



TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO®



TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO EN CELAYA

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA

**“DESARROLLO DE MINI TRITURADORA PARA BOTELLAS PET DE
20 Kg”**

TESIS

**PARA OBTENER EL TÍTULO DE
MAESTRÍA EN CIENCIAS DE INGENIERÍA MECÁNICA**

PRESENTA:

ING. VÍCTOR DANIEL GARCÍA HERNÁNDEZ

ASESOR:

DR. ALVARO SÁNCHEZ RODRÍGUEZ

Celaya, Guanajuato, Agosto 2024

Dedicatoria

Dedico este trabajo de titulación a la constancia y esfuerzo aplicado en toda mi preparación académica y con todo mi corazón a mis Padres Ma. Silvia Hernández Puga y Gregorio García Ortiz, por ayudarme incondicionalmente a cumplir esta meta.

Víctor Daniel García Hernández

Agradecimiento

Le agradezco a Dios por permitirme alcanzar y terminar este periodo de mi vida, a mis Padres Ma. Silvia Hernández Puga y Gregorio García Ortiz por apoyarme en todo momento, a mi asesor de tesis Dr. Álvaro Sánchez Rodríguez, que siempre estuvo disponible para las dudas que me surgieron a lo largo de este proyecto y por último agradezco a el CONAHCYT por el apoyo económico brindado a lo largo del desarrollo de este proyecto.

Víctor Daniel García Hernández

Índice

Índice de figuras	6
Índice de tablas.....	8
Resumen.....	9
Abstract.....	10
Introducción.....	11
CAPÍTULO 1. MARCO DE REFERENCIA	13
1.1. Antecedentes y estado del arte	13
1.2. Planteamiento del problema.....	16
1.3. Justificación	16
1.4. Objetivos.....	17
1.5. Alcances y limitaciones.....	17
CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO	18
2.1 Tereftalato de polietileno (PET).....	18
2.2 Propiedades del PET	18
2.3 Disminución de tamaño	19
2.4 Descripción de las partes principales de una trituradora	20
2.5 Parámetros de diseño	21
CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA Y DESARROLLO	26
3.1 Diagrama de flujo y descripción de etapas	26
3.2 Requerimientos y especificaciones	28
3.3 Análisis de alternativas	30
3.4 Cálculos de ingeniería	39
3.5 Diseño y fabricación de componentes	50
3.6 Selección de componentes	58
CAPÍTULO 4. MODELACIÓN, SIMULACIÓN Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS	61
4.1 Modelación de componentes	61

4.2	Simulación por elemento finito	62
4.3	Análisis de resultados	65
4.4	Análisis de costos.....	69
Conclusión		71
Referencias		72
Anexos		76

Índice de figuras

Figura 1.1 Molino de martillos [1].	14
Figura 1.2 Molino de cuchillas [1].	15
Figura 1.3 Molino de disco [1].	15
Figura 2.1 Longitud de Cizallado [12].	22
Figura 2.2 Eje de la trituradora.	24
Figura 3.1 Diagrama de flujo de la metodología.	26
Figura 3.2 Proceso de la mini triturada.	27
Figura 3.3 Botella 3L.	29
Figura 3.4 Medida en la boca de la botella.	29
Figura 3.5 Medida en la base de la botella.	29
Figura 3.6 Medida en la pared de la botella.	30
Figura 3.7 Motorreductor [17].	30
Figura 3.8 Banda [18].	31
Figura 3.9 Cadena [19].	32
Figura 3.10 Engranajes [20].	32
Figura 3.11 Motor paso a paso [21].	33
Figura 3.12 Cuchilla con 2 navajas.	34
Figura 3.13 Cuchilla con 4 navajas.	34
Figura 3.14 Eje circular.	35
Figura 3.15 Eje cuadrado.	35
Figura 3.16 Eje hexagonal.	36
Figura 3.17 Masa de la cuchilla.	40
Figura 3.18 Masa del espaciador.	41
Figura 3.19 Masa del eje.	41
Figura 3.20 Diagrama de cuerpo libre.	42
Figura 3.21 Simplificación de diagrama de cuerpo libre.	42
Figura 3.22 Diagrama de corte.	43
Figura 3.23 Diagrama momento flector.	43
Figura 3.24 Módulo de torsión.	43
Figura 3.25 Placa 1.	51
Figura 3.26 Placa 2.	51
Figura 3.27 Base.	52
Figura 3.28 Tolva.	52
Figura 3.29 Cuchilla estática.	53
Figura 3.30 Separador estático.	53
Figura 3.31 Material para la fabricación.	54
Figura 3.32 Eje maquinado.	54
Figura 3.33 Corte por láser de material.	54
Figura 3.34 Maquinando el hexágono.	55
Figura 3.35 Redondeando el separador.	55
Figura 3.36 Fabricando base.	55
Figura 3.37 Fabricando tolva.	56

Figura 3.38 piezas de la caja de trituración.	56
Figura 3.39 Caja de trituración ensamblada.	57
Figura 3.40 Mini trituradora sin motor.	57
Figura 4.1 Modelado del eje.	61
Figura 4.2 Modelado de la cuchilla.	61
Figura 4.3 Esfuerzo Von Mises del eje.	62
Figura 4.4 Deformación del eje.	63
Figura 4.5 Factor de seguridad del eje.	63
Figura 4.6 Esfuerzo Von Mises de la cuchilla.	64
Figura 4.7 Deformación de la cuchilla.	64
Figura 4.8 Factor de seguridad de la cuchilla.	65
Figura 4.9 Ensamble final de la trituradora.	66
Figura 4.10 Medidas del diseño de trituradora.	67
Figura 4.11 Pruebas de trituración con el taladro.	68
Figura 4.12 Escamas obtenidas de una botella de 1L.	68

Índice de tablas

Tabla 2.1 Propiedades del PET [2].....	19
Tabla 2.2 Dimensión de botellas PET comerciales.	23
Tabla 2.3 Propiedades de los aceros [Ingeniería de materiales Daison Rodríguez].....	24
Tabla 3.1 Pros y contras de la alternativa 1 de transmisión.....	31
Tabla 3.2 Pros y contras de la alternativa 2 de transmisión.....	31
Tabla 3.3 Pros y contras de la alternativa 3 de transmisión.....	32
Tabla 3.4 Pros y contras de la alternativa 4 de transmisión.....	33
Tabla 3.5 Pros y contras de la alternativa 5 de transmisión.....	33
Tabla 3.6 Pros y contras de la alternativa 1 de cuchillas.	34
Tabla 3.7 Pros y contras de la alternativa 2 de cuchillas.....	34
Tabla 3.8 Pros y contras de la alternativa 1 de eje.....	35
Tabla 3.9 Pros y contras de la alternativa 2 de eje.....	35
Tabla 3.10 Pros y contras de la alternativa 3 de eje.....	36
Tabla 3.11 Análisis de alternativas para la transmisión.....	37
Tabla 3.12 Evaluación de alternativas de cuchillas.....	38
Tabla 3.13 Evaluación de alternativas de eje.....	39
Tabla 3.14 Parámetros factor de condición de la superficie [25].....	46
Tabla 3.15 Factor de tamaño [25].....	47
Tabla 3.16 Valores para seleccionar el motorreductor.....	58
Tabla 3.17 Selección del motor reductor [27].	58
Tabla 3.18 Valores de principio mínimos para el coeficiente de seguridad [29].	59
Tabla 3.19 Selección de chumacera [30].	60
Tabla 4.1 Costo de elementos Mecánicos.....	69
Tabla 4.2 Gastos Indirectos.....	69
Tabla 4.3 Imprevistos.....	70
Tabla 4.4 Costo total sin motorreductor.....	70

Resumen

El trabajo presenta el desarrollo de una mini trituradora portátil de botellas PET diseñada para pesar 20 kg, además de que debe triturar hasta botellas de hasta 3 litros. Las botellas PET actualmente son usadas para envasar una gran variedad de productos especialmente líquidos, aumentando la fabricación de botellas que generan una cantidad de basura. Teniendo un procedimiento adecuado de reciclaje se pueden reutilizar las botellas en varios productos mitigando en cierta medida la contaminación ambiental.

Para la construcción y el dimensionamiento de la mini trituradora, se tomó en cuenta la fuerza que se necesita para el corte del material PET y los esfuerzos a los que son sometidos los elementos de la trituradora. Con ayuda del software SOLIDWORKS se analizó el eje y las cuchillas para garantizar su funcionamiento óptimo de la trituradora. Tanto el eje como las cuchillas fueron sometidos a análisis estáticos y simulaciones dando con factores de seguridad necesarios para el funcionamiento de la trituradora.

Obteniendo resultados alentadores en la simulación se fabricó un prototipo, para posteriormente realizar las pruebas de la mini trituradora PET dando un peso aproximado de la máquina de triturado es de 29 kg, obteniendo trozos triturados aproximadamente de 16 x 28 mm.

Abstract

The work presents the development of a portable mini shredder for PET bottles designed to weigh 20 kg, and it must be able to shred bottles of up to 3 liters. PET bottles are currently used to package a wide variety of products, especially liquids, leading to an increase in bottle production that generates a significant amount of waste. With an appropriate recycling procedure, these bottles can be reused in various products, thereby mitigating environmental pollution to some extent.

In constructing and sizing the mini shredder, the force required to cut the PET material and the stresses to which the shredder components are subjected were taken into account. Using SOLIDWORKS software, the shaft and blades were analyzed to ensure the optimal functioning of the shredder. Both the shaft and the blades underwent static analysis and simulations to determine the necessary safety factors for the shredder's operation.

After obtaining encouraging results from the simulation, a prototype was manufactured, followed by tests of the PET mini shredder. The approximate weight of the shredding machine is 29 kg, producing shredded pieces approximately 16 x 28 mm in size.

Introducción

Un problema global presente es la acumulación de plásticos usados en los productos que las personas consumen regularmente en todo el mundo. Esto ha generado la existencia de grandes cantidades de plástico que demoran cientos o miles de años en deteriorarse. Un ejemplo de estos plásticos es el tereftalato de polietileno conocido como PET, utilizado en una gran variedad de aplicaciones como empaquetados, telas, productos electrónicos, piezas moldeadas para automóviles, entre otros. Sin embargo, uno de los usos más comunes del PET son las botellas de agua o refrescos.

Aunque actualmente existen normas para el manejo de estos elementos, diariamente siguen llegando a los basureros y calles de todo el mundo. En México, por ejemplo, aproximadamente un tercio de la basura doméstica está compuesta por botellas de PET, ya que se producen alrededor de nueve mil millones de botellas al año, y un gran porcentaje de ellas nunca son recicladas, lo que termina contaminando el medio ambiente.

Una forma de afrontar este problema es mediante el reciclaje de botellas PET. Por lo tanto, se busca plantear una alternativa para volver a usar el material mediante la trituración de botellas y su renovación en nuevos artículos, utilizando los mismos métodos de fabricación convencionales de productos PET, sin necesidad de equipos adicionales.

Dentro del proceso de reciclaje de PET, es necesario triturar el material en partículas llamadas hojuelas o escamas, para posteriormente fabricar nuevos artículos a partir de ellas. Por lo tanto, el propósito de este proyecto es diseñar y fabricar una mini trituradora de botellas de PET de bajo costo, fácil de transportar y de fácil operación.

El Capítulo 1 se centra en el marco de referencia, aquí se puede encontrar información referente a las botellas de PET y los distintos métodos de reciclaje. Se incluye también un análisis de las diferentes trituradoras disponibles en el mercado. Además, se plantea el problema ambiental causado por los desechos de PET y se

justifica la necesidad de desarrollar este proyecto para mitigar la contaminación. Se detallan los alcances y limitaciones del proyecto, destacando la creación de un prototipo de mini trituradora de botellas PET y finalmente, se exponen los objetivos del proyecto.

El Capítulo 2 se centra en el marco teórico, se inicia con una descripción del tereftalato de polietileno (PET), se describen las partes principales que componen a una trituradora de PET y finalmente, se analizan los parámetros de diseño esenciales de la mini trituradora.

En el capítulo 3 se presenta la metodología, describiendo cada etapa involucrada en el transcurso del diseño, como los requerimientos y especificaciones, las diferentes alternativas y la selección de la mejor opción para el diseño y fabricación de un prototipo.

En el capítulo 4 se muestra la modelación, simulación y análisis de resultados obtenidos en el diseño de la mini trituradora de botellas PET.

Al final se presentan conclusiones derivadas del desarrollo de prototipo para la mini trituradora de botellas PET. Además, se incluirá una sección de referencias que respaldan el trabajo realizado y los anexos pertinentes que complementan la información.

CAPÍTULO 1

MARCO DE REFERENCIA

1.1. Antecedentes y estado del arte

Botellas de PET

El PET (conocido como tereftalato de polietileno) fue producido en los años 1940, pero fue hasta los años 1970 que se produjeron envases de PET y gracias a sus características y propiedades, fue posible la fabricación masiva de este producto como se conoce actualmente en forma de botella y esto contribuye a un grave problema ambiental, ya que puede tardar entre 100 y 1000 años en descomponerse [7].

Reciclado de botellas PET

El reciclaje de botellas PET, consta de un proceso que recupera materia prima para la producción de nuevos productos, con el propósito de promover la reutilización de este material y disminuir la contaminación del medio ambiente. Hay dos tipos de reciclado para el PET: reciclado químico y reciclado mecánico.

Reciclado Mecánico: se basa en el tratamiento de los residuos plásticos mediante métodos físicos y la reducción de tamaño, lo que permite conseguir hojuelas del material PET, que son usadas directamente o mezcladas con polímero virgen en el procedimiento siguiente de transformación para obtener diferentes productos, esta es la técnica que normalmente se usa en las plantas de reciclaje [1].

El reciclaje mecánico del PET implica una serie de etapas. Empezando por clasificar las botellas de plástico según el tipo de resina y se eliminan impurezas como etiquetas, tapas y anillos. Luego, las botellas se trituran para obtener pequeños trozos, facilitando así su almacenamiento y transporte a las plantas de reciclaje. En

estas plantas, el material triturado se funde y se divide en pequeñas esferas que finalmente, se utilizan como materia prima para fabricar nuevos productos. [6]

El reciclaje químico implica un proceso de despolimerización del PET mediante el uso de agentes químicos. Existen varios métodos de reciclaje químico, y la elección del proceso a utilizar depende de la calidad del material a reciclar y de la demanda de los productos intermedios [2].

Máquina trituradora

Según (Pilatasig Lasluisa & Pozo Correa, 2014) una máquina trituradora sirve para, cortar, desgarrar, destrozar, romper un material obteniendo como resultado el material en trozos más pequeños que el tamaño original. Además, lo que se espera, es preparar el material para su reutilización como materia prima [3].

Hoy en día en el mercado existen varios tipos de trituradoras que dependen del material que procesan y del resultado del triturado deseado, algunos de los cuales son:

Molino de martillos: la trituradora de molino de martillos es una máquina destinada para procesos como trituración y molienda, es un tipo de molino de impacto o percusión (Figura 1.1).



Figura 1.1 Molino de martillos [1].

Molino de cuchillas: son máquinas rotativas con 2 o más hileras de cuchillas montadas sobre una flecha, denominada rotor y cuando menos una sola hilera de cuchillas montadas sobre un soporte fijo con respecto al rotor, denominado soporte

cuchilla de caja, los cuales se encuentran aislados del medio en una carcasa denominada cámara de molienda. Las cuchillas de rotor y caja pasan apenas con unos decimos de milímetro de separación y cuando pasa el material entre estos, por acción de la gravedad o con el auxilio de un husillo (alimentación forzada), es cortado el material en cuestión; este ciclo se repite varias veces hasta que el material que se desea moler tiene el tamaño adecuado para pasar a través una criba que cubre toda la parte baja o de descarga de un molino (Figura 1.2).



Figura 1.2 Molino de cuchillas [1].

Molino de disco: En este tipo de maquina primero se pone el envase a triturar en una tolva donde por efecto de gravedad este cae entre unos discos en el cual uno de ellos es el móvil que opera a altas revoluciones mientras que el otro disco es el fijo, dando como resultado una fricción del material con ambos discos y la presión ejercida del mismo hace que lo triture al envase (Figura 1.3) [1].



Figura 1.3 Molino de disco [1].

1.2. Planteamiento del problema

Hoy en día, debido al gran requerimiento y uso generalizado del PET por los consumidores del mundo, se generan grandes cantidades de desechos de este material. El PET tarda cientos de años en degradarse y debido a la falta de conciencia de gran parte de la sociedad, no lo desechan en lugares destinados al reciclaje, por lo que resulta en la contaminación del medio ambiente.

Aunque sus propiedades físicas y químicas indican que es un material inerte en el medio ambiente, es evidente la acumulación de residuos de botellas de este material en vertederos e incluso en los océanos, perjudicando la vida marina. Esta acumulación de plásticos plantea un problema significativo, ya que la degradación natural del PET es extremadamente lenta, lo que contribuye a la persistencia de residuos en el entorno.

Este problema crece debido a la falta de infraestructuras adecuadas para el reciclaje y la reutilización de materiales plásticos, por lo que es crucial desarrollar métodos eficientes y accesibles para reciclar el PET, transformándolo en nuevos productos que reduzcan el impacto ambiental.

1.3. Justificación

Al realizar un prototipo de mini trituradora para las botellas PET, se busca obtener un producto triturado que contribuya a reducir en cierta medida la contaminación en el medio ambiente. Además, la implementación de esta mini trituradora facilitará el proceso de reciclaje al transformar las botellas de PET en partículas más manejables, conocidas como hojuelas o escamas. Este proceso no solo optimiza el espacio y el transporte, sino que también prepara el material para su reutilización en la producción de nuevos productos, promoviendo así un ciclo de vida más sostenible para el PET.

1.4. Objetivos

Objetivo general

Desarrollar un prototipo de mini trituradora portátil de material plástico PET de 20 Kg.

Objetivos específicos

- Recopilar información.
- Definir los requerimientos y especificaciones del prototipo.
- Estudiar las posibles alternativas para la mini trituradora.
- Hacer bosquejos de posibles diseños de la mini trituradora.
- Seleccionar el diseño conceptual.
- Realizar estudio de esfuerzos del prototipo para comprobar la seguridad del diseño.
- Desarrollar los planos de construcción de la mini trituradora de botellas PET.
- Fabricar el prototipo y realizar pruebas operativas a la mini trituradora de botellas PET.

1.5. Alcances y limitaciones

Se diseñó un modelo conceptual y posteriormente se fabricó el prototipo de mini trituradora para botellas PET con buena portabilidad, a un precio accesible y de fácil uso, sin requerir una amplia capacitación para el operador.

Se espera que el producto final obtenido al utilizar la mini trituradora portátil, cumpla con las especificaciones necesarias para su almacenamiento, transporte y procesamiento simple.

CAPÍTULO 2

MARCO TEÓRICO

2.1 Tereftalato de polietileno (PET)

Polietileno tereftalato, es una resina termoplástica de la familia de los poliésteres y se utiliza en fibras sintéticas. Las botellas de PET son comúnmente utilizadas por los fabricantes como envases para sus bebidas. Además del vidrio y el papel, la mayoría de los materiales de embalaje como botellas y contenedores que se utilizan para almacenar productos alimenticios y otros bienes de consumo también utilizan PET como materia prima. La gama abarca desde botellas de bebidas, tarros de alimentos, aceites comestibles, detergentes y cosméticos, hasta productos farmacéuticos [4].

El PET se compone de petróleo crudo, gas y aire, con una distribución de su composición que incluye un 64% de petróleo, un 23% de derivados del gas natural y un 13% de aire. Este material es una combinación de ácido tereftálico y etilenglicol. Un envase hecho de PET es más liviano en comparación con aquellos fabricados de vidrio o aluminio, lo que resulta en una menor generación de residuos sólidos [8]. Además, el PET se distingue por su alta pureza, gran resistencia y tenacidad, así como por sus propiedades de transparencia y resistencia química [9].

2.2 Propiedades del PET

Las botellas de plástico PET presentan ciertas características, ya que su comportamiento está relacionado inversamente con la temperatura; esta puede aumentar o disminuir según las condiciones del entorno en el que se utilicen. Además, pueden ablandarse según sea necesario y son capaces de soportar cargas elevadas. En la tabla 2.1 se describen en detalle cada una de estas propiedades [5].

Tabla 2.1 Propiedades del PET [2].

DATOS TECNICOS PET				
POLIETILENTEREFTALAO				PET
PROPIEDADES MECANICAS	UNIDAD	ASTM	DIN	VALORES
A 23°C				
PESO ESPECIFICO	gr/cm3	D-792	53479	1.39
RESIST. A LA TRACC. (FLUENCIA / ROTURA)	Kg/cm²	D-638	53455	900
RES. A LA COMPRESION (1 Y 2 % DEF)	Kg/cm²	D-695	53454	260 / 480
RESISTENCIA A LA FLEXION	Kg/cm²	D-790	53452	1450
RES. AL CHOQUE SIN ENTALLA	Kg.cm/cm²	D-256	53453	> 50
ALARGAMIENTO A LA ROTURA	%	D-638	53455	15
MODULO DE ELASTICIDAD (TRACCION)	Kg/cm²	D-638	53457	37000
DUREZA	Shore D	D- 2240	53505	85 - 87
COEF. DE ROCE ESTATICO S/ACERO		D- 1894		--
COEF. DE ROCE DINAMICO S/ACERO		D- 1894		0.2
RES. AL DESGASTE POR ROCE				MUY BUENA

2.3 Disminución de tamaño

Los dispositivos para la disminución de tamaño se clasifican en trituradoras, molinos y máquinas de corte. Las trituradoras tienen la función de descomponer grandes fragmentos de material sólido en trozos más pequeños, y se pueden categorizar según los diferentes tamaños de trituración a la salida de la máquina por medio del producto obtenido [10].

Trituración

Para trituración gruesa se considera el tamaño de 15 cm o mayor.

Para trituración mediana se considera entre los tamaños de 3 y 15 cm.

Para trituración chica se considera entre los tamaños de 0.5 y 3 cm.

Molienda

Para molienda gruesa se considera entre los tamaños de 1 y 3 mm.

Para molienda fina se considera el tamaño menor de 1 mm.

2.4 Descripción de las partes principales de una trituradora

Estas son algunas de las partes principales que componen una trituradora de PET. Es importante decir que la configuración de la trituradora puede variar según el diseño específico del fabricante y las necesidades del proceso de triturado.

Tolva

Es la sección superior de la trituradora donde se introduce el material a para su trituración.

Sistema de cuchillas

Las cuchillas son una parte importante de la trituradora de PET ya que están diseñadas para cortar y triturar las botellas en partículas más pequeñas. El sistema de cuchillas generalmente consta de cuchillas fijas y cuchillas móviles que se encargan de la acción de corte. Estas cuchillas deben ser duraderas y estar correctamente alineadas.

Motor y su mecanismo de transmisión

El motor es el elemento que suministra la potencia requerida para hacer funcionar las cuchillas junto con el mecanismo de transmisión, que puede incluir en poleas, reductores de velocidad, correas o engranajes.

Caja de triturado

Es el área donde se realiza el proceso de triturado. Las botellas de PET son introducidas en la cámara de trituración por medio de la tolva, donde las cuchillas realizan el corte y la reducción del material en partículas más pequeñas. La forma y diseño de la cámara de trituración pueden variar según el tipo de trituradora y los requisitos del proceso de triturado.

Sistema de recolección y salida

Después de que las botellas de PET se han triturado, los fragmentos resultantes deben ser recolectados y canalizados hacia una salida o contenedor adecuado. (Puede haber un sistema de recolección y transporte, como una banda transportadora o un tornillo sinfín, para dirigir los fragmentos triturados hacia el lugar deseado).

Estructura

La trituradora de PET debe contar con una estructura robusta y resistente para soportar la carga de trabajo y el impacto durante el proceso de triturado. La estructura debe ser estable y segura, proporcionando una base sólida para todas las partes y componentes.

2.5 Parámetros de diseño

Fuerza de corte para el PET

Para comprender qué es la fuerza de corte, se utiliza el ejemplo del corte de papel con unas tijeras. Esto ocurre cuando, al presionar las tijeras, los bordes afilados cortan el papel a lo largo de la línea del filo [11] (ver figura 2.1)..

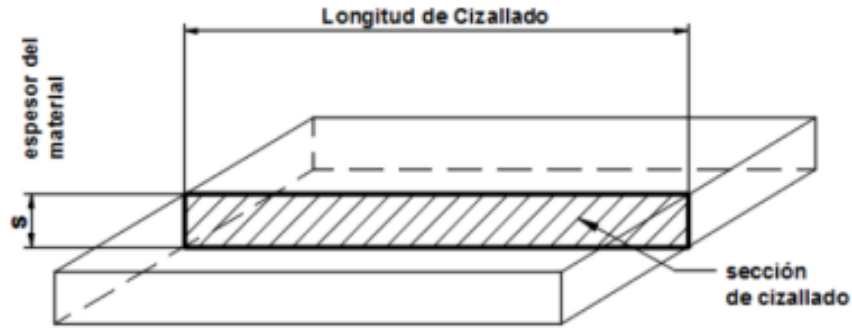


Figura 2.1 Longitud de Cizallado [12].

Resistencia a la cizalladura

Es la habilidad de un material para soportar fuerzas. que intentan deformarlo o cortarlo por deslizamiento paralelo a una superficie [13].

El material PET que se va a triturar presenta una resistencia al cizallamiento, la cual se genera cuando las cuchillas comienzan a girar. La ecuación que se empleará es la siguiente:

$$\tau_B = 0.8\sigma_B \quad (1)$$

Donde:

τ_B = resistencia a la cizalladura.

σ_B = resistencia a la rotura.

Fuerza de corte

Se calculará la fuerza de corte utilizando la siguiente ecuación, que se utiliza en los procesos de troquelado mediante el uso de alguna prensa, la aplica fuerza a la matriz para obtener un corte limpio y prevenir rebabas y pérdidas de material durante el proceso.[14].

La siguiente ecuación se utilizó para calcular la fuerza de corte.

$$F_H = \tau_B L s \quad (2)$$

Donde:

F_H = fuerza de corte.

τ_B = resistencia a la cizalladura.

L = longitud de cizallamiento.

S = espesor a cortar.

Elementos de trituración

La dimensión a triturar se tomaron los diámetros de las botellas de PET como se muestra en la Tabla 2.2, tomando la más grade como referencia.

Tabla 2.2 Dimensión de botellas PET comerciales.

Volumen	Diámetro	Altura
355 ml	50.5 mm	200 mm
600 ml	69 mm	230 mm
1 L	80 mm	250 mm
2 L	90 mm	310 mm
3 L	120 mm	320 mm

Velocidad ideal para moler y triturar

Los molinos para plástico funcionan a velocidades altas, que oscilan entre 415 y 1460 RPM, aunque operan con un bajo torque. Por otro lado, las trituradoras funcionan a velocidades más bajas, de 3.6 a 83 RPM, pero generan un alto torque [9].

Selección del material para la elaboración de cuchillas y eje

Para seleccionar un material adecuado para la fabricación y uso del eje y las cuchillas, es importante conocer su dureza y la aplicación en la que se utilizará. Para ello, se tomaron los siguientes datos.

Tabla 2.3 Propiedades de los aceros [Ingeniería de materiales Daison Rodríguez].

1	2	3	Su	Sy	6	7	8
UNS núm.	SAE y/o AISI núm.	Proce- samiento	Resistencia a la tensión, MPa (kpsi)	Resistencia a la fluencia, MPa (kpsi)	Elongación en 2 pulg. %	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

Donde se tomó el material AISI 1018 para el eje hexagonal y el AISI 1045 para la cuchilla.

Evaluar tamaño del eje

El eje (figura 2.2) se colocarán las cuchillas por lo que se optó por un diseño hexagonal, ya que este tipo de eje proporciona un mejor agarre sin la necesidad de diseñar una forma de fijación entre ambos componentes, además el eje contará con dos partes circulares donde acoplará una chumacera que facilitará su movimiento.

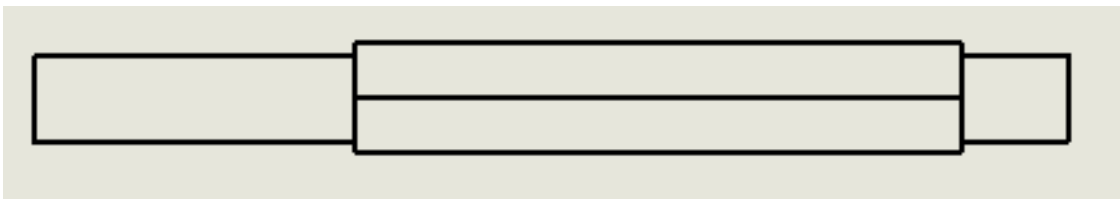


Figura 2.2 Eje de la tritadora.

Selección de rodamientos

Los rodamientos son capaces de soportar cargas radiales, axiales o combinadas, según su aplicación. Además, hay rodamientos diseñados para resistir cargas más altas y temperaturas superiores a las de otros tipos. En la actualidad, existe una amplia diversidad de rodamientos en el mercado, y su elección dependerá de cómo será utilizado.

Software utilizado para el diseño y simulación

Se usó el software SolidWorks 2020, es un paquete de modelado en 3D que permite crear planos y realizar simulaciones, este programa es recomendado para modelar el diseño de la mini trituradora de botellas PET.

CAPÍTULO 3

METODOLOGÍA Y DESARROLLO

3.1 Diagrama de flujo y descripción de etapas

A continuación, se presenta la metodología para llevar a cabo el proyecto.

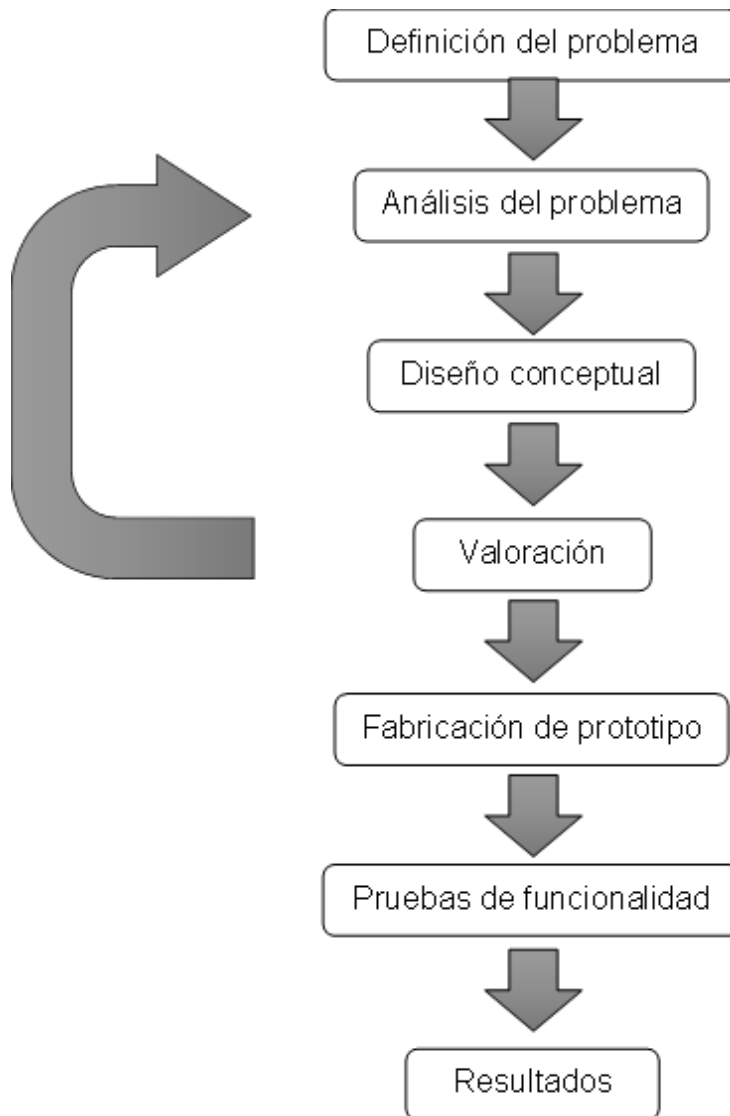


Figura 3.1 Diagrama de flujo de la metodología.

- Definición del problema: en este paso se incluyen todas las especificaciones y requerimientos para el objeto que se diseñara. Además, se deben tener en cuenta las limitaciones y el alcance del diseño.
- Análisis del problema: en este paso se proponen, investigan y cuantifican diferentes escenarios y alternativas.
- Diseño conceptual: se revisan, mejoran o descartan las alternativas y se selecciona la que tiene mayor potencial.
- Valoración: en este paso se evalúa si el diseño realmente satisface la necesidad planteada.
- Fabricación del prototipo: se inicia la fabricación del prototipo.
- Pruebas de funcionalidad: se realizan pruebas para verificar que se cumple con todos los requerimientos establecidos anteriormente.
- Resultados: se muestran los resultados obtenidos a lo largo del proyecto.

Fases de la trituradora

La mini trituradora debe seguir la siguiente secuencia;



Figura 3.2 Proceso de la mini trituradora.

La mini trituradora propuesta es alimentada por un operador por medio de una tolva, después tritura el material y salen las escamas por la parte de abajo y posteriormente son almacenadas.

3.2 Requerimientos y especificaciones

Para cumplir con los requisitos establecidos, se busca desarrollar un prototipo de mini trituradora de botellas PET que tenga las siguientes especificaciones:

- **Peso:** El prototipo debe tener un peso cercano a los 20 kg, lo que garantizará su portabilidad y facilidad de manejo.
- **Capacidad de triturado de botellas:** La trituradora debe triturar botellas PET de 3 litros. Esto permitirá el reciclaje efectivo de botellas de diferentes capacidades.
- **Tamaño compacto:** Se requiere que la trituradora sea lo más pequeña posible. Un diseño compacto permitirá su fácil almacenamiento y transporte.
- **Facilidad de uso:** La trituradora debe ser fácil de usar, con controles intuitivos e instrucciones claras. Debe requerir un mínimo de experiencia para operarla.
- **Presupuesto:** El costo total de la trituradora, incluyendo fabricación, materiales y cualquier componente adicional, no debe exceder los \$40,000.
- **Portabilidad:** La trituradora debe ser diseñada pensando en la portabilidad, incluyendo asas o ruedas para facilitar su transporte. Debe ser lo suficientemente compacta para caber en un vehículo de tamaño estándar y permitir su fácil traslado.

Medida de botella PET

Para determinar las medidas del material PET presente en las botellas, se tomó una de una botella de PET para medirla., como se muestra en la Tabla 2 la altura y diámetro de las botellas, también se llevó a cabo la medición del espesor de la botella en tres secciones: en la boca, en la base y en la mitad. En la Figura 3.3 se ve la botella con la que se tomaron las medidas.



Figura 3.3 Botella 3L.

En la figura 3.4 se ve el espesor en la boca dando 3.13 mm.



Figura 3.4 Medida en la boca de la botella.

En la figura 3.5 se ve el espesor de la base, cuya medida fue de 2.3 mm.



Figura 3.5 Medida en la base de la botella.

En la figura 3.6 se ve el espesor de la pared, cuya medida fue de 1.15 mm.



Figura 3.6 Medida en la pared de la botella.

3.3 Análisis de alternativas

Descripción y desarrollo de las alternativas

Análisis de alternativas de transmisión

Alternativa 1: Utilizando un motorreductor.



Figura 3.7 Motorreductor [17].

Tabla 3.1 Pros y contras de la alternativa 1 de transmisión.

Pros	Contras
Eficiencia en la transmisión de potencia	Mayor peso
Instalación más rápida	Monitoreo periódico
Información técnica disponible	Mayor costo

Alternativa 2: Utilizando una banda o correa.



Figura 3.8 Banda [18].

Tabla 3.2 Pros y contras de la alternativa 2 de transmisión.

Pros	Contras
Amortiguación de vibraciones	Deslizamiento
Transmisión suave de potencia	Capacidad limitada de carga
Bajo costo y facilidad de reemplazo	Precisión y sincronización limitadas
	Durabilidad limitada

Alternativa 3: Utilizando una cadena.



Figura 3.9 Cadena [19].

Tabla 3.3 Pros y contras de la alternativa 3 de transmisión.

Pros	Contras
Alta capacidad de carga	Mayor mantenimiento
Precisión en la sincronización	Mayor ruido y vibración
Durabilidad y resistencia	Mayor peso y tamaño
Baja elongación	Requiere alineación precisa

Alternativa 4: Utilizando engranes.



Figura 3.10 Engranes [20].

Tabla 3.4 Pros y contras de la alternativa 4 de transmisión.

Pros	Contras
Alta eficiencia de transmisión	Costo y complejidad
Capacidad de carga	Ruido y vibración
Transmisión de movimiento y torque constante	Requiere lubricación
Durabilidad y larga vida útil	Espacio y diseño

Alternativa 5: Utilizando un motor a pasos.

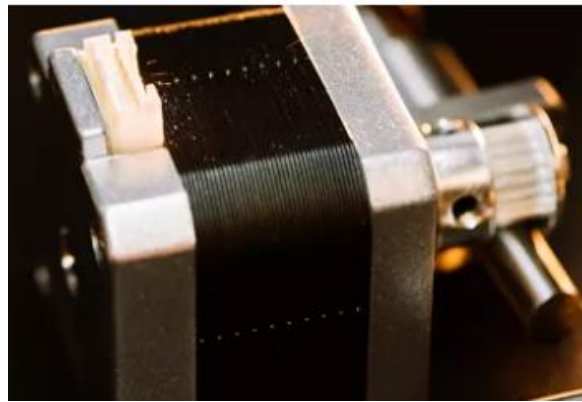


Figura 3.11 Motor paso a paso [21].

Tabla 3.5 Pros y contras de la alternativa 5 de transmisión.

Pros	Contras
Precisión de posicionamiento	Pérdida de pasos bajo carga excesiva
Control de velocidad y torque	Limitaciones de velocidad
Respuesta rápida	Consumo de energía
Operación continua	Requiere controlador

Análisis de alternativas de cuchillas

Alternativa 1: con 2 navajas.

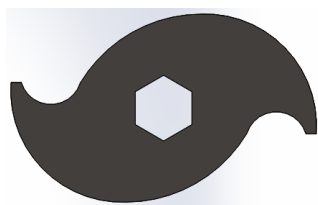


Figura 3.12 Cuchilla con 2 navajas.

Tabla 3.6 Pros y contras de la alternativa 1 de cuchillas.

Pros	Contras
Menos pesada	Un poco más de tiempo en triturar
	Puede botar el material si no se agarra con las cuchillas

Alternativa 2: con 3 o más navajas.



Figura 3.13 Cuchilla con 4 navajas.

Tabla 3.7 Pros y contras de la alternativa 2 de cuchillas.

Pros	Contras
Un poco más pesada	Buen agarre de material
Triturar más rápido	

Análisis de alternativas de eje

Como la trituradora debe de ser lo más pequeño posible se usará un solo eje.

Alternativa 1: circular y se maquinara para sujetar las cuchillas.



Figura 3.14 Eje circular.

Tabla 3.8 Pros y contras de la alternativa 1 de eje.

Pros	Contras
Mas económico	Maquinar para sujetar cuchillas

Alternativa 2: eje cuadrado y las navajas se sujeten por si solas.

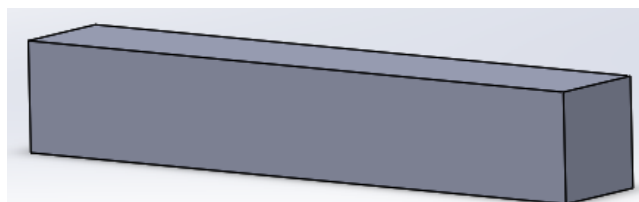


Figura 3.15 Eje cuadrado.

Tabla 3.9 Pros y contras de la alternativa 2 de eje.

Pros	Contras
No necesita maquinar para sujetar las cuchillas	Mas costoso

Alternativa 3: eje hexagonal y las navajas se sujeten por si solas.



Figura 3.16 Eje hexagonal.

Tabla 3.10 Pros y contras de la alternativa 3 de eje.

Pros	Contras
Mejor agarre de cuchillas sin la necesidad de maquinar	

Selección y descripción de alternativa

Para seleccionar la alternativa viable se consideran cinco posibles soluciones para la transmisión, dos para las cuchillas y tres para el eje.

Es por ello, que las posibles soluciones serán evaluadas por criterios técnicos y económicos.

A las alternativas se le dará un Puntaje (p) de 1 a 5 (Escala de valores), 1=No satisface, 2=Deficiente, 3=Suficiente, 4=Bueno y 5=Excelente.

La ponderación se realiza según la relevancia de los criterios a evaluar.

El total de puntos (Tp) es multiplicar el puntaje de cada alternativa por la ponderación.

Selección de Trasmisión

Los criterios a evaluar son los siguientes:

- Costo: Valor monetario no elevado.
- Mantenimiento: Que el mantenimiento sea mínimo.
- Espacio: Que ocupe el menor espacio posible.
- Peso: Que no sea tan pesado el material utilizado.
- Trasmisión de potencia: Que tenga buena transmisión de potencia.
- Fácil instalación: Que no sea complicada y tardado instalarlo.

El valor de la ponderación ira de 1 a 6, siendo 1 el menos importante y 6 indispensable.

Tabla 3.11 Análisis de alternativas para la transmisión.

Criterios	Ponderación	Alternativa 1		Alternativa 2		Alternativa 3		Alternativa 4		Alternativa 5	
		p	Tp	p	Tp	p	Tp	p	Tp	p	Tp
Costo	4	3	12	5	20	5	20	3	12	3	12
Mantenimiento	1	3	3	2	2	1	1	2	2	4	4
Espacio	2	5	10	1	2	1	2	3	6	4	8
Peso	6	2	12	5	30	4	24	3	18	3	18
Trasmisión de potencia	5	5	25	1	5	3	15	5	20	3	15
Fácil instalación	3	5	15	3	9	3	9	2	6	4	12
Total			77		68		71		64		69

La alternativa elegida es la 1, ya que recibió la puntuación más alta del análisis, lo que nos quiere decir que es la que mejor cumple los requerimientos del proyecto.

Selección de Cuchilla

Los criterios a evaluar son los siguientes:

- Fabricación: Que no sea muy complicado hacer.
- Peso: El peso de cada cuchilla.
- Agarre: Agarre del material por las cuchillas.

El valor de la ponderación ira de 1 a 3, siendo 1 el menos importante y 3 indispensable.

Tabla 3.12 Evaluación de alternativas de cuchillas.

Criterios	Ponderación	Alternativa 1		Alternativa 2	
		P	Tp	P	Tp
Fabricación	3	3	9	5	15
Peso	1	5	5	4	4
Agarre	2	4	8	5	10
Total			22		29

La alternativa elegida es la 2, ya que recibió la puntuación más alta del análisis

Selección de Eje

Los criterios a evaluar son los siguientes:

- Costo: Valor monetario no elevado.
- Maquinado: Que se maquine poco.

El valor de la ponderación ira de 1 a 2, siendo 1 el menos importante y 2 indispensable.

Tabla 3.13 Evaluación de alternativas de eje.

Criterios	Ponderación	Alternativa 1		Alternativa 2		Alternativa 3	
		P	Tp	P	Tp	P	Tp
Costo	1	5	5	2	2	3	3
Maquinado	2	2	4	4	8	5	10
			9		10		13

La alternativa elegida es la 3, ya que recibió la puntuación más alta del análisis

3.4 Cálculos de ingeniería

Para los cálculos, se utilizará un FD de 2 [22]. Por lo tanto, el FS debe ser igual o superior a este.

Cálculo para obtener la fuerza de corte

El cálculo para determinar la resistencia al cizallamiento se realiza utilizando la ecuación 1, donde el valor de la resistencia a la rotura se obtuvo de la tabla 1.

$$\tau_B = 0.8 \cdot \frac{900Kg}{(cm)^2} \cdot \frac{(100cm)^2}{(1m)^2} = 7200000 \frac{Kg}{m^2}$$

A continuación, se calculará el valor de la fuerza de corte, tomando como referencia una longitud mínima de triturado de 8 mm. Para el espesor de la botella, se midió la sección más crítica, que presenta un espesor de 3 mm. La fuerza de cizallamiento del material se calculará utilizando la ecuación 2.

$$F_H = \tau_B L s = 7200000 \frac{Kg}{m^2} \cdot 8 \times 10^{-3} m \cdot 3 \times 10^{-3} m$$

$$F_H = 172.8Kg \cdot 9.8 \frac{m}{s^2} = 1693.44N$$

Cálculo estático del eje

Para encontrar un diámetro adecuado para el eje, el torque de cizalladura que se aplicará al eje se determina mediante la ecuación 3.

$$T_c = F_H r \quad (3)$$

Donde:

T_c = Torque necesario de las cuchillas de cizalladura.

F_H = Fuerza de corte.

r = Radio de la cuchilla de cizalladura.

$$T_c = 1693.44\text{N} \cdot 0.04495\text{m} = 76.1201\text{Nm}$$

Carga que se ejerce sobre el eje

Cuchillas

Se utilizó el material AISI 1045 para obtener la masa de la cuchilla.

La masa se obtuvo mediante el software SolidWorks como se puede ver en la Figura 3.17.



Figura 3.17 Masa de la cuchilla.

Se necesitan un total de 7 cuchillas lo que da una masa de 1836.17 g que es igual a 1.8361Kg.

Espaciador

Para el espaciador también se contempló el acero AISI 1045 para obtener su masa como indica la Figura 3.18.

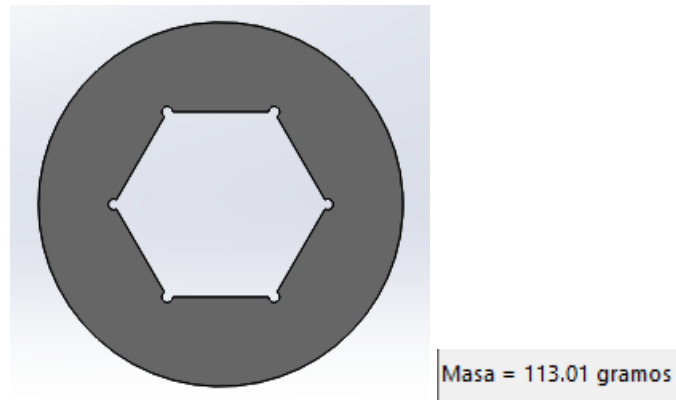


Figura 3.18 Masa del espaciador.

Se necesitan un total de 8 espaciadores lo que da una masa total de 904.08 g que es igual a 0.904Kg.

Eje

El material empleado para el eje es AISI 1018, con una longitud total de 273 mm (0.273 m). La sección donde se instalarán las cuchillas y otros componentes tiene un diámetro propuesto de 25.4 mm en la parte hexagonal, con una longitud de 138 mm. En la sección circular, el diámetro propuesto es de 19.05 mm y la longitud es de 135 mm, como se muestra en la Figura 3.19. dando una masa de 907.32g que es igual a 0.9073Kg.

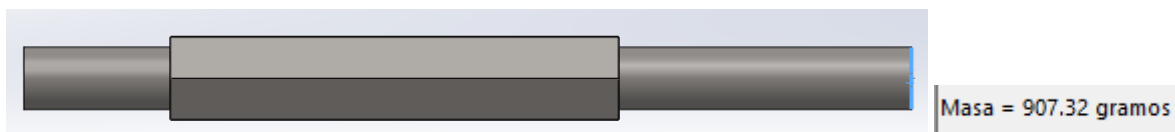


Figura 3.19 Masa del eje.

Masa Total

Para calcular la masa total que actúa sobre el eje se utilizó la ecuación 4.

$$Masa\ total = masa\ T.\ cuchilla + masa\ T.\ espaciador + masa\ eje \quad (4)$$

$$Masa\ total = 1.8361Kg + 0.904Kg + 0.9073Kg = 3.6474Kg$$

El peso es entonces:

$$P_1 = 3.6474Kg \cdot 9.81 \frac{m}{s^2} = 35.7809N$$

Diagrama de cuerpo libre

Para determinar los esfuerzos que actúan sobre el eje debido a los elementos que sostiene, se llevó a cabo un análisis estático utilizando la teoría de vigas [23]. En la Figura 3.20 se muestra el diagrama de cuerpo libre, el cual ilustra las fuerzas que se aplican al eje por cada uno de los elementos que soporta.

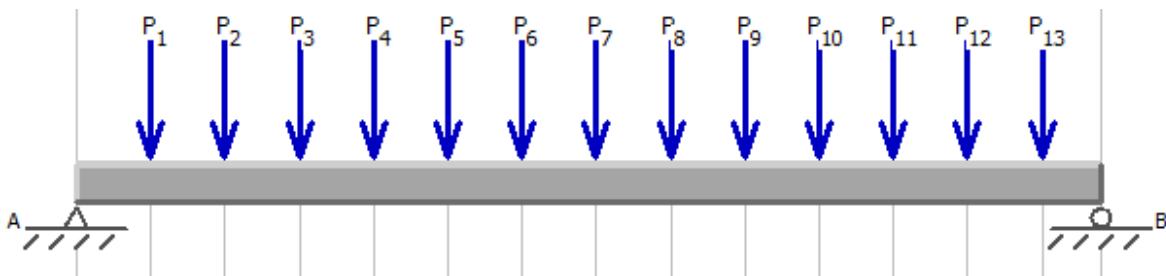


Figura 3.20 Diagrama de cuerpo libre.

Para simplificar, las fuerzas de los elementos individuales se concentran en una fuerza puntual ubicada a la mitad del eje (ver Figura 3.21) para llevar a cabo los cálculos utilizando las ecuaciones de equilibrio.

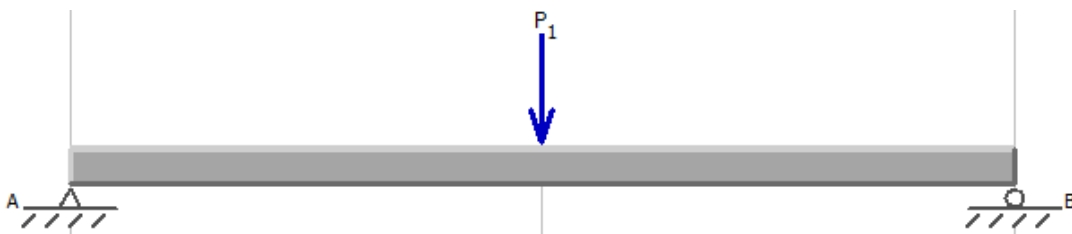


Figura 3.21 Simplificación de diagrama de cuerpo libre.

$$\sum F_y = 0 \quad (5)$$

$$R_a + R_b = 35.7809N$$

$$\sum M_a = 0 \quad (6)$$

$$-35.7809 \cdot 0.069 + R_b \cdot 0.138 = 0$$

$$R_b = R_a = 17.8904N$$

Diagramas

En las figuras 3.22 y 3.23 se muestra el diagrama de corte y diagrama de momento flector, además en la figura 3.24 se muestra el módulo de torsión que se obtuvieron con la ayuda del software MDSolids.

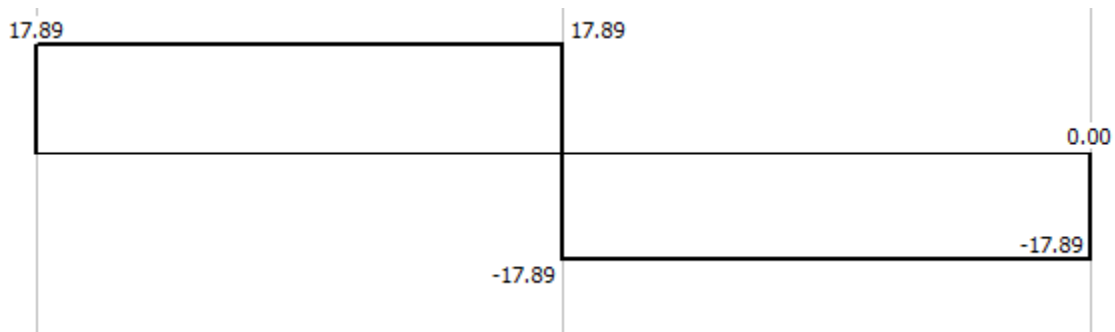


Figura 3.22 Diagrama de corte.

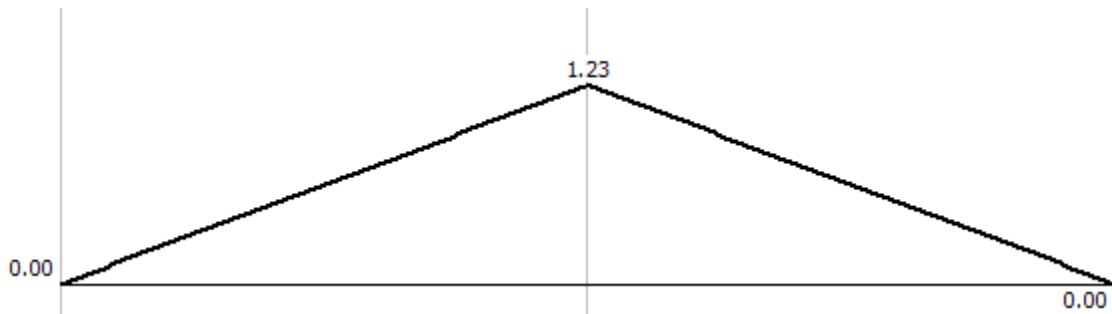


Figura 3.23 Diagrama momento flector.

Torsion Module - Simple Torsion

Compute the shaft torque from the shear stress, the polar moment of inertia, and the shaft radius.

$$\text{Shaft Torque } T = (17.900 \text{ MPa} \times 40,863.42 \text{ mm}^4) \div 12.7 \text{ mm} = 57.595 \text{ N-m}$$

Figura 3.24 Módulo de torsión.

Teniendo estos datos se pudo obtener los siguientes:

$$V_{max} = 17.8904N$$

$$M_{max} = 1.2309Nm$$

$$T_{max} = 57.595Nm$$

Cálculo de esfuerzo

El eje ha sido diseñado para soportar esfuerzos de torsión y flexión, por lo que se realizó un análisis de esfuerzos combinados, aplicando así la teoría de diseño.

Teoría del esfuerzo cortante máximo:

$$\tau_{max} = \frac{1}{2} \sqrt{\sigma_b^2 + 4\tau^2} \quad (7)$$

Donde:

τ = esfuerzo momento torsor.

σ_b = esfuerzo a flexión.

Como se consideró un FD para materiales dúctiles $n=2$ [23], se obtienen las siguientes ecuaciones.

Considerando un esfuerzo permisible del material a corte de la tabla 2.3, $S_y=370Mpa$

$$\tau = \frac{\tau_0}{2} \quad (8)$$

$$\tau = \frac{370Mpa}{2} = 185Mpa$$

Considerando un esfuerzo permisible del material a tracción de la tabla 2.3, $S_{ut}=440$

$$\sigma_b = \frac{\sigma_0}{2} \quad (9)$$

$$\sigma_b = \frac{440Mpa}{2} = 220Mpa$$

Análisis de torsión

El esfuerzo cortante máximo para obtener el diámetro del eje bajo torsión se calculó de la siguiente manera [24].

$$Te = \sqrt{M^2 + T^2} = \frac{\pi}{16} \tau d^3 \quad (10)$$

Donde:

Te = momento torsor equivalente.

τ = esfuerzo momento torsor.

d = diámetro.

$$Te = \sqrt{M^2 + T^2} = \sqrt{(1.2309)^2 (57.595)^2} = 70.8936 \text{ Nm}$$

A partir de la ecuación 10, se determina el diámetro del eje que está sujeto a torsión, el cual se consideró para el diseño.

$$d = \sqrt[3]{\frac{16Te}{\pi\tau}} = \sqrt[3]{\frac{16(70.8936)}{\pi(185)}} = 0.01245 \text{ m} = 12.45 \text{ mm}$$

Análisis de flexión

Para determinar el diámetro, se aplicó la teoría del esfuerzo normal máximo.

$$Me = \frac{1}{2} \left(M + \sqrt{M^2 + T^2} \right) = \frac{\pi}{32} \sigma_b d^3 \quad (11)$$

Donde:

Me = momento flector equivalente.

M = momento máximo de la barra.

T = torsión máxima de la barra.

$$Me = \frac{1}{2} \left(1.2309 + \sqrt{(1.2309)^2 + (57.595)^2} \right) = 29.4195 \text{ Nm}$$

A partir de la ecuación 11, se determina el diámetro del eje que está expuesto a flexión.

$$d = \sqrt[3]{\frac{32Me}{\pi\sigma_b}} = \sqrt[3]{\frac{32(29.4195)}{\pi(220)}} = 0.01108 \text{ m} = 11.08 \text{ mm}$$

Dado que el eje diseñado estará sometido a torsión y flexión, el diámetro a considerar debe ser mayor a 12.45 mm

Factores de corrección

Para el diseño del eje, es necesario considerar los límites de resistencia a la fatiga y tener en cuenta los factores dinámicos que influyen en el dimensionamiento del eje. Esto se calculó utilizando la siguiente expresión [25].

$$S_e = k_a \cdot k_b \cdot k_c \cdot k_d \cdot k_e \cdot k_f \cdot S'_e \quad (12)$$

k_a = factor de ajuste por la condición de la superficie.

$$k_a = aS_{ut}^b \quad (13)$$

Donde:

S_{ut} = resistencia mínima a la tensión.

Tabla 3.14 Parámetros factor de condición de la superficie [25].

Acabado superficial	Factor a		Exponente b
	Sut, kpsi	Sut, MPa	
Esmerilado	1.34	1.58	-0.085
Maquinado o laminado en frio	2.70	4.51	-0.265
Laminado en caliente	14.4	57.7	-0.718
Como sale de la forja	39.9	272	-0.995

$$k_a = 4.51 \cdot (440)^{-0.265} = 0.8987$$

k_b = factor de modificación por el tamaño.

Tabla 3.15 Factor de tamaño [25].

Factores tamaño Kb	
$(d / 0.3)^{-0.107} = 0.879d^{-0.107}$	$0.11 \leq d \leq 2 \text{ pulg}$
$0.91d^{-0.157}$	$2 \angle d \leq 10 \text{ pulg}$
$(d / 7.62)^{-0.107} = 1.24d^{-0.107}$	$2.79 \leq d \leq 51 \text{ mm}$
$1.51d^{-0.157}$	$51 \angle d \leq 254 \text{ mm}$

El diámetro que se tomó en cuenta es de 12.45 mm, se utilizó la siguiente ecuación:

$$k_b = 1.24d^{-0.107} \quad (14)$$

$$k_b = 0.9467$$

k_c = factor de modificación por carga.

$$k_c = 0.59$$

k_d = factor de temperatura.

$$k_d = 1$$

Para $T \leq 450^\circ\text{C}$

k_e = factor de concentradores de esfuerzos.

$$k_e = 0.5$$

k_f = factor de modificación por efectos varios.

$$k_f = 1$$

S'_e = límite a la fatiga

$$S'_e = 0.5 \cdot S_{ut} \quad (15)$$

$$S'_e = 0.5 \cdot 440 = 220 \text{ Mpa}$$

La ecuación 12 se utiliza para calcular la resistencia a la fatiga de la sección más crítica de la máquina bajo condiciones de operación.

$$S_e = 0.8987 \cdot 0.9467 \cdot 0.59 \cdot 1 \cdot 0.5 \cdot 1 \cdot 220$$

$$Se = 52.2168 \text{ Mpa}$$

Al aplicar el criterio elíptico de ASME para ejes de vida finita, se presenta la siguiente ecuación.

$$D = \left(\frac{32n}{\pi} \sqrt{\left(\frac{k_t \cdot M}{Se} \right)^2 + \frac{3}{4} \left(\frac{T}{Sy} \right)^2} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (16)$$

$$D = 14.074 \text{ mm}$$

Cálculo del factor de seguridad (FS)

Se calculó el FS usando el diámetro obtenido anteriormente (14.074 mm) mediante de la ecuación de esfuerzos de flexión y torsión aplicando el análisis sobre los esfuerzos combinados [26].

$$\sigma'_a = \frac{32M}{\pi d^3} = \sqrt{(\sigma_a)^2 + 3(\tau_a)^2} \quad (17)$$

Donde:

σ'_a = esfuerzo alternante.

$$\sigma'_a = \frac{32 \cdot 1.2309}{\pi(0.014074)^3} = 4.497 \text{ Mpa}$$

$$\tau = \frac{16T}{\pi d^3} \quad (18)$$

$$\tau = \frac{16 \cdot 57.595}{\pi(0.014074)^3} = 105.220 \text{ Mpa}$$

$$\sigma'_m = \tau \cdot \sqrt{3} = \sqrt{(\sigma_m)^2 + 3(\tau_m)^2} \quad (19)$$

Donde:

σ'_m = esfuerzo equivalente.

$$\sigma'_m = 105.220 \cdot \sqrt{3} = 182.246 \text{ Mpa}$$

$$Sm = \frac{Se}{\frac{Se}{Sut} + \frac{\sigma'_a}{\sigma'_m}} \quad (20)$$

$$Sm = \frac{52.2168}{\frac{52.2168}{440} + \frac{105.220}{182.246}} = 437.869 \text{ Mpa}$$

$$n = \frac{Sm}{\sigma'_m} \quad (21)$$

$$n = \frac{437.869}{182.246} = 2.4$$

El diámetro obtenido, satisface las restricciones necesarias, dado que el FS es superior a 2, lo que permite concluir que el dimensionamiento propuesto anteriormente es apropiado para el diseño ya que para la sección hexagonal se propuso un diámetro de 25.4 mm que nos dio un factor de seguridad de 4.9 y para la sección circular se propuso un diámetro de 19.05 mm que nos dio un factor de seguridad de 5.8 por lo que se tomarán los diámetros propuestos para el diseño.

Potencia del motor

Para seleccionar el motor, se considerarán los siguientes datos:

n = velocidad de giro (80 rpm velocidad óptima para trituración).

F_H = fuerza de cizallamiento (1693.44 N)

r = radio de la cuchilla (0.04495 mm).

Velocidad angular

$$W = \frac{2\pi n}{60} \quad (22)$$

$$W = \frac{2 \cdot \pi \cdot 80}{60} = 8.377 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

Torque

$$T = F_H \cdot r \quad (23)$$

$$T = 1693.44 \text{ N} \cdot 0.04495 = 76.12 \text{ Nm}$$

Potencia

$$P = T \cdot W \quad (24)$$

$$P = 76.12 \cdot 8.377 = 637.6572 \text{ w}$$

$$P = 0.6376 \text{ Kw} \left(\frac{1.341 \text{ HP}}{1 \text{ Kw}} \right) = 0.855 \text{ Hp}$$

La potencia del motor se encuentra en un rango de 0.75 Hp y 1 Hp, para el prototipo se utilizó el valor de 0.75 Hp (cabe mencionar que por falta de patrocinador esta parte quedara conceptualmente).

3.5 Diseño y fabricación de componentes

A continuación, se mostrarán los diferentes diseños de los componentes de la mini trituradora PET:

Diseño del eje

Para el diseño del eje se tomó el resultado de la tabla 3.13 así como el tamaño más grande de una botella PET, tiene un diámetro de 120 mm como se ve en la Tabla 2.2 por lo que la sección hexagonal debe ser mayor a esta, en la parte circular derecha se tomó en cuenta la distancia que entra el eje al reductor de velocidad, el tamaño de la chumacera y el grosor de la placa 1, ya por último en el lado circular izquierdo se tomó la placa 1 y de la chumacera. El eje diseñado se puede ver en la Figura 3.19.

Diseño cuchillas

Para este diseño se tomó el resultado de la tabla 3.12 dando como resultado la cuchilla con espesor de 7.94 mm y un diámetro de 89.9 mm de punta a punta como se muestra en la Figura 3.17.

Diseño separador de las cuchillas

El separador de cuchillas como se muestra en la figura 3.18 facilita la separación para que, al triturar, no haya colisiones entre ellas y puedan provocar una ruptura, este separador tiene un diámetro externo de 50 mm, el interno tiene la forma hexagonal y un espesor de 12 mm.

Diseño placa 1

La placa 1 permite acoplar el eje móvil, las cuchillas estáticas y las chumaceras, además facilita la incorporación de los otros componentes de la caja trituradora, (ver figura 3.25).

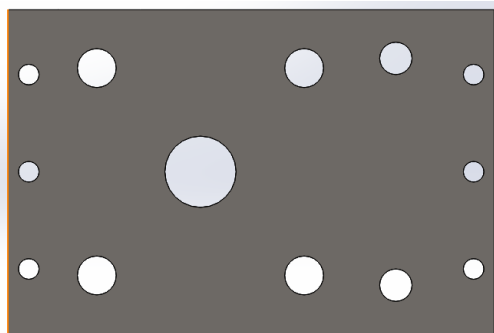


Figura 3.25 Placa 1.

Diseño placa 2

La placa 2 permite ensamblar la caja de trituración con la tolva, la placa 1 y la estructura con sus respectivos tornillos.



Figura 3.26 Placa 2.

Diseño de la base

Es la sección que contribuirá a sostener el peso de la caja trituradora, el motor y la tolva. El material utilizado para su fabricación es un perfil tubular rectangular (PTR) cuadrado de 25.4 mm de lado y un espesor de 2 mm. La figura 3.27 ilustra el diseño.

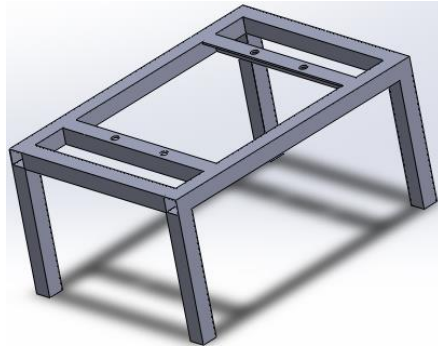


Figura 3.27 Base.

Diseño tolva

Como solo irá entrando una botella a la vez la tolva se diseñó recta en la cual se utilizó ángulo y solera de 25.4 mm de ancho, la figura 3.28 muestra el diseño a construir.

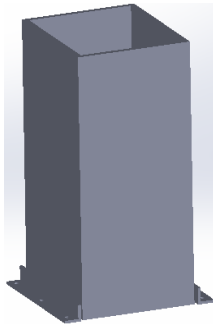


Figura 3.28 Tolva.

Cuchilla estática

Esta cuchilla estática ayuda a la cuchilla que gira a triturar el material.

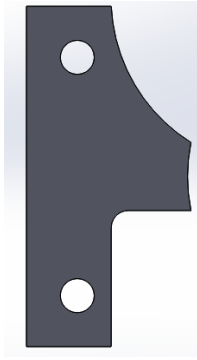


Figura 3.29 Cuchilla estática.

Separador estático

Este separador hace que la cuchilla móvil no pegue con la cuchilla estática y así evitar accidentes en la mini trituradora.



Figura 3.30 Separador estático.

Planos

Los planos detallados para la fabricación están disponibles en el anexo 1.

Fabricación

Para la producción de los diversos componentes de la trituradora, primero se compró el material como se ve en la Figura 3.31, hay una barra hexagonal, ángulo, solera, placas de acero y nylon.



Figura 3.31 Material para la fabricación.

Eje

Para poder maquinar el eje se utilizó un torno para rebajar las dos secciones circulares y solo dejar el centro donde van las cuchillas y separadores en forma hexagonal (ver Figura 3.32).



Figura 3.32 Eje maquinado.

Cuchilla, paca 1, placa 2, Cuchilla estática y separador estático

Estos elementos se mandaron hacer en corte por láser por su rapidez de fabricación (ver figura 3.33)



Figura 3.33 Corte por láser de material.

Espaciador

Para hacer esto se pidió ayuda a un compañero que está haciendo un CNC con un brazo robótico para hacer el hexágono en unas placas de nylon y después en el torno solo redondear el material (ver figura 3.34 y 3.35).



Figura 3.34 Maquinando el hexágono.



Figura 3.35 Redondeando el separador.

Base

Aquí solo se cortó el PTR cuadrado de 25.4 mm y se soldó.



Figura 3.36 Fabricando base.

Tolva

Solo se cortó ángulo y solera de 25.4 mm y se soldó, una vez soldado se le puso malla para que se pueda ver triturar el material desde afuera.



Figura 3.37 Fabricando tolva.

Ensamble de la caja de trituración

Como un material tardo en ser entregado se óxido por lo que se optó en pintar el material antes de ser ensamblado.



Figura 3.38 piezas de la caja de trituración.



Figura 3.39 Caja de trituración ensamblada.

Ensamble de trituradora sin motor

Como no se consiguió presupuesto para comprar el motorreductor, hasta este punto se fabricará la mini trituradora.



Figura 3.40 Mini trituradora sin motor.

3.6 Selección de componentes

Selección del motorreductor

Con los datos anteriores formando la tabla 3.16 se seleccionó el motor y reductor de velocidad.

Tabla 3.16 Valores para seleccionar el motorreductor.

Potencia	0.75 hp (0.559 Kw)
Velocidad de salida	50 rpm
Torque	76.12 Nm

La velocidad de salida de salida se tomó de 50 rpm para estar dentro del rango de trituración optima.

Tabla 3.17 Selección del motor reductor [27].

P ₁ [kW]	n ₂ [min ⁻¹]	M ₂ [Nm]	f _B	i _{ges}	F _R [kN]	F _A [kN]	F _{R VL} [kN]	F _{A VL} [kN]	Type	kg	mm
0,55	51	102	0,9	27,62	2,8	3,9	-	-	SK 172.1 - 80 SH/4	13	B45
	57	92	1,0	24,80	2,8	3,9	-	-			
	63	83	1,1	22,42	2,8	3,9	-	-			
	70	75	1,1	20,37	2,8	3,9	-	-			
	76	69	1,2	18,60	2,8	3,9	-	-			
	90	58	1,5	15,76	2,8	3,9	-	-			
	105	50	1,7	13,54	2,8	3,9	-	-			
	118	45	1,9	12,06	2,8	3,9	-	-			
	125	42	2,0	11,39	2,8	3,9	-	-			
	131	40	2,1	10,83	2,8	3,9	-	-			
	145	36	2,3	9,79	2,8	3,9	-	-			
	163	32	2,7	8,72	2,8	3,9	-	-			
	181	29	2,8	7,83	2,8	3,9	-	-			

Cualquiera de estos dos seleccionados nos sirve para el diseño de la mini trituradora (esto se quedará en diseño conceptual ya que no se cuenta con el presupuesto para comprarla).

Selección de chumacera

Se consideraron como datos las revoluciones del eje, su diámetro y la carga aplicada al eje, la cual se calculó anteriormente.

$$n = 50 \text{ rpm}$$

$$P = 35.78 \text{ N}$$

D = 19.05 mm

El cálculo se tomó de la ecuación encontrada en el catálogo NSK que tiene una confiabilidad del 90% [28].

$$F_S = \frac{C_o}{P_o} \quad (25)$$

Donde

C_o = carga estática.

P_o = carga aplicada.

En la tabla 3.18 se muestran el FS para rodamientos de bola.

Tabla 3.18 Valores de principio mínimos para el coeficiente de seguridad [29].

Valores de principio mínimos para el coeficiente de seguridad	
Condiciones de funcionamiento	Valor mínimo de F_S
Aplicaciones con bajo nivel de ruido	2 a 3
Rodamientos sujetos a vibraciones y cargas de impacto	1.5 a 2
Condición de funcionamiento normales	1 a 1.5

Se tomó el valor de 1.5 ya que nuestro diseño está sometido a carga de impacto (ver la tabla 3.18) y se utilizó la ecuación 25 para calcular la carga estática.

$$C_o = F_S \cdot P_o = 1.5 \cdot 35.78 = 53.67\text{N}$$

Con el nuevo dato obtenido se buscó el rodamiento para lo cual se tomó en cuenta el diámetro del eje, la carga estática y que fuera fácil de conseguir por lo cual se decidió por la chumacera UCF204-12 la cual cumple los requisitos para poder ser usada sin ningún problema en la mini trituradora PET (ver tabla 3.19).

Tabla 3.19 Selección de chumacera [30].

Designación	Dimensiones				Capacidad de carga básica		Velocidad límite	
					dinámica	estática		
	d [mm]	t _d	J [mm]	L [mm]	T [mm]	C [kN]	C ₀ [kN]	[r/min]
FYJ 3/4 TF	19.05		64	86	33.3	12.7	6.55	8 500
FYWK 3/4 YTA	19.05		63.5	86	37.3	12.7	6.55	5 000
FYWK 3/4 YTH	19.05		63.5	86	37.3	10.8	6.55	5 000
UCF 204-12	19.05		64	86	33.3	12.7	6.7	6 500
F4BC 20M-CPSS-DFH	20		63.5	92	35	10.8	6.55	700
F4BC 20M-TPSS	20		63.5	92	34.8	10.8	6.55	5 000
F4BC 20M-TPZM	20		63.5	92	34.8	12.7	6.55	5 000
F4BSS 20M-CPSS-DFH	20		63.5	85.7	33.6	10.8	6.55	700
F4BSS 20M-TPSS	20		63.5	85.7	33.6	10.8	6.55	5 000
FY 20 TF	20		63.5	86	37.3	12.7	6.55	8 500

CAPÍTULO 4

MODELACIÓN, SIMULACIÓN Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

Se realizaron cálculos, simulaciones y la recopilación de información durante la realización de esta mini trituradora, para el diseño y fabricación de una mini trituradora de botellas PET, que cuenta con una potencia de 0.75 HP, 50 rpm y un torque mínimo de 76.12 Nm. El diseño de esta mini trituradora permite lograr un tamaño de escama chica, que en medida está entre 0,5 y 3 cm y el peso de la trituradora es actualmente de 15 Kg sin contar el motor como se ve en la figura 3.44.

4.1 Modelación de componentes

Se realizó el modelo con ayuda de un software que ayuda a verificar si los elementos diseñados pueden soportar la carga y funcionar correctamente. A continuación, se presenta el modelado de la cuchilla y el eje antes de su simulación.

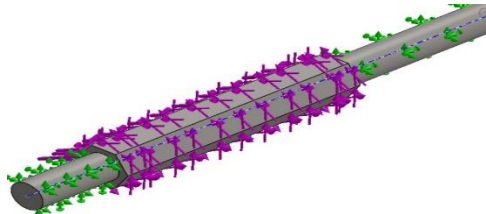


Figura 4.1 Modelado del eje.

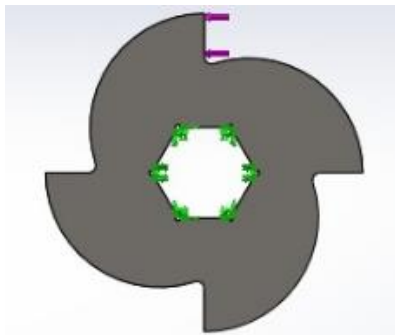


Figura 4.2 Modelado de la cuchilla.

Para reducir las deflexiones, el acero es la opción más adecuada como material para ejes, gracias a su elevado módulo de elasticidad [31].

Se eligió un tamaño de malla de 6 mm tanto para el eje como para la cuchilla.

4.2 Simulación por elemento finito

Simulación eje

En la figura 4.3 se observa el esfuerzo de Von Mises alcanza el valor de 377 MPa, el límite de fluencia del material del eje es un poco superior, lo que significa que el material puede resistir la carga.

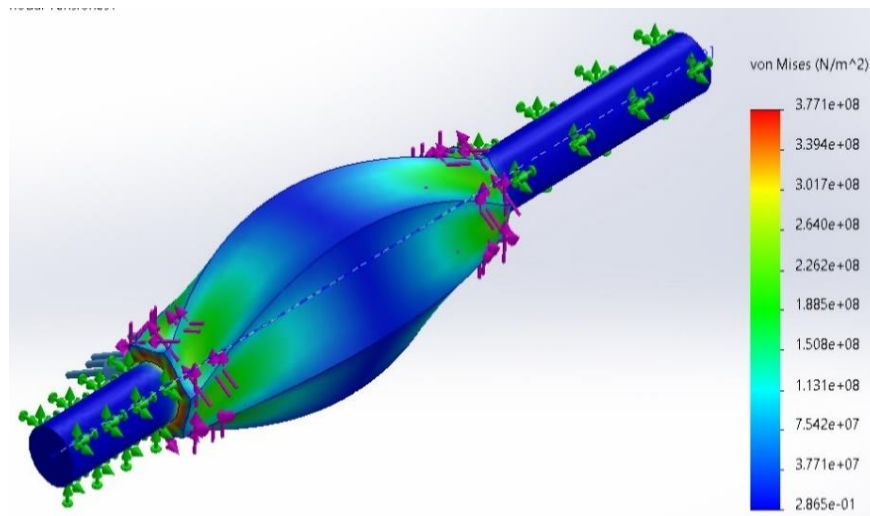


Figura 4.3 Esfuerzo Von Mises del eje.

En la figura 4.4 se observa una deformación máxima de 0.0647 mm en la zona más crítica, es un valor que no es fácilmente perceptible a simple vista, ya que es muy bajo el desplazamiento existente.

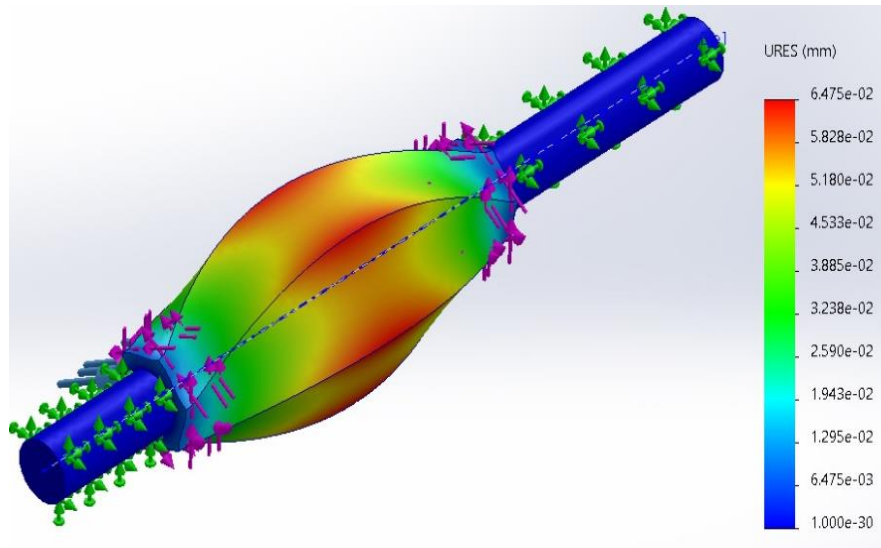


Figura 4.4 Deformación del eje.

En la figura 4.5 se muestra que el FS es de 1.008 lo cual indica que el componente funcionara, pero fallará cuando supere la carga de diseño. Pero esta simulación se realizó pensando en cuanto el eje llegara a trabarse y la fuerza de corte afectara directamente al eje ya que este está girando constantemente y no todas las chucillas entran en contacto con el material al mismo tiempo.

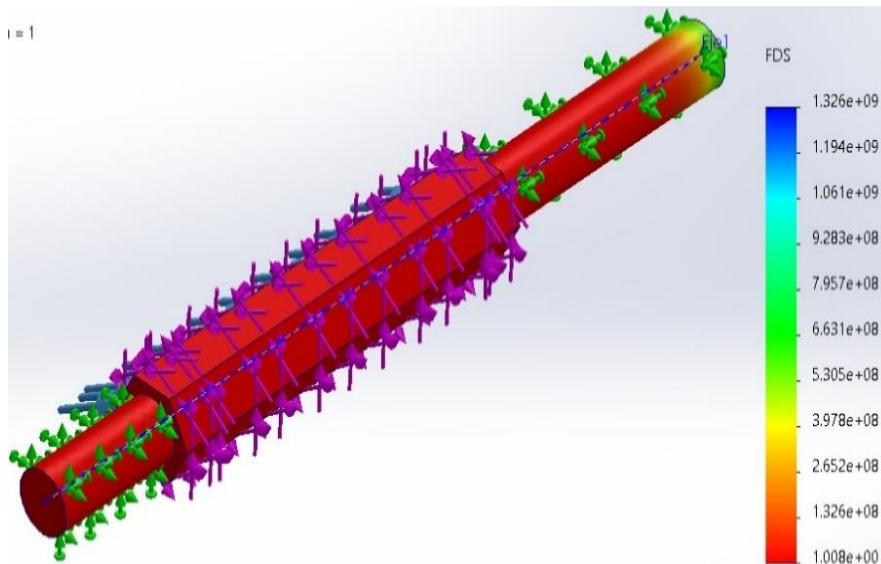


Figura 4.5 Factor de seguridad del eje.

Simulación de las cuchillas

En la figura 4.6 se observa la Tensión de Von Mises alcanza el valor de 76 MPa, el límite de fluencia del material de la cuchilla es superior, lo que significa que el material puede resistir la carga sin riesgo de ruptura.

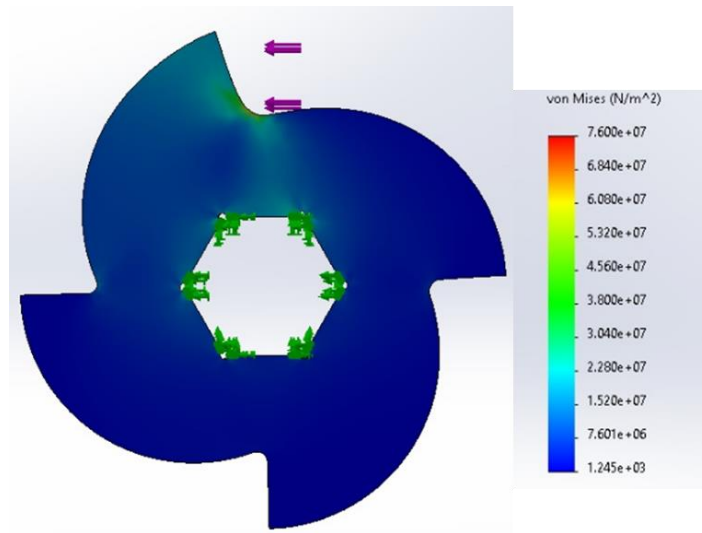


Figura 4.6 Esfuerzo Von Mises de la cuchilla.

En la figura 4.7 se observa una deformación máxima de 0.0071 mm que es un desplazamiento mínimo y no tendrá inconvenientes al momento de triturar.

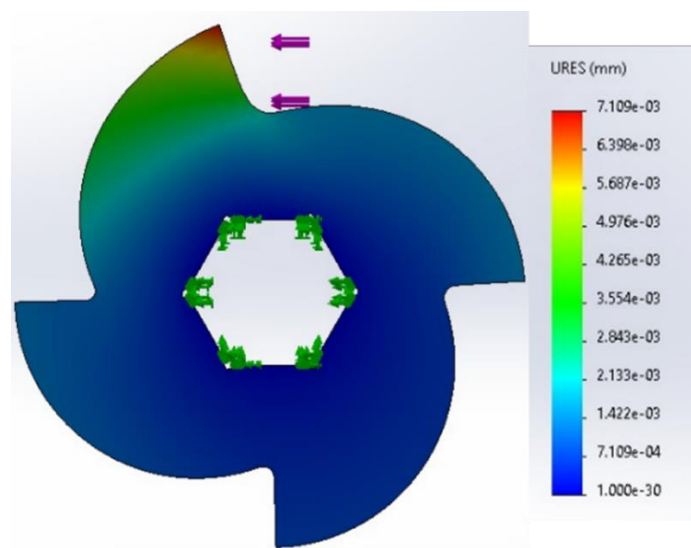


Figura 4.7 Deformación de la cuchilla.

En la figura 4.8 se observa el FS que es de 7, lo cual indica que el componente funcionara, pero ira perdiendo el filo con el uso.

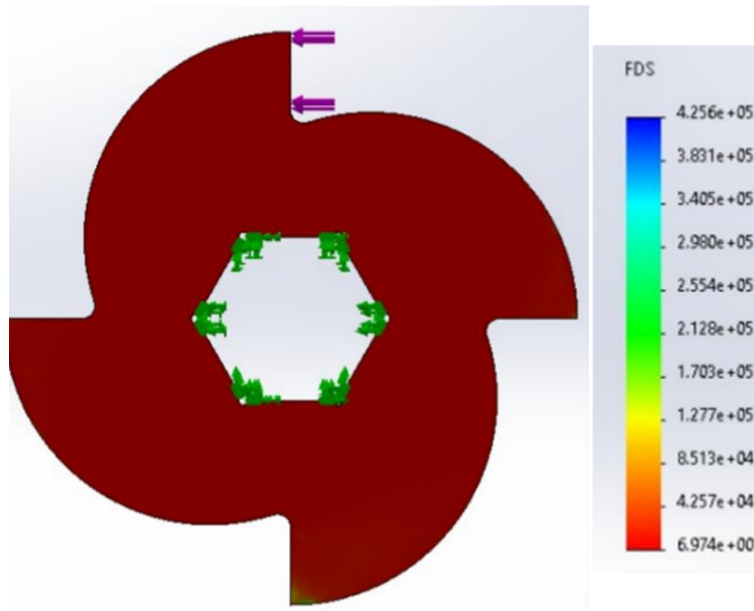


Figura 4.8 Factor de seguridad de la cuchilla.

4.3 Análisis de resultados

Ensamble total de la trituradora

A continuación, se presenta el ensamble total de la trituradora en el software con una pequeña descripción de las partes que la componen.

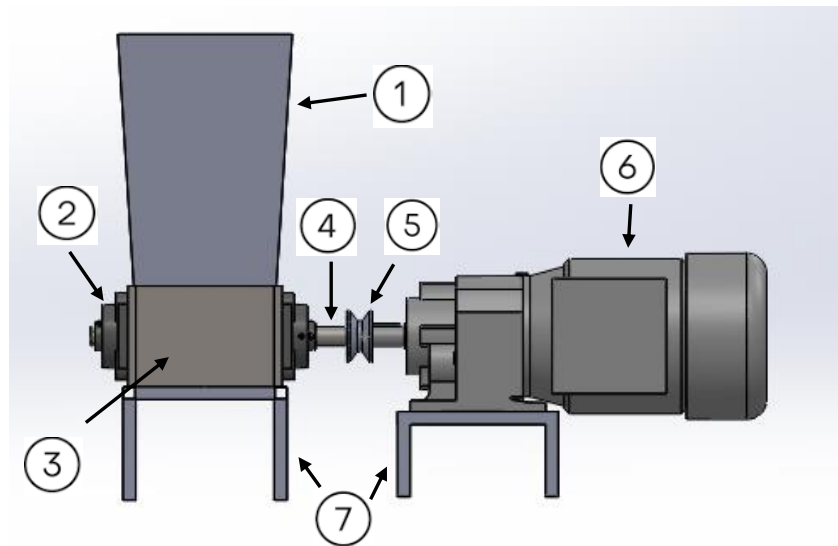


Figura 4.9 Ensamble final de la trituradora.

1. La tolva es donde se ponen las botellas PET antes de ser trituradas.
2. Las chumaceras son las que permiten girar al eje donde están las cuchillas.
3. La caja de trituración donde están las cuchillas y separadores estáticos es la que se encarga de triturar el PET.
4. Es el eje donde van montadas las cuchillas y los separadores.
5. El cople permite unir el motor y el eje de la trituradora.
6. Es el motor que da la potencia para el triturado de nuestra máquina.
7. Es la base donde va montada la trituradora y motor.

Peso

La trituradora que se ha diseñado se ve en la figura. 4.9 (diseño conceptual) contemplando el peso del motor nos da un total de 29 Kg que es un peso mayor al que se quería obtener para la mini trituradora y como es mayor al peso que establece la NOM-036-1-STPS-2018 (manejo manual de cargas), nos dice que una persona sana siendo hombre que este entre las edades 18 a 45 años puede cargar 25 Kg y una mujer en ese mismo intervalo de edades puede cargar 20 Kg sin ningún problema por lo que la trituradora está hecha en dos partes la izquierda donde está

la caja de trituración pesa 15 Kg y el derecho donde está el motor pesa 14 Kg por lo que una persona puede cargarlo sin ningún problema.

Tamaño

La mini trituradora tiene una medida con el motor de largo de 674 mm, de alto 462.7 mm y de ancho tiene 272.65 mm lo cual no la hace una trituradora muy grande y se puede transportar sin mucho esfuerzo, además de que se puede desarmar sin mucha complejidad para transportar más fácil.

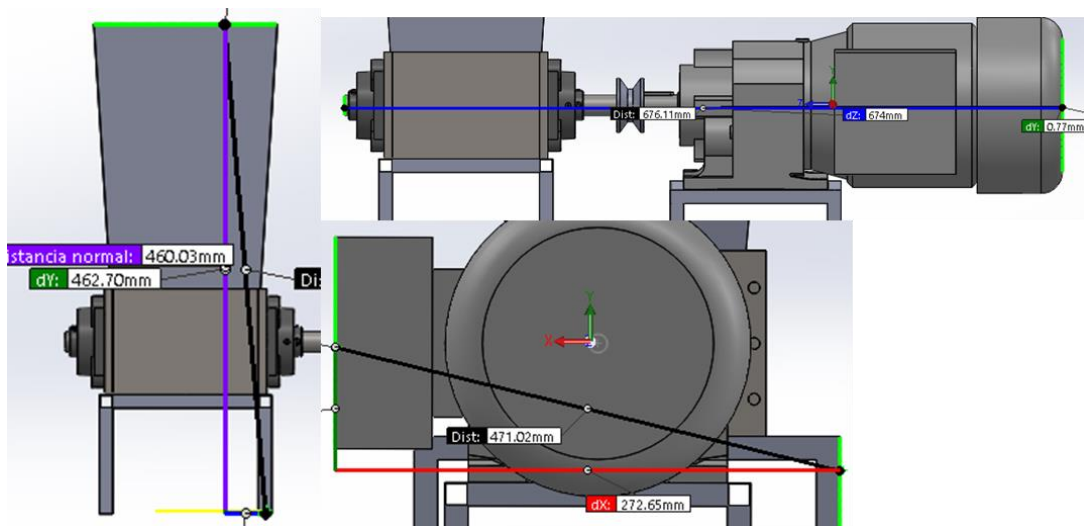


Figura 4.10 Medidas del diseño de trituradora.

Las medidas reales obtenidas son: de largo 290 mm, de alto 500 mm y de ancho 160 mm, cabe mencionar que estas son sin tomar en cuenta el motor ya que no se tubo presupuesto para poder comprarlo, además de que al estar fabricando la tolva se le agregó más altura para que entre la botella de 3L ya que en el diseño solo se había tomado una altura de 300 mm y no de 320 mm que mide la botella PET. Además, de que se le puede quitar la tolva para transportar y guardar más fácilmente ya que no ocupa demasiado espacio.

Triturado

No se obtuvo presupuesto para comprar el motorreductor, por lo que las pruebas se hicieron con un taladro dewalt (Ver figura 4.11) dando como resultado una escama de tamaño 16x28 mm (ver figura 4.12). El tamaño de la escama obtenida cumple con el rango deseado en el proceso de triturado a pesar de que no se usó una criba en la mini trituradora de PET, pero el problema de no usar el motor seleccionado es que se tuvo que pasar varias veces el material y era común que se trabara al triturar ya que el taladro no cuenta con la suficiente fuerza para el triturado del material.



Figura 4.11 Pruebas de trituración con el taladro.



Figura 4.12 Escamas obtenidas de una botella de 1L.

4.4 Análisis de costos

El costo global de la mini trituradora, incluye motor de 0.75 HP con su reductor, caja de trituración, tolva, estructura entre otros suministros como se muestra en las siguientes tablas (Entre paréntesis esta la medida de largo por ancho y si es solo una medida es de longitud).

Tabla 4.1 Costo de elementos Mecánicos.

Elementos Mecánicos			
Cantidad	Elemento	Costo. Unitario	Costo. Total
1	Placa de acero 5/16 in (0.5 x 0.5 m)	\$900.00	\$900.00
1	Placa de acero 1/2 in (0.18 x 0.23 m)	\$200.00	\$200.00
1	Eje hexagonal 1 in (0.35m)	\$120.00	\$120.00
1	Angulo de 1 in (1.2 m)	\$85.00	\$85.00
1	Solera 1 in (1.25 m)	\$70.00	\$70.00
1	Malla (0.65 x 0.35 m)	\$40.00	\$40.00
1	PTR 1 in (1.15 m)	\$85.00	\$85.00
2	Chumacera UCF204-12	\$200.00	\$400.00
16	Tornillo 5/32 in	\$1.50	\$24.00
16	Tuercas	\$1.00	\$8.00
16	Rondanas	\$0.50	\$8.00
18	Tornillo 1/4 in	\$2.50	\$45.00
8	Tornillo 13/32 in	\$7.50	\$60.00
8	Tuercas	\$4.00	\$32.00
40	Rondanas	\$1.50	\$60.00
4	Electrodo	\$4.00	\$16.00
1	Maquinado de las piezas	\$1,500.00	\$1,500.00
1	Corte laser	\$1,000.00	\$850.00
			Total
			\$4,503.00

Tabla 4.2 Gastos Indirectos.

Gastos Indirectos			
Cantidad	Elemento	Costo. Unitario	Costo. Total
20	Impresiones	\$1.00	\$20.00
10	Transporte	\$75.00	\$750.00

Total
\$770.00

Tabla 4.3 Imprevistos.

Imprevisto	
10%	\$527.00

Tabla 4.4 Costo total sin motorreductor.

Presupuesto de la Mini trituradora	
Elementos Mecánicos	\$4,503.00
Gastos Indirectos	\$770.00
Imprevistos	\$527.30
	Total
	\$5,800.30

Considerando que el precio del motorreductor ronda los \$9500 pesos mexicanos sumados a los gastos anteriores el costo total de la mini trituradora con motor sería de \$15300.3 pesos mexicanos.

El costo total de la mini trituradora, incluyendo todos los materiales asciende a \$15,300.3 pesos mexicanos. Este monto incluye el precio del motorreductor seleccionado, que es de \$9,500 pesos mexicanos, este costo es significativamente menor que el presupuesto máximo establecido en las especificaciones que es de \$40,000 pesos mexicanos, lo que demuestra que el proyecto se ha desarrollado de manera eficiente y económica.

Conclusión

La mini trituradora de botellas PET, diseñada y fabricada tras cálculos, análisis de esfuerzos y simulaciones dio los siguientes parámetros: una potencia de 0.75 HP, 50 rpm de velocidad de giro y un torque de 76.12 Nm, la máquina cumple con los requisitos de diseño esperados.

Las simulaciones previas a la fabricación mostraron resultados alentadores, validando los esfuerzos de torsión como de flexión dentro de los límites de resistencia del material.

Aunque no se dispuso de presupuesto para adquirir el motorreductor, se realizaron pruebas utilizando un taladro Dewalt. Estas pruebas indicaron que el tamaño de las escamas obtenidas después del triturado está dentro del rango deseado, (pero se debió pasar varias veces el PET para obtenerlo) y a pesar de no haber usado una criba en la mini trituradora. Por último, no se obtuvo el peso deseado de la mini trituradora por lo que se tuvo que partir en dos el diseño y poder moverlo sin ningún problema.

Los resultados positivos indican que la mini trituradora es una solución viable para reciclar botellas PET, pero abre la posibilidad de futuras mejoras como la adquisición del motorreductor y la incorporación de una criba para optimizar aún más el tamaño de las partículas resultantes, además de aumentar 5 mm el tamaño en cada punta de las cuchillas para una mejor trituración. Esto podría mejorar aún más la eficiencia y la aplicabilidad de la mini trituradora.

Referencias

- [1] Rodríguez Alvarado, B. G., & Córdova Cabada, C. J. (2022). DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE UNA MÁQUINA TRITURADORA DE PLASTICO. Previo a la obtención de título en Ingeniería Industrial, Universidad Politécnica Salesiana. Guayaquil, Ecuador.
- [2] Caviedes Aguirre, J., D., (2020) DISEÑO DE UNA MAQUINA TRITURADORA PARA PLASTICO PET, Tesis para obtención de título en Ingeniería Mecánica, Fundación Universidad de América, Bogotá, Colombia.
- [3] Bonilla Acurio, W. S., & Pilatasig Capilla, I. S. (2018). IMPLEMENTACIÓN DE UNA MÁQUINA TRITURADORA PARA EL RECICLADO DEL MATERIAL DE TEREFTALATO DE POLIETILENO. Proyecto de investigación carrera ingeniería electromecánica, Universidad Técnica de Cotopaxi. Latacunga, Ecuador
- [4] Abu Rahim, N. H., Muhammad Khatib, A. N. H. (2021). DEVELOPMENT OF PET BOTTLE SHREDDER REVERSE VENDING MACHINE, International Journal of Advanced Technology and Engineering Exploration. Vol. 8, pp. 28-33.
- [5] Angaspilco, S., Jauregui, M., Rodríguez, H., Sosa, M., Yopez,, V., & Prado, R. (2018). CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA TRITURADORA DE PLÁSTICO. Tecnología y Desarrollo. Vol. 16. pp. 86-93.
- [6] Cushicondor Quinga, L., A., Monta Guaña, V., S., (2021) DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN PROTOTIPO DE MAQUINA TRITURADORA PARA BOTELLAS PLASTICAS PET RECICLABLES CON CAPACIDAD DE 5KG/H, Tesis para obtención de título en Ingeniería Mecánica, Universidad Politécnica Salesiana, Quito, Ecuador,
- [7] VELA ROJAS, C. C., REY ROMERO, E. J., & JAIMES RADA, A. N. (2018). DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE PROTOTIPO DE TRITURACIÓN PARA

PET. Tesis para obtención de título en Ingeniería Civil, Universidad Cooperativa de Colombia. Villavicencio, Colombia.

- [8] “Que es polietileno-Tereftalato?”, Secretaría del Medio Ambiente, México, 2018 [En línea]. Disponible en: http://sma.edomex.gob.mx/que_es_polietilenotereftalato. [Accedido: 1-abr-2019].
- [9] Luque Mendoza, E., Y., (2019). DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE MAQUINA TRITURADORA DE BOTELLAS PET, Tesis para obtención de título en Ingeniería Mecánica, Universidad Tecnológica de Perú. Lima, Perú.
- [10] L. Freire y C. Gonzales, “Diseño y construcción de un equipo triturador de botellas plásticas tipo PET”, Tesis de grado para la obtención de título de Ingeniero, Escuela Superior Politécnica del Chimborazo, Riobamba, Ecuador, 2013.
- [11] R. L. Mott, Resistencia de Materiales 5ta Edición.
- [12] T. Previo et al., “ENERGÍA Y MECÁNICA,” 2015.
- [13] “Aspectos analíticos y tecnológicos del proceso de punzonado de chapa (1a parte) -.” [Online]. Available: [https://www.interempresas.net/Medicion/Articulos/1825-Aspectos-analiticosy-tecnologicos-del-proceso-de-punzonado-de-chapa-\(1-parte\).html](https://www.interempresas.net/Medicion/Articulos/1825-Aspectos-analiticosy-tecnologicos-del-proceso-de-punzonado-de-chapa-(1-parte).html). [Accessed: 24-Mar-2023]
- [14] Fuerza de corte - Troquel con extractor guía.” [Online]. Available: <https://sites.google.com/site/troquelconextractorguia/fuerza-de-corte>. 94 [Accessed: 06-Apr-2023]
- [15] R. G. Budynas, J. K. Nisbett, (2008). “Diseño en ingeniería mecánica de Shigley”, Capítulos 3 y 9. Octava edición. The McGraw-Hill.
- [16] Macaplast. (2023, 26 julio). Conoce la utilidad de las chumaceras en la industria. *Macaplast*. <https://www.macaplast.com/conoce-la-utilidad-las-chumaceras-la->

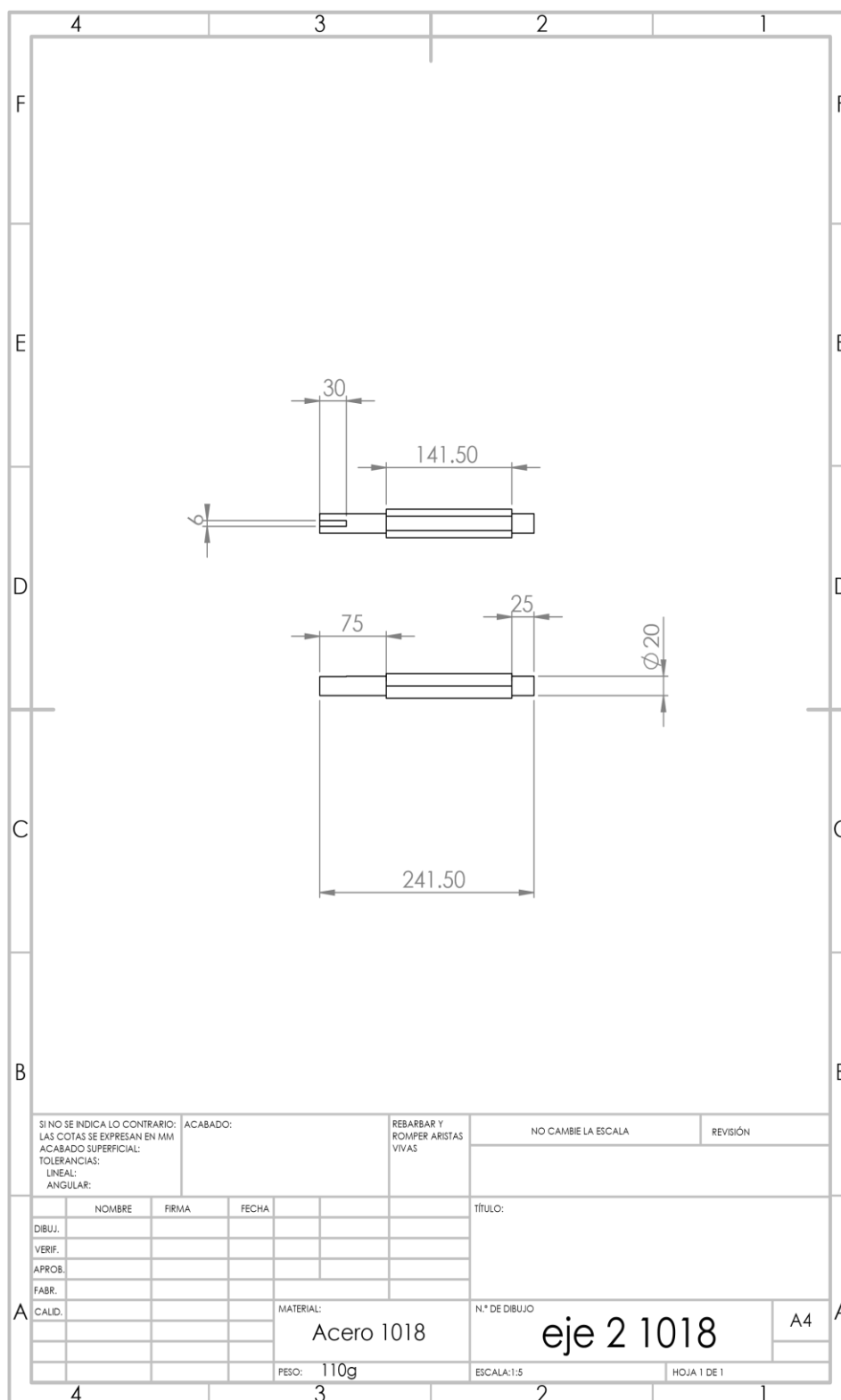
industria/#:~:text=Las%20chumaceras%20son%20unos%20dispositivos,est%C3%A1%20compuesto%20por%20varias%20partes.

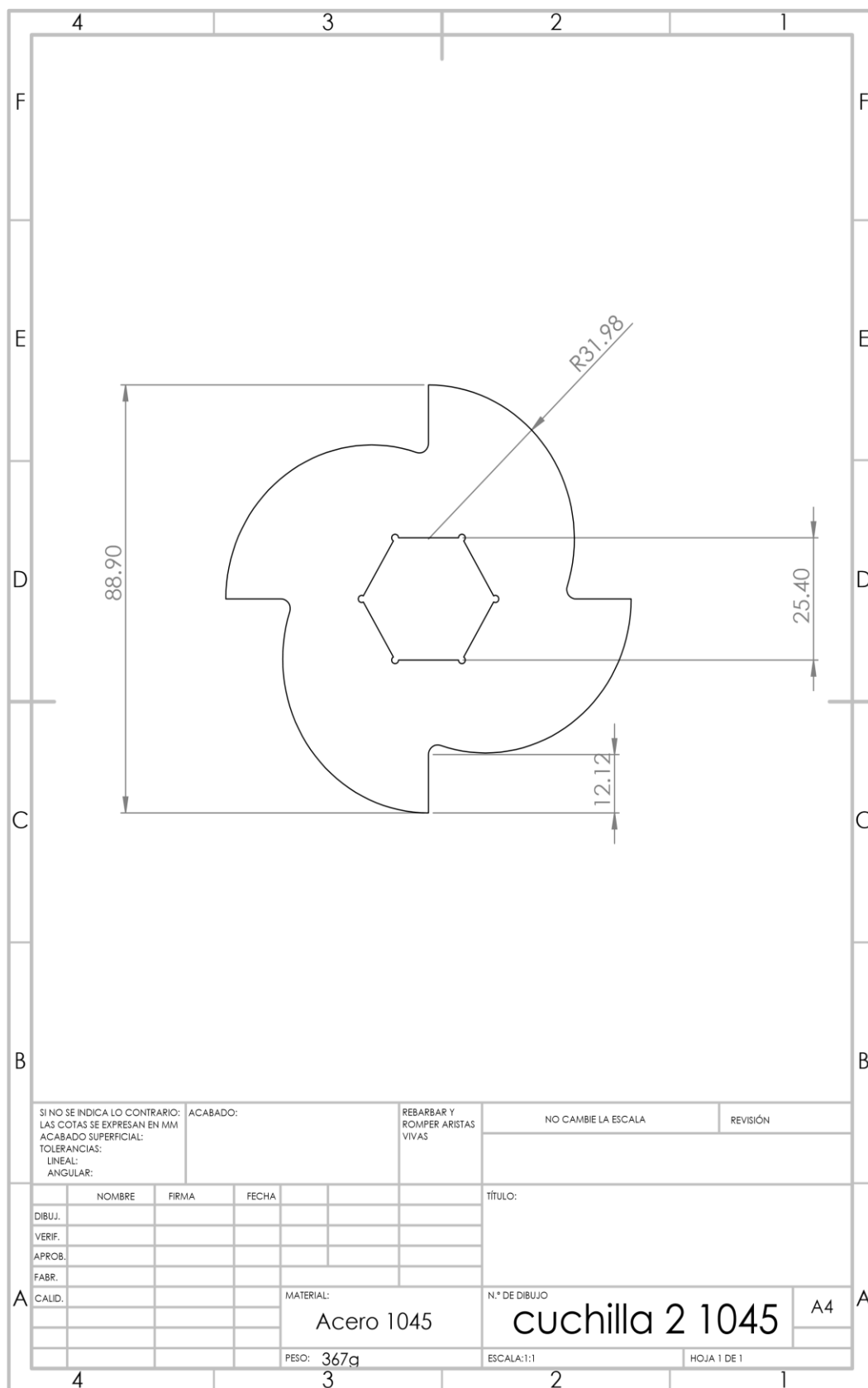
- [17] Roydisa. (2019, 10 abril). *Elementos principales a la hora de elegir Reductores Mecánicos*. Roydisa. <https://www.roydisa.es/archivos/3356>
- [18] *Correas de transmisión de potencia*. (s. f.). <https://www.habasit.com/es-ES/Products/Fabric-Belts/Power-Transmission-Belts>
- [19] *Cadenas de Transmisión: Tipos, Composición y Función de las mismas*. (s. f.). <https://www.industrystore.com.ar/cadenas-de-transmision>
- [20] Alfonso, M. (2020, 4 junio). *Todo lo que hay que saber sobre los engranajes*. Bitfab. <https://bitfab.io/es/blog/engranajes/>
- [21] *Motor paso a paso – tipos y ejemplos del uso de motores paso a paso*. (s. f.). Distribuidor de Componentes Electrónicos. Tienda En Línea: Transfer Multisort Elektronik. <https://www.tme.com/mx/es/news/library-articles/page/41861/Motor-paso-a-paso-tipos-y-ejemplos-del-uso-de-motores-paso-a-paso/>
- [22] R. L. Norton, *Diseño de Elementos de Máquinas*. 2006.
- [23] C. Vázquez Alfonso, E. Navarro Alejandro, G. López Antonio, Variantes de la Aplicación de la Viga Conjugada, en el Cálculo de Momentos de Empotramiento, *Scientia et Technica* Año XVII, No 52, pp. 32-37 2012, ISSN 0122-1701
- [24] W. Espinoza and R. Tatamuès, “DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UNA MÁQUINA TRITURADORA DE LLANTAS, DE UNA TONELADA POR HORA DE CAPACIDAD, PARA LA EMPRESA OPTRA-SEMBRES,” 2016.
- [25] Shingley, “Diseño en ingeniería mecánica 8va edición,” *J. Chem. Inf. Model.*, vol. 01, no. 01, pp. 1689–1699, 2013.
- [26] A. P. Vásconez Ortiz, “Diseño y simulación de una máquina trituradora de plásticos de 15 kg/h para el laboratorio de conformado de la facultad de ingeniería mecánica,” pp. 1–143, 2013

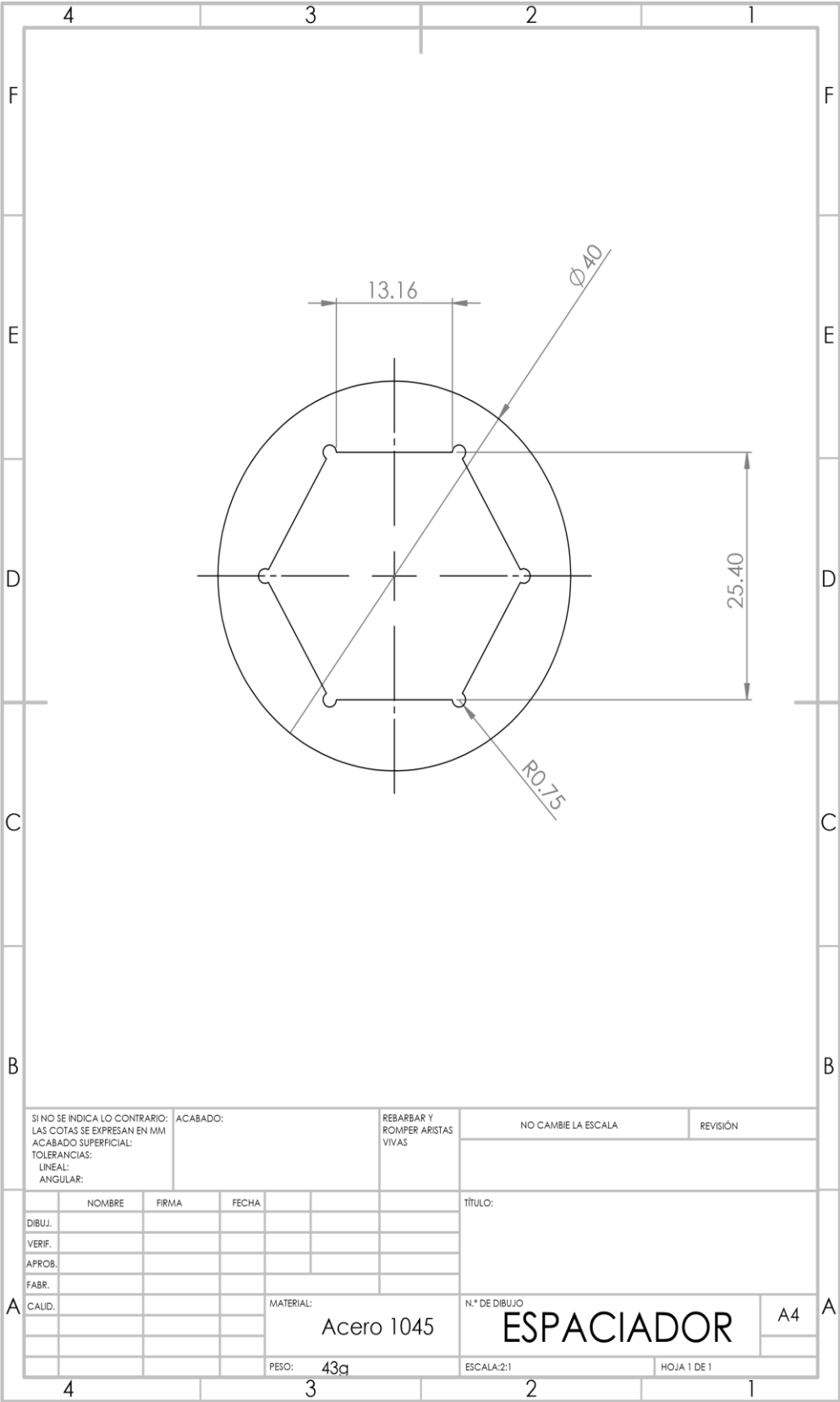
- [27] *Motoreductores de ejes paralelos Nord - Roydisa*. (2023, 19 mayo). Roydisa. <https://www.roydisa.es/archivos/productos/motoreductores-de-ejes-paralelos-nord>
- [28] NSK-CATALOGO RODAMIENTOS Y CHUMACERAS, "CATALOGO NSK y características de los rodamientos 1.1."
- [29] S. Industry, "Catálogo General de Industria SNR," 2016
- [30] SKF. (s. f.). <https://www.skf.com/ar/products/mounted-bearings/ball-bearing-units/flanged-ball-bearing-units#cid-485221>
- [31] R. L. Norton, *Diseño de Máquinas Un enfoque integrado*, Cuarta Edi. México: Pearson Educación de México, S.A. de C.V., 2011

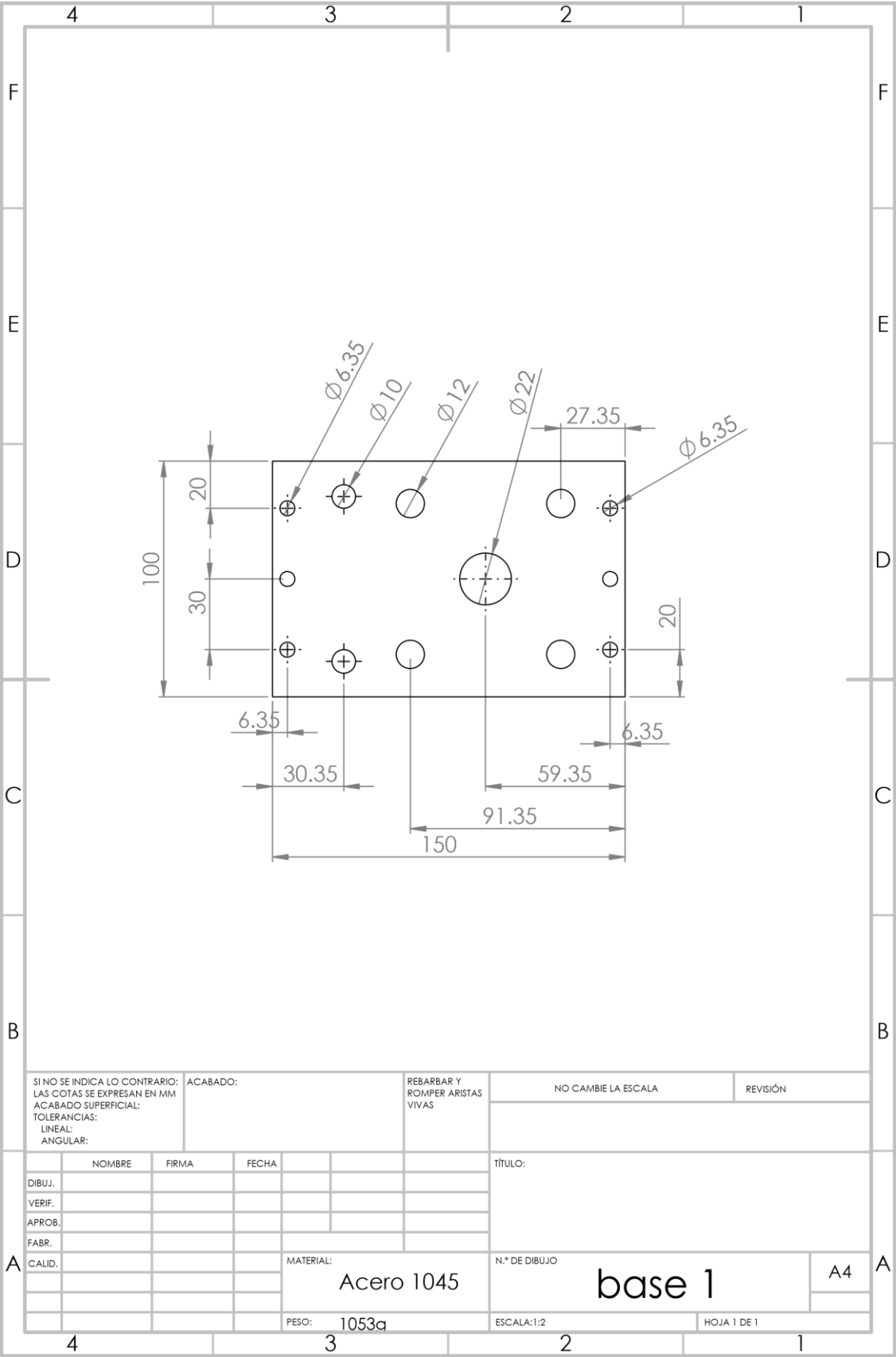
Anexos

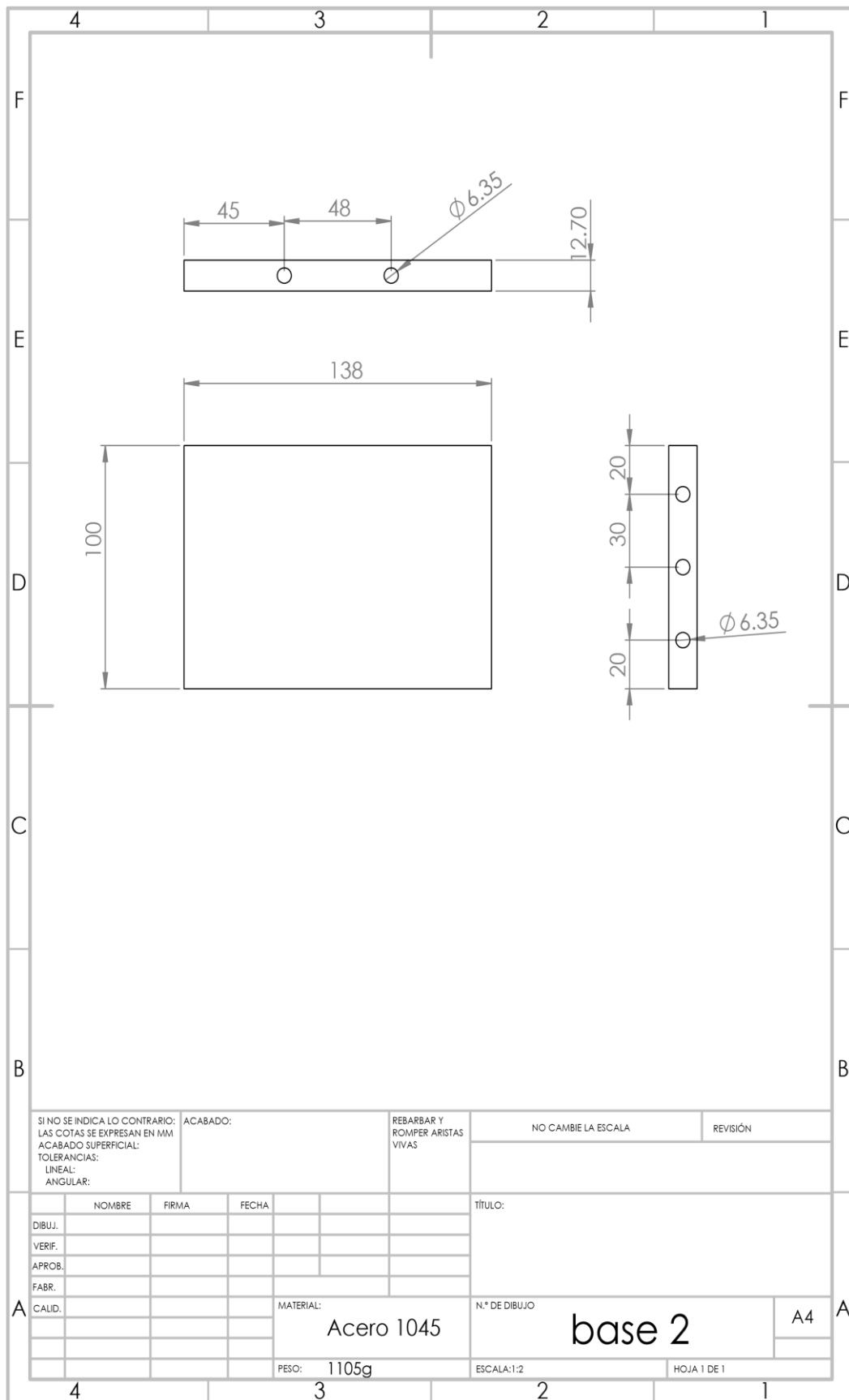
ANEXO 1. Planos

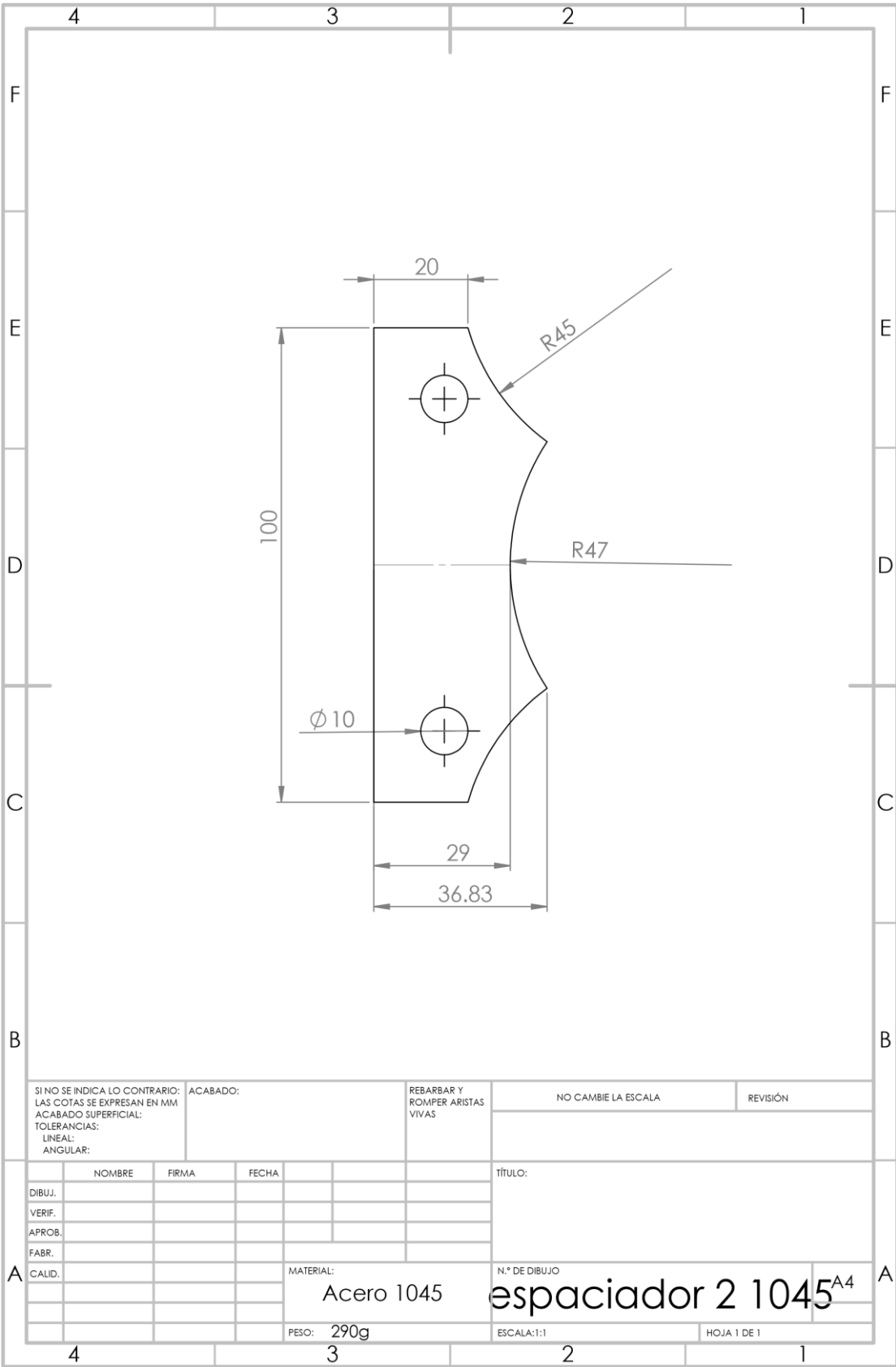


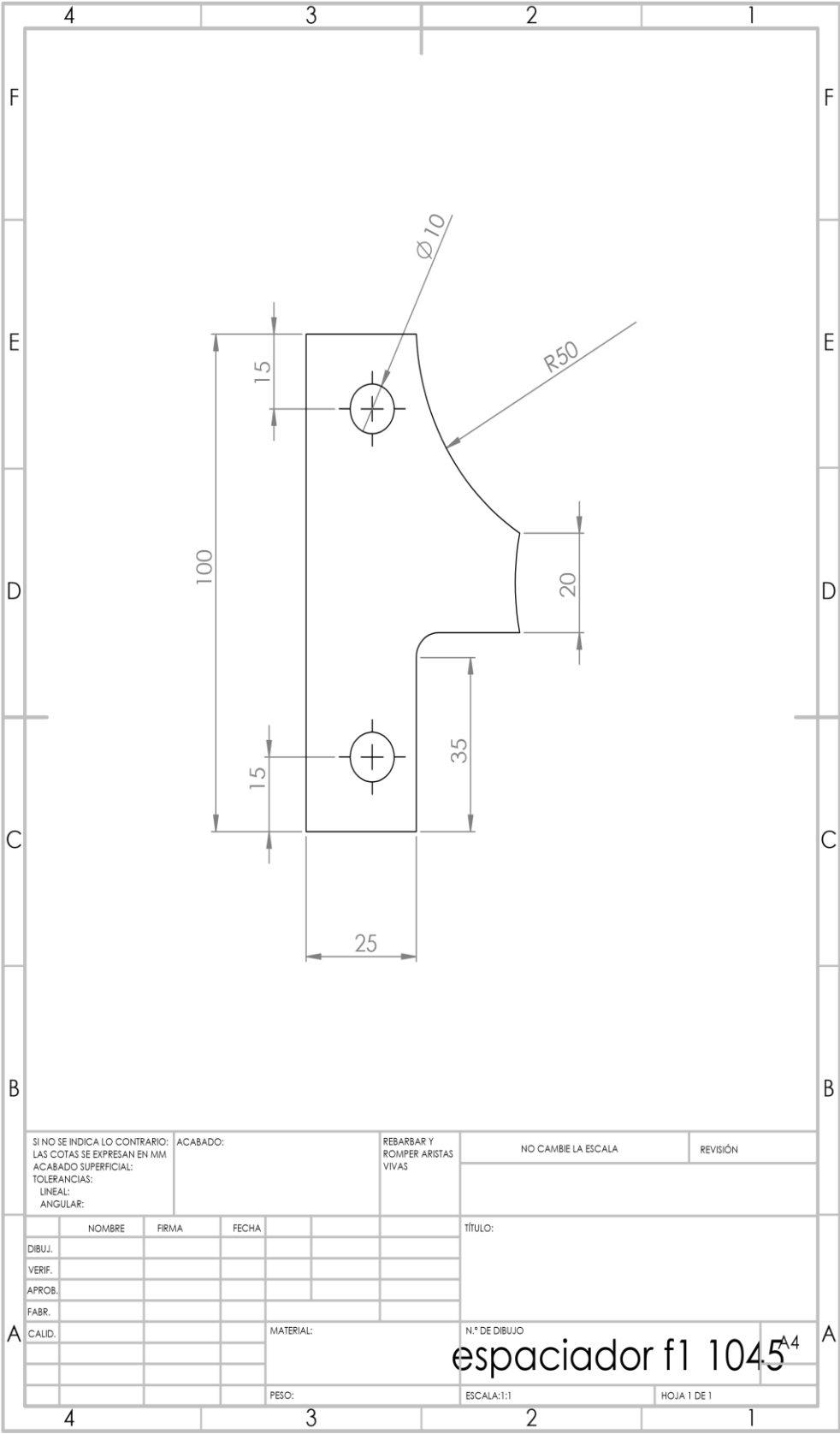












ANEXO 2. Análisis de plagio



Identificación de reporte de similitud: oid:20755:375330871

NOMBRE DEL TRABAJO	AUTOR
Tesis VDPH (anexos) modificada.pdf	V́ctor Daniel Garća Herńndez

RECuento DE PALABRAS	RECuento DE CARACTERES
11049 Words	63169 Characters
RECuento DE PÁGINAS	TAMAÑO DEL ARCHIVO
82 Pages	2.4MB
FECHA DE ENTREGA	FECHA DEL INFORME
Aug 23, 2024 6:45 AM CST	Aug 23, 2024 6:46 AM CST

● 24% de similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de datos.

• 20% Base de datos de Internet

• Base de datos de Crossref

• 15% Base de datos de trabajos entregados

• 3% Base de datos de publicaciones

• Base de datos de contenido publicado de Crossref