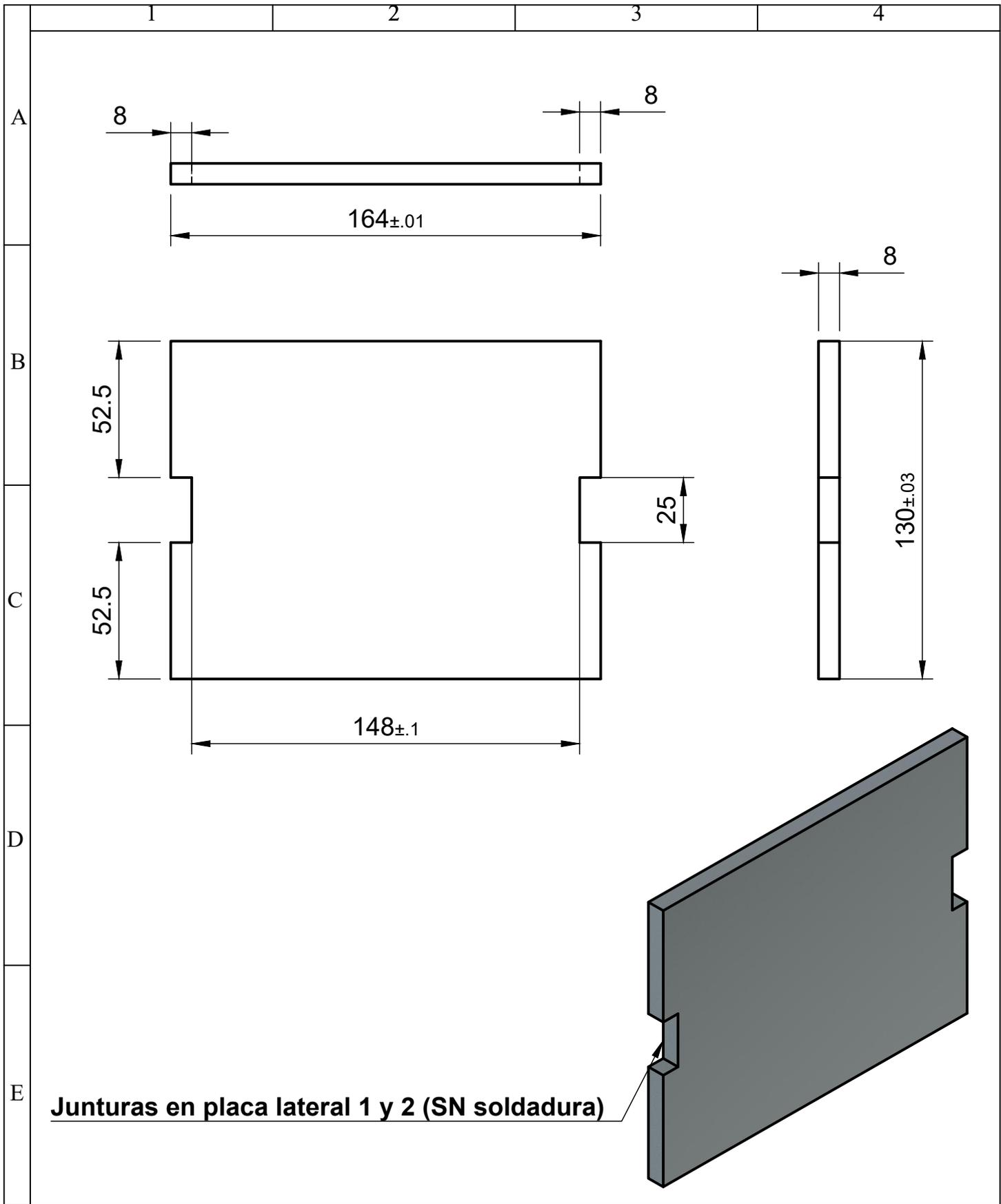


					Tolerancias	(Peso)	Materiales	
					±0.01mm	13.17kg	ACERO AISI 1018	
					Fecha	Nombre	Denominación	
				Dib.	15/01/2024	Saquinga y Simba	EJE DE TRITURACIÓN HEXAGONAL	
				Rev.		Ing. Hector Reinoso	Escala	
				Apro.		Ing. Hector Reinoso	1.2	
							Número de Dibujo	
							07 de 16	
							Ingeniería Electromecánica UTC	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre					

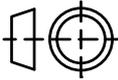


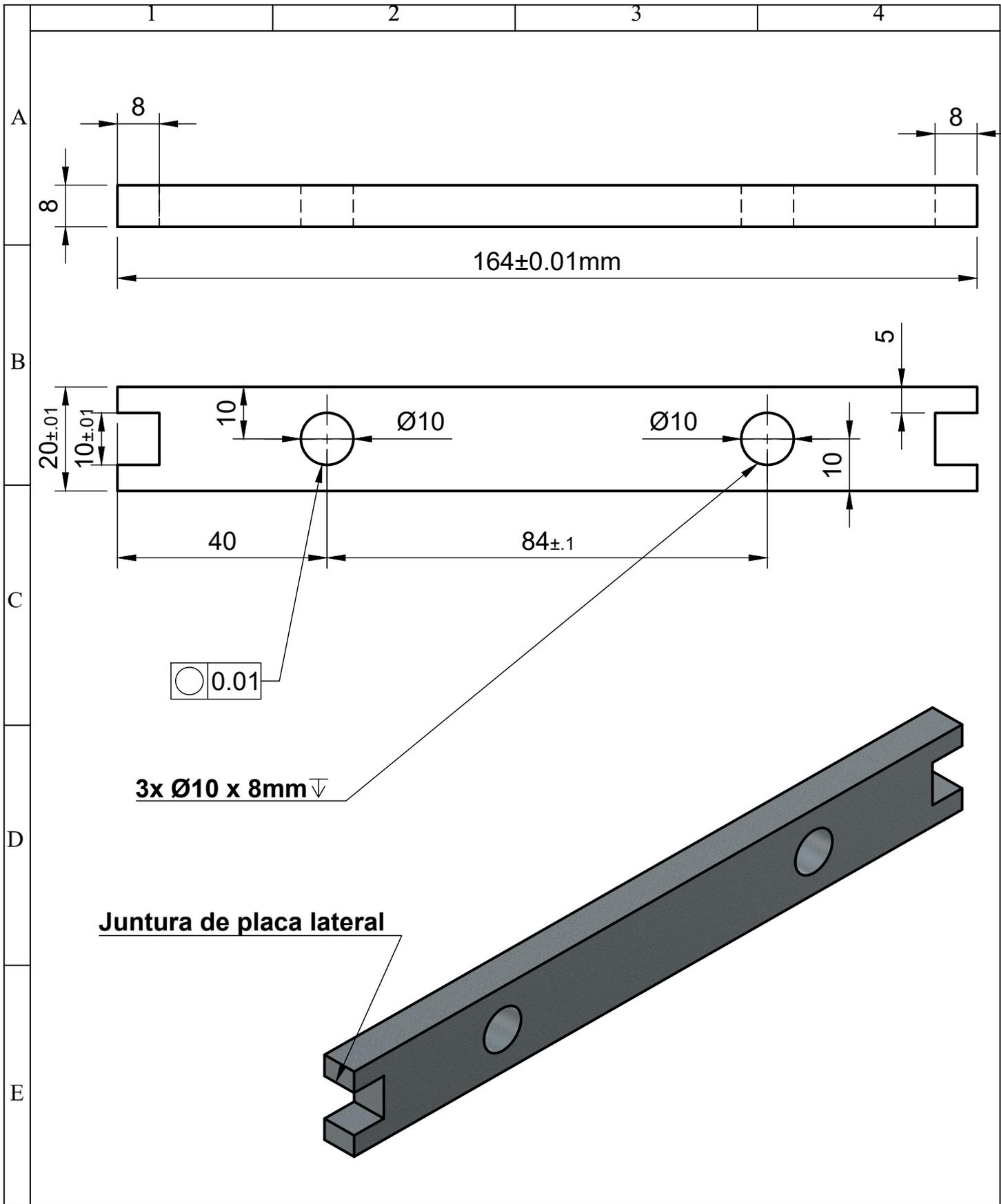
				Tolerancias	(Peso)	Materiales		
				$\pm 0.5\text{mm}$	1.19kg	<b>ACERO INOXIDABLE AISI 304</b>		
				Fecha	Nombre	Denominación	Escala	
			Dib.	15/01/2024	Saquina y Simba			
			Rev.		Ing. Hector Reinoso			
				Apro.	Ing. Hector Reinoso	<b>EJE DE SUJECIÓN DE SEPARADORES</b>	<b>1.1</b>	
				 Universidad Técnica de Cotopaxi		Número de Dibujo		
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			08 de 16		
							Ingeniería Electromecánica UTC	



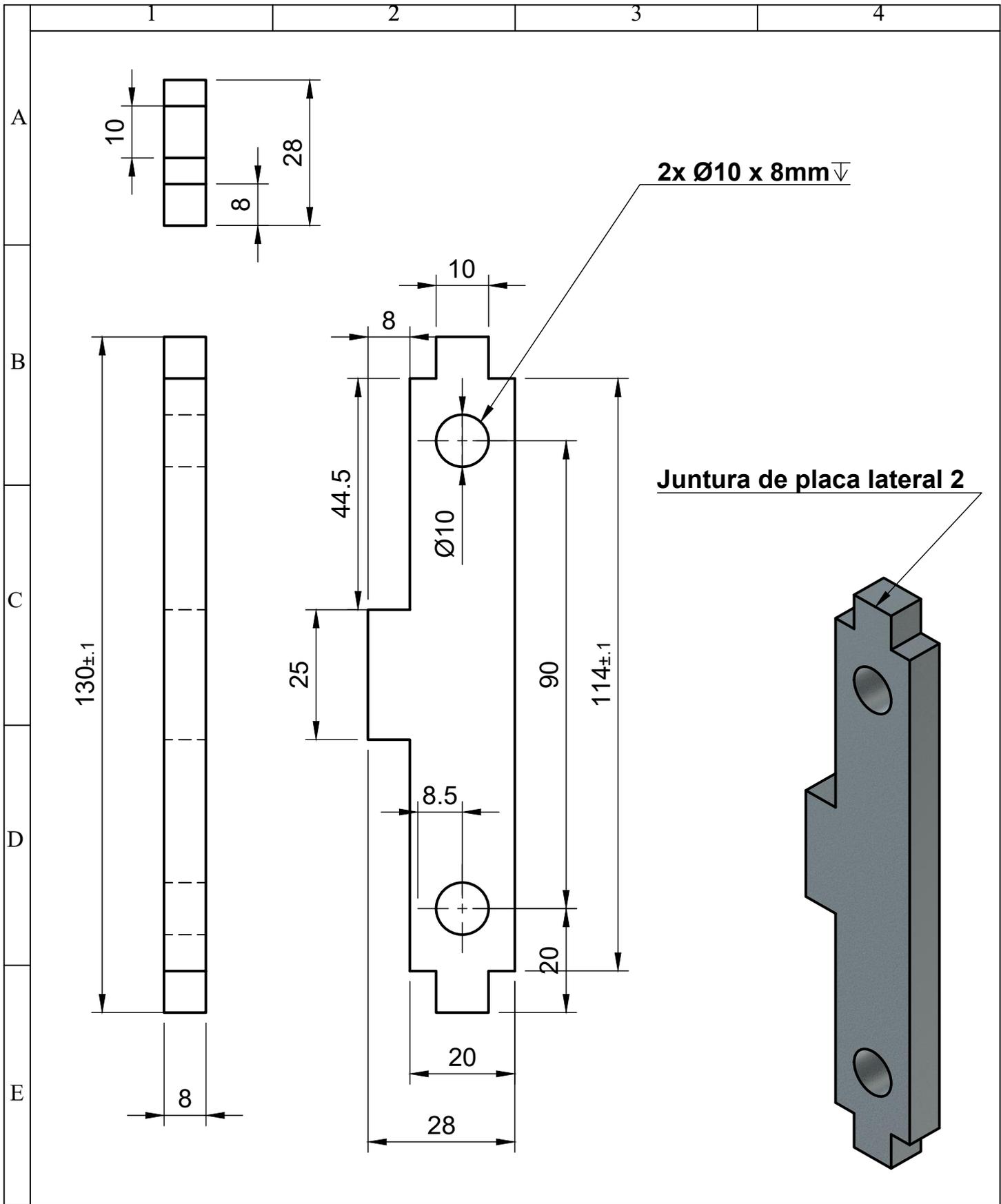


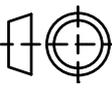
**Junturas en placa lateral 1 y 2 (SN soldadura)**

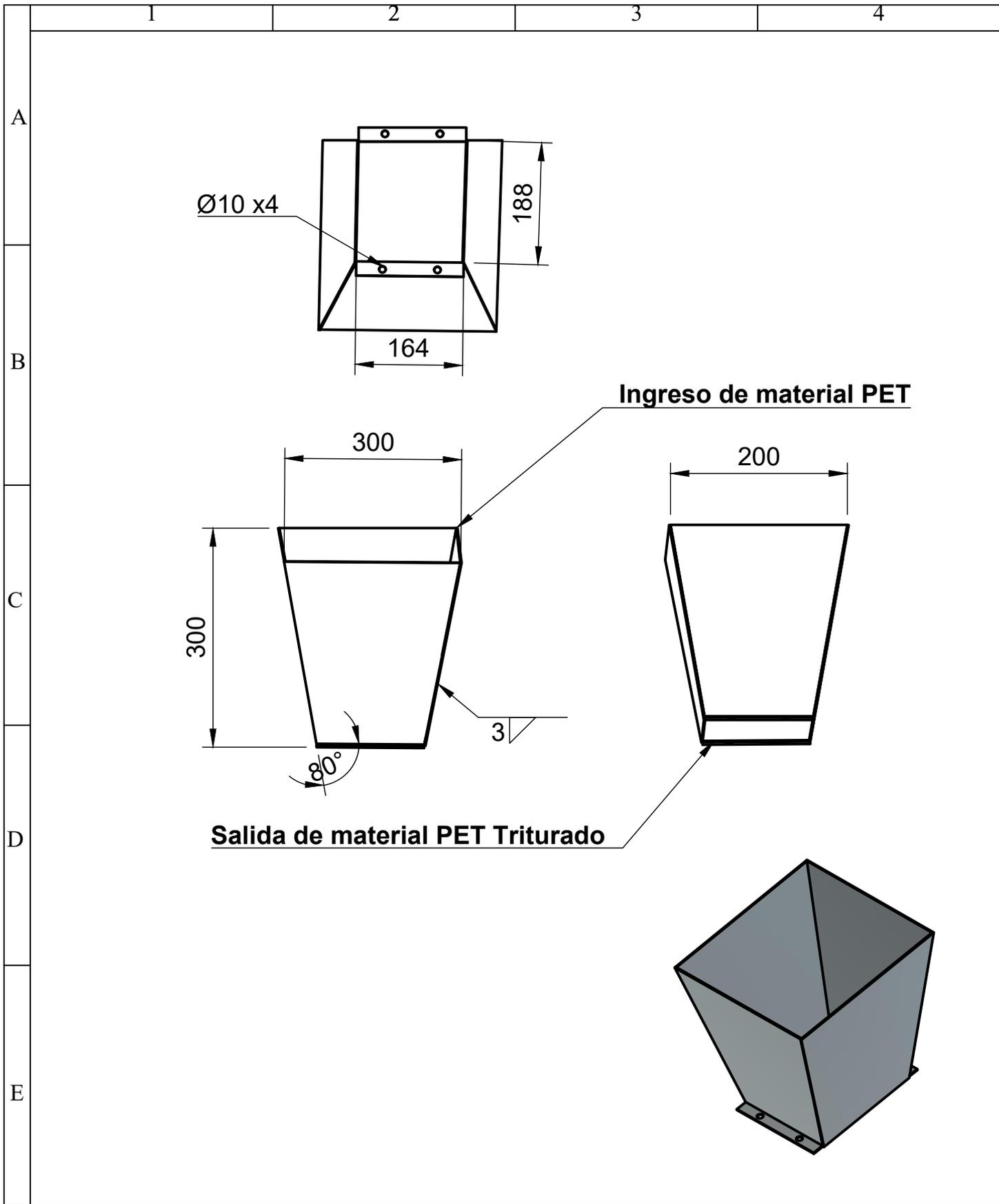
				Tolerancias	(Peso)	Materiales	
				$\pm 0.02\text{mm}$	12.87kg	ACERO ASTM A36	
				Fecha	Nombre	Denominación	Escala
			Dib.	15/01/2024	Saquina y Simba		
			Rev.		Ing. Hector Reinoso		
				Apro.	Ing. Hector Reinoso	Número de Dibujo	1.2
Edición	Modificación	Fecha	Nombre	 Universidad Técnica de Cotopaxi		10 de 16	
						Ingeniería Electromecánica UTC	



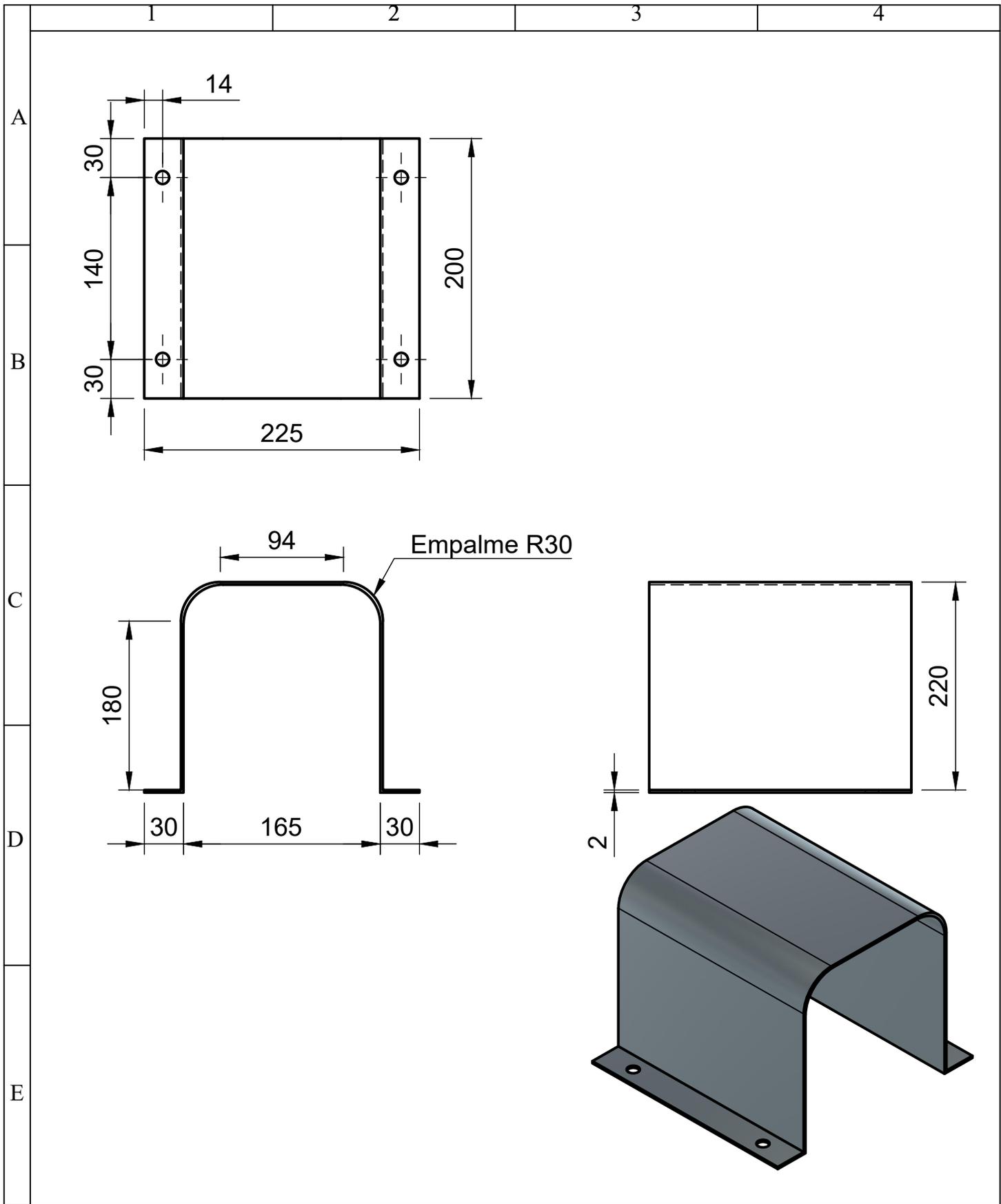
				Tolerancias	(Peso)	Materiales	
				±0.01mm	1.82kg	ACERO ASTM A36	
				Fecha	Nombre	Denominación	Escala
			Dib.	15/01/2024	Saquina y Simba		
			Rev.		Ing. Hector Reinoso		
			Apro.		Ing. Hector Reinoso		
				 Universidad Técnica de Cotopaxi		Número de Dibujo	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			11 de 16	
						Ingeniería Electromecánica UTC	

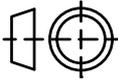


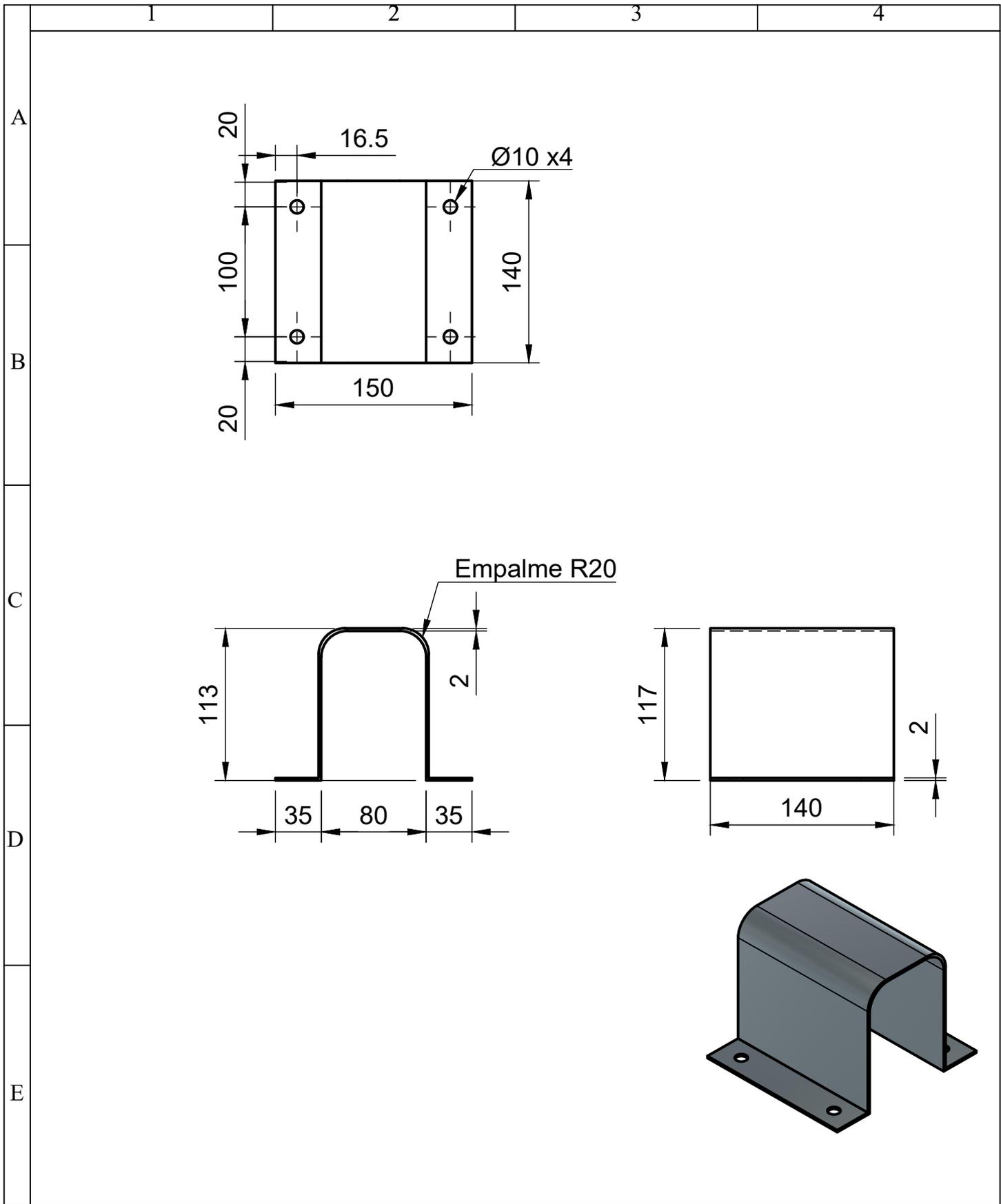
				Tolerancias	(Peso)	Materiales	
				$\pm 0.01mm$	1.52kg	<b>ACERO ASTM A36</b>	
				Fecha	Nombre	Denominación	Escala
			Dib.	15/01/2024	Saquina y Simba		
			Rev.		Ing. Hector Reinoso		
			Apro.		Ing. Hector Reinoso	Número de Dibujo	1.1
Edición	Modificación	Fecha	Nombre	 Universidad Técnica de Cotopaxi		12 de 16	
						Ingeniería Electromecánica UTC	



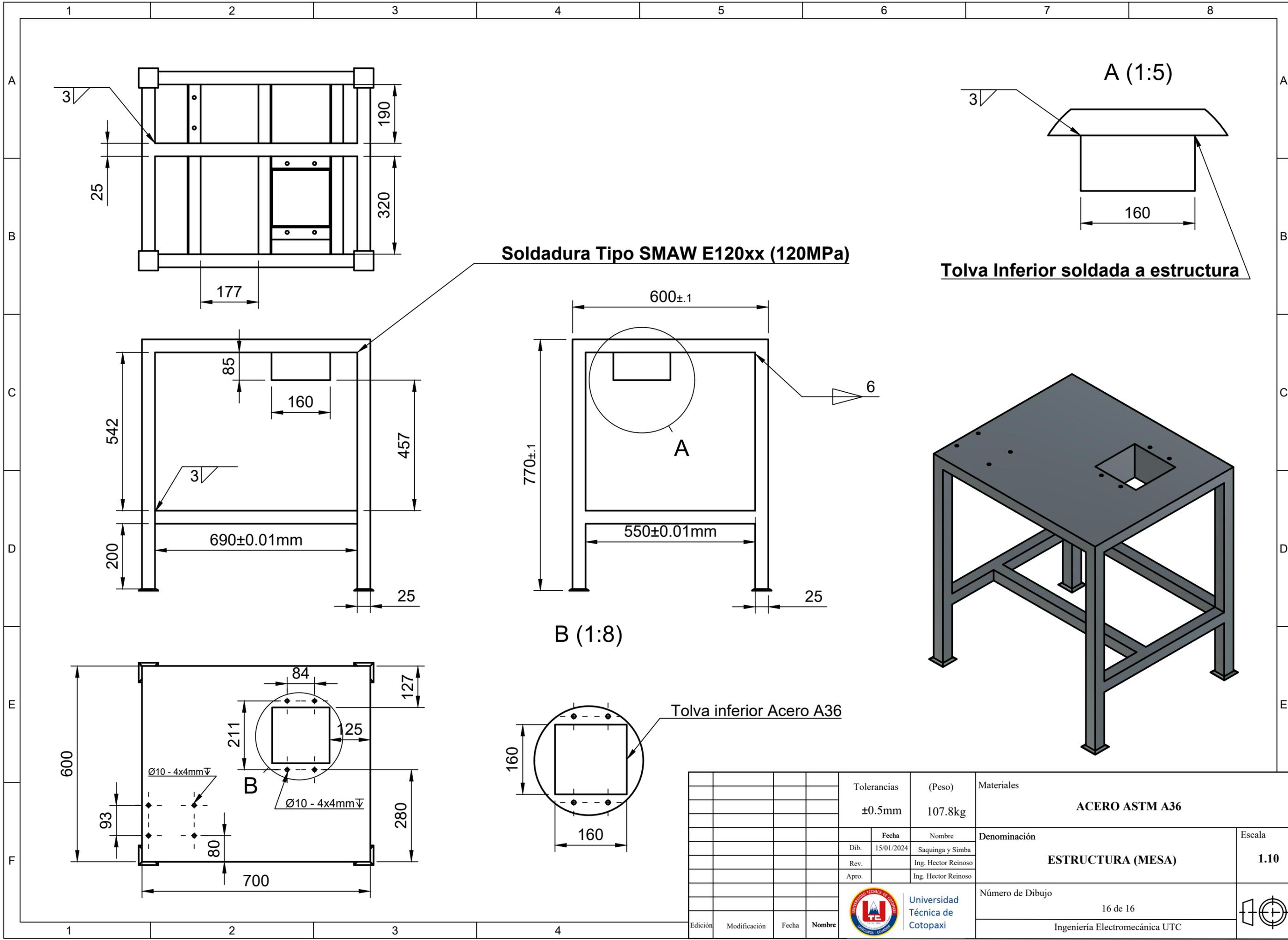
				Tolerancias	(Peso)	Materiales	
				±0.2mm	1.2kg	ACERO ASTM A36	
				Fecha	Nombre	Denominación	Escala
			Dib.	15/01/2024	Saquina y Simba		
			Rev.		Ing. Hector Reinoso		
				Apro.	Ing. Hector Reinoso	TOLVA SUPERIOR	1.8
				 Universidad Técnica de Cotopaxi		Número de Dibujo	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			13 de 16	
						Ingeniería Electromecánica UTC	



				Tolerancias	(Peso)	Materiales	
				±0.5mm	1.65kg	ACERO ASTM A36	
				Fecha	Nombre	Denominación	Escala
			Dib.	15/01/2024	Saquina y Simba		
			Rev.		Ing. Hector Reinoso		
				Apro.	Ing. Hector Reinoso	Número de Dibujo	1.4
Edición	Modificación	Fecha	Nombre	 Universidad Técnica de Cotopaxi		14 de 16	
						Ingeniería Electromecánica UTC	



				Tolerancias	(Peso)	Materiales	
				±0.2mm	0.83kg	ACERO ASTM A36	
				Fecha	Nombre	Denominación	Escala
			Dib.	15/01/2024	Saquina y Simba		
			Rev.		Ing. Hector Reinoso		
				Apro.	Ing. Hector Reinoso	CARCASA DE SEGURIDAD 2	1.4
				 Universidad Técnica de Cotopaxi		Número de Dibujo	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			15 de 16	
						Ingeniería Electromecánica UTC	



**Soldadura Tipo SMAW E120xx (120MPa)**

**Tolva Inferior soldada a estructura**

**B (1:8)**

**Tolva inferior Acero A36**

				Tolerancias	(Peso)	Materiales	
				±0.5mm	107.8kg	ACERO ASTM A36	
				Fecha	Nombre	Denominación	Escala
			Dib.	15/01/2024	Saquina y Simba		
			Rev.		Ing. Hector Reinoso		
				Apro.	Ing. Hector Reinoso	Número de Dibujo	1.10
Edición	Modificación	Fecha	Nombre	 Universidad Técnica de Cotopaxi		16 de 16 Ingeniería Electromecánica UTC	