

DISEÑO Y FABRICACIÓN DE UNA TRITURADORA DE CUCHILLAS DE
DOBLE EJE

OSCAR LEONARDO ALVAREZ QUINTERO
NESTOR JULIAN RODRIGO SIERRA SANCHEZ

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS SECCIONAL TUNJA DIVISIÓN DE
ARQUITECTURA E INGENIERÍAS

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA

TUNJA

2022

DISEÑO Y FABRICACIÓN DE UNA TRITURADORA DE CUCHILLAS DE
DOBLE EJE

OSCAR LEONARDO ALVAREZ QUINTERO

NESTOR JULIAN RODRIGO SIERRA SANCHEZ

PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO

MAG. JUAN RODRIGO SALAMANCA SARMIENTO

MAG. LUIS FERNANDO ACOSTA JOYA

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS SECCIONAL TUNJA

DIVISIÓN DE ARQUITECTURA E INGENIERÍAS

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA

TUNJA

2022

Nota de aceptación

FIRMA DEL PRESIDENTE DEL JURADO

FIRMA DEL JURADO

FIRMA DEL JURADO

Tunja, 03 de Diciembre del 2022

DEDICATORIA

Dedicamos con todo nuestro sentimiento este documento principalmente a nuestras madres, padres, hermanas y abuelos debido a que gracias al esfuerzo de ellos y de su ejemplo de rectitud, no hubiéramos podido lograr esto, por eso les damos nuestro trabajo en forma de agradecimiento por la paciencia y amor que nos brindaron, los amamos.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos primeramente a Dios por darnos la oportunidad de la vida y permitirnos llegar a esta etapa, a nuestros padres nuevamente por brindarnos el privilegio de estudiar una carrera universitaria, a nuestros compañeros por sus consejos, su amistad, apoyo y entusiasmo para el desarrollo de nuestro trabajo.

También queremos agradecer a los ingenieros Juan Rodrigo Salamanca y Luis Fernando Acosta por ser nuestros tutores principales en el desarrollo de este proyecto para la solución y desarrollo de problemas presentados durante el desenlace de este documento.

Para finalizar agradecemos a la universidad Santo Tomás Seccional Tunja por brindarnos la oportunidad de estudiar y brindarnos docentes y personal capacitado para la adquisición de conocimiento durante el desarrollo estudiantil.

0. CONTENIDO

	Pág
1.PRELIMINAR.....	11
1.1INTRODUCCIÓN.....	11
1.2OBJETIVOS.....	12
1.2.1 Objetivo General.....	12
1.2.2 Objetivos Específicos.....	12
2 MARCO TEÓRICO.....	13
2.1 MARCO CONCEPTUAL.....	13
2.1.1 ¿Qué es una trituradora de plástico?.....	13
2.2 ANTECEDENTES.....	14
3 DESARROLLO DEL PROYECTO.....	16
3.1SELECCIÓN DE MATERIALES MEDIANTE ANTECEDENTES.....	16
3.2METODOLOGÍA.....	17
3.2.1 Proceso de Diseño.....	17
3.2.2 Requerimientos.....	18
3.2.2 Resultados Esperados.....	18
3.3PARÁMETROS DE DISEÑO.....	18
3.4DEFINICIÓN DE DISEÑO.....	18
3.5PROCEDIMIENTO MATEMÁTICO.....	19
3.5.1 Cálculo de Velocidad de Poleas.....	19
3.5.2 Velocidad de Banda.....	21
3.5.3 Longitud de Paso.....	21
3.5.4 Distancia entre Centros.....	21
3.5.5 Ángulos de Contacto.....	22
3.5.6 Longitud de Espacio Libre de la Banda.....	22
3.5.7 Relación de Contacto de los Piñones.....	22
3.5.8 Diagrama De Cuerpo Libre.....	24
3.5.9 Cálculo Momento Torsor.....	27
4 DISEÑO SOFTWARE CAD.....	30
4.1 ENSAMBLE DE LA MÁQUINA.....	32
4.2 ANÁLISIS DE LA CUCHILLA.....	34
4.3 ANÁLISIS DE LA ESTRUCTURA.....	36
5 CONSTRUCCIÓN DE LA TRITURADORA.....	38
5.1 RESULTADO DE LA MÁQUINA	41
6 ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	43
6.1 CONCLUSIONES.....	43
6.2 SUGERENCIAS.....	43
7 INFOGRAFÍA.....	44

8. ANEXOS.....	46
8.1 PLANOS DE LA MÁQUINA.....	46
8.2 MANUAL DEL OPERARIO.....	51
8.3 MANUAL DE MANTENIMIENTO.....	60

LISTA DE FIGURAS

	pág
Figura 1: Desarrollo de la Metodología.....	17
Figura 2: Boceto isométrico de la máquina.....	19
Figura 3: Boceto de despiece.....	19
Figura 4: Tolva de Salida.....	19
Figura 5: Boceto de la Estructura.....	19
Figura 6: Transmisión De Potencia Por Poleas.....	20
Figura 7: Cargas a Través Del Eje.....	24
Figura 8: Carga Puntual En El Eje	25
Figura 9: Carga Puntual A Través Del Eje.....	25
Figura 10: Diagrama Fuerzas Cortante.....	25
Figura 11: Diagrama Momento Flector.....	26
Figura 12: Diagrama Frontal Del Eje.....	26
Figura 13: Fuerza Sobre El Eje En Torsión.....	27
Figura 14: Ángulos De La Estructura.....	30
Figura 15: Estructura.....	30
Figura 16: Tolva.....	30
Figura 17: Caja.....	30
Figura 18: Tolva De Salida.....	30
Figura 19: Eje Conducido.....	31
Figura 20: Eje Conductor.....	31
Figura 21: Cuchilla.....	31
Figura 22: Motor Trifasico.....	31
Figura 23: Chumacera de 19 mm.....	31
Figura 24: Polea de 50 mm.....	32
Figura 25: Polea de 170mm.....	32
Figura 26: Ensamble de cuchillas.....	32
Figura 27: Ensamble de ejes con cuchillas.....	32
Figura 28: Ensamble de cuchillas en la caja.....	33
Figura 29: Caja con cuchillas y piñones.....	33
Figura 30: Posicionamiento de chumaceras en la estructura.....	33
Figura 31: Ensamble de caja con estructura.....	33
Figura 32: Ensamble parcial sin motor ni poleas.....	33
Figura 33: Estructura con tolva de salida.....	33
Figura 34: Estructura con motor trifásico.....	34
Figura 35: Diseño de la máquina finalizada.....	34
Figura 36: Propiedades físicas del acero 4340.....	34
Figura 37: Cuchilla con mallado.....	35
Figura 38: Vista de fuerza.....	35

Figura 39: Restricción fija de la cuchilla.....	36
Figura 40: Fuerzas aplicadas.....	37
Figura 41: Restricción fija de la estructura.....	37
Figura 42: Fabricación de machos.....	38
Figura 43: Resultados de machos.....	38
Figura 44: Moldes de fundición	38
Figura 45: Moldes de fundición con machuelos.....	38
Figura 46: Cuchillas fundidas.....	39
Figura 47: Cuchilla en el proceso de mecanizado.....	39
Figura 48: Mecanizado de cuchillas por la parte del separador.....	39
Figura 49: Mecanizado de ejes.....	39
Figura 50: Ajustes para ranurado de chaveta.....	40
Figura 51: Ranurado de chaveta.....	40
Figura 52: Taladrado de huecos.....	40
Figura 53: Pintado de tolva.....	40
Figura 54: Pintado de caja.....	40
Figura 55: Construcción de la máquina.....	40
Figura 56: Vista posterior de la máquina.....	41
Figura 57: Vista frontal de la máquina.....	41
Figura 58: Material triturado.....	41
Figura 59: Pruebas realizadas.....	42
Figura 60: Giro de motor con la mano.....	42
Figura 61: Impresión 3D.....	42
Figura 62: Material triturado.....	42
Figura 63: Explosionado de la máquina.....	46
Figura 64: Plano vista de la máquina.....	47
Figura 65: Componentes de la máquina.....	48
Figura 66: Partes de la máquina.....	49
Figura 67: Planos de la cuchilla.....	50

LISTA DE TABLAS

	pág
Tabla 1: Materiales a Utilizar.....	17
Tabla 2: Materiales empleados.....	35
Tabla 3: Configuración de malla.....	35
Tabla 4: Fuerza 1.....	35
Tabla 5: Resultados.....	36
Tabla 6: Configuración de malla.....	36
Tabla 7: Configuración de materiales.....	36
Tabla 8: Fuerza 1 estrucutra.....	37
Tabla 9: Fuerza 2 estructura.....	37
Tabla 10: Resultados de la estructura.....	37

1 PRELIMINARES

1.1 INTRODUCCIÓN

Las trituradoras con el pasar de tiempo han ganado importancia en las últimas décadas debido a la gran cantidad de desechos plásticos que se han desarrollado actualmente según cifras del Plan Institucional De Gestión Ambiental, -PIGA- en las instalaciones de la Gobernación de Boyacá se generan aproximadamente 1.140 kg/mes de residuos de los cuales 74,38 kg/mes (7%) es de plásticos.

Actualmente con el fin de dar un segundo uso a los polímeros que terminan su vida útil, se han creado algunas máquinas para la recuperación de estos, como lo son algunos postes para cerca, mesas, rejillas incluso hasta la construcción de viviendas o puentes basados en los desechos que provienen principalmente de botellas, bolsas, canastas plásticas y demás.

En la actualidad se busca mejorar la calidad de plástico para cada una de sus funciones que se encuentran en el mercado, esto hace que se venga clasificando cumpliendo las normativas establecidas, un claro ejemplo es el uso de estos plásticos para; crear juguetes que no sean tóxicos, botellas o envases para productos del sector alimentario.

Por lo tanto, el siguiente documento se realiza para dar a conocer el proceso desarrollado para la creación de una máquina trituradora de plástico, para ayudar a dar un nuevo uso a algunos desechos plásticos que se encuentren en la sede de la Universidad Santo Tomás, buscando la reutilización de estos en el desarrollo de algunos proyectos dentro de la misma sede que se encuentra en Tunja, Boyacá.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo General

Establecer el diseño y la construcción de una trituradora de cuchillas de doble eje para procesamiento de polímeros.

1.2.2 Objetivos específicos

- Determinar los antecedentes y definir las alternativas de los modelos existentes de acuerdo a la necesidad planteada.
- Determinar el Diseño y validar la estructura y cuchilla de 3 garras mediante software CAD respectivamente.
- Gestionar la selección de materiales y establecer la fabricación de la máquina.
- Evaluar el funcionamiento de la máquina y elaborar manual de usuario del equipo.

2. MARCO TEÓRICO

2.1 MARCO CONCEPTUAL

2.1.1 ¿Qué es una trituradora de plástico?

Las máquinas encargadas de procesar materiales PET son las trituradoras. Estas máquinas consisten en un sistema de trabajo el cual tiene la capacidad que con el simple hecho de oprimir un botón tiene la capacidad de encenderse o apagarse este equipo cuenta con un sistema sencillo en cual consiste que mediante un sistema de giro este lleva todo el plástico hacia el centro del mecanismo.

Contar con una trituradora PET aporta grandes beneficios para tu negocio:

1. Procesa plástico de manera relativamente rápida
 2. La cantidad de trituración material PET es grande
 3. minimiza el espacio de almacenamiento
 4. no produce ondas sonoras
 5. El consumo energético de una trituradora de PET es muy bajo.
- (INTERNACO DIVISIÓN MEDIO AMBIENTE)

PET: el pet es un material polimérico plástico el cual es adquirido a través de un proceso de polimerización a través de ácido tereftálico y monoetilenglicol. Este se caracteriza por ser un polímero de tipo lineal y tener un alto grado de cristalinidad y termoplástico en su comportamiento.

Sus características principales son:

Es 100% reciclable

1. Cristalinidad y transparencia, aunque admite cargas de colorantes
2. contiene un buen comportamiento respecto a esfuerzos
3. tienen una gran resistencia al desgaste
4. contiene un bajo coeficiente de deslizamiento
5. buena resistencia química
6. Excelente barrera a CO₂, aceptable barrera a O₂ y humedad. Buena resistencia química
7. Excelente barrera a CO₂, aceptable barrera a O₂ y humedad
8. Compatible con otros materiales barrera que mejoran en su conjunto la calidad de barrera de los envases y por lo tanto permiten su uso en mercados específicos. (ACOPLASTICOS)

Cuchilla: utensilio de acero, que es utilizado en diversas partes para generar cortes. (REAL ACADEMIA ESPAÑOLA)

Eje: barra maciza de acero que atraviesa generalmente un cuerpo rotativo y funciona principalmente para transferir movimiento giratorio. (OXFORD LANGUAGES)

Material: De la naturaleza física de la realidad o relacionado con ella, en contraposición a lo espiritual. (REAL ACADEMIA ESPAÑOLA)

Los recursos no renovables: son reservas naturales que se acabarán en algún momento debido a que esta no contiene la capacidad de auto regenerarse, o regenerar los para suplir una tasa específica de consumo. (OXFORD LANGUAGES)

Máquina: una máquina es un conjunto de mecanismos producidos para aprovechar, regular o dirigir la acción de una fuerza. Estos mecanismos tienen la capacidad de recibir cierta forma de energía para posteriormente transformarla en otra para generar un determinado efecto. (PÉREZ PORTO, Julián y MERINO, María)

Rotación: realizar movimientos rotativos respecto a un eje de referencia específico (PÉREZ PORTO, Julián y MERINO, María)

2.2 ANTECEDENTES

DISEÑO Y ESTUDIO TÉCNICO DE UNA MÁQUINA TRITURADORA PARA EL SECTOR DEL PLÁSTICO, describe el desarrollo de una máquina trituradora para la reutilización de materiales plástico sobrante en los procesos convencionales de inyección y extrusión. En el cual tiene la capacidad de triturar plástico hasta convertirlas casi en partículas para seguidamente ser utilizadas para otros objetos. En este caso este molino se diseña en base de un mal especie de trituradora que se encontraba en el campus de Alcoy de UPV. (SEMPERE PEREZ, Oscar, 2017)

CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA TRITURADORA DE PLÁSTICO, relata el diseño e implementación de un prototipo de máquina trituradora de plástico PET (tereftalato de polietileno), como una alternativa de solución tecnológica al gran problema de la contaminación ambiental debido al exceso de material que tienen una dificultad de biodegradarse, por otro lado los plásticos de tipo PET son fácilmente triturables a dimensiones muy pequeñas para seguidamente ser manipulados para ser útiles al hombre o con menos efectos negativos al medio ambiente. Y en ese, el trabajo presentado aquí desarrolla un prototipo de máquina trituradora cuyas partes y componentes son de fácil sentido de construcción o adquiribles en el entorno local. (PRADO, RICARDO, ET AL, 2019)

DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN MOLINO COMPACTO PARA POLIETILENO TEREFTALATO

El cual habla sobre la creación de un diseño y posterior simulación de un molino compacto para para polietileno tereftalato en el cual habla sobre los diferentes herramientas computacionales que se encuentran actualmente en el mercado pero cabe aclarar que para este caso se decide utilizar la herramienta computacional solidworks debido a que este contiene la capacidad de crear

piezas de manera sencilla y la opción de realizar el proceso de ensamble de una manera relativamente fácil y la realización de cálculos en elementos finitos, operando en este sentido las operaciones de molinos y así posteriormente validando las circunstancias a la cual se encuentra sometido el molino y permitiendo la validación de esta.

Los materiales utilizados en el diseño, son de uso convencional y de fácil adquisición y por su tamaño puede resultar económicamente accesible para su implementación dentro del ITSP o bien en alguna otra institución educativa pública o privada. (CARDIEL, M. Á. M., ET ALT 2022)

DISEÑO DE UNA TRITURADORA DE PET COMO HERRAMIENTA DE APOYO PARA LAS ASIGNATURAS DE INGENIERÍA DE UNICATÓLICA, trata sobre el pet que es uno de los materiales más usados por las personas en sus actividades diarias, para este fin se utilizó el diseño de una máquina que tenga la capacidad de triturar PET, para ser utilizadas en el reusó de material en algunas asignaturas dictadas por la Universidad de área de producción y lograr disminuir el impacto de desechos PET. (CLEVEL ANGULO, Jesús, 2022)

DISEÑO DE UNA MÁQUINA TRITURADORA EXTRUSORA DE BOTELLAS DE PLÁSTICO PARA LA OBTENCIÓN DE FILAMENTO PET A BAJO COSTO, Habla sobre el diseño una máquina trituradora extrusora de botellas de plástico para seguidamente crear filamento a base de este proceso, el cual tenga la capacidad de ser de bajo costo. el estudio en este caso es de enfoque cuantitativo, en el cual tuvo como función el proceso de triturado y extrusión de plástico reciclado para la adquisición de filamento tipo PLA para ser utilizado en impresión 3D, utilizando algunas variables de operación como lo es la capacidad de trituración y extrusión. (Chuquilin Zoto, A,2021)

3 DESARROLLO DEL PROYECTO.

3.1 SELECCIÓN DE MATERIALES MEDIANTE ANTECEDENTES

Para dar cumplimiento a los tiempos y parámetros establecidos, se tiene en cuenta algunos antecedentes desarrollados en documentos anteriores, que mediante diferentes simulaciones se valida el material utilizado y se procede a seleccionar el material de algunos componentes de la trituradora.

“STRESS ANALYSIS OF A SHREDDER BLADE FOR CUTTING WASTE PLASTICS” describe el proceso del diseño y simulación de una cuchilla de tres garras, donde se utilizó una cuchilla de tres garras la cual se procedió a realizarse mediante un análisis por elementos finitos, en la herramienta computacional ANSYS se selecciona un acero AISI L2 con un ángulo de ataque de 56°, que varía de acuerdo a un agujero hexagonal el cual va haciendo variar la posición de las cuchillas alrededor del eje.(NASR, MF Y YEHIA, KA 2019.)

Para corroborar el tipo de material a utilizar se siguió el antecedente descrito en el documento “DESIGN AND CONSTRUCTION OF A LOW COST PLASTIC SHREDDING MACHINE”, habla del que se creó un diseño y construcción de una trituradora de plástico que consiste en una cámara compuesta por un par de cuchillas estáticas, que al girar se unen contra una pared y procede a triturar el material, en la parte inferior está compuesta por una malla que no permite el paso de partículas superiores al mallado de esta donde cabe aclarar que en este caso las cuchillas fueron creadas a partir de un acero AISI 4340.(Ogunedo, BM y Chukwudi, BC, 2020).

Continuando con la investigación para la fabricación de la trituradora, se encontró en el documento “ANÁLISIS MEDIANTE EL MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS DE UN MOLINO DE PALETAS PARA TRITURAR GRANOS”, donde realiza una simulación mediante elementos finitos utilizando la herramienta computacional solidworks en su versión creada en el año 2016, mediante diferentes restricciones de contorno puede crear una simulación que demuestra los puntos más críticos de la trituradora de granos,(Leslie, J. F. M., et al 2020) de acuerdo a los antecedentes encontrados se procede a crear una tabla de materiales, teniendo en cuenta el funcionamiento de la máquina que principalmente es para polímeros que no superan una resistencia a la compresión aproximada de 54 Mpa, se consideró que los materiales tendrán una buena resistencia al propósito principal de funcionamiento, que no excederá los costos de fabricación y tendrá una buena durabilidad de acuerdo a lo establecido, se procede a la selección de los siguientes materiales

ferrosos, donde se tiene en cuenta el funcionamiento de cada uno de estos; los cuales se darán a conocer en la siguiente tabla 1:

Tabla 1: Materiales a Utilizar

N	Descripción	material	limite elastico (MPa)
1	Cuchillas	AISI 4340	470
2	Ejes	AISI 1020	304
3	Caja de cuchillas	A36	250
4	chasis	A36	250
6	poleas	AW-2024	285

Fuente: Los autores

En la tabla se especifica el tipo de material con el que se realiza cada pieza y su límite elástico expresado en MPa.

3.2 METODOLOGÍA

3.2.1 Proceso de Diseño.

En la figura 1 se muestran los pasos que se van a realizar en el desarrollo del proyecto.

Figura 1: Desarrollo de la Metodología.



Fuente: Los autores

3.2.2 Requerimientos.

En el laboratorio de la Universidad Santo Tomás Seccional de Tunja no se observaron molinos de dos husillos, que molían polímeros, que habían cumplido su ciclo de vida. Luego de obtener antecedentes, basados en catálogos comerciales utilizados para la obtención de componentes como rodamientos, correas, poleas, tornillos, tuercas, placas de acero comercial. Teniendo en cuenta los conocimientos adquiridos por los autores a lo largo de su carrera universitaria, se decidió fabricar prototipos de la máquina, y para ello se realizan Diseños en software CAD el cual brinda medidas precisas para cotizar piezas y ajustarse al tiempo y presupuesto establecido.

3.2.3 Resultados Esperados.

Se espera obtener un molino triturador con una capacidad de molienda aproximada de 4 kilos y un solo prototipo de fabricación.

3.3 PARÁMETROS DE DISEÑO

Para la construcción del diseño se definió los alcances y costos de fabricación, los que se tienen en cuenta para la construcción y armado de esta trituradora, así como las condiciones de trabajo a la cual se someterá esta máquina como:

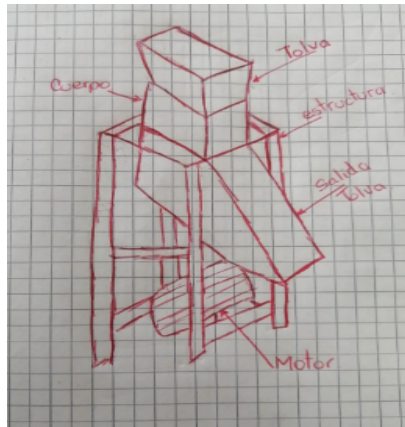
1. Capacidad de la máquina.
2. Materiales.
3. Velocidad de giro de las cuchillas.
4. Presupuesto no mayor a 2 '000.0000.
5. Material de las cuchillas.
6. Materiales del armazón.
7. Tipo de material a triturar.
8. Tamaño de la máquina.
9. Reducción de velocidad de la máquina.
10. Motor.

3.4 DEFINICIÓN DE DISEÑO

Para mantener los tiempos establecidos y construir la máquina en el menor tiempo posible y minimizar costos en el proceso de fabricación, se utiliza una estructura la cual se encuentra dentro de las instalaciones de la universidad Santo Tomás, con este componente se decide crear un boceto a mano alzada de la herramienta trituradora.

Como primer paso se realizó un bosquejo a mano alzada del diseño de la máquina teniendo en cuenta lo establecido anteriormente.

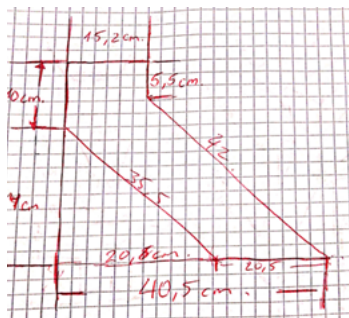
Figura 2: Boceto isométrico de la máquina



Fuente: Los autores

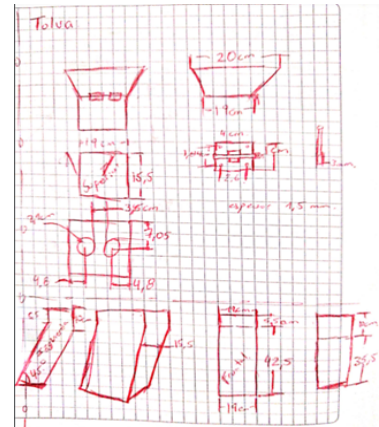
En la figura 2 se encuentra un isométrico de la máquina donde se muestra las partes externas de esta, en la figura 3 se hace un despiece de las tolvas y el alojamiento de las cuchillas.

Figura 4: Tolva de Salida



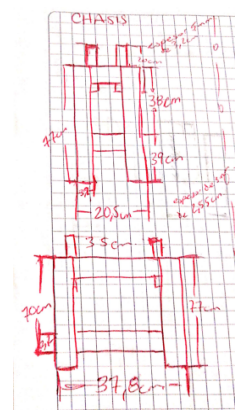
Fuente: Los autores

Figura 3: Boceto de despiece



Fuente: Los autores

Figura 5: Boceto de la Estructura



Fuente: Los autores

En la figura 4 se muestran medidas de la tolva de salida, y en la figura 5 se muestran medidas de la estructura.

3.5 PROCEDIMIENTO MATEMÁTICO

3.5.1 Cálculo de Velocidad de Poleas

Para el proceso de desarrollo de este prototipo se tiene en cuenta algunas consideraciones en el proceso de construcción, para iniciar el proceso de diseño y teniendo en cuenta que en este caso se decide utilizar un motor trifásico de 2 caballos de fuerza con una velocidad de 1730 RPM, que se

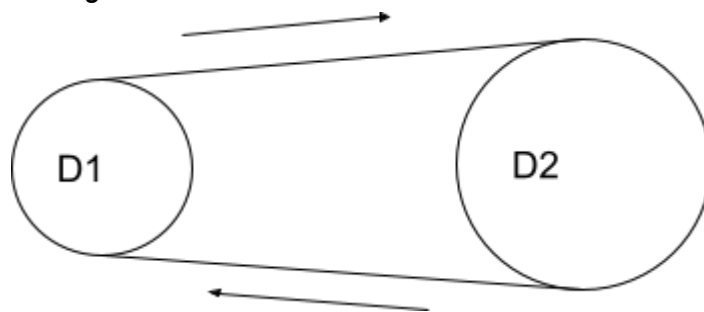
utilizara un método de transmisión de potencia mediante poleas, donde se opta por realizar una variación de poleas, en este caso la relación de poleas que se necesita es una disminución de velocidad y una buena cantidad de torque, se decide posicionar en el motor una polea de menor tamaño respecto a la que estará ubicada en el sistema de triturado, para el eje del motor se coloca una polea de 50 mm de diámetro en el eje del motor y una polea de 170 mm en el eje conductor, teniendo en cuenta que la velocidad que se espera alcanzar sea 500 a 750 RPM este sistema se validará mediante la relación de transmisión de poleas.

$$M1 = 1730 \text{ RPM}$$

$$D1 = 50 \text{ mm}$$

$$D2 = 170 \text{ mm}$$

Figura 6: Transmisión De Potencia Por Poleas



Fuente: Los autores

En la figura 6 se observan los diámetros de poleas y cómo van a girar por medio de una correa.

En este caso se crea un sistema reductor mediante sistemas de relación de transmisión por poleas utilizando la ecuación (1).

$$i = \frac{D2}{D1} \quad (1)$$

$$i = \frac{170\text{mm}}{50\text{mm}} = 3,4$$

Después de hallar la cantidad de vueltas que da la polea D1, se procede a calcular la velocidad de la polea D2 mediante la ecuación (2).

$$i = \frac{m1}{m2} \quad (2)$$

$$3,4 = \frac{1730 \text{ rpm}}{M2}$$

$$m2 = 508,8 \text{ rpm}$$

Como resultado se obtuvo una velocidad de 508,8 RPM en la polea superior, que en este caso la velocidad está establecida en el rango de velocidades recomendada.

Para dar continuidad con el desarrollo de los cálculos matemáticos, se requiere hallar la velocidad de la banda, relación entre longitud de paso y ángulo de contacto, como se puede apreciar en el libro “DISEÑO DE ELEMENTOS DE MÁQUINAS” cuarta edición (Robert L. Mott, P.E 2006).

3.5.2 Velocidad de Banda

Se procede a hallar la velocidad de la banda expresada en la ecuación (3), para este caso se decide utilizar la polea de menor diámetro.

V_b = velocidad de la banda

R_1 = Radio de la polea posicionada en el motor

W_1 = Velocidad angular del motor = 1730 RPM

$$\begin{aligned} V_b &= R_1 * W_1(3) \\ V_b &= 0.0125M * 1730 \text{ RPM} \\ V_b &= 21.625 \text{ RPM} \end{aligned}$$

3.5.3 Longitud de Paso.

A continuación, se calcula la relación entre la longitud de paso como se observa en la ecuación (4).

C = Distancia entre centros = 0.64 m

L = Relación entre la longitud de paso

D_1 = Diámetro de la polea mayor = 0.05 m

D_2 = Diámetro de la polea menor =0.17 m

$$\begin{aligned} L &= 2C + 1.57(D_2 + D_1) + \frac{(D_2 - D_1)^2}{4C} (4) \\ L &= 2(0.64M) + 1.57(0.17m + 0.05m) + \frac{(0.17m - 0.05m)^2}{4 * 0.64m} \\ L &= 1.631m \end{aligned}$$

3.5.4 Distancia entre Centros.

En la ecuación (5) se calcula la constante B para poder hallar la distancia entre centros C.

$$\begin{aligned} B &= 4 * L - 6.28(D_2 + D_1)(5) \\ B &= 4 * 1.63 - 6.28(0.17m + 0.05m) \end{aligned}$$

$$B = 5.142m$$

Teniendo la constante B se reemplaza en la Fórmula (6) para hallar la distancia entre centros.

$$C = \frac{B + \sqrt{B^2 - 32(D2 - D1)^2}}{16} \quad (6)$$

$$C = \frac{5.142m + \sqrt{5.142m^2 - 32(0.17m - 0.05m)^2}}{16}$$

$$C = 0.639m$$

3.5.5 Ángulos de Contacto.

Para el procedimiento matemático de la relación de transmisión por poleas se finaliza mediante el ángulo de contacto como se muestra en la ecuación (7), donde el ángulo debe ser inferior a 180° para evitar desgastes prematuros.
 θ_1 = ángulo de contacto

$$\theta_1 = 180 - 2\sin^{-1}\left(\frac{D2 - D1}{2C}\right) \quad (7)$$

$$\theta_1 = 180 - 2\sin^{-1}\left(\frac{0.17m - 0.05m}{2 * 0.64m}\right)$$

$$\theta_1 = 169.224^\circ$$

Se utiliza la ecuación (8) para calcular el ángulo de contacto donde debe ser mayor a 180° para evitar desgastes prematuros.

$$\theta_2 = 180 + 2\sin^{-1}\left(\frac{D2 - D1}{2C}\right) \quad (8)$$

$$\theta_2 = 180 + 2\sin^{-1}\left(\frac{0.17m - 0.05m}{2 * 0.64m}\right)$$

$$\theta_2 = 190.775^\circ$$

3.5.6 Longitud de Espacio Libre de la Banda.

El espacio de la banda libre es donde la correa no tiene contacto con las poleas, para calcular esto se utiliza la ecuación (9).

$$S = \sqrt{C^2 - \left(\frac{D2 - D1}{2}\right)^2}$$

$$S = \sqrt{0.639^2 - \left(\frac{0.17m - 0.05m}{2}\right)^2}$$

$$S = 1.128m$$

3.5.7 Relación de Contacto de los Piñones

Se halló la relación de contacto entre engranajes para apreciar el comportamiento de estos como se observa en la ecuación 6 de acuerdo con el libro "DISEÑO DE ELEMENTOS DE MÁQUINAS" cuarta edición (Robert L. Mott, P.E 2006).

D_p = Diámetro del piñón en pulgadas = 2.13 in

NP = Dientes de piñón conductor = 31

NG = Dientes de piñón conducido = 31

Pd = Paso diametral = NP/Dp=14.5

Φ = ángulo de presión

Rop= Radio exterior del piñón = (NP+2)/(2Pd) (6)

Rbp= Radio del círculo base para el piñón = (NP+2Pd)cosØ(7)

Rog=Radio exterior del engranaje mayor = (NG+2)/(2Pd) (8)

Rbg= Radio del círculo para el engranaje mayor = (NG/2Pd)cosØ (9)

C = Distancia entre centros = (NP+NG)/(2Pd) (10)

P= paso circular = π /Pd (11)

El ángulo de presión para este caso es de 20 debido a que el piñón es recto.

Φ = 20

Para realizar el cálculo del radio exterior del piñón se utiliza la ecuación 6.

Rop= (31+2)/(2*14)= 1.178

Después de tener este cálculo se procede a calcular el radio del círculo base para el piñón con la ecuación 7.

Rbp= (31/2*14)cos(20)=1.014

El radio exterior del engranaje mayor se calcula con la ecuación 8.

Rog= (31+2)/(2*14)=1.178

Con la ecuación 9 se calcula el radio del círculo para el engranaje mayor.

Rbg= (31/2*14)cos(20)=1.040

Teniendo estos cálculos se procede a hallar la distancia entre centros con la ecuación 10.

C = (31+31)/(2*14) =2.214

Por último se realiza el cálculo del paso circular donde se utiliza la ecuación 11.

P= π /14 =0.224

Los cálculos anteriores se realizan con el fin de poder hallar la relación de contacto que se muestra en la ecuación 12.

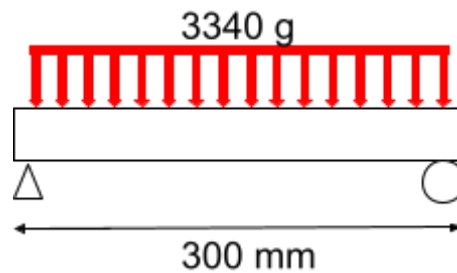
$$mf = \frac{\sqrt{Rop^2 - Rbp^2} + \sqrt{Rog^2 - Rbg^2} - C \sin \theta}{p \cos \theta} \quad (12)$$
$$mf = \frac{\sqrt{1.178in^2 - 1.040in^2} + \sqrt{1.178in^2 - 1.040in^2} - 2.214in \sin(20)}{0.224in \cos 20}$$
$$mf = 1.66$$

3.5.8 Diagrama De Cuerpo Libre

Para la creación de este sistema matemático se procedió a seleccionar uno de los dos ejes que para este caso se escogió el eje conducido, se crea un análisis estático y uno de torsión que se tendrá en cuenta la carga total del eje, con una carga distribuida a través del mismo, se creará una adición de cargas que para este caso consiste sería la suma del peso de las cuchillas, el del eje, la del piñón y un esfuerzo torsión expresado con una distancia de 24 mm, comprobar mediante elementos matemáticos los esfuerzos máximos.

Para este primer paso del procedimiento se pondrá una carga distribuida como se observa en la Figura 7.

Figura 7: Cargas a Través Del Eje.



Fuente: Los autores.

A continuación, se utiliza la lógica y el principio fundamental de Newton, este consiste en convertir la masa que se tiene en el sistema en fuerzas normales, para Este caso se tiene una carga puntual en la mitad del sistema, como se aprecia en la ecuación 13 del libro “MECÁNICA DE MATERIALES” en la ecuación 3 (Beer, F. P. 2010).

$$N = m \cdot g \quad (13)$$

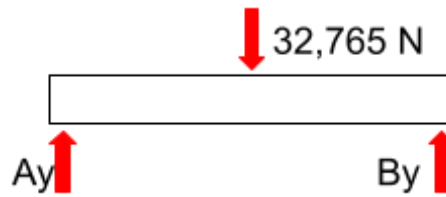
$$m = 3,34 \text{ kg}$$

$$g = 9.81 \text{ m/s}^2$$

$$N = 3,34 \text{ kg} \cdot 9.81 \text{ m/s}^2$$

$$N = 32,765 \text{ N}$$

Figura 8: Carga Puntual En El Eje.



Fuente: Los autores.

En la figura 8 se observa el diagrama de cuerpo libre con una carga puntual en la mitad del eje con sus reacciones.

Se calcula la fuerza distribuida para este caso como se muestra en la ecuación (14):

$$M = N * D \text{ (14)}$$

$$N = 32,765$$

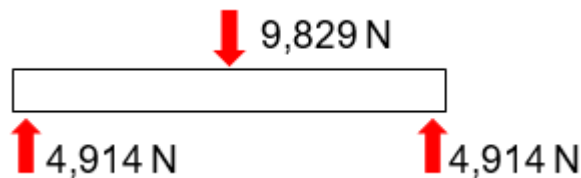
$$D = 0.3 \text{ m}$$

$$M = 32,765 \text{ N} * 0,3 \text{ m}$$

$$M = 9,829$$

Se procede a dividir la fuerza obtenida a la mitad como se observa en la figura 9.

Figura 9: Carga Puntual A Través Del Eje.



Fuente: Los autores.

Se creó un diagrama del eje, en el cual se observó que la fuerza en los apoyos es la misma.

se crean los diagramas de fuerza cortante y momento flector como se muestra en la figura 10.

Figura 10: Diagrama Fuerzas Cortantes.



Fuente: Los autores.

En este caso se observó en la figura 10 que la mayor cantidad de fuerza que recibe esta, se encuentra en los apoyos.

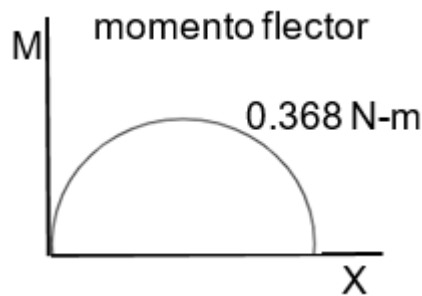
Se crea el diagrama de momento flector como se aprecia en la Figura 11, donde se calcula utilizando la mitad de la longitud del eje, el esfuerzo se toma de la Figura 10: Fuerzas Cortantes como se encuentra en la ecuación (15).

$$M_{flector} = \frac{X \cdot f}{2} \quad (15)$$

$$M_{flector} = \frac{0.15m \cdot 4.91N-m}{2}$$

$$M_{flector} = 0,368$$

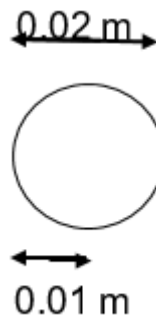
Figura 11: Diagrama Momento Flector.



Fuente: Los autores.

Con la fuerza cortante calculada, se procede a hallar el esfuerzo a tensión y compresión, para este caso el eje tiene un diámetro de 0.020 m.

Figura 12: Diagrama Frontal Del Eje.



Fuente: Los autores.

En la figura 12 se muestran las medidas de diámetro y radio.

Se calculó el momento de inercia, que se rige a través de la siguiente ecuación (16).

$$I_x, I_y = \frac{1}{4} * \pi * r^2 \quad (16)$$

$$I_x, I_y = \frac{1}{4} * \pi * 0,010m$$

$$I_x, I_y = 7,854 m^2$$

Con los valores obtenidos se calcula el esfuerzo normal a flexión donde la tensión y compresión será la misma utilizando la ecuación (17).

$$\sigma T = \frac{M \cdot C}{I} \quad (17)$$

M = Momento flector = 0,368

C = Radio del eje = 0.01

I = Momento de inercia

$$\sigma T = \frac{0.368 \text{ M} - \text{N} \cdot 0,01 \text{ m}}{7,854 \text{ m}^4}$$

$$\sigma T = 0,000468 \text{ N/m}^2$$

$$\sigma T = 0,000468 \text{ P}$$

Para hallar el t_o = esfuerzo admisible, donde se decide optar un factor de seguridad de 2.5 que del material resiste un esfuerzo de corte = 205 Mpa ecuación (18).

$$t = \frac{t_o}{2,5} \quad (18)$$

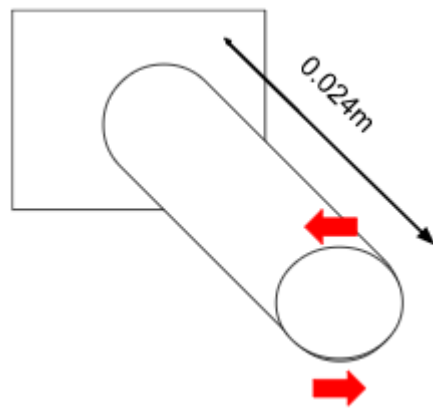
$$t = \frac{205}{2,5}$$

$$t = 82 \text{ Mpa}$$

3.5.9 Cálculo Momento Torsor.

Para finalizar los cálculos matemáticos se toma una sección del eje que es la distancia del piñón a la primera cuchilla y tiene una longitud de 0.024m, que se somete a un momento torsor, esta distancia es la que se encuentra en la trituradora, como se encuentra en el libro “mecánica de materiales” sección 3 de “torsión”.

Figura 13: Fuerza Sobre El Eje En Torsión.



Fuente: Los autores.

Se observa las fuerzas aplicadas en el extremo de la sesión del eje.

Para este caso en la figura 13 se decidió establecer una parte fija y la otra ser sometida a un toque en el cual se tuvieron ciertas consideraciones a lo largo del proceso ecuación (19).

P=Potencia.

T=Torque

W=Velocidad angular.

$$P=T*W \text{ (19)}$$

Se utilizó los datos del fabricante donde se encontró la potencia del motor que es de 2 HP y una velocidad de 1730 rpm.

$$P = 2HP * \frac{745,7 \text{ N-m/s}}{1 HP}$$

$$P = 1491,4 \text{ N} - \text{m/s}$$

Se pasa la potencia de HP a N-m/s.

Para este caso el torques será distribuido en 8 cuchillas a lo largo de un eje, donde el torque mayor se encontrará a una distancia de 0.024 m, el cálculo se realizará para la primera cuchilla y se utilizara la ecuación 20.

$$T = \frac{P}{W} \text{ (20)}$$

$$T = \left(\frac{1491,4 \text{ N-m/s}}{1730 \frac{\text{rev}}{\text{min}} * \frac{2\pi \text{ rad}}{\text{rev}} * \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}}} \right) * \frac{1}{8}$$

$$T = 1,029 \text{ N} - \text{m}$$

Se calculó el torque.

Se procede a hallar el momento polar de inercia, tomando como referencia una geometría circular, utilizando la ecuación 21.

J = el momento polar de inercia.

C = radio de la circunferencia.

$$T = \frac{T*P}{J} \text{ (21)}$$

$$T = \frac{1,029 \text{ N-M} * 0,024 \text{ m}}{1,57 * 10^{-8} \text{ m}^4}$$

$$T = 1,573 \text{ MPa}$$

Se halló el momento polar de inercia.

Siguiente a esto se procede a encontrar la deformación radial, que para el acero 1020 el módulo de rigidez es de 380 MPa, se calcula con la ecuación 22.

Φ = deformación radial.

G = módulo de rigidez.

I = momento polar de inercia.

$$\Phi = \frac{T \cdot L}{G \cdot J} \quad (22)$$

$$\Phi = \frac{1,029 \text{ N-m} \cdot 0,24 \text{ m}}{1,57 \cdot 10^{-8} \cdot 380000000 \text{ p}}$$

$$\Phi = 41,398 \cdot 10^{-3} \text{ rad}$$

Se calculó la deformación radial.

Se procede a hallar la deformación longitudinal con la ecuación 23.

$$r = \frac{c \cdot \Phi}{L} \quad (23)$$

$$r = \frac{0,01 \text{ m} \cdot 41,394 \cdot 10^{-3}}{0,024}$$

$$r = 0,0172 \text{ rad}$$

El análisis matemático se finalizó calculando el esfuerzo admisible para el eje, considerando el factor de seguridad de 2,5 y un esfuerzo máximo admisible del material de 380 MPA, utilizando la ecuación 24.

$$\sigma_o = \frac{\sigma_o}{2,5} \quad (24)$$

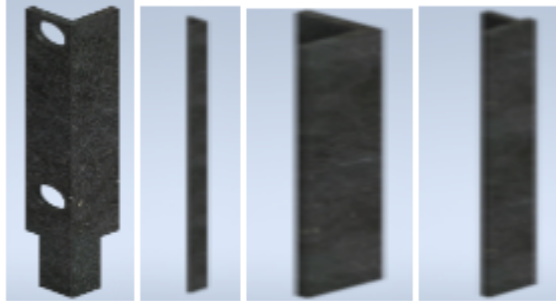
$$\sigma_o = \frac{380}{2,5}$$

4 DISEÑO SOFTWARE CAD

Se procede a realizar el diseño de la máquina en el software inventor, teniendo en cuenta medidas establecidas, se mostrará el diseño realizado.

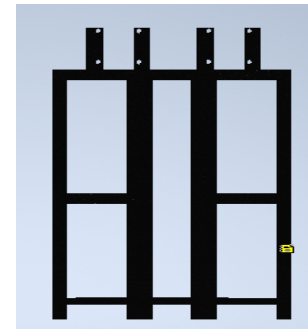
Para realizar la estructura la cual se compone de ángulos de 32 mm, se realiza un ensamble para tener la estructura deseada.

Figura 14: Ángulos De La Estructura



Fuente: Los autores.

Figura 15: Estructura

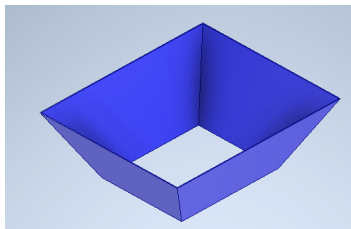


Fuente: Los autores.

En la figura 14 se muestran los diferentes ángulos utilizados para el ensamble de la estructura, en la figura 15 se ve la estructura terminada.

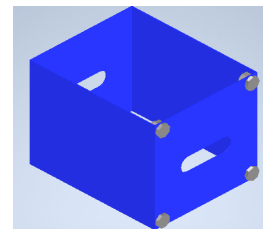
Con la estructura finalizada se procede a realizar el diseño de la tolva figura 16 la cual incluye, la caja figura 17 donde estarán alojadas las cuchillas y eje, la parte por donde saldrá el material triturado figura 18.

Figura 16: Tolva.



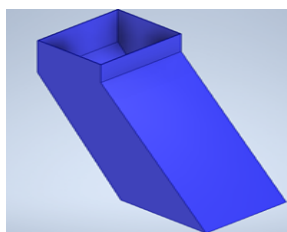
Fuente: Los autores.

Figura 17: Caja.



Fuente: Los autores.

Figura 18: Tolva De Salida

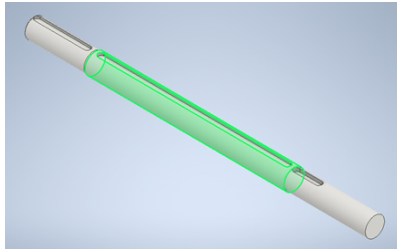


Fuente: Los autores.

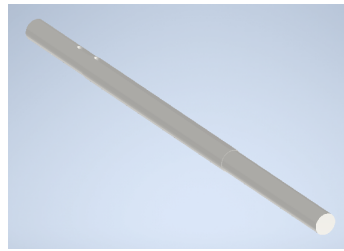
Teniendo la caja se diseñan los ejes y las cuchillas los cuales se alojan en este.

Figura 19: Eje Conducido

Figura 20: Eje Conductor



Fuente: Los autores.

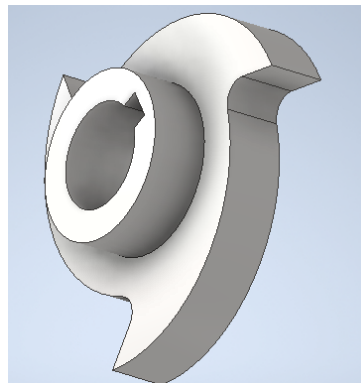


Fuente: Los autores.

El eje conductor es el que recibe la potencia del motor el cual se muestra en la figura 20 y transfiere el movimiento al eje conducido que se muestra en la figura 19.

Se diseñan las cuchillas de 3 garras dándole un ángulo de 30° de corte como se muestra en la Figura 21.

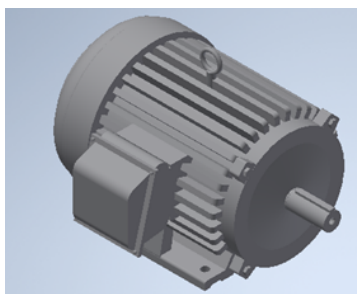
Figura 21: Cuchilla



Fuente: Los autores.

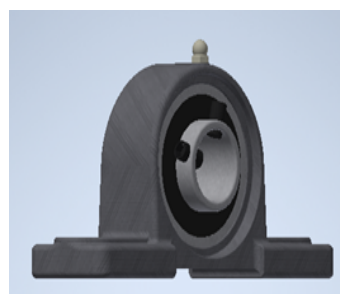
Se descarga el motor, poleas y chumaceras de GRABCAD.

Figura 22: Motor trifásico.



Fuente: Los autores.

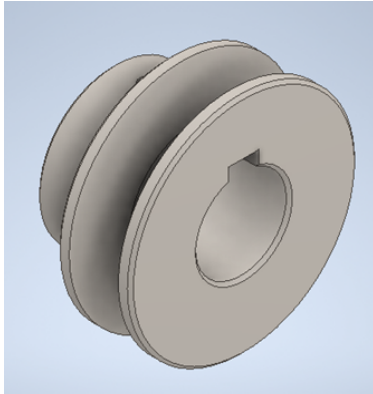
Figura 23: Chumacera de 19 mm.



Fuente: Los autores.

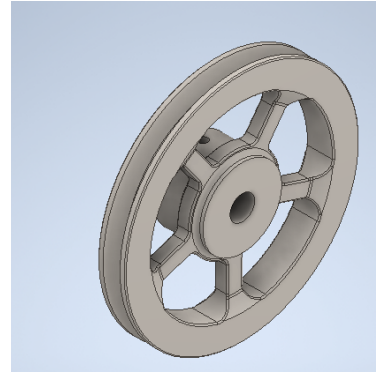
El motor trifásico que se muestra en la figura 22 es el encargado de transmitir el movimiento a la máquina y la chumacera figura 23 es la encargada de soportar los ejes.

Figura 24: Polea de 50 mm.



Fuente: Los autores.

Figura 25: Polea de 170 mm.



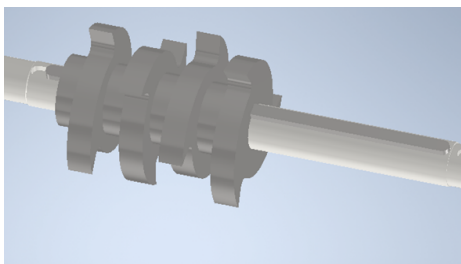
Fuente: Los autores.

La polea de 50 mm la figura 24 es la encargada de transmitir el movimiento a la polea de 170 mm figura 25.

4.1 ENSAMBLE DE LA MÁQUINA

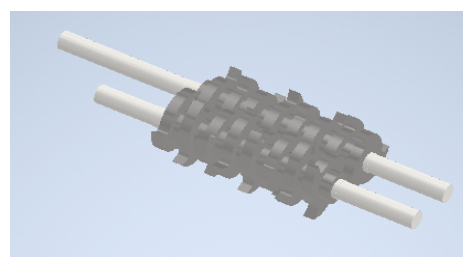
Se realiza el ensamble de las cuchillas con el eje y las chavetas, en la imagen del lado izquierdo se puede observar la cuchilla dentro del eje con su chaveta, en la Figura 26 se ve las cuchillas ensamblas en el eje y en la Figura 27 se encuentran los 2 ejes con todas sus cuchillas.

Figura 26: Ensamble de cuchillas.



Fuente: Los autores.

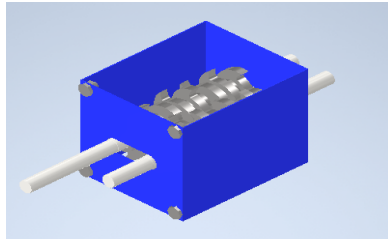
Figura 27: Ensamble de ejes con cuchillas



Fuente: Los autores.

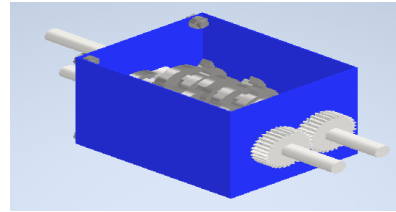
Paso a seguir se presenta las cuchillas y ejes a la caja, en la siguiente imagen se muestra como quedan los ejes con las cuchillas dentro de la caja como se muestra en la Figura 28.

Figura 28: Ensamble de cuchillas en la caja.



Fuente: Los autores.

Figura 29: caja con cuchillas y piñones.

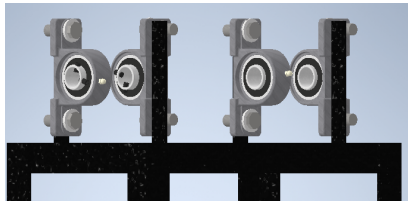


Fuente: Los autores.

Después se acoplan los piñones a los ejes para que ambos tengan rotación, como se muestra en la figura 29.

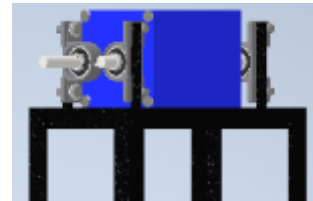
Se colocan las chumaceras en el chasis como se observa en la figura 30, para poder presentar la caja con los ejes. Se coloca la caja encima del chasis para fijar los ejes, como se muestra en la figura 31.

Figura 30: Posicionamiento de chumaceras en la estructura.



Fuente: Los autores.

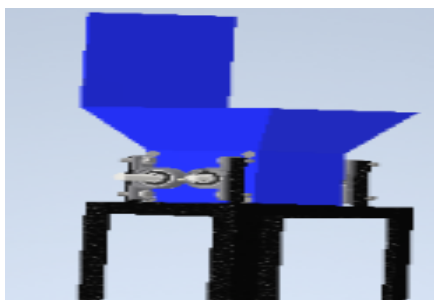
Figura 31: Ensamble de caja con estructura



Fuente: Los autores.

Se coloca la tolva en el cuerpo de la caja como se muestra en la figura 32, después se pone la tolva de salida en la estructura como se muestra en la Figura 33.

Figura 32: Ensamble parcial sin motor ni poleas.



Fuente: Los autores.

Figura 33: Estructura con tolva de salida.



Fuente: Los autores.

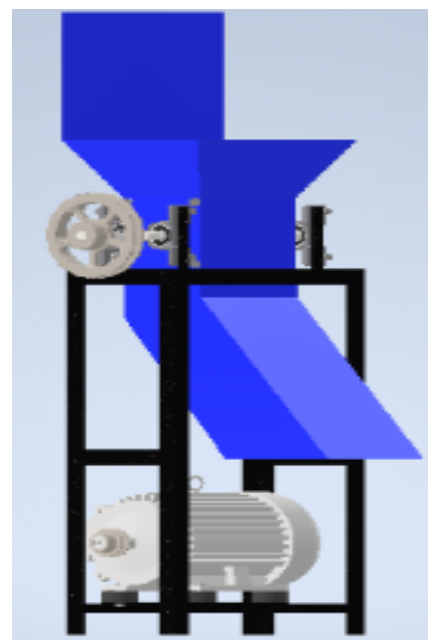
Se presenta el motor a la estructura como se puede ver en la Figura 34. Se ensamblan las poleas para terminar y tener el diseño como se observa en la figura 35.

Figura 34: Estructura con motor trifásico.



Fuente: Los autores.

Figura 35: Diseño de máquina finalizada.



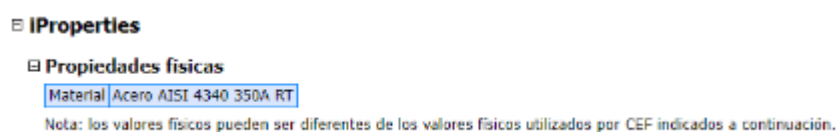
Fuente: Los autores.

4.2 ANÁLISIS DE LA CUCHILLA.

Siguiendo el procedimiento descrito por Sudarshan B.Shinde y C.M.Sedani con su título “FEA AND DESIGN MODIFICATION OF SHREDDER BLADE USED FOR RECYCLING PLASTIC” publicado en el año 2022, que relata el procedimiento que hizo mediante un análisis estático en el cual se procede a crear una restricción en la mitad de la cuchilla, donde se encuentra un hexágono y procede a crear cargas en las puntas de la cuchilla las cuales se encargaran de recibir la fuerza del plástico.

Para este caso se realiza un análisis de punto fijo mediante la herramienta de inventor, en la Figura 36 se muestran las propiedades físicas y en la Tabla 2 se muestran los materiales empleados.

Figura 36: Propiedades físicas del acero 4340.



Fuente: Los autores.

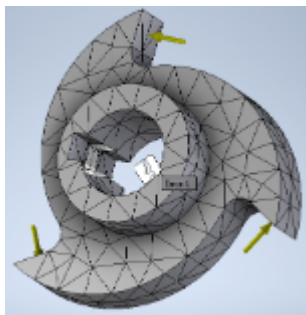
Tabla 2: Materiales empleados.

Material(es)		
Nombre	Acero AISI 4340 350A RT	
General	Densidad de masa	7,85 g/cm ³
	Límite de elasticidad	1102 MPa
	Resistencia máxima a tracción	1171 MPa
Tensión	Módulo de Young	207 GPa
	Coefficiente de Poisson	0,33 su
	Módulo cortante	77,8195 GPa
Nombre(s) de pieza	Cuchilla_6.ipt	

Fuente: Los autores.

Se realiza un mallado tetraédrico con un tamaño medio del elemento de 0,1 como se muestra en la tabla 3, y la configuración del mallado se ve en la Figura 37.

Figura 37: Cuchilla con mallado.



Fuente: Los autores.

Tabla 3: Configuración de maya

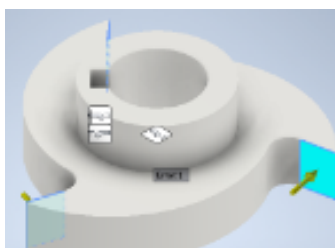
Configuración de malla:

Tamaño medio de elemento (fracción del diámetro del modelo)	0,1
Tamaño mínimo de elemento (fracción del tamaño medio)	0,01
Factor de modificación	1,5
Ángulo máximo de giro	60 gr
Crear elementos de malla curva	Si

Fuente: Los autores.

Se establece un tipo de carga de 54 kN en la parte de la cuchilla que va a tener contacto con el material como se observa en la figura 38 y se coloca una magnitud como se muestra en la tabla 4.

Figura 38: Vista de fuerza.



Fuente: Los autores.

Tabla 4: Fuerza 1.

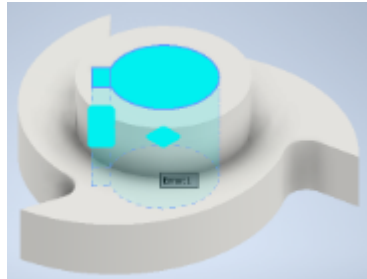
Fuerza:1

Tipo de carga	Fuerza
Magnitud	54000,000 N
Vector X	-11227,231 N
Vector Y	0,000 N
Vector Z	-52819,970 N

Fuente: Los autores.

Se utilizan restricciones fijas donde va ubicado el eje y la chaveta como se muestra en la figura 39. En los resultados del análisis se observa que surge un desplazamiento 0.1565mm, tensión de von mises 1061.18 MPa como se observa en la tabla 5.

Figura 39: Restricción fija de la cuchilla.



Fuente: Los autores.

Tabla 5: Resultados.

☐ Resumen de resultados

Nombre	Mínimo	Máximo
Volumen	28796,6 mm ³	
Masa	0,226053 kg	
Tensión de Von Mises	2,00471 MPa	1061,18 MPa
Primera tensión principal	-139,816 MPa	1164,27 MPa
Tercera tensión principal	-646,616 MPa	149,494 MPa
Desplazamiento	0 mm	0,156574 mm
Coefficiente de seguridad	1,03846 su	15 su

Fuente: Los autores.

4.3 ANÁLISIS DE LA ESTRUCTURA.

Se realiza una malla tetraédrica de un tamaño 0.02mm, con un material ASTM A36, como se muestra en la Tabla 6.

Tabla 6: Configuración de malla.

Tamaño medio de elemento (fracción del diámetro del modelo)	0.1
Tamaño mínimo de elemento (fracción del tamaño medio)	0.2
Factor de modificación	1.5
Ángulo máximo de giro	60 gr
Crear elementos de malla curva	No
Usar medida basada en pieza para la malla del ensamblaje	Sí

Fuente: Los autores.

En la tabla 7 se realiza la configuración y propiedades del material a utilizar.

Tabla 7: Configuración de materiales.

Nombre	Acero ASTM A36	
General	Densidad de masa	7,85 g/cm ³
	Límite de elasticidad	248,225 MPa
	Resistencia máxima a tracción	399,9 MPa
Tensión	Módulo de Young	199,959 GPa
	Coefficiente de Poisson	0,3 su
	Módulo cortante	76,9073 GPa
Nombre(s) de pieza	angulo de 3,2 cm y 5mm de espesor, h 20.5cm.ipt angulo de 3,2 cm y 5mm de espesor, h 77 cm.ipt angulo de 3,2 cm y 5mm de espesor, h 37.8cm.ipt chapa de 1 pulgada y 210 mm.ipt angulo de 3,2 cm y 5mm de espesor, base motor.ipt angulo chumacera.ipt angulo chumacera2.ipt	

Fuente: Los autores.

Se aplica una fuerza de 13,5 GN, en los puntos críticos que son los soportes de las chumaceras, en la parte del motor se utiliza una fuerza de 98 N como se muestra a continuación en la tabla 8 y 9.

Tabla 8: Fuerza 1 estructura.

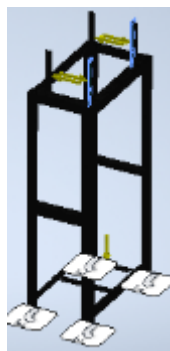
☐ **Fuerza:1**

Tipo de carga	Fuerza
Magnitud	98,000 N
Vector X	0,000 N
Vector Y	-98,000 N
Vector Z	-0,000 N

Fuente: Los autores.

En la Figura 40 se muestran los puntos donde se van aplicar estas fuerzas.

Figura 40: Fuerzas aplicadas.



Fuente: Los autores.

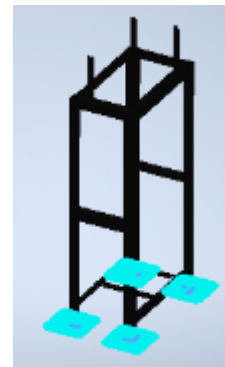
Tabla 9: Fuerza 2 estructura.

☐ **Fuerza:2**

Tipo de carga	Fuerza
Magnitud	13500000,000 N
Vector X	-0,000 N
Vector Y	-0,000 N
Vector Z	13500000,000 N

Fuente: Los autores.

Figura 41: Restricción fija de la estructura.



Fuente: Los autores.

Se utilizan 4 puntos de restricción fija, los cuales se pueden observar en la figura 41.

En el análisis de resultados se tiene una fuerza de reacción en la restricción fija de 327974 N m como se puede ver en la Tabla 10.

Tabla 10: resultados de la estructura.

☐ **Resultados**

☐ **Fuerza y pares de reacción en restricciones**

Nombre de la restricción	Fuerza de reacción		Pares de reacción	
	Magnitud	Componente (X, Y, Z)	Magnitud	Componente (X, Y, Z)
Restricción fija:1	0 N	0 N	327974 N m	80212 N m
		0 N		318014 N m
		0 N		0 N m

Fuente: Los autores.

5 CONSTRUCCIÓN DE LA TRITURADORA

Para el proceso de construcción y siguiendo el diseño creado en nuestra herramienta CAD, se inició realizando un diseño para el proceso de fundición de las cuchillas con el material seleccionado acero 4340, que se creó un prototipo en impresión 3D el cual consiste en una caja con un hexágono que tiene 8 posiciones y va dando el ángulo a cada una de las ranuras, como se puede observar en las figuras 42 y 43.

Figura 42: Fabricación de machos.



Figura 43: Resultados de machos.



Fuente: Los autores.

Fuente: Los autores.

Se procede a crear el prototipo impreso en 3D de la cuchilla, para poder realizar el modelo en las cajas de fundición teniendo en cuenta el posicionamiento del machuelo para la ranura como se observa en las Figuras 44 y 45.

Figura 44: Moldes de fundición



Fuente: Los autores.

Figura 45: Moldes de fundición con machuelos



Fuente: Los autores.

Luego de ser fundidas se continuó mecanizando las cuchillas por el lado que no tiene el separador, se amplía el diámetro del centro hasta dejar el agujero de 20 mm como se observa en las figuras 46 y 47.

Figura 46: Cuchillas fundidas.



Fuente: Los autores.

Figura 47: Cuchillas en el proceso de mecanizado.



Fuente: Los autores.

Para finalizar el proceso de mecanizado de las cuchillas, se toman por la cara plana y se mecaniza el separador y la cara de esta, teniendo en cuenta una longitud total de 22 mm como se muestra en la Figura 48.

Figura 48: Mecanizado de cuchillas por la parte del separador



Fuente: Los autores.

Para el proceso de creación del eje se compró una varilla lisa de 1 pulgada de diámetro, se cortan a 400 mm y se mecaniza hasta el diámetro a 20 mm en el cual se crearán los dos ejes donde se posicionarán las cuchillas como se muestra en la Figura 49.

Figura 49: Mecanizado de ejes.



Fuente: Los autores.

Para el proceso de las ranuras se utilizó una fresa de 5 mm de diámetro y se nivelaron los ejes con un nivel como se muestra en la figura 50 y 51.

Figura 50: Ajustes para ranurado de chaveta. Figura 51: Ranurado de chaveta.



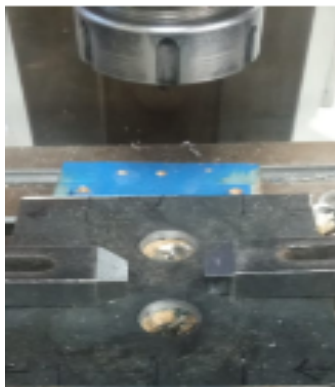
Fuente: Los autores.

Fuente: Los autores.

Continuando con el proceso de construcción de las piezas se crea la caja la cual será el sistema de seguridad como se ve en la Figura 52 y se pinta la tolva de salida como se observa en la figura 53.

Figura 52: Taladrado de huecos.

Figura 53: Pintado de tolva.



Fuente: Los autores

Fuente: Los autores

El proceso de pintura fue hecho con aerosol de color azul para la caja y se realiza el ensamble como se ve en las figuras 54 y 55.

Figura 54: Pintado de caja.

Figura 55: Construcción de la máquina.



Fuente: Los autores



Fuente: Los autores

En las figuras 56 y 57 se muestra la terminación total de la máquina.

Figura 56: vista posterior de la máquina. Figura 57: vista frontal de la máquina.



Fuente: Los autores.



Fuente: Los autores.

Para verificar el funcionamiento de este dispositivo se hacen pruebas con material de impresión 3D y los resultados se muestran en la Figura 58, el manual del operario se encuentra en los anexos.

Figura 58: Material triturado



Fuente: Los autores

5.1 RESULTADO DE LA MÁQUINA

Con la culminación de la máquina, se realizan pruebas para ver la eficiencia de esta, la primera prueba realizada fue sin motor, se realizó el movimiento a través de fuerza humana, con el fin de asegurarse que las cuchillas no estaban enfrentadas y que estas tengan la capacidad de atrapar el material, los resultados de esta prueba se ven en la Figura 59 y en la Figura 60 se ve el movimiento ejercido.

Figura 59: Pruebas realizadas.



Fuente: Los autores.

figura 60: Giro de motor con la mano.



Fuente: Los autores.

Después de esto se conecta la polea al motor mediante una correa tipo A, se enchufa a toma y se introduce las botellas para ver el triturado de la máquina, teniendo como resultado el atrapamiento de las botellas tipo pet en las cuchillas, se utiliza material PLA de impresiones que su ciclo de vida ya terminado como se muestra en la figura 61, teniendo como resultado material en un grano más fino se puede observar en la figura 62.

Figura 61: impresión 3D.

Figura 62: Material triturado.



Fuente: Los autores.



Fuente: Los autores.

6 ANÁLISIS DE RESULTADOS

6.1 CONCLUSIONES.

- Se logró hacer el título planteado en el proyecto utilizando herramientas de los laboratorios de la Universidad y materiales certificados.
- Se aprendió que las herramientas de diseño CAD facilitan el proceso de construcción dando medidas exactas para la correcta ejecución en las piezas realizadas.
- Se logró minimizar la mayor cantidad de gastos en el proyecto utilizando equipos y personal administrativo de la Universidad.
- Se logró la fabricación de la máquina en los tiempos estipulados.
- El material seleccionado para la construcción de las cuchillas fue asertivo.

6.2 SUGERENCIAS.

- La estructura presentó un funcionamiento adecuado, pero se puede mejorar la parte que sujeta las chumaceras.
- La máquina al estar sometida a vibraciones se sugiere que esté anclada al piso, aunque no presente ningún desplazamiento.
- La tolva presenta un funcionamiento adecuado, pero se recomienda realizar una entrada del material por un lado de ella y no por el frente.

7 INFOGRAFÍA

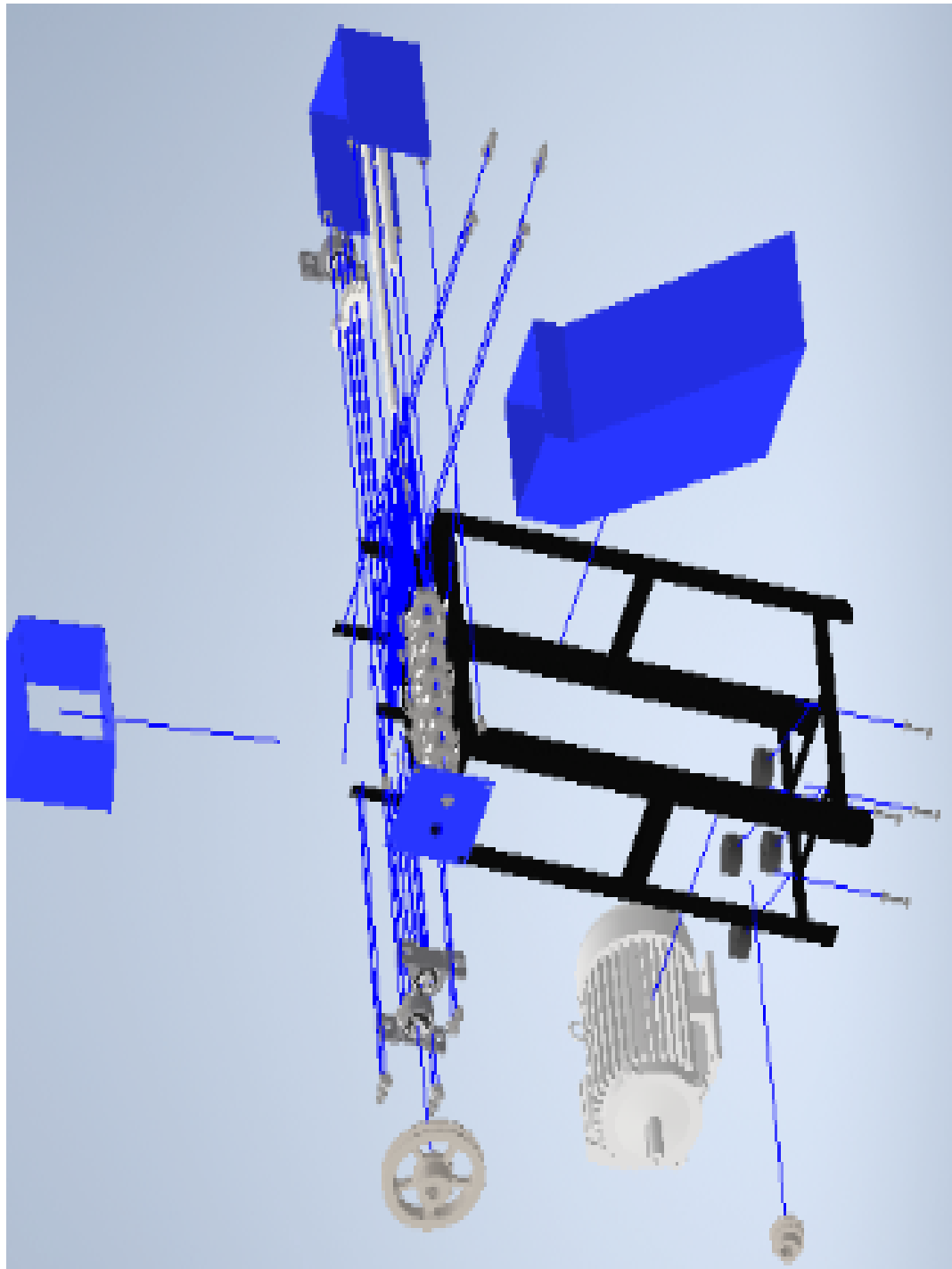
1. Chuquillin Zoto, A. (2021). Diseño de una máquina trituradora extrusora de botellas de plástico para la obtención de filamento pet a bajo costo
2. Cleavel Angulo, J. A. (2020). Diseño de una trituradora de PET como herramienta de apoyo para las asignaturas de Ingeniería de UNICATÓLICA.
3. Cardiel, M. Á. M., Roque, S. V., Paleo, J. M., Luna, U. Z., & Hernández, J. D. (2022). Diseño y simulación de un molino compacto para polietileno tereftalato: Design and simulation of a compact polyethylene terephthalate mil. *South Florida Journal of Development*, 3(1), 232-244.
4. Prado, R., Saez, A., Rojas, M. J., Hurtado, J. R., Macuyama, M. S., & Ventura, C. Y. (2019). Construcción de una máquina trituradora de plástico. *PUEBLO CONTINENTE*, 30(1), 85-91.
5. Sempere Pérez, Ó. (2018). *Diseño y estudio técnico de una máquina trituradora para el sector del plástico* (Doctoral dissertation, Universitat Politècnica de València).
6. Nasr, MF y Yehia, KA (2019). Análisis de tensión de una cuchilla trituradora para cortar residuos plásticos. *Revista de la Sociedad Internacional de Ciencias e Ingeniería*, 1 (1), 9-12.
7. Ogunedo, BM y Chukwudi, BC (2020). Diseño y Construcción de una Máquina Tritradora de Plásticos de Bajo Costo. *Revista Internacional de Investigación y Revisión (Ijrrjournal. Com)*, 7 (9), 374.
8. Leslie, J. F. M., Quesada, J. B., Reyes, S. S., & Tamayo, Y. M. (2021). Análisis mediante el método de elementos finitos de un molino de paletas para triturar granos. *Revista Cubana de Ingeniería*, 12(1), 15-27.
9. INTERNACO DIVISIÓN MEDIO AMBIENTE, Que es una trituradora pet y cómo funciona, 2022. Internet: (<https://internacomedioambiente.es/noticias/que-es-una-trituradora-pet-y-como-funciona/>)
10. COPLASTICOS, Internet: (<https://www.acoplasticos.org/index.php/mnu-pre/opm-bus-pref/36-opc-fag-pre4>)
11. REAL ACADEMIA ESPAÑOLA, Diccionario de lengua española, 2021, Internet: (<https://dle.rae.es/cuchilla>)
12. OXFORD LANGUAGES, Diccionario oxford. Internet: (<https://languages.oup.com/google-dictionary-es/>)
13. OXFORD LANGUAGES, Diccionario oxford. Internet: (<https://languages.oup.com/google-dictionary-es/>)
14. Pérez Porto, Julian y Merino, Maria. Definición de recursos no renovables, 2010. Internet: (<https://definicion.de/recursos-no-renovables/>)
15. Pérez Porto, Julian y Merino, Maria. Definición de máquina Internet: (<https://definicion.de/maquina/>)
16. Pérez Porto, Julian y Merino, Maria, Definición de movimiento de rotación 2012, Internet: (<https://definicion.de/movimiento-de-rotacion/>)
17. Beer, F. P., Johnston, E. R., DeWolf, J. T., & Mazurek, D. F. (2010). *Mecánica de materiales* (No. TA405. B43 1994.). Mc Graw Hill

18. Shinde, MSB, & Sedani, CM FEA Y MODIFICACIÓN DEL DISEÑO DE LA HOJA DE TRITURADORA UTILIZADA PARA RECICLAJE DE PLÁSTICO.
19. Mott, R. L., y Pozo, V. G., Sánchez, S. S., Fernández, Á. H., & Sánchez, J. V. (2006). Diseño de elementos de máquinas.

8 ANEXOS

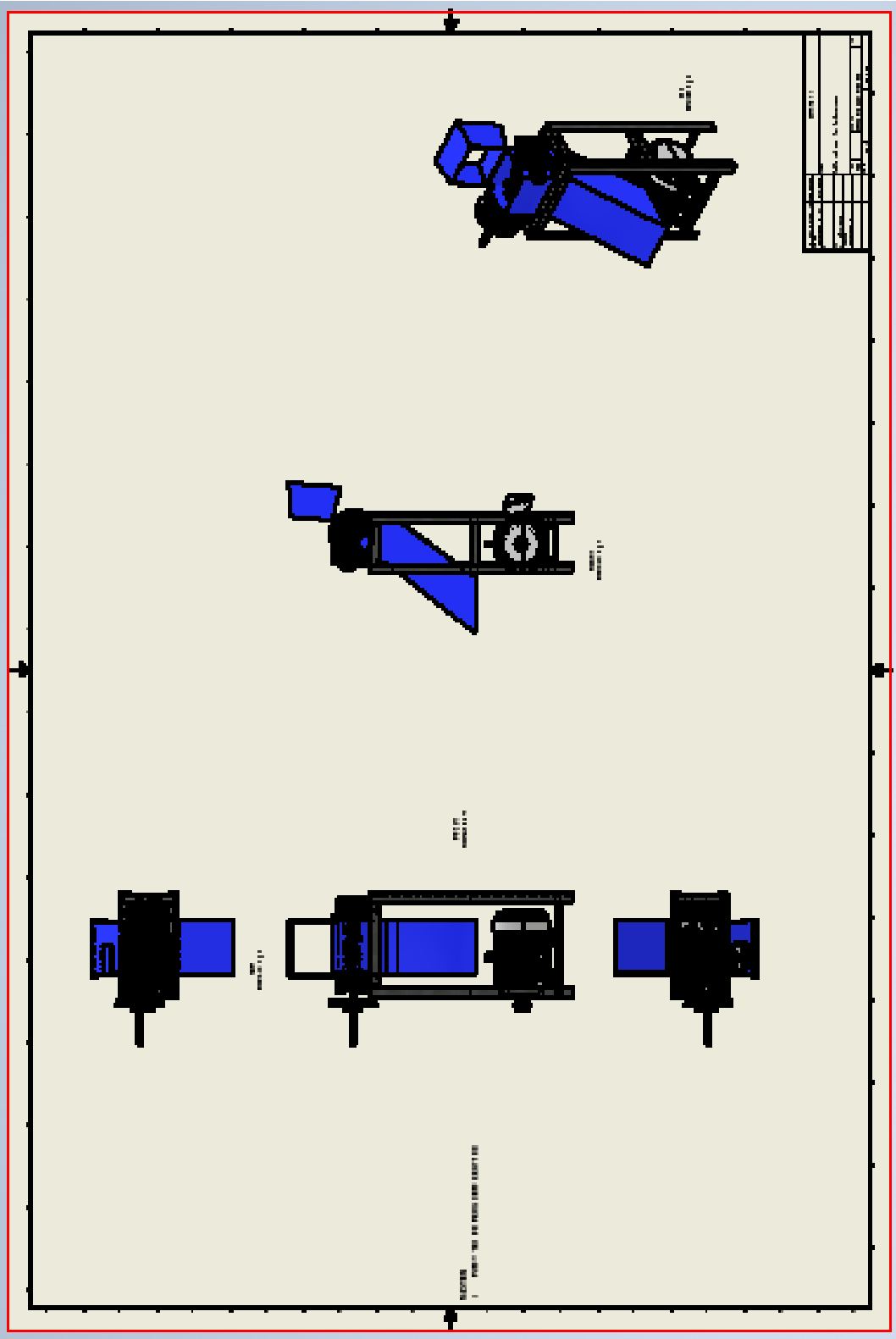
8.1 PLANOS DE LA MÁQUINA

Figura 63: explosionado de máquina



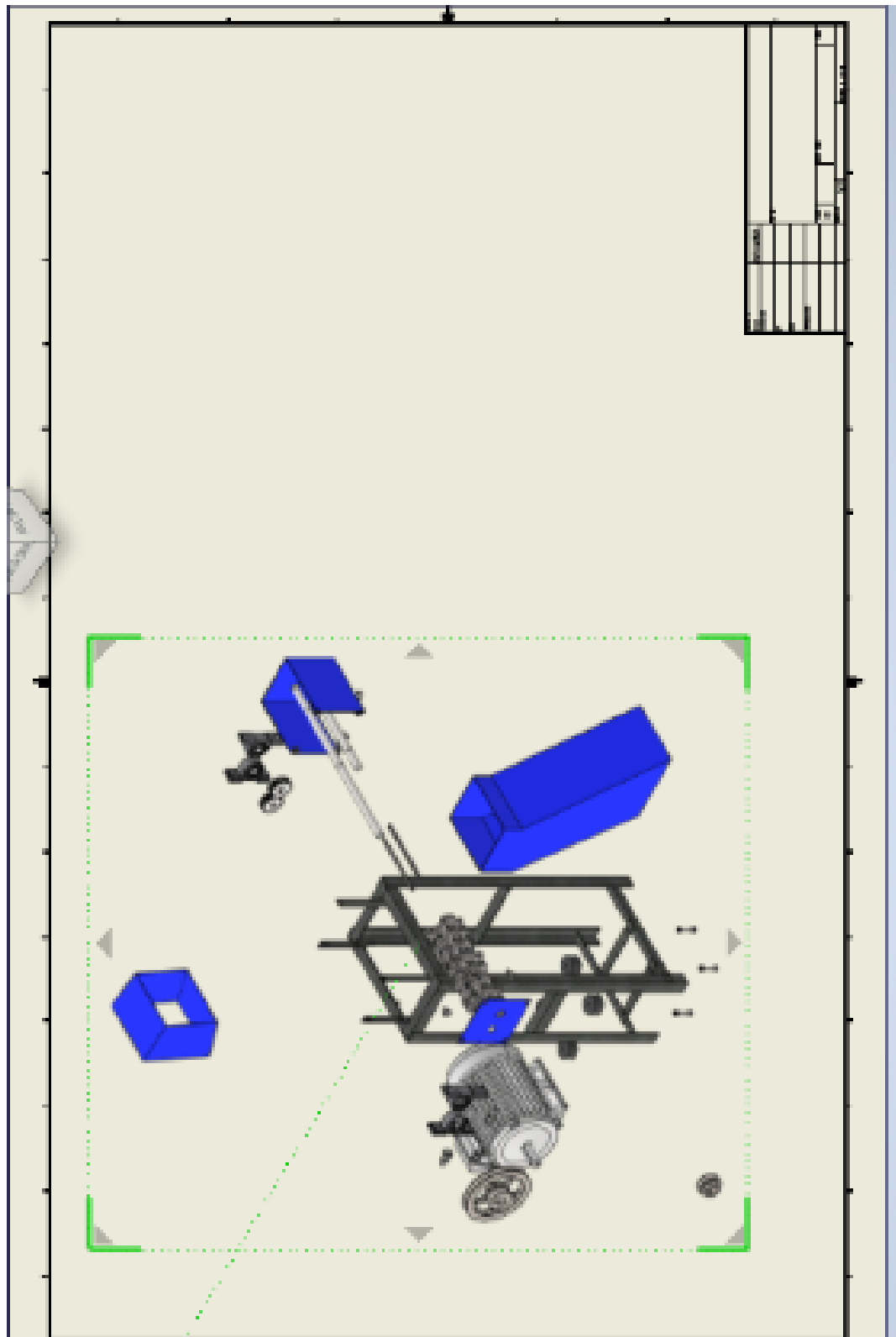
Fuente: Los autores.

Figura 64: plano vistas de la máquina.

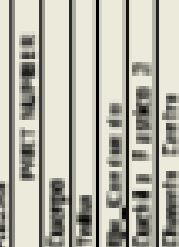


Fuente: Los autores.

Figura 65: Componentes de la máquina.



Fuente: Los autores.



LISTA DE PIEZAS		
ITEM	QTY	PART NUMBER
1	1	Cuerpo
2	1	Troquel
3	1	Re_Corona 1a
4	16	Cuchilla Polio 2
5	2	Chumbeo Correa
6	1	Re_Corona 2a
7	2	Refinador
8	2	Separador
9	1	Gravadora
10	4	Cilindros de 20 mm
11	1	Rebrazado
12	1	Polio 1mm 11
13	1	Polio 1mm 111
14	8	Placa 1
15	8	Arandela 1a media
16	8	Placa 2
17	1	Lapa escape
18	4	Cuchilla de corte diagonal
19	4	Rebrazado

PIEZA

1. en serie, cuando la trituradora
se desmonta, separamos la trituradora
de la trituradora, separamos la trituradora
de la trituradora

PIEZA

2. en serie, cuando la trituradora
se desmonta, separamos la trituradora
de la trituradora, separamos la trituradora
de la trituradora

PIEZA		PIEZA	
ITEM	QTY	ITEM	QTY
1	1	2	1
3	1	4	1
5	1	6	1
7	1	8	1
9	1	10	1
11	1	12	1
13	1	14	1
15	1	16	1
17	1	18	1
19	1	20	1

PIEZA

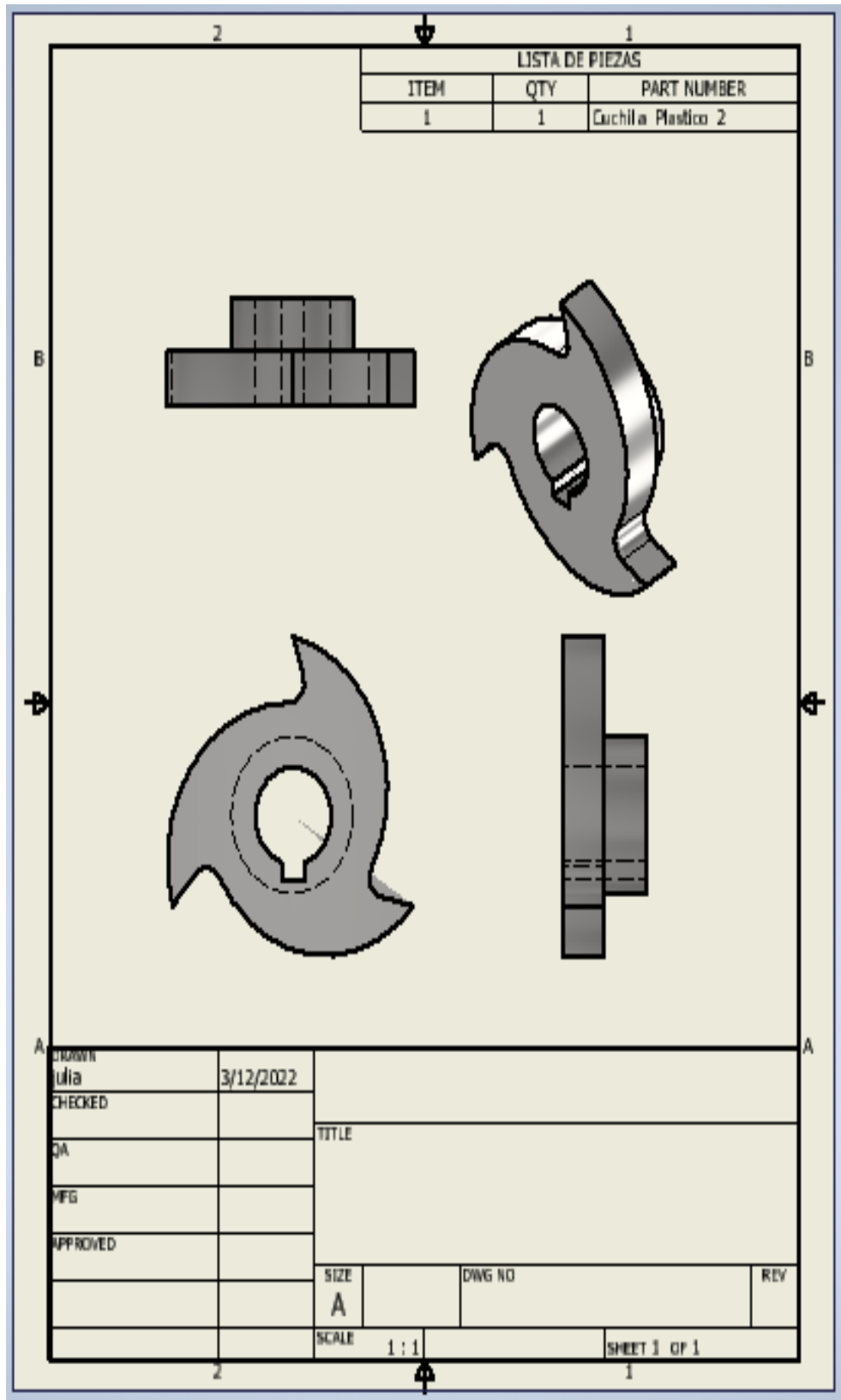
1. en serie, cuando la trituradora
se desmonta, separamos la trituradora
de la trituradora, separamos la trituradora
de la trituradora

PIEZA

2. en serie, cuando la trituradora
se desmonta, separamos la trituradora
de la trituradora, separamos la trituradora
de la trituradora

PIEZA		PIEZA	
ITEM	QTY	ITEM	QTY
1	1	2	1
3	1	4	1
5	1	6	1
7	1	8	1
9	1	10	1
11	1	12	1
13	1	14	1
15	1	16	1
17	1	18	1
19	1	20	1

Figura 67: planos de la cuchilla.



8.2 MANUAL DEL OPERARIO

MANUAL DE OPERACIÓN

OSCAR LEONARDO ALVAREZ QUINTERO
NESTOR JULIAN RODRIGO SIERRA SANCHEZ

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS SECCIONAL TUNJA
DIVISIÓN DE ARQUITECTURA E INGENIERÍAS
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA
TUNJA 2022

CONTENIDO

	PÁG
1. PARTES DE LA MÁQUINA.....	3
2. CÓMO CONECTAR.....	9
3. CORRECTA MANIPULACIÓN.....	10
4. CÓMO ACTUAR EN CASO DE EMERGENCIA.....	11

1 Partes de la máquina

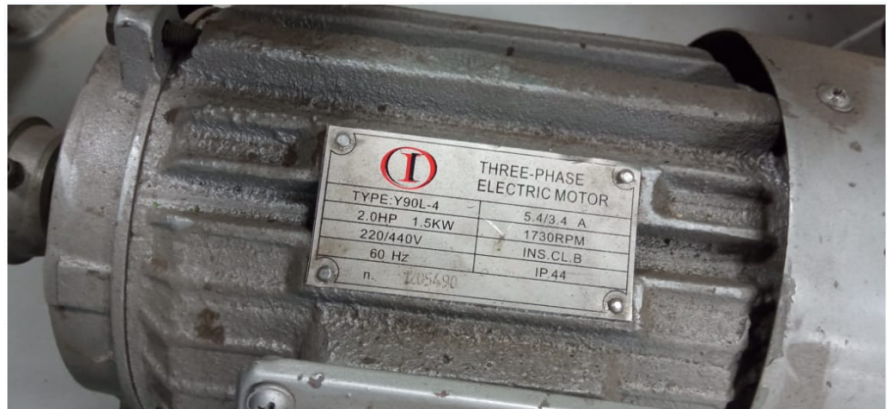
La máquina se compone por 13 partes las cuales son:

1. Estructura; estructura realizada en ángulo cuya función es soportar los componentes de la máquina.



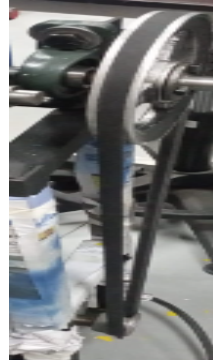
Fuente: Los autores.

2. motor; es el dispositivo el cual da el movimiento y la potencia a la máquina.



Fuente: Los autores.

3. Poleas; se encargan de transmitir la potencia.



Fuente: Los autores.

4. Correa une la polea del motor con la polea del eje conducido.



Fuente: Los autores.

5. Ejes: son los encargados de transmitir el movimiento y sostener las cuchillas, poleas y piñones.



Fuente: Los autores

6. Piñones; es el encargado de mover los ejes.



Fuente: Los autores

7. Cuchillas; encargadas de dejar el material en partes más pequeñas.



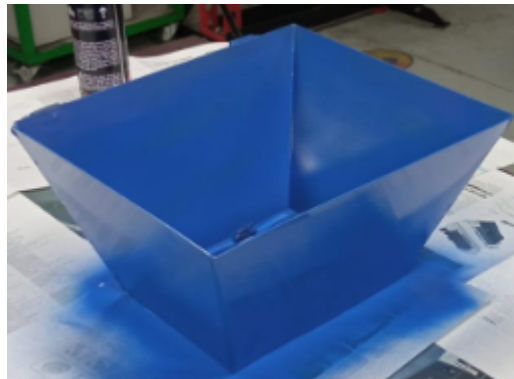
Fuente: Los autores.

8. Caja; Contiene las cuchillas y es por donde pasan los ejes, almacena el material a procesar.



Fuente: Los autores.

9. Tolva; es por donde se introduce el material.



Fuente: Los autores.

10. Chumaceras; sostienen los ejes y dan la alineación de los mismos.



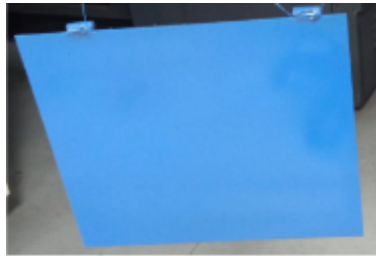
Fuente: Los autores

11. Chaveta; se encarga de tener las cuchillas y piñones en su posición.



Fuente: Los autores.

12. Tapa tolva: se encarga de tapar el sistema de trituración después de ingresar productos plásticos.



Fuente: Los autores.

13. Botón de encendido: se encarga de dar el encendido a la máquina para empezar a trabajar.



Fuente: Los autores.

2 ¿Cómo conectar?

Para la conexión de la máquina trituradora se recomienda seguir los siguientes pasos.

- 1 Asegurarse que ningún tipo de material se encuentre dentro de la máquina.
- 2 Verificar que el cable el cual alimenta el motor se encuentre en buenas condiciones.
- 3 Comprobar que la fuente del motor sea de 220 v.
- 4 Verificar que el mando de encendido se encuentre sin activar.
- 5 Verificar que la correa se encuentre posicionada de la manera correcta.

3. Correcta Manipulación

Para la correcta manipulación se aconseja que solo se triturara materiales plásticos, debido a que si se llegan a agregar materiales más duros como aceros pueden romper partes de las cuchillas, en la estructura o generar daños en el motor.

- 1 Cerciorarse que no se encuentran materiales dentro del equipo antes de ser encendida.
- 2 Asegurarse que todas las piezas se encuentren en su lugar
- 3 No ingresar las manos ni partes del cuerpo cuando la máquina se encuentre encendida.
- 4 En caso de manipulación en la zona de triturado asegurarse que se encuentre desconectada.
- 5 Al momento de ingresar materiales plásticos ingresar el material y dejar caer inmediatamente la tapa.
- 6 Evitar manipulación en los engranajes del equipo.

4 ¿Cómo actuar en caso de emergencia?

- 1 En caso de que la máquina llegue a afectar directamente la integridad del operario se recomienda desconectar la máquina y dirigirse al centro de salud más cercano lo más rápido posible.
- 2 En caso de atrapamiento del material plástico se aconseja apagar la máquina lo más antes posible y proceder a abrir la máquina y tirar fuertemente el material engrapado.
- 3 En caso de que la máquina se voltee se recomienda desconectarla inmediatamente y proceder a pararla.

En caso de que la máquina se frene se debe desconectar del suministro de energía para evitar daños en el motor o en los componentes, se debe verificar con la máquina desconectada si es por material entrampado en las cuchillas o por enfrentamiento de piñones; para verificar que todo se encuentra en buen estado se debe de girar manualmente los ejes tomándolo con la polea superior de diámetro de 170 mm si su giro es suave y no se escuchan ruidos extraños se procede a bajar la tolva y se puede conectar a la fuente de suministro para seguir con el proceso.

8.3 MANUAL DE MANTENIMIENTO

Plan de mantenimiento preventivo		
Nombre de la maquina		Trituradora de plastico de doble eje
Sistemas a realizar mantenimiento		
Sistema electrico		
Sistema mecanico		
CARACTERISTICAS GENERALES		
Motor	2 HP	
color	Azul-Negro	
medidas (M)	0.2m*0.4m*1m	
Movable		
Frecuencia		Actividad
Diariamente	Limpiar la superficie sucia acomulada en la maquina	
	Revisar que el area de trabajo no se encuentren componentes externos	
	Inspeccion visual (ruidos y vibraciones anormales)	
	Comprobacion del estado de las cuchillas	
Mensualmente	Engrasar las chumaceras	
	Realizar limpiaza profunda del equipo	
	Revision de cable de motor	
Trimestral	Revision de correa	
	Revision detalladas de las cuhillas	
	Revision detallada de los engranes	
	Revision detallada de las chumaceras	
	Revision detallada de los tornillos	
Semestral	Revision de poleas	
	Mantenimiento detallado del motor	
	Cambio de correa	
	Cambio de chumaceras	
		Cambio de cauchos de soporte