

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA  
SEDE QUITO**

**CARRERA:  
INGENIERÍA MECÁNICA**

**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de:**

**INGENIEROS MECÁNICOS**

**TEMA:  
DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE MÁQUINA  
TRITURADORA PARA BOTELLAS PLÁSTICAS PET RECICLABLES CON  
CAPACIDAD DE 5KG/H**

**AUTORES:  
LUIS ARMANDO CUSHICONDOR QUINGA  
VÍCTOR SAMUEL MONTA GUAÑA**

**TUTOR:  
  
RENÉ PATRICIO QUITIAQUEZ SARSOZA**

**Quito, agosto del 2021**

## CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Nosotros, Cushicondor Quinga Luis Armando, con documento de identificación N° 1726782749 y Monta Guaña Víctor Samuel, con documento de identificación N° 1719244889, manifestamos nuestra voluntad y cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del trabajo de titulación intitulado: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE MÁQUINA TRITURADORA PARA BOTELLAS PLÁSTICAS PET RECICLABLES CON CAPACIDAD DE 5KG/H , mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de Ingenieros Mecánicos, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en mi condición de autores nos reservamos los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.



.....  
Luis Armando Cushicondor Quinga

172678274-9



.....  
Víctor Samuel Monta Guaña

171924488-9

Quito, agosto 2021

## DECLARATORIA DE COAUTORÍA DEL DOCENTE TUTOR

Yo declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el trabajo de titulación DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE MÁQUINA TRITURADORA PARA BOTELLAS PLÁSTICAS PET RECICLABLES CON CAPACIDAD DE 5KG/H realizado por: Luis Armando Cushicondor Quinga y Víctor Samuel Monta Guaña, obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana, para ser considerado como trabajo final de titulación.



.....  
René Patricio Quitiaquez Sarsoza  
171059726-9

Quito, agosto del 2021

## **DEDICATORIA**

El presente trabajo de titulación va dedicado con todo mi corazón a mis padres, por su esfuerzo y sacrificio, por ayudarme incondicionalmente a cumplir mi sueño, quienes desde pequeño me supieron inculcar buenos valores para ser un hombre de bien, por sus consejos y paciencia, quienes estuvieron apoyándome durante toda la carrera, alentándome en cada momento difícil y por no perder la confianza hacia mi persona, todo lo que hoy soy es gracias a ellos.

**Luis Armando Cushicondor Quinga**

Este trabajo de titulación lo dedico a mis padres, gracias a ellos que me inculcaron valores y principios, demostrado con su ejemplo de lucha, superando grandes obstáculos en su vida, nos supieron sacar adelante sin tener grandes riquezas y sin perder la fe en Dios, dándonos su cariño y comprensión que siempre se esforzaron para darnos el estudio hasta donde ellos tenían la capacidad de apoyarnos por todo ese esfuerzo que realizaron les dedico el proyecto de titulación.

**Víctor Samuel Monta Guaña**

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco a Dios por permitirme dar un paso más en mi vida, a mis padres Vinicio y Edelina quienes fueron un pilar fundamental para cumplir esta gran meta, gracias a su confianza y apoyo incondicional en esos momentos que uno sentía desmayar, a mi hermano Alexis quien siempre estuvo apoyándome en esos momentos difíciles buscando alternativas para seguir adelante, a mis hermanas Marisol y Maribel quien fueron ejemplo de lucha y perseverancia, a mis sobrinos Mateo y Sofia que son mi alegría.

A mi prestigiosa universidad, en especial a mi tutor Patricio Quitiaquez pues bajo la eficiente supervisión el proyecto se pudo culminar con éxito.

**Luis Armando Cushicondor Quinga**

Agradezco a mis hermanos por apoyarme, a mi hermana Nancy por siempre estar en aquellos momentos difíciles dándome su apoyo y guiándome, cuando no se puede cumplir una meta en la vida se puede buscar otras alternativas y seguir adelante, a mi hermana Aida por su apoyo y cariño y a mis demás hermanos Blas, Mónica, Bryan, Anahí de igual forma les agradezco por su apoyo y comprensión que supieron darme en la vida universitaria agradezco de todo corazón a todos ellos que siempre estuvieron pendientes de mi Gracias de corazón.

Agradezco a mi tutor al Ingeniero Patricio Quitiaquez por el apoyo incondicional para la elaboración del proyecto por guiarnos y ayudarnos a finalizar nuestra carrera universitaria.

**Víctor Samuel Monta Guaña**

## ÍNDICE DE CONTENIDO

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR.....	I
DECLARATORIA DE COAUTORÍA DEL DOCENTE TUTOR.....	II
DEDICATORIA .....	III
AGRADECIMIENTOS .....	IV
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	V
ÍNDICE DE TABLAS .....	X
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XII
GLOSARIO.....	XIV
RESUMEN.....	XV
ABSTRACT.....	XVI
INTRODUCCIÓN .....	XVII
ANTECEDENTES.....	1
CAPÍTULO I.....	2
GENERALIDADES .....	2
1.1.    Antecedentes del PET.....	2
1.2.    Tereftalato de Polietileno (PET).....	3
1.3.    Propiedades del PET.....	4
1.3.1.    Propiedades mecánicas del PET.....	4
1.3.2.    Resistencia térmica.....	5
1.3.3.    Resistencia química del plástico PET .....	5
1.4.    Reciclaje de plástico PET .....	5
1.5.    Clasificación del PET .....	6
1.6.    Aplicaciones del PET reciclado.....	6
1.7.    Codificación de los plásticos .....	7
1.8.    Máquina trituradora .....	9
1.8.1.    Tipos de máquinas trituradoras .....	9

1.8.2.	Trituradora de martillo .....	10
1.8.3.	Trituradora de rodillo .....	11
1.8.4.	Trituradora de doble eje .....	12
1.8.5.	Trituradora de un eje .....	14
1.9.	Análisis de alternativas.....	15
1.9.1.	Costos de materiales.....	16
1.9.2.	Mantenimiento de la máquina.....	16
1.9.3.	Capacidad de producción .....	16
1.9.4.	Facilidad de fabricación .....	16
1.9.5.	Escala de ponderación.....	16
1.10.	PARÁMETROS DE DISEÑO.....	18
1.10.1.	Fuerza de corte para PET .....	18
1.10.1.1.	Resistencia a la cizalladura .....	18
1.10.2.	Fuerza de corte .....	19
1.10.3.	Diseño de cuchillas .....	20
1.10.4.	Selección del material para las cuchillas.....	21
1.10.5.	Dimensionamiento del eje.....	21
1.10.6.	Diseño de engranes .....	22
1.10.7.	Selección de rodamientos.....	24
1.10.8.	Diseño de la Estructura .....	25
1.10.9.	Diseño de soldadura .....	28
1.10.10.	Diseño de la criba.....	29
1.10.11.	Diseño de la tolva superior.....	30
CAPÍTULO II .....		32
CÁLCULO Y DISEÑO DE ELEMENTOS .....		32
2.1.	Generalidades .....	32
2.2.	Diseño de las cuchillas .....	32

2.2.1.	Cálculo de la fuerza de corte.....	36
2.3.	Cálculo estático del eje.....	37
2.3.1.	Peso que actúan sobre el eje.....	37
2.3.2.	Diagrama de cuerpo libre.....	40
2.3.3.	Diagrama de Momentos.....	42
2.3.4.	Cálculo de esfuerzo.....	43
2.3.5.	Flexión acompañada de torsión.....	44
2.3.5.1	Análisis a torsión.....	44
2.3.6.	Factores de corrección.....	45
2.4.	Cálculo Dinámico del eje.....	47
2.5.	Cálculo del factor de seguridad.....	48
2.6.	Cálculo para la sección A y C del eje.....	49
2.6.1.	Cálculo Dinámico del eje.....	51
2.7.	Análisis del chavetero.....	53
2.7.1.	Resistencia de la cuña.....	53
2.8.	Potencia del motor.....	54
2.8.1.	Selección del motorreductor.....	55
2.9.	Cálculo del engrane.....	56
2.10.	Selección de la chumacera.....	58
2.10.1.	Carga estática.....	58
2.10.2.	Vida nominal básica del rodamiento.....	60
2.11.	Diseño de estructura.....	61
2.11.1.	Columna 1.....	61
2.11.2.	Viga 2.....	62
2.12.	Cálculo de soldadura.....	63
2.13.	Diseño de la tolva inferior.....	65
2.14.	Diseño de separador para las cuchillas.....	66

2.15.	Placa base.....	66
2.16.	Placa base 2.....	67
2.17.	Pernos de sujeción .....	67
2.17.1.	Área transversal del perno.....	68
2.18.	Diseño del circuito de fuerza y mando .....	70
CAPÍTULO III.....		72
VALIDACIÓN DE LOS COMPONENTES MEDIANTE SOFTWARE Y ANALIS DE COSTOS .....		72
3.1.	Generalidades .....	72
3.2.	Simulación de eje principal .....	72
3.2.1.	Diagrama de deformaciones.....	73
3.2.2.	Diagrama de Von Mises.....	73
3.3.	Cuchilla.....	74
3.3.1.	Desplazamiento .....	74
3.3.2.	Coefficiente de seguridad.....	75
3.4.	Simulación de las placas base.....	76
3.4.1.	Esfuerzo Von Mises .....	76
3.4.2.	Diagrama de desplazamiento .....	77
3.5.	Estructura.....	77
3.5.1.	Desplazamiento.....	78
3.5.2.	Coefficiente de seguridad.....	78
3.6.	Análisis de costos .....	79
3.7.	Costos directos.....	79
3.7.1.	Costo de mano de obra.....	81
3.7.2.	Costos de utilización de máquinas herramientas y otros equipos.....	81
3.7.3.	Costos Directos Totales.....	81
3.8.	Costos indirectos .....	82

3.9. Costo total de la máquina .....	82
3.10. Análisis financiero .....	82
3.10.1. Flujo de ingresos .....	83
3.10.2. Flujo de egresos.....	83
3.10.3. Flujo de egresos mensuales.....	84
3.10.4. Flujo efectivo neto.....	84
3.11. VAN.....	84
3.12. TIR.....	86
3.13. PRI .....	86
CAPÍTULO IV.....	88
PRUEBAS Y CAPACIDAD DE CORTE .....	88
CONCLUSIONES .....	90
RECOMENDACIONES .....	91
REFERENCIAS.....	92
ANEXOS.....	96

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Propiedades físicas del plástico PET[9] [10] .....	4
Tabla 2 Propiedades mecánicas del plástico PET [9] [10].....	4
Tabla 3 Propiedades térmicas del plástico PET [9] [10].....	5
Tabla 4 Resistencia química del plástico PET[9] [10].....	5
Tabla 5 Clasificación del PET[14] [15]. .....	7
Tabla 6 Características principales de la trituradora de martillos [18]. .....	11
Tabla 7 Características trituradora de rodillos [20].....	12
Tabla 8 Características trituradora de doble eje [22]. .....	14
Tabla 9 Características principales de la trituradora de un eje [23]. .....	15
Tabla 10 Escala de ponderación.....	16
Tabla 11 Criterios para el análisis de alternativas.....	17
Tabla 12 Tabla de resultados de alternativas .....	18
Tabla 13 Acero para herramientas de corte [29].....	21
Tabla 14 Resistencia a la fluencia y tensión ASTM A6 o A568 [31].....	22
Tabla 15 Propiedades del metal de aporte [30].....	28
Tabla 16 Tamaño de botellas .....	34
Tabla 17 Propiedades del PET [38]. .....	36
Tabla 18 Parámetros en el factor de condición superficial [31].....	46
Tabla 19 Factor de tamaño [31]. .....	46
Tabla 20 Factores de corrección [31].....	47
Tabla 21 Factores de corrección [31].....	51
Tabla 22 Dimensiones del chavetero [31].....	53
Tabla 23 Valores calculados .....	55
Tabla 24 Valores del factor seguridad FS de carga estática [47] .....	59
Tabla 25 Propiedades de los pernos SAE [31].....	68
Tabla 26 Propiedades de las roscas UNC[31].....	68
Tabla 27 Costos de la materia la prima.....	80
Tabla 28 Costo de mano de obra.....	81
Tabla 29 Costos máquinas herramientas y otros equipos .....	81
Tabla 30 Costos directos totales.....	81
Tabla 31 Costos indirectos .....	82
Tabla 32 Costo total de fabricación .....	82

Tabla 33 Promedio diario de trabajo.....	83
Tabla 34 Valores anuales .....	83
Tabla 35 Flujo de ingresos .....	83
Tabla 36 Porcentaje del salario en relación con las horas trabajadas .....	83
Tabla 37 Egresos mensuales .....	84
Tabla 38 Flujo neto efectivo .....	84
Tabla 39 Indicador VAN [51]. .....	85
Tabla 40 Indicador TIR [51] .....	86
Tabla 41 Flujos acumulados.....	87
Tabla 42 Cantidad de botellas trituradas en 3600seg.....	88
Tabla 43 Tiempo de triturado de cada botella.....	88
Tabla 44 Parámetros de corte .....	88

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Productos del PET [13].....	7
Figura 2 Trituradora de martillo [17].....	10
Figura 3 Trituradora de rodillos [19]. ....	11
Figura 4 Trituradora de cuchillas [21]. ....	13
Figura 5 Trituradora de un eje [23]. ....	14
Figura 6 Superficie de corte [26]. ....	18
Figura 7 Proceso de deformación del material [27].....	19
Figura 8 Fresa de disco [29].....	20
Figura 9 Herramientas de fresado en escuadra [29].....	21
Figura 10 Eje hexagonal.....	22
Figura 11 Partes principales [31]. ....	23
Figura 12 Partes de los cojinetes de bola [31].....	25
Figura 13 Diseño estructura de la mesa .....	25
Figura 14 Factor de estabilidad de columnas y momento máximo de la viga [33]. ..	27
Figura 15 Diseño de criba .....	30
Figura 16 Diseño de la tolva .....	30
Figura 17 Diseño de cuchilla.....	33
Figura 18 Diseño de la cuchilla.....	33
Figura 19 Botella de 3000 ml aplastada .....	34
Figura 20 Botella de 3000 ml PET [37].....	35
Figura 21 Medición del espesor crítico de la botella .....	35
Figura 22 Área de la cuchilla $6373.569\text{mm}^2$ .....	37
Figura 23 Área del espaciador $1102.1736\text{mm}^2$ .....	38
Figura 24 Diagrama de cuerpo libre.....	41
Figura 25 Diagrama de corte.....	42
Figura 26 Diagrama momento flector .....	42
Figura 27 Diagrama de momento Torsor .....	42
Figura 28 Selección del motor reductor [44] .....	56
Figura 29 Distancia entre centros.....	56
Figura 30 Características de la chumacera y el rodamiento [46]. ....	59
Figura 31 Vida de cojinetes para varias aplicaciones [30].....	60
Figura 32 Diseño de la estructura.....	61

Figura 33 Puntos críticos de soldadura .....	63
Figura 34 Diseño de la tolva inferior .....	65
Figura 35 Espaciadores .....	66
Figura 36 Soportes laterales para la caja trituradora .....	67
Figura 37 Soportes laterales para la caja trituradora .....	67
Figura 38 Diámetro del sujetador $d$ y paso [31].....	69
Figura 39 Diagrama eléctrico.....	71
Figura 40 Factor de seguridad del eje principal. ....	72
Figura 41 Diagrama de deformaciones del eje principal. ....	73
Figura 42 Diagrama Von Mises del eje principal. ....	73
Figura 43 Tensión de Von Mises .....	74
Figura 44 Desplazamiento del filo cortante .....	75
Figura 45 Coeficiente de seguridad de la cuchilla .....	75
Figura 46 Factor de seguridad de la placa lateral.....	76
Figura 47 Diagrama Von Mises de la placa lateral. ....	76
Figura 48 Diagrama de desplazamiento de la placa lateral.....	77
Figura 49 Tensión de Von Mises .....	77
Figura 50 Desplazamiento en los puntos críticos.....	78
Figura 51 Coeficiente de seguridad de la estructura .....	79

## GLOSARIO

- **Polímero:** proviene de las palabras griega Polys que significa muchas y Meros que significa partes. Se define como una macromolécula formada por muchas unidades que se repiten a lo extenso de una cadena .[1]
- **Plástico:** son polímeros a base de petróleo porque son maleables y transparentes, que es uno de los bastos más manejados en el mundo .[2]
- **Polimerización:** en química orgánica la polimerización se concreta a una reacción en el que se sintetiza a un polímero a partir de un monómero. [1]
- **Reciclaje P.E.T:** es un proceso de transformación de residuos sólidos a un nuevo producto el cual incluye el compostaje si cumplen con protocolos de calidad.[3]
- **Reciclaje químico:** este es el proceso de descomposición de las macromoléculas presentes en los desechos plásticos para obtener los primeros monómeros de bajo peso molecular que se pueden utilizar como materias primas para la polimerización.[4]
- **Reciclaje mecánico:** esto incluye la clasificación, limpieza y trituración de materiales plásticos como el tereftalato de polietileno (PET). Estos materiales se convierten en escamas, luego se procesan y finalmente se granulan con termoplásticos.[4]
- **Trituración:** consiste en dar una medida y forma exacta al plástico para que pueda ser compatible con otro proceso de transformación.[4]

## RESUMEN

El presente proyecto técnico es la construcción de los diferentes componentes de un prototipo de máquina trituradora para botellas PET reciclables con capacidad de 5kg/h, tomando los parámetros de las botellas más comunes que se encuentra en las recicladoras que es la botella PET de tres litros, las botellas PET en la actualidad son utilizadas para embazar diversidad de líquidos incrementando la fabricación de recipientes generando una cantidad considerable de basura, los recipientes teniendo un adecuado proceso de reciclaje se los puede reutilizar en diversos productos aportando a reducir la cantidad de basura que acumula los envases, ocasionando contaminación ambiental que es unos de los problemas para el planeta.

Se determinó parámetros para la elección de la máquina, la capacidad de triturado y el costo de construcción, las alternativas aplicadas para construir la máquina son las siguientes: martillo, rodillo, doble eje y un eje tomando la alternativa de doble eje que cumple con los requisitos antes mencionados.

Para la construcción y el dimensionamiento se toma la fuerza necesaria para cortar el material PET y los esfuerzos a los que son sometidos los diferentes componentes, el cual con el software inventor se analizó los diferentes elementos, cumpliendo con los factores de seguridad necesarios para luego seleccionar el material adecuado para cada uno de ellos.

Se analizó los parámetros de rentabilidad del proyecto técnico dando un indicador positivo para su construcción, para luego proceder a realizar las pruebas de la máquina dando una capacidad de triturado de 5kg/h con trozos triturados aproximadamente de 15x10mm.

**Palabras clave:** construcción, prototipo, PET, reciclable, trituradora, indicadores.

## ABSTRACT

This technical project is the construction of the different components of a prototype of a crushing machine for recyclable PET bottles with a capacity of 5kg / h, taking the parameters of the most common bottles found in recyclers, which is the three-liter PET bottle. Currently, PET bottles are used to pack a variety of liquids increasing the manufacture of containers generating a considerable amount of garbage, the containers having an adequate recycling process can be reused in various products helping to reduce the amount of garbage that accumulates packaging, causing environmental pollution that is one of the problems for the planet.

Parameters were determined for the choice of the machine, the crushing capacity and the construction cost, the alternatives applied to build the machine are the following: hammer, roller, double shaft and one shaft, taking the alternative of double shaft that meets the aforementioned requirements.

For the construction and sizing, the necessary force is taken to cut the PET material and the efforts to which the different components are subjected, which with the inventor software the different elements were analyzed, complying with the necessary safety factors and then selecting the right material for each of them.

The profitability parameters of the technical project were analyzed giving a positive indicator for its construction, and then proceeded to carry out the tests of the machine giving a crushing capacity of 5kg / h with crushed pieces of approximately 15x10mm.

**Key words:** construction, prototype, PET, recyclable, shredder, indicators.

## INTRODUCCIÓN

El consumo de las botellas plásticas por parte de las industrias alimenticias se ha incrementado a 359 millones de toneladas de PET en la última década y con el pasar de los años esto podría aumentar. Actualmente, existe un incremento de desechos plásticos y estos suelen encontrarse en botaderos de basura, drenajes de lluvia, en ríos y en algunos casos en los mares, si se lo recupera y se recicla dependiendo el país y las normativas vigentes de cada uno de ellos estos desechos plásticos puede volverse a transformar en materia prima.

Una pequeña parte de las grandes industrias se dedica al reciclaje, anualmente en el Ecuador se recicla 12.671 toneladas de desecho solido al día de los cuales conforman el papel, metal, plástico y vidrio, el 6.9 % desechos sanitarios no peligrosos y un 11.2% corresponde a resinas plásticas (PET, polietileno, polipropileno) [5].

La construcción de la máquina trituradora de botellas plásticas PET tiene como objetivo principal conservar el medio ambiente, dando una nueva alternativa a los desechos plásticos, transformando en materia prima para la obtención de hojuelas plásticas para utilizar en la industria textil en la fabricación de hilos de poliéster de una forma fácil y sencilla preservando el medioambiente, este proyecto va dirigido a microempresas debido al bajo costo de la maquinaria sería una inversión que generaría ingresos significativos para su economía.

## ANTECEDENTES

En los últimos años se ha visto un incremento excesivo de desechos plásticos que ha invadido el planeta, su mayor uso y producción por parte de la industria alimenticia puede contaminar todos los rincones de la tierra, actualmente, bebidas y alimentos vienen almacenados en envases plásticos, una botella tarda más de ciento cincuenta años en descomponerse en el medio ambiente, no solo su producción pone en peligro el ecosistema sino la eliminación de este residuo, su combustión produce vapores tóxicos que dañan la biósfera.

Las botellas plásticas al cumplir su ciclo son desechadas a la basura, últimamente se ha visto un alto índice de personas que se dedican a reciclar botellas plásticas puesto que este producto se lo puede volver a tratar como materia prima si posteriormente pasa por un proceso de triturado para la obtención de hojuelas de PET, de esta manera este nuevo producto se lo utiliza en la obra civil para mejorar las propiedades del concreto, también se lo utiliza para la producción de hilos de poliéster para la industria textil.

Para el desarrollo de la presente investigación se plantea la aplicación de los siguientes objetivos:

### Objetivo general

- ✓ Diseñar y construir un prototipo de máquina trituradora para botellas plásticas PET reciclables con capacidad de 5kg/h.

### Objetivos específicos

- ✓ Establecer los diferentes tamaños de las botellas plásticas reciclables mediante un check list de identificación para el proceso de triturado.
- ✓ Diseñar y calcular los principales elementos que componen la máquina trituradora.
- ✓ Establecer factores de seguridad mediante simulación de los elementos mecánicos.
- ✓ Comparar el rendimiento teórico vs el real del equipo en la capacidad total de funcionamiento.
- ✓ Establecer los indicadores financieros T.I.R y V.A.N de la máquina trituradora.

# **CAPÍTULO I**

## **GENERALIDADES**

En el actual capítulo se presenta una investigación acorde al plástico PET mismo que es utilizado en la industria para embazar bebidas y alimentos. Partiendo por sus antecedentes de como este tipo de material es muy útil por las propiedades y características que presenta, igualmente el uso que se le puede dar una vez que las botellas plásticas PET son desechadas, además brinda información sobre los tipos de plásticos que pueden ser reutilizados para entrar a un proceso de reciclaje, en donde se clasifica los plásticos acordes a su codificación. Partiendo por un análisis de alternativas y soluciones expuestas en este capítulo se obtendrá la mejor solución a este proyecto.

### **1.1. Antecedentes del PET**

La producción de envases plásticos gira entorno a la economía mundial, una persona común emplea muchos de estos elementos plásticos en su vida cotidiana, uno de ellos son las botellas PET por su versatilidad es incorporado en diversos procesos productivos como también en el producto final, en la actualidad, este producto es el primer artículo más utilizado a nivel mundial, los recipientes plásticos ocupan uno de los lugares líderes en la economía, es por esto que las grandes industrias comenzaron a fabricarlo en serie [6].

La producción de botellas plásticas de tereftalato de polietileno (PET) está basada en tres actores fundamentales: ambiente suelo, aire y agua. Actualmente, el 60% de los alimentos que se consume a diario se encuentran recubiertos por empaques maleables – botellas PET, en la actualidad se ve a menudo que la población más joven usa este tipo de envases por su fácil manejo [7].

Por otra parte, los desechos plásticos de los hospitales son incinerados y sus residuos son desechados al ambiente produciendo una contaminación atmosférica puesto que este tipo de material no se puede reciclar, otro ejemplo claro son la industria agropecuaria que contiene una gran variedad de plantaciones a nivel mundial. Este método es muy utilizado por agricultores para cuidar la producción lo cual están cubiertas por productos derivados del PET que afecta al ecosistema produciendo efectos invernadero, este último aspecto es el más contaminante que existe alrededor

del mundo y es el tema de los vertederos de desagüe los cuales no cuentan con un buen drenaje para reciclar los desperdicios de este material que son desechadas a menudo en las calles.

Los envases plásticos PET aparecen en la década 50 pero recién en el año 1976 se hace uso del producto por ser envases ligeros, transparentes y resistentes para el transporte de bebidas. Sus principales características son: resistencia para trabajar y moldear, y bajo costo de producción, por lo que, la mayoría de las industrias los producen, Tienen baja densidad y alta resistencia química, es un buen aislante pero no soporta altas temperaturas, por lo tanto, es un material muy común y utilizado, aunque, sus residuos son difíciles de manejar, empezando por no ser degradable [7].

## **1.2. Tereftalato de Polietileno (PET)**

En 2008 se produjeron alrededor de 245 millones de toneladas de plástico, y en 2018 ese número aumentó a 359 millones de toneladas, representado el 5% de consumo de petróleo del mundo. Es uno de los polímeros termoplásticos más utilizados en la industria textil. Este producto se produce en masa y se espera que se triplique en 2050 debido al uso excesivo [8].

La producción de PET se basa en ácido tereftálico puro derivado del petróleo (TPA) y etilenglicol (EG), la mezcla de estos dos elementos forma un monómero bis (2-hidroxietil) tereftalato (BHET) y se los mezcla con oligómeros polímeros de bajo peso molecular obteniendo así el PET líquido viscoso, que se extruye y se enfria en agua. Para después formar un material amorfo parecido al vidrio, algunos PET se producen utilizando tecnología de ácido dimetil tereftálico (DMT), debido a su bajo costo, el PET se usa a menudo en la producción de fibras [9].

En la actualidad, hay una gran demanda creciente de envases plásticos por parte de industrias textiles y mercados de alimentos, por lo que, se empezó a producir en serie para almacenar productos alimenticios, dicho material puede remplazar al vidrio economizando su producción y facilitando su transporte, las fibras y las botellas de PET comienzan a dominar los mercados internacionales para el almacenamiento de bebidas, y alimentos e inclusive en fabricación de ropa.

### 1.3. Propiedades del PET

Las botellas plásticas PET posee ciertas propiedades dado que existe una relación inversamente proporcional a la temperatura, esta puede subir o disminuir de acuerdo con la zona de trabajo que lo solicite, así mismo llega a ablandarse según se requiera, además pueden soportar elevadas cargas; en la tabla 1 se detalla cada una de la propiedades [8].

Tabla 1 Propiedades físicas del plástico PET[9] [10]

Propiedad	Símbolo	Valor
Proporción - Absorción de agua	<i>Iridos</i> [%]	Menor a 0.7
Índice refractivo	<i>n</i>	1.5-1.6
Densidad	$\delta \left[ \frac{gr}{cm^3} \right]$	1.3-1.4
Resistencia ultravioleta	<i>UVA</i>	Buena
Inflamabilidad	<i>HB</i>	Auto perdurable

#### 1.3.1. Propiedades mecánicas del PET

La resistencia a compresión puede variar entre 500 a 2500kg/cm<sup>2</sup>. En dependencia del tipo de PET utilizado, se debe tomar en cuenta la resistencia a tracción para hilo extruido en frio puede alcanzar los 4500kg/cm<sup>2</sup>. En la tabla 2 se detalla cada una de las propiedades.

Tabla 2 Propiedades mecánicas del plástico PET [9] [10].

Propiedad	Símbolo	Valor
Dureza Rockwell	<i>HR</i>	M94-101
Resistencia de impacto	<i>Izod</i> [ <i>Jm</i> <sup>-1</sup> ]	13-35
Coefficiente a la fricción	$\mu$	0.2-0.4
Resistencia de tracción	$\sigma R$ [ <i>Mpa</i> ]	160-190

### 1.3.2. Resistencia térmica

Las botellas plásticas PET pueden ser sometidas a elevadas temperaturas de acuerdo con la forma a la que se desea adaptar; la tabla 3 detalla algunas propiedades térmicas.

Tabla 3 Propiedades térmicas del plástico PET [9] [10].

Propiedad	Símbolo	Valor
Coeficiente de fricción	$\mu [KJ, K^{-1}Kg^{-1}]$	1.2-1.35
Temperatura de utilización máxima	$T_{max} [^{\circ}C]$	115 a 170
Temperatura de utilización mínima	$T_{min} [^{\circ}C]$	-40 a -70
Coeficiente térmico de expansión	$\sigma [10^{-6} K^{-1}]$	20-80
Conductividad térmica	$\lambda [K^{-1}Wm^{-1}]$	0.15-0.4

### 1.3.3. Resistencia química del plástico PET

Tiene una gran resistencia química a distintas sustancias como se lo indica en la tabla 4, por este motivo no es recomendable almacenar ácido u otras sustancias en envases plásticos.

Tabla 4 Resistencia química del plástico PET[9] [10].

Elementos	Formula	Estimación
Aromáticos	$C_nH_n$	Buena
Álcali	$NaOH$	Buena
Gasolina	$C_8H_{18}$	Buena
Agua	$H_2O$	Buena
Ácido sulfúrico 80%	$H_2SO_4$	Mala

### 1.4. Reciclaje de plástico PET

De acuerdo con el sistema de reciclaje el 90% de los plásticos son reciclables y se pueden transformar en materia prima sin embargo la gran diversidad del material que existe alrededor del mundo y una vez clasificado de acuerdo con el color, material, etc. se llega a concluir solo el 75% de los envases reciclados se pueden utilizar. En el mercado las botellas plásticas de un solo color y material son las más empleadas por

las industrias para el almacenamiento de sus productos y esto conlleva a que estas tengan un mayor precio y acogida por las personas que las consumen y a su vez más desechadas, mientras que las de distinto color se puede utilizar una sola vez, por tal motivo no son producidas en serie, es por esto que en la actualidad la mayor producción de desechos plásticos PET son las de un solo color permitiendo reciclarlas [11].

Existe una variedad de procesos de reciclado, empieza con la recolección de envases domésticos, este proceso se viene dando hace unos años atrás en donde a los recolectores de plástico PET son remunerados por este trabajo, por ello se puede observar las calles libres de botellas, aunque no en su totalidad, ya que, existen otros tipos de envases que no se puede reutilizar, sobre todo los que provienen de la industria agrícola.

### **1.5. Clasificación del PET**

Existen seis tipos de residuos plásticos domésticos que son reciclables y son: PET, HDPE, PVC, LDPE, PP Y PS. Una vez que los recicladores de botellas entregan a la empresa de reciclaje estas realizan un proceso para la clasificación de polímeros, este se lo realiza mediante escáneres ópticos automáticos que son colocados en una banda transportadora para separar material por mismo tipo de polímeros, aunque en algunos países sigue utilizando del método manual y visual [12].

### **1.6. Aplicaciones del PET reciclado**

Es la actualidad, es importante generar más información a los consumidores sobre el uso que se puede dar a los plásticos PET, primero cuando se emplea como envase y después, la utilidad de su reciclaje. Este tipo de polímeros es un valioso recurso para crear nuevos productos y crear nuevas aplicaciones, estos materiales no solo pueden reemplazar sino también pueden ser parte de la materia virgen para la fabricación de nuevos productos reduciendo costos de fabricación. Esto ha tenido una gran acogida en los últimos años por las empresas al mejorar el medio ambiente proporcionando productos sostenibles con emisiones de carbono reducidas, existe una amplia gama de productos que se forman de los plásticos reciclados incluyendo aplicaciones de tipo alimenticio como el denominado “botella á botella”, en este grupo se tiene bandejas para almacenar alimentos y otras aplicaciones. Una de las destacadas es la creación de ropa con las fibras de polímero como se indica en la figura 1.



Figura 1 Productos del PET [13].

### 1.7. Codificación de los plásticos

Con el fin de identificación se optó por codificar cada uno de ellos, los principales componentes plásticos (tapas, envases) llevan un identificador del material. La codificación ayuda fundamentalmente a la hora del reciclaje a nivel industrial. En Europa, la identificación es voluntaria, si se realiza la codificación debe cumplir con la norma 97/129/CE. Establece un sistema de identificación de un material de empaque regulado el 28 enero de 1997. Establece una plantilla para el sistema de base de datos para brindar información sobre el empaque y sus desechos. También se puede regir al sistema SPI (Sociedad de Industrias de Plástico) manejada y elaborada por los EE. UU. para los plásticos como se ve en la tabla 5. [12].

Tabla 5 Clasificación del PET[14] [15].

Clasificación del PET				
Nombre	Símbolo	Fórmula Química	Propiedades	Aplicaciones
<b>Polietileno Tereftalato (PET).</b>		$(C_{10}H_8O_4)_n$	Es un material que reciclable, duro y resistente, resiste altas temperaturas.	Se uso para artículos de hogar como: botellas de agua mineral, fundas de alimentos preparados, frascos de medicina, fibras de alfombras, ropas y cuerdas

<p><b>Polietileno de alta densidad (HP-DE).</b></p>		$(C_2 H_4)_n$	<p>Es un material desechable, tiene una alta densidad molecular.</p>	<p>Comúnmente se usa en: botellas de detergentes, botellas de jabón líquido y champú.</p>
<p><b>Cloruro de polivinilo (PVC).</b></p>		$(C_2 H_3)_n$	<p>Es un material muy estable, rígido y duro. Frecuentemente reciclado, no se debe reutilizar.</p>	<p>Este tipo de plásticos se usa comúnmente para la fabricación de artículos de plomería como : tuberías, azulejos, revestimientos, aislantes.</p>
<p><b>Polietileno de Baja Densidad (LDPE).</b></p>		$(C_2 H_4)_n$	<p>Es un material flexible, resistente y duradero, buena transparencia, reutilizable, su reciclaje es frecuente.</p>	<p>Estos plásticos se utilizan comúnmente en: fundas de sándwich, botellas exprimibles y algunas botellas de plástico, revestimiento de pisos, discos duros de pc.</p>
<p><b>Polipropileno (PP).</b></p>		$(C_3 H_6)_n$	<p>Resistente altas temperaturas, traslucido y robusto. Su reciclaje no es muy frecuente</p>	<p>Son aplicables en envases de margarina, botellas de sirope botellas de yogurt, muebles, juguetes, fibras filamentos.</p>

<b>Poliestireno (PS).</b>		$(C_8 H_8)_n$	Comúnmente reciclado quebradizo y de alta claridad	Son utilizados para cajas de comida, vasos, utensilios de cocina, son buenos aislantes del calor. La mayoría de estos plásticos son desechables
<b>Otros.</b>			De tipos no reciclado, este código se usa para representar diferentes tipos de plásticos distintos a los anteriores.	Estos tipos de plásticos no son reciclables y estos son algunos ejemplos: jeringas de usos médicos, biberones, CD

### 1.8. Máquina trituradora

El objetivo de la máquina es reducir grandes pedazos de plásticos, con la ayuda de un motor y cuchillas diseñadas para tal efecto, existen una variedad de trituradores dependiendo el tipo de material que se va a procesar.

Su funcionamiento es realizado mediante un motor que al introducir material a la tolva el motor genera movimiento a las cuchillas las cuales permiten el corte de las botellas plásticas generando pequeños pedazos y estos son recolectados para luego proceder a su reutilización

El triturado reduce el tamaño de los envases reciclados que se almacenan, aumentando favorablemente la capacidad de acopio de la materia prima que luego se transforma en productos elaborados [16]

#### 1.8.1. Tipos de máquinas trituradoras

En el ámbito del reciclado se tiene una diversidad de máquinas para el proceso de triturado, sus dimensiones varían según la necesidad del cliente o la capacidad de procesamiento del material. A continuación, se especifica las principales máquinas que se pueden encontrar en el mercado.

### 1.8.2. Trituradora de martillo

Su funcionamiento es resultado de la intervención de diferentes fuerzas para el desprendimiento del material y provocando cortes pequeños al producto. En el interior tiene una barra o martillos que están sujetas a un eje rotatorio el cual genera una fuerza de impacto en la cavidad de la trituración, la figura 2 muestra el interior del mecanismo.

El material es introducido en la tolva el cual los martillos generan una fuerza de impacto entre el material que luego seguirá a la criba [17].

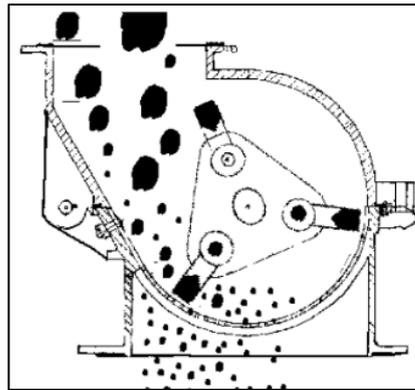


Figura 2 Trituradora de martillo [17].

#### **Ventajas**

Fácil operación

Facilidad de mantenimiento

Fácil instalación

Tamaños homogéneos de las partículas

Consumo energético bajo

#### **Desventajas**

Producen mucho ruido

Puede producir un exceso de calor

La tabla 6 se muestra las especificaciones de la trituradora de martillo.

Tabla 6 Características principales de la trituradora de martillos [18].

<b>Características trituradoras de martillos</b>	
Campo de aplicación	Triturado de plásticos, vidrio cartón, en la industria alimenticia y en otras aplicaciones
Material para triturar	Delgado, medio, seco
Capacidad de triturado	5-10 (t/h)
Granulometría inicial	<100 (mm)
Granulometría final	<15 (mm)
Potencia del Motor	4P-11 (kW)
Ejes	1
Mantenimiento	Bajo
Costo	4500 \$
Peso	0.8 (t)

### 1.8.3. Trituradora de rodillo

El mecanismo de triturado es mediante la alimentación del material en la tolva el cual tiene contacto con los rodillos que están acoplados a unos ejes que rotan en dirección contraria para que el material se introduzca generando una fuerza de compresión y cizallamiento, en la figura 3 muestra la transformación del material a uno más reducido. La capacidad de triturado dependerá del volumen a procesar, el material y la velocidad que giran los rodillos [19].

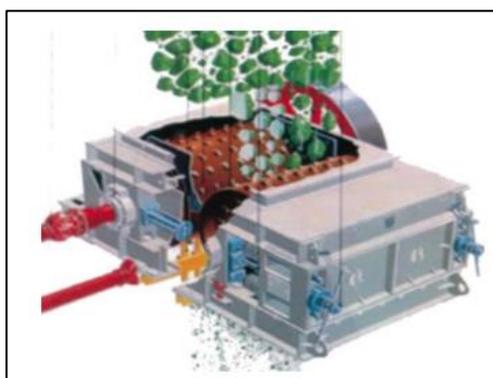


Figura 3 Trituradora de rodillos [19].

## Ventajas

Fácil instalación

Menos consumo de energía

## Desventajas

Desgaste prematuro de los rodillos

Mantenimiento elevado

En la tabla 7 muestra las especificaciones de la trituradora de rodillos.

Tabla 7 Características trituradora de rodillos [20].

Características trituradoras de rodillos	
Área de aplicación	Procesos de minería, materiales pétreos, industria química, metalurgia.
Tipo de material a triturar	Granulado fino, medio, seco.
Capacidad de triturado	2-10(t/h)
Granulometría inicial	<35 (mm)
Granulometría final	≤2-8 (mm)
Potencia del Motor	2×5.5 ((kW))
Dimensiones	2110×870×810
Ejes	2
Mantenimiento	Medio
Costo	3500\$
Peso	1.3 (t)

### 1.8.4. Trituradora de doble eje

Es la más utilizada para el triturado de botella PET como indica la figura 4, su funcionamiento es mediante cuchillas acopladas a dos ejes, los ejes de las cuchillas están conectadas mediante piñones, al momento de girar las cuchillas atrapan el material y lo cortan, un eje de las cuchillas está conectado al motor para generar el torque necesario para cortar el material, la separación entre cuchillas y espaciadores varía entre 0.2 y 0.5 mm [21].



Figura 4 Trituradora de cuchillas [21].

### **Ventajas**

Triturado de diversos materiales

Bajos niveles de ruidos

Fácil instalación

Facilidad de operación

Consumo de energía bajo

Triturado a baja velocidad y alto torque

Facilidad de mantenimiento

### **Desventajas**

Alineación precisa entre cuchillas

Desgaste en los filos de las cuchillas

En la tabla 8 se muestra las especificaciones de la trituradora de doble eje.

Tabla 8 Características trituradora de doble eje [22].

<b>Características trituradoras de doble eje</b>	
Área de aplicación	Material de oficina, plásticos, cartón, papel, vidrio, desperdicios farmacéuticos, tarjetas plásticas.
Tipo de material a triturar	Fino, medio, seco
Capacidad de triturado	300kg /h dependiendo el material a triturar
Granulometría inicial	6(mm)
Granulometría final	3(mm)
Potencia del Motor	2 HP
Cámara de triturado	230 x 270 (mm)
Ejes	2
Mantenimiento	Bajo
Costo	2800\$
Peso	35kg

### 1.8.5. Trituradora de un eje

Las cuchillas van insertadas en un solo eje y en la parte lateral tiene un soporte fijo, el cual mediante el movimiento de la flecha se produce el corte del triturado. La figura 5 muestra una trituradora de un solo eje.

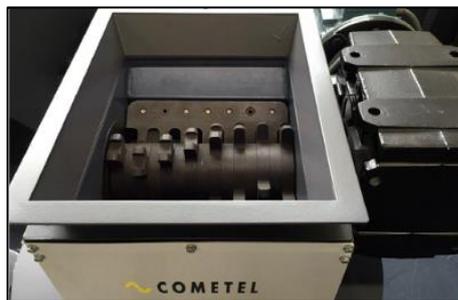


Figura 5 Trituradora de un eje [23].

### Ventajas

Diseño compacto

Bajo consumo de energía

Fácil mantenimiento

Fácil limpieza

Nivel de ruido bajo

Control del tamaño de viruta con las rejillas

### **Desventajas**

Capacidad de triturado bajo

Mayor número de cuchillas

Desgaste de filos de las cuchillas

La tabla 9 muestra las especificaciones de la trituradora de un eje.

Tabla 9 Características principales de la trituradora de un eje [23].

<b>Características de la trituradora de un eje</b>	
Campo de aplicación	Papel, desechos plásticos, cartón, gavetas plásticas.
Tipo de material a triturar	Fino, medio, seco.
Capacidad de triturado	200 kg/h en función del tipo de material.
Granulometría inicial	8-25(mm)
Granulometría final	3-5 (mm)
Potencia del Motor	2,2 hasta 5,5 kW
Cámara de triturado	310x380 (mm)
Ejes	1
Mantenimiento	Bajo
Costo	2000\$
Peso	300 kg

### **1.9. Análisis de alterativas**

En esta sección se analizará que alternativa es viable para la construcción del proyecto, el autor nos menciona que siempre se debe evaluar y seleccionar la alternativa más conveniente y esto se puede aplicar a ideas, objetivos o proyectos, etc., las matrices que se van a utilizar son las de Mason & Mitroff y de Covey [24].

Para la elaboración del análisis de alternativas se va a tomar los siguientes parámetros.

### **1.9.1. Costos de materiales**

Consiste en verificar los precios más económicos en los diferentes distribuidores de materiales que se va a utilizar como son los tubos, electrodos, pernos y accesorios como el motor, botoneras etc.

### **1.9.2. Mantenimiento de la máquina**

La facilidad que el operario pueda realizar un cambio de algún elemento de la máquina sin necesidad de contratar a terceros o necesitar alguna herramienta complicada, facilidad de adquisición de repuestos de la máquina y lubricación.

### **1.9.3. Capacidad de producción**

Construir una máquina que cumpla el requerimiento básico de producción que se planteó con un presupuesto económico bajo.

### **1.9.4. Facilidad de fabricación**

Se debe tomar en cuenta la factibilidad de stock del material en las distribuidoras como los diferentes componentes, facilidad de operar máquinas herramientas para los mecanizados o a su vez contratar centros de mecanizados a bajo costo.

### **1.9.5. Escala de ponderación**

Para la ponderación se tomará los siguientes valores en un rango de 1 a 5 como muestra la tabla 10.

Tabla 10 Escala de ponderación

<b>Rango</b>	<b>Calificación</b>
<b>5</b>	Excelente
<b>4</b>	Muy buena
<b>3</b>	Buena
<b>2</b>	Regular
<b>1</b>	Mala

En la tabla 11 muestra la calificación para cada una de las alternativas.

Tabla 11 Criterios para el análisis de alternativas

Parámetros	Alternativas			
	Trituradora de Martillo	Trituradora de Rodillo	Trituradora de Doble Eje	Trituradora de un eje
Costos de materiales	3	2	5	4
Mantenimiento de la máquina	4	2	3	4
Capacidad de producción	3	3	4	3
Facilidad de fabricación	3	2	4	3
Facilidad de operación	4	3	4	4
<b>TOTAL</b>	17	12	20	18

#### Valoración de ponderación a los criterios de alternativas

5 = Costos de materiales

4 = Facilidad de fabricación

4= Facilidad de operación

3 = Capacidad de producción

2 = Mantenimiento de la máquina

En la tabla 12 se muestra las ponderaciones de cada alternativa.

Tabla 12 Tabla de resultados de alternativas

Parámetros	Alternativas			
	Trituradora de martillo	Trituradora de rodillo	Trituradora de doble eje	Trituradora de un eje
Costos de materiales	$3 \cdot 5 = 15$	$2 \cdot 5 = 10$	$5 \cdot 5 = 25$	$4 \cdot 5 = 20$
Mantenimiento de la máquina	$4 \cdot 2 = 8$	$2 \cdot 2 = 4$	$3 \cdot 2 = 6$	$4 \cdot 2 = 8$
Capacidad de producción	$3 \cdot 3 = 9$	$3 \cdot 3 = 9$	$4 \cdot 3 = 12$	$3 \cdot 3 = 9$
Facilidad de fabricación	$3 \cdot 4 = 12$	$2 \cdot 4 = 8$	$4 \cdot 4 = 16$	$3 \cdot 4 = 12$
Facilidad de operación	$4 \cdot 4 = 14$	$3 \cdot 2 = 6$	$4 \cdot 4 = 16$	$4 \cdot 4 = 16$
<b>TOTAL</b>	<b>58</b>	<b>37</b>	<b>75</b>	<b>65</b>

Con los resultados obtenidos en la tabla 12 la mejor opción para construcción es la de doble eje cumpliendo los parámetros necesarios para su construcción.

## 1.10. PARÁMETROS DE DISEÑO

### 1.10.1. Fuerza de corte para PET

Para entender que es la fuerza de corte, se relacionará el corte de un papel con una tijera (cizallamiento) es cuando al presionar la tijera por los extremos el filo de la hoja corta al papel a lo largo de la línea del filo de la tijera [25], la figura 6 muestra el cizallamiento longitudinal de un material.

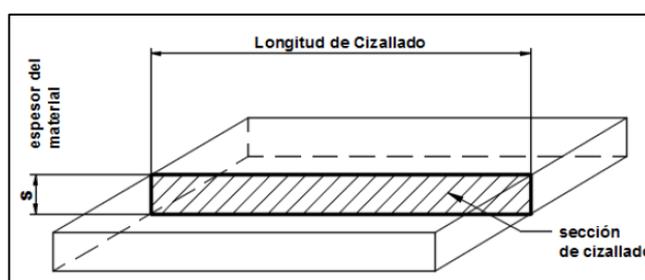


Figura 6 Superficie de corte [26].

#### 1.10.1.1. Resistencia a la cizalladura.

Es la fuerza externa que se aplica a los planos paralelos del material produciendo el corte mediante la fuerza en la cuchilla o punzones.

El proceso mecánico de corte tiene tres puntos principales al momento de producir la rotura del material.

- ✓ Deformación: la fuerza aplicada en la chapa produciendo la deformación elástica del material [27].
- ✓ Penetración: los filos de las herramientas de corte producen fractura del material causando tensiones en los filos de las herramientas [27].
- ✓ Fractura: al momento de la penetración de la cuchilla el material llega a su punto crítico de ruptura produciendo la separación del material para luego continuar el mismo proceso.

La figura 7 muestra el proceso de deformación del material.

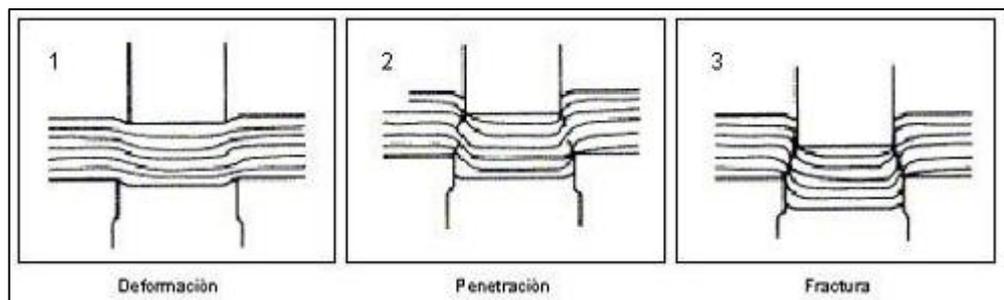


Figura 7 Proceso de deformación del material [27]

El material PET que va a ser triturado tiene una resistencia de cizallamiento el cual se produce cuando las cuchillas empiecen a girar, la ecuación que se va a utilizar es la siguiente.

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

Donde:

$\tau_B$ : resistencia a la cizalladura.

$\sigma_B$ : resistencia a la rotura.

### 1.10.2. Fuerza de corte

La fuerza utilizada en los procesos de troquelado mediante una prensa que genera una fuerza a una matriz para producir el corte correctamente y el material no tenga rebabas y no tenga pérdidas de material en el proceso, mediante la siguiente ecuación se va a proceder a calcular la fuerza de corte [28].

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

$F_H$  : fuerza de corte.

$\tau_B$  : resistencia a la cizalladura.

$L$  : longitud de cizallamiento.

$s$  : espesor a cortar.

$As$ : sección de cizallado

La siguiente fórmula es el resultado de multiplicar la longitud por el espesor del material.

$$F_H = \tau_B \cdot As \quad (3)$$

$$As = L \cdot s \quad (4)$$

### 1.10.3. Diseño de cuchillas

En el diseño de la cuchilla se toma como referencia el sistema de corte de la herramienta de una fresa de disco que existe en el mercado, la figura 8 muestra el fresado de disco en un material.

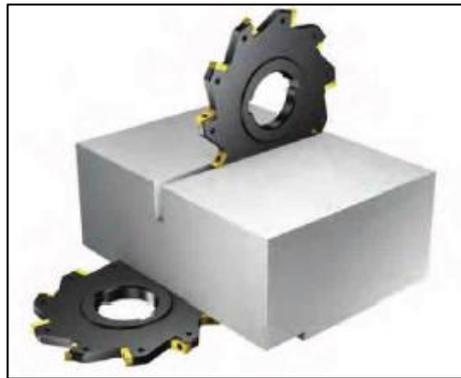


Figura 8 Fresa de disco [29].

En el mercado existen una variedad de herramientas de corte, el uso dependerá de la capacidad de desbaste, funcionalidad y precios, la figura 9 señala otro tipo de fresa utilizada.



Figura 9 Herramientas de fresado en escuadra [29].

Las fresas de disco utilizadas para elaborar ranuras de gran profundidad a grandes longitudes ofreciendo una gran eficiencia al momento de mecanizar, las cuales se ubican en un eje horizontal se pueden colocar más de una a la vez.

#### 1.10.4. Selección del material para las cuchillas

Para este prototipo se verificará la disponibilidad del material en las diferentes comercializadoras, se tomará algunos parámetros como su costo y dimensiones para que los precios de construcción no se han muy elevados, en la tabla 13 indica los materiales recomendados para herramientas de corte que trabajan en frío.

Tabla 13 Acero para herramientas de corte [29].

<b>Aceros para herramientas de corte en frío</b>		
<b>Materia-Acero</b>	<b>Espesor</b>	<b>Dureza</b>
<b>ARNE=DF2= AISI 01</b>	6-10 mm	54 – 60 (HRC)
<b>XW-5 = AISI D6=K100</b>	< 3 mm	56 – 60 (HRB)
<b>XW-41=AISI D2=K110</b>	< 3 mm	56 – 60 (HRC)

#### 1.10.5. Dimensionamiento del eje

El eje, como se indica la figura 10, se distribuirá las cuchillas a diseñar por lo que se decidió colocar un eje hexagonal el cual permite un mayor acople de los componentes para un eficiente contacto entre la cuchilla y las botellas que se va a triturar; este eje tendrá secciones redondas en el que se acoplará rodamientos y piñones que permitan su movimiento, el material a utilizar es el acero AISI 1018 más utilizado en aceros rolados en frío; es muy útil debido a su buena resistencia a la tensión [ $S_{ut}$ ] y a la fluencia [ $S_y$ ] como lo indica en la tabla 14 [30].

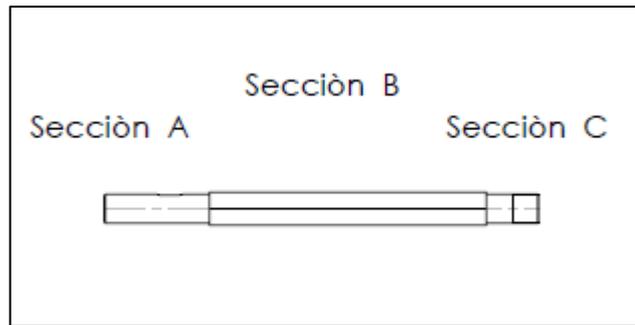


Figura 10 Eje hexagonal

Elaborado por: Cushicondor Luis & Monta Víctor

Tabla 14 Resistencia a la fluencia y tensión ASTM A6 o A568 [31].

Datos técnicos del material 1018	
Numero	1018
Material	Acero
$S_y$	220MPa
$S_{ut}$	400MPa

### 1.10.6. Diseño de engranes

Los engranes son un sistema que permite transmitir movimiento y potencia, los cuales son ruedas dentadas cilíndricas ubicadas paralelamente, su funcionamiento es mediante el conductor que da movimiento a los dientes de la rueda conducida, los cuales engranan con precisión generando una fuerza perpendicular al radio del engrane lo que transmite un par torsional y potencia [32].

Los engranes rectos son los más utilizados, transmiten movimiento de un eje a otro en forma paralela, consta de dientes en forma semejante respecto al eje de rotación que permite generar movimiento entre ellos como se observa en la figura 11 [31].

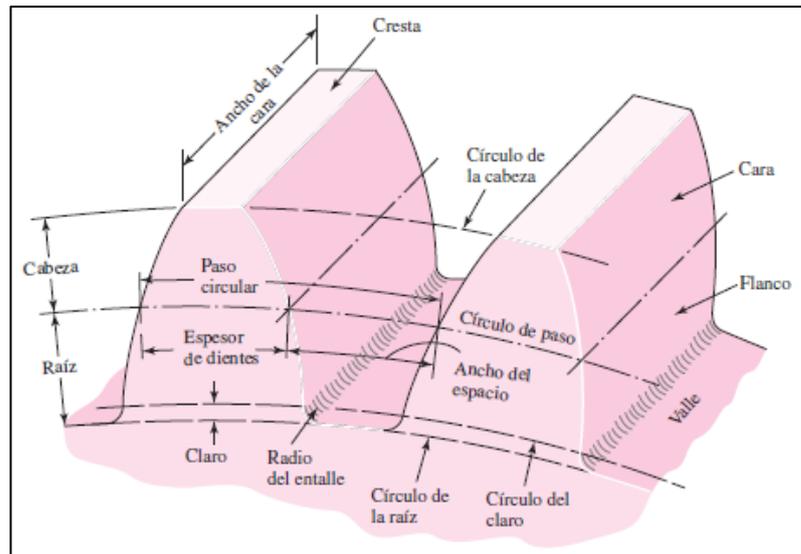


Figura 11 Partes principales [31].

Donde:

C =Distancia entre centros

D = Diámetro primitivo

D<sub>G</sub>= Diámetro primitivo del engrane conductor

D<sub>P</sub>= Diámetro primitivo del engrane conducido

Pd=Paso diametral (diametral Pitch)

De= Diámetro exterior

Z=N= Número de dientes

M=Módulo

A=Adendum

Pc=Paso circular

E=Espesor del diente

P<sub>D</sub>=Pie de diente

R=Radio de entalle

As=Ángulo del espesor

Para el diseño de nuestros engranes se utilizará las siguientes ecuaciones.

$$C = \frac{D_G + D_P}{2} \quad (5)$$

$$Pd = \frac{N}{D} \quad (6)$$

$$D_e = \frac{N+2}{P_D} \quad (7)$$

$$P_c = \frac{\pi \cdot D}{N} \quad (8)$$

$$A = M \quad (9)$$

$$E = \frac{P_c}{2} \quad (10)$$

$$P_D = 1.25 \cdot M \quad (11)$$

$$R = \frac{P_c}{12} \quad (12)$$

$$A_s = \frac{360 \cdot E}{2 \cdot \pi \cdot \frac{D_p}{2}} \quad (13)$$

### 1.10.7. Selección de rodamientos

Cojinetes más conocidos en el ámbito mecánico como rodamientos, elemento giratorio que se acopla a ejes para disminuir la fricción y las cargas que se genera al momento de que se produzca el giro.

Los rodamientos pueden soportan cargas radiales, axiales o cargas combinadas, dependiendo su uso, existen rodamientos que pueden soportar cargas elevadas y temperaturas altas, en el mercado se tiene una variedad de rodamientos su selección dependerá del tipo de trabajo al que va a ser sometido, esto en dependencia de las especificaciones de cada fabricante.

#### 1.10.7.1. Cojinetes de bola

Como su nombre lo indican tiene una esfera en el interior el cual permite eliminar la fricción, las partes que conforman el cojinete se observan en la figura 12.

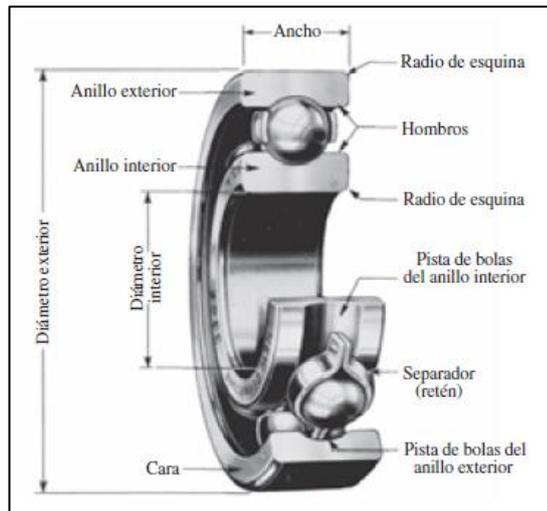


Figura 12 Partes de los cojinetes de bola [31].

### 1.10.8. Diseño de la Estructura

La estructura es una parte fundamental de la máquina, el cual va a soportar todas las cargas que genera la maquina como el motor, caja reductora, ejes, tolvas, etc.

La estructura va a ser conformada mediante columnas y vigas donde va a poyarse el motor y la caja reductora, el material a utilizarse va a ser el acero ASTM A500 siendo un material comercial en el mercado y económico, la figura 13 se muestra el diseño de la estructura de la mesa.

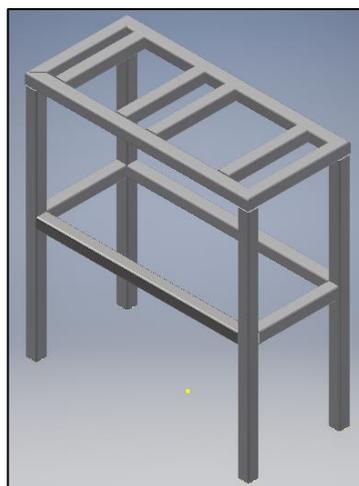


Figura 13 Diseño estructura de la mesa

Elaborado por: Monta Víctor & Cushicondor Luis

Para el cálculo de la columna se va a utilizar las siguientes ecuaciones.

$$f_a = \frac{P}{A} \quad (14)$$

Donde:

$f_a$ : esfuerzo a compresión

P: carga

A: área

Se calcula la esbeltez con la siguiente ecuación y el factor de estabilidad se obtendrá de la figura 14.

$$\hat{\Lambda} = \frac{K \cdot L}{r_{\min}} \quad (15)$$

Donde:

$\hat{\Lambda}$ : esbeltez

K: factor de estabilidad de columnas

L: longitud de la columna

$F_a$ : esfuerzo admisible

$r_{\min}$ : radio mínimo (Anexo1)

La condición para que la columna soporte la carga es la siguiente.

$$f_a \leq F_a \quad (16)$$

### **Viga**

Para el cálculo de la viga se aplica la siguiente condición.

$$f_b \leq F_b \quad (17)$$

Donde:

$f_b$ : esfuerzo de flexión

$F_b$ : esfuerzo admisible a flexión

$F_y$ : límite de fluencia del material

La figura 14 muestra el momento máximo y el esfuerzo admisible, siendo el límite de fluencia del material  $270\text{MPa}=39.16\text{klb/plg}^2$ , se aplicará las siguientes ecuaciones [33].

Table C-C2.1						
Buckled shape of column is shown by dashed line	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)
Theoretical K value	0.5	0.7	1.0	1.0	2.0	2.0
Recommended design value when ideal conditions are approximated	0.65	0.80	1.2	1.0	2.10	2.0
End condition code						
			Rotation fixed and translation fixed	Rotation free and translation fixed	Rotation fixed and translation free	Rotation free and translation free
<p>16. BEAM FIXED AT BOTH ENDS—CONCENTRATED LOAD AT CENTER</p> <p>Total Equiv. Uniform Load . . . . . = P  <math>R = V</math> . . . . . = <math>\frac{P}{2}</math>  <math>M_{\text{max}}</math> (at center and ends) . . . . . = <math>\frac{Pl}{8}</math>  <math>M_x</math> (when <math>x &lt; \frac{l}{2}</math>) . . . . . = <math>\frac{P}{8}(4x-l)</math>  <math>\Delta_{\text{max}}</math> (at center) . . . . . = <math>\frac{Pl^3}{192EI}</math>  <math>\Delta_x</math> (when <math>x &lt; \frac{l}{2}</math>) . . . . . = <math>\frac{Px^3}{48EI}(3l-4x)</math></p>						

Figura 14 Factor de estabilidad de columnas y momento máximo de la viga [33].

$$M_{\text{máx}} = \frac{P \cdot L}{8} \quad (18)$$

Donde:

$M_{\text{máx}}$ : momento máximo

P: carga aplicada

L: longitud

$$F_b = 0.66 \cdot F_y \quad (19)$$

El esfuerzo a flexión se obtendrá con la siguiente ecuación.

Donde:

I: inercia

C: distancia del eje neutro

$$f_b = \frac{M_{\text{max}} \cdot C}{I} \quad (20)$$

### 1.10.9. Diseño de soldadura

La soldadura es muy utilizada en la aplicación de ensambles de estructuras, puentes, barcos y varios sistemas que se utilizan juntas para mantenerlas sujetas y que soportan grandes fuerzas en sus lados soldados.

En el diseño se tienen tolerancias que se debe aplicar a las juntas soldadas, las piezas que contienen bajo carbono son más fáciles de soldar en comparación a las que tienen más carbono o las que tienen algún tratamiento térmico [34].

La soldadura cuando es aplicada por arco eléctrico alcanza unas temperaturas de 3316°C a 4427 °C en algunos procesos de soldadura se puede aplicar material de aporte para una mejor junta, en estos procesos se debe emplear los electrodos adecuados para cada unión soldada [34].

Para este diseño se escoge el método de soldadura por arco eléctrico con electrodo revestido (SMAW) [34], el más utilizado en el ámbito de pequeños talleres por su precio, utiliza un electrodo (varillas) que están recubiertas con un material químico fundente al producir una corriente eléctrica el electrodo forma un charco que se une con el material a soldar este proceso se utiliza en campo [34].

#### 1.10.9.1. Electrodo

Material que se utiliza en el proceso SMAW recubiertas con celulosa o dependiendo el tipo de electrodo que se va a emplear, el electrodo se derrite a altas temperaturas y provoca la junta de los materiales cada electrodo tiene propiedades mínimas del metal que pueden soportar cada uno de ellos en la siguiente tabla 15 se muestra los electrodos más comunes.

Tabla 15 Propiedades del metal de aporte [30].

<b>Número de electrodo AWS</b>	<b>Resistencia a la tensión Kpsi (MPA)</b>	<b>Resistencia a la fluencia Kpsi (MPA)</b>	<b>Elongación porcentual</b>
<b>E60xx</b>	62 (427)	50 (345)	17-25
<b>E70xx</b>	70 (482)	57 (393)	22
<b>E80xx</b>	80 (551)	67 (462)	19
<b>E90xx</b>	90 (620)	77 (531)	14-17
<b>E100xx</b>	100 (689)	87 (600)	13-16
<b>E120xx</b>	120 (827)	107 (737)	14

Para el proceso de fabricación se va utiliza el método de soldadura SMAW por ser un proceso económico y más factible en la adquisición de los materiales a utilizar, como también se va a realiza los cálculos en las juntas soldadas de la mesa donde va a ser ubicado el motor y en los demás componentes para eso se utilizará las siguientes ecuaciones.

$$\sigma = \frac{P}{A_w} \quad (21)$$

Donde:

$\sigma$ : esfuerzo normal

P: carga aplicada

$A_w$  : área de la soldadura

La configuración geométrica que se va a utilizar para  $A_w$  es la siguiente:

$$A_w = 0.707h \cdot (2b + d) \quad (22)$$

Donde:

h: tamaño del cateto (Anexo 2)

b y d: longitud del cordón (Anexo 3)

Sut: resistencia a la tensión

Además se debe tomar la siguiente condición para que la estructura no falle [30].

$$\sigma \leq 0.60 \cdot Sut \quad (23)$$

#### **1.10.10. Diseño de la criba**

Se va a implementar una criba metálica de medialuna la cual tiene una forma cilíndrica se ubicará debajo de la caja trituradora, diseñada a una distancia de 5mm entre la cuchilla y la criba su principal función es que solo pase un tamaño de partículas trituradas del PET, mientras que las de diferente tamaño vuelvan al proceso cumpliendo un segundo ciclo de trituración en la figura 15 se muestra el diseño preliminar a construir.

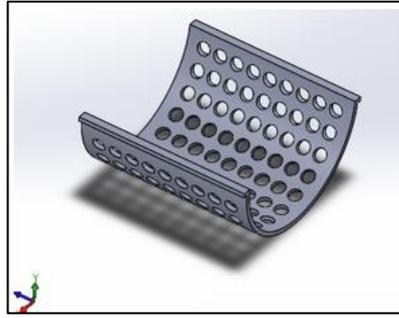


Figura 15 Diseño de criba

Elaborado por: Cushicondor Luis & Monta Víctor

### 1.10.11. Diseño de la tolva superior

La tolva superior al no ejerce fuerzas sobre la caja de trituración es por esto por lo que el diseño de la tolva se lo realiza para el almacenaje de las botellas y no se derrame a la hora de triturar. Se diseñará para que abarque la cantidad de 5Kg/h por lo que toma la forma de una combinación rectangular y trapezoide, El material a utilizar es lámina de acero inoxidable de 4 mm, se va a utilizar un electrodo E6013 con un filete de 1/16 que garantice la sujeción de la tolva con la caja trituradora en la figura 16 se muestra el diseño a construir.

Ventajas:

- ✓ El proceso de alimentación se vuelve efectivas y sencilla para el proceso de triturar
- ✓ Al introducir una gran cantidad de botellas se logra aprovechar el peso propio del material para el proceso de trituración evitando un atascamiento.
- ✓ Su forma no permite que el material comience a salpicar hacia el exterior.

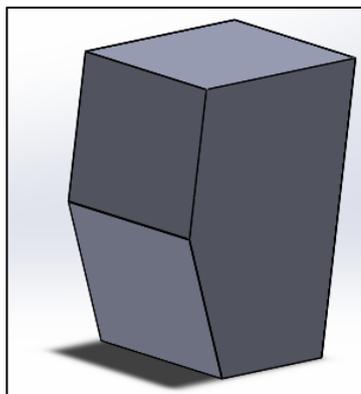


Figura 16 Diseño de la tolva

Elaborado por: Cushicondor Luis & Monta Víctor

### 1.10.11.1. Diseño de tolva inferior

La construcción de la tolva debe tener un ángulo de inclinación para que el material procesado se deslice al recipiente evitando el desperdicio y que el material se contamine en el piso con alguna sustancia o contaminante para lo cual se utilizara las siguientes ecuaciones [35].

$$\mu = \mu_s - 0.25 \cdot \mu_k \quad (24)$$

$$\theta_k = \tan^{-1} \mu \quad (25)$$

Donde:

$\theta_k$  : ángulo de inclinación

$\mu_s$ : coeficiente de fricción estático

$\mu_k$ : coeficiente de fricción cinética

$\mu$ : coeficiente de fricción

## CAPÍTULO II

### CÁLCULO Y DISEÑO DE ELEMENTOS

#### 2.1. Generalidades

En el capítulo siguiente se va a detallar los elementos mecánicos para la construcción de la trituradora, mediante cálculos matemático, se respaldara el diseño que se planteó como es: el eje de arrastre que permite el acoplamiento de las cuchillas espaciadores y rodamientos, en segundo plano se encuentran la elección del motor, análisis de la estructura que soportara la máquina y diseño de tolvas superior e inferior para este proceso se toma referencia al capítulo 1 en el cual se explica detalladamente las propiedades de los materiales que se empleara para el dimensionamiento de cada parte de la máquina en el transcurso del capítulo se empelara factores de esfuerzos y deformaciones que certifique el correcto trabajo de la máquina.

#### 2.2. Diseño de las cuchillas

Con los datos de la tabla 12, para este diseño se empleará una plancha de acero K100 que se encuentra en el mercado con un espesor de 12 mm el cual será como referencia para el diseño de la cuchilla de igual forma el diámetro interior se tomó como referencia las medidas comerciales de las barras hexagonales que es 1plg -1.1/8plg, con el respectivo cálculo se obtendrá el diámetro adecuado.

El número de dientes, el prontuario de máquinas herramientas recomienda para materiales de baja resistencia un número reducido filos cortantes [36], como referencia se tomara cuatro filos así como el espesor que va ser de 12mm, la figura 17 muestra el diseño de la cuchilla.

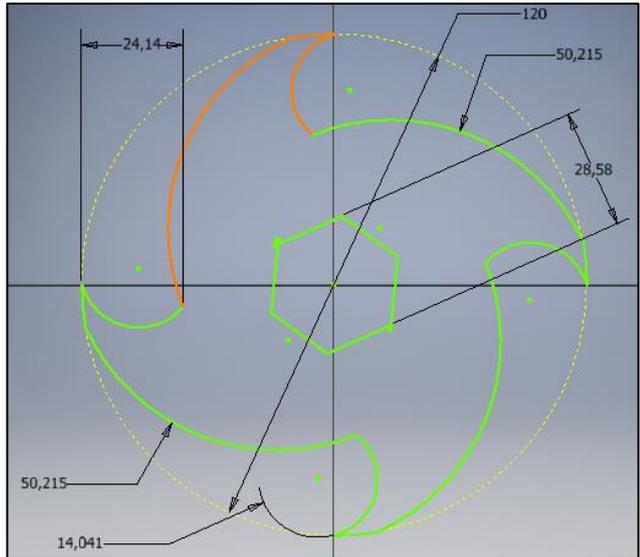


Figura 17 Diseño de cuchilla

Elaborado por: Monta Víctor & Cushicondor Luis

La forma de la cuchilla se realizó para que tenga un mayor agarre a la botella al momento de triturar y no tienda a rebotar en la caja trituradora generando acumulación de las botellas en la tolva superior y que el operario tendría que presionar las botellas para que las cuchillas procedan a cortar generando un peligro al operario, la figura 18 señala el esquema de agarre.

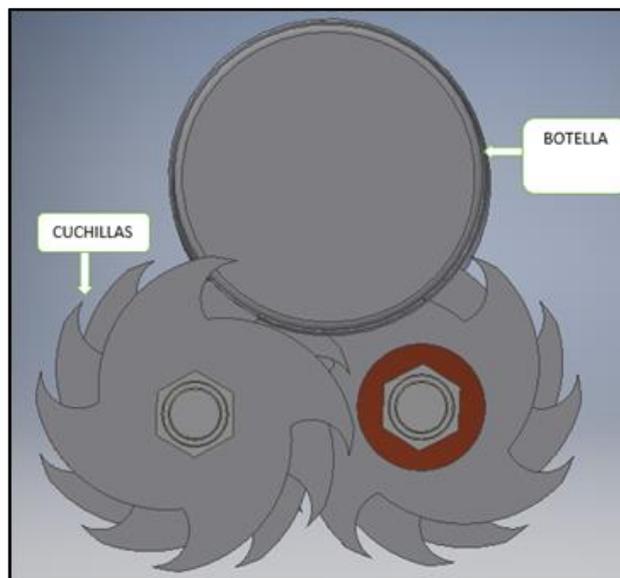


Figura 18 Diseño de la cuchilla

Elaborado por: Monta Víctor & Cushicondor Luis

Para el diseño de las cuchillas se va a tomar como referencia las botellas que más se encuentran en los basureros o con mayor frecuencia se utilizan, la tabla 16 muestra las medidas más comunes.

Tabla 16 Tamaño de botellas

Capacidad (ml)	Longitud (cm)	Diámetro (cm)
<b>250</b>	17	5
<b>500</b>	20	6.5
<b>3000</b>	32	12

Elaborado por: Monta Víctor & Cushicondor Luis

Para este prototipo se va a tomar en cuenta las botellas reciclables limpias y por lo general ese tipo de botellas se las encuentra aplastadas para reducir espacio, la figura 19 muestra las dimensiones de una botella aplastada, la figura 20 una botella sin sufrir daños y la figura 21 muestra el espesor más crítico para triturar, además se tomará como referencia la longitud de la botella aplastada para el dimensionamiento de la longitud del eje dejando un centímetro a cada lado de tolerancia.



Figura 19 Botella de 3000 ml aplastada

Elaborado por: Monta Víctor & Cushicondor Luis



Figura 20 Botella de 3000 ml PET [37]



Figura 21 Medición del espesor crítico de la botella

Elaborado por: Monta Víctor & Cushicondor Luis

Espesor del cuerpo de la botella= 0.3mm

Espesor en la boca de la botella= 3 mm

En la tabla 17 se muestra las principales características mecánicas del PET que servirá para realizar los cálculos para el cizallamiento del material.

Tabla 17 Propiedades del PET [38].

<b>Tereftalato de polietileno</b>	<b>PET</b>			
<b>Propiedades mecánicas a 23° C</b>	Unidad	ASTM	DIN	Valores
<b>Peso específico</b>	g/cm <sup>3</sup>	D-729	53479	1.39
<b>Resistencia a la tracción</b>	Kg/cm <sup>2</sup>	D-638	53455	900
<b>Resistencia a la compresión</b>	Kg/cm <sup>2</sup>	D-695	53454	260/480
<b>Resistencia a la flexión</b>	Kg/cm <sup>2</sup>	D-790	53452	1450
<b>Módulo de elasticidad</b>	Kg/cm <sup>2</sup>	D-638	53457	37000
<b>Dureza</b>	Shore D	D-2240	53505	85-87

### 2.2.1. Cálculo de la fuerza de corte

A continuación, se procederá a realizar los cálculos para obtener la fuerza necesaria para el cizallamiento del PET.

El cálculo para la obtención de la resistencia al cizallamiento se obtendrá a partir de la ecuación 1, el dato de la resistencia a la rotura se obtendrá de la tabla 17.

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

$$\tau_B = 7200000 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2}$$

En el siguiente cálculo se encontrará la fuerza de corte, la longitud se tomó como referencia el triturado mínimo que es 8 mm, para la elección del espesor de la botella se midió la sección más crítica que es la parte donde se coloca la tapa de la botella que tiene un espesor de 3mm, con la ecuación 2 se calcula la fuerza de cizallamiento del material.

Donde:

$$L = 8 \times 10^{-3} \text{m}$$

$$s = 3 \times 10^{-3} \text{m}$$

$$F_H = 7200000 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2} \cdot 8 \times 10^{-3} \text{m} \cdot 3 \times 10^{-3} \text{m}$$

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

### 2.3. Cálculo estático del eje

Se va a realizar un cálculo estático y dinámico para poder seleccionar el diámetro de eje, se tomará en cuenta el cálculo del torque de cizalladura que se va a aplicar al eje y se calcula utilizando la ecuación.

$$T_c = Fh \cdot r \quad (26)$$

Donde:

$T_c$  =Torque necesario de las cuchillas de cizalladura

$Fh$  =Fuerza de corte (1693.44 N)

$r$  = Radio de la cuchilla de cizalladura (0.06m)

$$T_c = 101.609 \text{ Nm}$$

#### 2.3.1. Peso que actúan sobre el eje

Para calcular del peso de la cuchilla se realizó mediante el material K100 con una densidad de  $7700\text{kg/m}^3$ .

El área se lo realizo con la ayuda del programa AutoCAD como indica la figura 22.

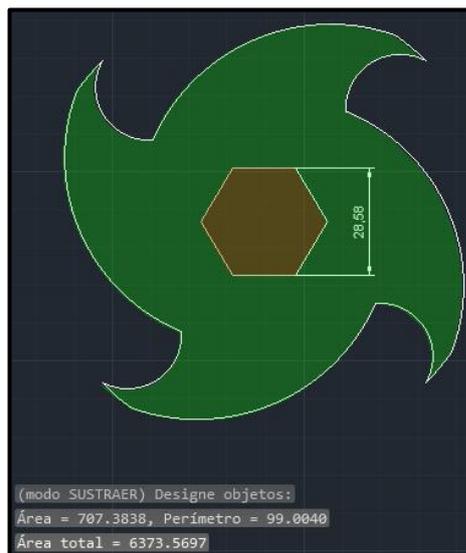


Figura 22 Área de la cuchilla  $6373.569\text{mm}^2$

Elaborado por: Monta Víctor & Cushicondor Luis

Diámetro de la cuchilla=0.12 m

Espesor de la cuchilla =0.012 m

Nº se cuchillas= 9

Para poder obtener masa total de las cuchillas se lo realizó aplicando las siguientes ecuaciones

$$\text{Volumen cuchilla} = A \cdot \text{Espesor de la cuchilla} \quad (27)$$

$$\text{Volumen cuchilla} = 6.374 \cdot 10^{-3} \text{m}^2 \cdot 0.012 \text{m} = 7.648 \cdot 10^{-5} \text{m}^3$$

$$\text{Masa cuchilla} = \text{Densidad} \cdot \text{Volumen de la cuchilla} \quad (28)$$

$$\text{Masa cuchilla} = 7700 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \cdot 7.648 \cdot 10^{-5} \text{m}^3 = 0.588 \text{Kg}$$

$$\text{Masa T. cuchillas} = \text{Masa cuchilla} \cdot \text{Nº se cuchilla} \quad (29)$$

$$\text{Masa T. cuchillas} = 0.588 \text{Kg} \cdot 9 = 5.292 \text{Kg}$$

### Espaciador

El espaciador se va a realizar con el acero AISI 1010 con una densidad 7850Kg/m<sup>3</sup> y un espesor de 12mm, con el programa AutoCAD se obtuvo el área como lo indica la figura 23.



Figura 23 Área del espaciador 1102.1736mm<sup>2</sup>

Elaborado por: Monta Víctor & Cushicondor Luis

Para obtener la masa se aplicó las siguientes ecuaciones

$$\mathbf{Volumen\ espaciador = A \cdot Espesor\ espaciador} \quad (30)$$

$$\text{Volumen espaciador} = 1102.197 \cdot 10^{-3} \text{m}^2 \cdot 0.012 \text{m} = 1.322 \cdot 10^{-5} \text{m}^3$$

$$\mathbf{Masa\ espaciador = Densidad \cdot Volumen\ espaciador} \quad (31)$$

$$\text{Masa espaciador} = 7850 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \cdot 1.322 \cdot 10^{-5} \text{m}^3 = 0.104 \text{Kg}$$

$$\mathbf{Masa\ T.\ espaciador = Masa\ espaciador \cdot N^\circ\ espaciadores} \quad (32)$$

$$\text{Masa T. espaciador} = 0.104 \text{Kg} \cdot 8 = 0.832 \text{Kg}$$

### **Eje**

El material utilizado para el eje es un acero 1018, con una densidad de 7870Kg/m<sup>3</sup> y con una longitud total de 350 mm=0.35m, la longitud se tomó dónde van a intervenir las cuchillas y los demás componentes, el diámetro es de 25.4 mm en la sección hexagonal con una longitud de 210 mm, la sección circular es de 20 mm con longitud de 140 mm y las ecuaciones aplicadas son las siguientes.

### Sección Hexagonal

$$\mathbf{Area\ hexagonal = 0.866 \cdot D^2} \quad (33)$$

$$\text{Area} = 0.866 \cdot 0.02858^2 = 7.0736 \cdot 10^{-4} \text{m}^2$$

$$\mathbf{Volumen\ del\ eje = Area \cdot Longitud} \quad (34)$$

$$\text{Volumen del eje} = 7.0736 \cdot 10^{-4} \text{m}^2 \cdot 0.21 \text{m} = 1.485 \cdot 10^{-4} \text{m}^3$$

$$\mathbf{Masa\ del\ eje = Densidad \cdot Volumen\ del\ eje} \quad (35)$$

$$\text{Masa del eje} = 7870 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \cdot 1.485 \cdot 10^{-4} \text{m}^3 = 1.169 \text{Kg}$$

### Sección circular

$$\mathbf{Area\ circular = \pi \cdot r^2} \quad (36)$$

$$\text{Area} = \Pi \cdot 0.0127^2 = 5.067 * 10^{-4} \text{m}^2$$

$$\mathbf{Volumen = Area \cdot Longitud} \quad (37)$$

$$\text{Volumen} = 5.067 * 10^{-4} \text{m}^2 \cdot 0.12 \text{m} = 6.080 * 10^{-5} \text{m}^3$$

$$\mathbf{Masa c = Densidad \cdot Volumen} \quad (38)$$

$$\text{Masa c} = 7870 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \cdot 6.080 * 10^{-5} \text{m}^3 = 0.479 \text{ Kg}$$

$$\text{M. Eje} = 1.169 \text{ Kg} + 0.479 \text{ Kg} = 1.648 \text{ Kg}$$

Además, se incluyó dos arandelas de material AISI 10-10, con el programa Solid Works se obtuvo la masa

$$\text{Masa de la arandela} = 0.18 \text{Kg} \cdot 2 = 0.36 \text{Kg}$$

Masa total que actúa en el eje

$$\text{Masa Total} = \sum \text{M. Cuchilla} + \text{M. Espaciador} + \text{M. Eje} + \text{M. Arandelas}$$

$$\text{Masa Total} = \sum 5.292 \text{Kg} + 0.832 \text{Kg} + 1.648 \text{ Kg} + 0.36 \text{Kg}$$

$$\text{Masa Total} = 7.991 \text{Kg}$$

$$P_1 = 7.991 \text{Kg} \cdot 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 79.77$$

### 2.3.2. Diagrama de cuerpo libre

Se debe considerar el peso total de las cuchillas y del eje como una carga concentrada por lo cual se concluye que se puede unir esas dos cargas para obtener una carga total.

Donde:

$W + P = P_1$  peso propio del eje y peso total de las cuchillas se considera como una carga

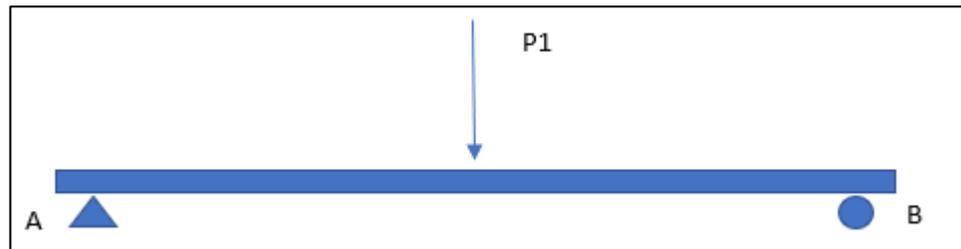


Figura 24 Diagrama de cuerpo libre

Elaborado por: Cushicondor Luis & Monta Víctor

Donde:

$P_1$ : peso

Para el análisis estático se debe realizar el diagrama de corte y momento para poder obtener en momento máximo que va a ejercer las cuclillas sobre el eje partiendo de un esquema de cuerpo libre donde se calcula las reacciones en el punto A y B mediante la sumatoria de fuerzas.

$$\sum Fy = 0 \quad (39)$$

$$Ra + Rb = 79.77$$

$$\sum Ma = 0 \quad (40)$$

$$-79.775 \cdot 0.105 + Rb \cdot 0.210 = 0$$

$$Rb = 39.89 \text{ N}$$

$$Ra = 39.89 \text{ N}$$

Donde:

$$\sum Fy = \text{Sumatoria de fuerzas en el eje y}$$

$$\sum M_A = \text{Sumatoria de fuerzas en el punto A}$$

$$R_A = \text{Reacciones en el punto A}$$

$$R_B = \text{Reacciones en el punto B}$$

### 2.3.3. Diagrama de Momentos

En las figuras 25, 26, 27 se presentan los diagramas de corte, momento flector y momento torsor en el cual se presenta las fuerzas cortantes que actuaran a lo largo del eje.

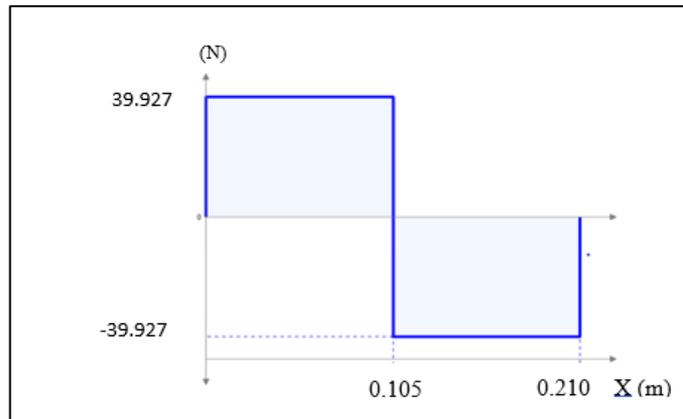


Figura 25 Diagrama de corte

Elaborado por: Cushicondor Luis & Monta Víctor

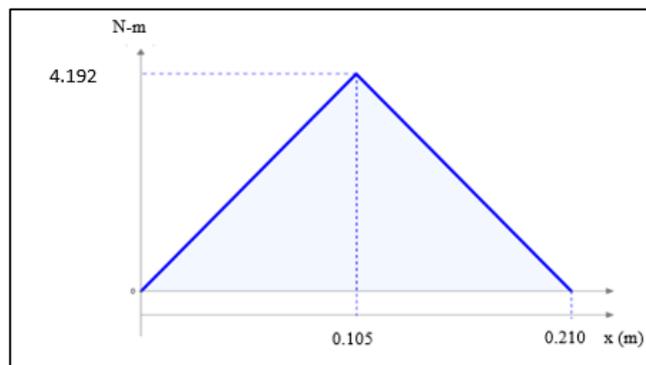


Figura 26 Diagrama momento flector

Elaborado por: Cushicondor Luis & Monta Víctor

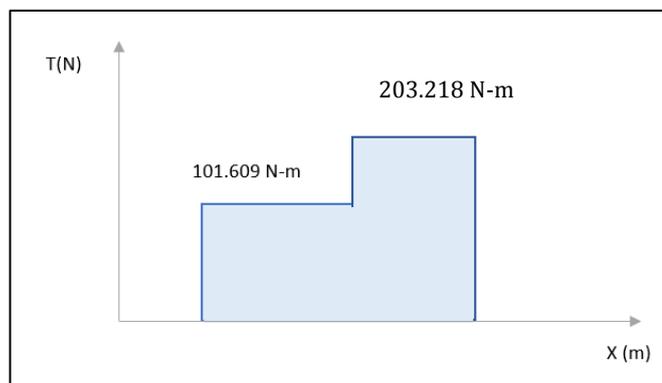


Figura 27 Diagrama de momento Torsor

Elaborado por: Cushicondor Luis & Monta Víctor

Como se puede observar en las figuras (26), (27) se pudo obtener los siguientes datos

$$V_{\max} = 39.927N$$

$$M_{\max} = 4.192Nm$$

$$T_{\max} = 203.218 Nm$$

#### 2.3.4. Cálculo de esfuerzo

Dado que el eje está diseñado para recibir esfuerzos de torsión y flexión se aplica un análisis de esfuerzos combinados por lo tanto se aplicará la teoría de diseño.

Teoría de esfuerzo cortante máximo:

$$\tau_{\max} = \frac{1}{2} \sqrt{\sigma_b^2 + 4\tau^2} \quad (41)$$

Donde:

$\tau$ : esfuerzo momento torsor

$\sigma_b$ : esfuerzo a flexión

$$\tau = \frac{16T}{\pi d^3}$$

$$\sigma_b = \frac{32M}{\pi d^3}$$

Considerando un factor de diseño para materiales dúctiles  $n=2$  Anexo 5[39]

Esfuerzo admisible del material a corte considerando un  $S_y = 220MPa$

$$\tau = \frac{\tau_0}{2} \quad (42)$$
$$\tau = \frac{220MPa}{2}$$

$$\tau = 100 MPa$$

Esfuerzo admisible del material a tracción considerando un  $S_{ut}=400$

$$\sigma_b = \frac{\sigma_0}{2}$$

$$\sigma_b = \frac{400MPa}{2} \quad (43)$$

$$\sigma_b = 200 \text{ MPa}$$

### 2.3.5. Flexión acompañada de torsión

Este método es aplicado en casos prácticos en el que actúan simultáneamente el momento flector y un torsor. [40]

#### 2.3.5.1 Análisis a torsión

El esfuerzo cortante máximo para encontrar el diámetro del eje a torsión se lo calcula de la siguiente manera.[41]

$$Te = \sqrt{M^2 + T^2} = \frac{\pi}{16} \cdot \tau \cdot d^3 \quad (44)$$

Donde:

$Te$  :momento torsor equivalente

$d$  :diámetro

$$Te = \sqrt{4.127^2 + 203.218^2}$$

$$Te = 203.261Nm$$

De la ecuación 44 se obtiene el diámetro para el primer eje que se somete a torsión el cual se tomará en cuenta para el diseño

$$d = \sqrt[3]{\frac{Te \cdot 16}{\pi \cdot \tau}}$$

$$d = \sqrt[3]{\frac{203.261 \cdot 16}{\pi \cdot 100}}$$

$$d = 0.021m \approx 21.7mm$$

#### 2.3.5.2. Análisis a flexión

Para el cálculo del diámetro se aplicará la teoría de esfuerzo normal máximo

$$Me = \frac{1}{2} \cdot (M + \sqrt{M^2 + T^2}) = \frac{\pi}{32} \cdot \sigma_b \cdot d^3 \quad (45)$$

Donde:

Me: momento flector equivalente

$$Me = \frac{1}{2} \cdot (4.127 + \sqrt{4.127^2 + 303.218^2})$$

$$Me = 103.727$$

De la ecuación 45 se obtiene el diámetro para el primer eje que se somete a flexión

$$d = \sqrt[3]{\frac{Me \cdot 32}{\pi \cdot \sigma_b}}$$
$$d = \sqrt[3]{\frac{103.727 \cdot 32}{\pi \cdot 200}}$$

$$d = 0.01741m \approx 17.41m$$

Como el eje diseñado va a trabajar a torsión y flexión, el diámetro a tomar en cuenta es:

$$d = 0.0218m \approx 21.8 \text{ mm}$$

### 2.3.6. Factores de corrección

El diseño del eje se debe tomar en cuenta los límites a la resistencia de la fatiga  $Se$ , teniendo en cuenta los factores dinámicos que puedan afectar al dimensionamiento del eje. Esto se calcula mediante la siguiente expresión [31].

$$Se = k_a \cdot k_b \cdot k_c \cdot k_d \cdot k_e \cdot k_f \cdot S'e \quad (46)$$

Donde:

$k_a$ : factor de modificación por la condición superficial

$k_b$ : factor de modificación por el tamaño

$k_c$ : factor de modificación por la carga

$k_d$ : factor de temperatura

$k_e$ : factor de concentradores de esfuerzos

$k_f$ : coeficiente de efectos varios

$$S'e = 0.5Sut \quad (47)$$

Para el cálculo de los factores de corrección  $S_e$

$k_a$  : factor de modificación por la condición superficial.

$$k_a = aS_{ut}^b \quad (48)$$

Donde:

$S_{ut}$ : es la resistencia mínima a la tensión, a y b se encuentran en la Tabla 18.

Tabla 18 Parámetros en el factor de condición superficial [31].

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

Elemento sometido a flexión.

$k_b$  : factor de modificación por el tamaño.

$$k_b = 0.869d^{-0.097} \quad (49)$$

Tabla 19 Factor de tamaño [31].

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

Para carga axial no hay efecto de tamaño, por lo tanto:

$$k_b = 0.894$$

$k_c$  : factor de modificación por la carga.

$$k_c = 0.59$$

$k_d$  : factor de temperatura.

$$k_d = 1$$
$$\text{para } T \leq 450^\circ\text{C } (840^\circ\text{F})$$

$k_e$  : factor de concentradores de esfuerzos.

$$k_e = 0.5$$

$k_f$  : factor de modificación por efectos varios.

$$k_f = 1$$

#### 2.4. Cálculo Dinámico del eje

El eje va a estar sometido a cargas cíclicas, por lo tanto, se debe aplicar factores de corrección para el diseño a la fatiga. Se va a utilizar datos técnicos del acero AISI 1018 que se utilizara para el cálculo del diámetro con:  $S_{ut}=400\text{MPa}$  y  $S_y=220\text{MPa}$ .

Para determinar el límite a la fatiga del eje rotativo se aplicará la ecuación 47.

$$S'e = 0.5S_{ut}$$

$$S'e = 0.5 \cdot 400$$

$$S'e = 200\text{MPa}$$

La ecuación (46) se aplica para determinar la resistencia a la fatiga de la parte más importante de la maquina en condiciones de operación. Por lo tanto, utilizando la Tabla 19 se aplica los factores de corrección para el limite a la resistencia a la fatiga, por lo tanto:

Tabla 20 Factores de corrección [31].

Factores de Modificación	
$k_a$	0.921
$k_b$	0.894
$k_c$	0.59
$k_d$	1
$k_e$	0.5
$k_f$	1

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

$$Se = (0.921)(0.894)(0.59)(1)(0.5)(1)(200)$$

$$Se = 48.579MPa$$

Aplicando el criterio de ASME elíptico para ejes para vida finita se presenta en la siguiente ecuación:

$$D = \left( \frac{32n}{\pi} \sqrt{\left[ \frac{k_t \cdot M}{Se} \right]^2 + \frac{3}{4} \left[ \frac{T}{s_y} \right]^2} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (50)$$

Para el factor de diseño se tomará en cuenta  $n = 2$

$$D = 0.02540m \approx 25.4mm$$

## 2.5. Cálculo del factor de seguridad

El diámetro que se va a considerar para el diseño es de  $d = 0.0254m \approx 25.4mm$  que se lo determino mediante cálculo teórico, en el mercado local los ejes hexagonales que disponen son  $1pulg = 25.4mm$  por tal motivo se va a verificar el eje hexagonal disponible en el mercado mediante la ecuación de esfuerzos de torsión y flexión aplicando un análisis de esfuerzos combinados [42].

$$\sigma'_a = \frac{32M}{\pi d^3} = \sqrt{(\sigma_a)^2 + 3(\tau_a)^2} \quad (51)$$

Donde:

$\sigma'_a$  = esfuerzo alternante

$$\sigma'_a = \frac{32M}{\pi d^3}$$

$$\sigma'_a = \frac{32 \cdot 4.19}{\pi(0.025)^3}$$

$$\sigma'_a = 2.605MPa$$

$$\tau = \frac{16T}{\pi d^3} \quad (52)$$

$$\tau = \frac{16 \cdot 203.218}{\pi(0.025)^3}$$

$$\tau = 63.158 MPa$$

$$\sigma'_m = \tau \cdot \sqrt{3} = \sqrt{(\sigma_m)^2 + 3(\tau_m)^2} \quad (53)$$

Donde:

$\sigma'_m$  : esfuerzo equivalente

$$\sigma'_m = 109.393 MPa$$

$$Sm = \frac{Se}{\left(\frac{Se}{Sut}\right) + \left(\frac{\sigma'_a}{\sigma'_m}\right)} \quad (54)$$

$$Sm = \frac{48.579 MPa}{\left(\frac{48.579 MPa}{400 MPa}\right) + \left(\frac{2.605 MPa}{109.393 MPa}\right)}$$

$$Sm = 334.416 MPa$$

$$n = \frac{Sm}{\sigma'_m} \quad (55)$$

$$n = \frac{334.426 MPa}{109.393 MPa}$$

$$n = 3$$

El diámetro seleccionado es de 25.4 mm, cumple con las restricciones requeridas puesto que el factor de seguridad es mayor de 2 lo cual se concluye que el dimensionamiento escogió es el adecuado para el diseño.

## 2.6. Cálculo para la sección A y C del eje

Se tomará en cuenta los valores de momento máximo y momento torsor ya obtenidos de la sección B del eje se aplicará el método iterativo a partir de un diámetro 19.05 mm para las secciones A y C, se corroborará los resultados a partir del factor de seguridad.

$$V_{\max} = 39.927 N$$

$$M_{\max} = 4.192 Nm$$

$$T_{\max} = 203.218 Nm$$

Teoría de esfuerzo cortante máximo:

$$\tau_{\max} = \frac{1}{2} \sqrt{\sigma_b^2 + 4\tau^2} \quad (56)$$

Donde:

$\tau$ : esfuerzo momento torsor

$\sigma_b$ : esfuerzo a flexión

$$\tau = \frac{16T}{\pi D^3} \quad (57)$$

$$\tau = \frac{16 \cdot 203.218}{\pi \cdot (0.019)^3}$$

$$\tau = 150.893 \text{ MPa}$$

Esfuerzo admisible del material a tracción:

$$\sigma_b = \frac{32M}{\pi D^3} \quad (58)$$

$$\sigma_b = \frac{32 \cdot 4.192 \text{ Nm}}{\pi (0.019 \text{ m})^3}$$

$$\sigma_b = 6.225 \text{ MPa}$$

$$\sigma'_a = \sqrt{(\sigma_a)^2 + 3(\tau_a)^2}$$

Donde:

$\sigma'_a$  = esfuerzo alternante

$$\sigma'_a = 6.225 \text{ MPa}$$

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

Donde:

$\sigma'_m$ : esfuerzo equivalente

$$\sigma'_m = 261.355MPa$$

### 2.6.1. Cálculo Dinámico del eje

En la sección A y C va a estar sometido a cargas cíclicas, por lo tanto, se debe aplicar factores de corrección para el diseño a fatiga, la tabla 21 muestra los factores más comunes.

$$S'e = 0.5Sut$$

$$S'e = 0.5 \cdot 400$$

$$S'e = 200MPa$$

Tabla 21 Factores de corrección [31].

Factores de Modificación sección A y C	
$k_a$	0.921
$k_b$	0.877
$k_c$	0.59
$k_d$	1
$k_e$	0.67
$k_f$	1

Los concentradores de esfuerzos  $k_{ts}$ ,  $k_t$ ,  $q$ ; se los obtuvieron mediante las figuras anexadas (8,9,10) [30]. No existe  $q_s$  puesto que no existe variación de torsión

$$ke = k_{ef} \cdot k_{eT}$$

Donde:

$$k_{ef} = k \text{ torsión}$$

$$k_{eT} = k \text{ flexión}$$

$$\frac{D}{d} = 1.14 ; \frac{r}{d} = 0.09$$

$$k_{is} = 1.3$$

$$k_t = 1.7$$

$$q = 0.7$$

$$k_{ef} = \frac{1}{k_f} = \frac{1}{1 + q(k_t - 1)} = 0.67$$

$$k_{eT} = \frac{1}{k_f} = \frac{1}{1 + q_s(k_{is} - 1)} = 1$$

$$k_e = 0.67$$

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

$$S_e = (0.921)(0.877)(0.59)(1)(0.67)(1)(200MPa)$$

$$S_e = 63.858MPa$$

$$S_m = \frac{S_e}{\left(\frac{S_e}{S_{ut}}\right) + \left(\frac{\sigma_b}{\sigma'_m}\right)} \quad (59)$$

$$S_m = \frac{63.858MPa}{\left(\frac{63.858MPa}{400MPa}\right) + \left(\frac{6.225MPa}{261.355MPa}\right)}$$

$$S_m = 348.069MPa$$

$$n = \frac{S_m}{\sigma'_m}$$

$$n = \left(\frac{348.069MPa}{163.845MPa}\right)$$

$$n = 2$$

El diámetro seleccionado es de 19.05 mm cumple con las restricciones requeridas puesto que el factor de seguridad es igual a 2 lo cual se concluye que el dimensionamiento escogió es el adecuado para la sección A y C para el diseño.

## 2.7. Análisis del chavetero

Debido que el eje va a trabajar a torsión lo cual va a producir mayor esfuerzo para el movimiento es recomendable colocar un chavetero el cual permita acoplar el engrane con el eje. De acuerdo con el diámetro ya obtenido se procede a seleccionar una chaveta de acuerdo con la tabla 22 y anexo 5 [30][43].

Tabla 22 Dimensiones del chavetero [31].

Diámetro mm	Selección de la chaveta
Desde – Hasta	b x h
20 a 30	8x7

### 2.7.1. Resistencia de la cuña

Para poder comprobar que la cuña va a resistir el momento torsor, Se aplicaron las siguientes ecuaciones de esfuerzo cortante y el factor de seguridad [25].

El material acero 1018  $s_u=400\text{MPa}$   $S_y=220\text{MPa}$

$$F = \frac{Ta}{r} \quad (60)$$

Donde:

$Ta$ : momento Torsor =101.609 Nm

$r$ : radio del eje =22.23mm

$$F = \frac{101.609\text{Nm}}{0.011\text{m}}$$

$$F = 9237.81\text{N}$$

$$\tau_b = \frac{F}{Acorte} \quad (61)$$

$$\tau_b = \frac{9237.181\text{N}}{(0.008 \cdot 0.02)\text{m}}$$

$$\tau_b = 57.732\text{MPa}$$

$$n = \frac{0.5s_y}{\tau_b} \quad (62)$$

$$n = \frac{0.5(220)}{57.732}$$

$$n=2$$

## 2.8. Potencia del motor

Una vez obtenido el diámetro del eje se procede a encontrar el sistema de transmisión que permita el movimiento del mecanismo, para escoger el motor se tomara en cuenta los siguientes datos.

Potencia aproximada

$V_C$ : =50(m/min) (Anexo 8)

$$V_C = \frac{\pi \cdot n \cdot D}{1000} \quad (63)$$

Donde:

$V_C$ : velocidad de corte (m/min)

n: velocidad de giro del cabezal (rpm)

D: diámetro de la herramienta (mm)

W: velocidad angular

$$n = \frac{V_C \cdot 1000}{D \cdot \pi}$$

$$n = \frac{50 \frac{\text{m}}{\text{min}} \cdot 1000}{120\text{mm} \cdot \pi} = 132.62 \text{ rpm}$$

## Velocidad angular

$$W = \frac{2 \cdot \pi \cdot n}{60} \quad (64)$$

$$w = \frac{2 \cdot \pi \cdot 132.62\text{rpm}}{60} = 13.88 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

## Torque

$$T = F_H \cdot r \quad (65)$$

Donde:

T: torque

$F_H$ : fuerza de cizallamiento

r : radio de la cuchilla

$$T = 1693.44\text{N} \cdot 0.06\text{m} = 101.60 \text{ Nm}$$

### Potencia

$$P = T \cdot W \quad (66)$$

$$P = 101.60 \text{ Nm} \cdot 13.88 \frac{\text{rad}}{\text{s}} / 1000 = 1.41\text{Kw}$$

$$P = 1.41\text{Kw} \cdot \frac{1.341\text{HP}}{1\text{Kw}} = 1.8 \text{ Hp}$$

La potencia del motor está en un intervalo de 1.5 Hp y 2 Hp para nuestro prototipo se utiliza el de 1.5 Hp.

#### 2.8.1. Selección del motorreductor

Con los datos obtenidos se procederá a seleccionar el motor en nuestro caso además se elegirá un reductor de velocidad en la tabla 23 se indica los requerimientos previos.

Tabla 23 Valores calculados

<b>Potencia de accionamiento</b>	1.5 Hp
<b>Velocidad de salida del moto -reductor</b>	50 rpm
<b>Torque</b>	101.609 Nm

Elaborado por: Monta Víctor & Cushicondor Luis

$$P_m = P_{requerida} \cdot F_s \quad (67)$$

Donde

$P_m$ : potencia del motorreductor

$F_s$  : factor d servicio

$n_2$ : velocidad de salida del motorreductor

El factor de servicio se realizó con un promedio de 8 horas diarias y con 2 arranques por hora mínimo en el anexo 9 indica los factores de servicio.

$$P_{motor} = 1.5 \cdot 1 = 1.5\text{Hp} = 1.11\text{Kw}$$

$$T_m = \text{Trequerida} \cdot F_s \quad (68)$$

Donde:

$T_m$ : torque del motorreductor

$$T_m = 101.609\text{Nm} \cdot 1 = 101.609\text{Nm}$$

Con los datos obtenidos seleccionamos un motor con su caja reductor, en la figura 28 se obtiene el motor requerido.

$P_1$ [kW]	$n_2$ [min <sup>-1</sup> ]	$M_2$ [Nm]	$f_B$	$i_{ges}$	$i_{sch}$	$i_{vor}$	$F_R$ $F_{RF}$ [kN]	Motorreductor			
								IE1	IE2	IE3	
1,10	24	272	0,8	60	60		8,0	4,8	SK 1SI 75 IEC90 - 90 S/4	SK 1SI 75 IEC90 - 90 SH/4	SK 1SI 75 IEC90 - 90 SP/4
	29	238	1,0	50	50		8,0	4,9			
	36	190	0,8	40	40		4,9	2,2	SK 1SI 63	SK 1SI 63	SK 1SI 63
	48	152	1,1	30	30		5,2	2,3	SK 1SI 63 IEC90 - 90 S/4	SK 1SI 63 IEC90 - 90 SH/4	SK 1SI 63 IEC90 - 90 SP/4
	57	139	1,0	25	25		5,2	2,3			
	72	116	1,2	20	20		5,3	2,4			
	96	90	1,7	15	15		5,4	2,4			
	115	79	1,6	12,5	12,5		5,5	2,5			
	144	64	2,1	10	10		5,5	2,5			
	191	49	2,8	7,5	7,5		5,6	2,5			
										SK 1SMI 63 IEC90 - 90 S/4	SK 1SMI 63 IEC90 - 90 SH/4

Figura 28 Selección del motor reductor [44]

## 2.9. Cálculo del engrane

En el diseño de los engranes se tomará la distancia medida entre centro de los dos ejes como se muestra la siguiente figura 29 esta medida se toma con relación al diseño de la cuchilla y los espaciadores.

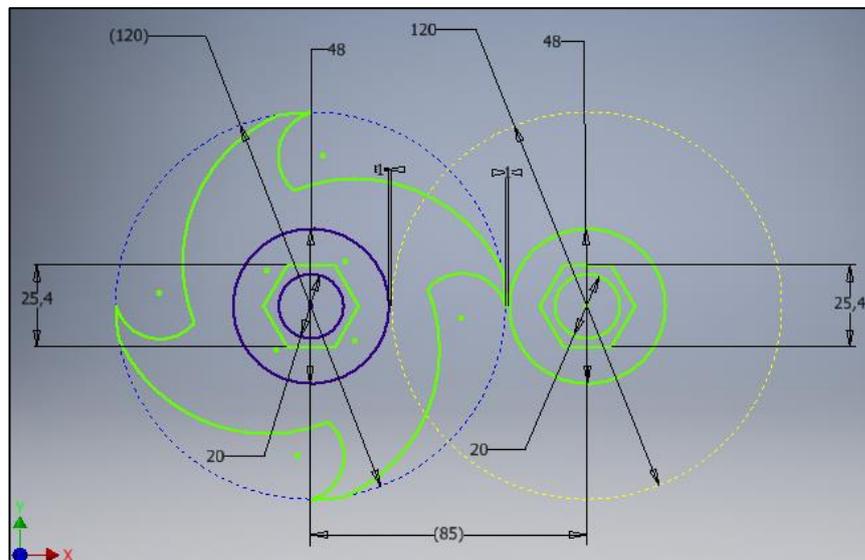


Figura 29 Distancia entre centros

Elaborado por: Monta Víctor & Cushicondor Luis

Con estas medidas se procede a diseñar los engranes dejando una tolerancia de separación entre el diámetro exterior de la cuchilla y del separador que es un milímetro, el material que se va a emplear es el acero 7210 el cual se utiliza para engranes en el anexo 10 se indica las propiedades del material.

Diámetro exterior de la cuchilla=120 mm

Diámetro del separador=48 mm

Diámetro de la barra hexagonal=25.4mm

Diámetro del eje= 20 mm

Distancia entre centros=85 mm

La relación de transmisión que se va a utilizar 1:1 con estos datos se procede a realizar los cálculos.

Como la relación es 1:1 el número de engranes es igual al número de piñones

$DG = DP$

$C = 85 \text{ mm}$

Con la ecuación 5

$$C = \frac{DG + DP}{2}$$

$$C = \frac{2DG}{2}$$

$$C = DG = 85 \text{ mm}$$

El diámetro primitivo del engrane es igual a la distancia entre centros, en el anexo 2 muestra los diámetros primitivos con relación al número de dientes, a partir de la ecuación 6 hasta la 13 se calcula los demás elementos [45].

$M=4$

$N=Z=21$

$D=Dp=85\text{mm}$

$$Pd = \frac{21}{85} = 0.247$$

$$De = \frac{21 + 2}{0.247} = 93.12 \text{ mm}$$

$$P_c = \frac{\pi \cdot 85}{21} = 12.72$$

$$A = M=4$$

$$E = \frac{12.72}{2} = 6.36 \text{ mm}$$

$$PD = 1.25 \cdot 4 = 5 \text{ mm}$$

$$R = \frac{12.72}{12} = 1.06 \text{ mm}$$

$$A_s = \frac{360 \cdot 6.36}{2 \cdot \pi \cdot \frac{85}{2}} = 8.57^\circ$$

## 2.10. Selección de la chumacera

Como datos se tomará las revoluciones que va a girar el eje, como la carga aplicada al eje que se calculó en el diseño.

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

$$P = 80 \text{ N}$$

$$\text{Diámetro} = 22 \text{ mm}$$

### 2.10.1. Carga estática

Para realizar el cálculo se tomará la ecuación referente al catálogo NSK con una confiabilidad de 90% [46].

Donde

$F_s$ : coeficiente de seguridad

$P_0$ : carga estática equivalente

$C_0$ : carga estática

$$F_s = \frac{C_0}{P_0} \quad (69)$$

En la tabla 24 se muestra el factor de seguridad del rodamiento de bolas.

Tabla 24 Valores del factor seguridad  $F_S$  de carga estática [47]

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

Para nuestros rodamientos se toma el valor en condiciones de carga de impacto con un valor de 1.5 de la tabla 24, con la ecuación 69 se calcula la carga estática.

$$C_o = F_S \cdot P_o$$

$$C_o = 1.5 \cdot 80(N)$$

$$C_o = 120(N) = 0.12(KN)$$

Para la selección del cojinete tomamos el diámetro obtenido en los cálculos, y buscamos el rodamiento como indica la figura 30 y luego se compara el  $C_o$  calculado con del catálogo.

**UCFL2**  
Soportes tipo brida rómbica con tornillos de apriete

Tipo de cubierta anti polvo de acero estampado  
Extremo abierto Z-UCFL...D1  
Extremo cerrado ZM-UCFL...D1

Díam. Eje mm pulgadas	Designación soporte(*)	Dimensiones nominales											Tamaño tornillo mm pulgadas	Número de rodamiento
		H	J	A <sub>2</sub>	A <sub>1</sub>	A	N	L	A <sub>0</sub>	B	S			
12 1/2	UCFL201D1 UCFL201-008D1	113 47/16	90 35/64	15 19/32	11 7/16	25.5 1	12 15/32	60 23/8	33.3 15/16	31 1.2205	12.7 0.500	M10 3/8	UC201D1 UC201-008D1	
15 9/16 5/8	UCFL202D1 UCFL202-009D1 UCFL202-010D1	113 47/16	90 35/64	15 19/32	11 7/16	25.5 1	12 15/32	60 23/8	33.3 15/16	31 1.2205	12.7 0.500	M10 3/8	UC202D1 UC202-009D1 UC202-010D1	
17 11/16	UCFL203D1 UCFL203-011D1	113 47/16	90 35/64	15 19/32	11 7/16	25.5 1	12 15/32	60 23/8	33.3 15/16	31 1.2205	12.7 0.500	M10 3/8	UC203D1 UC203-011D1	
20 3/4	UCFL204D1 UCFL204-012D1	113 47/16	90 35/64	15 19/32	11 7/16	25.5 1	12 15/32	60 23/8	33.3 15/16	31 1.2205	12.7 0.500	M10 3/8	UC204D1 UC204-012D1	

Figura 30 Características de la chumacera y el rodamiento [46].

El número de rodamiento obtenido con el diámetro es UC204D1 el cual se verificará la carga estática que soporta dicho rodamiento, en el anexo 11 se muestra que la carga estática de 6.65 KN el cual es superior al calculado por tanto cumple con el requerimiento y la chumacera escogida es UCFL204D1, en la figura 30 nos indica las dimensiones de la chumacera.

### 2.10.2. Vida nominal básica del rodamiento

La vida útil se refiere a la cantidad de horas o revoluciones que puede soportar un cojinete antes de producir una rotura en su jaula o dependiendo el tipo de rodamiento que puede sufrir desgaste en sus componentes, pero para que el rodamiento soporte la vida nominal establecida depende de varios factores para un buen funcionamiento como la lubricación, ambiente donde va trabajar, temperatura, un buen acople con el eje y otras características que se debe tener en cuenta para un correcto funcionamiento y una vida nominal duradera.

En la figura 31 nos indica algunas recomendaciones para la vida de cojinetes dependiendo el uso o maquinaria donde se aplican.

Tipo de aplicación	Vida, kh
Instrumentos y aparatos de uso poco frecuente	Hasta 0.5
Motores de aeronaves	0.5-2
Máquinas de operación corta o intermitente, donde la interrupción del servicio resulta de poca importancia	4-8
Máquinas de servicio intermitente donde una operación confiable es de gran importancia	8-14
Máquinas para servicio de 8 h, que no siempre se usan completamente	14-20
Máquinas para servicio de 8 h, que se utilizan plenamente	20-30
Máquinas para servicio continuo las 24 h	50-60
Máquinas para un servicio continuo de 24 h, donde la confiabilidad es de suma importancia	100-200

Figura 31 Vida de cojinetes para varias aplicaciones [30].

La vida nominal se puede calcular de varias formas dependiendo la marca, el fabricante nos recomienda calcular la vida nominal con la siguiente ecuación cuando la velocidad es constante y se debe representar en horas [48].

$$L_{10h} = \frac{10^6}{60 \cdot n} \cdot L_{10} \quad (70)$$

Donde:

$L_{10}$  : vida nominal básica (con una confiabilidad del 90%) [millones de revoluciones] [48].

$L_{10h}$  : vida nominal básica (con una confiabilidad del 90%) [horas de funcionamiento]

n: velocidad de giro (rpm) [48].

$$L_{10h} = \frac{10^6}{60 \cdot 29} \cdot 14000$$

$$L_{10h} = 8045977 \text{ h}$$

## 2.11. Diseño de estructura

Es la parte que ayudara a soportas el peso de la caja trituradora, motor y otros componentes como la tolva.

El material empleado para la fabricación es un tubo cuadrado estructural de 40mm con un espesor de 2mm, la figura 32 muestra el diseño a construir.

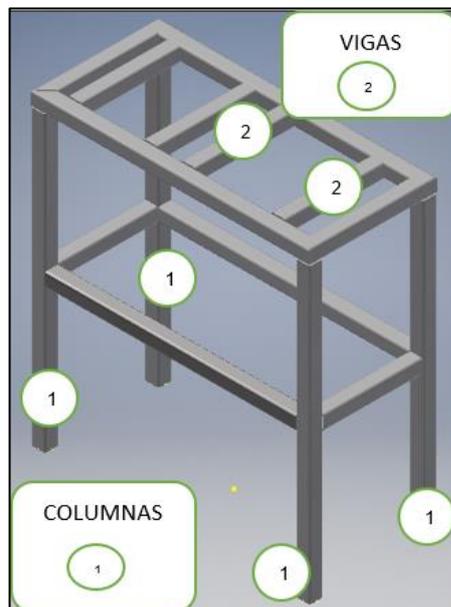


Figura 32 Diseño de la estructura

Elaborado por: Monta Víctor & Cushicondor Luis

Para el cálculo se utilizará el peso máximo que conforma el motor y la caja que es de 70lb= 0.07Klb con estos datos se procederá a realizar los cálculos con la ecuación 14 para obtener el esfuerzo a compresión.

### 2.11.1. Columna 1

Con una longitud de 82cm.

$$f_a = \frac{0.070\text{klb}}{0.449\text{plg}^2} = 0.156 \frac{\text{klb}}{\text{plg}^2}$$

A continuación, se calcula la esbeltez para encontrar el esfuerzo admisible con la ecuación 15.

Donde:

$\lambda$ : esbeltez

K: factor de estabilidad de columnas

L: longitud de la columna

$r_{\min}$ : radio mínimo

$$\lambda = \frac{0.65 \cdot 82\text{cm}}{1.54\text{cm}} = 34.61$$

Por tanto, se busca el esfuerzo admisible con la esbeltez que en tablas indica que es 19.58 klb/plg<sup>2</sup>

La condición para que la columna soporte la carga es la siguiente.

$$f_a \leq F_a$$

$$0.156 \frac{\text{Klb}}{\text{plg}^2} \leq 19.58 \frac{\text{Klb}}{\text{plg}^2}$$

Con los datos obtenidos, el esfuerzo a compresión es menor a el esfuerzo admisible cumpliendo la condición.

### 2.11.2. Viga 2

La condición para que la viga soporte la carga máxima aplicada es la ecuación 16.

$$f_b \leq F_b$$

Con el manual de construcción se obtendrá el momento máximo y el esfuerzo admisible, siendo el límite de fluencia del material 270MPa=39.16klb/plg<sup>2</sup> y la longitud de la viga es de 0.262m, se aplicará las ecuación 18 y 19 [33].

$$M_{\max} = \frac{0.070\text{klb} \cdot 10.315\text{plg}}{8} = 0.090\text{klb} \cdot \text{plg}$$

$$F_b = 0.66 \cdot F_y$$

$$F_b = 0.66 \cdot 39.16\text{ksi} = 25.85 \frac{\text{klb}}{\text{plg}^2}$$

En el siguiente cálculo se obtendrá el esfuerzo de flexión aplicando la ecuación 20.

$$f_b = \frac{0.090 \text{klb} \cdot \text{plg} \cdot 0.7874 \text{plg}}{0.1535 \text{plg}^4} = 0.462 \frac{\text{klb}}{\text{plg}^2}$$

$$0.462 \frac{\text{klb}}{\text{plg}^2} \leq 25.85 \frac{\text{klb}}{\text{plg}^2}$$

Con los cálculos obtenidos, aplicar la condición que debe cumplir la viga, por tanto, el esfuerzo de flexión es menor al esfuerzo admisible y cumple la condición.

### 2.12. Cálculo de soldadura

El cálculo de soldadura que se aplicara a la estructura se tomara el peso total de la carga que está conformada por el motor y la caja trituradora con la tolva que es un peso 70 lb=0.070 kip, la estructura va a ser soldada con un tubo cuadrado de 40 mm con un espesor de 2mm, en la figura 33 muestra los puntos críticos donde van a soportar la mayor carga

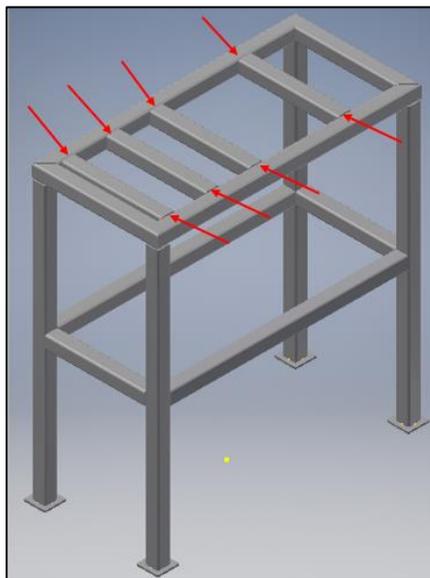


Figura 33 Puntos críticos de soldadura

Elaborado por: Monta Víctor & Cushicondor Luis

Los parámetros adicionales que se va a utilizar es el electrodo 6013 y h que va a ser de  $\frac{1}{4}$  con las especificaciones del anexo 4.

Para la comprobación del electrodo se procederá a calcular con la siguiente fórmula

$$F = f_u \cdot l$$

Donde:

F: resistencia del metal

$f_u$ : fuerza permisible por longitud unitaria (Anexo 4)

l: longitud de soldadura

$$F = 3.18 \frac{\text{Klb}}{\text{plg}} \cdot 3.14 \text{plg}$$

$$F = 9.98 \text{Klb}$$

$$70 \text{ lb} \leq 9.98 \text{ Klb}$$

Por lo tanto, como el metal de aporte tiene una mayor resistencia a la carga aplicada, el electrodo cumple las condiciones.

Para calcular el esfuerzo normal se procederá primero a calcular el área de la soldadura con la ecuación 22.

Donde

$$h = \frac{1}{4} \text{plg} = 0.25 \text{plg}$$

$$b = 40 \text{ mm} = 1.57 \text{plg}$$

$$d = 40 \text{ mm} = 1.57 \text{plg}$$

$$A_w = 0.707 \cdot 0.25 \text{plg} * (2 \cdot 1.57 + 1.57) \text{plg}$$

$$A_w = 0.832 \text{plg}^2$$

Obteniendo el área de soldadura se procederá a calcular el esfuerzo normal con la ecuación 21.

$$\sigma = \frac{70 \text{ lb}}{0.832 \text{plg}^2}$$

$$\sigma = 84.13 \frac{\text{lb}}{\text{plg}^2} = \text{psi}$$

Con la ecuación 23 se calculará el esfuerzo permisible a tensión con los datos de la tabla 14.

$$\sigma \leq 0.60 \cdot S_{ut}$$

$$\sigma \leq 0.60 \cdot 62 = 37.2 \text{ Kpsi}$$

Condición para que cumpla con los requisitos mínimos de seguridad de la ecuación 16

$$84.13 \text{ psi} \leq 37.2 \text{ Kpsi}$$

Factor seguridad

$$S_y = 50 \text{ Kpsi}$$

$$F_s = \frac{S_y}{\sigma}$$

$$F_s = \frac{50000 \text{ psi}}{84.13 \text{ psi}} = 594.31$$

Con el cálculo obtenido se pudo comprobar que cumple con el parámetro para que la estructura no tenga inconvenientes al momento de su funcionamiento.

### 2.13. Diseño de la tolva inferior

Para este diseño, la tolva inferior se construye con un tol de 0.7 mm de espesor, la configuración se basa en recolectar la mayor cantidad de material en un saco o recipiente de gran tamaño para evitar el cambio repetitivo de un recipiente de menor capacidad, la figura 34 muestra el diseño a construir.

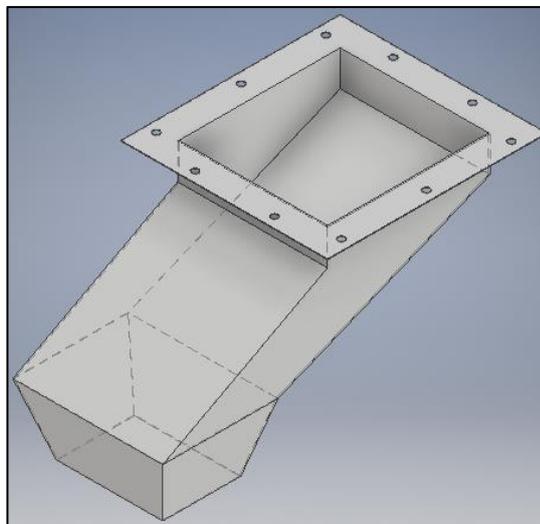


Figura 34 Diseño de la tolva inferior

Elaborado por: Monta Víctor & Cushicondor Luis

El ángulo de inclinación para que el material se deposite en el recipiente se calculará con las siguientes ecuaciones 24-25 [35].

El autor menciona que los coeficientes de fricción son los siguientes respectivamente 0.25 coeficiente de fricción cinética y 0.2 coeficiente de fricción [49].

$$\theta_k = 0.25 - 0.25 \cdot 0.2 = 0.2$$

$$\theta_k = \tan^{-1}0.2 = 11.33^\circ$$

Con un ángulo mínimo de  $11.33^\circ$ , para el diseño se tomará un ángulo mayor para que el material pueda deslizarse al recipiente.

#### 2.14. Diseño de separador para las cuchillas

El elemento diseñado como indica la figura 35 permite una separación entre cuchillas, al momento de triturar para que no exista un choque entre ellas y causen una rotura, al momento de colocar las cuchillas en el eje se debe ubicar desfasadas con respecto al otro eje para no provocar roces, las dimensiones son los siguientes diámetros exterior 48mm, interior es de 25.4 mm con un espesor de 12 mm.

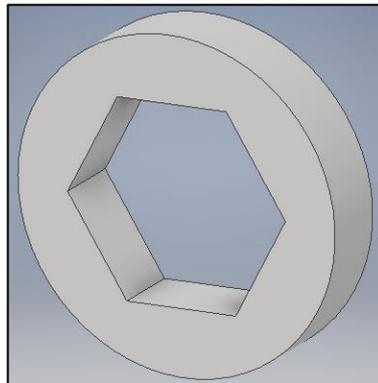


Figura 35 Espaciadores

Elaborado por: Monta Víctor & Cushicondor Luis

#### 2.15. Placa base

Su funcionamiento permite acoplar los ejes y rodamientos, su actividad principal es soportar la carga total del eje que se compone de las cuchillas y espaciadoras, además nos ayuda a insertar los demás elementos de la caja trituradora, la figura 36 muestra el soporte a diseñar.

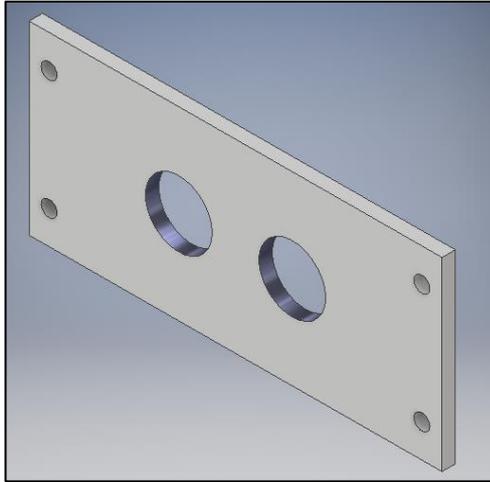


Figura 36 Soportes laterales para la caja trituradora

Elaborado por: Monta Víctor & Cushicondor Luis

### 2.16. Placa base 2

El cual nos permite unir los diferentes compones que conformar la caja, que son la tolva superior e inferior y sujetar la caja trituradora a la estructura con los respectivos pernos, en la figura 37 se muestra el diseño del conjunto del soporte lateral.

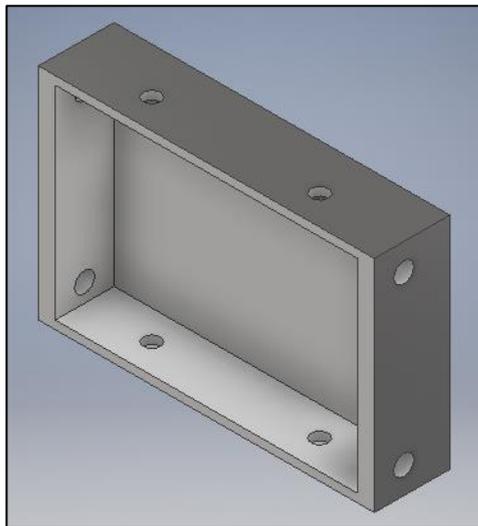


Figura 37 Soportes laterales para la caja trituradora

Elaborado por: Monta Víctor & Cushicondor Luis

### 2.17. Pernos de sujeción

Para la selección de pernos que van a sujetar las placas laterales que conforman la base de la trituradora el fabricante anexo 5 recomienda colocar pernos SAE 8 el cual recomienda un intervalo entre  $\frac{1}{4} a 1\frac{1}{2}$ , la figura 25 y 26 muestra las propiedades del perno y la rosca respectivamente.

Tabla 25 Propiedades de los pernos SAE [31].

SAE grado 8	
Resistencia máxima a la tensión (Sp)	120 kpsi
Resistencia ultima a la tensión (Sut)	150kpsi
Resistencia a la fluencia mínima a tensión (Sy)	130kpsi
Módulo de elasticidad (E)	30Mpsi

Tabla 26 Propiedades de las roscas UNC[31].

Roscas UNC	
Área de esfuerzo a la tensión (A <sub>t</sub> )	0.0775in <sup>2</sup> (49.99mm <sup>2</sup> )
Área del diámetro mayor (A <sub>r</sub> )	0.0678 in <sup>2</sup> (43.74mm <sup>2</sup> )

El perno escogido de D=10mm para la unión entre la base para formar la caja de la trituradora es la correcta el cual no sufrirá deformaciones.

### 2.17.1. Área transversal del perno

$$A = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \quad (71)$$

$$A = \frac{\pi \cdot 0.00953^2}{4}$$

$$A = 7.133 \cdot 10^{-5}$$

### Factor de rigidez k<sub>b</sub>

$$k_b = \frac{A \cdot E}{L} \quad (72)$$

$$k_b = \frac{7.133 \cdot 10^{-5} \cdot 207 \text{GPa}}{0.0343 \text{m}}$$

$$k_b = 430 \cdot 10^6 \frac{N}{m}$$

Donde:

A=Área transversal

E=Modulo de elasticidad

L=Longitud de agarre de perno

### Longitud del perno

$$L = l + H$$

$$L = (10 + 10 + 0.065 + 14.287) \text{mm}$$

$$L = 34.352 \text{mm}$$

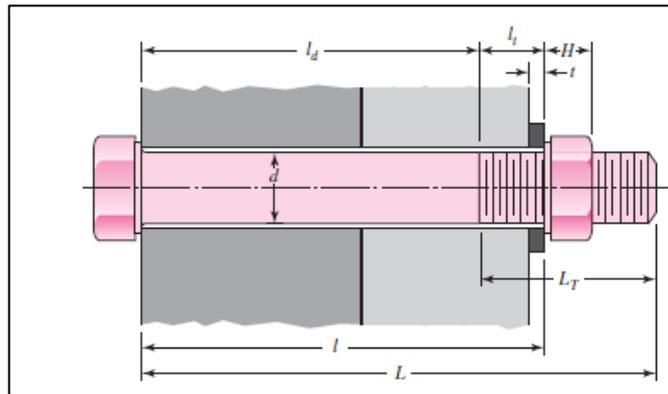


Figura 38 Diámetro del sujetador d y paso [31]

### Factor de rigidez $k_m$

$$k_m = \frac{\pi \cdot E \cdot D}{2Ln \left( \frac{5(l + 0.5 \cdot D)}{l + 2.5 \cdot D} \right)}$$

$$k_m = \frac{\pi \cdot 207 \text{Gpa} \cdot (0.0953)}{2Ln \left( \frac{5(0.0343 + 0.5 \cdot 0.0953)}{0.0343 + 2.5 \cdot 0.0953} \right)} \quad (73)$$

$$k_m = 5.064 \times 10^9 \frac{N}{m}$$

### Coefficiente de carga C

$$C = \frac{k_b}{k_b + k_m}$$

$$C = \frac{430 \times 10^6}{430 \times 10^6 + 5.064 \times 10^9} \quad (74)$$

$$C = 0.0782$$

### **Carga de prueba $F_p$**

$$\begin{aligned}F_p &= A_i \cdot S_p \\F_p &= 4.99 \times 10^{-5} \cdot 826.8 \text{ Mpa} \\F_p &= 41257.32 \text{ N}\end{aligned} \quad (75)$$

### **Precarga del perno $F_i$**

$$\begin{aligned}F_i &= 0.8 F_p \\F_i &= 0.8 \cdot 41257.32 \text{ N} \\F_i &= 33005.856 \text{ N}\end{aligned} \quad (76)$$

Según Shigley [30] se emplea el factor de seguridad  $F_i$

$$0.6 F_p \leq F_i \leq 0.9 F_p$$

$$0.6 \cdot 41257.32 \leq 33005.856 \leq 0.9 \cdot 41257.32 \quad (77)$$

$$24754 \leq 33005.856 \leq 37132.388 \quad OK$$

El factor  $F_i$  muestra que el perno escogido es óptimo para el diseño por lo tanto resistirá la carga a tensión.

### **2.18. Diseño del circuito de fuerza y mando**

Para el encendido de la máquina se realizó un diagrama de un circuito monofásico para el sistema de mando y un esquema de fuerza para el arranque del motor como se muestra en la figura 39, en donde el sistema se enciende mediante un pulsador M el cual va a encender el motor en sentido horario, al mismo tiempo se encenderá una lámpara de color verde PM para saber que la máquina se encuentra funcionando y se apaga mediante un pulsador P y se encenderá la luz piloto color roja, en caso de emergencia se implementó un paro de emergencia, al presionar STOP la máquina se detendrá por completo, además tiene incorporado un relé térmico que nos indicara cuando el motor tenga una avería mediante el encendido de la luz piloto color anaranjada.

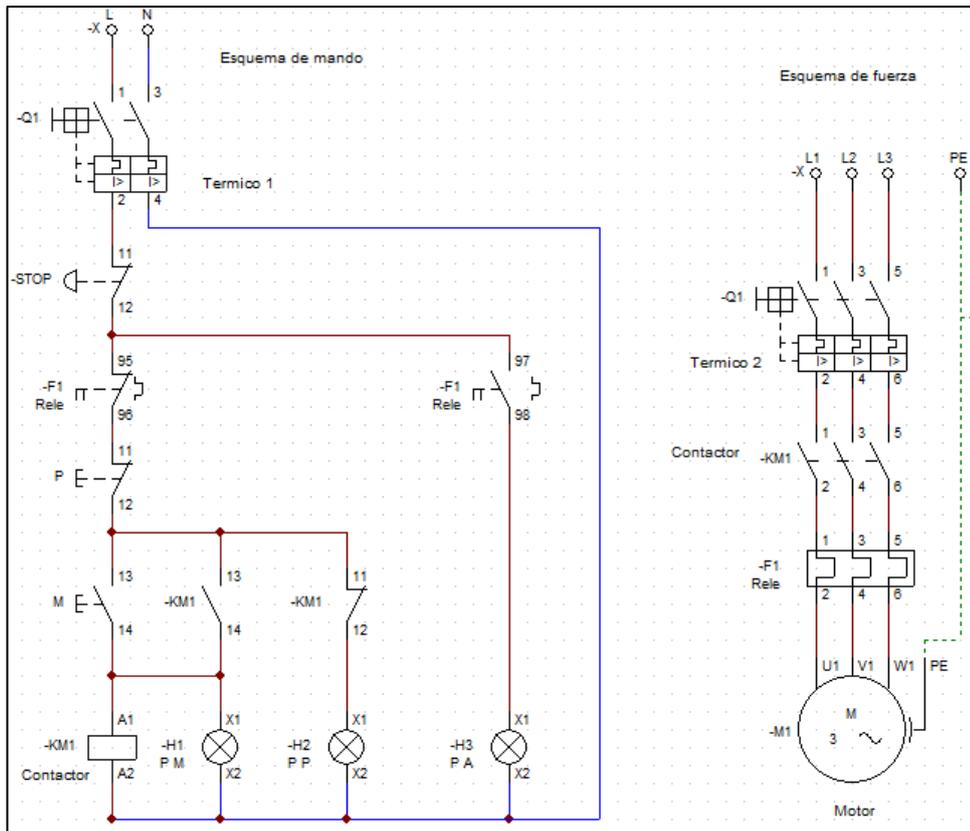


Figura 39 Diagrama eléctrico

Elaborado por: Cushicondor Luis & Monta Víctor

## CAPÍTULO III

### VALIDACIÓN DE LOS COMPONENTES MEDIANTE SOFTWARE Y ANÁLISIS DE COSTOS

#### 3.1. Generalidades

En el presente capítulo se analizará los componentes más importantes de la máquina trituradora con ayuda del software que permite comprobar si las piezas diseñadas van a soportar dicha carga y tener un correcto funcionamiento.

A continuación, se mostrará las simulaciones de los componentes de la máquina, los parámetros a tomar son la Tensión de Von Mises, el desplazamiento y el coeficiente de seguridad.

Además, se analizará los costos que genera la fabricación de la máquina, mediante los costos directos, indirectos, mano de obra y demás parámetros que se aplican para la realización del proyecto, con el costo total generado en la construcción se procederá a verificar si el proyecto es factible, tomando como indicadores los más conocidos que se aplican en los pequeños y grandes proyectos que son el VAN y el TIR en cual nos genera un resultado confiable para la realización del proyecto.

#### 3.2. Simulación de eje principal

Para la simulación se utilizó el software SolidWorks, donde el valor de factor de seguridad de la simulación supera al factor de seguridad igual a 2 utilizado en el diseño como se muestra la figura 40 en donde se observa que el factor de seguridad máximo es de 3 el cual garantiza el funcionamiento del elemento.

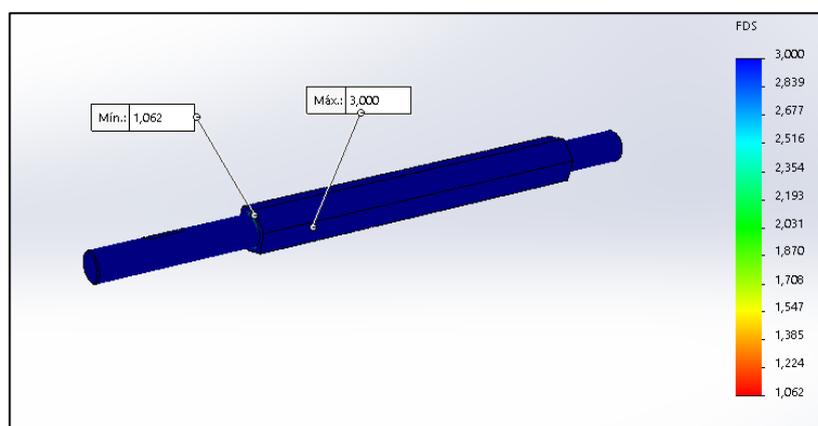


Figura 40 Factor de seguridad del eje principal.

Elaborado por: Cushicondor Luis & Monta Víctor

### 3.2.1. Diagrama de deformaciones

Se puede observar en la figura 41 que existe una deformación de 0.102mm en la parte más crítica, el cual es un valor que a simple vista no se la puede apreciar.

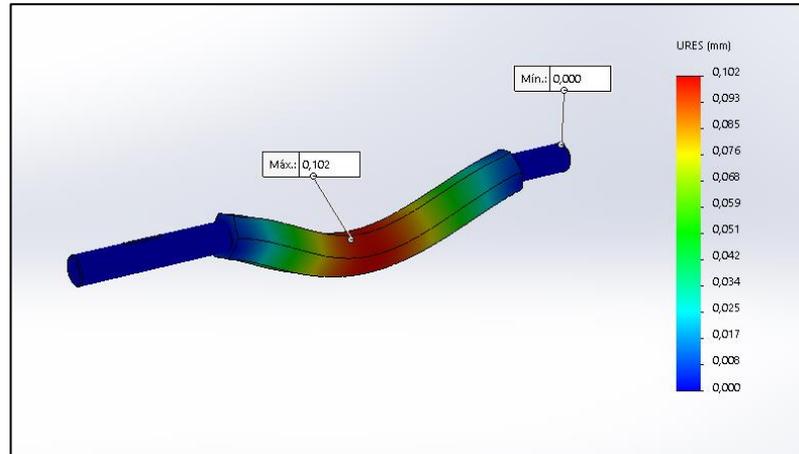


Figura 41 Diagrama de deformaciones del eje principal.

Elaborado por: Cushicondor Luis & Monta Víctor

### 3.2.2. Diagrama de Von Mises

En la figura 42 se puede observar que el esfuerzo de Von Mises tiene un valor de 331 MPa que puede llegar a soportar el eje principal.

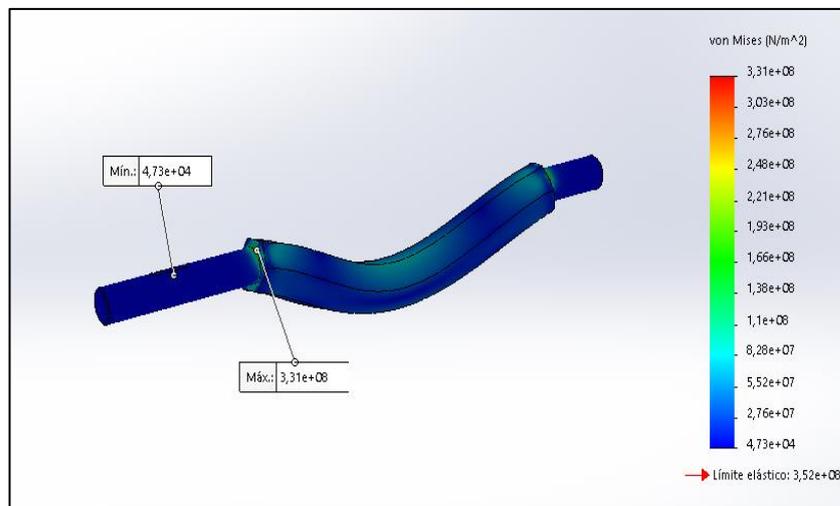


Figura 42 Diagrama Von Mises del eje principal.

Elaborado por: Cushicondor Luis & Monta Víctor

### 3.3. Cuchilla

Mediante el software se aplicará la fuerza de corte que se calculó previamente y así comprobar si la cuchilla soportara dicha carga, en la figura 43 muestra la Tensión de Von Mises que soporta el filo de la cuchilla donde puede sufrir una rotura, como indica la figura la tensión máxima es 640 MPa siendo el límite de fluencia del material de la cuchilla superior a dicho valor siendo un material que soporta la carga y no sufrirá alguna rotura.

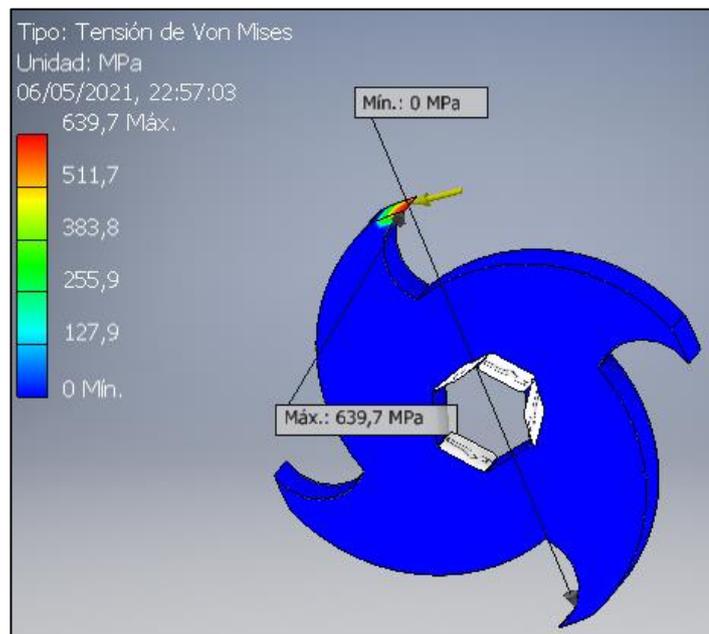


Figura 43 Tensión de Von Mises

Elaborado por: Monta Víctor & Cushicondor Luis

#### 3.3.1. Desplazamiento

Con relación al desplazamiento que sufrirá la cuchilla se debe tomar en cuenta que debe ser el mínimo porque perdería su filo y no trituraría el material adecuadamente, la figura 44 muestra el desplazamiento máximo de 0.076 mm que es una desviación mínima y no tendrá inconvenientes al momento de triturar.

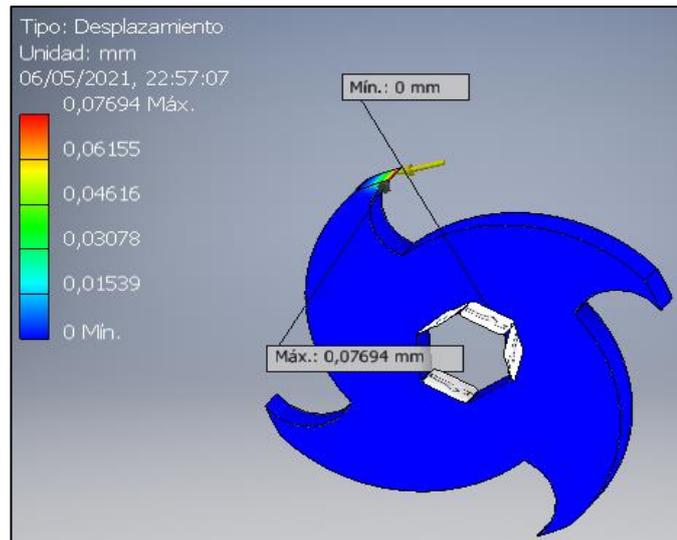


Figura 44 Desplazamiento del filo cortante

Elaborado por: Monta Víctor & Cushicondor Luis

### 3.3.2. Coeficiente de seguridad

El coeficiente de seguridad se lo tomo en el filo de la cuchilla siendo este punto donde va trabajar y alargo plazo perdera su filo, en la figura 45 indica el factor de seguridad que es de 2 este coeficiente esta entre los prametros para que la cuchilla triture y no tenga inconvnientes o sufra alguna rotura.

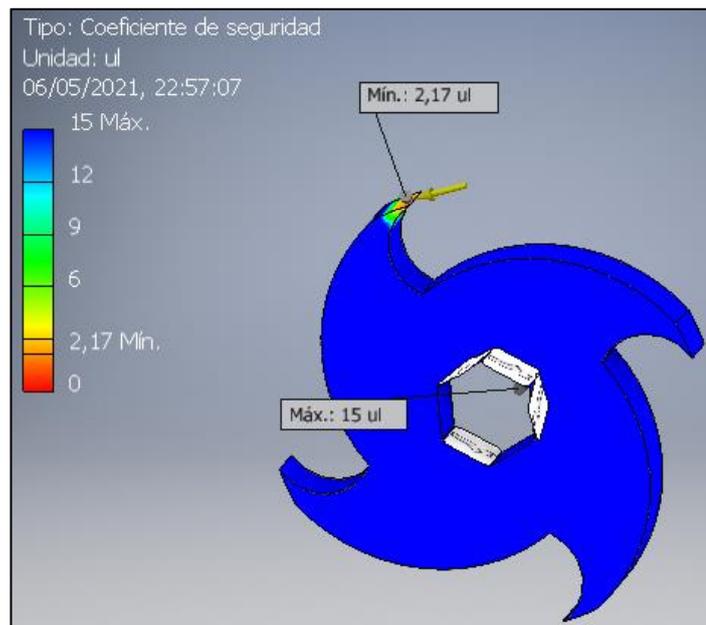


Figura 45 Coeficiente de seguridad de la cuchilla

Elaborado por: Monta Víctor & Cushicondor Luis

### 3.4. Simulación de las placas base

Mediante el factor de seguridad que se obtuvo en la simulación que tiene un valor máximo de 3, como se puede notar en la figura 46 se observa que es mayor al factor de seguridad de diseño, por lo tanto, se garantiza el correcto funcionamiento de las placas laterales.

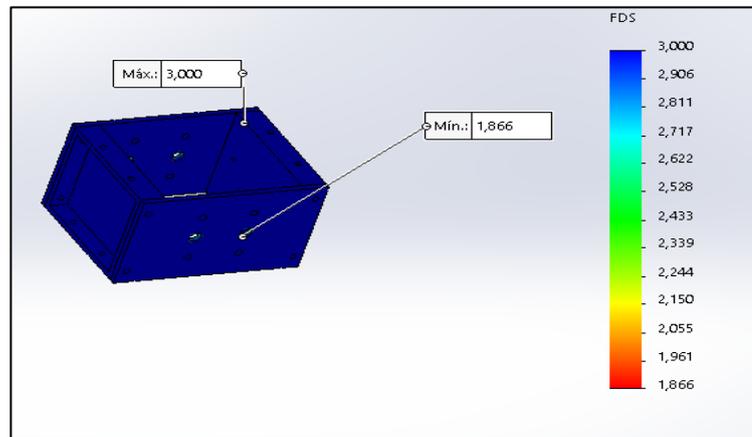


Figura 46 Factor de seguridad de la placa lateral

Elaborado por: Cushicondor Luis & Monta Víctor

#### 3.4.1. Esfuerzo Von Mises

En la figura 47 se puede observar que el esfuerzo de Von Mises tiene un valor de 134 MPa que puede llegar a soportar las placas laterales donde van apoyada el eje.

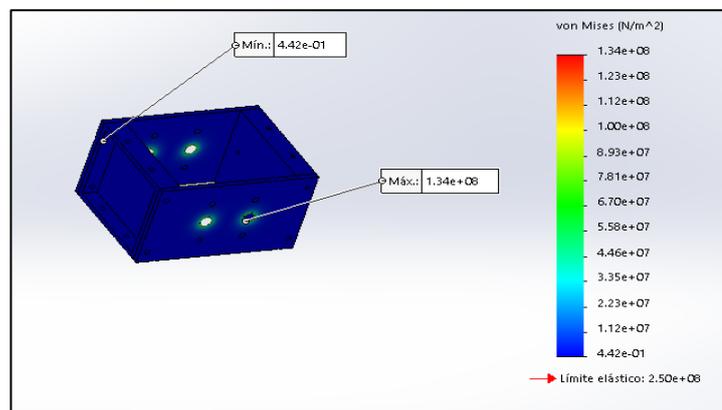


Figura 47 Diagrama Von Mises de la placa lateral.

Elaborado por: Cushicondor Luis & Monta Víctor

### 3.4.2. Diagrama de desplazamiento

Se puede observar en la figura 48 que existe una deformación de 0.003 mm en la parte más crítica el cual es un valor que a simple vista no se la puede diferenciar por lo tanto se garantiza el funcionamiento de las placas laterales

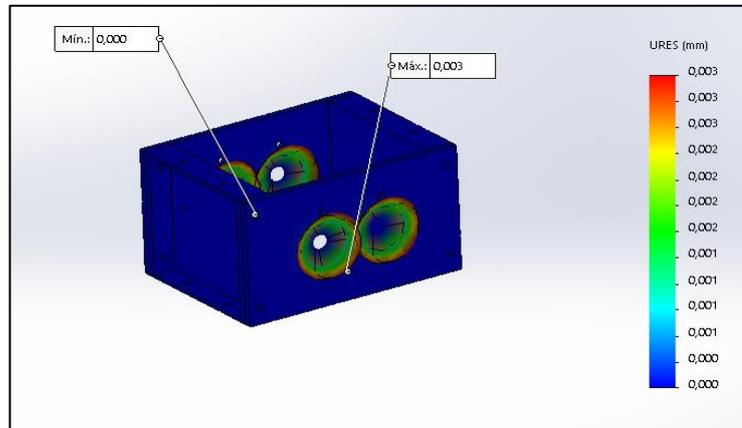


Figura 48 Diagrama de desplazamiento de la placa lateral.

Elaborado por: Cushicondor Luis & Monta Víctor

### 3.5. Estructura

En la figura 49 se aplicó la carga previamente calculada que va a soportar la estructura, las restricciones fijas se realizaron en la base para poder realizar el análisis, como indica la figura la Tensión máxima de Von Mises es de 5.51 MPa siendo esta tensión menor al límite de fluencia del material que se va a utilizar para la construcción.

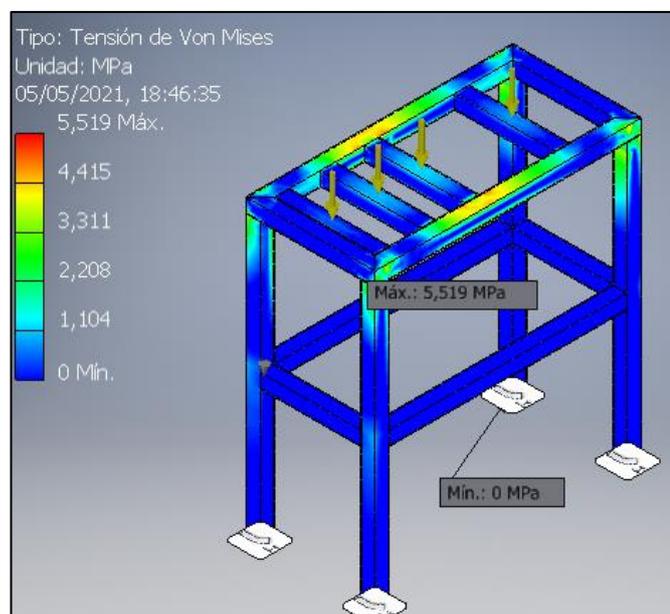


Figura 49 Tensión de Von Mises

Elaborado por: Monta Víctor & Cushicondor Luis

### 3.5.1. Desplazamiento

En la figura 50 indica el desplazamiento al aplicar la carga a la estructura en los puntos más críticos, el desplazamiento nos indica que es de 0.052 mm el cual no genera ningún inconveniente al momento de ensamblar los demás componentes y trabajar con seguridad sin peligro que la estructura colapse.

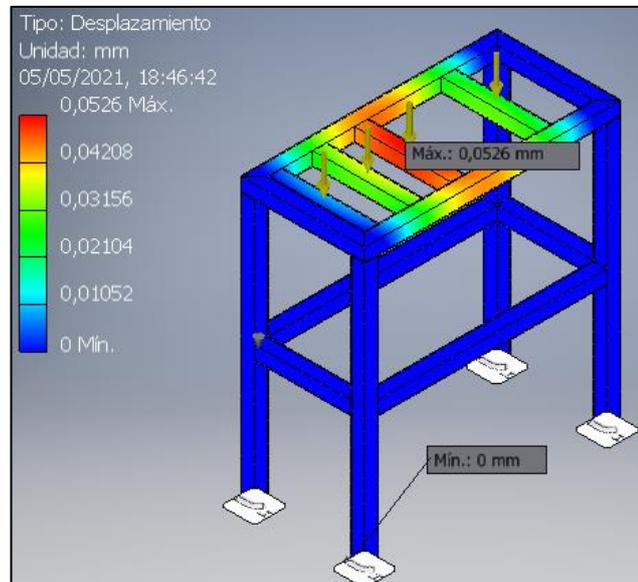


Figura 50 Desplazamiento en los puntos críticos

Elaborado por: Monta Víctor & Cushicondor Luis

### 3.5.2. Coeficiente de seguridad

En la figura 51 muestra el coeficiente de seguridad que nos brindara la estructura sin peligro que falle, el coeficiente es de 15 el cual indica que la estructura tiene confiabilidad superior siendo así una estructura confiable que puede soportar dicha carga o superior a la carga aplicada.

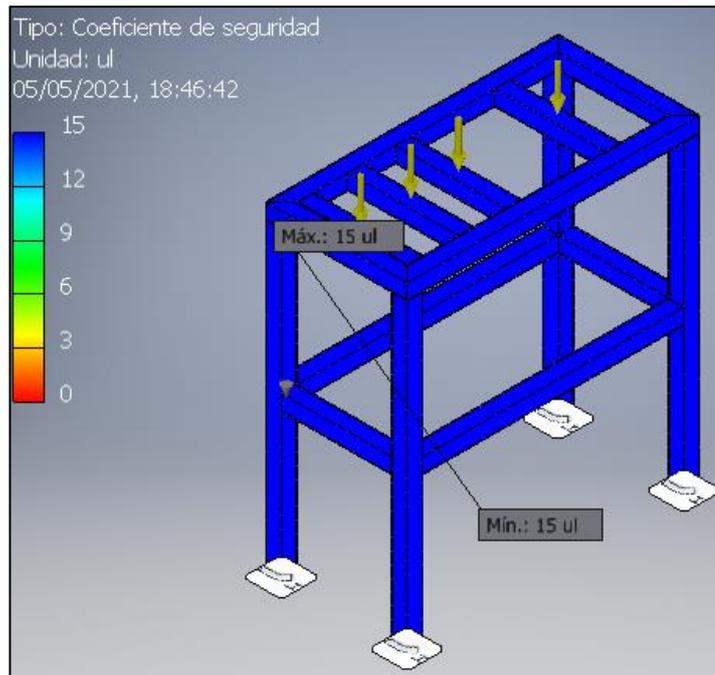


Figura 51 Coeficiente de seguridad de la estructura

Elaborado por: Monta Víctor & Cushicondor Luis

### 3.6. Análisis de costos

A continuación, se detallará los materiales usados para la construcción de la máquina con sus diferentes proveedores donde se pudo obtener el material a un precio económico y cumpliendo los parámetros para el diseño.

Además, se incluirá el valor de mano de obra que se necesitó como también los precios de mecanizado que se realizó en algunos componentes de la máquina como el corte en agua de las cuchillas y los separadores y las placas de sujeción, a continuación, se detalla los precios en las siguientes tablas.

### 3.7. Costos directos

Los costos directos se los denomina a la materia prima utilizada en un proyecto y demás componentes normalizados, la tabla 27 indica los materiales necesarios para la construcción de la máquina, la tabla 28 muestra el costo de mano de obra, la tabla 29 señala el costo de las herramientas que se utilizaron para la fabricación de los componentes.

Tabla 27 Costos de la materia la prima

<b>Elementos</b>	<b>Descripción</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio c/u</b>	<b>Precio final</b>
Plancha de 12mm de espesor	Acero K100 (550x430) cm	1	305	305
Chumaceras	Chumaceras	4	6.50	26
motor	1.5 HP	1	325	325
tubo 6m	cuadrado 40X2mm	1	23	23
Eje	Acero 1018	1	19.30	19.30
Contactador-relé	Control	1	18	18
Térmicos-riel	Control	2	7.50	15
Pernos y turca (M10)	Sujeción de la caja	30	0.60	18
arandelas(M10)	acople	30	0.07	2.1
Hoja de Tol galvanizado	Tolvas	1	26.20	26.20
Electrodos	6011	11b	2.40	2.40
Pintura		1	10	10
Botonera		2	1.8	3.6
Cable	Número 16 y 14	8m	0.54	4.32
Lija		1	0.80	0.80
Paro de emergencia		1	2.50	2.50
Piñones	Acero 7210	2	8.25	16.50
Plancha de 12 mm de espesor	Acero -36 (80x80) cm	1	33	33
Pulsadores y luz piloto		6	1.10	6.6
			<b>TOTAL</b>	857.32

Elaborado por: Monta Víctor & Cushicondor Luis

### 3.7.1. Costo de mano de obra

Tabla 28 Costo de mano de obra

<b>Operario</b>	<b>Horas utilizadas (h)</b>	<b>Precio (c/hr)</b>	<b>Precio Final</b>
Tornero	2	8	16
Fresador	3	8	24
Operario de cortadora en agua	4	2.5	10
Soldador	2	4	8
Técnico mecánico	2	6	12
Pintor	1	3.5	3.5
<b>TOTAL</b>			<b>73.5</b>

Elaborado por: Monta Víctor & Cushicondor Luis

### 3.7.2. Costos de utilización de máquinas herramientas y otros equipos.

Tabla 29 Costos máquinas herramientas y otros equipos

<b>Descripción</b>	<b>Máquina</b>	<b>Horas utilizadas</b>	<b>Precio c/hr</b>	<b>Precio final</b>
Corte en laser	Cortadora laser	4	105	420
Cilindrado-ejes	Torno	2	10	20
Fresado-Engranés-chavetas	Fresadora	3	40	120
Doble para la tolva	Dobladora	1	3	3
Unión de juntas	Soldadora	2	7	14
Pintura	Compresor	1	6	6
Perforación	Taladro	2	5.5	11
<b>TOTAL</b>			<b>594</b>	

Elaborado por: Monta Víctor & Cushicondor Luis

### 3.7.3. Costos Directos Totales

La tabla 30 muestra el total de los costos directos.

Tabla 30 Costos directos totales

<b>Costos directos</b>	<b>Precio final (USD)</b>
Costos de la Materia la prima	857.32
Costo de mano de obra	73.5
Costos de utilización de máquinas herramientas y otros equipos.	594
<b>TOTAL</b>	<b>1524.82</b>

Elaborado por: Monta Víctor & Cushicondor Luis

### 3.8. Costos indirectos

Son aquellos que no son asociados directamente en la fabricación de un producto, en la tabla 31 muestra los costos indirectos.

Tabla 31 Costos indirectos

<b>Descripción</b>	<b>Valor (USD)</b>
Costos de Ingeniería	200
Costos Imprevistos-varios	60
<b>TOTAL</b>	<b>260</b>

Elaborado por: Monta Víctor & Cushicondor Luis

### 3.9. Costo total de la máquina

En la tabla 32 se encuentra el total los gastos directos e indirectos que están involucrados en la fabricación de la maquina trituradora.

Tabla 32 Costo total de fabricación

<b>Descripción</b>	<b>Valor (USD)</b>
Costos Directos	1524.82
Costos indirectos	260
<b>TOTAL</b>	<b>1784.82</b>

Elaborado por: Monta Víctor & Cushicondor Luis

Nota: Costo real de construcción de la máquina.

### 3.10. Análisis financiero

Para el análisis económico se va tomar el precio referencial el cual consiste cuando los recicladores de botellas recolectan el productor y luego llevan a los centros de acopio donde su producto es vendido a un promedio de 53 centavos por kilo la empresa cual paga este valor es Enkador los valores pueden varían entre 40 y 66 centavos dependiendo el centro de acopio [50].

Teniendo el precio referencial se procese a realizar el análisis de la inversión inicial el cual va a ser recuperado en tres años.

Los indicadores que van a aplicarse y ver si la inversión es viable son:

VAN: valor actual neto

TIR: tasa de interna de retorno

En la siguiente tabla 33 se realizará un promedio diario en cual va a trabajar la máquina trituradora con una capacidad de 5kg /h.

Tabla 33 Promedio diario de trabajo

<b>Botellas</b>	<b>Horas/día</b>	<b>Peso Kg/h procesado</b>	<b>Precio /Kg</b>	<b>Precio final diario (USD)</b>
PET	6	7	0.53	22.26

Elaborado por: Monta Víctor & Cushicondor Luis

A continuación, en la tabla 34 se presenta los valores calculados anuales (10 meses)

Tabla 34 Valores anuales

<b>Botellas</b>	<b>Horas/anuales</b>	<b>Peso Kg</b>	<b>Precio /Kg</b>	<b>Precio final anual (USD)</b>
PET	1200	8400	0.53	4452

Elaborado por: Monta Víctor & Cushicondor Luis

### 3.10.1. Flujo de ingresos

En la tabla 35 se muestra los flujos de ingresos en los tres años.

Tabla 35 Flujo de ingresos

<b>Año</b>	<b>Ingresó (USD)</b>
1	4452
2	4452
3	4452

Elaborado por: Monta Víctor & Cushicondor Luis

### 3.10.2. Flujo de egresos

Los cual se va a realizar con un promedio de 6 horas trabajadas diariamente en la tabla 36 se muestra el porcentaje de la remuneración en las seis horas trabajadas.

Tabla 36 Porcentaje del salario en relación con las horas trabajadas

<b>Salario básico (USD)</b>	<b>Porcentaje de salario en un día (USD)</b>	<b>Remuneración c/h (USD)</b>	<b>6 horas trabajadas (USD)</b>
400	20	2.5	15

Elaborado por: Monta Víctor & Cushicondor Luis

### 3.10.3. Flujo de egresos mensuales

En la tabla 37 se indica el total de los egresos que genera la máquina para su funcionamiento.

Tabla 37 Egresos mensuales

Descripción	Cantidad (USD)
Sueldo del trabajador	300
Servicios básicos	30
Gastos varios	20
TOTAL	350

Elaborado por: Monta Víctor & Cushicondor Luis

### 3.10.4. Flujo efectivo neto

El flujo neto se realizó mediante la resta de flujo de ingresos con relación a los egresos para en un periodo de tres años tomando en cuenta el flujo de egresos para 10 meses como lo indica la tabla 38.

Tabla 38 Flujo neto efectivo

Año	Flujo de ingresos(A) (USD)	Flujo de egreso (B) (USD)	Flujo neto fn=A-B (USD)
1	4452,00	3500,00	952,00
2	4452,00	3500,00	952,00
3	4452,00	3500,00	952,00

Elaborado por: Monta Víctor & Cushicondor Luis

### 3.11. VAN

El VAN es un indicador financiero más utilizado para comprobar si el proyecto es rentable o no, el indicador relaciona los flujos de egresos e ingresos restando la inversión inicial, el VAN al momento de realizar los cálculos nos da un valor monetario, para realizar esta operación se utiliza la siguiente ecuación.

$$VAN = \left( \frac{f_1}{(1+i)^1} + \frac{f_2}{(1+i)^2} + \frac{f_3}{(1+i)^2} + \dots \frac{f_n}{(1+i)^n} - I_0 \right) \quad (78)$$

Donde:

fn: flujo de efectivo del proyecto

n: periodos

i: tasa de interés

I<sub>0</sub>: inversión inicial

Para aplicar un microcrédito de producción el banco que prestan un crédito con una tasa de interés bajo en comparación de otros es BanEcuador con una tasa aproximada de 11.85% el cual se va a tomar referencia para nuestros indicadores.

n:3 años

i: 11.85% (Anexo 10)

I<sub>0</sub>: 1784.82

$$VAN = \frac{952}{(1 + 0.1185)^1} + \frac{952}{(1 + 0.1185)^2} + \frac{952}{(1 + 0.1185)^3} - 1784.82$$

$$VAN = 507.63$$

El autor menciona que para que el proyecto sea rentable tiene las siguientes condiciones:

Tabla 39 Indicador VAN [51].

<b>Indicador</b>	<b>Condiciones</b>
VAN > 0	El proyecto es viable
VAN < 0	El proyecto no es viable
VAN = 0	No genera pérdidas ni ganancias

Como indica la tabla 39 el VAN debe ser mayor a cero para que el proyecto se rentable en los cálculos realizados nuestro VAN es superior a cero entonces nuestro proyecto es factible.

### 3.12. TIR

De igual manera como el anterior indicador es un método que se utiliza para los proyectos y ver si es factible o no, en comparación al VAN el TIR mide en valores de porcentaje, el TIR se calcula en relaciona al VAN igualando acero como indica la ecuación 79.

$$\left( \frac{f_1}{(1+i)^1} + \frac{f_2}{(1+i)^2} + \frac{f_3}{(1+i)^2} + \dots + \frac{f_n}{(1+i)^n} - I_0 \right) = 0 \quad (79)$$

Con ayuda del Excel se calculará el TIR

$$0 = \frac{952}{(1 + 0.112958)^1} + \frac{952}{(1 + 0.112958)^2} + \frac{952}{(1 + 0.112958)^3} - 1784.82$$

El cálculo obtenido del TIR que nos proporciona el Excel es de 28%

Las condiciones para que el indicador sea rentable se muestra en la tabla 40.

Tabla 40 Indicador TIR [51]

Indicador	Condiciones
TIR > i	El proyectó es viable
TIR < i	El proyecto no es viable
TIR = i	No genera pérdidas ni ganancias

Para que el proyecto sea rentable el porcentaje del TIR debe ser mayor al interés, el cálculo obtenido del proyecto es mayor en consecuencia es factible el proyecto.

### 3.13. PRI

Es un indicador que muestra el tiempo el cual se va a recuperar la inversión inicial del proyecto, se obtiene con los flujos netos del proyecto para proseguir a obtener los flujos efectivos acumulados del proyecto con la ayuda del Excel se obtendrán los flujos acumulados en la tabla 41 muestra los flujos en un periodo de tres años.

Tabla 41 Flujos acumulados

Año	Flujos Netos	Flujos Acumulados
0	-1784,82	
1	952	1588
2	952	2540
3	952	3492

Elaborado por: Monta Víctor & Cushicondor Luis

Para obtener el periodo de recuperación de la inversión inicial se aplicará la siguiente ecuación [52].

$$PRI = a + \frac{(b - c)}{d}$$

Donde:

a= año inmediato que se recupera la inversión

b= inversión inicial

c= flujo de efectivo acumulado del año inmediato anterior en el que se recupera la inversión

d= flujo de efectivo del año en el que se recupera la inversión.

$$PRI = 1 + \frac{(1784,82 - 1588)}{952} = 1.21 \text{ año}$$

El tiempo el cual se va a recuperar la inversión es de 1 año tres meses.

## CAPÍTULO IV

### PRUEBAS Y CAPACIDAD DE CORTE

Mediante un proceso previo de reciclado se logró obtener botellas plásticas de diversos tamaños, hasta botellas de 3 litros que es la capacidad máxima de triturado para poder realizar las pruebas siguientes, como se observa en la tabla 42. la máquina procedió a trabajar con la capacidad de 5kg/h donde se pudo obtener los siguientes datos.

Tabla 42 Cantidad de botellas trituradas en 3600seg.

<b>Unidad</b>	<b>Capacidad(lt)</b>
150	0.6
110	1.5
70	2
55	3

Elaborado por: Cushicondor Luis & Monta Víctor

Se tomo el tiempo óptimo de triturado para cada una las botellas recicladas como se indica en la tabla 43 dependiendo el tamaño.

Tabla 43 Tiempo de triturado de cada botella

<b>Unidad (lt)</b>	<b>Tiempo de corte (seg)</b>
0.6	24
1.5	32
2	51
3	65

Elaborado por: Cushicondor Luis & Monta Víctor

El tamaño de la viruta después del triturado no dependió de tamaño del recipiente como se indica en la tabla 44.

Tabla 44 Parámetros de corte

<b>Cantidad</b>	<b>Tipo de botella(lt)</b>	<b>Tamaño de viruta (mm)</b>
35	0,6	15x32
30	1.5	16x33
25	2	15x31
20	3	16x33

Elaborado por: Cushicondor Luis & Monta Víctor

El tamaño de la viruta esperado es de 16mm x 35mm en el proceso de triturado, es decir que el tamaño de la viruta obtenida se encuentra en la condición deseada, hay que decir que el tamaño de la viruta depende del tipo de criba colocada.

## CONCLUSIONES

- ✓ Debido al gran problema que se presenta actualmente en el mundo sobre el incremento exagerado en la producción de envases plástico que se utiliza diariamente en nuestra vida cotidiana se consideró aportar soluciones viables para disminuir la contaminación ambiental, por ello se presentó el proyecto de construcción de una máquina trituradora de PET para poder reducir el índice de contaminación, reutilizare los envases plásticos convirtiéndole en materia prima.
- ✓ La máquina trituradora con capacidad de 5kg/h es capaz de triturar botellas hasta 3litros, mediante un chek list se llegó a concluir que el único material por sus propiedades químicas que puede ser trasformado nuevamente en materia prima es el plástico PET.
- ✓ El eje principal se lo diseño de material AISI 1018 de forma hexagonal con un diámetro de 25.4 mm que va a permitir un mayor acople cuando la máquina trabaje a torsión y a flexión con un factor seguridad de 2 bajo el criterio de ASME elíptico.
- ✓ Se realizo la simulación de varios elementos mecánicos de la máquina uno de ellos fue del eje principal se pudo corroborar que el diámetro obtenido de forma analítica supera el factor de seguridad de 2, el cual valida el diseño.
- ✓ Dentro del análisis planteado se determinó que los indicadores de costos fueron positivos dando como resultados un proyecto viable, porta tanto se realizó la construcción de los componentes de la máquina y ensamble para el respectivo funcionamiento.
- ✓ La partícula obtenida del triturado tiene una dimensión de 15.5mmx32.5mm aproximado esto debido a la distancia entre cuchilla y espaciador esta medida puede variar dependiendo del tamaño de la botella, de igual manera el tamaño de la partícula del material triturado dependerá del diámetro de los agujeros de la criba.
- ✓ Se planteó una ficha técnica para que el operario pueda manejar sin ningún inconveniente la máquina, evitando accidentes a largo o corto plazo, dicha ficha técnica contiene un cronograma específico que se debe seguir de acuerdo

con las fechas ya establecidas, el mantenimiento de la máquina prolonga su vida útil.

## **RECOMENDACIONES**

- ✓ Revisar periódicamente que la caja reductora se encuentre correctamente lubricada para evitar daños internos.
- ✓ Mantener lubricado los engranes y chumaceras de la caja de triturado.
- ✓ Revisar en cada encendido de la máquina que las cuchillas se encuentren en buen estado para evitar accidentes.
- ✓ Revisar semanalmente que el tablero eléctrico con el fin de conservar el buen funcionamiento de sus componentes internos
- ✓ Se debería implementar un rodillo en la entrada por donde se abastece a la máquina puesto que el material debe entrar achatada para triturar, actualmente este proceso se lo hace manualmente.
- ✓ Implementar sensores que permita identificar botellas de otro color para evitar que la materia prima se mezcle.
- ✓ Implementar un sistema de ventilación que permita la limpieza de las cuchillas para evitar que el operario lo realice manualmente.
- ✓ Implementar un sistema de empaquetamiento automático para evitar que se derrame la materia prima.
- ✓ Colocar dos ganchos en la parte posterior de la boca de la tolva inferior y uno en el frente para un agarre de las fundas donde se deposita el material triturado.
- ✓ Instalar un sistema de tomas de 220 V y 110 V para el sistema de potencia y mando.
- ✓ Los tomacorrientes no deben estar muy lejos de la máquina para evitar la caída de tensión y así tener un correcto funcionamiento.

## REFERENCIAS

- [1] A. Rosales, “Departamento de Química TÍTULO : Obtención de biopolímero plástico a partir del almidón de malanga ( Colocasia esculenta ), por el método de polimerización por condensación en el Mayo – Abril 2016,” 2016.
- [2] H. A. Ibrahim, “Degradación de materiales plásticos ‘PET’ (polyethylene terephthalate), como alternativa para su gestión,” 2017.
- [3] ECOEMBES, “Envases de plástico: Diseña para reciclar,” *Ecoembes*, 2016.
- [4] E. Franco-Urquiza, H. E. Ferrando, D. P. Luis, and M. L. I. Maspoch, “Reciclado mecánico de residuos plásticos. Caso práctico: Poliestireno de alto impacto para la fabricación de componentes de TV,” *Afinidad*, vol. 73, no. 575, pp. 227–236, 2016.
- [5] INEC, “Estadística Ambiental Económica en Gobiernos Autónomos Descentralizados Municipales. Gestión de Residuos Sólidos 2019.,” *Gestión de Residuos Sólidos*, p. 26, 2020.
- [6] J. Góngora, “La industria del plástico en México y el mundo,” *Comer. Exter.*, vol. 64, no. 5, pp. 6–9, 2014.
- [7] G. Gomez, “Diagnostico del impacto del plastico (botellas) sobre el medio ambiente: Un estado del arte,” 2016.
- [8] C. Guaman and J. Pinenla, “Análisis de las propiedades Físico-Mecánicas de un hormigón elaborado con fibras recicladas de envases PET, con y sin aditivo plastificante.,” 2018.
- [9] A. Guapisaca and F. Pintado, “Valoración de métodos químicos para obtener ácido tereftálico a partir del tereftálato de polietileno PET,” 2019.
- [10] “Polipropileno - Catalogo en linea - Materiales en pequenas cantidades para el diseno - Goodfellow.” [Online]. Available: <http://www.goodfellow.com/S/Polipropileno.html>. [Accessed: 05-Aug-2021].
- [11] J. Chicaiza and E. Gonzalez, “Análisis De Los Desechos De Botellas Plásticas De Los Habitantes De Bastión Popular De Guayaquil,” 2016.
- [12] ECOEMBES, “Envases de plástico: Diseña para reciclar,” *Ecoembes*, 2016.
- [13] A. Cerrillo, “La moda incorpora plástico PET reciclado para confeccionar ropa,” *La Vanguardia*, 2015. .
- [14] L. R. Kambam and R. Aarthi, “Classification of plastic bottles based on visual and physical features for waste management,” *Proc. 2019 3rd IEEE Int. Conf.*

*Electr. Comput. Commun. Technol. ICECCT 2019*, 2019.

- [15] S. Gestion, “¿Cómo identificar los envases de bebidas que puedo reciclar? - Gestión Solidaria.” .
- [16] “Implementación de un prototipo triturador de botellas y captador de nivel de residuos para un sistema de catalogación automática de botellas PET AUTOR,” 2019.
- [17] R. Bruna and J. Suárez, “ Diseño de trituradora de botellas PET,” pp. 46–47, 2016.
- [18] E. M. & Agriculture, “Trituradora de martillo - Shanghai Exceed Industry Co., Ltd.” [Online]. Available: <http://es.emccgroup.net/trituradora-de-martillo.html>. [Accessed: 30-Dec-2020].
- [19] J. H. H. N. José Andrés Contreras Anchundia, “Construcción de prototipo de máquina recuperadora de botellas PET posconsumo con sistema de trituración,” 2018.
- [20] “Joyal-Trituradora de rodillos.” [Online]. Available: <https://www.joyalcrusher.com/es/products/Crushing/Roller-Crusher.html>. [Accessed: 30-Dec-2020].
- [21] E. L. Mendoza, “Diseño de un prototipo de máquina trituradora de botellas PET,” 2019.
- [22] “Abyper - Trituradores TM.” [Online]. Available: <http://abyper.com.ar/abecom/Trituradores-TM>. [Accessed: 30-Dec-2020].
- [23] “TRITURADORA HORIZONTAL 1 EJE - Cometel.” [Online]. Available: <http://www.cometel.net/productos/viruta/instalaciones-completas/trituradoras-3/trituradora-horizontal-1-eje>. [Accessed: 30-Dec-2020].
- [24] G. Sánchez Guerrero, *Técnicas participativas para la Planeación*. .
- [25] R. L. Mott, *Resistencia de Materiales 5ta Edición*. .
- [26] T. Previo *et al.*, “ENERGÍA Y MECÁNICA,” 2015.
- [27] “Aspectos analíticos y tecnológicos del proceso de punzonado de chapa (1ª parte) -.” [Online]. Available: [https://www.interempresas.net/Medicion/Articulos/1825-Aspectos-analiticos-y-tecnologicos-del-proceso-de-punzonado-de-chapa-\(1-parte\).html](https://www.interempresas.net/Medicion/Articulos/1825-Aspectos-analiticos-y-tecnologicos-del-proceso-de-punzonado-de-chapa-(1-parte).html). [Accessed: 24-Jan-2021].
- [28] “Fuerza de corte - Troquel con extractor guía.” [Online]. Available: <https://sites.google.com/site/troquelconextractorguia/fuerza-de-corte>.

- [Accessed: 06-Jan-2021].
- [29] BOHMAN, “CATÁLOGO 2020-2021,” 2554.
- [30] R. Budynas and K. Nisbett, *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley*. 2010.
- [31] Shigley, “Diseño en ingeniería mecánica 8va edición,” *J. Chem. Inf. Model.*, vol. 01, no. 01, pp. 1689–1699, 2013.
- [32] R. Mott, “DISEÑO DE ELEMENTOS DE MÁQUINAS 4ta-Edición.”
- [33] A. S. DESIGN, “Manual of STEEL CONSTRUCTION,” *Persepsi Masy. Terhadap Perawatan Ortod. Yang Dilakukan Oleh Pihak Non Prof.*, vol. 53, no. 9, pp. 1689–1699, 2013.
- [34] R. L. Norton, *Diseño de máquinas 4ta Edición*. .
- [35] “Friction.” [Online]. Available: <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbasees/frict2.html>. [Accessed: 05-Feb-2021].
- [36] N.LARBURU, “MÁQUINAS PRONTUARIO.”
- [37] “Botella PET 3 Litros – PLASVAL.” [Online]. Available: <https://www.plasval.cl/producto/envase-pet-3-litros-color/>. [Accessed: 05-Jan-2021].
- [38] “PTFE Virgen Marca Teflon.” [Online]. Available: <http://www.jq.com.ar/info-pet.html#contenido-tecnico>. [Accessed: 04-Jan-2021].
- [39] R. L. Norton, *Diseño de Elementos de Máquinas*. 2006.
- [40] S. P. Timoshenko, “Resistencia De Materiales I.” p. 347, 1957.
- [41] W. Espinoza and R. Tatamuès, “DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UNA MÁQUINA TRITURADORA DE LLANTAS, DE UNA TONELADA POR HORA DE CAPACIDAD, PARA LA EMPRESA OPTRA-SEMBRES,” 2016.
- [42] A. P. Vásconez Ortiz, “Diseño y simulación de una máquina trituradora de plásticos de 15 kg/h para el laboratorio de conformado de la facultad de ingeniería mecánica,” pp. 1–143, 2013.
- [43] P. K. F. A *et al.*, “CHAVETAS DIN 6885 / DIN 6886,” no. 2, pp. 1–4.
- [44] C. NORT, “Catalogo Motoreductores.”
- [45] Causer, “Catálogo de producto product catalogue,” p. 70.
- [46] NSK-CATALOGO RODAMIENTOS Y CHUMACERAS, “CATALOGO NSK y características de los rodamientos 1.1.”
- [47] S. Industry, “Catálogo General de Industria SNR,” 2016.
- [48] A. Skf, “Rodamientos.”

- [49] A. F. M. R. W. J. Q. PADILLA, “Universidad Politécnica Salesiana Sede Quito,” *Tesis*, no. Vi, pp. 1–57, 2019.
- [50] “Centro de acopio de botellas - Enkador.” [Online]. Available: <https://www.enkador.com/blog/centro-de-acopio-de-botellas-enkador/>. [Accessed: 07-Jan-2021].
- [51] C. A. GUZMAN, *Matemáticas Financieras para toma d decisiones Empresariales. .*
- [52] “El PRI: uno de los indicadores que más llama la atención de los inversionistas | Finanzas | Apuntes empresariales | ESAN.” [Online]. Available: <https://www.esan.edu.pe/apuntes-empresariales/2017/01/el-pri-uno-de-los-indicadores-que-mas-llama-la-atencion-de-los-inversionistas/>. [Accessed: 08-Jun-2021].

## ANEXOS

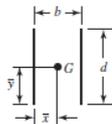
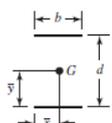
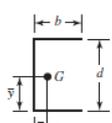
### ANEXO 1. Propiedades del tubo cuadrado

Designaciones		Área	Peso	Propiedades Estáticas		
				Eje x-x = y-y		
				Momento de inercia	Módulo de resistencia	Radio de giro
B	e	A	P	I	W	I
mm	mm	cm <sup>2</sup>	kg/m	cm <sup>4</sup>	cm <sup>3</sup>	cm
40	1,40	2,11	1,66	5,18	2,59	1,57
	1,50	2,25	1,77	5,49	2,75	1,56
	1,80	2,67	2,09	6,39	3,19	1,55
	2,00	2,90	2,31	6,95	3,47	1,54
	2,50	3,59	2,82	8,23	4,12	1,51
	3,00	4,21	3,30	9,36	4,68	1,49
	4,00	5,35	4,20	11,18	5,59	1,45
1,40	2,67	2,10	10,42	4,17	1,97	
Designaciones		Área	Peso	Propiedades Estáticas		
				Eje x-x = y-y		
				Momento de inercia	Módulo de resistencia	Radio de giro
B	e	A	P	I	W	I
mm	mm	cm <sup>2</sup>	kg/m	cm <sup>4</sup>	cm <sup>3</sup>	cm
90	1,80	6,27	4,92	80,71	17,94	3,59
	2,00	6,94	5,45	88,87	19,75	3,58
	2,50	8,59	6,74	108,57	24,13	3,56
	3,00	10,21	8,01	127,32	28,29	3,53
	4,00	13,35	10,48	162,02	36,01	3,48
	1,80	6,99	5,48	111,62	22,32	4,00
	2,00	7,74	6,07	123,01	24,60	3,99
2,50	9,59	7,53	150,65	30,13	3,96	

### ANEXO 2. Elección del diámetro primitivo más cercano [54].

Z	Módulo "M3" Diametral pitch "M3"				Módulo "M4" Diametral pitch "M4"			
	d <sub>e</sub>	d <sub>p</sub>	d <sub>m</sub>	D1	d <sub>e</sub>	d <sub>p</sub>	d <sub>m</sub>	D1
12	42	36	27	12	56	48	35	14
13	45	39	30	12	60	52	40	14
14	48	42	33	12	64	56	45	14
15	51	45	35	12	68	60	45	14
16	54	48	38	14	72	64	50	16
17	57	51	42	14	76	68	50	16
18	60	54	45	14	80	72	50	16
19	63	57	45	14	84	76	60	16
20	66	60	45	14	88	80	60	16
21	69	63	45	16	92	84	70	16
22	72	66	50	16	96	88	70	16
23	75	69	50	16	100	92	75	20
24	78	72	50	16	104	96	75	20
25	81	75	60	16	108	100	75	20

### ANEXO 3. Propiedades flexionantes de las soldaduras de filete [32]

Soldadura	Área de la garganta	Ubicación de G	Segundo momento unitario del área
1. 	$A = 0.707hd$	$\bar{x} = 0$ $\bar{y} = d/2$	$I_u = \frac{d^3}{12}$
2. 	$A = 1.414bd$	$\bar{x} = b/2$ $\bar{y} = d/2$	$I_u = \frac{d^3}{6}$
3. 	$A = 1.414hb$	$\bar{x} = b/2$ $\bar{y} = d/2$	$I_u = \frac{bd^2}{2}$
4. 	$A = 0.707h(2b + d)$	$\bar{x} = \frac{b^2}{2b + d}$ $\bar{y} = d/2$	$I_u = \frac{d^2}{12}(6b + d)$

### ANEXO 4. Cargas constantes permisibles y tamaños mínimos de soldadura de filete

Programa A: carga permisible para varios tamaños de soldadura de filete							
Nivel de resistencia del metal de aporte (EXX)							
	60*	70*	80	90*	100	110*	120
Esfuerzo cortante permisible en la garganta, ksi (1 000 psi) de soldadura de filete o soldadura de muesca con penetración parcial							
$\tau =$	18.0	21.0	24.0	27.0	30.0	33.0	36.0
Fuerza unitaria permisible en soldadura de filete, kip/pulg lineal							
$^t f =$	12.73h	14.85h	16.97h	19.09h	21.21h	23.33h	25.45h
Tamaño del cateto h, pulg	Fuerza unitaria permisible para varios tamaños de soldaduras de filete kip/pulg lineal						
1	12.73	14.85	16.97	19.09	21.21	23.33	25.45
7/8	11.14	12.99	14.85	16.70	18.57	20.41	22.27
3/4	9.55	11.14	12.73	14.32	15.92	17.50	19.09
5/8	7.96	9.28	10.61	11.93	13.27	14.58	15.91
1/2	6.37	7.42	8.48	9.54	10.61	11.67	12.73
7/16	5.57	6.50	7.42	8.35	9.28	10.21	11.14
3/8	4.77	5.57	6.36	7.16	7.95	8.75	9.54
5/16	3.98	4.64	5.30	5.97	6.63	7.29	7.95
1/4	3.18	3.71	4.24	4.77	5.30	5.83	6.36
3/16	2.39	2.78	3.18	3.58	3.98	4.38	4.77
1/8	1.59	1.86	2.12	2.39	2.65	2.92	3.18
1/16	0.795	0.930	1.06	1.19	1.33	1.46	1.59



ANEXO 7. Tabla de esfuerzo admisible [34].

$F_y = 36 \text{ ksi}$	$K/r$	$F_a$ (ksi)								
	1	21.56	41	19.11	81	15.24	121	10.14	161	5.76
2	21.52	42	19.03	82	15.13	122	9.99	162	5.69	
3	21.48	43	18.95	83	15.02	123	9.85	163	5.62	
4	21.44	44	18.86	84	14.90	124	9.70	164	5.55	
5	21.39	45	18.78	85	14.79	125	9.55	165	5.49	
6	21.35	46	18.70	86	14.67	126	9.41	166	5.42	
7	21.30	47	18.61	87	14.56	127	9.26	167	5.35	
8	21.25	48	18.53	88	14.44	128	9.11	168	5.29	
9	21.21	49	18.44	89	14.32	129	8.97	169	5.23	
10	21.16	50	18.35	90	14.20	130	8.84	170	5.17	
11	21.10	51	18.26	91	14.09	131	8.70	171	5.11	
12	21.05	52	18.17	92	13.97	132	8.57	172	5.05	
13	21.00	53	18.08	93	13.84	133	8.44	173	4.99	
14	20.95	54	17.99	94	13.72	134	8.32	174	4.93	
15	20.89	55	17.90	95	13.60	135	8.19	175	4.88	
16	20.83	56	17.81	96	13.48	136	8.07	176	4.82	
17	20.78	57	17.71	97	13.35	137	7.96	177	4.77	
18	20.72	58	17.62	98	13.23	138	7.84	178	4.71	
19	20.66	59	17.53	99	13.10	139	7.73	179	4.66	
20	20.60	60	17.43	100	12.98	140	7.62	180	4.61	
21	20.54	61	17.33	101	12.85	141	7.51	181	4.56	
22	20.48	62	17.24	102	12.72	142	7.41	182	4.51	
23	20.41	63	17.14	103	12.59	143	7.30	183	4.46	
24	20.35	64	17.04	104	12.47	144	7.20	184	4.41	
25	20.28	65	16.94	105	12.33	145	7.10	185	4.36	

ANEXO 8 Velocidad de corte del PET [55]

	Aserrado				Fresado				
	Ángulo de incidencia	Ángulo de arranque	Velocidad de corte	Paso entre dientes	Número de dientes	Ángulo de espiral	Ángulo de ajuste	Velocidad de corte	Avance
TECAFINE PE, PP	20-30	2-5	500	3-8	22	25	90	50-150	0.1-0.3
TECAFINE PMP	20-30	2-5	500	3-8	22	25	90	50-150	0.1-0.3
TECARAN ABS	15-30	0-5	300	2-8	22	25	90	50-200	0.2-0.3
TECANYL	15-30	5-8	300	3-8	22	25	90	50-100	0.2-0.3
TECAFORM AD, AH	20-30	0-5	500-800	2-5	22	25	90	50-150	0.1-0.3
TECAMID, TECARIM, TECAST	20-30	2-5	500	3-8	22	25	90	50-150	0.1-0.3
TECADUR/TECAPET	15-30	5-8	300	3-8	22	25	90	50-100	0.2-0.3
TECANAT	15-30	5-8	300	3-8	22	25	90	50-100	0.2-0.3
TECAFLON PTFE, PVDF	20-30	5-8	300	2-5	22	25	90	150-200	0.1-0.3
TECAPEI	15-30	0-4	500	2-5	22	25	90	20-80	0.1-0.3
TECASON S, P, E	15-30	0-4	500	2-5	22	25	90	20-80	0.1-0.3
TECATRON	15-30	0-5	500-800	3-5	22	25	90	50-200	0.1-0.3
TECAPEEK	15-30	0-5	500-800	3-5	22	25	90	50-200	0.1-0.3
TECATOR	15-30	0-3	800-900	10-14	22	25	90	80-100	0.02-0.1
TECASINT	5-10	0-3	800-900	3-4	22	25	120	80-100	0.02-0.1
Productos de TECA reforzados*	15-30	10-15	200-300	3-5	22	25	100	80-100	0.1-0.3

\* Materiales de refuerzo / relleno:  
Fibras de vidrio, bolas de vidrio,  
fibras de carbono, rellenos minerales,  
grafito, mica, talco, etc.

Calentamiento en el aserrado:  
A partir de Ø 60 mm TECAPEEK GF/PVX, TECATRON GF/PVX  
A partir de Ø 80 mm TECAMID 66 GF, TECAPET,  
TECADUR PBT GF  
A partir de Ø 100 mm TECAMID 6 GF, 66, 66 MH

Calentamiento en el taladrado en el centro:  
A partir de Ø 60 mm TECAPEEK GF/PVX, TECATRON GF/PVX  
A partir de Ø 80 mm TECAMID 66 MH, 66 GF, TECAPET,  
TECADUR PBT GF  
A partir de Ø 100 mm TECAMID 6 GF, 66, TECAM 6 MQ, TECANYL GF

### ANEXO 9 Factor de servicio [56]

Carga uniforme / Carga uniforme / Uniform load									
sf									
h/d	n. arranques/hora / n. arranques/hora / n. start-up/hour								
	2	4	8	16	32	63	125	250	500
4	0.8	0.8	0.9	0.9	1.0	1.1	1.1	1.2	1.2
8	1.0	1.0	1.1	1.1	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3
16	1.3	1.3	1.3	1.3	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
24	1.5	1.5	1.5	1.5	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8

### ANEXO 10 Tasa de interés [57]

TASAS ACTIVAS PARA BANECUADOR B.P.		
TIPO DE CRÉDITO	TASA NOMINAL	TASA EFECTIVA
	BANECUADOR B.P.	
<b>MICROCRÉDITOS</b>		
Microcrédito Agrícola y Ganadero	11.25%	11.85%
Microcrédito Bantransporte vehículos combustible fósil	12.95%	13.75%
Microcrédito Impulso Turismo	11.25%	11.85%
Microcrédito Comercio y Servicios - Impulso Cultura	12.00%	12.60%
Microcrédito Minorista		
Crédito de Desarrollo Humano CDH	5.00%	5.12%
Microcrédito Comercio y Servicios	15.30%	16.42%
Microcrédito de Producción	11.25%	11.85%
Microcrédito de Acumulación Simple		
Microcrédito Comercio y Servicios	15.30%	16.42%
Microcrédito de Producción	11.25%	11.85%
Microcrédito de Acumulación Ampliada		
Microcrédito Comercio y Servicios	15.30%	16.42%
Microcrédito de Producción	11.25%	11.85%

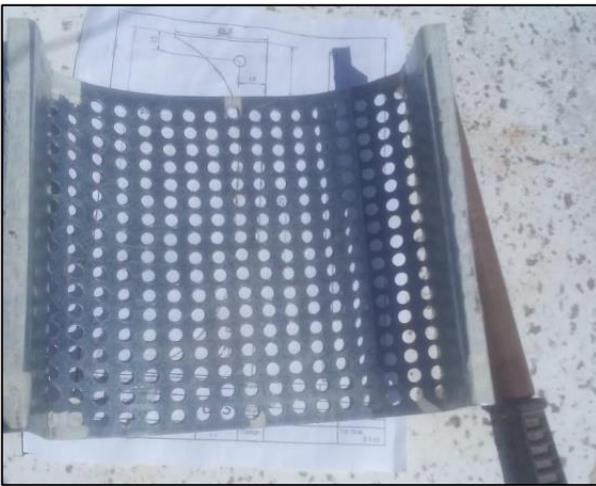
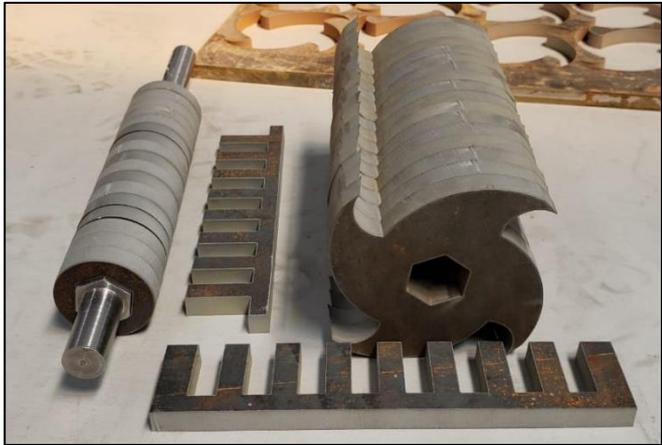
## ANEXO 10 Propiedades del acero 7210 AISI 8620/5115 [58]

Tipo de aleación	:	C – Cr – Ni – Mo – Mn- Cu
Color de identificación	:	Azul - Blanco
Estado de suministro	:	Recocido: 207 Brinell
<p>Aceros de grano fino para cementación de baja aleación. Alta resistencia al desgaste de la capa cementada y buena tenacidad en el núcleo.</p> <p>INSTRUCCIONES PARA EL TRATAMIENTO:</p> <p>Forjado: 1150 - 850 °C          Recocido: 650 - 700 °C          Normalizado: 850 - 880 °C          Cementar: 900 - 950 °C          Temple del núcleo: 840 - 870 °C          Temple de la capa cementada: 800 - 830 °C          Revenido (mínimo 1 hora): 150 - 210 °C          Dureza obtenible en la capa: 58 - 60 HRC</p> <p>PROPIEDADES MECÁNICAS:</p> <p>Límite de fluencia: 600 – 680 N/mm<sup>2</sup>          Resistencia a la tracción: 1150 N/mm<sup>2</sup>          Elongación: 10 - 11 %</p>		

## ANEXO 11 Carga estática del rodamiento [47].

Número del rodamiento mm	Capacidad básica de carga dinámica estática kN		Número del alojamiento mm	Peso de la chumacera kg
	$C_r$	$C_{or}$		
F-UC204D1/LP03	9.9	6.65	PM204	0.6
F-UC205D1/LP03	10.8	7.85	PM205	0.7
F-UC206D1/LP03	15.0	11.3	PM206	1.1

## ANEXO 12 Ensamble y componentes de la máquina





Elaborado por: Monta Víctor & Cushicondor Luis

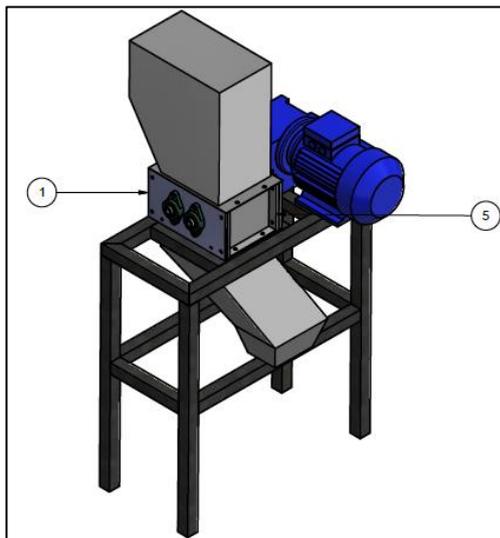
## MANUAL DE USUARIO

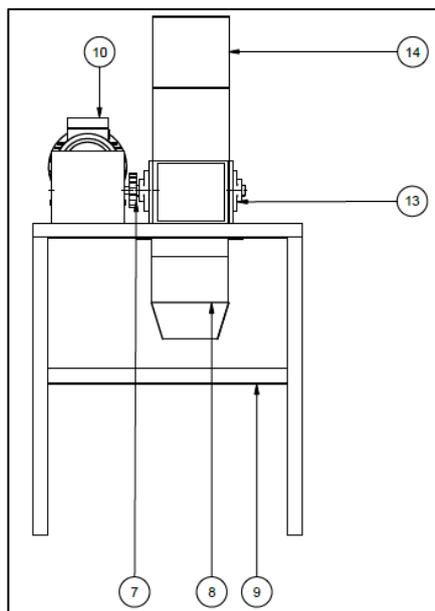
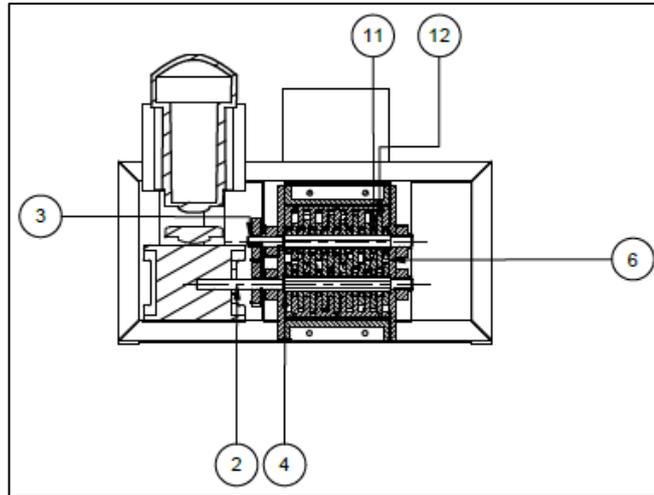
### Máquina trituradora de plástico PET

#### Instrucciones de seguridad

1. Conectar a un tomacorriente de 220v para el sistema de potencia
2. Conectar a un tomacorriente de 110v para el sistema de mando
3. Colocar la máquina en una superficie plana
4. Evitar tener conexiones sueltas alrededor de la máquina
5. Verificar que la tolva este vacía antes de la puesta en marcha
6. Encender el interruptor y dejar encendida 20 segundos antes de utilizar
7. Evitar alimentar a la máquina con material que no sea plástico PET
8. Evitar sobrepasar la capacidad de la tolva
9. Vaciar el colector cada vez que se llene
10. Luz piloto verde indica puesta en marcha del motor
11. Luz piloto roja indica paro del motor
12. Luz piloto anaranjada indica avería del motor o sobrecalentamiento.

#### Elementos de la máquina





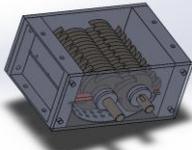
14	Toiva superior
13	Chumaceras
12	Cuchilla
11	Separador
10	Motor
9	Estructura
8	Toiva inferior
7	Engrane
6	Criba
5	Placa base 2
4	Arandela
3	Eje de arrastre 2
2	Eje de arrastre
1	Placa base
Ref:	Denominación:

### Puesta en marcha de la máquina

1. Antes de cada puesta en marcha de la máquina el operador debe usar lentes de seguridad, botas de seguridad, protección auditiva.
2. Revisar que el tablero de operación de puesta en marcha no tenga ninguna falla que pueda producir un cortocircuito.
3. Revisar que no exista material atascado entre las cuchillas el cual impida el correcto funcionamiento del equipo.
4. Cerciorarse que los rodamientos se encuentren lubricados y que no exista derrames en la máquina
5. Verificar que la tolva de alimentación se encuentre completamente fija para poder introducir la materia prima

6. La máquina debe estar encendida alrededor de 20 segundos sin alimentación para que el motor logre estabilizarse por completo
7. El material que debe ingresar a la máquina trituradora debe ser completamente solida puesto que si existe líquidos dentro de las botellas puede producir daños en la caja trituradora
8. El material para introducir en la tolva debe estar completamente achatada para evitar atascamientos
9. Al finalizar el proceso de triturado se debe dejar prendido al equipo alrededor de 30 segundos para que el material que se encuentre en la criba pueda ser triturado.
10. Una vez terminado el proceso verificar que no exista daños internos en la caja trituradora
11. Si el equipo no va a hacer usada continuamente es recomendable desconectar por completo de la fuente de alimentación.
12. Si la luz piloto anaranjada se enciende verificar el sistema eléctrico para luego reiniciar el relé termino y poner en marcha la máquina.

### Ficha técnica de máquina trituradora de PET

<b>FICHA TÉCNICA TRITURADORA DE PLÁSTICO PET</b>			Capacidad 5kg/h	Pág. 1/1
<b>Especificaciones</b>				
Descripción	La trituradora de doble eje, el funcionamiento es mediante cuchillas acopladas a dos ejes hexagonales, los ejes de las cuchillas están conectadas mediante piñones, al momento de girar las cuchillas atrapan el material y lo cortan, un eje de las cuchillas está conectado al motor para generar el torque necesario para cortar el material, la separación de las cuchillas y espaciadores varía entre 0.2 y 0.3 mm.			
<b>Datos Generales</b>				
<b>Modelo</b>	<b>Máxima tamaño de alimentación(mm)</b>	<b>Tamaño de la salida(mm)</b>	<b>Capacidad (kg/h)</b>	
FICHA TECNICA TRITURADORA DE PLASTICO PET	30	15-32	5	
<b>Potencia del motor (kW)</b>	<b>Funcionamiento (rpm)</b>	<b>Dimensiones generales (mm)</b>	<b>peso en (g)</b>	

1.1	57	1440x738x357
<b>Datos técnicos específicos</b>		
<b>lubricación</b>	<b>Engranés</b>	<b>Rodamientos</b>
Grasa LGHB 2/18	2 engranes	4 rodamientos SKF
<b>observaciones</b>		

### Manual de mantenimiento

<b>Actividades de mantenimiento de la trituradora de plástico PET</b>	
<b>recomendaciones:</b>	Seguir cuidadosamente las actividades programadas para el correcto funcionamiento de la máquina
<b>Actividades Diarias de mantenimiento</b>	
<b>Actividad programada</b>	<b>personal</b>
Inspección visual	Operador de la máquina
Inspección lubricación de piñones	
Mantenimiento de la criba que se encuentre completamente limpia después de cada proceso.	
<b>Actividades mensuales de mantenimiento</b>	
<b>Actividad programada</b>	<b>personal</b>
Ajuste de tornillería	Operador de la máquina
Limpieza de las cuchillas y cribas	
Lubricación de rodamientos	
Conexión eléctrica del motor	
<b>Actividades anuales de mantenimiento</b>	
<b>Actividad programada</b>	<b>personal</b>
Cambios de tronillos de sujeción	Operador de la máquina
Rectificado de cuchillas de triturar	Personal de mecanizado
Inspección de soldadura y remachado	Personal de mecanizado
Pintura	Operador de máquina
<b>observaciones:</b>	

## **Montaje de la máquina**

Para el montaje de la máquina se la dividió en tres secciones:

### **Caja trituradora**

1. Colocar en un extremo de cada eje el rodamiento que posteriormente va ajustado a la placa base
2. Colocar en orden las cuchillas, separadores en el eje hexagonal 1 y 2 una vez concluido colocar los rodamientos en el otro extremo que va ajustado la placa base
3. Una vez armado la placa base 1 y 2 se procede atornillar uno de los extremos del eje hexagonal.
4. Colocar las siguientes 2 tapas en los extremos faltantes y se procede atornillar la caja.
5. Una vez formada la caja se procede a colocar en el centro de la placa los apoyos laterales que a su vez ayudará a la sujeción de la criba.
6. En unos de los extremos faltantes del eje hexagonal se procede a colocar los engrane que permiten el movimiento de los ejes.
7. Culminado la caja se debe insertar en la mesa principal, sujetándola apropiadamente con tornillos.

### **Motor**

1. En un extremo del eje donde se acoplo los engranes se procede a calibrar el motorreductor instalando un acople el cual permita la unión entre el eje y el reductor.
2. Sujetar correctamente el motorreductor con la mesa para evitar vibraciones.

### **Tolva superior e inferior**

1. Una vez sujeto la caja trituradora en la mesa se procede a colorar la tolva superior e inferior
2. Sujetar en los cuatro extremos con pernos para que la estructura quede fija

