



# **Prototipo de máquina trituradora para envases plásticos pos consumo para la fabricación de hojuelas**

**German Mauricio Monroy Monroy**

Universidad Antonio Nariño  
Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica  
Ciudad, Colombia  
2021



# **Prototipo de máquina trituradora para envases plásticos pos consumo para la fabricación de hojuelas**

**German Mauricio Monroy Monroy**

Proyecto de grado presentado como requisito parcial para optar al título de:  
**Ingeniero Mecánico**

Director (a):  
Ingeniero Omar Rojas Moreno

Universidad Antonio Nariño  
Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica  
Ciudad, Colombia

2021



*Primero que todo quiero dedicar este proyecto con todo mi amor y esfuerzo a Dios, a mis queridos padres que permanentemente me brindaron su apoyo total y fortaleza contribuyendo cada día para lograr mis metas propuestas; Adicionalmente de manera muy especial a mi hermana quien con su esfuerzo y su gran corazón fue la persona principal para poder lograr este sueño.*



## **Agradecimientos**

Doy infinitas gracias a papa Dios por regalarme vida y salud para cumplir mi sueño como profesional, por haberme dado la sabiduría y el entendimiento de poder desarrollar este proyecto que con esfuerzo y dedicación he logrado.

A mis amados padres por brindarme siempre su apoyo hasta el último momento, su amor infinito y su compromiso a lo largo de mi trayectoria como estudiante, en especial quiero agradecer de todo corazón y brindarle mi gratitud y respeto como siempre lo he hecho a mi hermana Yuly Adriana que a pesar de las dificultades siempre brillo su amor y anhelo por verme alcanzar mis sueños, infinitas gracias por ayudarme a crecer con grandes valores como persona.

A los profesores de la Universidad Antonio Nariño que durante el proceso de formación estuvieron brindando su conocimiento y apoyo, a los cuales les brindo mi más sincero agradecimiento, al Ingeniero Omar Rojas por su tiempo, paciencia, conocimiento y dedicación y por ende hacer posible la realización de este proyecto de manera exitosa.





## Resumen

El presente proyecto se presenta para construir un prototipo de máquina trituradora de envases plásticos pos consumo para la fabricación de hojuelas, para dar solución al exceso de volumen de desechos plásticos que se generan, es de hacer notar que este prototipo se diseñó específicamente con motivos académicos y no con fines de producción de material, puesto que las mediciones y análisis que se desarrollen con el material obtenido será únicamente para investigaciones y proyectos de la UAN sede Tunja.

Esta propuesta se genera tomando en cuenta que Colombia presenta un alto déficit en la utilización de técnicas de reciclaje de materiales plásticos; en donde la producción de este polímero es mucho más rápida que el aprovechamiento que se le da a los restos que genera este material, por esto es indispensable plantear opciones de reutilización tanto de las botellas originales como de los materiales que lo constituyen; para así dejar atrás la percepción que se le ha dado de basura desechable e incentivar a ver este proceso como una posible fuente de trabajo.

Por lo tanto, en la materialización del diseño planteado como alternativa para dar solución a la problemática expuesta, se diseña el mecanismo de trituración en donde se tomó el eje porta cuchillas y las cuchillas de corte como las piezas más importantes del sistema de trituración, debido a que estos componentes son los que se encargan de la principal transformación del material, al realizar el diseño del sistema de dosificación (tolva) se tuvo en cuenta los envases plástico pos consumo de 1.5 litros y 500 ml debido a que estos tamaños de envases son más frecuentes en las instalaciones de la UAN sede Tunja.

Finalmente se puso en marcha el prototipo triturador obteniendo los resultados requeridos con un material final homogéneo (hojuelas) de un tamaño menor a 1.5 cm. También, se estableció el diámetro del eje y se empleó acero AISI 4140 consultado

X Prototipo de máquina trituradora para envases plástico pos consumo para la fabricación de hojuelas

---

distintas fuentes ya que no existen normas técnicas para la construcción de estas máquinas; después de esto se determinó que las cuchillas debían ser fabricadas con acero AISI 1018 de un grosor de 4.76 mm para así conseguir el tamaño del material requerido, finalmente se obtuvo como resultado un prototipo triturador de envases plástico pos consumo.

**Palabras clave: (Polímero, Máquina trituradora, Reciclaje, plástico, PET).**

## Abstract

The present project is presented to build a prototype of a post-consumer plastic container shredder machine for the manufacture of flakes, to solve the excess volume of plastic waste that is generated, it should be noted that this prototype was specifically designed for academic reasons and not for material production purposes, since the measurements and analysis carried out with the material obtained will only be for research and projects of the UAN, Tunja headquarters.

This proposal is generated taking into account that Colombia has a high deficit in the use of recycling techniques for plastic materials; where the production of this polymer is much faster than the use that is given to the remains generated by this material, for this reason it is essential to propose reuse options for both the original bottles and the materials that make them up; in order to leave behind the perception that has been given of disposable garbage and encourage to see this process as a possible source of work.

Therefore, in the materialization of the design proposed as an alternative to solve the exposed problem, the crushing mechanism is designed where the blade holder axis and the cutting blades were taken as the most important pieces of the crushing system, due to Since these components are responsible for the main transformation of the material, when designing the dosing system (hopper) the 1.5-liter and 500-ml post-consumer plastic containers were taken into account because these container sizes are more frequent in the facilities of the UAN headquarters Tunja.

Finally, the grinding prototype was started up, obtaining the required results with a homogeneous final material (flakes) of a size smaller than 1.5 cm. Also, the diameter of the shaft was established and AISI 4140 steel was used, consulting different sources since there are no technical standards for the construction of these machines; After this, it was determined that the blades had to be manufactured with AISI 1018 steel with a thickness of 4.76 mm in order to achieve the size of the required material. Finally, a post-consumer plastic container shredder prototype was obtained as a result.

**Keywords:** (Polymer, Crushing Machine, Recycling, Plastic, PET)

XII Prototipo de máquina trituradora para envases plástico pos consumo para la fabricación de hojuelas

---

# Contenido

	Pág.
<b>Resumen</b> .....	<b>IX</b>
<b>Lista de figuras</b> .....	<b>XV</b>
<b>Lista de tablas</b> .....	<b>XVII</b>
<b>Introducción</b> .....	<b>1</b>
<b>1. Marco teórico</b> .....	<b>7</b>
1.1 Equipos de trituración .....	8
1.1.1 ¿Que son las trituradoras? .....	8
1.1.2 ¿Cómo funcionan las maquinas trituradoras? .....	8
1.1.3 Tipos de trituradoras .....	9
1.2 Plásticos .....	13
1.2.1 Definición de los plásticos .....	14
1.2.2 Propiedades del plástico .....	14
1.2.3 Códigos de identificación de los plásticos .....	16
En los plásticos existe un símbolo estándar a nivel mundial para la identificación de cada envase, este símbolo es un triángulo redondeado con flechas sucesivas con numeración que va del 1 a 7 como se observa en la (Figura 1.2.2). .....	16
1.2.4 Usos y aplicaciones del plástico .....	17
1.3 (PET) Tereftalato de polietileno .....	17
1.3.1 ¿Definición PET? .....	17
1.3.2 Propiedades del Pet .....	18
1.3.3 Aplicaciones del Pet .....	18
1.4 Reciclaje .....	18
1.4.1 ¿Qué es el reciclaje?.....	19
1.4.2 Procesos de reciclaje .....	19
1.4.3 Fundamentos de reciclaje .....	22
<b>2. Desarrollo metodológico</b> .....	<b>23</b>
2.1 Diseño del mecanismo de la trituradora de envases plásticos pos consumo .	23
2.1.1 Potencia motor .....	24
2.1.2 Cálculo volumen de la tolva.....	25
2.1.3 Fuerza de corte .....	26
2.1.4 Velocidad angular de las cuchillas.....	27
2.1.5 Eje porta cuchillas .....	27
2.1.6 Simulación ANSYS .....	31
2.1.7 Diseño en programa (CAD) .....	34

2.1.8	Construcción de la máquina trituradora de envases PET .....	39
2.2	Diseño de sistema de dosificación de la máquina trituradora de envases plástico pos consumo .....	46
2.2.1	Calculo de volumen de tolva para una adecuada dosificación de material 46	
2.2.2	Diseño de tolva en herramienta CAD en este caso SolidWorks .....	47
2.3	Poner en marcha la máquina trituradora y caracterizar las dimensiones de las hojuelas obtenidas .....	47
<b>3.</b>	<b>Análisis y resultados .....</b>	<b>51</b>
<b>4.</b>	<b>Conclusiones y recomendaciones .....</b>	<b>53</b>
4.1	Conclusiones.....	53
4.2	Recomendaciones.....	54
	<b>Anexos:.....</b>	<b>55</b>
	<b>Anexo B. Propiedades del acero AISI SAE 1018.....</b>	<b>57</b>
	<b>Anexo C. Propiedades del PET .....</b>	<b>59</b>
	<b>Anexo D. Chumacera.....</b>	<b>61</b>
	<b>Anexo E. Planos generales de la máquina trituradora de plástico.....</b>	<b>63</b>
	<b>Anexo F. Procedimiento ecuaciones de equilibrio .....</b>	<b>69</b>
	<b>Anexo G. Resultados de material triturado .....</b>	<b>71</b>
	<b>Anexo H. Factor de diseño libro Robert_L_Mott.....</b>	<b>73</b>
	<b>Anexo I. Diseño de tolva para una moderada dosificación.....</b>	<b>75</b>
	<b>Anexo J. Construcción máquina trituradora de envases plásticos.....</b>	<b>77</b>
	<b>Bibliografía .....</b>	<b>79</b>

## Lista de figuras

	<b>Pág.</b>
<b>Figura 1-1:</b> Funcionamiento máquina trituradora.....	9
<b>Figura 1-2:</b> Molino de martillo.....	10
<b>Figura 1-3:</b> Molino de disco.....	11
<b>Figura 1-4:</b> Molino triturador de cuchillas. ....	11
<b>Figura 1-5:</b> Triturador de martillos.....	12
<b>Figura 1-6:</b> Trituradora de cuchillas.....	13
<b>Figura 1-7:</b> Plástico.....	14
<b>Figura 1-8:</b> Códigos de identificación de resinas de plástico.....	16
<b>Figura 1-9:</b> Estructura química del PET. ....	17
<b>Figura 1-10:</b> Proceso de reciclado mecánico. ....	20
<b>Figura 1-11:</b> Reciclado químico. ....	21
<b>Figura 1-12:</b> Fundamentos del reciclaje 3R.....	22
<b>Figura 2-1:</b> Diagrama de cuerpo libre.....	27
<b>Figura 2-2:</b> Propiedades de diseño acero carbono aleados. ....	30
<b>Figura 2-3:</b> Sn resistencia a la fatiga.....	30
<b>Figura 2-4:</b> Deformacion maxima.....	31
<b>Figura 2-5:</b> Esfuerzos Von Mises. ....	31
<b>Figura 2-6:</b> Deformacion elastica. ....	32
<b>Figura 2-7:</b> Analisis de fatiga. ....	32
<b>Figura 2-8:</b> Diagrama esfuerzo cortante.....	33
<b>Figura 2-9:</b> Momento flector.....	33
<b>Figura 2-10:</b> Estructura de soporte. ....	34
<b>Figura 2-11:</b> Cuchillas de trituración. ....	34
<b>Figura 2-12:</b> Cuchillas fijas.....	35
<b>Figura 2-13:</b> Eje porta cuchillas.....	35
<b>Figura 2-14:</b> Separador de cuchillas. ....	35

---

<b>Figura 2-15:</b>	Tolva de alimentación. ....	36
<b>Figura 2-16:</b>	Tapa cubierta de tolva. ....	36
<b>Figura 2-17:</b>	Caja de trituración. ....	36
<b>Figura 2-18:</b>	Rejilla de paso. ....	37
<b>Figura 2-19:</b>	Chumacera. ....	37
<b>Figura 2-20:</b>	Motor-reductor. ....	37
<b>Figura 2-21:</b>	Interruptor. ....	38
<b>Figura 2-22:</b>	Ensamble final. ....	38
<b>Figura 2-23:</b>	Estructura caja de cuchillas. ....	39
<b>Figura 2-24:</b>	Motor eléctrico. ....	40
<b>Figura 2-25:</b>	Motor reductor. ....	41
<b>Figura 2-26:</b>	Tolva de alimentación. ....	42
<b>Figura 2-27:</b>	Cuchillas de corte. ....	43
<b>Figura 2-28:</b>	Eje porta cuchillas. ....	45
<b>Figura 2-29:</b>	Construcción final de prototipo. ....	46
<b>Figura 2-30:</b>	Material final obtenido de la trituración. ....	48
<b>Figura 2-31:</b>	Hojuela con 12 mm de largo y 5 mm de ancho. ....	49
<b>Figura 2-32:</b>	Hojuela con 8 mm de largo y 4 mm de ancho. ....	49
<b>Figura 2-33:</b>	Hojuela con 10 mm de largo y 7 mm de ancho. ....	50
<b>Figura 2-34:</b>	Hojuela con 13 mm de largo y 6 mm de ancho. ....	50



## Lista de tablas

	<b>Pág.</b>
<b>Tabla 1-2:</b> Propiedades físicas de los plásticos.....	13
<b>Tabla 2-1:</b> Especificaciones envases sin triturar.....	48
<b>Tabla 2-2:</b> Especificaciones envases triturados.....	48



## Introducción

El planeta tierra que se habita hoy en día presenta una alta tasa de contaminación ambiental debido a la cantidad exagerada de residuos que generan. El PET, (Plástico) más conocido como “polyethylene terephthalate” que significa tereftalato de polietileno, tuvo sus inicios en los años de 1939 y 1941 y fue patentado por primera vez como un polímero para fabricación de distintos tipos de fibras convirtiéndose en una categoría de materiales llamados polímeros; 16 años después se comercializo la fibra de poliéster, obteniendo un desarrollo tecnológico avanzado y una alta productividad a nivel mundial. Después de prosperadas investigaciones y pruebas, en 1977 se fabrica los primeros envases PET, y que hoy en día se encuentran en todas partes como productos de limpieza, cocina, oficinas, escuelas, industrias, entre otros; y desde su inicio hasta el día de hoy, este polímero ha causado una gran revolución en el mercado debido a que es un material principal para la producción de estos envases PET (RecaudaPET, 2013).

Si bien los plásticos tienen muchos usos en la vida diaria, utilizar dichos residuos en exceso trae consecuencias devastadoras al medio ambiente. Más de (un millón) 1.000.000 de botellas de plástico son compradas en el planeta cada minuto, mientras (cinco millones) 5.000.000 de bolsas desechables son usadas cada año; de todo el plástico de la tierra la mitad es usado una sola vez y luego es arrojada a vertederos. Los residuos de este material plásticos se encuentran en cada esquina de nuestro entorno, más de 8.3 billones de toneladas de plástico se producen desde 1950 y alrededor del 60% de este residuo plástico terminan en el medio ambiente. Estos objetos plásticos empezaron a producirse a gran escala a mediados del siglo xx, aproximadamente el 99% del plástico es fabricado a partir de derivados del petróleo y carbón los cuales son recursos contaminantes no renovables. Si esto continúa en la misma manera las industrias productoras de plástico habrán consumido más del 20% de la producción total del petróleo en el año 2050.

Existen variedades de plásticos, aunque en las industrias predominan la fabricación de distintos tipos de plásticos principales como el Polietileno(PE) que se encuentra en bolsas de plástico, botellas de shampo, botellas de leche, plástico para envasado de alimentos entre otros; el Poliéster (PET) que se encuentran en todo tipo de botellas y vestuarios; el Polipropileno (PP) que se encuentra en tapas de botellas, bolsas de papas, muebles de parcela y componentes para automóviles; el Cloruro de Polivinilo (PVC) que se encuentra en tuberías y accesorios, grifos y ventana; muchos de las personas utilizan estos productos a diario sin ni siquiera saber a dónde irán a parar, sólo el 9% de todos los residuos plásticos que se han producido fueron reciclados, alrededor del 12% han sido incinerados mientras el resto 79% se han acumulado en vertederos, basureros o han terminado en el medio ambiente (Rodi, 2019).

En los últimos 40 años los plásticos han impregnado el planeta haciendo una cicatriz casi imborrable en los seres vivos. Hace años este invento era el número uno del desarrollo, ahora este material se ha convertido en algo nefasto para la naturaleza, incluido el ser humano. La revista National Geographic afirma que más de 5.600 toneladas de residuos plásticos no pasan por una planta de reciclaje y que de hecho más de 8.000 toneladas de estos residuos de todo el mundo van a parar en el mar. Son cifras muy alarmantes debido a que este material empieza a desaparecer a partir de 450 años, hoy en día la producción del plástico lleva un ritmo muy acelerado, y la capacidad de reciclarlo no crece a la misma rapidez que la producción (Geographic, 2018).

Basado en esta premisa, el trabajo que se presenta tiene como finalidad la construcción de un prototipo de máquina trituradora de envases plásticos pos consumo para la fabricación de hojuelas, para el uso de laboratorio en la UAN sede Tunja, esta para dar solución al exceso de volumen de desechos plásticos que se generan. Este prototipo suministra materia prima triturada de un tamaño no superior a 1.5 cm (hojuelas) debido al diseño de las cuchillas, un interruptor encendido/apagado de doble polaridad, una estructura rígida y firme para el trabajo establecido y un material final homogéneo de tamaño no superior al establecido.

Con base en lo anterior, la problemática estos residuos PET es el motivo por el cual se planea el diseño de un prototipo de una máquina trituradora de envases plásticos pos consumo. Este proyecto busca darle una mejor finalidad a este residuo plástico a través

del triturado, transformando esta materia en hojuelas para la creación de nuevos materiales y demás proyectos de ingeniería que se desarrollen en los laboratorios de la UAN sede Tunja.

Cabe mencionar que, en la actualidad se viene presentando una serie de debilidades producidas por el manejo inadecuado de este tipo de objetos, los cuales han ido en aumento y hasta la fecha no ha existido alguna forma de controlarlo o darle un mejor uso a este tipo de envases, es de hacer notar que hoy en día hay un mayor auge de comidas o bebidas que vienen dispuestas en presentaciones de plásticos, lo cual resulta más accesible y menos peligrosas de manipular por las personas, y pueden si es el gusto del consumidor ser recicladas.

Por ende, con la ejecución del proyecto se estarían aprovechando este tipo de residuos, a la vez que se estaría incitando a la población en general a darle un mejor aprovechamiento a los residuos desechados, poniendo de manifiesto para ello acciones de fácil aplicación que a corto, mediano y largo plazo pueden generar resultados satisfactorios.

## **Objetivos**

### **Objetivo general**

Construir un prototipo de máquina trituradora de envases plásticos pos consumo para la fabricación de hojuelas.

### **Objetivo específicos**

- Diseñar el mecanismo del prototipo de la trituradora de envases plásticos pos consumo.
- Diseñar el sistema de dosificación del prototipo de la máquina trituradora de envases plásticos pos consumo.
- Poner en marcha el prototipo la máquina trituradora y caracterizar las dimensiones de las hojuelas obtenidas.

## **Alcances y limitaciones**

### **Alcances**

Como resultado de este proyecto se tiene un prototipo de máquina trituradora para envases plásticos pos consumo para la fabricación de hojuelas a mediana escala para el uso de laboratorio en la UAN sede Tunja, esta para dar solución al exceso de volumen de desechos plásticos que se generan. Este prototipo suministra materia prima triturada de un tamaño no superior a 1.5 cm (hojuelas) debido al diseño de las cuchillas, un interruptor encendido/apagado de doble polaridad, una estructura rígida y firme para el trabajo establecido y un material final homogéneo de tamaño no superior al establecido.

### **Limitaciones**

Este prototipo de máquina trituradora de envases plásticos pos consumo se diseñó específicamente con motivos académicos y no con fines de producción de material, puesto que las mediciones y análisis que se desarrollen con el material obtenido será únicamente para investigaciones y proyectos de la UAN sede Tunja.





## 1. Marco teórico

Este trabajo está centrado en la construcción de una máquina trituradora de envases plásticos pos consumo para aprovechar la materia prima que se está desperdiciando. Este prototipo de trituradora de plástico pos consumo que se pretende construir, incluye un sistema de trituración especial, ya que el diseño en las cuchillas van de 4 a 6 milímetros de grosor, esto con el fin de obtener un material final homogéneo (hojuelas) de un tamaño no mayor a 1,5 centímetros, también tiene un diseño especial en los ejes de forma hexagonal al igual que el orificio central de la cuchilla, para no tener inconvenientes de deslizamientos entre el eje y cuchillas de corte al momento de poner en marcha la máquina, una tolva con dimensiones adecuadas para el sistema de corte. Además, tendrá la capacidad de triturar plástico con código de identificación de resinas (PET código 1, LDPE código 4), para esto es necesario tener en cuenta algunos conocimientos que son esenciales para el desarrollo de este proyecto.

Una vez seleccionadas y ensambladas todas las piezas descritas en el apartado anterior se puede observar el acabado final que tuvo el prototipo (Ver Figura 2-29), observándose a detalle el tamaño y diseño final del mismo, cabe mencionar que para su elaboración se tuvieron en cuentas las partes y equipos de trituración, de acuerdo a las consideraciones del investigador, así como a la cantidad de material que se genera en las instalaciones de la UAN y del tamaño que se quiere de cada hojuela.

Para el diseño de la máquina, se tuvo en cuenta el eje debido a que esta pieza es el elemento más fundamental en el mecanismo de transmisión de potencia, la fabricación de este eje se realizó en acero AISI 4140 ya que este material es apto para esfuerzos de fatiga, torsión, alta resistencia y tenacidad (ver Anexo A). Para el eje porta cuchillas se desarrolla un bosquejo de cuerpo libre y se hallará las reacciones teniendo presente la fuerza de corte de las cuchillas (ver Ec. 9).

Una vez puesta en funcionamiento, se obtuvieron hojuelas de diferentes tamaños y formas, los cuales oscilaban entre 12 mm de largo y 5 mm de ancho, hojuela con 8 mm de largo y 4 mm de ancho, y hojuela de 10 mm de largo y 7 mm de ancho.

Con la información obtenida del proceso, posteriormente se puede obtener la cantidad de material utilizado, el rendimiento por día de la máquina, la cantidad de hojuelas obtenidas durante el día, mes y año; con el objetivo de evaluar su funcionamiento y sus beneficios a corto, mediano y largo plazo. Con base en lo anterior, se muestra la siguiente información general de los equipos.

## **1.1 Equipos de trituración**

Para iniciar a hablar de sobre estas máquinas de trituración es muy importante conocer algunas definiciones y funciones de estas.

### **1.1.1 ¿Que son las trituradoras?**

Estas máquinas trituradoras de plástico tienen un objetivo muy importante, uno de los principales objetivos es el reciclado de estos materiales plásticos y segundo para su almacenamiento y reutilización de dicho material triturado.

Todo tipo de máquina trituradora está diseñada para reducir grandes fragmentos de materiales plásticos o cualquier material mediante la trituración, sin tener que hacerlo manualmente o por otros procedimientos.

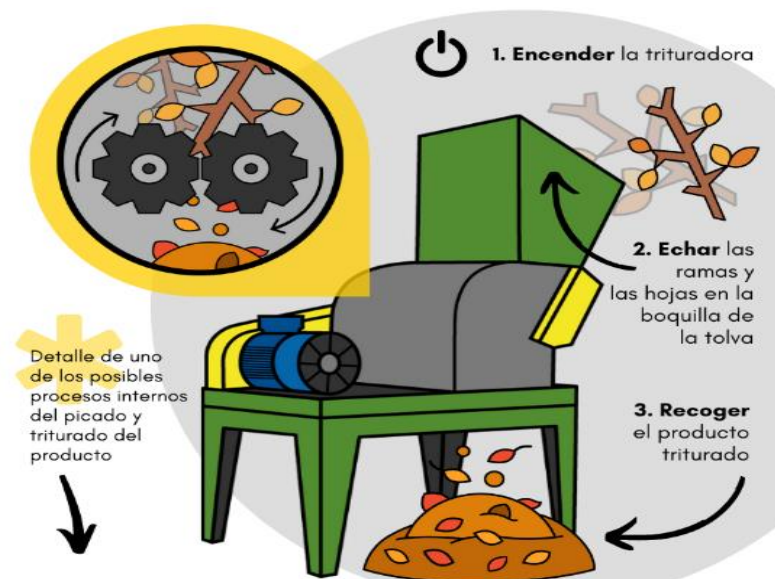
La automatización de estas máquinas y del trabajo de triturado hacen que sean muy eficientes y rápidas con este proceso, logrando que un solo trabajador pueda operar la máquina sin problema alguno y triturar grandes cantidades de residuos plásticos o de cualquier material en poco tiempo. (Martí, 2019).

### **1.1.2 ¿Funcionamiento de las maquinas trituradoras?**

El funcionamiento de este tipo de máquinas no requiere de una operación compleja, en el proceso de triturado, los residuos plásticos a triturar se acopian en la tolva principal de la trituradora y en un solo paso se activa el interruptor para que esta haga el trabajo requerido.

En ese sentido, se pueden hallar máquinas trituradoras de residuos plásticos diseñadas para el reciclaje y almacenamiento de estos residuos, algunas con especificaciones distintas dependiendo su finalidad de trabajo. Este material plástico es muy apetecido en grandes cantidades por las industrias fabricantes de estos componentes. Este tipo de industrias hace que sus usos continuos tengan como indispensables este tipo de máquinas trituradoras (Martí, 2019).

**Figura 1-1** Funcionamiento máquina trituradora



Fuente: (Calero, 2021)

### 1.1.3 Tipos de trituradoras

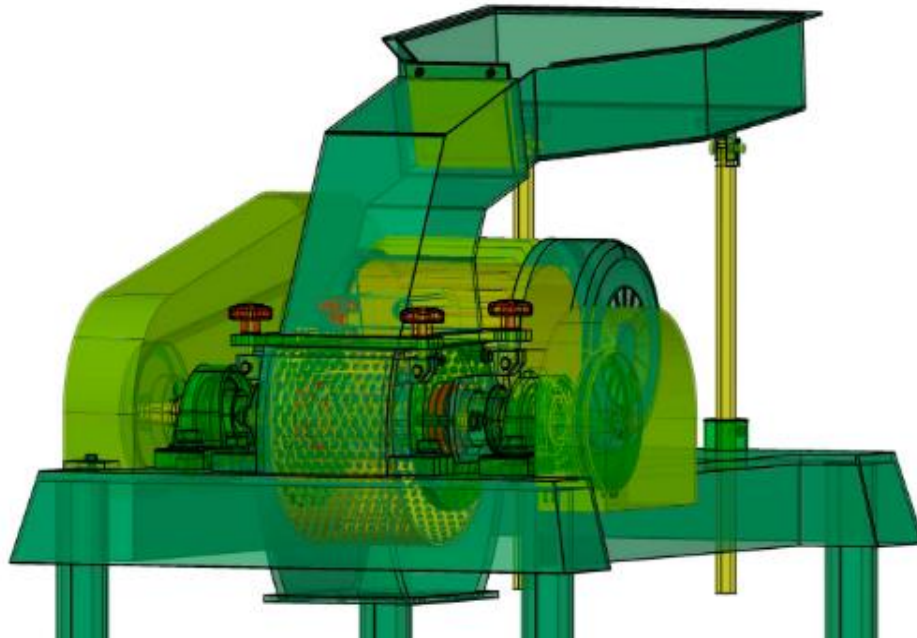
Existen varios tipos de trituradoras, también llamadas cortadoras o molinos; estas máquinas realizan el mismo trabajo, pero con diferentes tipos de elementos, estas manejan motores eléctricos con capacidades distintas que convierten su energía eléctrica en energía mecánica de rotación.

- **Molino triturador de martillo**

Estos tipos de molino triturador de martillo son muy apetecidos en las grandes industrias, el funcionamiento de estos lo hace un tipo de cuchilla-martillo, que trabaja modo golpe y fricción entre los dos materiales desintegrándolo. Este tipo de molino puede moler distintos materiales, dependiendo de su capacidad de motor.

Este material se introduce a la tolva del molino típicamente por gravedad, este material es golpeado por varios martillos que están sujetos a un eje que gira a una velocidad determinada dentro de la caja porta cuchillas, para luego obtener el material totalmente procesado y homogéneo (Maquinova).

**Figura 1-2** Molino triturador de martillos



Fuente: (Teodoro, 2018)

- **Molino de disco**

Estos tipos de molino el material a triturar es introducido a una tolva de alimentación normal como cualquier tipo de trituradora, este material cae entre dos discos, uno giratorio que trabaja a altas velocidades y el otro fijo, haciendo que la fricción y la presión triture el material. Este tipo de molino poseen dientes continuos en los discos tanto en el giratorio como en el fijo, esto con el fin de primero partir el material por medio de presión entre los dos discos antes de realizar la trituración. El material obtenido llega a una rejilla de paso y finalmente a su depósito final (RETSCH, 2021).

**Figura 1-3** Molino de disco

Fuente: (Importadores)

- **Molino triturador de cuchillas**

Estos tipos de molinos poseen cuchillas que reducen el tamaño de diferentes materiales. El funcionamiento de este molino triturador de cuchillas es igual a los anteriores con la simple diferencia que este posee cuchillas fijas en un eje central donde muele el material a procesar.

Ese impacto que ejerce la cuchilla con los materiales, es realizado en la caja de trituración, este tipo de triturador restringe el camino del material a triturar las veces que sea necesario hasta que la cadena de impactos reduce el material y pueda pasar por la rejilla metálica con el tamaño requerido. (Teodoro, Molino de cuchillas , 2016).

**Figura 1-4** Molino triturador de cuchillas

Fuente: (Ortiz, 2013)

- **Trituradoras de martillos**

Estas trituradoras tienen un trabajo similar a los molinos trituradores. Los trituradores de martillos son muy utilizados en canteras de procesamiento de material para construcción, pueden procesar materiales duros y frágiles; su trituración o desintegración de material es por efecto de impacto que ejerce los martillos, (Ver Figura 1-5) donde se aprecia que tiene orificio de entrada de material en la parte superior y por medio de gravedad cae a la cámara de desintegración donde es golpeado por los martillos para su trituración y este procedimiento es repetido varias veces hasta obtener el tamaño deseado y así pasar por la rejilla de descarga (Miranda, 2014).

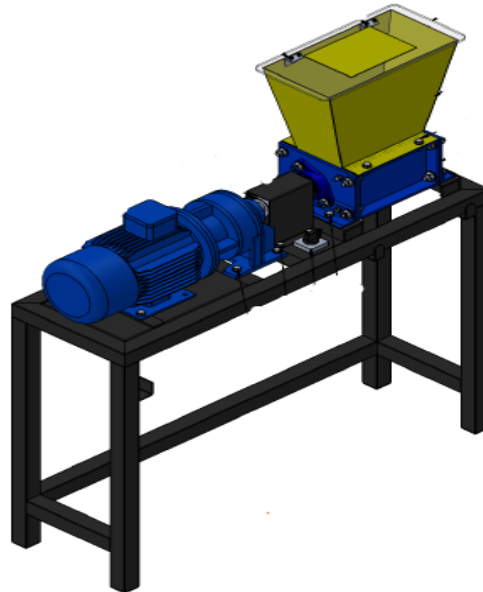
**Figura 1-5** Triturador de martillos



Fuente: (Miranda, 2014)

- **Trituradoras de cuchillas**

Las trituradoras de cuchillas son ampliamente utilizadas en las industrias del plástico, estas poseen cuchillas de formas y tamaños distintos, están constituidas de un eje, dos ejes y en su defecto de cuatro ejes dependiendo del trabajo a realizar. El material es ingresado por una tolva como se muestra en la (Figura 1-6) y cae a la caja de cuchillas donde previamente es atrapado y triturado, obteniendo un material final tipo hojuelas.

**Figura 1-6** Trituradora de cuchillas

Fuente: Autor

## 1.2 Plásticos

Los polímeros es un material el cual se puede obtener infinidad de usos. Las propiedades de estos materiales plásticos admiten ser moldeados en numerosas formas, con los cuales se puede producir billones de productos. Este polímero ha sustituido a infinidad de materiales esto por sus excelentes propiedades, en especial porqué es un material muy liviano. La mayor parte de la fabricación de estos polímeros requiere de recursos no renovables en especial el petróleo (Maldonado, 2012) y se calcula que un gran porcentaje de producción de petróleo se utiliza para la fabricación de estos productos plásticos. El plástico es un material que posee una gran durabilidad y se estima que tarda más de 500 años en desaparecer de la naturaleza (Credinform, 2020).

Existen tres grupos en los que se clasifican los plásticos:

- **Termoplásticos**

Los termoplásticos son plástico que se puede derretir a altas temperaturas, lo que permite que se le pueda dar diferentes formas. Este material al momento de aplicarle calor se funde y al enfriarse se endurece. Esta capacidad que tienen estos polímeros es de gran ayuda para la cuestión del reciclaje, ya que una vez moldeados o calentados

pueden volver a pasar por ese tratamiento y así poder darle distintas más formas; pero si este proceso se repite muchas veces sus propiedades físicas cambiarían drásticamente, reduciendo la posibilidad de volverlos a utilizar (Maquinaria, 2020).

- **Termoestables**

Estos termoestables son muy rígidos y muy resistentes calor, cuando se moldean y son enfriados con la forma requerida no pueden ser moldeados nuevamente. Estos termoestables no son muy comunes para la cuestión del reciclaje debido que al momento de ser fundidos se pierden las propiedades de este y cuando se aumenta la temperatura a este material no se derrite, si no que se carbonizan (Maldonado, 2012).

- **Elastómeros**

Esta clase de polímeros muestra una estructura elástica debido a que su composición química carece de la presencia de elementos metálicos. De hecho, su nombre se desprende del término “polímero elástico”. En cuanto a su composición, los elastómeros se hallan conformados por extensas cadenas de monómeros, lo que explica el comportamiento elástico que éstos pueden tener (Flowtrend, 2020).

**Figura 1-7 Plástico**



Fuente: (Credinform, 2020)

### **1.2.1 Definición de los plásticos**

Los plásticos es una palabra que abarca una gran variedad de materiales semisintéticos o sintéticos que son utilizados para gran variedad de aplicaciones, son materiales orgánicos y para su producción se requiere materia prima, donde son productos naturales no renovables como el carbón, petróleo, celulosa, etc. Este término plástico significa plasticidad, maleabilidad y durante la fabricación de estos productos, estos



permiten ser prensados y fundidos entre otras; esto para obtener variedad de formas (Santana, 2017).

### **1.2.2 Propiedades del plástico**

Las propiedades del plástico van desde su baja densidad, impermeabilidad, resistente a la corrosión, aislantes acústicos y térmicos y una de las principales causas que hacen que el plástico sea uno de los materiales más requeridos por las industrias es su costo de productividad (Borbon, 2012).

- **Propiedades físicas**

Estas propiedades hacen referencia respecto a fenómenos físicos que de una u otra manera perjudican al material, como la temperatura (Borbon, 2012).

- Densidad: Relación que hay entre el peso (masa) de una sustancia y el volumen que ocupa esta misma.
- Conductividad térmica: Es la capacidad del material para dejar fluir de manera fácil el calor.
- Dilatación térmica: Es el aumento de longitud o alguna otra dimensión que sufren los materiales debido al aumento de temperatura o la reducción al disminuir la temperatura (Borbon, 2012).

- **Propiedades mecánicas**

Estas propiedades mecánicas son los tipos de esfuerzo a los cuales son sometidos los materiales; un claro ejemplo es el alargamiento de un material el cual puede quedarse en su zona elástica, ósea, que puede volver a su forma o su zona plástica la cual ya es permanente llegando al caso de falla. (Borbon, 2012).

- Plasticidad: Es la capacidad que tiene el material para deformarse sencillamente.
- Resistencia a la tracción: es el esfuerzo máximo que tiene un material antes de romperse (Borbon, 2012).

**Tabla 1-2** Propiedades físicas de los plásticos

PROPIEDADES FÍSICAS	MECÁNICAS	Elasticidad	Propiedad para deformarse bajo la acción de una fuerza y volver a su forma original cuando desaparezca la fuerza aplicada.
		Plasticidad	Propiedad para deformarse después de haber actuado sobre él una fuerza, o sea no vuelve a su forma original al desaparecer la fuerza aplicada
		Rigidez	Se refiere a la rotura o fractura. Se distinguen resistencia a la tracción, a la presión, a la flexión, al corte o cizalladura y a la torsión.
		Dureza	Resistencia que opone a la penetración en él de otro objeto
		Fragilidad	Propiedad de un material que se rompe sin variar su forma.
		Tenacidad	Propiedad inversa de la fragilidad. Los materiales tenaces presentan considerables deformaciones plásticas bajo la acción de una fuerza antes de llegar a romperse.
	TÉRMICAS	Punto de fusión	Temperatura a la que el cuerpo sólido se convierte en líquido.
		Punto de ebullición	Temperatura a la que el cuerpo líquido se convierte en gaseoso.
		Dilatación térmica	Es el incremento de volumen al aumentar la temperatura. En los cuerpos sólidos se suele emplear también el coeficiente de la dilatación lineal.
		Capacidad calorífica	Cantidad de calor necesaria para calentar un material. Si se refiere a la unidad de masa se denomina CALOR ESPECÍFICO.
		Conductividad térmica	Propiedad de un material de conducir el calor a su través.
	ELÉCTRICAS	Conductividad eléctrica	Propiedad por la que conduce la corriente eléctrica
		Resistencia a las corrientes de fugas	Resistencia que presentan los materiales aislantes a las corrientes que circulan por la superficie del objeto.
	MAGNÉTICAS	Permeabilidad	Capacidad que tiene un material de permitirle a un flujo que lo atraviese sin alterar su estructura interna. Se afirma que un material es permeable si deja pasar a través de él una cantidad apreciable de fluido en un tiempo dado, e impermeable si la cantidad de fluido es despreciable
		Magnetismo residual	Nivel de inducción magnética aun existente en una sustancia ferromagnética después de someterla a la acción de un campo magnético. Es decir dicha propiedad en los plásticos es muy baja.
	ÓPTICAS	Color	si se añaden pigmentos a la composición, se pierde la claridad, el material se vuelve translucido en vez de transparente, pudiendo reducirse la transmisión luminosa hasta un punto de total opacidad. En una clase típica de material translucido blanco, la transmisión de la luz visible puede variar desde un valor tan elevado como el 80% a uno tan bajo como el 4%.
		Brillo	Capacidad de un plástico de reflejar la luz.
		Transparencia	Material presenta transparencia cuando deja pasar fácilmente la luz. La transparencia es una propiedad óptica de la materia, que tiene diversos grados y propiedades. Se dice, en cambio, que un material es translúcido cuando deja pasar la luz de manera que las formas se hacen irreconocibles, lo contrario que es opaco, es cuando no deja pasar de manera apreciable la luz.

Fuente: (MIGUEL, 2013)

## 1.2.3 Códigos de identificación de los plásticos

En los plásticos existe un símbolo estándar a nivel mundial para la identificación de cada envase, este símbolo es un triángulo redondeado con flechas sucesivas con numeración que va del 1 a 7 (Ver Figura 1.8)

**Figura 1-8** Códigos de identificación de resinas de plástico



Fuente: (reciclajesavi, 2015)

## 1.2.4 Usos y aplicaciones del plástico

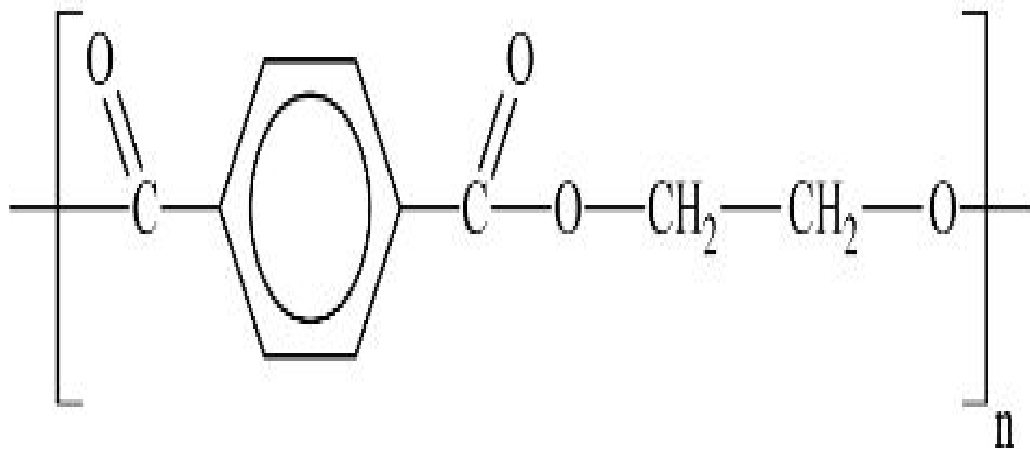
Actualmente el plástico está siendo utilizado en la vida cotidiana, siendo utilizado en gran parte por las industrias sustituyendo otros materiales. El plástico esta por todos lados, este material se ha vuelto tan importante que ha sustituido partes de la industria automotriz, electrodomésticos, construcción, lavadoras, refrigeradores, tecnología, empaques y no muy lejano está entrando en diferentes industrias, etc. Como se puede observar el tema del plástico está creciendo cada día más, y ya es común ver como el plástico reemplaza diferentes tipos de piezas que están creadas con otro tipo de material (MIGUEL, 2013).

## 1.3 (PET) Tereftalato de polietileno

### 1.3.1 ¿Definición PET?

Este tipo de plástico PET, es un polímero plástico que se usa en las grandes industrias para la fabricación de gran variedad de botellas plásticas y mercado textil. El PET es un material que es obtenido a partir del etileno y el paraxileno por medio de un proceso de polimerización. Es caracterizado por sus excelentes propiedades, por ejemplo: liviano, resistencia a la corrosión, plasticidad, elasticidad entre otras (CIBR, 2019).

Figura 1-9 Estructura química del PET



Fuente: (Arapack, 2018)

### **1.3.2 Propiedades del Pet**

Algunas características del Pet es su alta pureza, su tenacidad y alta resistencia. El Pet tiene propiedades químicas y de transparencia. Cuando hablamos de la variedad del PET los cuales son diferenciados por su peso; podemos afirmar que los de menor peso molecular se les da el nombre de grado fibra, los de peso medio grado película y finalmente los de mayor peso molecular grado ingeniería. En consecuencia, este polímero es bastante resistente al calor, absorbe poca cantidad de agua y no es afectado por el medio ambiente con facilidad (MIGUEL, 2013).

Algunas propiedades son:

- Idóneo para producir botellas, láminas, planchas y piezas.
- Transparencia.
- Excelente resistencia al desgaste.
- Muy buen factor de deslizamiento.
- Buena resistencia química y térmica.
- Barrera a CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub> y humedad.
- Notables propiedades mecánicas.
- Cristalizable.
- Excelente relación costo / performance.
- Material muy Liviano.

Fuente: Propiedades PET (MIGUEL, 2013).

### **1.3.3 Aplicaciones del Pet**

El PET tiene una diversidad de aplicaciones entre estas las asociadas al sector industrial como los son los envases resistentes a temperaturas en medios ácidos y las carcasas para motores, el PET con peso molecular grado medio generalmente se utiliza en la elaboración de envases líquidos, bebidas carbonatadas, lociones, champús, polvos, talcos, fármacos, aceites, productos capilares, etc. Por eso este material es bastante apreciado por los laboratorios farmacéuticos e industrias alimentarias ya que este material posee infinidad de aplicaciones apetecido por sus buenas propiedades (Arapack, 2018).

## 1.4 Reciclaje

Reciclar se ha vuelto una de las cosas más importantes y beneficiosas para el planeta debido al daño masivo que hacen distintos productos contaminantes. Hoy en día uno de los componentes más reciclados es el plástico, ya que el uso de este polímero actualmente se encuentra en pleno crecimiento puesto que la demanda de estos está aumentando cada día.

Este material se ha vuelto complejo debido a que su productividad va más rápido que su reciclaje, además de ser económico es fácil de elaborar siendo creado para tener una vida de utilidad bastante corta, pero con una durabilidad muy alta, para lograr esto se utiliza como materia prima el petróleo y químicos tóxicos. Por esto es que se convierte en un factor de contaminación que amenaza la vida en este planeta; su degradación suele tardar años y con frecuencia este no es reciclado lo que hace que termine en botaderos, campos abiertos, ríos y mares (Santana, 2017).

### 1.4.1 ¿Qué es el reciclaje?

Reciclar es tratar un material o producto desechable ya previamente usado y con el darle un nuevo uso a este material, transformándolo en un nuevo producto u obtener nueva materia prima. Reciclar es conseguir materias primas con la reutilización de estos desechos plásticos (MIGUEL, 2013).

### 1.4.2 Procesos de reciclaje

Existen dos maneras de aprovechar estos envases plásticos pos consumo una vez que termine su vida útil mediante dos procesos que definiré a continuación:

- **Reciclado mecánico**

El reciclado mecánico tiene seis fases: recoger el material, clasificación de material, triturado del material, lavado del material, centrifugado-secado y extrusionado.

- **Recogida de material:** esta primera fase consiste en recoger todo tipo de envases plástico en vertederos, depósitos, o través de contenedores públicos y así llevarlos a una planta de reciclaje adecuada para proceder al siguiente paso.

- **Clasificación del material:** en este paso se clasifican los envases según sus códigos de resina que van identificados del 1 al 7.
- **Triturado del material:** en esta fase es introducido el material a una máquina trituradora con el fin de obtener trozos pequeños tipo hojuela.
- **Lavado del material:** una vez se tritura el material es completamente lavado, el objetivo de este lavado es principalmente su limpieza y separación de partículas no plásticas.
- **Centrifugado y secado:** en este paso el material previamente lavado pasa por un proceso de secado hasta eliminar el agua y así tener un producto limpio y seco.
- **Extrusionado:** en esta fase el material es sometido a un proceso industrial mecánico, en donde se le dará una nueva forma.

**Figura 1-10** Proceso de reciclado mecánico



Fuente: (Medrano, 2015)

### • **Reciclado químico**

En este proceso de reciclado químico lo que hacen es que mediante un procedimiento se rompen las moléculas de los polímeros y así darle inicio con nuevos componentes básicos y así poder fabricar una nueva. Este reciclado químico lo inicio las industrias

petroquímicas con el fin de poder optimizar recursos y darles recuperación a otros residuos.

En el reciclado químico existen los siguientes procesos:

- **Pirólisis:** es la ruptura o descomposición de un compuesto químico por medio del calor, en este proceso de reciclado químico la obtención de los resultados de pirólisis es diferente según las condiciones de la reacción, aquí hacemos mención a la presión y la temperatura.
- **Hidrogenación:** es una reacción química cuyo resultado es una adición de hidrogeno a un compuesto químico, esto con el fin de romper las cadenas de los polímeros y convertirlo en un petróleo sintético para utilizarlos en plantas químicas.
- **Gasificación:** en este proceso los plásticos son calentados con oxígeno o aire, obteniendo CO (Monóxido de carbono) e H (Hidrogeno).
- **Metanólisis:** este reciclaje es un poco avanzado y se hace aplicándolo metanol (CH<sub>3</sub>OH) al polímero, esto para descomponerlo en moléculas básicas, para luego ser repolimerizados para producir resina virgen (MIGUEL, 2013).

**Figure 1-11** Reciclado químico



Fuente: (PRIETO, 2020)

### 1.4.3 Fundamentos de reciclaje

Para efectuar el reciclaje se utilizan como materias primas el papel, aluminio, vidrio y plástico los cuales se transforman en nuevos materiales cuando acabe su vida útil (Conciencia, 2012).

Este proceso se hace en el marco de políticas que controlan la producción de desechos:

- **REDUCIR** es uno de los principios más importantes ya que se de esta manera se inspecciona la producción innecesaria de desechos que en ultimas se convierten en un problema ambiental.
- **REUTILIZAR** se convierte en una manera de valorar tanto el trabajo humano como todos los materiales que extraemos de la naturaleza, el reutilizar permite cambiar la finalidad del producto para ser utilizado con otro objeto en lugar de destruirlo y reprocesarlo.
- **RECICLAR** aunque es un procedimiento que requiere un gasto de energía en el transporte, clasificación y procesamiento tiene como finalidad el aprovechamiento de residuos que no son reutilizados y que su vida útil haya acabado del todo(Ecología, 2018).

**Figura 1-12** Fundamentos del reciclaje 3R



Fuente: (Villarruel, 2020)



## **2. Desarrollo metodológico**

En este capítulo presento las etapas en las que se desarrolla el proyecto abarcando diseño y construcción de un prototipo de maquina trituradora de envases plasticos pos consumo.

### **2.1 Diseño del mecanismo de la trituradora de envases plásticos pos consumo**

Para la elaboración del diseño de la máquina trituradora de envases plástico pos consumo, se tuvo en cuenta funcionalidad y accesorios de máquinas similares para su construcción, en base lo anterior se tomó como una de las principales bases para su diseño los proyectos “Diseño de una máquina trituradora de botellas plásticas” (Paul, 2020), “Diseño y construccion de un prototipo industrial de una máquina trituradora de plástico” (Santana, 2017) y “Diseño y construccion de un equipo triturador de botellas plásticas tipo PET” (MIGUEL, 2013) mencionado lo anterior se lleva a cabo el diseño de elementos en un programa CAD, para este caso se utilizó el programa de diseño SolidWorks.

Se diseñan elementos tales como estructura de soporte, cuchillas de trituración, cuchillas fijas, eje porta cuchillas, tolva de alimentación, tapa de cubierta, caja de trituración, rejilla, separadores, chumaceras, motor, motor reductor e interruptor de doble polaridad, para luego ser ensamblados y obtener el diseño final.

A continuación, se mostrará el diseño de cada componente de la máquina trituradora de envases plástico pos consumo.

### 2.1.1 Potencia motor

$$\triangleright P = 2.27 * (e)^2 * \sigma_{Rpet}$$

$$P = 2.27 * (0.476 \text{ cm})^2 * 815 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}$$

$$P = 419.1 \text{ Kg}$$

El cálculo anterior es el inicio para determinar la potencia requerida del motor lo cual es un indicativo para conocer la cantidad de fuerza que este tiene y la cantidad de material que se puede añadir para que no se fuerce la maquina al momento de su manipulación.

$$P_{corte} = Fs * P$$

$$P_{corte} = 1.15 * 419.1 \text{ Kg}$$

$$P_{corte} = 481.9 \text{ Kg}$$

$$\triangleright T_{motor} = P_{corte} * r_{corte}$$

$$T_{motor} = 481.9 \text{ Kg} * 50 \text{ mm}$$

$$T_{motor} = 24095 \text{ Kg/mm}$$

$$T_{motor} = 236.29 \text{ Nm}$$

$$\triangleright P_{req} = \frac{T_{motor} * WFC}{9550}$$

$$P_{req} = \frac{236.29 * 60 \text{ rpm}}{9550}$$

$$P_{req} = 1.48 \text{ Kw}$$

$$P_{req} = 1.9847 \text{ Hp} \cong 2 \text{ H}$$

El cálculo anterior muestra que los caballos de fuerza que tendrá la maquina es de 2 HP, dicho en otras palabras, es la cantidad de potencia necesaria para el trabajo que realiza el prototipo.

### 2.1.2 Cálculo volumen de la tolva

$$Vol_{Tolva} = Volumen_1 + Volumen_2$$

$$\triangleright Vol_1 = l * a * h$$

$$Vol_1 = 0.35 * 0.18 * 0.26$$

$$Vol_1 = 0.01638 m^3$$

$$\triangleright Vol_2 = \frac{l*a*h}{3}$$

$$Vol_2 = \frac{0.22*0.12*0.26}{3}$$

$$Vol_2 = 0.002288 m^3$$

$$\triangleright Vol_{Tolva} = Volumen_1 + Volumen_2$$

$$Vol_{Tolva} = 0.01638 m^3 + 0.002288 m^3$$

$$Vol_{Tolva} = 0.018668 m^3$$

El volumen que tendrá la tolva de ingreso de material es de 0,018668m3 siendo esto la cantidad de espacio que ocupa el material en la máquina, y por el cual esta tendrá un mejor funcionamiento sin ser forzada.

### 2.1.3 Fuerza de corte

$$\triangleright \varphi = \text{Tan}^{-1} \left( \frac{\cos Y_0}{\frac{h_c}{f} - \text{sen}(Y_0)} \right)$$

$$\varphi = \text{Tan}^{-1} \left( \frac{\cos(15)}{\frac{4}{3.5} - \text{sen}(15)} \right)$$

$$\varphi = 47.53^\circ$$

$$\triangleright F_w = c * b * f \left[ \frac{\cos(2\varphi - Y_0)}{\sqrt{3} * \text{sen}^2 \varphi} \left( \frac{\cos Y_0}{\sqrt{3} * \text{sen} \varphi * \cos(\varphi - Y_0)} \right)^n \right]$$

$$F_w = 72 * 4.76 * 3.5 \left[ \frac{\cos(2(47.53 - 15))}{\sqrt{3} * \text{sen}^2(47.53)} \left( \frac{\cos(15)}{\sqrt{3} * \text{sen}(47.53) * \cos(47.53 - 15)} \right)^{0.346} \right]$$

$$F_w = 119.66 \text{ N}$$

$$F_c = \frac{c * b * f}{n+1} \left[ \left( \frac{\cos Y_0}{\sqrt{3} * \text{sen} \varphi * \cos(\varphi - Y_0)} \right)^{n+1} + \frac{F_w * \text{sen} \varphi}{\cos(\varphi - Y_0)} \right]$$

$$F_c = \frac{72 * 4.76 * 3.5}{0.346+1} \left[ \left( \frac{\cos(15)}{\sqrt{3} * \text{sen}(47.53) * \cos(47.53 - 15)} \right)^{0.346+1} + \frac{119.6 * \text{sen}(47.53)}{\cos(47.53 - 15)} \right]$$

$$F_c = 874.73 \text{ N}$$

En los cálculos anteriores muestra el paso a paso para poder hallar la fuerza de corte que tendrá cada cuchilla del prototipo, inicialmente hallando el ángulo de corte y la fuerza de fricción del material, los cual es determinante para el desarrollo de la maquina trituradora.

### 2.1.4 Velocidad angular de las cuchillas

$$W = \frac{Rev}{min} * \frac{1 min}{60 seg} * \frac{2\pi rad}{Rev}$$

$$w = 1150 \frac{Rev}{min} * \frac{1 min}{60 seg} * \frac{2\pi rad}{Rev}$$

$$W = 120.42 \frac{rad}{s}$$

El cálculo anterior muestra la velocidad angular de las cuchillas, siendo su velocidad de  $120.42 \frac{rad}{s}$ .

### 2.1.5 Eje porta cuchillas

Fuente: Autor

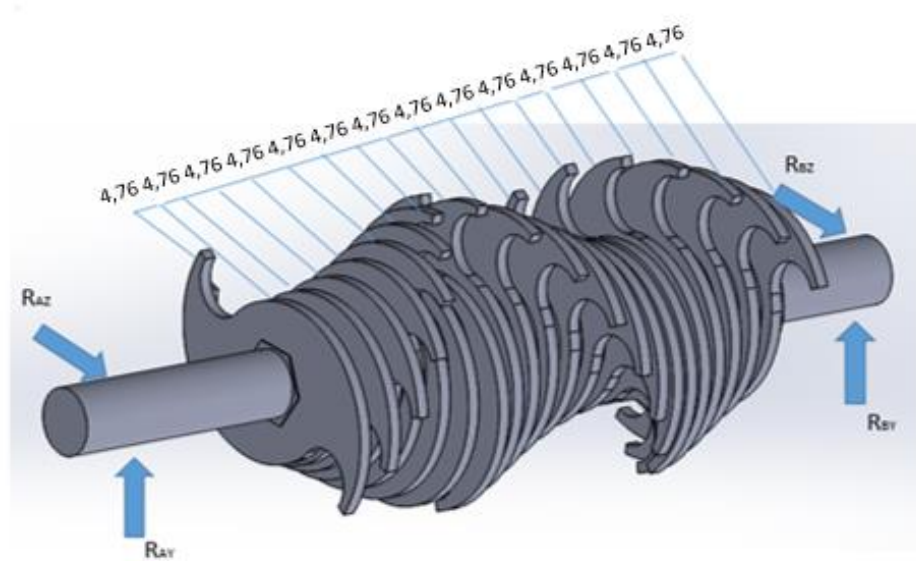


Figura 2-1 Diagrama de cuerpo libre

$$\sum Fy = R_{AY} + R_{BY} = 0$$

$$R_{AY} = R_{BY}$$

$$\sum Fz = R_{AZ} - F_1 - F_2 - F_3 - F_4 - F_5 - F_6 - F_7 - F_8 - F_9 - \dots \dots F_{21} + R_{BZ} = 0$$

$$F_1 = F_2 = F_3 = F_4 = F_5 = F_6 = F_7 = F_8 = F_9 = \dots \dots F_{21}$$

$$R_{AZ} + R_{BZ} - 21 (F_1) = 0$$

$$R_{AZ} + R_{BZ} - 21 (874.73 N) = 0$$

$$R_{AZ} + R_{BZ} = 18369 N$$

$$\sum M_{AY} = F_1(L_1) + F_2(L_2) + F_3(L_3) + F_4(L_4) + F_5(L_5) + F_6(L_1) + \dots \dots - R_{BZ}(L_T) = 0$$

$$F_1(L_1+L_2 + L_3 + L_4+L_5 + L_6 + L_7 + L_8 + L_9+L_{10}+L_{11} + \dots \dots L_{21}) = R_{BZ}(L_T)$$

$$(874.73 N)(12.38 + 21.9 + 31.42 + 40.94 + 50.46 + 59.98 + 69.5 + \dots \dots) = R_{BZ}(227.3)$$

$$R_{BZ} = \frac{(874.73 N)(2644.94)}{227.3}$$

$$R_{BZ} = 10178.65 N$$

$$R_{AZ} = 18369 N - R_{BZ}$$

$$R_{AZ} = 18369 N - 10178.65 N$$

$$R_{AZ} = 8190.35 N$$

Se puede observar en el cálculo anterior las reacciones que tiene los rodamientos en el eje porta cuchillas con respecto a la fuerza de corte de las cuchillas (Ver Anexo F) para apreciar el procedimiento.

A continuación, se calcula el diámetro mínimo requerido para un eje sometido a torsión continua y a flexión por rotación.

$$D = \left[ \frac{32 * N}{\pi} * \sqrt{\left(\frac{k_t * M}{S'_n}\right)^2 + \frac{3}{4} \left(\frac{T}{S_y}\right)^2} \right]^{\frac{1}{3}} \quad (\text{Ec. 1})$$

Donde:

D: Diámetro mínimo requerido

N: Factor de diseño

$k_t$ : Factor de concentración de esfuerzos

M: Momento flexionante combinado

$S'_n$ : Resistencia a la fatiga

T: Par torsional

$S_y$ : Resistencia de fluencia

(Robert\_L\_Mott)

Los siguientes datos se obtienen y se desarrollan mediante del libro de Robert L. Mott 4ta edición (Robert\_L\_Mott). (ver Anexo H Factor de diseño).

$$D = \left[ \frac{32 * N}{\pi} * \sqrt{\left( \frac{k_t * M}{S'_n} \right)^2 + \frac{3}{4} \left( \frac{T}{S_y} \right)^2} \right]^{\frac{1}{3}}$$

$$D = \left[ \frac{32 * 2}{\pi} * \sqrt{\left( \frac{1.3 * 865}{1108.6} \right)^2 + \frac{3}{4} \left( \frac{236.29}{1050} \right)^2} \right]^{\frac{1}{3}}$$

$$D = 0.02760 \text{ m}$$

$$D = 27.6 \text{ mm}$$

En el presente proyecto se construyó un eje con un diámetro de  $(1\frac{1}{8})$  pulgadas o 28.58 mm superior al diámetro mínimo requerido para un eje sometido a torsión continua y a flexión por rotación.

Fuente: (Robert\_L\_Mott)

A-6

Apéndices

APÉNDICE 3 PROPIEDADES DE DISEÑO PARA LOS ACEROS AL CARBÓN Y ALEADOS

Designación del material (Número AISI)	Condición	$S_u$ Resistencia a la tensión		$S_y$ Resistencia de fluencia		Ductilidad (porcentaje de elongación en 2 pulgadas)	Dureza Brinell (HB)
		(ksi)	(MPa)	(ksi)	(MPa)		
4140	Recocido	95	655	60	414	26	197
4140	OQT 1300	117	807	100	690	23	235
4140	OQT 1000	168	1160	152	1050	17	341
4140	OQT 700	231	1590	212	1460	13	461
4140	OQT 400	290	2000	251	1730	11	578

Figura 2-2 Propiedades de diseño acero carbono aleado

En la figura anterior se muestran las propiedades a tener en cuenta para un diseño que se construirá en acero al carbón y aleados, siendo esto obtenido a través de la revisión bibliográfica, en donde se puede observar la designación del material, condición, ( $S_u$ ) resistencia a la tensión, ( $S_y$ ) resistencia a la fluencia y dureza de los elementos.

Fuente: (Robert\_L\_Mott)

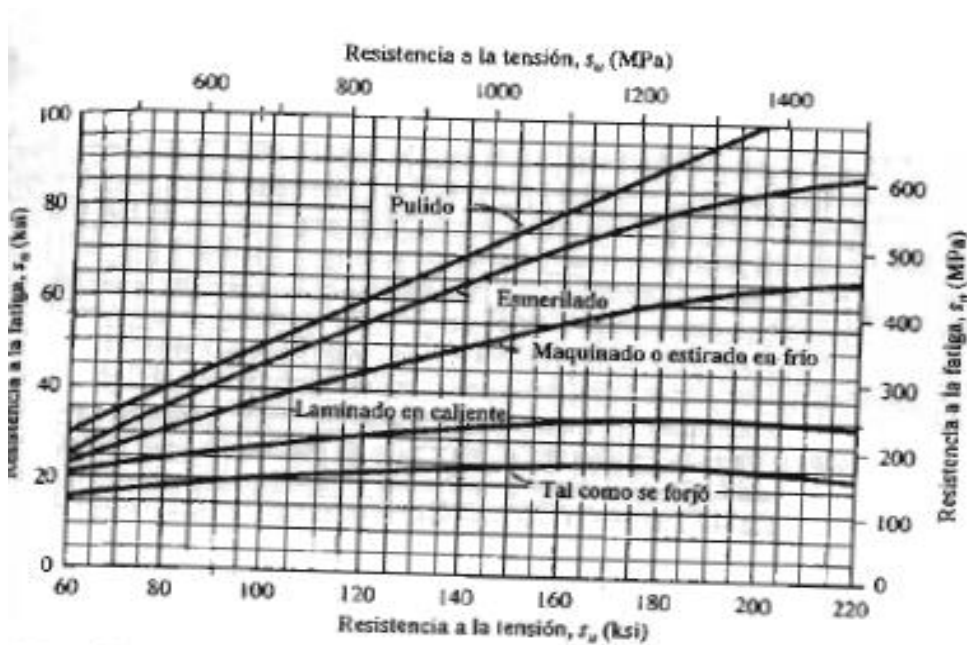


Figura 2-3  $S_n$  Resistencia a la fatiga



Se puede observar en la figura anterior, las grafica donde se halla en valor de resistencia a la fatiga teniendo en cuenta el valor de resistencia a tensión del material del eje (Ver Anexo A) donde se observa las propiedades del acero AISI SAE 4140.

### 2.1.6 Simulación ANSYS

En las muestras obtenidas para un eje con diámetro  $1\frac{1}{8}$  de pulgada, se obtuvo que la máxima deformación se da en el centro del eje, parte roja como se muestra en la (figura 2-4); con una deformación máxima de 0.0043685 mm observando que la deformación es mínima para el trabajo que realiza, así mismo se observa que entre más se alejan del centro del eje la deformación es mucho más baja como podemos observar en la escala de colores que indican que disminuye esta deformación en ese sentido.

Fuente: Autor

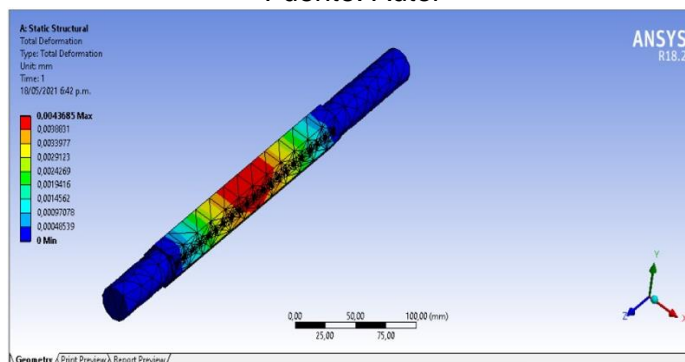


Figura 2-4 Deformación máxima del eje

En la figura 2-5 se observa la teoría de falla de Von Mises donde se evidencian las tensiones principales y la deformación y la tensión que se origina en el eje son muy mínimas, la cual el material no alcanza a deformarse lo que quiere decir que no alcanza la zona plástica, permaneciendo en su zona elástica.

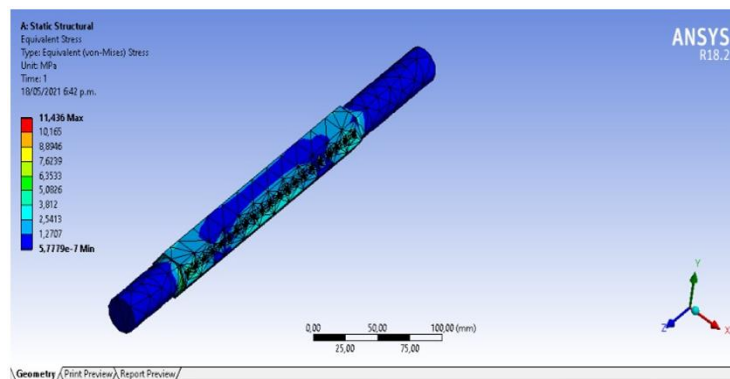
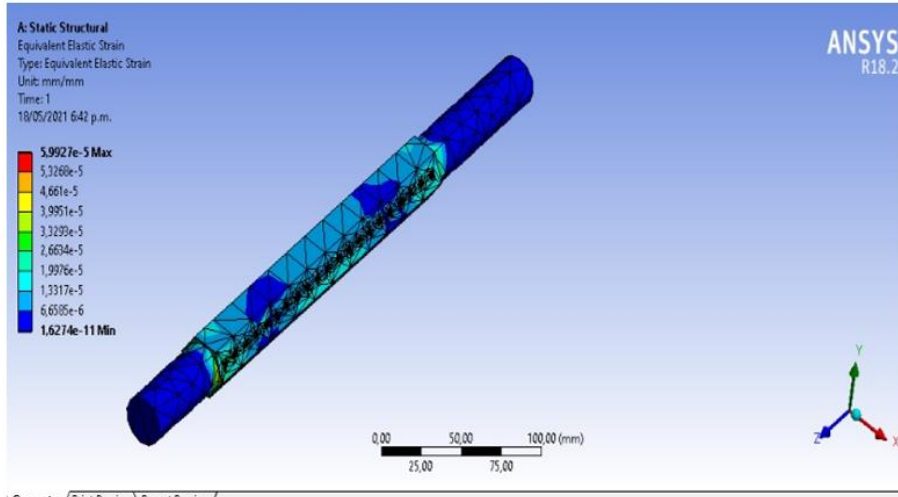


Figura 2-5 Esfuerzos de Von Mises

La figura 2-6 nos muestra la deformación elástica del eje, esta deformación va de la mano con los esfuerzos de Von Mises quiere decir que no alcanza a deformarse considerablemente.

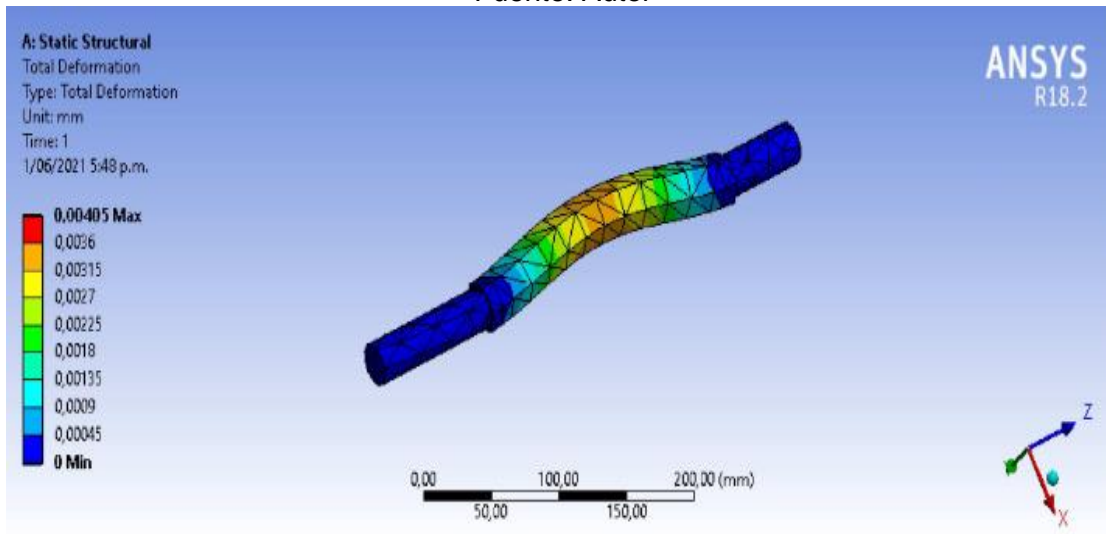
Fuente: Autor



**Figura 2-6** Deformación elástica

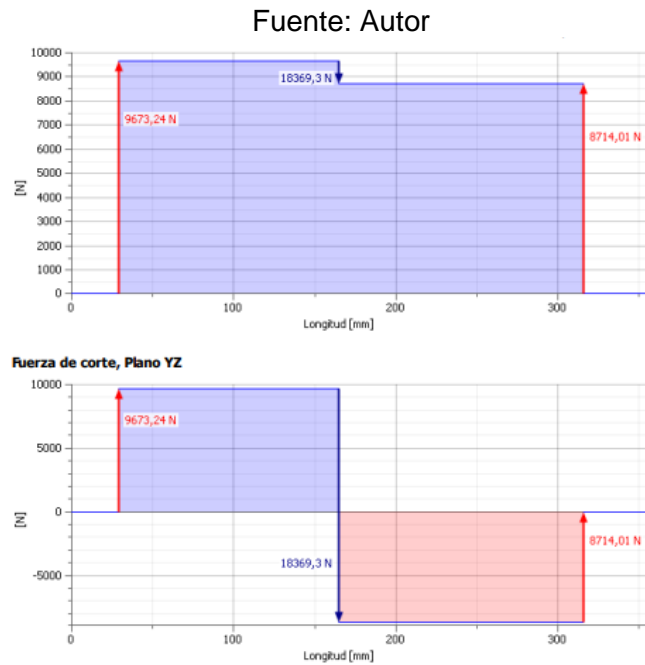
En la figura 2-7 se muestra el análisis de fatiga con un valor máximo de 0.00405 mm, evidenciándose que la zona del centro del eje tiene el punto más alto de fatiga, estos esfuerzos varían con frecuencia en particular en este caso ya que el eje esta en rotación continua y este está sometido a cargas flexionante experimentando tensión y compresión por cada vuelta que de el eje.

Fuente: Autor



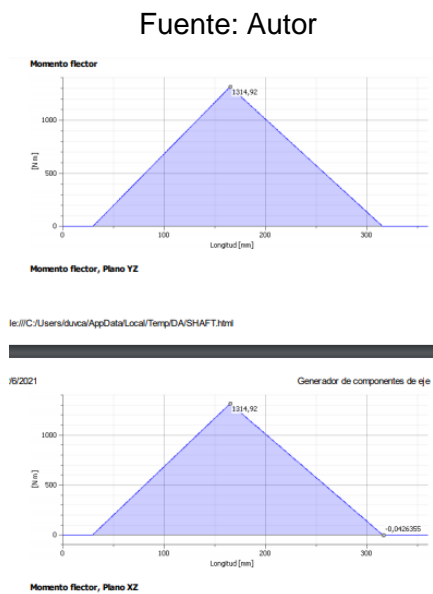
**Figura 2-7** Análisis de Fatiga

En la figura 2-8 podemos ver el diagrama de esfuerzo cortante el cual sirve para identificar las fuerzas internas que se generan en el eje para equilibrar las fuerzas aplicadas y garantizar su equilibrio en todas partes.



**Figura 2-8** Diagrama esfuerzo cortante

En la figura 2-9 se observa el momento flector, este se genera al aplicar una fuerza en un mismo lado de la sección del eje, donde su punto crítico es el centro del eje por la fuerza y rotación constante de las cuchillas.

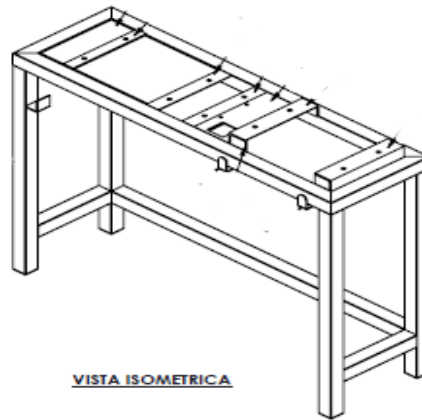


**Figura 2-9** Momento flector

### 2.1.7 Diseño en programa (CAD)

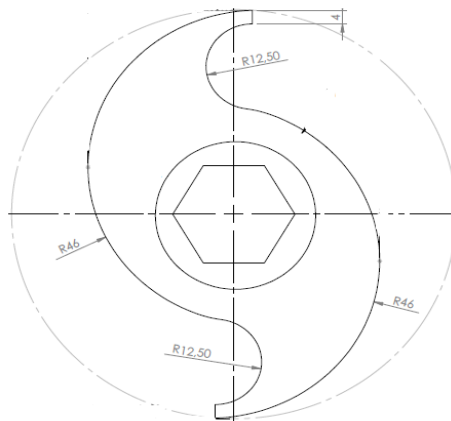
Las figuras que se muestran a continuación corresponden al diseño de cada componente que se realizó de la trituradora de envases plásticos, teniendo como base los proyectos “Diseño de una máquina trituradora de botellas plásticas” (Paul, 2020), “Diseño y construcción de un prototipo industrial de una máquina trituradora de plástico” (Santana, 2017) y “Diseño y construcción de un equipo triturador de botellas plásticas tipo PET” (MIGUEL, 2013) dicho diseño se elaboró en programa CAD (SolidWorks), en estas se muestran puntualmente cada parte del prototipo diseñado.

#### - Estructura de soporte



**Figura 2-10** Estructura de soporte

#### - Cuchillas de trituración



**Figura 2-11** Cuchillas de trituración

- Cuchillas fijas

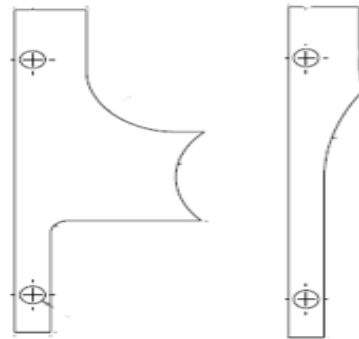


Figura 2-12 Cuchillas fijas

- Eje porta cuchillas

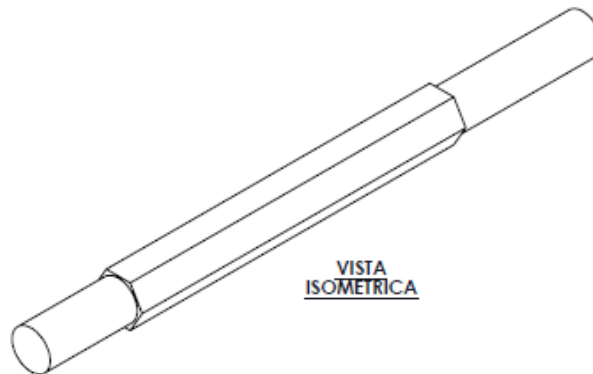
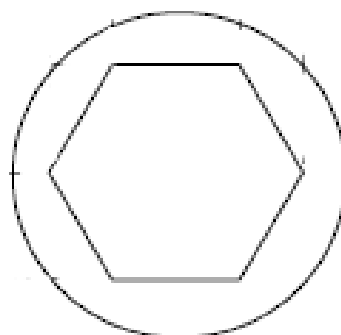


Figura 2-13 Eje porta cuchillas

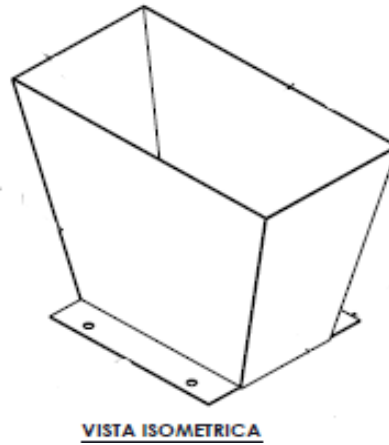
- Separadores



DETALLE A

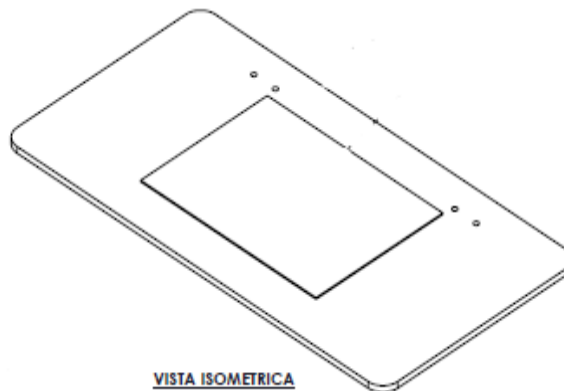
Figura 2-14 Separador de cuchillas

- **Tolva de alimentación**



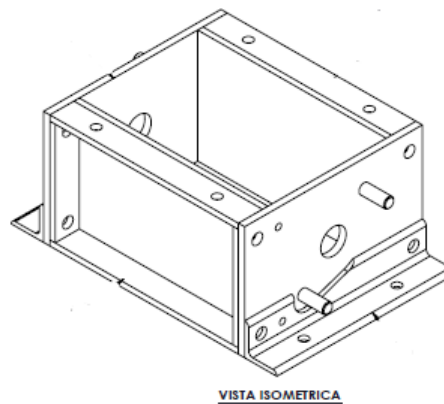
**Figura 2-15** Tolva de alimentación

- **Tapa cubierta de tolva**



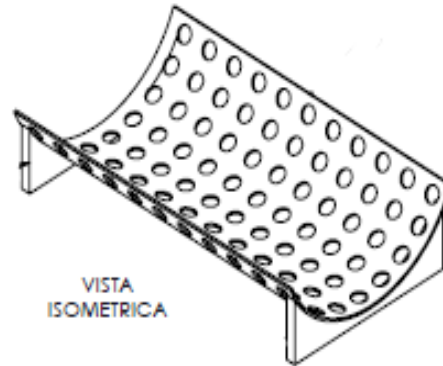
**Figura 2-16** Tapa cubierta de tolva

- **Caja de trituración**



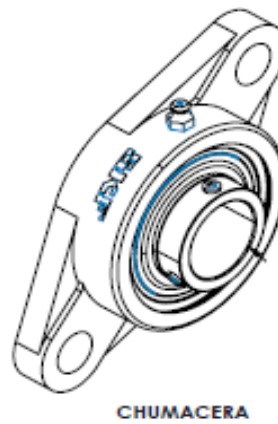
**Figura 2-17** Caja de trituración

- **Rejilla**



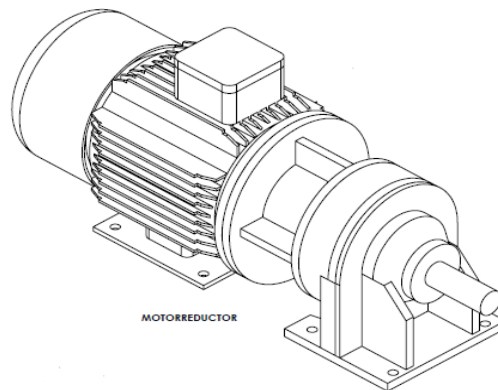
**Figura 2-18** Rejilla de paso

- **Chumaceras**



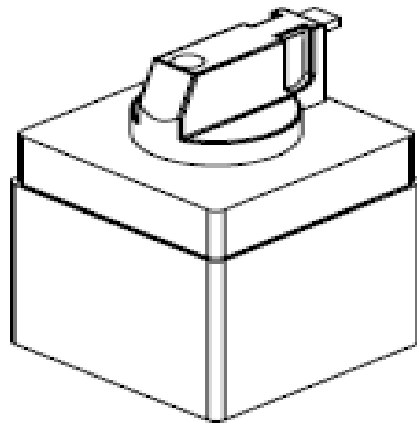
**Figura 2-19** Chumacera

- **Motor-reductor**



**Figura 2-20** Motor-reductor

- **Interruptor de doble polaridad**

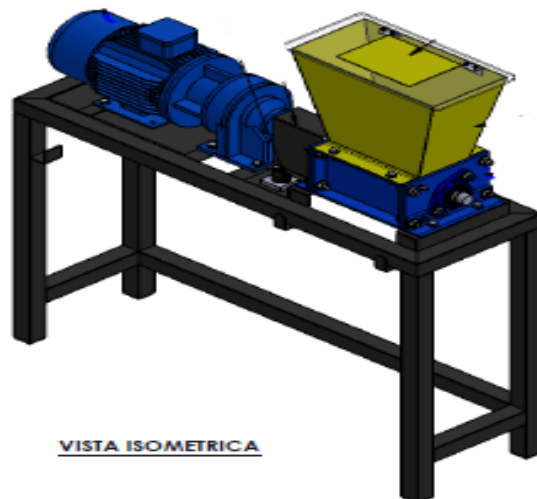


**INTERRUPTOR**

**Figura 2-21** Interruptor

- **Ensamblaje final**

Una vez se diseñó los elementos para la construcción de la máquina, se procede a hacer su ensamble final (Ver Anexo E).



**Figura 2-22** Ensamble final



### 2.1.8 Construcción de máquina trituradora de envases PET

En este ítem se muestra la construcción detalladamente del prototipo de máquina trituradora de envases plásticos (PET) mostrando cada componente para su desarrollo, los cuales se muestran a continuación.

- **Estructura caja de cuchillas**

Esta estructura sostiene el eje porta cuchillas y cuchillas de corte, la caja está construida con lámina de hierro que soporta el peso y la fuerza que se genera dentro de ella, estas tapas que conforman la caja están soldadas y ajustadas con pernos en las partes frontales sujetando las cuchillas fijas y a su vez dándole rigidez al sistema.

Este sistema tiene unas dimensiones internas de 220 x 140 milímetros esta caja tiene dimensiones para triturar botellas de plástico de 1.5 litros y 500 ml. Para visualizar mejor el diseño (Ver Anexo E – Plano 5)

Fuente: Autor



Figura 2-23 Estructura caja de cuchillas

- **Motor eléctrico**

Para el motor eléctrico se investigó en las industrias de reciclaje y trituración de plástico la potencia necesaria para el trabajo de estas máquinas, la potencia varía entre 1 a 5 caballos de fuerza (Hp) dependiendo la finalidad del trabajo. En este proyecto se utilizó un motor de 2 caballos de fuerza (Hp) trifásico, marca Leroy-Somer IK 08 (Ver Anexo E-Plano 15); en este caso la propiedad mecánica principal a ser considerada es el módulo de tracción del PET que es de  $\frac{815.77 \text{ kg}}{\text{cm}^2}$ .

Fuente: Autor



**Figura 2-24** Motor eléctrico

A continuación, se muestran las fórmulas para hallar la potencia requerida.

$$P = 2.27 * (e)^2 * \sigma_{Rpet} \quad (\text{Ec. 2})$$

Donde:

e: Espesor de cuchilla en centímetros (cm)

$\sigma_{Rpet}$  : Carga rotura del PET  $\left(\frac{Kg}{cm^2}\right)$

Fuente: (Portalanza Rueda Luis Ricardo, 2013)

$$P_{corte} = Fs * P \quad (\text{Ec. 3})$$

Donde:

$P_{corte}$ : Potencia de corte (Kg)

Fs: Factor de servicio

Fuente: (Portalanza Rueda Luis Ricardo, 2013)

$$T_{motor} = P_{corte} * r_{corte} \quad (\text{Ec. 4})$$

$T_{motor}$ : Torque motor (Nm)

$r_{corte}$ : Radio cuchilla de corte (mm)

Fuente: (Portalanza Rueda Luis Ricardo, 2013)

$$P_{req} = \frac{T_{motor} * WFC}{9550} \quad (\text{Ec. 5})$$

Donde:

$P_{req}$ : Potencia requerida motor (Hp)

WFC: Velocidad salida (Rpm)

Fuente: (Portalanza Rueda Luis Ricardo, 2013)

- **Motor reductor**

La caja de reducción se instaló de acuerdo al motor eléctrico mencionado anteriormente, este motor reductor se acopla a este tipo de máquinas trituradoras con el fin de reducir su velocidad y luego ser transformada en fuerza. Para este trabajo se eligió un reductor trifásico de 2 caballos de fuerza (Hp) de marca Sumitomo drive technologies, reducción 20:1, con una velocidad de salida de 55 rpm.

Fuente: Autor



Figura 2-25 Motor reductor

- **Tolva de alimentación**

Este componente de la máquina es muy importante ya que por medio de este se ingresa el material a la caja de trituración, esta tolva se fabricó en lámina galvanizada calibre 18. A continuación se muestra la ecuación de volumen de tolva (Ver Anexo E – Plano 13).

Fuente: Autor



**Figura 2-26** Tolva de alimentación

$$Vol_{Tolva} = Volumen_1 + Volumen_2 \quad (Ec. 6)$$

$$Vol_1 = l * a * h \quad (Ec. 7)$$

$$Vol_2 = \frac{l*a*h}{3} \quad (Ec. 8)$$

Donde:

l: Largo

a: Ancho

h: Alto

(MIGUEL, 2013)

Este cálculo determina la capacidad total de envases PET que podrán ser ingresados a la tolva.

- **Cuchillas de corte**

Este componente de corte es el encargado del objetivo principal de las máquinas trituradoras; para el diseño de estas cuchillas se tomó como guía algunos trabajos similares como los proyectos “Diseño de una máquina trituradora de botellas plásticas” (Paul, 2020), “Diseño y construcción de un prototipo industrial de una máquina trituradora de plástico” (Santana, 2017). Estas cuchillas tienen una perforación en el centro de forma hexagonal esto con el fin de que se mantengan fijas al eje y evitar su deslizamiento al momento de triturar; estas se diseñaron con 2 puntas y un ángulo de inclinación de 15° grados, esta máquina consta de 21 cuchillas trituradoras con un grosor de 4.7 milímetros (mm) este con el fin de obtener el tamaño requerido (hojuelas) (Ver Anexo E- Plano 8). Se utilizó un material acero AISI-SAE 1018 para la fabricación de las cuchillas, ya que es un material que tiene buenas propiedades para este trabajo (ver Anexo B).

Fuente: Autor



**Figura 2-27** Cuchillas de corte

El sistema de corte es muy importante para este tipo de máquinas, por eso es indispensable realizar cálculos de fuerza de corte de las cuchillas (ver Ec. 9).

$$F_c = \frac{c*b*f}{n+1} \left[ \left( \frac{\cos Y_0}{\sqrt{3}*\sin \varphi*\cos(\varphi-Y_0)} \right)^{n+1} + \frac{Fw*\sin \varphi}{\cos(\varphi-Y_0)} \right] \quad (\text{Ec. 9})$$

Donde:

C: Tensión específica en  $\frac{N}{mm^2}$

n: Esfuerzo de dureza

$\gamma_0$ : Angulo inclinación de cuchilla

$\varphi$ : Angulo de corte

b: Ancho de corte

f: Ancho de alimentación

(Paul, 2020)

- **Fuerza de fricción actuando sobre la viruta**

$$F_w = c * b * f \left[ \frac{\cos(2\varphi - \gamma_0)}{\sqrt{3} * \sin^2 \varphi} \left( \frac{\cos \gamma_0}{\sqrt{3} * \sin \varphi * \cos(\varphi - \gamma_0)} \right)^n \right] \quad (\text{Ec. 10})$$

Donde:

$F_w$ : Fuerza de fricción actuando sobre la viruta

C: Tensión específica en  $\frac{N}{mm^2}$

n: Esfuerzo de dureza

b: Ancho de corte

(Paul, 2020)

- **Angulo de corte**

$$\varphi = \text{Tan}^{-1} \left( \frac{\cos \gamma_0}{\frac{h_c}{f} - \sin(\gamma_0)} \right) \quad (\text{Ec. 11})$$

Donde:

$h_c$ : Espesor de viruta

f: Alimentación

(Paul, 2020)

- **Determinación velocidad de cuchillas**

Es una propiedad física medible que relaciona la posición de un cuerpo respecto con el tiempo. Esta velocidad angular es una medida de velocidad por rotación y se precisa como el ángulo girado por unidad de tiempo (MIGUEL, 2013).

$$W = \frac{Rev}{min} * \frac{1 min}{60 seg} * \frac{2\pi rad}{Rev} \quad (Ec. 12)$$

(Paul, 2020)

- **Eje porta cuchillas**

Para estos tipos de máquinas el eje se toma como el componente de mayor importancia ya que este es el encargado de transmitir potencia, la fabricación de este eje se realizó en acero AISI 4140 ya que este material es apto para esfuerzos de fatiga, torsión, alta resistencia y tenacidad (ver Anexo A). Para el eje porta cuchillas se desarrolla un esquema de cuerpo libre y se hallarán reacciones teniendo en cuenta la fuerza de corte de las cuchillas (Ver Anexo F). En cuanto a sus dimensiones (Ver Anexo E – Plano 9).

Fuente: Autor



**Figura 2-28** Eje porta cuchillas

- **Construcción final**

Mencionados los componentes anteriormente se evidencia el ensamble final del prototipo de máquina trituradora de envases plástico pos consumo, este prototipo ayudara a reducir exceso de volumen de botellas plásticas en la UAN Sede Tunja sin que los estudiantes lo hagan manualmente, a su vez este prototipo fue diseñado con materiales aptos para su labor, para su funcionamiento se requiere de luz trifásica y costa de un interruptor de doble polaridad fácil de utilizar.

Fuente: Autor



**Figura 2-29** Construcción final de prototipo

## **2.2 Diseño de sistema de dosificación de la máquina trituradora de envases plástico pos consumo**

### **2.2.1 Calculo de volumen de tolva para una adecuada dosificación de material**

Para el cálculo de volumen de tolva para una dosificación adecuada se requiere de la siguiente ecuación, donde se calcula teniendo en cuenta los envases plásticos de 1.5 litros con dimensiones (alto 32.5 cm y un diámetro 9.5 cm) y un envase plástico de 500 mililitros con dimensiones (alto 25 cm y un diámetro de 7cm), con base a esas



dimensiones se realizó el diseño de la tolva; A continuación, evidenciamos el respectivo calculo:

$$Vol_{Tolva} = Volumen_1 + Volumen_2$$

$$\triangleright Vol_1 = l * a * h$$

$$Vol_1 = 0.35 * 0.18 * 0.26$$

$$Vol_1 = 0.01638 m^3$$

$$\triangleright Vol_2 = \frac{l*a*h}{3}$$

$$Vol_2 = \frac{0.22*0.12*0.26}{3}$$

$$Vol_2 = 0.002288 m^3$$

$$\triangleright Vol_{Tolva} = Volumen_1 + Volumen_2$$

$$Vol_{Tolva} = 0.01638 m^3 + 0.002288 m^3$$

$$Vol_{Tolva} = 0.018668 m^3$$

### 2.2.2 Diseño de tolva en herramienta CAD en este caso SolidWorks

Para el diseño del sistema de dosificación se tuvo en cuenta el ítem 2.2.1 “Calculo de volumen de tolva” y sus especificaciones, su diseño se realizó el programa SolidWorks teniendo en cuenta los parámetros dichos en el anterior ítem mencionado, para observar diseño (Ver Anexo E – Plano 13).

### 2.3 Poner en marcha la máquina trituradora y caracterizar las dimensiones de las hojuelas obtenidas

Al poner en marcha la maquina se observa un buen trabajo en triturado de los envases plásticos pos consumo, donde se verifica que las partes anteriores mencionadas del

diseño y montaje se han ejecutado correctamente, posteriormente se conecta el prototipo a energía trifásica la cual es la correcta para su funcionamiento, estando el prototipo en marcha se le ingresa material plástico, en este caso envases de coca cola 1.5 litros haciendo triturado perfecto pasando por la rejilla (Ver Anexo E – Plano 7) que se encuentra en la parte inferior de la caja trituradora; finalmente se obtiene el material requerido (Ver Anexo G).

Fuente: Autor



**Figura 2-30** Material final obtenido de la trituración

**Tabla 2 -1** Especificaciones envases sin triturar

<b>BOTELLAS SIN TRITURAR 1,5 LITROS</b>		
Cantidad	Peso gr	Volumen m3
10	480	0.05831

Fuente: Autor

En la tabla anterior se observa la cantidad de botellas de 1.5 litros sin triturar con dimensiones (alto 32.5 cm y un diámetro 9.5 cm), con un peso inicial de entrada de 480 gramos y un volumen de 0.05831 m3.

**Tabla 2 -2** Especificaciones envases triturados

<b>BOTELLAS TRITURADAS 1,5 LITROS</b>		
Cantidad	Peso gr	Volumen m3
10	452	0.00077

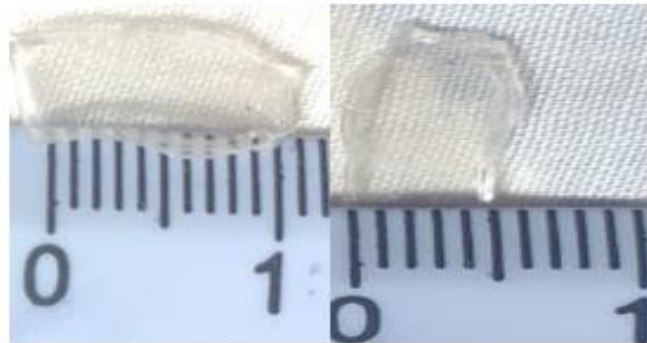
Fuente: Autor

En la tabla anterior se observa la cantidad de botellas de 1.5 litros previamente trituradas con dimensiones (alto 32.5 cm y un diámetro 9.5 cm), con un peso de material de salida de 480 gramos, el peso no es el mismo debido a que queda material en la rejilla; y un volumen de 0.00077 m<sup>3</sup>.

Para la caracterización del material de salida (Hojuelas) se toma a criterio el proceso de selección de estas de la siguiente manera: Debido a que el material final es tipo hojuela, todas ellas no son del mismo tamaño por consiguiente se procede a tomar los tamaños pequeño, medio y grande de estas hojuelas para su respectiva medición que se realizó con una regla para diferenciar su tamaño exacto. A continuación, se muestra las dimensiones de las hojuelas seleccionadas:

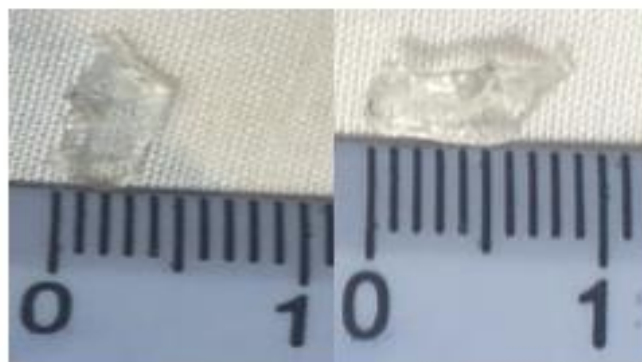
- Se seleccionó hojuelas del material obtenido y se llevó a cabo una medición de largo y ancho del producto final triturado y se observa que el material triturado tiene distinto tamaño.

Fuente: Autor



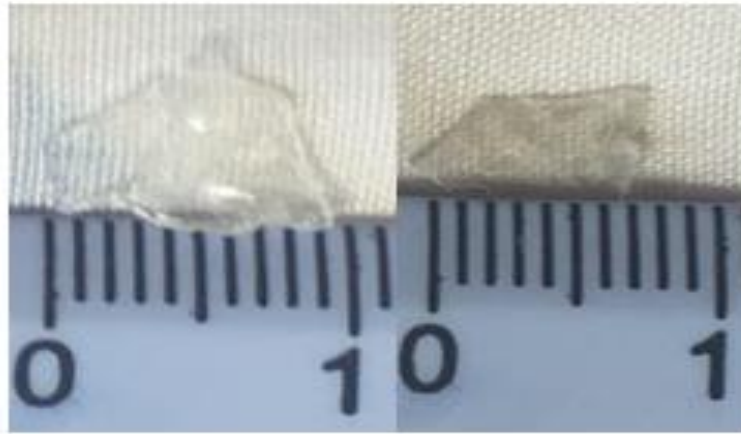
**Figura 2-31** Hojuela con 12 mm de largo y 5 mm de ancho

Fuente: Autor



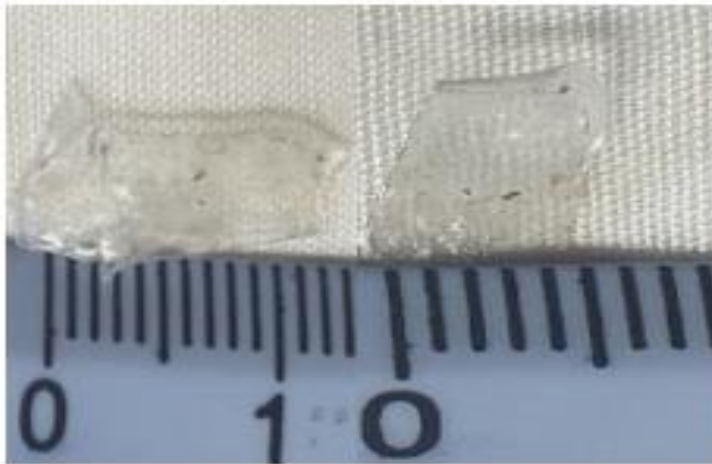
**Figura 2-32** Hojuela con 8 mm de largo y 4 mm de ancho

Fuente: Autor



**Figura 2-33** Hojuela con 10 mm de largo y 7 mm de ancho

Fuente: Autor



**Figura 2-34** Hojuela con 13 mm de largo y 6 mm de ancho

### 3. Análisis y resultados

Se puede evidenciar en el ítem 2.3 de caracterización de hojuelas obtenidas, que el volumen de entrada con respecto al volumen de salida se reduce en un 90% (Ver Tabla 2-1 y Tabla 2-2).

Primordialmente en este proyecto se analizó la selección del material de construcción de los componentes de este prototipo tomando como prioridad los materiales del eje y de las cuchillas, quedando así el acero AISI 4140 como uno de los más adecuados para la construcción del eje debido a sus buenas propiedades de torsión y fatiga y el acero AISI 1018 para las cuchillas de corte debido a su dureza, con este acero 1018 se pueden fabricar piñones y engranes por su buena propiedad.

En los resultados obtenidos se escoge el eje como el componente más crítico, por lo cual se elaboró el diagrama de cuerpo libre (Ver Anexo F) ya que este es el encargado de los esfuerzos que se crean al triturar, con ayuda este diagrama se determinó las reacciones en los rodamientos. Por otra parte, se calculó el diámetro mínimo requerido para el eje que está sometido a torsión continua y a flexión por rotación (ver Ec.1 ) del libro de Diseño Mecánico de Robert Mott y el diámetro requerido para este eje es  $1\frac{1}{8}$  elaborado en acero AISI 4140 mencionado anteriormente, también se determina un factor muy importante del eje y principal en el proyecto propuesto y es la deformación máxima de este, donde se obtuvo que la deformación máxima se da en el centro del eje; con una deformación máxima de 0.0043685 mm y una deformación mínima de 0.00048539 mm.

Cabe mencionar que los cálculos mencionados se presentan a lo largo del apartado metodología, evidenciándose los valores obtenidos en cada uno de ellos, estos permitieron a su vez conocer la potencia del motor, el volumen de tolva, la fuerza de

corte las cuchillas, entre otros, lo cual es de suma importancia para conocer el rendimiento del equipo.

Realizando el proceso de trituración se evidencia que algunas de las botellas revotan debido a que las cuchillas no logran agarrar el envase por su forma cilíndrica y por la rotación continua, se recomienda aplastarla previamente antes de introducirla, la tolva de alimentación es muy importante para el sistema ya que esta mantiene los envases dentro de ella misma impidiendo que se salga el material.

Se pudo hacer el diseño del prototipo seleccionado, con el cual se busca llevar una solución a la UAN, usando para ello los equipos y materiales seleccionados en las fases previas, los cuales sirvieron una vez ensamblados para que este equipo se pusiera en marcha y de esa manera se pudieran observar las fallas que pudiera tener.

## 4. Conclusiones y recomendaciones

### 4.1 Conclusiones

Al visualizar su funcionamiento y procesamiento del material dispuesto en el, observándose que las hojuelas de plástico presentan diferentes tamaños, sin embargo, el procedimiento y funcionamiento se realizó de la manera esperada.

Al realizar los cálculos de los diferentes elementos del prototipo triturador de envases plásticos pos consumo (PET) como fuerza de corte de cuchillas, potencia de motor, diámetro mínimo requerido para el eje sometido a torsión continua, análisis estructural del eje, velocidad angular, volumen de tolva, torque y ángulo de corte.

En relación a lo expuesto se evidencia una distancia en las cuchillas entre cada una de las puntas, ya que no se recomienda que las cuchillas estén alineadas debido a que esto frena el corte seguido del material, por eso se dejan desfasadas las cuchillas una de otra para aumentar la eficiencia de la máquina, con una distancia entre cada cuchilla de 4.76 mm esto con el fin de obtener el material final requerido (hojuela).

Al poner en marcha el prototipo de máquina trituradora se observa un buen desempeño en el funcionamiento de esta, apta para el trabajo requerido. Está diseñada para triturar botellas plásticas (PET) pero tiene la capacidad de poder triturar los siguientes códigos de identificación: 2(HDPE), 4(LDPE) Y 5(PP).

Con la construcción de esta máquina trituradora de envases plásticos los estudiantes de la Universidad Antonio Nariño sede Tunja contarán con un equipo para triturar material PET, mismo que se recicla en las instalaciones y darles un valor agregado a nuevas investigaciones con este material.

Se concluye que el proyecto es eficiente para el trabajo que fue diseñado, el prototipo desarrollado busca incentivar a los estudiantes ya que la maquina queda abierta a nuevas mejoras y optimizaciones.

## **4.2 Recomendaciones**

- Se recomienda quitar etiquetas y tapas de las botellas antes de ser introducidas al sistema de trituración esto para evitar atascamientos.
- Usar equipo de protección personal como gafas y guantes.
- Es recomendable que al ingresar la botella sea previamente aplastada.
- Para que la máquina tenga una vida útil se recomienda que las personas que la operen se aseguren que el plástico reciclado no contenga ningún residuo metálico que causen atascamientos o rotura de las cuchillas.
- El mantenimiento de la máquina no es complejo, todo depende del uso que se le dé, tener en cuenta los rodamientos y las cuchillas en caso de que se encuentre alguna defectuosa.
- EL suministro de botellas PET a la tolva se controla dependiendo el avance de triturado que tenga la máquina, esto con el fin de no obstruir la entrada de material.



# Anexos:

## Anexo A. Propiedades del acero AISI SAE 4140

**ACEROS ESPECIALES**  
Para aplicaciones Industriales

**GA** Cía. General de Aceros

### Acero Grado Ingeniería

Referencia:  
Aceros Aleados

Composición química (%)			
C	0.38 - 0.45	Cr	0.80 - 1.10
Mn	0.75 - 1.00	Mo	0.15 - 0.25
Si	0.15 - 0.35	S	0.040 Máx.
P	0.035 Máx.		

Dureza de suministro 28 - 32 HRC.

#### EQUIVALENCIAS EN OTRAS NORMAS

NORMAS	NOMBRE
AISI SAE	4140
DIN	42CrMo4
AFNOR	42CD4
UNI	40CD4
BS	708M40

#### Características:

Acero de medio carbono aleado con Cr y Mo. Posee mediana templabilidad, buena maquinabilidad, alta resistencia, buena tenacidad y baja soldabilidad. Es comúnmente utilizado para la fabricación de piezas que requieran alta tenacidad y resistencia.

US08: Se utiliza en piñones, tornillos de alta resistencia. Piezas de alta exigencia para la industria petrolera. Cigüeñales, espárragos, árboles, engranajes de transmisión, etc.



Estado de Suministro	Resistencia tracción kg/mm <sup>2</sup>	Límite elástico kg/mm <sup>2</sup>	Alargamiento %	Reducción de área %	Dureza brinell HB
Laminado en Caliente	60/70	40	22	50	210/240
Calibrado	70/80	60	14	40	240/260
Bonificado	88/100	75	14	47	260/320

TRATAMIENTO TÉRMICO	TEMPERATURA °C	MEDIO DE ENFRIAMIENTO
Forja	850/1100	Ceniza o arena
Temple	830/850	Aceite
Normalizado	850/870	Aire
Recocido	680/720	Horno
Revenido	500/650	Aire

\* Tener presente que los tratamientos térmicos modifican las propiedades mecánicas de origen del material.



Observaciones: Toda la información técnica es solo de referencia. Los datos suministrados están dentro de los rangos promedio de lo exigido por norma o la calidad asociada y no corresponden a los valores exactos para cada material.



# Anexo B. Propiedades del acero AISI SAE 1018

## SAE/AISI1018



### ACERO

Acero también conocido como Cold Rolled ya que la mayoría de los usuarios lo identifica así por su uso standard en acabado frío, Pero este acero podría entregarse laminado en caliente si así se requiere.

El acero SAE/AISI 1018 es considerado un acero bajo-medio carbono que tiene una dureza uniforme en toda la pieza, por sus propiedades mecánicas se convierte en un commodity para la fabricación de varios productos de acero, es ideal para doblar, forjar en frío y para fabricar piezas que no requieran someterse a grandes esfuerzos mecánicos, por otra parte su bajo contenido de carbono lo hace excelente para soldar.

**Color de identificación:** Verde

#### Acabados

- Laminado en caliente L.C.
- Acabado en Frío (A.F.)  
o Estirado en frío (E.F.)  
o Torneado o descortezado (T)

#### Perfiles

- Redondo
- Cuadrado
- Hexagonal
- Solera



### COMPOSICIÓN QUÍMICA

CARBONO %C	MANGANESO %Mn	FOSFORO %P	AZUFRE %S
0.15/0.20	0.60/0.90	0.04 max.	0.05 max.

Para más información sobre propiedades mecánicas, usos y generalidades sobre el acero, pueden suscribirse a nuestro Website; compartimos información que les podría ser de utilidad y/o comuníquense con nosotros, les brindaremos una atención personalizada y profesional, con gusto estaremos a sus órdenes.

Tel: 55 11499730  
E: 30\* 11137705  
55 7666 4587  
55 7666 5705

sidalados



Garantía de Precio y Calidad  
**SIDAALADOS**  
Tu Aliado en Acero



# Anexo C. Propiedades del PET

## Propiedades Físicas

Absorción de Agua - en 24 horas ( % )	0,1
Absorción de Agua - Equilibrio ( % )	<0,7
Densidad ( g cm <sup>-3</sup> )	1,3-1,4
Índice de Oxígeno Límite ( % )	21
Índice Refractivo	1,58-1,64
Inflamabilidad	HB
Resistencia a la Radiación	Buena
Resistencia a los Ultra-violetas	Fair?

## Propiedades Mecánicas

Coefficient de Fricción	0,2-0,4
Dureza - Rockwell	M94-101
Módulo de Tracción ( GPa )	2-4
Relación de Poisson	0,37-0,44(oriented)
Resistencia a la Tracción ( MPa )	80, para filmes biax. 190-260
Resistencia al Impacto Izod ( J m <sup>-1</sup> )	13-35

## Propiedades Térmicas

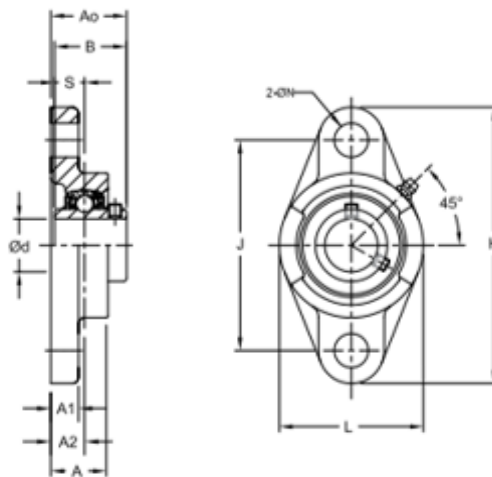
Calor Específico ( J K <sup>-1</sup> kg <sup>-1</sup> )	1200 - 1350
Coefficiente de Expansión Térmica ( x10 <sup>-6</sup> K <sup>-1</sup> )	20-80
Conductividad Térmica a 23C ( W m <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> )	0,15-0,4
Temperatura de Deflección en Caliente - 0.45MPa ( C )	115
Temperatura de Deflección en Caliente - 1.8MPa ( C )	80
Temperatura Máxima de Utilización ( C )	115-170
Temperatura Mínima de Utilización ( C )	-40 a -60

Fuente: (GoodFellow, 2020)



# Anexo D. Chumacera

Diám. de eje d	Designación de la brida de dos tornillos	Designación del rodamiento	Capacidades básicas de carga		Dimensiones										Tamaño del tornillo	Peso		
			Dinámica C <sub>d</sub>	Estática C <sub>r</sub>	H	J	A1	A	A0	L	A2	S	B	N				
mm pulg			kN lb	kN lb	mm pulg	mm pulg	mm pulg	mm pulg	mm pulg	mm pulg	mm pulg	mm pulg	mm pulg	mm pulg	mm pulg	mm pulg	mm pulg	kg lb
12	UCFL201	UC201																
1/2	UCFL201-8	UC201-8																
15	UCFL202	UC202	12,8 2878	6,65 1495	113 4 1/8	90 3 5/8	11 7/8	25,5 1	33,3 1 1/8	60 2 3/8	15 1 1/2	12,7 0,500	31 1,220	12 1/2		M10 3/8	0,5 1,1	
17	UCFL203	UC203																
3/4	UCFL204-12	UC204-12																
20	UCFL204	UC204																
3/8	UCFL205-14	UC205-14																
1 1/8	UCFL205-15	UC205-15	14,0 3147	7,85 1785	130 5 1/8	99 3 7/8	13 1/2	27 1 1/8	35,8 1 3/8	68 2 5/8	16 5/8	14,3 0,563	34,1 1,343	16 5/8		M14 1/2	0,6 1,4	
25	UCFL205	UC205																
1	UCFL205-16	UC205-16																
1 1/4	UCFL206-18	UC206-18																
30	UCFL206	UC206	19,5 4384	11,3 2540	148 5 7/8	117 4 5/8	13 1/2	31 1 1/8	40,2 1 5/8	80 3 1/8	18 3/4	15,9 0,626	38,1 1,500	16 5/8		M14 1/2	1,0 2,1	
1 3/8	UCFL206-19	UC206-19																
1 1/4	UCFL206-20	UC206-20																
1 1/4	UCFL207-20	UC207-20																
1 1/2	UCFL207-21	UC207-21																
1 3/4	UCFL207-22	UC207-22	25,7 5778	15,4 3462	161 6 1/2	130 5 1/8	14 1 1/8	34 1 1/4	44,4 1 3/4	90 3 5/8	19 3/4	17,5 0,689	42,9 1,689	16 5/8		M14 1/2	1,2 2,6	
35	UCFL207	UC207																
1 3/8	UCFL207-23	UC207-23																
1 1/2	UCFL208-24	UC208-24																
1 3/8	UCFL208-25	UC208-25	28,1 6342	17,8 4002	175 6 7/8	144 5 5/8	14 1/2	36 1 1/2	51,2 2 1/8	100 3 5/8	21 7/8	19 0,748	49,2 1,937	16 5/8		M14 1/2	1,6 3,5	
40	UCFL208	UC208																
1 3/4	UCFL209-26	UC209-26																
1 11/8	UCFL209-27	UC209-27	34,1 7666	21,3 4788	188 7 1/2	148 5 7/8	15 1 1/2	38 1 1/2	52,2 2 1/8	108 4 1/4	22 7/8	19 0,748	49,2 1,937	19 3/4		M16 5/8	1,9 4,2	
45	UCFL209	UC209																

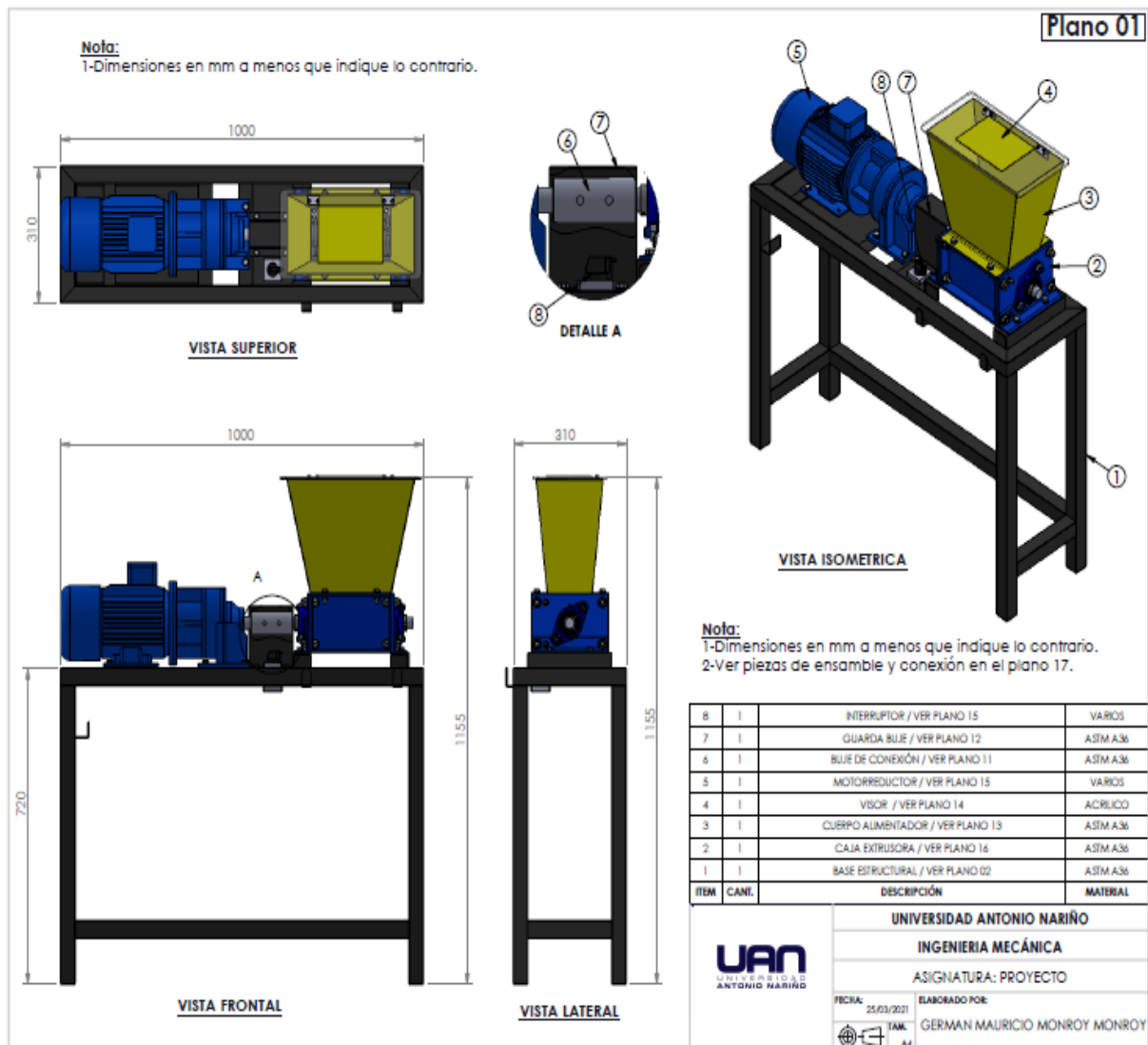


Fuente: (TIMKEM)

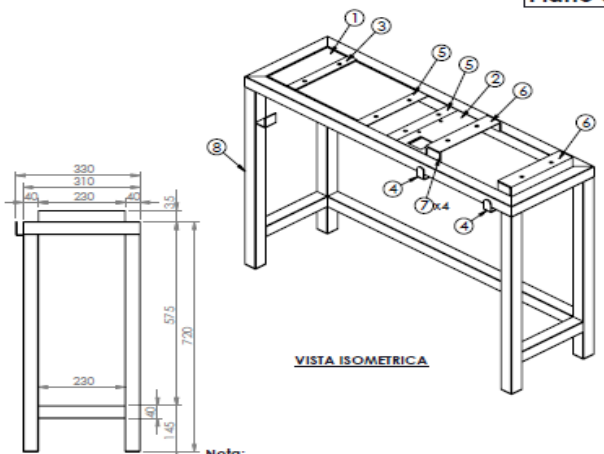
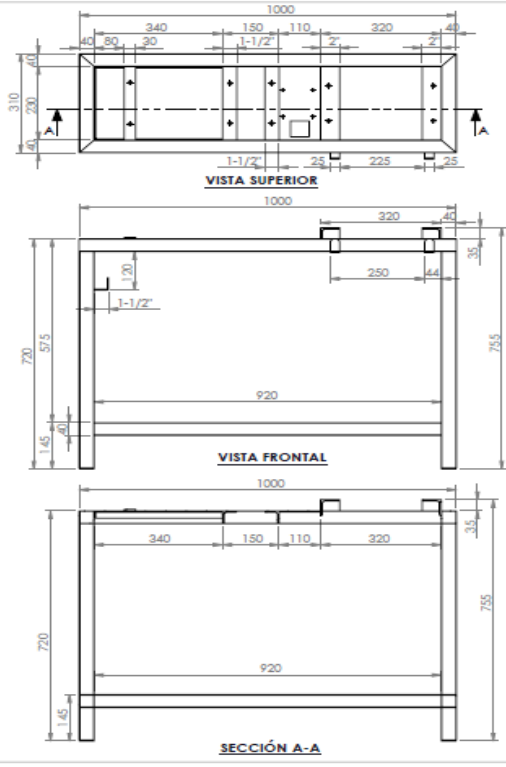




# Anexo E. Planos generales de la máquina trituradora de plástico



**Plano 02**



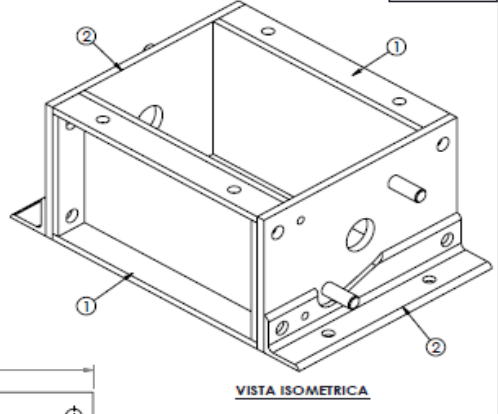
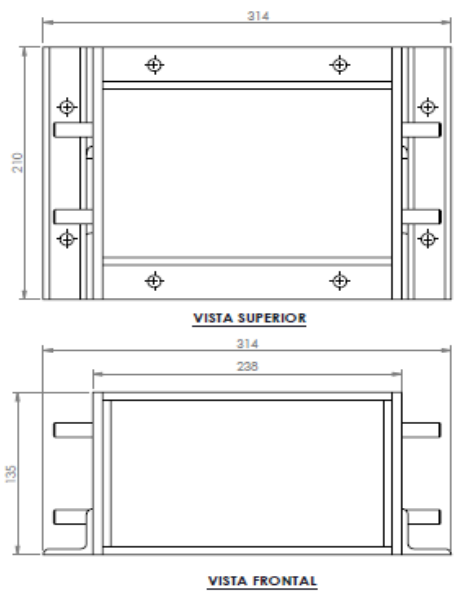
**Nota:**  
1-Dimensiones en mm a menos que indique lo contrario.

ITEM	CANT.	DESCRIPCIÓN	MATERIAL
8	1	BASE ESTRUCTURAL / VER PLANO 03	ASTM A36
7	4	LAMINA $\frac{1}{8}$ " x 50mm x 46mm	ASTM A36
6	2	ANGULO $\frac{1}{8}$ " x 2" x 200mm x Long.~200mm / VER PLANO 04	ASTM A36
5	2	ANGULO $\frac{1}{8}$ " x 1-1/2" x 200mm x Long.~200mm / VER PLANO 04	ASTM A36
4	2	LAMINA $\frac{1}{8}$ " x 97mm x 25mm / VER PLANO 04	ASTM A36
3	1	LAMINA $\frac{3}{16}$ " x 200mm x 30mm / VER PLANO 04	ASTM A36
2	1	LAMINA $\frac{1}{8}$ " x 200mm x 110mm / VER PLANO 04	ASTM A36
1	1	LAMINA $\frac{1}{8}$ " x 200mm x 350mm / VER PLANO 04	ASTM A36

<b>UNIVERSIDAD ANTONIO NARIÑO</b>	
<b>INGENIERIA MECÁNICA</b>	
ASIGNATURA: PROYECTO	
FECHA:	25/03/2021
ELABORADO POR:	GERMAN MAURICIO MONROY MONROY
TAM:	A4

**Plano 05**

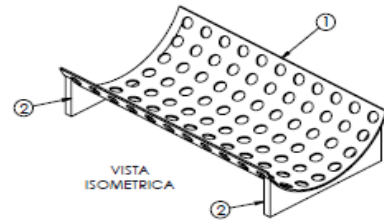
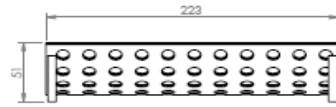
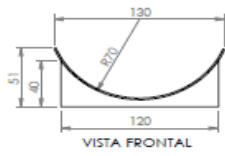


**Nota:**  
1-Dimensiones en mm a menos que indique lo contrario.

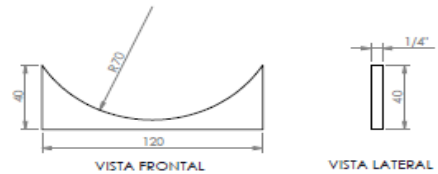
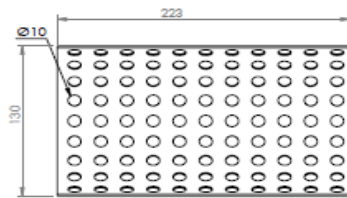
ITEM	CANT.	DESCRIPCIÓN	MATERIAL
2	2	PLACA TIPO 2 / VER PLANO 06	ASTM A36
1	2	PLACA TIPO 1 / VER PLANO 06	ASTM A36

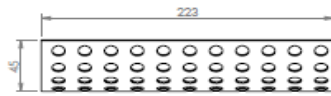
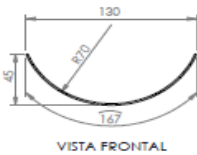
<b>UNIVERSIDAD ANTONIO NARIÑO</b>	
<b>INGENIERIA MECÁNICA</b>	
ASIGNATURA: PROYECTO	
FECHA:	25/03/2021
ELABORADO POR:	GERMAN MAURICIO MONROY MONROY
TAM:	A4



CONJUNTO ENSAMBLE



ITEM 2



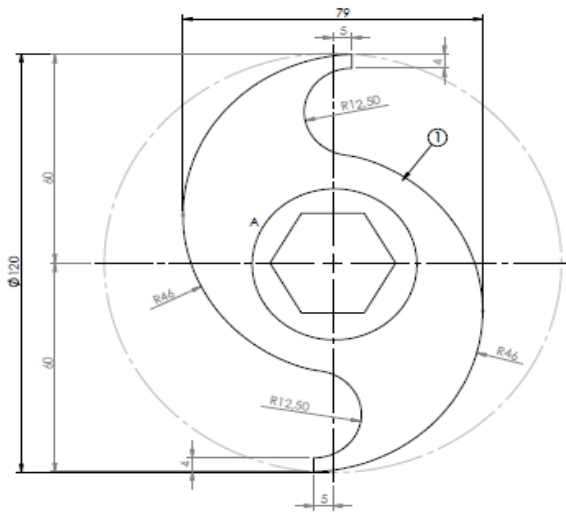
ITEM 1

**Nota:**  
T-Dimensiones en mm a menos que indique lo contrario.

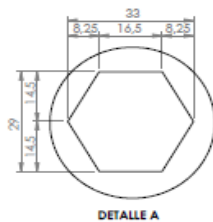
ITEM	CANT.	DESCRIPCIÓN	MATERIAL
2	2	LAMINA $\frac{1}{4}$ " x 120mm x 40mm	ASTM A36
1	1	LAMINA PUNZONADA CALIBRE 14 x 167mm x 223mm	ASTM A36

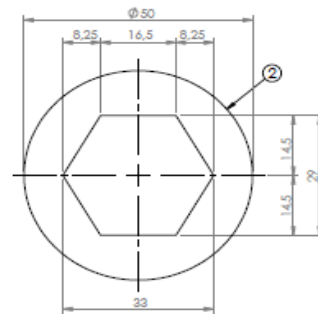
		UNIVERSIDAD ANTONIO NARIÑO	
		INGENIERIA MECÁNICA	
FECHA: 25/03/2021		ELABORADO POR:	
TAM: A4		GERMAN MAURICIO MONROY MONROY	



ITEM 1



DETALLE A



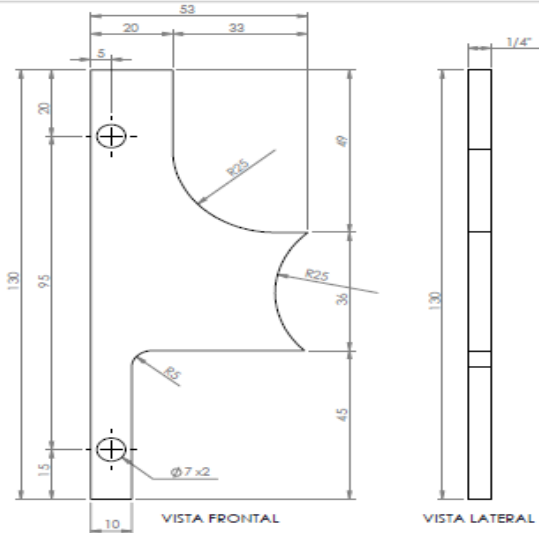
ITEM 2

**Nota:**  
T-Dimensiones en mm a menos que indique lo contrario.

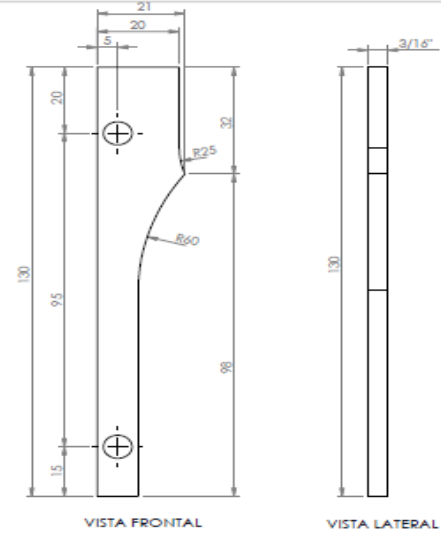
ITEM	CANT.	DESCRIPCIÓN	MATERIAL
2	21	DISCO $\frac{3}{16}$ " x Ø50mm	ASTM A36
1	21	DISCO $\frac{1}{4}$ " x Ø120mm	ASTM A36

		UNIVERSIDAD ANTONIO NARIÑO	
		INGENIERIA MECÁNICA	
FECHA: 25/03/2021		ELABORADO POR:	
TAM: A4		GERMAN MAURICIO MONROY MONROY	



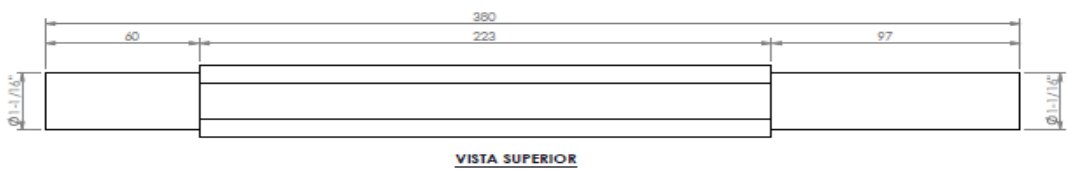
ITEM 1



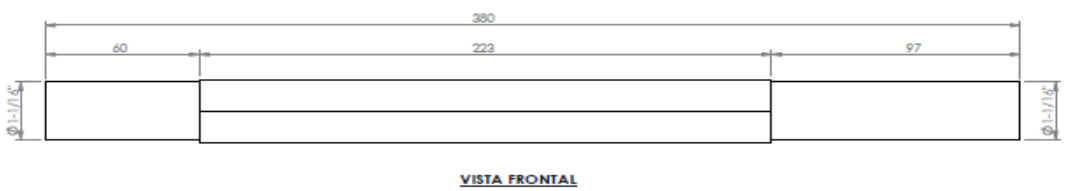
ITEM 2

**Nota:**  
1-Dimensiones en mm a menos que indique lo contrario.

2	21	LAMINA $\frac{3}{16}$ " x 130mm x 21mm	ASTM A36
1	21	LAMINA $\frac{1}{4}$ " x 130mm x 53mm	ASTM A36
ITEM	CANT.	DESCRIPCIÓN	MATERIAL
<b>UNIVERSIDAD ANTONIO NARIÑO</b>			
<b>INGENIERIA MECÁNICA</b>			
ASIGNATURA: PROYECTO			
FECHA: 25/03/2021	ELABORADO POR:		
TAM: A4	GERMAN MAURICIO MONROY MONROY		

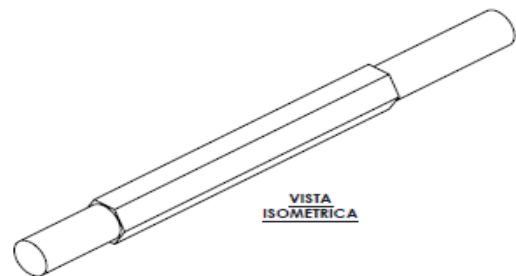


VISTA SUPERIOR



VISTA FRONTAL

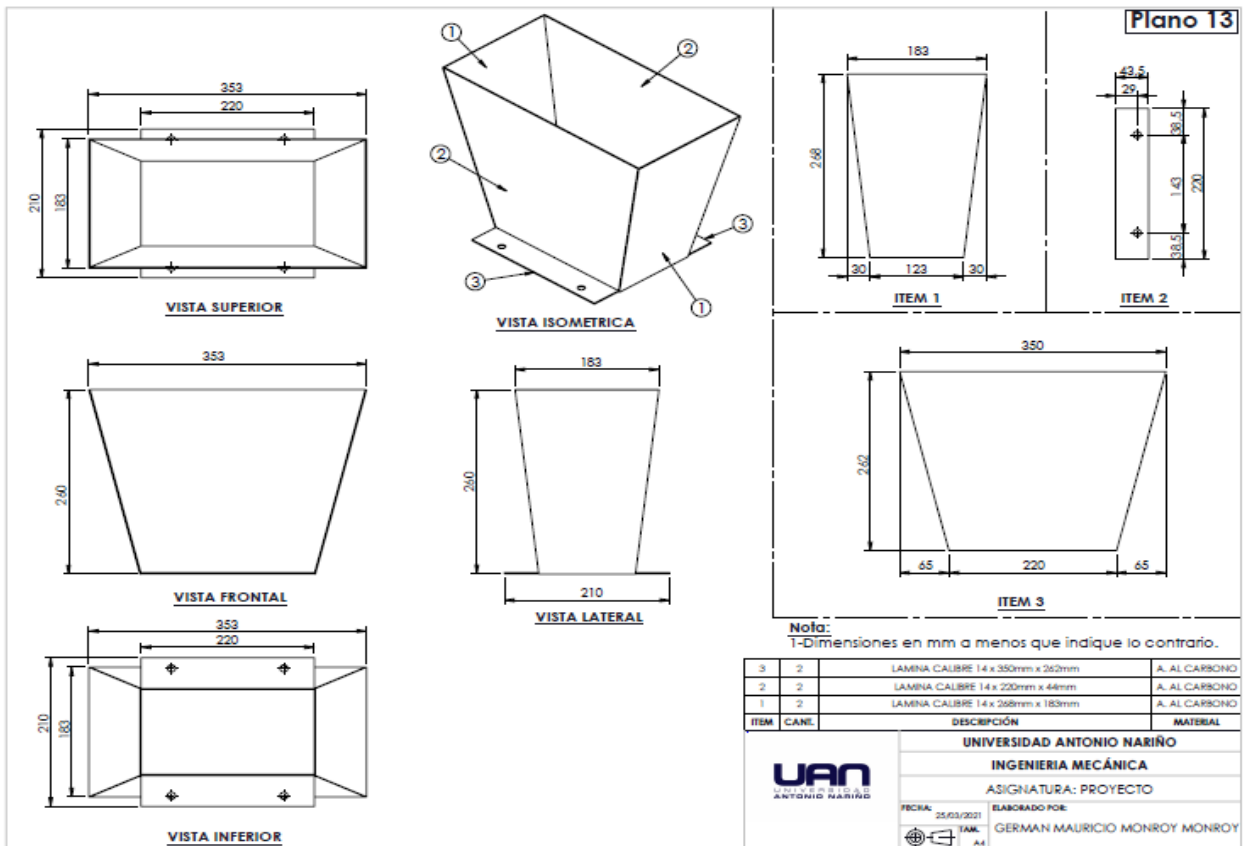
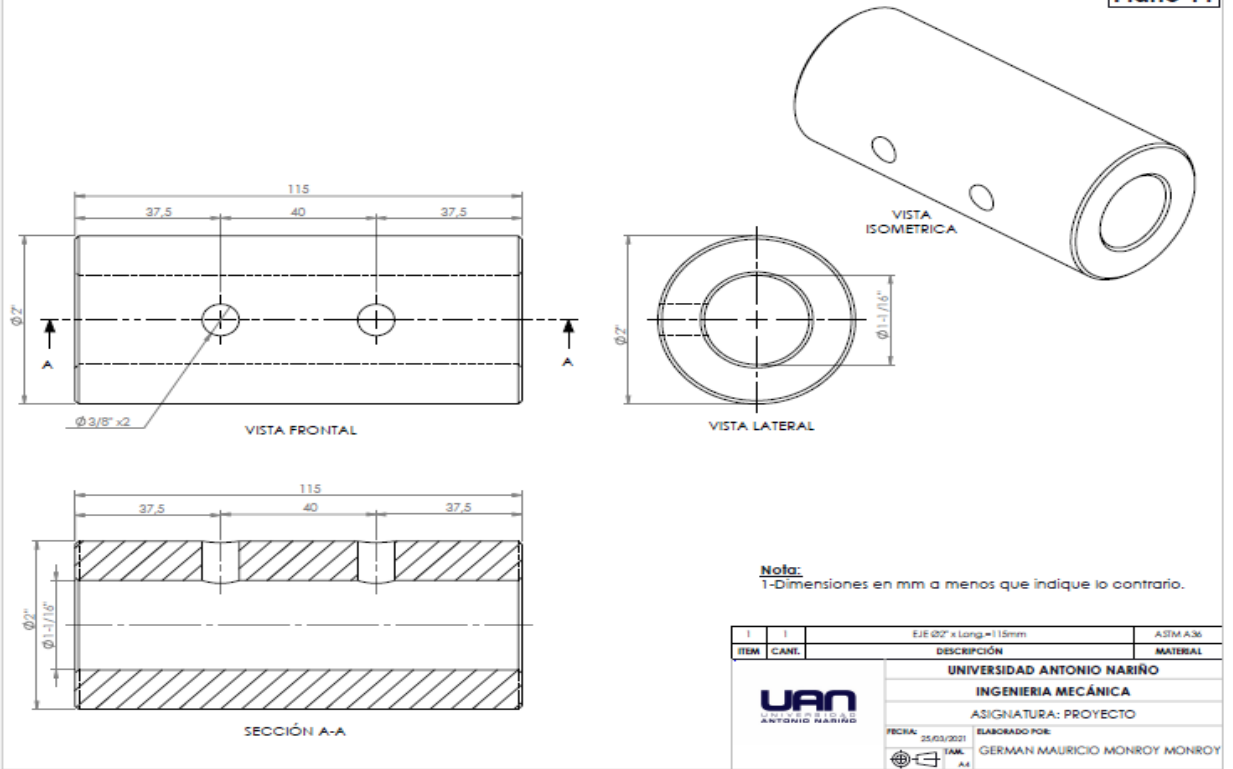
VISTA LATERAL

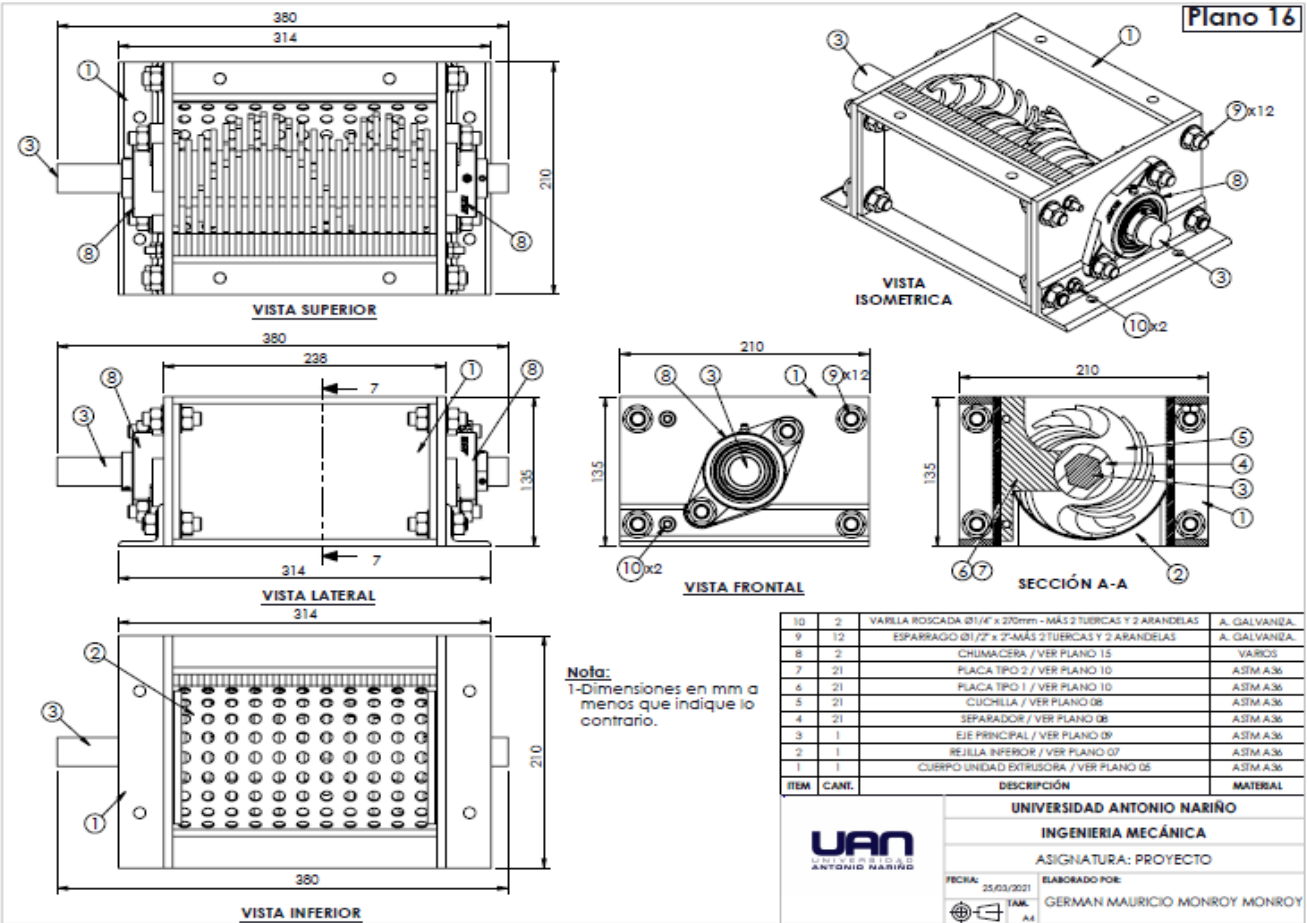
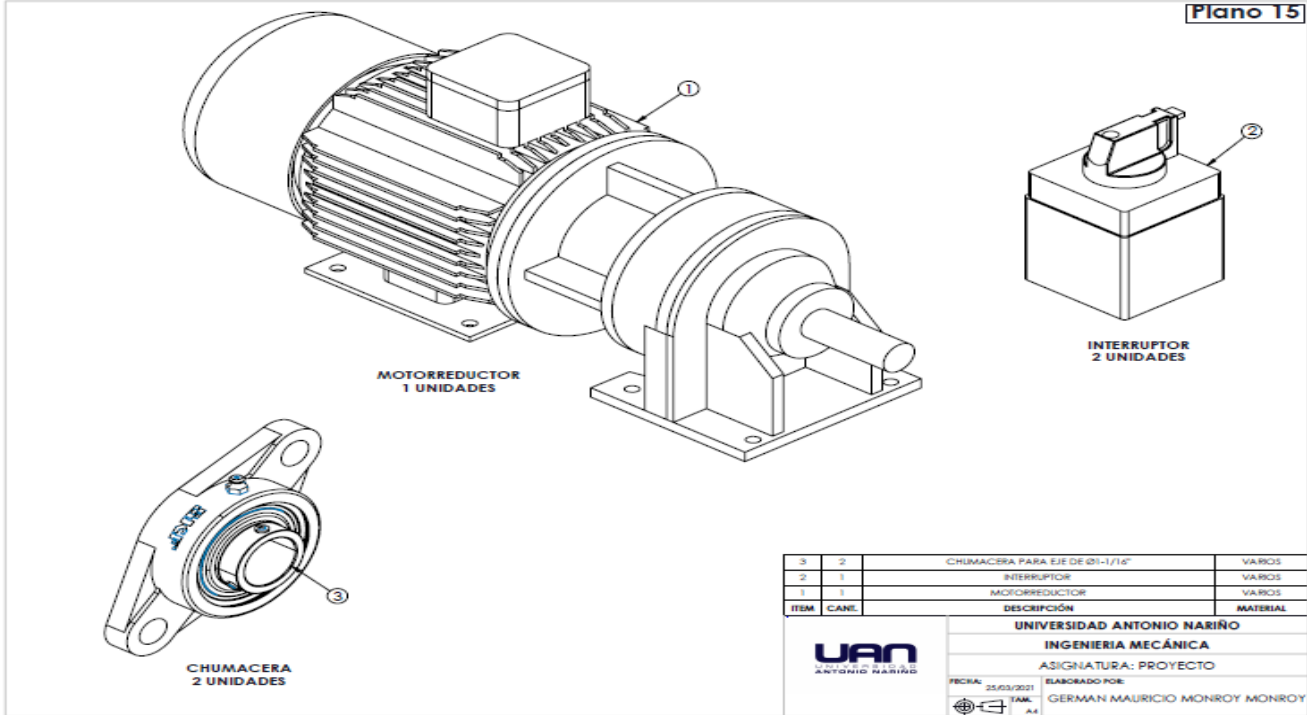


VISTA ISOMETRICA

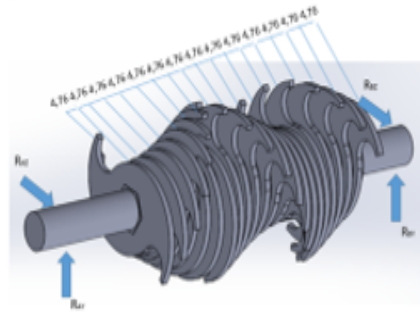
**Nota:**  
1-Dimensiones en mm a menos que indique lo contrario.  
2-Mecanizar eje.

1	1	EJE $\varnothing 55$ mm x Longitud = 380mm	ASTM A36
ITEM	CANT.	DESCRIPCIÓN	MATERIAL
<b>UNIVERSIDAD ANTONIO NARIÑO</b>			
<b>INGENIERIA MECÁNICA</b>			
ASIGNATURA: PROYECTO			
FECHA: 25/03/2021	ELABORADO POR:		
TAM: A4	GERMAN MAURICIO MONROY MONROY		





# Anexo F. Procedimiento ecuaciones de equilibrio



$$\sum F_y = R_{AY} + R_{BY} = 0$$

$$R_{AY} = R_{BY}$$

$$\sum F_z = (R_{AZ} - F_1 - F_2 - F_3 - F_4 - F_5 - F_6 - F_7 - F_8 - F_9 - F_{10} - F_{11} - F_{12} - F_{13} - F_{14} - F_{15} - F_{16} - F_{17} - F_{18} - F_{19} - F_{20} - F_{21} + R_{BZ})$$

$$F_1 = F_2 = F_3 = F_4 = F_5 = F_6 = F_7 = F_8 = F_9 = F_{10} = F_{11} = F_{12} = F_{13} = F_{14} = F_{15} = F_{16} = F_{17} = F_{18} = F_{19} = F_{20} = F_{21}$$

$$R_{AZ} + R_{BZ} = 21 (F_1) = 0$$

$$R_{AZ} + R_{BZ} = 21 (874.73 \text{ N})$$

$$R_{AZ} + R_{BZ} = 18369 \text{ N}$$

$$\sum M_{AY} = F_1(L_1) + F_2(L_2) + F_3(L_3) + F_4(L_4) + F_5(L_5) + F_6(L_6) + F_7(L_7) + F_8(L_8) + F_9(L_9) + F_{10}(L_{10}) + F_{11}(L_{11}) + F_{12}(L_{12}) + F_{13}(L_{13}) + F_{14}(L_{14}) + F_{15}(L_{15}) \dots$$

$$+ F_{16}(L_{16}) + F_{17}(L_{17}) + F_{18}(L_{18}) + F_{19}(L_{19}) + F_{20}(L_{20}) + F_{20}(L_{20}) - R_{BZ}(L_t) = 0$$

$$(874.73 \text{ N})(12.38 + 21.9 + 31.42 + 40.94 + 50.46 + 59.98 + 69.5 + 79.02 + 88.54 + 98.6 + 107.58 + 117.1 + 126.62 + 136.14 + 145.66 + 155.19 + 164.7$$

$$+ 174.22 + 183.74 + 193.26 + 202.78 = R_{BZ}(227.3)$$

$$R_{BZ} = \frac{(874.73)(2644.999)}{227.3}$$

$$R_{BZ} = 10178.65 \text{ N}$$

$$R_{AZ} = 18369 \text{ N} - R_{BZ}$$

$$R_{AZ} = 18369 \text{ N} - 10178.65$$

$$R_{AZ} = 8190.35 \text{ N}$$





## Anexo G. Resultados de material triturado





# Anexo H. Factor de diseño libro Robert\_L\_Mott

## 5-7 FACTORES DE DISEÑO

El término *factor de diseño*,  $N$ , es una medida de la seguridad relativa de un componente bajo la acción de una carga. En la mayor parte de los casos, la resistencia del material con que se fabricará el componente se divide entre el factor de diseño para determinar un *esfuerzo de diseño*,  $\sigma_d$ , que a veces se llama *esfuerzo admisible* o *esfuerzo permisible*. Entonces, el esfuerzo real que se desarrolla en el componente debe ser menor que el esfuerzo de diseño. Para algunos tipos de carga, es más cómodo establecer una relación con la que se pueda calcular el factor de diseño,  $N$ , a partir de los esfuerzos reales aplicados y de la resistencia del material. En otros casos más, en especial para el caso de pandeo de columnas, que se describirá en el capítulo 6, el factor de diseño se aplica a la carga sobre la columna y no a la resistencia del material.

La sección 5-9 presenta métodos para calcular el esfuerzo de diseño o el factor de diseño para distintos tipos de cargas y materiales.

El diseñador debe determinar cuál será un valor razonable del factor de diseño en determinado caso. Con frecuencia, el valor del factor de diseño o del esfuerzo de diseño está definido por códigos establecidos por organizaciones de normalización, como la Sociedad Estadounidense de Ingenieros Mecánicos (American Society of Mechanical Engineers), la Asociación Estadounidense de Manufactura de Engranajes (American Gear Manufacturers Association), el Departamento de la Defensa de Estados Unidos (U. S. Department of Defense), la Asociación de Aluminio (Aluminum Association) o el Instituto Estadounidense de Construcción de Acero (American Institute of Steel Construction). Para estructuras, con frecuencia son los reglamentos de construcción local o estatal los que indican los factores de diseño o los esfuerzos de diseño. Algunas empresas han adoptado sus propias políticas para especificar factores de diseño basados en su experiencia con condiciones parecidas.

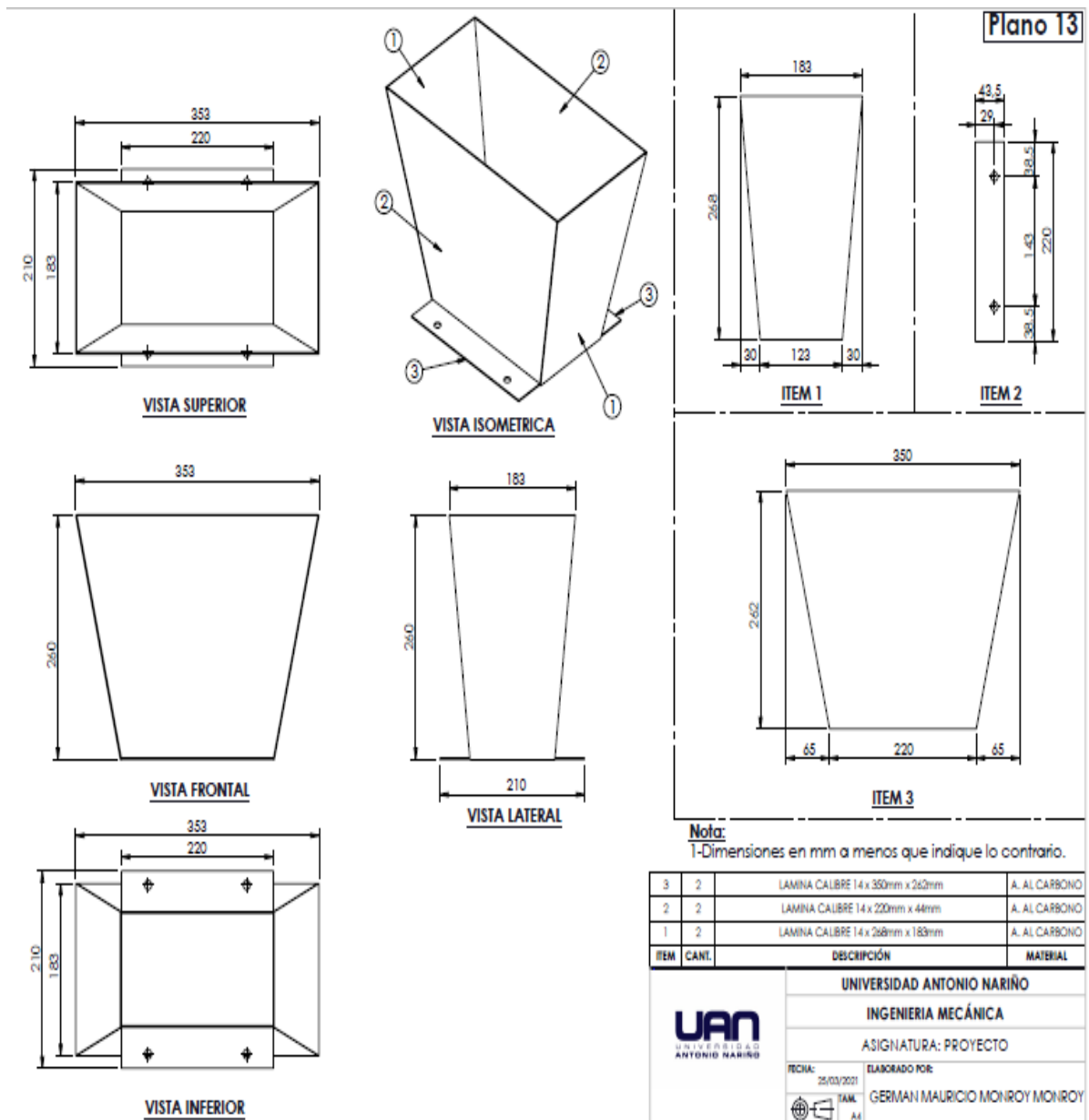
Cuando no se cuenta con códigos o normas, el diseñador debe aplicar su juicio para especificar el factor de diseño adecuado. Parte de la filosofía de diseño, descrita en la sección 5-6, se refiere a asuntos como la naturaleza de la aplicación, el ambiente, la naturaleza de las cargas sobre el componente que se va a diseñar, el análisis de esfuerzos, las propiedades del material y el grado de confianza en los datos que se emplean en el proceso de diseño. Todas estas consideraciones afectan la decisión acerca de qué valor del factor de diseño es el adecuado. En este libro se emplearán los siguientes lineamientos.

### Materiales dúctiles

1.  $N = 1.25$  a  $2.0$ . El diseño de estructuras bajo cargas estáticas, para las que haya un alto grado de confianza en todos los datos del diseño.
2.  $N = 2.0$  a  $2.5$ . Diseño de elementos de máquina bajo cargas dinámicas con una confianza promedio en todos los datos de diseño. Es la que se suele emplear en la solución de los problemas de este libro.
3.  $N = 2.5$  a  $4.0$ . Diseño de estructuras estáticas o elementos de máquina bajo cargas dinámicas con incertidumbre acerca de las cargas, propiedades de los materiales, análisis de esfuerzos o el ambiente.
4.  $N = 4.0$  o más. Diseño de estructuras estáticas o elementos de máquinas bajo cargas dinámicas, con incertidumbre en cuanto a alguna combinación de cargas, propiedades del material, análisis de esfuerzos o el ambiente. El deseo de dar una seguridad adicional a componentes críticos puede justificar también el empleo de estos valores.



# Anexo I. Diseño de tolva para una moderada dosificación







## Anexo J. Construcción máquina trituradora de envases plásticos







## Bibliografía

- Arapack. (2018). Que es el Pet. *Arapack*. Obtenido de <https://www.arapack.com/faq/que-es-el-pet/>
- Atanes, M. (2016). 12 cosas que (probablemente) no sabías sobre el plástico. *Greenpeace*. Obtenido de <http://archivo-es.greenpeace.org/espana/es/Blog/12-cosas-que-probablemente-o-sabas-sobre-el-p/blog/57441/>
- Borbon, L. E. (2012). Propiedades del plastico . *abc*.
- Calero. (2021). Como funciona una trituradora . *Calero*.
- CIBR. (2019). Que es el Pet. *CIBR Medio ambiente*. Obtenido de <http://www.cibr.es/medio-ambiente-pet-reciclado-que-es>
- Conciencia, e. (21 de agosto de 2012). *www.concienciaeco.com*. Recuperado el 15 de octubre de 2019, de *www.concienciaeco.com*: <https://www.concienciaeco.com/2012/08/21/que-es-el-reciclaje/>
- Credinform. (2020). ¿Cuánto tiempo tardan en descomponerse los productos plásticos que usamos a diario? Obtenido de <https://www.credinformsa.com/cuanto-tiempo-tardan-en-descomponerse-los-productos-plasticos-que-usamos-a-diario/#:~:text=Se%20calcula%20que%20el%20pl%C3%A1stico,tiempo%20se%20prolonga%20a%C3%BAn%20m%C3%A1s.>
- Ecología, B. s. (18 de noviembre de 2018). *ambienteyecologia.wordpress.com*. Recuperado el 15 de Octubre de 2019, de *ambienteyecologia.wordpress.com*: <https://ambienteyecologia.wordpress.com/2008/11/18/fundamentos-del-reciclaje/>
- Flowtrend. (2020). ¿QUÉ SON LOS ELASTÓMEROS? *Flowtrend*.
- Geographic, N. (08 de Junio de 2018). National Geographic. *Un mar de plastico* .
- GoodFellow. (2020). Propiedades PET. *GoodFellow*. Obtenido de <http://www.goodfellow.com/S/Politereftalato-de-Etileno.html>
- Importadores. (s.f.). Molino de discos. *Importadores* .
- Maldonado, A. T. (2012). Obtenido de [https://patente-envases.webnode.com.co/\\_files/200000103-5280b5280d/Basuralia%204.pdf](https://patente-envases.webnode.com.co/_files/200000103-5280b5280d/Basuralia%204.pdf)

- Maquinaria, A. (2020). ¿Qué son los termoplásticos? *Aristegui Maquinaria*.
- Maquinova. (s.f.). Molino triturador de martillo. *Maquinova*. Obtenido de <https://www.mezcladorasymolinos.com.mx/productos/molinos/de-martillos/>
- Martí, E. B. (2019). Qué son las máquinas trituradoras de plásticos y para qué sirven. *Canales sectoriales Interempresas*.
- Medrano, M. (2015). RECICLADO DE PLASTICO. *Blog WordPress*. Obtenido de <https://mgmgsite.wordpress.com/tercer-ano/bimestre-3/tareas/reciclado-de-vidrio-papel-y-plastico/>
- MIGUEL, F. C. (2013). DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN EQUIPO TRITURADOR DE BOTELLAS PLÁSTICAS TIPO PET. En *DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN EQUIPO TRITURADOR DE BOTELLAS PLÁSTICAS TIPO PET*. RIOBAMBA - ECUADOR.
- Miranda, I. J. (2014). Maquinas de trituracion. *apuntes-ing-mecanica.blogspot*. Obtenido de <https://apuntes-ing-mecanica.blogspot.com/2014/04/trituradoras-de-impacto-i.html>
- Ortiz, A. P. (Febrero de 2013). Obtenido de <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/5901/1/CD-4717.pdf>
- Paul, C. B. (2020). Obtenido de <https://repositorio.uss.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12802/6677/Cajusol%20Baldera%20Henry%20Paul.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- PRIETO, M. A. (2020). Reciclaje químico . *Mold Masters*. Obtenido de <https://www.pt-mexico.com/articulos/reciclado-quimico-una-reflexion-tecnica-sobre-la-depolimerizacion-del-pet->
- RecaudaPET. (2013). Historia PET. *Menos botellas mas vida*.
- reciclajesavi. (2015). Codigos de identificacion de resinas de plastico. *reciclajesav*.
- RETSCH. (2021). Molino de discos . *RETSCH*.
- Robert\_L\_Mott. (s.f.). Obtenido de [https://www.academia.edu/34159733/Dise%C3%B1o\\_de\\_Elementos\\_de\\_M%C3%A1quinas\\_4ta\\_Edici%C3%B3n\\_Robert\\_L\\_Mott](https://www.academia.edu/34159733/Dise%C3%B1o_de_Elementos_de_M%C3%A1quinas_4ta_Edici%C3%B3n_Robert_L_Mott)
- Rodi, P. (19 de Junio de 2019). ¿Cómo afecta el plástico al medio ambiente? Obtenido de Archivo de video : <https://www.youtube.com/watch?v=-0DMVlvbvps>
- Santana, J. F. (2017). Obtenido de <https://repositorio.uniandes.edu.co/bitstream/handle/1992/39657/u807000.pdf?sequence=1>
- Teodoro, I. (2016). Molino de cuchillas . *Libroptica* .
- Teodoro, I. (2018). Molino de martillos . *Libroptica editorial virtual* .

TIMKEM. (s.f.). Rodamientos de bola. *TIMKEM*. Obtenido de <https://www.timken.com/wp-content/uploads/2017/08/10692SP-Chumaceras-de-bolas-Series-UC.pdf>

Villarruel, A. (2020). Las 3R del reciclaje. *goconqr*. Obtenido de <https://www.goconqr.com/mindmap/2917732/las-tres-r->