



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

UNIDAD DE GESTIÓN DE  TECNOLOGÍAS

DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

CARRERA DE ELECTROMECAÁNICA

**TRABAJO DE GRADUACIÓN PARA LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE:**

TECNÓLOGO EN ELECTROMECAÁNICA

**TEMA: “PROTOTIPADO DE UNA MÁQUINA TRITURADORA
DE BOTELLAS PET DE 600 ML, A TRAVÉS DE UN
SOFTWARE CAD.”**

AUTOR: ROCHA VIERA ALEX GEOVANY

DIRECTOR: ING. LUIS MURILLO M.

LATACUNGA

2018



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

UNIDAD DE GESTIÓN DE  TECNOLOGÍAS

DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

CARRERA DE ELECTROMECAÁNICA

**TRABAJO DE GRADUACIÓN PARA LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE:**

TECNÓLOGO EN ELECTROMECAÁNICA

**TEMA: “PROTOTIPADO DE UNA MÁQUINA TRITURADORA
DE BOTELLAS PET DE 600 ML, A TRAVÉS DE UN
SOFTWARE CAD.”**

AUTOR: ROCHA VIERA ALEX GEOVANY

DIRECTOR: ING. LUIS MURILLO M.

LATACUNGA

2018

CERTIFICADO

Certifico que el presente Trabajo de Graduación fue realizado en su totalidad por el Sr. **ROCHA VIERA ALEX GEOVANY**, como requerimiento parcial para la obtención del título de **TECNÓLOGO EN ELECTROMECAÁNICA**

SR. ING. LUIS A. MURILLO M.

DIRECTOR DEL TRABAJO DE GRADUACIÓN

Latacunga, Octubre del 2018

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Yo, Rocha Viera Alex Geovany

DECLARO QUE:

El trabajo de grado denominado “PROTOTIPADO DE UNA MÁQUINA TRITURADORA DE BOTELLAS PET DE 600 ML, A TRAVÉS DE UN SOFTWARE CAD”, ha sido desarrollado en base a una investigación científica exhaustiva, respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas constan al pie de las páginas correspondientes, cuyas fuentes se incorporan en la bibliografía.

Consecuentemente, este trabajo es de mi autoría, en virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance científico de trabajo de grado en mención.

Latacunga, Septiembre del 2018

Rocha Viera Alex Geovany
0503422222

DEDICATORIA

De dedico este proyecto de titulación a mi Tío Edwin
que desde el cielo nos protege. A mi familia
por brindarme su apoyo, sin ustedes
nada de esto hubiera
sido posible.

AGRADECIMIENTO

A dios principalmente que siempre me llena
de bendiciones permitiéndome cumplir
cada uno de mis objetivos.

A mi madre que con su apoyo incondicional
en los peores momentos me motivaba
con sus consejos, su sabiduría y amor
para ser una persona de bien.

A mis abuelitos quienes me apoyaron
de principio a fin de mis
estudios superiores.

INDICE GENERAL

CERTIFICADO	ii
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD	iii
DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTO	v
INDICE GENERAL.....	vi
ÍNDICE DE TABLAS	xii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiv
RESUMEN.....	xvii
ABSTRACT.....	xviii
CAPÍTULO I.....	1
1.1 Antecedentes	1
1.2 Planteamiento del problema.....	2
1.3 Justificación.....	3
1.4 Objetivos	3
1.4.1 Objetivo General	3
1.4.2 Objetivos específicos	3
1.5 Alcance.....	4
CAPÍTULO II	5
MARCO TEÓRICO.....	5

2.1	Plásticos.....	5
2.1.1	Tipos de plásticos reciclables.....	5
2.1.2	Clasificación de plásticos.....	6
2.1.3	Los plásticos que se consumen en grandes cantidades son:.....	7
2.2	BOTELLAS DE TEREFTALATO DE POLIETILENO (PET).....	9
2.2.1	Tereftalato de polietileno – PET.....	9
2.2.2	Propiedades de las botellas PET.....	10
2.2.3	Volumen de botellas PET.....	11
2.3	RECICLAJE DEL MATERIAL PET.....	12
2.3.1	Reciclado Mecánico.....	12
2.3.2	Reciclado Químico.....	13
2.4	TRITURACIÓN.....	13
2.4.1	Proceso de trituración.....	14
2.4.2	Tipos de trituradoras.....	15
a.	Máquinas cortadoras rotativas.....	15
b.	Molinos.....	15
b.1	Molinos de martillos.....	15
b.2	Molino de cuchillas.....	16
c.	Trituradoras.....	17
c.1	Trituradora de cuchillas.....	17

c.2 Trituradora de martillos.....	18
CAPÍTULO III.....	19
DESARROLLO DEL TEMA	19
3.1 DISEÑO Y SELECCIÓN DE LOS COMPONENTES DE LA MÁQUINA	19
3.1.1 Consideraciones generales.....	19
3.1.2 Volumen de las botellas PET.	19
3.2 Componentes constructivos de la máquina trituradora PET.....	20
3.2.1 DISEÑO DE LA TOLVA	21
3.2.1.1 SELECCIÓN DE MATERIAL PARA LA TOLVA	22
3.2.2 DISEÑO DE LAS CUCHILLAS	22
3.2.2.1 SELECCIÓN DEL MATERIAL DE LA CUCHILLA.....	23
a) Cálculo de la fuerza de la cuchilla.....	23
b) Cálculo Torque de la cuchilla	25
3.2.2.1.1 MODELADO COMPUTACIONAL POR ANÁLISIS DE ELEMENTOS	
FINITOS	26
a) Análisis de la cuchilla.	26
b) Características del acero de las cuchillas	28
3.2.3 SELECCIÓN DE LA POTENCIA DEL MOTORREDUCTOR.....	29
a) Cálculo de la potencia del motorreductor.	29
3.2.4 DISEÑO DEL EJE	32
a) Diseño del eje de transmisión:	32

b)	Longitud y diámetro del eje	34
3.2.4.1	SELECCIÓN DEL MATERIAL DEL EJE	35
a)	Calculo de fuerzas sobre el eje y reacciones sobre los rodamientos. .	35
b)	Calculo del peso de la cuchilla:	36
c)	Calculo de reacciones en los apoyos.....	38
d)	Cálculo torque máximo permisible del eje	40
3.2.4.1.1	MODELADO COMPUTACIONAL POR ANÁLISIS DE ELEMENTOS FINITOS	42
a)	Análisis del eje de la máquina trituradora.	42
b)	Características del acero del eje.....	44
3.2.5	DISEÑO DE LA CÁMARA DE TRITURAR.....	45
3.2.5.1	SELECCIÓN DEL MATERIAL DE LA CÁMARA DE TRITURACIÓN	46
3.2.5.1.1	MODELADO COMPUTACIONAL POR ANÁLISIS DE ELEMENTOS FINITOS	46
a)	Análisis de la cámara de trituración.....	46
b)	Características del acero de la cámara de trituración.....	48
3.2.6	DISEÑO DE LA ESTRUCTURA.....	49
3.2.6.1	SELECCIÓN DEL MATERIAL DE ESTRUCTURA	50
3.2.6.1.1	MODELADO COMPUTACIONAL POR ANÁLISIS DE ELEMENTOS FINITOS	50

a)	Análisis de la estructura.....	50
b)	Características del acero de la estructura.....	52
3.2.7	DISEÑO DE LA CRIBA	53
3.2.7.1	SELECCIÓN DEL MATERIAL DE LA CRIBA.....	54
3.2.8	SELECCIÓN DE RODAMIENTOS DEL PROTOTIPO DE LA MÁQUINA TRITURADORA.....	55
3.2.9	DISEÑO DEL SISTEMA DE CONTROL ELÉCTRICO DEL MOTORREDUCTOR.....	56
a)	Diseño del esquema de control.....	56
b)	Diseño del esquema de fuerza	57
c)	Elementos eléctricos principales.....	57
3.2.10	SELECCIÓN DE MATERIALES PARA EL TABLERO DE CONTROL ELÉCTRICO DEL MOTORREDUCTOR.....	58
a)	Protección del motor.....	58
b)	Calibre del conductor para el motor.....	59
	CAPÍTULO IV.....	61
4.1	CONSTRUCCIÓN Y PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO DEL PROTOTIPO DE LA MÁQUINA TRITURADORA.....	61
a)	Construcción del prototipo de la máquina trituradora.....	61
b)	Pruebas de funcionamiento	67
c)	Resultados	69

CAPÍTULO V	71
CONCLUSIONES	71
RECOMENDACIONES	72
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	73
ANEXOS	76

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Usos de los plásticos	8
Tabla 2: Propiedades del Tereftalato de polietileno.....	10
Tabla 3: Fases de trituración	14
Tabla 4: Componentes constructivos del prototipo de la trituradora.	20
Tabla 5: Tipo de materiales.....	22
Tabla 6: Propiedades mecánicas de las botellas PET.....	23
Tabla 7: Tipos de materiales.	26
Tabla 8: Características del acero K460.....	28
Tabla 9: Parámetros necesarios del motorreductor.	30
Tabla 10: Placa de características del motor.	31
Tabla 11: Placa de características de la caja reductora.	31
Tabla 12: Tipos de materiales.	43
Tabla 13: Características del acero de transmisión AISI 1018	44
Tabla 14: Tipos de materiales para la cámara de trituración.	47
Tabla 15: Características del acero A 36.....	48
Tabla 16: Tipos de materiales para la cámara de trituración.	51
Tabla 17: Características del acero AISI 304.....	52
Tabla 18: Tipos de materiales para la criba.	54

Tabla 19: características del acero.	55
Tabla 20: Características del acero.	55
Tabla 21: Características del relé térmico.....	58
Tabla 22: Método de prueba de funcionamiento del sistema mecánico	67
Tabla 23: Método de prueba de funcionamiento del sistema eléctrico.....	68

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Tipos de los plásticos.....	6
Figura 2 Clasificación de los plásticos.....	7
Figura 3 Botellas PET	9
Figura 4 volumen de botellas PET	11
Figura 5 Especificación de botella PET	11
Figura 6 Reciclado mecánico	12
Figura 7 Reciclado Químico	13
Figura 8 Cortadora Rotativa.....	15
Figura 9 Molino de martillo	16
Figura 10 Molino de cuchillas	17
Figura 11 Trituradora de cuchillas	18
Figura 12 Trituradora de martillos	18
Figura 13 Especificaciones técnicas de botella PET.....	20
Figura 14 Modelado de la tolva	22
Figura 15 Modelado de la cuchilla de corte	23
Figura 16 Sección de la cuchilla	24
Figura 17 Vista frontal de la cuchilla.....	25
Figura 18 Factor de seguridad mínimo en el Software Solid Works Simulation..	27

Figura 19 Esfuerzo de Von Mises en el Software Solid Works Simulation.....	27
Figura 20 Modelado del eje con las cuchillas de corte	32
Figura 21 Vista frontal del eje.....	35
Figura 22 Diagrama de distancias entre fuerzas	38
Figura 23 Diagrama de fuerzas sobre el eje en MDSolid.	40
Figura 24 Diagrama de fuerza cortante sobre el eje en MDSolid.	40
Figura 25 Diagrama esfuerzo cortante máximo del eje	42
Figura 26 Factor de seguridad mínimo en el Software Solid Works Simulation..	43
Figura 27 Esfuerzo de Von Mises en el Software Solid Works Simulation	44
Figura 28 Modelado de la cámara de trituración	46
Figura 29 Factor de seguridad mínimo en el Software Solid Works Simulation..	47
Figura 30 Esfuerzo de Von Mises en el Software Solid Works Simulation	48
Figura 31 Modelado de la estructura del prototipo	50
Figura 32 Factor de seguridad mínimo en el Software Solid Works Simulation..	51
Figura 33 Esfuerzo de Von Mises en el Software Solid Works Simulation	52
Figura 34 Modelado de la criba	54
Figura 35 Esquema de control.....	56
Figura 36 Esquema de Fuerza.	57
Figura 37 Componentes eléctricos.	58
Figura 38 Calibre de cable AWG.....	60

Figura 39 Estructura.....	61
Figura 40 Mecanizado del eje	62
Figura 41 Mecanizado de las cuchillas	63
Figura 42 Construcción de la Cámara de trituración	63
Figura 43 Construcción Tolva.....	64
Figura 44 Mecanizado de acople de ejes.....	64
Figura 45 Pintado de la cámara de trituración	65
Figura 46 Pintado de la tolva y estructura.....	65
Figura 47 Montaje tablero eléctrico	66
Figura 48 Tablero de control con sus componentes eléctricos	66
Figura 49 Prototipo máquina trituradora.....	67
Figura 50 Prototipo máquina trituradora diseñado	67
Figura 51 Pellet triturado.	70

RESUMEN

A través de una investigación se conoció que el Tereftalato de polietileno fue creado en la década de los 40's en busca de una fibra que reemplazara al algodón, pero fue hasta los años 70's cuando se desarrollaron envases de PET. Ahora esto forma parte de un gran problema ambiental porque se determinó un alto porcentaje de contaminación en la ciudad a causa de las botellas PET, por lo que se determinó que es necesario la reutilización de los desechos sólidos de las botellas PET, para el reciclaje y reutilización de esta materia en la elaboración de diferentes productos. De esta manera el presente proyecto tiene como finalidad diseñar un "PROTOTIPO DE UNA MÁQUINA TRITURADORA DE BOTELLAS PET DE 300 ML, A TRAVÉS DE UN SOFTWARE CAD", mediante la cual permitirá la generación de pellet de las botellas PET a través de un correcto proceso de reciclaje para su trituración, teniendo en cuenta las propiedades de las botella PET se procederá a la reutilización de la misma, de esta manera se disminuye un porcentaje significativo de la contaminación que se produce en el ciudad.

PALABRAS CLAVES:

- ✓ **MAQUINA TRITURADORA**
- ✓ **PROPIEDADES DEL PLASTICO**
- ✓ **SOFTWARE CAD**
- ✓ **BOTELLA PET**

ABSTRACT

Through research it was known that polyethylene terephthalate was created in the 40's in search of a fiber that would replace cotton, but it was until the 70's when PET containers were developed. Now this is part of a big environmental problem because a high percentage of pollution in the city was determined because of PET bottles, so it was established that the reuse of solid waste from PET bottles, is necessary for reusing and recycling this material in the elaboration of different products. Accordingly, this project aims to design a “**PROTOTYPE OF A 300 ML PET BOTTLE SHREDDER MACHINE, THROUGH A CAD SOFTWARE**”, which it will allow the elaboration of pellets from PET bottles through a correct recycling process for its crushing, taking into account the properties of PET bottles and they will be reused, in this way a percentage of the pollution that occurs in the city will be reduced meaningfully.

KEYWORDS:

- ✓ SHREDDER MACHINE
- ✓ PROPERTIES OF PLASTIC
- ✓ SOFTWARE CAD
- ✓ PET BOTTLE

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

TEMA: Prototipado de una máquina trituradora de botellas PET de 600 ml, a través de un software CAD.

1.1 Antecedentes

Con el pasar del tiempo se ha creado innovaciones tecnológicas que han influido en la vida de cada uno de nosotros, pero en el Ecuador no se ha prestado importancia para impulsar proyectos que permitan reutilizar desechos sólidos de botellas PET.

Con relación al tema planteado se encontró trabajos similares presentados a continuación con los siguientes temas:

Según Alex Vásconez estudiante de Ingeniería Mecánica de la Escuela Politécnica Nacional, realizó el siguiente proyecto “Diseño y Simulación de una máquina trituradora de plásticos de 15 kg/h para el laboratorio de conformado de la facultad de Ingeniería Mecánica”, que pretende crear el diseño de una máquina y la simulación de su funcionamiento para que pueda ser usado no solo a nivel de laboratorio sino también a escala industrial. Los resultados fueron que la máquina diseñada tiene la capacidad de obtener un flujo de materia prima aproximado de 15 kg/h con un recipiente de almacenamiento de 70 kg, la máquina es accionada por un motor eléctrico de 1.5 hp y su torque es transmitido hacia el eje por medio de dos poleas de diferente diámetro. (Vásconez, 2013)

Según Diego Armando Pilatasig Lasluisa y Freddy Rodolfo Pozo Correa, estudiantes de la Universidad Técnica de Cotopaxi, realizaron el siguiente proyecto “Diseño y construcción de una máquina para moler plástico PET para

la microempresa de reciclaje Santa Anita ubicada en el cantón Salcedo provincia de Cotopaxi”, la microempresa de reciclaje Santa Anita necesita la intervención de una máquina para moler plástico PET. De acuerdo a los resultados de la investigación realizada a través de encuestas se ha priorizado la construcción de una máquina para moler plásticos PET para la micro empresa de reciclaje. (Pilatasig & Pozo, 2014)

Con la información adquirida en los antecedentes citados se ha determinado realizar una máquina trituradora de botellas plásticas PET genéricas de 300 ml para la aplicación adecuada del nuevo volumen del polímero.

1.2 Planteamiento del problema

En los últimos años no se ha prestado importancia en los desechos sólidos de las botellas PET, en como reciclarlos y reutilizarlos como materia prima para la generación de nuevos productos, con lo que, se conseguirá varios beneficios tanto económicos sociales y ecológicos.

Desde la creación de los termoplásticos o conocidos como plásticos PET, estos son utilizados para la fabricación de botellas para bebidas, sin darnos cuenta que este material se demora unos 500 años en degradarse con una alta generación de desechos tóxicos que contaminan el medio ambiente.

De no iniciar el reciclaje de botellas plásticas PET genéricas de 300 ml sin tapa y sin etiqueta, no se disminuirá la contaminación del ambiente y no se podrá iniciar con proyectos para tratar estos desechos sólidos en diferentes procesos como trituración y extrusión.

Por lo tanto, es necesario construir un prototipo de una máquina trituradora de botellas plásticas PET genéricas de 600 ml sin tapa y sin etiqueta para la aplicación adecuada del nuevo volumen del polímero.

1.3 Justificación

La carrera de tecnología electromecánica formara tecnólogos especializados, capacitados para trabajar en el campo de la tecnología. Ser profesionales que dominen los conocimientos intelectuales y actividad manual, es decir, podrá trabajar en una amplia variedad de proyectos desarrollando habilidades técnicas que son los ejes principales en la vida laboral de un tecnólogo.

El motivo por el cual se crea este proyecto es porque en nuestro país no se ha dado importancia al tratamiento de desechos sólidos que puedan generar nuevos productos disminuyendo la contaminación.

Los beneficios de este proyecto es que se utilizara herramientas aprendidas en la carrera de Tecnología Electromecánica como: dispositivos eléctricos y mecánicos de las máquinas, mecanismos con los que funcionan, complementando el aprendizaje práctico obtenido durante la carrera.

La construcción de un prototipo de una máquina trituradora de botellas PET genéricas sin tapa y sin etiqueta de 300 ml, es un proyecto factible de realizar debido a que es un proceso ya conocido en la actualidad, beneficiando al medio ambiente porque proporciona una gran reducción de estos desechos sólidos.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo General

Prototipar una máquina trituradora de botellas PET de 300 ml sin tapa y sin etiqueta, a través de una herramienta de diseño y simulación (CAD), para la aplicación adecuada del nuevo volumen del polímero.

1.4.2 Objetivos específicos

- Caracterizar los parámetros de construcción de la máquina trituradora, para botellas de distintos polímeros.

- Diseñar los componentes de la máquina trituradora a través de un software para análisis de elementos finitos (AEF).
- Modular adecuadamente los componentes de la máquina trituradora de botellas (cantidad y volumen), a través de la simulación en el CAD.
- Prototipar y probar el funcionamiento adecuado de la máquina trituradora de botellas a través de la puesta en marcha de la misma.

1.5 Alcance

Se construirá un prototipo de una máquina trituradora de botellas plásticas PET genéricas de 300 ml sin tapa y sin etiqueta para la aplicación adecuada del nuevo volumen del polímero.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Plásticos

Se determinó que los plásticos son sustancias orgánicas formadas por macromoléculas llamadas polímeros. Estos polímeros son grandes agrupaciones de monómeros unidos mediante un proceso químico llamado polimerización. Los plásticos proporcionan una serie de propiedades que no pueden lograrse con otros materiales, por ejemplo: color, baja densidad, buen aislante eléctrico, resistencia, degradación ambiental y biológica. Carecen de punto fijo de ebullición, son elásticos y flexibles, permiten ser moldeados y adaptarse a diferentes formas y aplicaciones. (Blog, 2010)

2.1.1 Tipos de plásticos reciclables

En la actualidad existen diferentes tipos de plásticos, no todos ellos pueden ser reciclados y algunos de los que pueden ser reciclados no pueden ser aceptados por un centro de reciclaje.

Los tipos de plástico que pueden ser reciclados, es fundamental que sepa muy bien separarlos, porque una pequeña cantidad de un tipo de plástico equivocado puede arruinar la masa fundida que posteriormente puede servir para la generación de energía limpia. Por lo tanto, la clasificación del plástico es una parte crítica del proceso de reciclaje.

Para identificar y clasificar el plástico reciclable, la Sociedad Americana de la Industria Plástica ha desarrollado un código estándar, un código que se usa en lugares distintos de los Estados Unidos. Este código simplemente identifica el tipo de plástico utilizado para el objeto de producción. No indica si el plástico se usó para hacer esa obra 0 es reciclable, ni indica si ese tipo de plástico se pueden reciclar. El código, por lo general se encuentra en la parte inferior del recipiente de

plástico, se compone de tres flechas en sentido de las agujas del reloj y crea un triángulo con esquinas redondeadas, esto hoy en día representa también todo lo de la cultura del reciclaje. En la Figura 1 se indica dentro de cada triángulo existe un número que identifica el tipo de plástico que es. Debajo de cada triángulo existe una combinación de letras que corresponden al número de identificación situado en el interior del triángulo. (Pascual, 2017)



Figura 1 Tipos de los plásticos

Fuente: (Castells, 2001)

2.1.2 Clasificación de plásticos

Según la estructura interna del polímero, de dichas estructuras dependerá su comportamiento frente al calor y otras propiedades, los podemos clasificar en:

- **Termoplásticos.** - Constituidos por cadenas unidas entre sí débilmente. Se ablandan cuando se calientan y se pueden moldear, dándoles nuevas formas que conservan al enfriarse. Este proceso puede repetirse cuantas veces se quiera.
- **Termoestables.** - Formados por cadenas enlazadas fuertemente en distintas direcciones. Al someterlos al calor se vuelven rígidos, por lo que solo pueden calentarse una vez y no se deforman. Presentan una superficie dura y extremadamente resistente.
- **Elastómeros.** - Este tipo de plásticos se obtiene por vulcanización. Están formados por cadenas unidas lateralmente y plegadas sobre sí misma, como un ovillo. Cuando se aplica una fuerza las cadenas se estiran, y recuperan su forma

cuando deja de actuar la fuerza. Estos materiales una gran elasticidad adherencia y dureza. (Xavier, 2009)

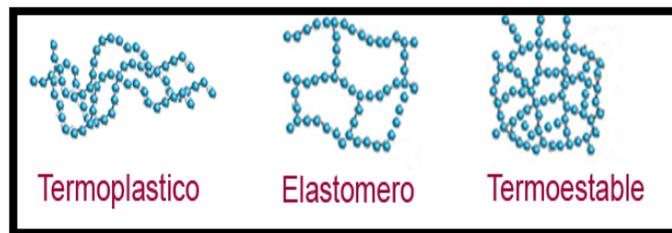


Figura 2 Clasificación de los plásticos

Fuente: (Castells, 2001)

2.1.3 Los plásticos que se consumen en grandes cantidades son:

- **PET o PETE (tereftalato de polietileno)**. Este es uno de los plásticos reciclados con más frecuencia por los consumidores. Incluyen algunas botellas de refrescos, botellas de agua de plástico, tarros de mantequilla, envolturas de plástico y botellas de aderezo para ensaladas.
- **HDPE (polietileno de alta densidad)**. Este tipo de plástico reciclable es también con frecuencia reciclado por los consumidores. Los plásticos incluidos en esta categoría incluyen algunos cartones de leche de plástico, botellas de jugo, botellas de champú y envases de detergente líquido.
- **PVC (policloruro de vinilo)**. Este tipo de plástico reciclable es menos aceptado en los centros de reciclaje local. Se encuentra en una serie de paquetes de alimentos, envases de detergente líquido, y muchas aplicaciones incluyendo la construcción de los conos de tráfico.
- **LDPE (Polietileno de baja densidad)**. Este tipo de plástico reciclable, se utiliza en algunos empaques de pan y bolsas de comida congelada, botes de basura y bolsas de basura.
- **PP (Polipropileno)**. Un plástico de uso común en la industria del automóvil y la construcción, son plásticos que también son reciclables e incluyen algunas

cubiertas para baterías de automóvil, embudos de petróleo y pajitas de plástico para beber.

- **PS (Poliestireno).** También un tipo poco común de plástico reciclable, este tipo de plástico incluye empaques de espumas, cubiertos de plástico, protección para el embalaje de productos electrónicos y juguetes. (Xavier, 2009)

En la tabla 1 se indica los siete tipos diferentes de plástico que son productos derivados del petróleo y han sido identificados por la Sociedad Americana de la Industria del Plástico:

Tabla 1

Usos de los plásticos

Termoplásticos		Aplicaciones		Usos después del reciclado
Polietileno Tereftalato	PET		Botellas, envasado de productos alimenticios, moquetas.	Textiles para bolsas, lonas, cuerdas.
Polietileno de alta densidad	PEAD		Botellas para productos alimenticios, detergentes.	Bolsas industriales, botellas detergentes, contenedores.
Policloruro de vinilo	PVC		Marcos de ventanas, revestimientos para suelos, tuberías rígidas	Muebles de jardín, tuberías, vallas.
Polietileno de baja densidad	PEBD		Film adhesivo, bolsas, revestimientos.	Bolsas para residuos e industriales, tubos.

Polipropileno	PP		Cajas, tapones, piezas de automóviles.	Cajas múltiples para transporte de envases
Poliestireno	PS		Botellas, vasos de yogur, recubrimientos.	Aislamiento térmico, cubos de basura.

2.2 BOTELLAS DE TEREFTALATO DE POLIETILENO (PET)

Normalmente conocidas como PET, es un termoplástico polímero de resina poliéster que se utiliza en fibras sintéticas, en envases para bebidas, alimentos otros líquidos. Claro ejemplo de sus aplicaciones se lo tiene en la figura 3. (Van Der Vegta_K, 2014)



Figura 3 Botellas PET

Fuente: (Pascual, El blog verde, 2015)

2.2.1 Tereftalato de polietileno – PET.

Conociendo el Tereftalato de polietileno PET fue creado en la década de los 40's, sin embargo, fue hasta los años 70's cuando se desarrollaron envases de PET, que por las características y propiedades fue factible la fabricación masiva del mismo para la venta de bebidas. Ahora esto forma parte de un gran problema ambiental ya que le toma aproximadamente de 100 a 1000 años para degradarse. (Vidal, 2008)

El plástico del material PET, pueden ser aprovechadas por medio del reciclaje mediante el proceso de trituración, convirtiéndolo en hojuelas. Para después convertirlos en artículo de uso común como lo es la ropa, cortinas, alfombras, juguetes etc. En pocas palabras convertir la Basura en algo Útil, En Este artículo se exponen los resultados obtenidos de una investigación realizada sobre el impacto del PET, así como el prototipo y diseño de una máquina trituradora de PET.

2.2.2 Propiedades de las botellas PET

El PET posee buena resistencia química y térmica con una alta resistencia al desgaste y corrosión, además un buen coeficiente de deslizamiento. Presenta una muy buena barrera al CO₂, aceptable barrera a O₂ y humedad; el PET tiene una alta transparencia, aunque admite cargas de colorantes y es aprobado para su uso en productos que deban estar en contacto con productos alimentarios.

Dependiendo de su procesamiento y la historia térmica, el PET puede existir tanto como un amorfo (transparente) y como un polímero semi-cristalino; dichas propiedades se muestran en la tabla 2. (Van Der Vegta_K, 2014)

Tabla 2

Propiedades del Tereftalato de polietileno

Fórmula química	(C ₁₀ H ₈ O ₄) _n
Densidad como amorfo	1,370 $\frac{g}{cm^3}$
Densidad como cristalino	1,455 $\frac{g}{cm^3}$
Módulo de Young (e)	2800 - 3100 Mpa
Resistencia a la tracción (σ_t)	48- 60 Mpa
Coef. De expansión lineal (α)	7x10 ⁻⁵ /K
Punto de fusión	250-260 °C

Conductividad térmica	$0,15 - 0,24 \frac{W}{mK}$
------------------------------	----------------------------

Fuente: (Van Der Vegta_K, 2014)

2.2.3 Volumen de botellas PET

Las botellas PET disponibles con volúmenes estándar de 25 ml, 30 ml, 50 ml, 75 ml, 100 ml, 150 ml, 200 ml, 250 ml, 500 ml y 1000 ml, así como volúmenes especiales de 20 ml, 60 ml, 125 ml, 300 ml, 400 ml y 750 ml. Para adaptarse a todas las botellas de PET como se observa en la figura 4. (Packaging, 2016)

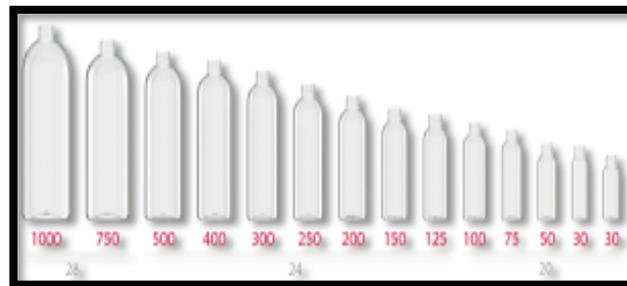


Figura 4 volumen de botellas PET

Fuente: (Packaging, 2016)

Ejemplo de una botella PET de 600ml con sus especificaciones. Como se observa en la figura 5. (REMSA, 2016)

	
NOMBRE	BOTELLA 600 ML
MODELO	600-28G
CAPACIDAD	600 +/- 5.0 ML
PESO GRS	18.8
MATERIAL	PET
TIPO BOCA	PCO 1810 28 mm
COLORES	TRANSPARENTE, AZUL
EMPAQUE	BOLSA DE PLASTICO C/162 PZAS

Figura 5 Especificación de botella PET

Fuente: (REMSA, 2016)

2.3 RECICLAJE DEL MATERIAL PET

En la actualidad es necesaria la recuperación de los desechos sólidos de los plásticos por dos razones principales: La contaminación que provocan y el valor económico que representan.

Por lo que para el reciclado de Tereftalato de Polietileno o PET existe dos técnicas principales las mismas que serán diferenciadas a continuación. (Sandoval & Ushiña, 2011)

2.3.1 Reciclado Mecánico

El reciclado mecánico es la técnica más utilizada en la actualidad, este proceso se muestra a continuación en la figura 6. Este proceso consiste en la molienda, separación y lavado de los envases. Las escamas resultantes de este proceso se pueden destinar en forma directa, sin necesidad de volver a hacer pellets, en la fabricación de productos por inyección o extrusión.

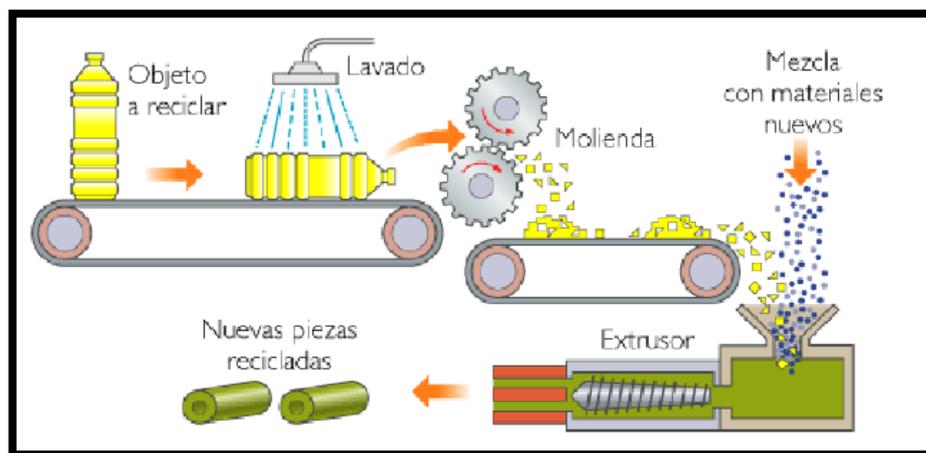


Figura 6 Reciclado mecánico

Fuente: (Sandoval & Ushiña, 2011)

2.3.2 Reciclado Químico.

El reciclado químico es una técnica que trata de diferentes procesos mediante los cuales las moléculas de los polímeros son craqueadas (rotas) dando origen nuevamente a materia prima básica que puede ser utilizada para fabricar nuevos plásticos como se observa en la figura 7.

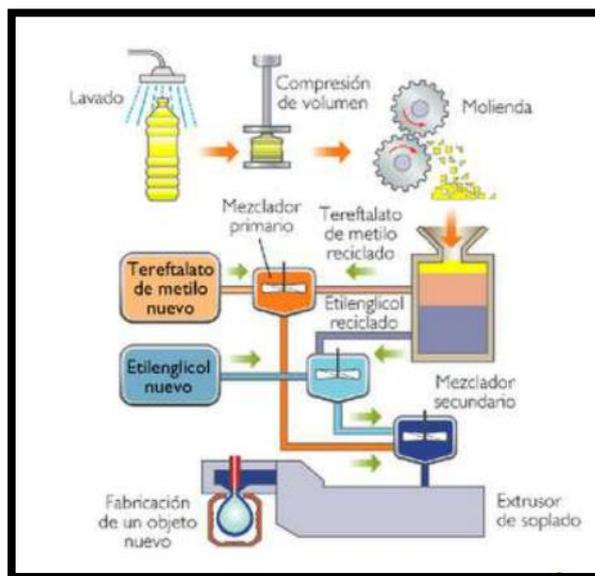


Figura 7 Reciclado Químico

Fuente: (Sandoval & Ushiña, 2011)

2.4 TRITURACIÓN

Las trituradoras son máquinas diseñadas para reducir el material en partes más pequeñas, o cambiar la forma de materiales de desecho, para que puedan ser más fácilmente utilizados para otros procesos, su apariencia es como la de un molino, y varían muy poco dependiendo del volumen de procesamiento del material, generalmente cuentan con dos cuchillas o rodillos paralelos con cuchillas afiladas, ya sean en forma vertical u horizontal, tienen una tolva o boca de entrada para el material, un motor, engranes y cadenas, estructuras de soporte y caja de salida para el material. (Hoyos , 2014)

2.4.1 Proceso de trituración

Normalmente, las fases de trituración son seguidas por etapas de molienda. La tabla 3, muestra las cuatro fases principales del triturado mecánico:

Tabla 3

Fases de trituración

Fase	Descripción	Figura
1	El cuerpo a destruir está apoyado sobre el grupo de cuchillas. Para la trituración no es necesario aplicar ningún "empujador".	
2	Al arrancar la máquina los discos de introducción facilitan la trituración del plástico forzando para introducir en el grupo de corte.	
3	La especial construcción de los dientes, facilita una acción continua de enganche del material.	
4	El triturador permite obtener material triturado hasta 6mm-14 mm, dependiendo del tipo de triturador.	

Fuente: (Hoyos , 2014)

2.4.2 Tipos de trituradoras

Para la realización de la trituración se utilizan máquinas trituradoras, cortadoras y molinos por lo que a continuación es necesario distinguirlas.

a. Máquinas cortadoras rotativas

Se caracterizan por poseer una cámara de corte amplia, la misma que se encuentra atravesada por un eje que porta cuchillas, las que se encuentran distribuidas uniformemente en toda su longitud y pueden disponerse perpendicular al eje o tener un pequeño ángulo de inclinación como se lo ve en la figura 8. El eje gira a altas revoluciones y se puede alinear horizontal o verticalmente a la cámara, siendo esta última la más adecuada y eficiente. Se utilizan estas máquinas para procesar materiales húmedos, ideal para aplicaciones agropecuarias. (Vásconez , 2013)

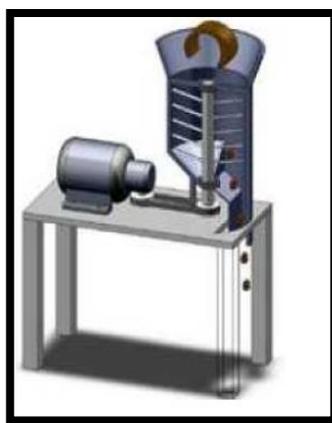


Figura 8 Cortadora Rotativa

Fuente: (Vásconez , 2013)

b. Molinos

A continuación, se describen los molinos que pueden realizar la molienda de las botellas de PET.

b.1 Molinos de martillos

El molino de martillos consiste en una serie de barras de libre movimiento o martillos los cuales están sujetos a unos pivotes y estos a un eje rotatorio como se observa en la figura 9. Las botellas que ingresan por la tolva son quebradas por los martillos para luego pasar por la criba. Los pivotes cumplen una función especial ya que ayudan a los martillos a transferir la energía de impacto hacia el material a reducir permitiendo reducir el desgaste en rodamientos y de los martillos.

El tamaño de salida del material dependerá de la velocidad del rotor, tamaño del tamiz y la velocidad de introducción del material. (Vasconez, 2013)

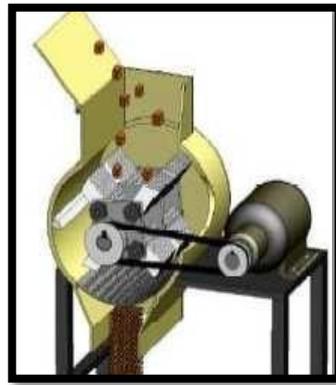


Figura 9 Molino de martillo

Fuente: (Garcia D, 2010)

b.2 Molino de cuchillas

Este tipo molino es similar al molino de martillos, en este caso al eje se le puede colocar varios tipos de cuchillas; en su parte inferior se encuentra un tamiz el cual es el encargado de controlar el tamaño de las partículas tal como se lo puede observar en la figura 10. El tamaño también depende de la distancia de las cuchillas del rotor hacia las cuchillas estáticas del bastidor y de la velocidad de rotación. Estos molinos aplican presión por medio de cuchillas en un área lineal del material haciendo que disminuyan las secciones transversales de las partículas por medio de deformación plástica. (Garcia D, 2010)

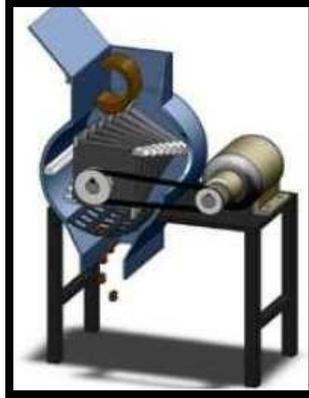


Figura 10 Molino de cuchillas

Fuente: (Garcia D, 2010)

c. Trituradoras

Tanto los molinos como las trituradoras guardan una relación en su funcionamiento, la diferencia radica en el tamaño de los materiales a procesar y por lo tanto la cantidad de fuerza que se necesita ejercer cada una de estas máquinas, estos aspectos son los que influyen en el tamaño y robustez de la máquina.

c.1 Trituradora de cuchillas

El funcionamiento de este tipo de trituradora es similar al molino de cuchillas, el número de discos que contienen a las cuchillas es variable de 1 a 20 dependiendo de la aplicación. Los discos presentan diferentes configuraciones tanto circulares como triangulares y poseen una gran masa. Generalmente se ubican 2 o 3 cuchillas en la periferia de los discos y en algunos casos se regulan con sistemas de pistones o resortes, tomando en cuenta estos parámetros se recomienda que su estructura deba ser robusta como se muestra en la figura 11. (Garcia D, 2010)



Figura 11 Trituradora de cuchillas

Fuente: (Vásconez , 2013)

c.2 Trituradora de martillos

El funcionamiento de este tipo de trituradora es similar al molino de martillos excepto en una variante en el diseño, por lo general los martillos no pivotan en el eje porta martillos lo que le proporciona una mayor fuerza al impacto en la periferia de la cámara de trituración.

En la figura 12 se muestra la máquina, la cual puede ser utilizada tanto para seco y húmedo como trituración de materiales duros y frágiles que se tiene en la industria química, metalúrgica, construcción de carreteras, gas, energía térmica etc.

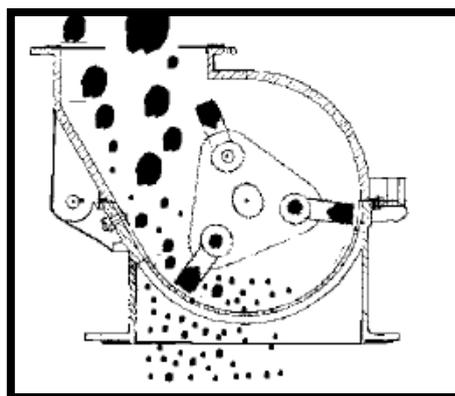


Figura 12 Trituradora de martillos

Fuente: (Vásconez , 2013)

CAPÍTULO III

DESARROLLO DEL TEMA

3.1 DISEÑO Y SELECCIÓN DE LOS COMPONENTES DE LA MÁQUINA

3.1.1 Consideraciones generales

Para que el proceso de trituración de las botellas PET sea eficiente y se obtenga los resultados esperados, debemos tomar en cuenta el volumen del desecho sólido de las botellas PET que se va a utilizar en el proceso de trituración para de esta manera adquirir las especificaciones técnicas de diseño.

3.1.2 Volumen de las botellas PET.

De acuerdo a las especificaciones técnicas de diseño del prototipo de la máquina trituradora se determinó que se utilizará desechos sólidos de botellas PET de un volumen como máximo de 300 mililitros como se observa en la figura 13, las dimensiones y geometría de la botella se pueden observar en el **ANEXO B**.

	
NOMBRE	BOTELLA PETALOIDE
MODELO	PETALOIDE 300
CAPACIDAD	300 ML
PESO GRS	20
MATERIAL	PET
TIPO BOCA	PCO 1810 28 mm
COLORES	TRANSPARENT, AZUL Y VERDE
EMPAQUE	BOLSA DE PLASTICO C/230 PZAS

Figura 13 Especificaciones técnicas de botella PET

Fuente: (REMSA, 2016)

Una vez determinado el volumen del desecho sólido y especificaciones técnicas que tienen maquinas similares, se determinó los componentes constructivos más importantes que predominara en el diseño de la máquina trituradora.

3.2 Componentes constructivos de la máquina trituradora PET

En la siguiente tabla se resume los elementos más importantes y esenciales para la construcción del prototipo de la máquina trituradora.

Tabla 4

Componentes constructivos del prototipo de la trituradora.

Componente	Descripción
Tolva	Recibe los desechos sólidos de las botellas PET para triturarlos.
Cuchillas	Están ubicadas de forma helicoidal para producir cortes finos en las botellas.

Eje	Es el que produce el movimiento permitiendo que las cuchillas atrapen el material.
Cámara de triturar	Permite triturar el plástico hasta alcanzar el tamaño adecuado.
Criba	Esta componente permite pasar el material que tenga el tamaño adecuado para ser almacenado.
Motorreductor	Es el que proporciona de torque al eje principal para su movimiento.

3.2.1 DISEÑO DE LA TOLVA

De acuerdo al análisis realizado para el prototipo de trituradora de botellas PET, se llegó a determinar que el diseño de la tolva será dimensionado bajo las consideraciones de medidas y geometría de la botella PET de 300 ml que se puede observar en el **ANEXO B**.

Un parámetro fundamental es que para el diseño de la tolva se deberá tomar en cuenta que, en la parte inferior de la tolva del ingreso del material el orificio debe tener las dimensiones adecuadas como se observa en la figura 14 para permitir el paso de las botellas PET de hasta 300 ml para ser trituradas por lo que la geometría y las medidas de la tolva se encuentran en el **ANEXO A**.

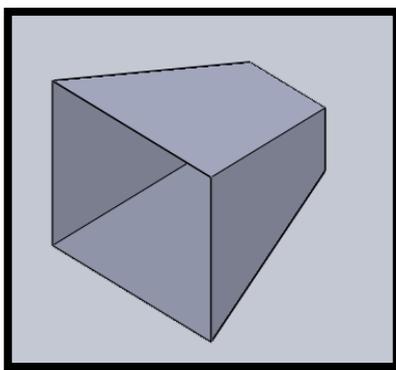


Figura 14 Modelado de la tolva

3.2.1.1 SELECCIÓN DE MATERIAL PARA LA TOLVA

Para la elección del material para la construcción de la tolva se considera los siguientes materiales que se muestran en la tabla 5.

Tabla 5

Tipo de materiales

MATERIALES	
Tol galvanizado	Acero inoxidable 316

Para la construcción de la tolva se seleccionó tol galvanizado debido a que su principal característica evitar la oxidación y corrosión producida por la humedad y contaminación ambiental, también porque es fácil de encontrarlo y de costo bajo.

3.2.2 DISEÑO DE LAS CUCHILLAS

Para el diseño de las cuchillas se tomará en cuenta prototipos similares existentes en el mercado por lo que el tipo de cuchillas son individuales como se muestra en la figura 15. Estas están dispuestas a lo largo de un eje octagonal u ene agonal en forma helicoidal con un desfase de 40° o 60° respectivamente. El corte y la trituración se producen cuando el movimiento del eje lleva al plástico a uno de los bordes del cámara de trituración, la geometría y las medidas técnicas de las cuchillas se encuentran en el **ANEXO A**.

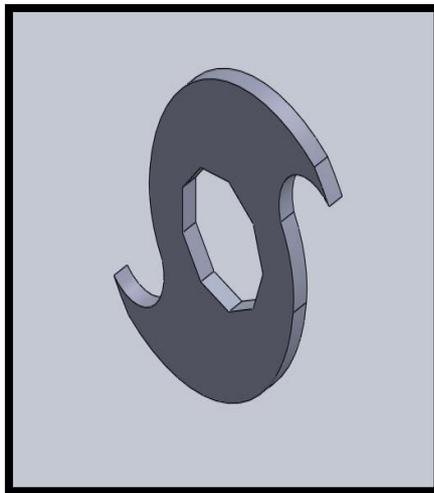


Figura 15 Modelado de la cuchilla de corte

3.2.2.1 SELECCIÓN DEL MATERIAL DE LA CUCHILLA

Las cuchillas deben ser fabricadas con un acero resistente que garantice una alta resistencia al impacto y máxima durabilidad de los filos de corte, por lo que se realizó los diferentes cálculos para su selección. (BEER & RUSSELL, 2010)

a) Cálculo de la fuerza de la cuchilla

Primero determinas el máximo esfuerzo cortante que tiene las botellas PET en base a sus propiedades mecánicas.

Tabla 6

Propiedades mecánicas de las botellas PET.

Módulo de Young (e)	2800 - 3100 Mpa
Resistencia a la tracción (σ_t)	48- 60 Mpa
Coefficiente de fricción	0.2 - 0.4

Fuente: (Van Der Vegta_K, 2014)

La resistencia a la tracción es el máximo esfuerzo de tracción que un cuerpo puede soportar antes de romperse, por lo tanto:

$$\tau = 60Mpa$$

Formula del esfuerzo cortante:

$$\tau = \frac{F_c}{A}$$

(1)

Dónde:

- **τ** : Esfuerzo cortante
- **F_c** : Fuerza de la cuchilla
- **A** : Área de la sección de la cuchilla

Además, calculamos el área de la sección de la cuchilla que va estar en fricción.

Formula de área

$$A = \frac{a \times b}{3}$$

(2)

Dónde:

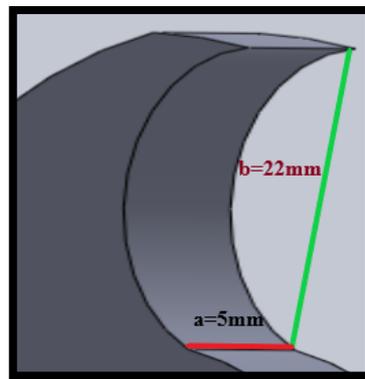


Figura 16 Sección de la cuchilla

Entonces utilizando la ecuación 2:

- $b = 22\text{mm} = 0.022\text{m}$
- $a = 5\text{mm} = 0.005\text{m}$

$$A = \frac{0.005\text{m} \times 0.022\text{m}}{3}$$

$$A = 3.66 \times 10^{-5}\text{m}^2$$

Conociendo que el área de la sección de la cuchilla es de $3.66 \times 10^{-5} m^2$, a continuación, se determina la fuerza cortante total que ejercerá la cuchilla utilizando la ecuación 1.

Calculamos la fuerza ejercida sobre la cuchilla.

$$F_c = \tau \times A$$

$$F_c = 60 \times 10^6 \frac{N}{m^2} \times 3.66 \times 10^{-5} m^2$$

$$F_c = 2196 N$$

b) Cálculo Torque de la cuchilla

Considerando el diámetro de la cuchilla como se observa en la figura 26, podemos obtener la dimensión del radio de la misma, también conocemos la fuerza sobre la cuchilla que se realizó en el cálculo anterior, entonces a través de parámetros se puede determinar el torque de la cuchilla.

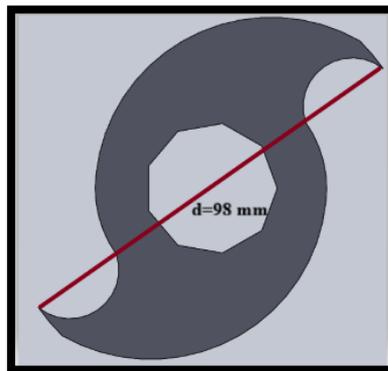


Figura 17 Vista frontal de la cuchilla

Fórmula:

$$T = F * d$$

(3)

Dónde:

- **T:** Torque de la cuchilla

- **F:** Fuerza de la cuchilla
- **d:** radio de la cuchilla

Conociendo los siguientes parámetros procedemos a realizar el cálculo:

$$d = 98 \text{ mm} = r = 49 \text{ mm} = 0.049 \text{ m}$$

$$F = 2196 \text{ N}$$

Determinamos el torque sobre la cuchilla con la ecuación 3.

$$T = F * r$$

$$T = 2196 \text{ N} * 0.049 \text{ m}$$

$$T = 107.604 \frac{\text{N}}{\text{m}}$$

3.2.2.1.1 MODELADO COMPUTACIONAL POR ANÁLISIS DE ELEMENTOS FINITOS

a) Análisis de la cuchilla.

Este análisis se llevará a cabo sometiendo a la cuchilla a una carga distribuida por la fuerza cortante que se ejercerá sobre la misma al momento de cortar el desecho solido de las botellas PET.

$$F_c = 2196 \text{ N}$$

Para construir el modelado de la cuchilla se tomó en cuenta los siguientes materiales que se presentan a continuación en la tabla 7.

Tabla 7

Tipos de materiales.

MATERIALES		
Acero D2	Acero K460	Acero ASSAB DF2

Luego de ejecutar el análisis de esfuerzos en el programa Solid Works Simulation obtenemos los siguientes resultados:

- Como se observa en la figura 18, el factor de seguridad mínimo de la cuchilla es de 8.5, por lo tanto, la estructura de la cuchilla soportará satisfactoriamente las cargas a la cual están sometida.

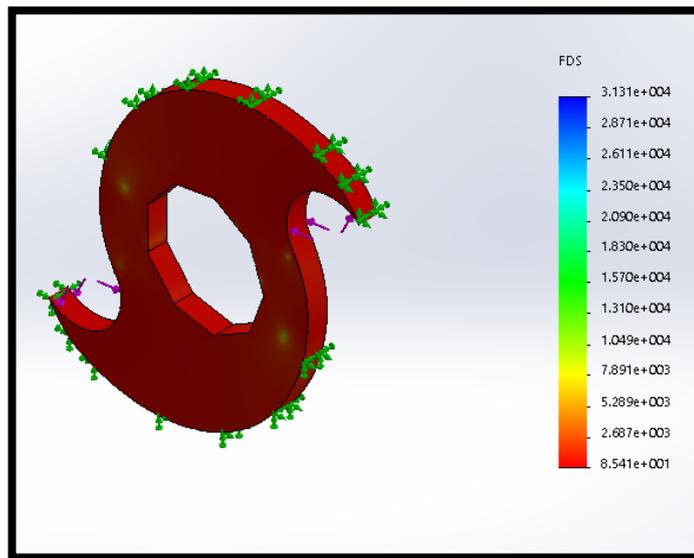


Figura 18 Factor de seguridad mínimo en el Software Solid Works Simulation.

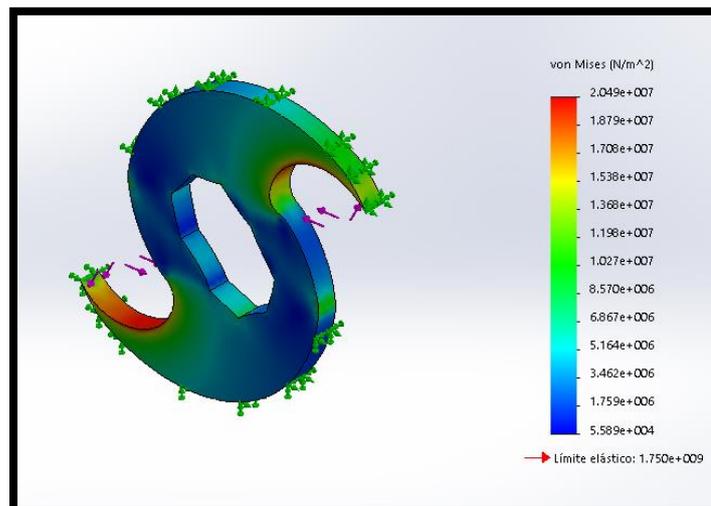


Figura 19 Esfuerzo de Von Mises en el Software Solid Works Simulation.

En la figura 19 se muestra la tensión axial y la flexión máxima, en la parte derecha se indica que el esfuerzo máximo (color rojo) es de 20 Mpa.

Por lo que se selecciona el Acero K460 como el material más adecuado para la construcción de las cuchillas, que presenta las siguientes características técnicas.

b) Características del acero de las cuchillas

Las cuchillas del prototipo de la máquina trituradora fueron mecanizadas en Acero K460 temple, acero que tiene las siguientes características técnicas.

Tabla 8

Características del acero K460

Descripción			
Es un acero de alto contenido de cromo, carbono y manganeso de alta resistencia al desgaste e impacto.			
Normas	EN/DIN 1.2510 en ISO 4957, AISI 01, UNS T31501		
Composición	C=0.95 Si=0.25 Mn=1.10 Cr=0.55 V=0.10 W=0.55		
Propiedades mecánicas	Dureza	Esfuerzo máximo	Módulo de elasticidad
	196.30 Hb	100-150 MPa	210 Mpa
Propiedades físicas	Densidad		
	7.85 g/cm ³		
Aplicaciones Típicas	Este acero es utilizado para herramientas cortantes (punzones y matrices) herramientas de estampación. Por su resistencia y tenacidad es requerido en máquinas de corte en las industrias maderera, apalara y moldes de plástico.		

Fuente: (UDDEHOLM, 2017)

Los resultados obtenidos fueron que el esfuerzo promedio arrojado por el software es menor al esfuerzo máximo del material por lo las cuchillas pueden resistir dicho esfuerzo sin fallar.

$$\tau_{promedio} < \tau_{material}$$

$$20 \text{ Mpa} < 150 \text{ Mpa}$$

Nota: Conociendo las características del Acero K460, se selecciona este tipo de acero porque es utilizado en elementos de maquinarias de corte de alta resistencia al desgaste e impacto.

3.2.3 SELECCIÓN DE LA POTENCIA DEL MOTORREDUCTOR

La potencia del motorreductor se calculará de acuerdo a las especificaciones constructivas del prototipo, ya que para esta máquina se necesita un incremento del par torsional a la entrada de la cámara de trituración, de esta manera se calculará los diferentes parámetros para la selección del motorreductor.

Una vez calculados los diferentes parámetros para obtener la potencia del motorreductor utilizamos la siguiente ecuación:

Fórmula de la potencia del motor:

$$P(Kw) = \frac{M \left(\frac{N}{m} \right) * n(rpm)}{9550}$$

(4)

Dónde:

- **P:** Potencia del motor
- **M:** Torque de la cuchilla
- **n:** Revoluciones por minuto del motor

a) **Cálculo de la potencia del motorreductor.**

-A través de los cálculos realizados se obtuvo el torque que ejerce la cuchilla es de **$107.604 \frac{N}{m}$** .

-Por el incremento de par torsional se recomienda que el giro a la entrada del eje de la cámara de trituración sea de $n= 60$ rpm.

Determinamos la potencia del motorreductor utilizando la ecuación 4.

$$P(Kw) = \frac{M \left(\frac{N}{m} \right) * n(rpm)}{9550}$$

$$P(Kw) = \frac{107.604 \left(\frac{N}{m} \right) * 60(rpm)}{9550}$$

$$P(Kw) = 0.68Kw$$

Transformamos a hp teniendo en cuenta que $1 Hp = 0.745 Kw$

$$0.68Kw * \frac{1hp}{0.745Kw} = \mathbf{0.91 Hp}$$

A través de los cálculos realizados se determinó la potencia adecuada y los parámetros necesarios para el motorreductor del prototipo de la máquina trituradora. Como se observa en la tabla 10.

Tabla 9

Parámetros necesarios del motorreductor.

Potencia (Hp)	Potencia (Kw)	n (rpm)	Torque (N*m)	Fuerza (N)
0.91	0.68	60	107.604	2196

Por lo que se recomienda utilizar un motor de 1 hp, que existe en el mercado. Como se observa en la tabla 11.

Tabla 10**Placa de características del motor.**

MODEL: LAFERT			
TYPE	AM80ZBA4	NORMA	IEC60034
SERIE	895417	PROTECCIÓN	IP55
FRECUENCIA	60HZ	CONEXIÓN	Δ/Y 208-230/440-460V
POTENCIA	0.75Kw (1Hp)	COSϕ	0.70
AMPERAJE	4/2.2 A	MADE	ITALY

A continuación, conociendo las características del motor procedemos a la selección de la caja reductora según el catálogo que se encuentra en el **ANEXO C**.

Por lo que se recomienda para un motor de 0.75 Kw una caja ortogonal con las siguientes características. Como se observa en tabla 12.

Tabla 11**Placa de características de la caja reductora.**

MODEL: VARVEL			
TYPE	SRT6028G525	SERIE	106899

RPM	60	I	28
TORQUE	102 N*m	SF	1.4

3.2.4 DISEÑO DEL EJE

Para el diseño del eje se debe tomar en cuenta el número de cuchillas; sus medidas y geometría, que se encuentran ubicadas a lo largo del mismo de forma helicoidal como se observa en la figura 20.

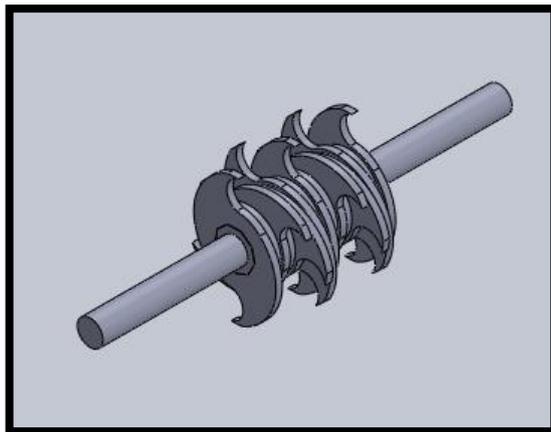


Figura 20 Modelado del eje con las cuchillas de corte

El eje del prototipo de la trituradora está sometido a diferentes cargas de flexión y torsión que se genera generalmente a través de la potencia transmitida por el motor que se da entre los rodamientos y el eje. Por lo que se realizara los siguientes cálculos para obtener los parámetros necesarios para el diseño del eje.

a) Diseño del eje de transmisión:

Considerando la potencia del motor, las revoluciones por minuto que ejerce la caja reductora y el esfuerzo máximo de acuerdo al material que fue mecanizado el eje

de transmisión que encontramos en la tabla 12, procedemos a realizar el cálculo utilizando las siguientes ecuaciones.

Parámetros:

- $H_p = 1$
- $\tau_{\max} \text{ eje} = 20800 \text{ Psi}$
- $R_{\text{rpm}} = 60$

Fórmula:

$$T = \frac{P}{2\pi f} \quad (5)$$

Dónde:

- **T:** Par que se aplicará al eje
- **P:** Potencia
- **f:** frecuencia de rotación

-Primero se expresa la potencia del motor en $\text{in} \cdot \text{lb/s}$ y su frecuencia en ciclos por segundo (o Hertz).

$$1 \text{ hp} = 6600 \frac{\text{in} \cdot \text{lb}}{\text{s}}$$

$$f = 60 \text{rpm} * \frac{1 \text{Hz}}{60 \text{rpm}} = 1 \text{ Hz}$$

Conociendo estos parámetros procedemos a calcular el par ejercido por el eje utilizando la ecuación 5.

$$T = \frac{P}{2\pi f}$$

$$T = \frac{6600 \frac{\text{in} \cdot \text{lb}}{\text{s}}}{2\pi(1)}$$

$$T = 1050.42 \text{ lb} * \text{in}$$

Para calcular el diámetro del eje utilizamos la siguiente ecuación.

Fórmula:

$$\frac{J}{C} = \frac{T}{\tau_{max}} \quad (6)$$

Dónde:

- **T**: Par que se aplicará al eje
- **τ_{max}** : Esfuerzo máximo del eje
- **$\frac{J}{C}$** : Momento polar de inercia / radio

Sustituyendo T y τ_{max} en la ecuación 6 se tiene que:

$$\frac{J}{C} = \frac{T}{\tau_{max}}$$

$$\frac{J}{C} = \frac{1050.42 \text{ lb} * \text{in}}{20800 \text{ lb} * \text{in}^2} = 0.0505 \text{ in}^3$$

Pero $\frac{J}{C} = \frac{1}{2} \pi c^3$ para un eje sólido. Se tiene, por lo tanto:

$$\frac{1}{2} \pi c^3 = 0.0505 \text{ in}^3$$

$$\sqrt[3]{c^3} = \sqrt[3]{\frac{0.0505 \text{ in}^3}{\frac{1}{2} \pi}}$$

$$c = 0.3179 \text{ in}$$

$$d = 2c = 0.64 \text{ in}$$

A través de los cálculos realizados se recomienda utilizar un eje de $\frac{3}{4} \text{ in} = 19.05 \text{ mm}$ existente en el mercado. Como se observa en el **ANEXO E**.

b) Longitud y diámetro del eje

Una vez realizado los cálculos del diseño del eje y de acuerdo a las especificaciones del prototipo de la máquina trituradora el eje tiene una longitud de 318 mm y el diámetro es de 19.05 mm. Como se observa en la figura 27. La geometría y las medidas técnicas del eje se encuentran en el **ANEXO A**.

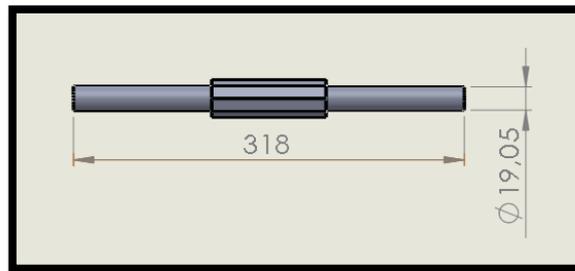


Figura 21 Vista frontal del eje

3.2.4.1 SELECCIÓN DEL MATERIAL DEL EJE

El eje del prototipo de la máquina trituradora está sometido a cargas de torsión y flexión que se generan por efecto de la transmisión de potencia que entrega el motorreductor, por lo que debe ser construido con un acero que pueda soportar dichas cargas. A continuación, se presentan los cálculos para la selección del eje.

a) Cálculo de fuerzas sobre el eje y reacciones sobre los rodamientos.

Para realizar este cálculo se trabajará con el peso de cada una de las cuchillas, teniendo en cuenta la densidad del acero en que fueron mecanizadas que se encuentra en la tabla 8, también se comprobará los resultados con el Software MDSolid que estudia la mecánica de materiales deformables. (Pozo, 2014)

-Para calcular el peso de la cuchilla se utilizará los siguientes parámetros:

- Densidad del acero de la cuchilla = 7.85 g/cm³
- Diámetro de la cuchilla = 98 mm
- Radio de la cuchilla = 49 mm = 4.9 cm
- Espesor = 5mm= 0.5 cm

Fórmula:

$$v = a * l$$

(7)

Dónde:

- **v:** Volumen
- **a:** área circular = πr^2
- **l:** Espesor

Por lo cual:

$$v = \pi r^2 * l$$

$$v = \pi(4.9cm)^2 * 0.5 cm$$

$$v = 37.71 cm^3$$

- Se debe restar el siguiente volumen equivalente al agujero de la cuchilla por donde pasa el eje.

Volumen del agujero: $2.9 cm^3$

$$v total = 37.71 cm^3 - 2.9 cm^3$$

$$v total = 35.62cm^3$$

b) Calculo del peso de la cuchilla:

- Primero calculamos la masa

Fórmula:

$$m = d * v$$

(8)

Dónde:

- **m:** Masa
- **d:** densidad del acero de la cuchilla
- **v:** Volumen

Por lo cual:

$$m = 7.85 \frac{g}{cm^3} * 35.62 cm^3$$

$$m = 279.62 g$$

$$m = 0.28 \text{ kg}$$

- Conociendo la masa de la cuchilla procedemos a realizar el cálculo:

Fórmula:

$$W = m * g$$

(9)

Dónde:

- **W:** Peso
- **m:** Masa
- **g:** Gravedad = 9.8 m/s^2

Por lo cual:

$$W = 0.28 \text{ kg} * 9.8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$W = 2.74 \text{ N}$$

Nota: La fuerza que ejerce cada cuchilla es 2.74 N

A través del peso de las cuchillas procedemos a calcular las reacciones en los apoyos del eje.

Las distancias entre fuerzas están distribuidas a lo largo del eje. Como se observa en la figura 28.

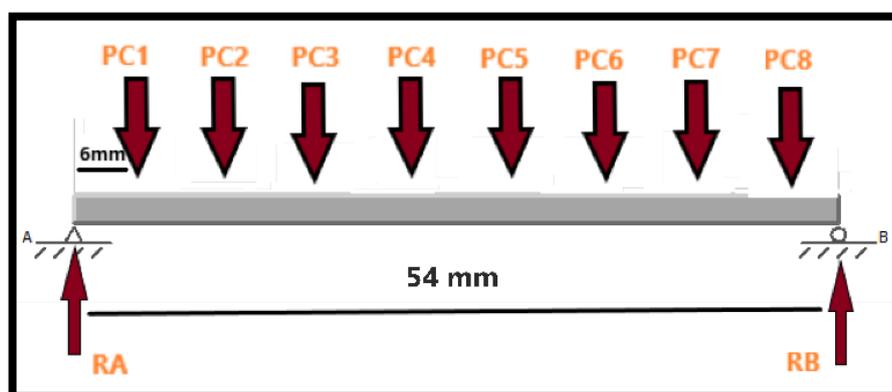


Figura 22 Diagrama de distancias entre fuerzas

Como podemos observar la distancia es de 6 mm entre fuerzas.

c) Cálculo de reacciones en los apoyos.

Dónde:

- **Pc1:** Peso de la cuchilla 1
- **RA:** Reacción en el apoyo A
- **RB:** Reacción en el apoyo B

Nota: el peso de la cuchilla 1= 2.74 N y así sucesivamente con las siguientes cuchillas, todas tiene el mismo peso.

- Cálculo en el apoyo B

- Para realizar el cálculo en el apoyo b, realizaremos la sumatoria de momentos desde el apoyo a:

Por lo cual:

$$\sum ma = -PC1 * D1 - PC2 * D2 - PC3 * D3 - PC4 * D4 - PC5 * D5 - PC6 * D6 - PC7 * D7 - PC8 * D8 + RB * D9 \quad (10)$$

-De la ecuación 10 procedemos a despejar RB para encontrar el valor de su reacción.

Entonces:

$$RB = (PC1 * D1 + PC2 * D2 + PC3 * D3 + PC4 * D4 + PC5 * D5 + PC6 * D6 + PC7 * D7 + PC8 * D8) / D9$$

-Remplazamos los valores para calcular la reacción en el apoyo b.

$$RB = (2.74 N * 6mm + 2.74 N * 12mm + 2.74 N * 18mm + 2.74 N * 24mm + 2.74 N * 30mm + 2.74 N * 36mm + 2.74 N * 42mm + 2.74 N * 48mm) / 54mm$$

$$RB = 10.96 N$$

- Cálculo en el apoyo A

- Conociendo el valor de la reacción en el apoyo b, procedemos a realizar la sumatoria de fuerzas en Y para encontrar el valor de la reacción en el apoyo a.

$$\sum Fy = RA - PC_{TOTAL} + RB \quad (11)$$

- De la ecuación 11 procedemos a despejar RA para encontrar el valor de su reacción.

$$RA = PC_{TOTAL} - RB$$

Dónde:

- **Pc total**= Peso de las cuchillas total

$$Pc \text{ total} = 8(2.74) = 21.92 N$$

- Reemplazamos los valores para calcular la reacción en el apoyo a.

$$RA = 21.92 N - 10.96$$

$$RA = 10.96 N$$

A continuación, se realizará el análisis de las reacciones sobre el eje en el software MDSolid, luego de ejecutar la simulación obtenemos los siguientes resultados como se observa en la figura 23.

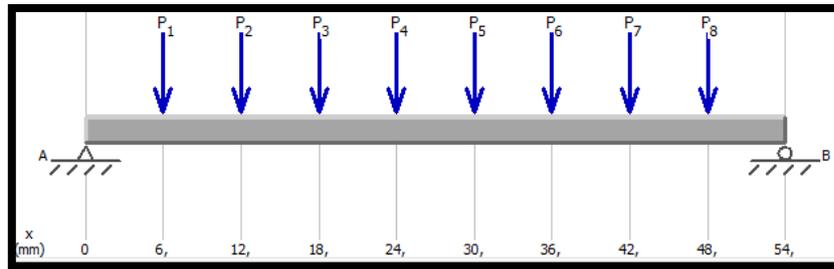


Figura 23 Diagrama de fuerzas sobre el eje en MDSolid.

El valor de las reacciones en los apoyos A y B se puede observar en la figura 24.

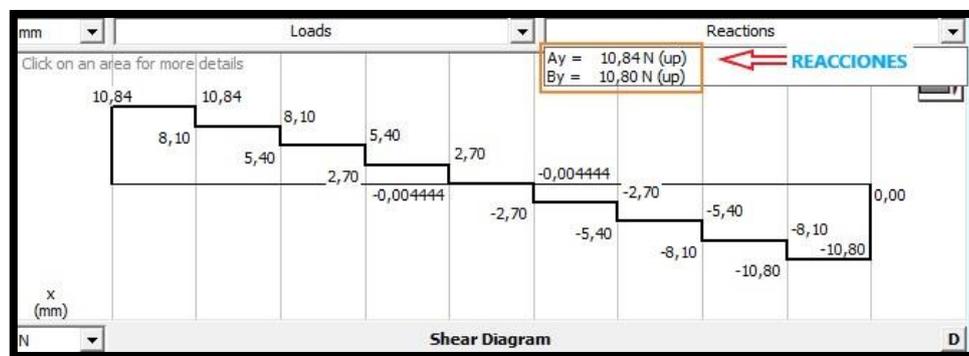


Figura 24 Diagrama de fuerza cortante sobre el eje en MDSolid.

Fuente: Elaboración personal

Como podemos darnos cuenta el resultado de las reacciones en los apoyos A y B arrojados por el software MDSolid es de (figura 30):

$$RA = 10.84N$$

$$RB = 10.80 N$$

Y los valores calculados son de:

$$RA = 10.96 N$$

$$RB = 10.96 N$$

Con estos resultados podemos confirmar la veracidad del software MDSolid.

d) Cálculo torque máximo permisible del eje

Conociendo el torque que se ejercerá en el eje, se puede calcular el máximo esfuerzo cortante en el mismo mediante la siguiente ecuación.

Fórmula:

$$\tau_{max} = \frac{T * c}{J} \quad (12)$$

Dónde:

- τ_{max} : Esfuerzo cortante máximo
- **T**: Torque de la cuchilla = $107.604 \frac{N}{m}$
- **c**: radio del eje = $9.52\text{mm} = 0.00952 \text{ m}$
- **J**: momento polar de inercia en ejes solido = $\frac{1}{2}\pi c^4$

- Por lo cual procedemos a reemplazar los valores en la ecuación 12:

$$\tau_{max} = \frac{T * c}{J}$$

$$\tau_{max} = \frac{107.604 \frac{N}{m} * 0.00952m}{\frac{1}{2}\pi(0.00952m)^4}$$

$$\tau_{max} = 79395830.08 \frac{N}{m^2}$$

$$\tau_{max} = \mathbf{79,396 \text{ Mpa}}$$

A continuación, se realizará el análisis del esfuerzo cortante máximo permisible del eje en el software MDSolid, luego de ejecutar la simulación obtenemos los siguientes resultados como se observa en la figura 25.

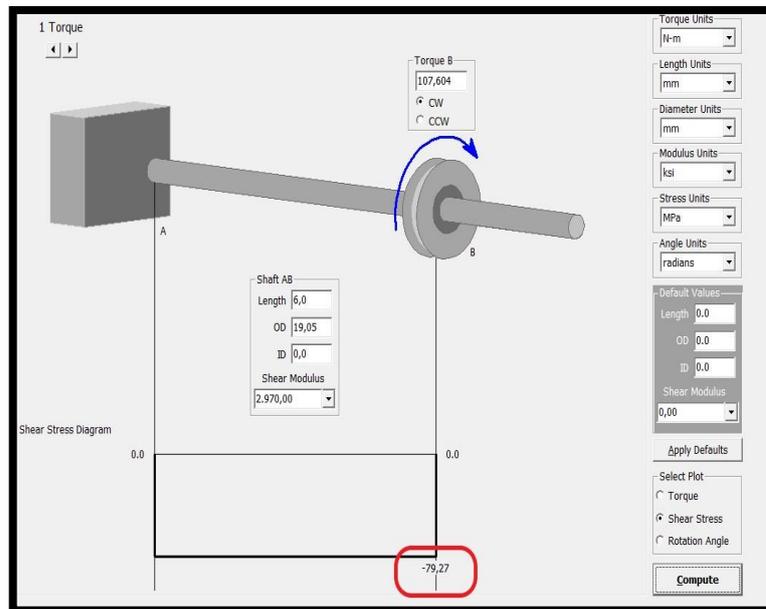


Figura 25 Diagrama esfuerzo cortante máximo del eje

Para el cálculo en el software MDSolid se utilizó el módulo de elasticidad del acero AISI 1018 que se puede observar en la tabla 6.

Como podemos darnos cuenta el resultado del esfuerzo cortante máximo en el eje arrojado por el software MDSolid es de (figura 31):

$$\tau_{max} = 79,27 \text{ Mpa}$$

Y el valor calculado es de:

$$\tau_{max} = 79,396 \text{ Mpa}$$

Con estos resultados podemos confirmar la veracidad del software MDSolid.

3.2.4.1.1 MODELADO COMPUTACIONAL POR ANÁLISIS DE ELEMENTOS FINITOS

a) Análisis del eje de la máquina trituradora.

Obteniendo el resultado de la carga distribuida por el peso de las cuchillas a la que estará sometido el eje de la trituradora, se realizará el análisis en software Solid Works Simulation.

$$W_{total} = 21.92 \text{ N}$$

Para construir el modelado del eje se tomó en cuenta los siguientes materiales que se presentan a continuación en la tabla 12.

Tabla 12

Tipos de materiales.

MATERIALES		
Acero D2	Acero AISI 1018	Acero AISI 1045

Luego de ejecutar el análisis de esfuerzos en el programa Solid Works Simulation obtenemos los siguientes resultados:

- Una vez realizada la simulación se puede observar en la figura 26 que el factor de seguridad mínimo es de 7.8 lo cual indica que no fallara a los esfuerzos que está sometido.

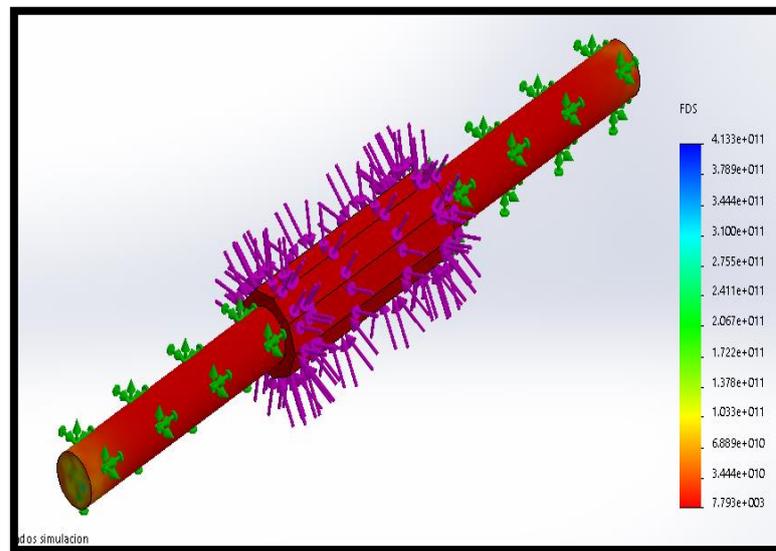


Figura 26 Factor de seguridad mínimo en el Software Solid Works Simulation

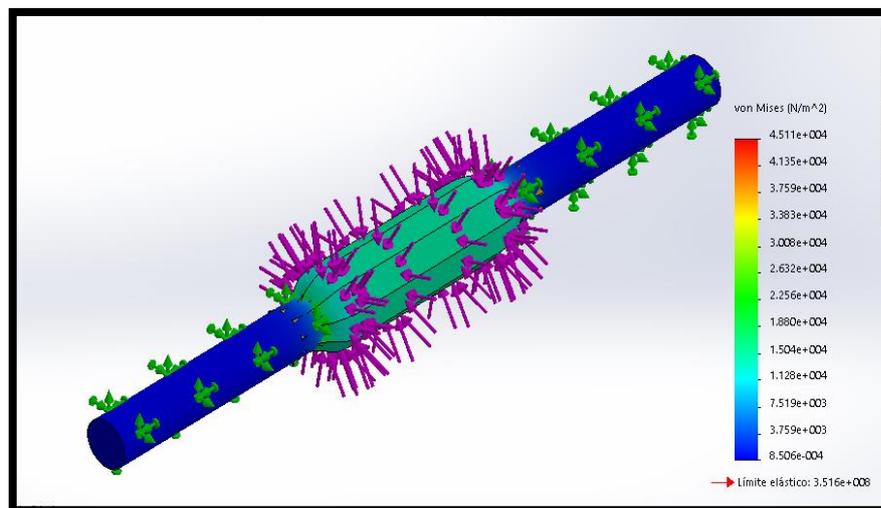


Figura 27 Esfuerzo de Von Mises en el Software Solid Works Simulation

En la figura 27 se puede observar que el esfuerzo máximo al que está sometido el eje de la máquina trituradora es de 4.5 Mpa.

Obteniendo el resultado del análisis realizado en el software Solid Works Simulation, se determina que el eje está bien modelado, por lo que soportara las cargas a la que esté sometida.

Por lo que se selecciona el Acero AISI 1018 como el material más adecuado para la construcción que presenta las siguientes características técnicas.

b) Características del acero del eje

El eje del prototipo de la máquina trituradora fue mecanizado en Acero de transmisión AISI 1018, acero que tiene las siguientes características técnicas.

Tabla 13

Características del acero de transmisión AISI 1018

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

Normas	AISI 1018		
Composición	C=0.20 Si=0.25 Mn=0.70 P=0.04 S=0.005		
Propiedades mecánicas	Resistencia mecánica	Esfuerzo máximo	Módulo de elasticidad
	100-220Mpa	144 Mpa (20800 Psi)	205Gpa (2970Ksi)
Propiedades físicas	Densidad		
	7.87 g/cm ³		
Aplicaciones Típicas	Este acero es utilizado para realizar levas, uniones, bujes, ejes, pines, pivotes, pernos grado3.		

Fuente: (MANTA, 2016)

Los resultados obtenidos fueron que el esfuerzo promedio que soportara el eje arrojado por el software es menor al esfuerzo máximo del material por lo que su estructura puede resistir dicha tensión sin fallar.

$$\tau_{promedio} < \tau_{material}$$

$$4.5 \text{ Mpa} < 144 \text{ Mpa}$$

Nota: Conociendo las características del Acero de transmisión AISI 1018, se selecciona este tipo de acero porque es utilizado para elaboración de piezas que son exigidas al desgaste ya que el eje estará sometido a cargas de torsión y flexión.

3.2.5 DISEÑO DE LA CÁMARA DE TRITURAR

Para el diseño de la cámara de trituración se debe tomar en cuenta que las medidas deben ajustarse de acuerdo a las dimensiones de la botella Pet de 300 ml que se

encuentran en el **ANEXO B**. Su diseño debe incluir un fácil acceso para una rápida y cómoda limpieza. Como se observa en la figura 28.

La cámara de trituración debe retener el material hasta alcanzar el tamaño adecuado, la geometría y las medidas de la cámara de trituración se indican en el **ANEXO A**.

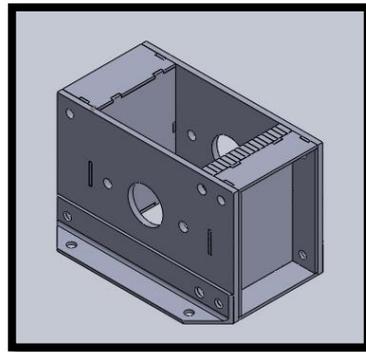


Figura 28 Modelado de la cámara de trituración

3.2.5.1 SELECCIÓN DEL MATERIAL DE LA CÁMARA DE TRITURACIÓN

Para realizar la selección del material de la estructura de la cámara trituradora se realizará a través de la simulación en el modelado CAD.

3.2.5.1.1 MODELADO COMPUTACIONAL POR ANÁLISIS DE ELEMENTOS FINITOS

a) Análisis de la cámara de trituración.

Determinando la carga distribuida por el peso de las cuchillas y el eje a la que estará sometida la cámara de trituración, se realizará el análisis en software Solid Works Simulation.

$$W_{total} = 28.8N$$

Para construir el modelado de la cámara de trituración se tomó en cuenta los siguientes materiales que se presentan a continuación en la tabla 14.

Tabla 14

Tipos de materiales para la cámara de trituración.

MATERIALES		
Acero A 131	Acero ASTM A36	Acero AISI 1018

Luego de ejecutar el análisis de esfuerzos en el programa Solid Works Simulation obtenemos los siguientes resultados:

- Luego de ejecutar el análisis se puede observar en la figura 29, que el factor de seguridad mínimo es de 1.4 por lo tanto soporta satisfactoriamente a los esfuerzos que está sometido.

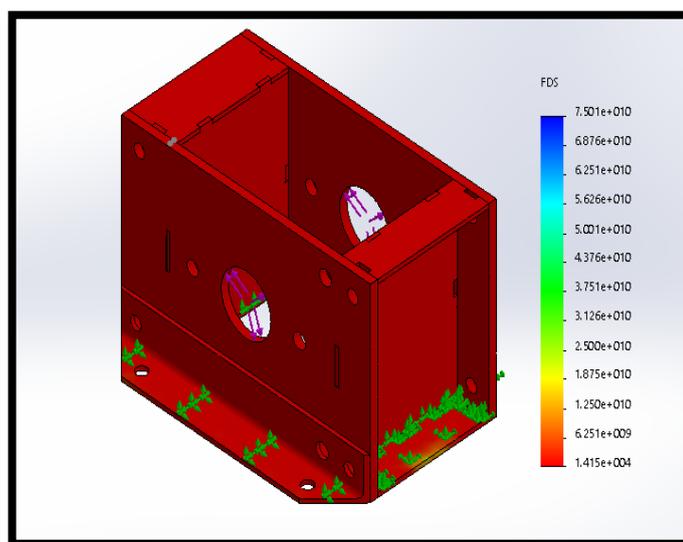


Figura 29 Factor de seguridad mínimo en el Software Solid Works Simulation

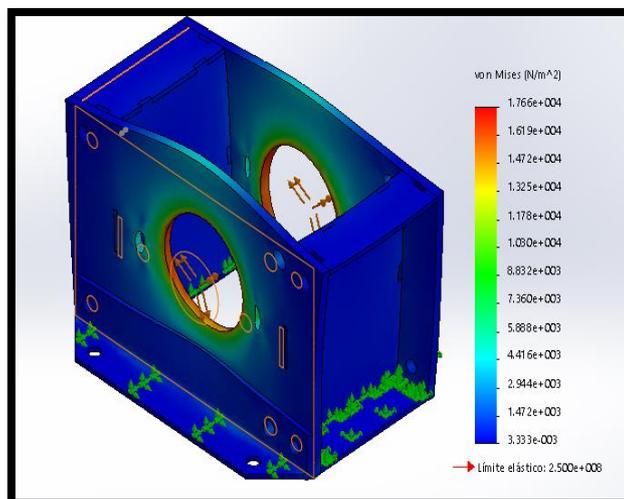


Figura 30 Esfuerzo de Von Mises en el Software Solid Works Simulation

En la figura 30 se puede observar que las tensiones a la que está sometida la cámara de trituración se evidencian de color azul en casi todo el ensamble y el esfuerzo máximo es de 3.3 Mpa.

A través de los dos análisis realizados en el software Solid Works Simulation, se determinó que el diseño modelado soportara las cargas a la que esté sometida.

Por lo que se selecciona el Acero ASTM A36 como el material más adecuado para la construcción de la cámara de trituración que presenta las siguientes características técnicas.

b) Características del acero de la cámara de trituración

La cámara del prototipo de la máquina trituradora fue construida con Acero A36, acero que tiene las siguientes características técnicas.

Tabla 15

Características del acero A 36.

Descripción

Es un acero estructural de buena soldabilidad, adecuado para la fabricación de vigas soldadas para edificios, estructuras remachadas, y atornilladas, bases de columnas, piezas para puentes y depósitos de combustibles.			
Normas	ASTM A36		
Composición	C=0.29 Si=0.4 Mn=1.2 P=0.04 S=0.005		
Propiedades mecánicas	Esfuerzo a la fluencia	Esfuerzo a la tensión	Módulo de elasticidad
	250 Mpa	400 Mpa (58000 Psi)	200Gpa (2900Ksi)
Propiedades físicas	Densidad		
	7.85g/cm ³		
Aplicaciones Típicas	Este acero es utilizado para la construcción de puentes, estanques, estructuras para industrias y aplicaciones estructurales en general.		

Los resultados obtenidos fueron que el esfuerzo promedio que soportará la cámara de trituración arrojado por el software es menor al esfuerzo máximo del material por lo que su estructura puede resistir dicha tensión sin fallar.

$$\tau_{promedio} < \tau_{material}$$

$$3.3 \text{ Mpa} < 400 \text{ Mpa}$$

Nota: Conociendo las características del Acero A 36, se selecciona este tipo de acero porque es utilizado para aplicaciones estructurales en general y por su buena soldabilidad.

3.2.6 DISEÑO DE LA ESTRUCTURA.

Para el diseño de la estructura se debe tomar en cuenta las dimensiones de la cámara de trituración ensamblada y el tamaño del motorreductor por lo que el modelado fue diseñado con esas características nombradas anteriormente. Como se muestra en la figura 31.

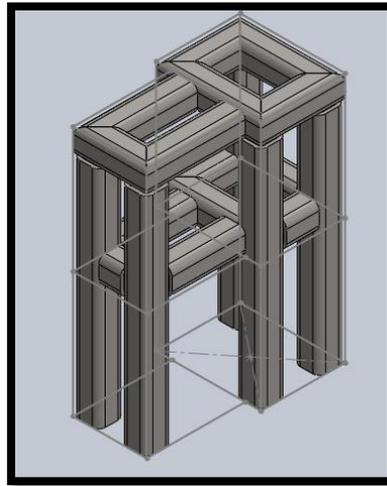


Figura 31 Modelado de la estructura del prototipo

3.2.6.1 SELECCIÓN DEL MATERIAL DE ESTRUCTURA

Para realizar la selección del material de la estructura se realizará a través de la simulación en el modelado CAD.

3.2.6.1.1 MODELADO COMPUTACIONAL POR ANÁLISIS DE ELEMENTOS FINITOS

a) Análisis de la estructura.

Este análisis se llevará a cabo sometiendo a la estructura a una carga distribuida por el peso del motor, de la cámara de trituración, el eje con todas las cuchillas y la tolva del prototipo de la máquina trituradora.

$$W_{total} = 349.462N$$

Para construir el modelado de la estructura se tomó en cuenta los siguientes materiales que se presentan a continuación en la tabla 16.

Tabla 16

Tipos de materiales para la cámara de trituración.

MATERIALES		
Acero AISI 304	Acero ASTM A36	Acero AISI 1020

Para construir el modelado de toda la estructura se utilizó tubo cuadrado 30×30×2 mm. Luego de ejecutar el análisis de esfuerzos en el programa Solid Works Simulation obtenemos los siguientes resultados:

-Cómo se puede observar en la figura 32, el factor de seguridad mínimo es de 4.9 por lo tanto soporta satisfactoriamente cargas a la cual está sometido.

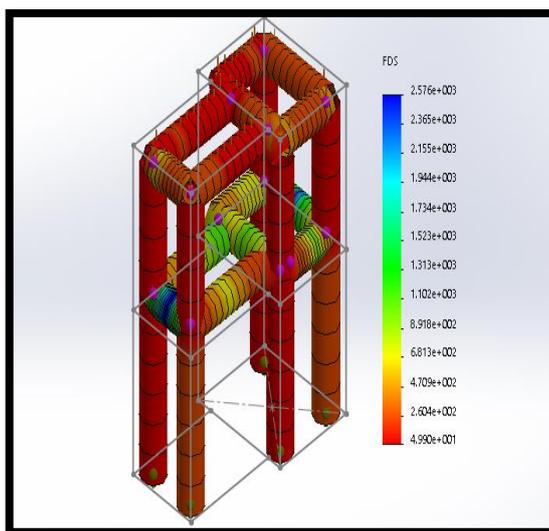


Figura 32 Factor de seguridad mínimo en el Software Solid Works Simulation

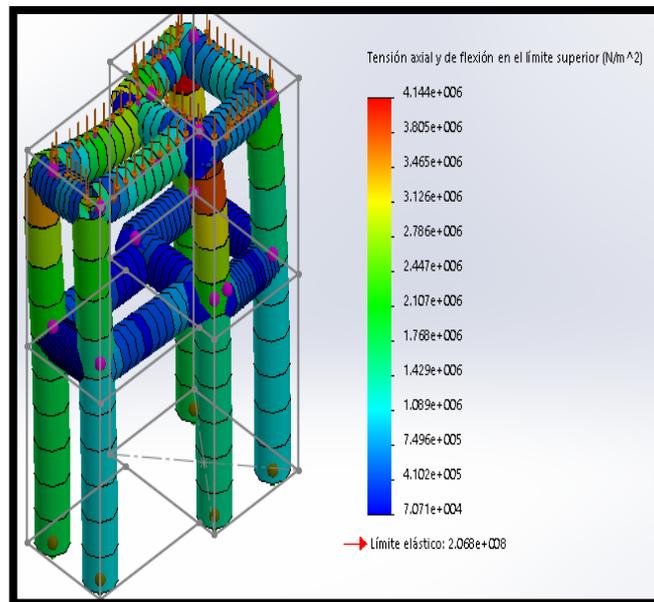


Figura 33 Esfuerzo de Von Mises en el Software Solid Works Simulation

En la figura 33 se muestra la tensión axial y la flexión máxima, en la parte derecha se indica que el esfuerzo máximo (color rojo) es de 41 Mpa.

En base a los dos análisis realizados en el software Solid Works Simulation, se determina que la estructura está bien diseñada y soportara las cargas a la que esté sometida sin fallar.

Por lo que se selecciona el Acero AISI 304 como el material más adecuado para la construcción de la estructura que presenta las siguientes características técnicas.

b) Características del acero de la estructura

La estructura del prototipo de la máquina trituradora fue construida con Acero AISI 304 que tiene las siguientes características técnicas.

Tabla 17: Características del acero AISI 304

Descripción

Es un acero inoxidable de aleaciones de hierro con un mínimo de un 10,5% de cromo. Su bajo contenido en carbono con respecto a la aleación 302 otorga una mejor resistencia a la corrosión en estructuras soldadas.			
Normas	AISI 304		
Composición	C=0.08 Si=1 Mn=2 Cr=19 Ni= 9.2 P=0.045 S=0.03		
Propiedades mecánicas	Dureza Brinell	Resistencia ala tracción	Módulo de elasticidad
	(160-190) Hb	300 Mpa	(190-210) Gpa
Propiedades físicas	Densidad		
	7.93 g/cm ³		
Aplicaciones Típicas	Este acero es utilizado para la de diferentes estructuras para industrias, edificios, torres y aplicaciones estructurales en general.		

Fuente: (Goddfellow, 2008-2018)

Los resultados obtenidos fueron que el esfuerzo promedio que soportará la estructura arrojado por el software es menor al esfuerzo máximo del material por lo que su estructura puede resistir dicha tensión sin fallar.

$$\tau_{promedio} < \tau_{material}$$

$$41 \text{ Mpa} < 300 \text{ Mpa}$$

Nota: Conociendo las características del Acero ISI 304, se selecciona este tipo de acero porque es utilizado para aplicaciones estructurales en general y por su buena soldabilidad.

3.2.7 DISEÑO DE LA CRIBA

Es un sencillo sistema de sujeción que posibilita pasar el material adecuado una vez triturado para ser almacenado. Se puede diseñar en diferente diámetro de barreno como se observa en la figura 34. La geometría y medidas se encuentra en el **ANEXO A**.

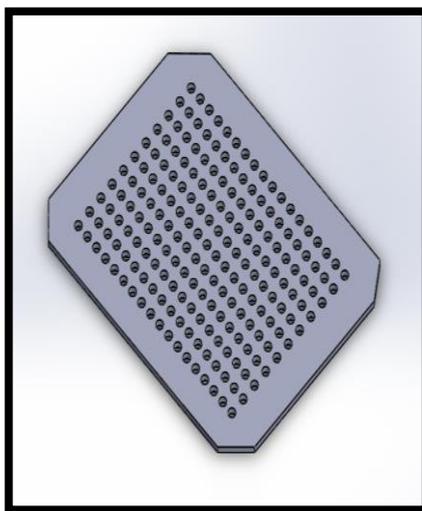


Figura 34 Modelado de la criba

3.2.7.1 SELECCIÓN DEL MATERIAL DE LA CRIBA.

Para realizar la selección del material de la criba se realizará en función de los siguientes materiales que se presentan a continuación en la tabla 18

Tabla 18

Tipos de materiales para la criba.

MATERIALES		
ASTM A 740	Acero ASTM A36	Acero ASTM A 500

De acuerdo a las características de cada material se ha optado por seleccionar el acero ASTM A 740 ya que es el material más adecuado por sus diferentes

aplicaciones, a continuación, se muestra en la tabla 19 las características más relevantes del Acero.

Tabla 19

Características del acero.

DESCRIPCIÓN	
La Malla Criba o Malla de acero entretejida y galvanizada por inmersión en caliente con múltiples usos, desde la construcción hasta las artes decorativas. La criba al ser tejida permite darle mayor resistencia a la ruptura	
APLICACIONES TÍPICAS	<ul style="list-style-type: none"> -Aulas para pájaros -Arreglos florales -Cernir/cribar plástico y arena

Fuente: (IPASA, 2015)

3.2.8 SELECCIÓN DE RODAMIENTOS DEL PROTOTIPO DE LA MÁQUINA TRITURADORA.

Para la selección de los rodamientos se tomará en consideración la geometría del eje que se encuentra en el **ANEXO A** y teniendo en cuenta que el eje estará sometido a cargas radiales debido a su movimiento, por lo que en función de esto se seleccionará el rodamiento que cumpla con las condiciones asignadas anteriormente.

El rodamiento seleccionado se muestra en la tabla 20 ya que cumple con las especificaciones adecuadas para el eje del prototipo de la máquina trituradora.

Tabla 20

Características del acero.

TIPO DE RODAMIENTO	6204 2RS
DIAMETRO INTERNO	20 mm
DIAMETRO EXTERNO	47 mm
Descripción: Este tipo de rodamientos soporta cargas radiales que se encuentra principalmente en dirección perpendicular al eje.	

3.2.9 DISEÑO DEL SISTEMA DE CONTROL ELÉCTRICO DEL MOTORREDUCTOR.

Se realizó el diseño y elaboración del esquema eléctrico de control y fuerza utilizando el programa de simulación CADe_SIMU, por lo que para la obtención del esquema se tomó en cuenta los elementos eléctricos que tenemos en el tablero de control para motores eléctricos.

a) Diseño del esquema de control.

Para el diseño del diagrama de control se utilizó el programa CADe_SIMU para simular su funcionamiento como se observa en la figura 35.

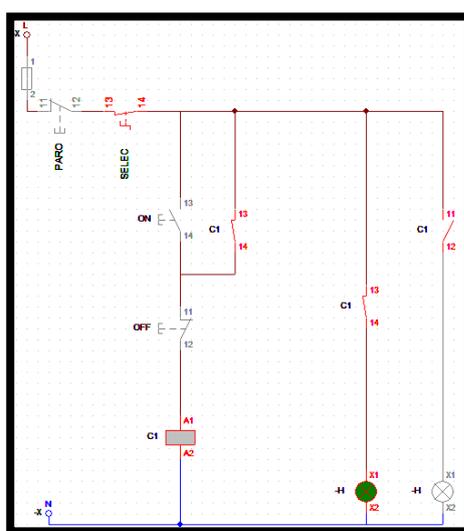


Figura 35 Esquema de control.

b) Diseño del esquema de fuerza

Para el diseño del diagrama de fuerza se utilizó el programa CADe_SIMU para simular su funcionamiento como se observa en la figura 36.

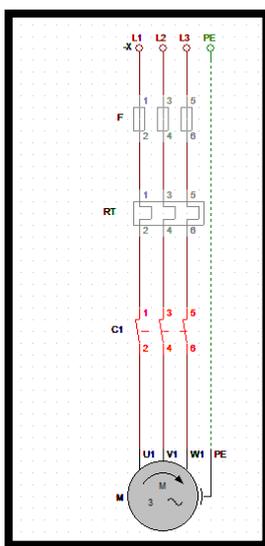


Figura 36 Esquema de Fuerza.

c) Elementos eléctricos principales.

Para la selección de los elementos principales del tablero de control se utilizará componentes eléctricos industriales que es lo recomendado para este tipo de motores trifásicos como se observa en la figura 37.



Figura 37 Componentes eléctricos.

Fuente: (LUIS, 2012)

3.2.10 SELECCIÓN DE MATERIALES PARA EL TABLERO DE CONTROL ELÉCTRICO DEL MOTORREDUCTOR.

Para la elección de los materiales hay que tomar en cuenta dos componentes principales que son: la protección del motor y el calibre de cable a utilizar en el circuito de mando y de fuerza.

a) Protección del motor

Para la protección del motor se seleccionará un relé térmico de acuerdo al amperaje del motor que se encuentra en la tabla 10.

Amperaje del motor = 4 Amperios.

Por lo que se seleccionó un relé térmico con las siguientes características de corriente como se puede observar en la tabla 21. Las demás características se las encontrara en el **ANEXO D**.

Tabla 21

Características del relé térmico

Fabricante	SCHNEIDER ELECTRIC
Referencia	LRD10
Corriente de ajuste de sobre carga mínima	4 A
Corriente de ajuste de sobre carga máxima	6 A

b) Calibre del conductor para el motor.

Para la selección del conductor eléctrico del motor se tomará en cuenta los siguientes parámetros: amperaje y voltaje de operación del motor.

Amperaje del motorreductor: 4 Amperios

Por lo que se seleccionó el calibre número 14 de conductor eléctrico bajo los parámetros de la tabla AWG que se muestra en la figura 38.

Número AWG	Diámetro (mm)	Sección (mm ²)	Número espiras por cm.	Kg. por Km.	Resistencia (Ohm/Km.)	Capacidad (A)
0000	11,86	107,2			0,158	319
000	10,40	85,3			0,197	240
00	9,226	67,43			0,252	190
0	8,252	53,48			0,317	150
1	7,348	42,41		375	1,40	120
2	6,544	33,63		295	1,50	96
3	5,827	26,67		237	1,63	78
4	5,189	21,15		188	0,80	60
5	4,621	16,77		149	1,01	48
6	4,115	13,30		118	1,27	38
7	3,665	10,55		94	1,70	30
8	3,264	8,36		74	2,03	24
9	2,906	6,63		58,9	2,56	19
10	2,588	5,26		46,8	3,23	15
11	2,305	4,17		32,1	4,07	12
12	2,053	3,31		29,4	5,13	9,5
13	1,828	2,63		23,3	6,49	7,5
14	1,628	2,08	5,6	18,5	8,17	6,0
15	1,450	1,65	6,4	14,7	10,3	4,8
16	1,291	1,31	7,2	11,6	12,9	3,7

Figura 38 Calibre de cable AWG

Fuente: (Molina, 2017)

CAPÍTULO IV

4.1 CONSTRUCCIÓN Y PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO DEL PROTOTIPO DE LA MÁQUINA TRITURADORA

a) Construcción del prototipo de la máquina trituradora.

La construcción es el montaje de todos los componentes del prototipo de la máquina trituradora, dichos materiales y elementos fueron seleccionados a lo largo del capítulo III.

- Se procedió a realizar la construcción de la estructura con la geometría y medidas establecidas en el **ANEXO A**, mediante la utilización en su gran parte de la soldadura con el material previamente seleccionado.



Figura 39 Estructura

- La construcción del eje se realizó en el torno el cual fue mecanizado de acuerdo a la geometría y medidas de los planos de construcción que se encuentran en el **ANEXO A**.

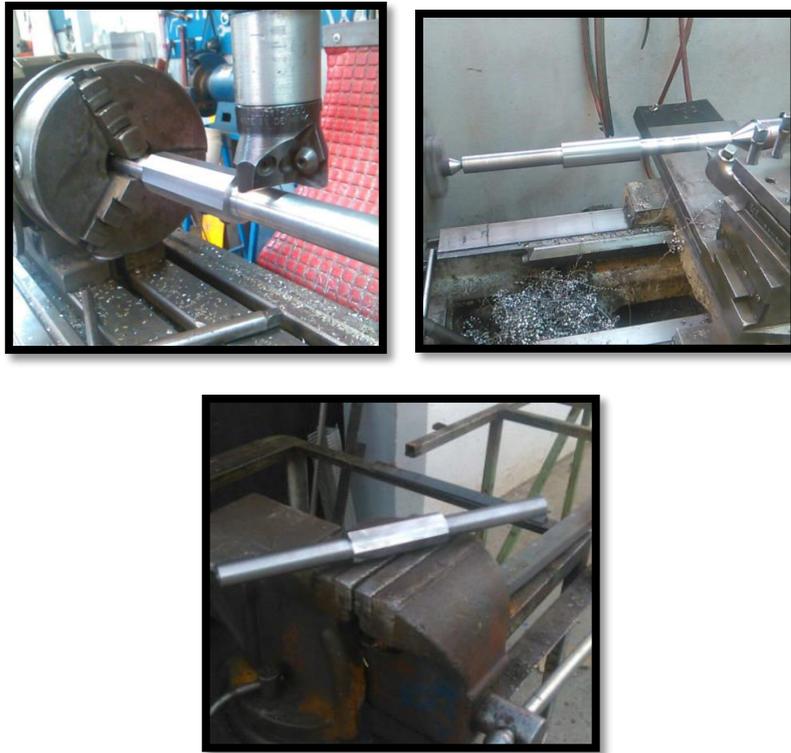


Figura 40 Mecanizado del eje

- Las cuchillas fueron mecanizadas en el torno y fresadora utilizando diferentes técnicas para su construcción, su geometría las medidas y se encuentran en el **ANEXO A**.



Figura 41 Mecanizado de las cuchillas

- Los diferentes elementos de la cámara de trituración fueron mecanizados de acuerdo a la geometría y medidas de los planos de constructivos que se encuentran en el **ANEXO A**.



Figura 42 Construcción de la Cámara de trituración

- Para la construcción de la tolva se utilizó en su mayoría la suelda eléctrica de acuerdo a las medidas establecidas que se muestran en el **ANEXO A**.



Figura 43 Construcción Tolva

- Para la construcción del acople del motorreductor con el eje de la cámara de trituración fue necesario utilizar el torno para su mecanizado, tomando en cuenta las medidas que se encuentran especificadas en el **ANEXO A**.



Figura 44 Mecanizado de acople de ejes

- Una vez mecanizada y ensambla las piezas se procedido a pintar la cámara de trituración.



Figura 45 Pintado de la cámara de trituración

Una vez construida la estructura del prototipo de la máquina se procedió a pintarla.



Figura 46 Pintado de la tolva y estructura

- Montaje del tablero eléctrico de control del motorreductor.



Figura 47 Montaje tablero eléctrico

- Colocación de las luces piloto, pulsadores, selector, contador y relé térmico en tablero de control eléctrico.



Figura 48 Tablero de control con sus componentes eléctricos

- Finalmente se muestra el Prototipo de la máquina trituradora



Figura 49 Prototipo máquina trituradora

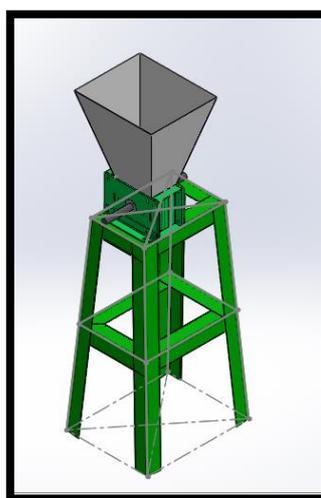


Figura 50 Prototipo máquina trituradora diseñado

b) Pruebas de funcionamiento

Una vez realizado el montaje de todas las piezas del prototipo de la máquina trituradora, se procedió a realizar diferentes pruebas al sistema mecánico y sistema como eléctrico con el objetivo de comprobar su funcionamiento. Estas pruebas se describen en orden secuencial en la tabla 22 y tabla 23.

Tabla 22

Método de prueba de funcionamiento del sistema mecánico

Acción	Partes mecánicas involucradas	Verificación	Observaciones
Arrancar el motorreductor	Eje	El eje transmite el movimiento a las cuchillas en óptimas condiciones.	Ninguna
	Cuchillas	Entre las cuchillas y la parte fija de las mismas no presentan ningún rozamiento, por lo que el juego existente es regular.	Las botellas plásticas de 300 ml que pasaron por un correcto proceso de reciclaje ingresan a la cámara de trituración de una en una con las siguientes características; sin tapa, sin etiqueta y sin el pico para ser trituradas de manera correcta.
	Cámara de trituración	La cámara de trituración no presenta ninguna alteración en su estructura, trabaja en óptimas condiciones.	
	Rodamientos	Los rodamientos tienen un comportamiento normal con el eje permitiendo que gire correctamente.	Ninguna
	Acople entre el eje y motorreductor	El acoplamiento permite que se transmita el movimiento en su totalidad, trabajando en óptimas condiciones	

Tabla 23

Método de prueba de funcionamiento del sistema eléctrico.

Acción	Partes mecánicas involucradas	Verificación	Observaciones
Arrancar el motorreductor	Motorreductor	El motorreductor enciende normalmente.	El motorreductor es eléctrico y trabaja a 220 voltios en una red trifásica y los componentes eléctricos trabajan a 110 v.
	Contactador	El contactor funciona encendiendo y apagando el paso de la corriente según el mando.	
Encienden	Luces piloto	Las luces piloto se activan según la función que esté realizando el motor.	
Apaga la maquina	Paro de emergencia	El paro de emergencia funciona correctamente apagando la maquina ante cualquier inconveniente	
Activación para encendido y apagado	Pulsadores	Los pulsadores funcionan correctamente cuando son activados realizando operación seleccionada.	
	Selector de activación	El selector funciona correctamente ya que permite que la máquina entre en funcionamiento.	

c) Resultados

A través de un correcto proceso de reciclaje y durante el proceso de trituración realizada en el prototipo de la máquina trituradora se obtiene los siguientes resultados.

Se obtuvo trozos de las botellas recicladas más conocido como pellet de (10 a 15) milímetros de tamaño como se observa en la figura 51.



Figura 51 Pellet triturado.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES

-Se determinó que el pellet de las botellas PET pueden ser utilizados para fabricar nuevos productos añadiéndoles distintos aditivos para su correcta procesabilidad.

-Se obtuvo el diseño de un prototipo de una máquina trituradora de botellas PET, el cual aplica los principios del diseño mecánico al involucrar cálculos para la selección de los diferentes materiales.

-Se consideró al sistema de corte el más crítico debido a las fuerzas que estaría sometido al momento de producirse el impacto entre las cuchillas y los envases de PET. A través de un análisis de elemento finito utilizando el software Solid Works, se determinó el máximo esfuerzo sometido en las cuchillas el cual no alcanzo el esfuerzo de fluencia del material lo cual garantizó la confiabilidad del diseño seleccionado.

-Mediante el modelado computacional se determinó el esfuerzo cortante de la cuchilla que es de 20Mpa, valor que es inferior al esfuerzo permisible del acero K460 que fue seleccionado por sus aplicaciones con elementos cortantes.

-A través de los cálculos realizados se determinó la fuerza de la cuchilla que es de 2196 N el mismo que será utilizado para calcular el torque.

-Por medio de la fuerza de la cuchilla se calculó el torque que ejerce la misma, el cual es de 108 N*m.

-Se determinó la potencia del motor a través del torque que se ejerce en las cuchillas dándonos una potencia de 1hp valor existente en el mercado.

-A través del análisis computacional se comprobó que el esfuerzo promedio de las cuchillas arrojado por el software es menor al esfuerzo máximo del material por lo que las cuchillas pueden resistir dicho esfuerzo sin fallar.

-Por medio del análisis computacional se seleccionó el acero AISI 1018 para la construcción del eje, debido a que el esfuerzo permisible del material es de 144 Mpa siendo mayor al esfuerzo cortante que se produce en el eje, el cual su valor es de 4.5 Mpa.

-A través del software CAdE_SIMU se incluyó en el diseño la parte control eléctrico del motor para que la maquina tenga un desempeño optimo y no presente ningún inconveniente al momento de que comience a triturar las botellas plásticas que pasaron por un correcto proceso de reciclaje.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda que al momento de triturar las botellas PET de 300ml se debe retirar la tapa y etiqueta de la misma para no tener inconvenientes en su funcionamiento.
- Es necesario que las botellas PET hayan pasado por un correcto proceso de reciclaje antes de ser introducidas al prototipo de la máquina trituradora.
- Se recomienda cortar el pico de las botellas para obtener el pellet con las mismas características físicas y de esta manera pueda ser reutilizado en otro proceso sin inconvenientes.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Vásconez , A. (2013, Febrero). *Repositorio Digital EPN* . Retrieved from <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/5901>
- BEER, F. P., & RUSSELL, J. J. (2010). *MECANICA DE MATERIALES* . MEXICO : The McGraw- Hill.
- Blog, A. (2010, Noviembre 06). *Platicos Reciclables*. Retrieved from <https://ambientalblog2010.wordpress.com/2010/11/06/los-tipos-plasticos-reciclables/>
- Borrás, E. (1987). *Gas Natural. Características, distribución y aplicaciones industriales*. Barcelona: Editores Técnicos Asociados S.A.
- Castells, X. E. (2001). *Reciclaje de residuos industriales*. Retrieved from <https://www.google.com.ec/search?q=clasificacion+de+plasticos&biw=1280&b>
- Colina de las Monjas. (2017). *Potencia Electromecanica*. Retrieved from <http://www.potenciaelectromecanica.com/calculo-de-un-motorreductor/>
- Enercom. (2016). *Energia Controlada*. Retrieved from <https://www.energiacontrolada.com/faq/Que-es-un-motorreductor>
- Fariño, G. (2011). *Modelo Espiral de un proyecto de desarrollo de SW*. Retrieved from Administración y Evaluación de Proyectos: <http://www.ojovisual.net/galofarino/modeloespiral.pdf>
- García D, N. (2010). *Molinos de disco*. España: Ed. Prensas Universitarias de Zaragoza,.

- Goddfellow. (2008-2018). *Acero inoxidable*. Retrieved from <http://www.goodfellow.com/S/Acero-Inoxidable-AISI-304.html>
- Hoyos , D. (2014). *diseño de trituradora de Pet*. Retrieved from <http://www.trittonxxi.com/ri-triturador-trituradores-trituradora-trituradoras/molino-triturador-precios/plasticos/carton/18>
- Kekeljevic., V. &. (2015, Marzo 30). *F.H.I.* Retrieved from Fundacion Honduras Investiga: <http://www.fhi.org.hn/index.php/avance-educativo/cursos-y-talleres/cursos-de-electricidad>
- MANTA, D. (2016). *DIPAC*. Retrieved from <http://www.dipacmanta.com/aisi-1018-transmision>
- Packaging, F. (2016). *FRAPACK*. Retrieved from <https://www.frapak.com/es/botellas-de-pet/>
- Pascual, E. (2015, Octubre 26). *El blog verde*. Retrieved from <https://elblogverde.com/clasificacion-plasticos/>
- Pascual, E. (2017, julio). Retrieved from <https://elblogverde.com/clasificacion-plasticos/>
- Perry, R. (2001). *Manual del Ingeniero Químico, Tomo III*. Mexico: McGraw-Hill.
- Pilatasig, D., & Pozo, F. (2014, Agosto). *Repositorio Institucional -UTC*. Retrieved from <http://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/1872>
- REMSA, P. (2016). *REMSA*. Retrieved from <http://www.remsaplasticos.com/productos/botellas-pet/botella-pet-300ml-petaloides#.WyJ1K6dKjIV>
- Sandoval , D., & Ushiña, V. (2011, Diciembre). *Repositorio ESPE*. Retrieved from <https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/5203/1/T-ESPE-033097.pdf>

- Sinchiguano, G., & Fernandez, P. (2010, Diciembre). *Repositorio ESPE*. Retrieved from <https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/4308/1/T-ESPEL-0772.pdf>
- Solidworks, & Systemes, D. (2017). *Modelado de plasticidad de Von Mises*. Retrieved from http://help.solidworks.com/2017/spanish/SolidWorks/cworks/c_Plasticity_von_Mises_Model.htm
- SUMITEC. (2017). *ACERO ESTRUCTURAL*. Retrieved from <http://www.sumiteccr.com/acero/estructural/AE01.pdf>
- Van Der Vegta_K, G. L. (2014). *"Polymerem van Keten tot kunstof"*. Alemania: Ed. Centraal Boekhuis.
- Vasconez, A. (2013, Febrero). *Repositorio de la EPN*. Retrieved from <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/5901/1/CD-4717.pdf>
- Xavier, E. (2009). *Reciclaje de residuos industriales* . España : Diaz de Santos .

ANEXOS

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A.- Planos constructivos del prototipo de la máquina trituradora.

ANEXO B.- Plano de las dimensiones de la botella PET de 300ml.

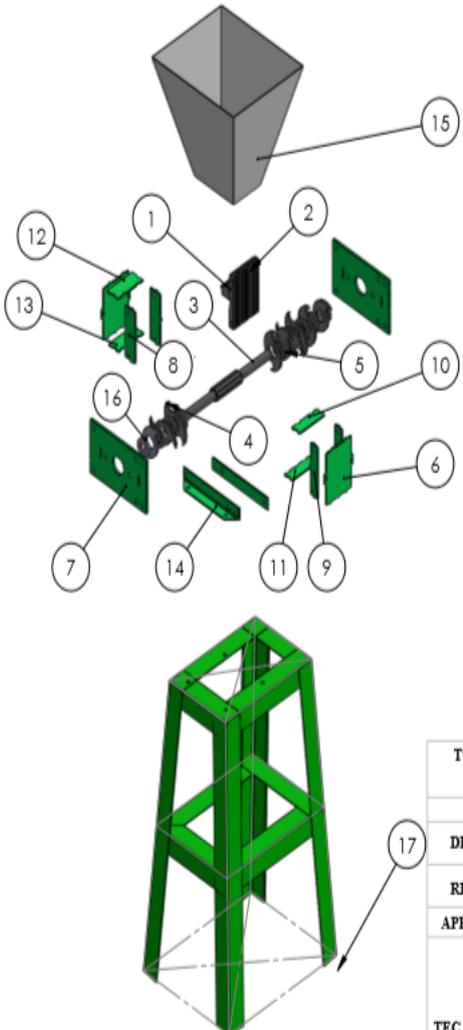
ANEX C.- Catalogo de la caja reductora.

ANEXO D.- Hoja de características del relé térmico.

ANEXO E.- Catalogo del eje de transmisión acero AISI 1018.

ANEXO A

PLANOS CONSTRUCTIVOS DEL PROTOTIPO DE LA MÁQUINA TRITURADORA

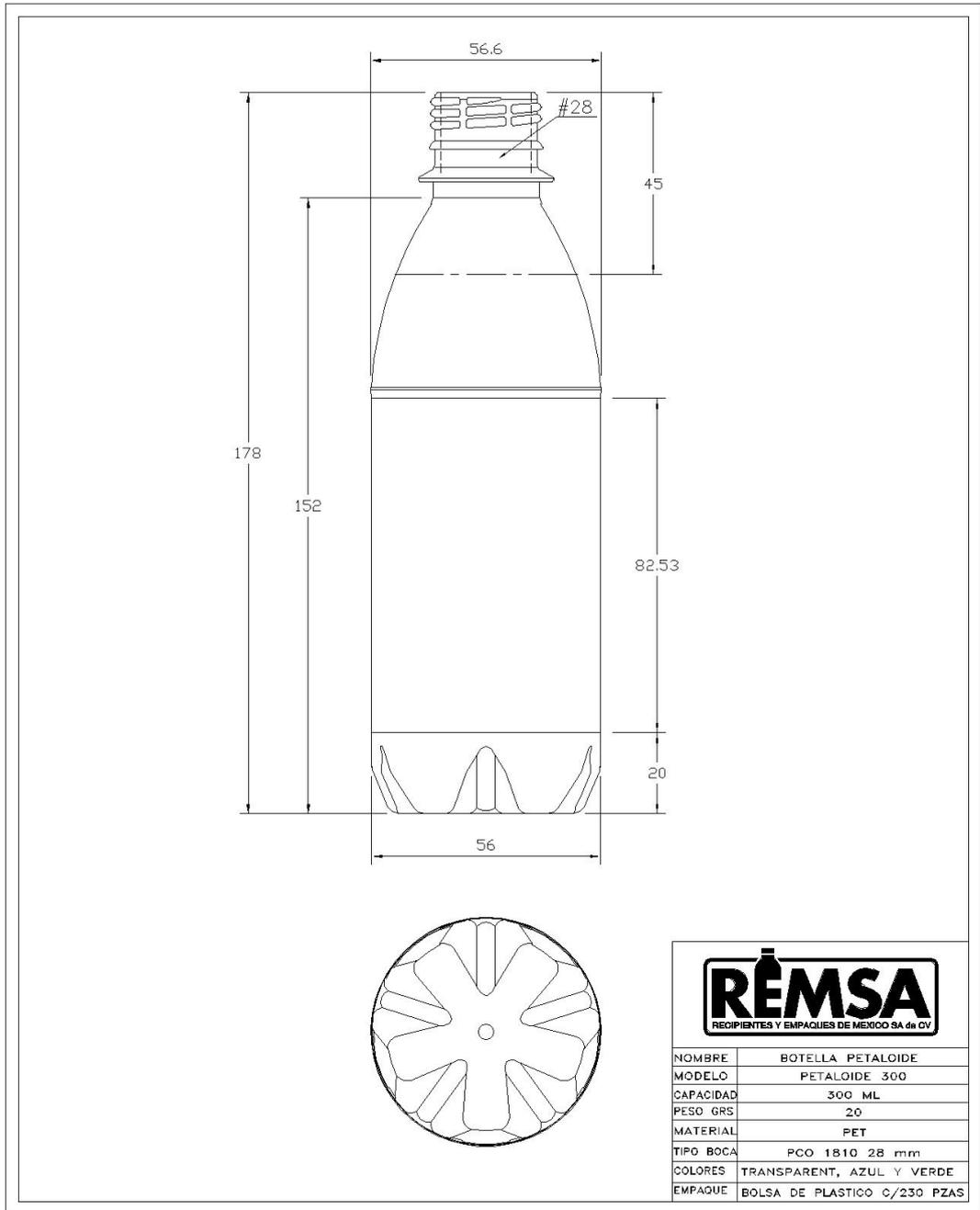


N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	CANTIDAD
1	Parte fija cuchilla.	9
2	Parte fija separador	8
3	eje 9 lados	1
4	Cuchilla 9 lados	9
5	separadores 9 lados	8
6	Caja Tapa 1	2
7	Caja Tapa 2	2
8	Verticales tapa 1,2	2
9	verticales juntom a la parte fija	2
10	Horizonmtal superior junto a las cuchillas	1
11	Horizonmtal inferior junto a las cuchillas	1
12	Horizonmtal superior	1
13	Horizonmtal inferior	1
14	Fijador para la mesa 2	2
15	Tolva	1
16	IRODA	2
17	mesa d la trituradora	1

TOLERANCIA +0.1	PESO:	ACERO ASTM A 36, K460, AISI 1018	
	FECHA	NOMBRE	
DIB		ROCHA A.	
REV		MURILLO L.	
APROB		MURILLO L.	
UFA -ESPE UGT		LAMINA: 18	
TEC.ELECTROMECAÁNICA		ENSAMBLE DEL PROTOTIPO DE LA MÁQUINA TRITURADORA ESCALA: 1:10	

ANEXO B

PLANO DE LAS DIMENSIONES DE LA BOTELLA PET DE 300ML



ANEXO C
CATALOGO DE LA CAJA REDUCTORA

0,75 kW	rpm	l=	Nm	SF	kg	1,5 kW	rpm	l=	Nm	SF	kg
MRS-MRT 50	200	5	23	>3	14	MRS-MRT 60	280	5	46	2,7	20
MRS-MRT 50	200	7	31	2,4	14	MRS-MRT 60	200	7	62	1,8	20
MRS-MRT 50	140	10	43	1,7	14	MRS-MRT 60	140	10	86	1,5	20
MRS-MRT 50	93	15	60	1,2	14	MRS-MRT 60	93	15	124	1,0	20
MRS-MRT 60	70	20	79	1,5	17	MRS-MRT 70	70	20	166	1,2	23
MRS-MRT 60	50	28	102	1,4	17	MRS-MRT 70	50	28	215	1,0	23
MRS-MRT 60	35	40	135	1,0	17	MRS-MRT 85	35	40	295	1,4	27
MRA-MTA 80/60	32	44	178	1,2	20	MRA-MTA 80 / 85	32	44	360	1,4	31
MRS-MRT 70	29	49	168	1,1	19	MRS-MRT 85	29	49	336	0,9	27
MRS-MRT 70	25	56	183	1,0	19	MRS-MRT 110	29	49	356	1,8	50
MRA-MTA 80/60	22	63	242	1,0	20	MRS-MRT 110	25	56	401	1,5	50
MRS-MRT 85	20	70	226	1,3	23	MRA-MTA 80 / 85	22	63	496	1,1	31
MRS-MRT 85	18	80	246	1,1	23	MRS-MRT 110	20	70	480	1,3	50
MRA-MTA 8 70	11	126	341	0,9	23	MRS-MRT 110	18	80	540	1,0	50
MRA-MTA 80/85	8,0	176	540	0,9	27	MRA-MTA 80/110	15	95	719	1,6	54
MRA-MTA 80/110	5,5	252	735	1,5	50	MRS130	14	100	624	1,2	64
MRA-MTA 80/110	4,6	309	838	1,3	50	MRA-MTA 80/110	11	126	915	1,2	54
MRA-MTA 80/110	4,0	353	939	1,1	50	MRA-MTA 80/110	8,0	176	1135	1,0	54
MRS-MRT 50 / 110	3,3	420	1031	1,2	50	MRA100/130	7,0	200	1269	1,0	71
MRA-MTA 80/110	3,2	441	1083	0,9	50	MRA100/130	6,3	224	1421	1,2	71
MRS-MRT 50 / 110	2,5	570	1289	1,0	50	MRA100/150	5,0	280	1490	1,1	101
						MRA100/150	3,5	400	2292	1,1	101

ANEXO D

HOJA DE CARACTERISTICAS DEL RELÉ TÉRMICO

Product data sheet
Characteristics

LRD10

TeSys D thermal overload relays - 4...6 A -
class 10A



Main

Commercial Status	Commercialised
Range	TeSys
Product name	TeSys LRD
Product or component type	Differential thermal overload relay
Device short name	LRD
Relay application	Motor protection
Product compatibility	LC1D09...LC1D38
Network type	AC DC
Overload tripping class	Class 10A conforming to IEC 60947-4-1
Thermal protection adjustment range	4...6 A
[Ui] rated insulation voltage	690 V power circuit conforming to IEC 60947-4-1 600 V power circuit conforming to UL 600 V power circuit conforming to CSA

ANEXO E

CATALOGO DEL EJE DE TRANSMISIÓN ACERO AISI 1018



EJES ACERO DE TRANSMISIÓN



Especificaciones Generales

Calidad: AISI 1018

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

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

Longitud: 6 m

Composición Química				
%C	%Si	%Mn	%P	%S
0 - 0.20	0 - 0.25	0 - 0.70	0 - 0.04	0 - 0.05

Dimensiones			
Diámetro			
3/8"			
1/4"			
5/8"			
3/4"			
7/8"			
1"			
1 1/4"			
1 1/2"			
1 3/4"			
2"			

Propiedades Mecánicas			
Resistencia Mecánica (N/mm ²)	Punto de fluencia (N/mm ²)	Bandación %Min.	Dureza ROCKWELL B
410 - 520	235	20	143

EJES

HOJA DE VIDA



I. DATOS PERSONALES

- Nombre: Rocha Viera Alex Geovany
- Dirección: Latacunga
- Teléfono: 0984292610
- Correo Electrónico: alejo-roch1@hotmail.com
- Fecha de nacimiento: 30-03-1996.
- Estado Civil: Soltero.
- Facebook: Alex Rocha.

II. OBJETIVO PROFESIONAL

- Desarrollar mis competencias y habilidades obtenidas durante mi formación académica en electromecánica.

III. ESTUDIO

- UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS "ESPE", Carrera de tecnología Electromecánica, Egresado, (2018)
- COLEGIO TÉCNICO Juan Abel Echeverría, Bachiller técnico industrial en Electromecánica automotriz, (2014)

IV. IDIOMAS

- UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS "ESPE", Suficiencia en Inglés, (2017)

V. CONOCIMIENTOS INFORMATIVOS

- Conocimientos básicos en Microsoft office.
- Conocimiento avanzado en Autocad, Solidwork, Fluidsim.

VI. EXPERIENCIA

- Trabaje en la Cooperativa Policía Nacional (CPN), En instalaciones de cajeros automáticos y cámaras de seguridad.
- En Novacero, Dando mantenimiento mecánico y en la parte de automatización.
- En textiles Cotopaxi en el área de mantenimiento eléctrico

VII. CURSOS Y SEMINARIOS

- Participación en el curso de "PRIMERAS JORNADAS TECNOLOGICAS INTERNACIONALES EN ELECTROMECHANICA".
- Participación en el curso de "SEGUNDA JORNADA TECNOLOGICA INTERNACIONAL EN ELECTROMECHANICA".

HOJA DE LEGALIZACIÓN DE FIRMAS

**DEL CONTENIDO DE LA PRESENTE INVESTIGACIÓN SE
RESPONSABILIZA EL AUTOR**

ROCHA VIERA ALEX GEOVANY

DIRECTOR DE LA CARRERA DE ELECTROMECAÁNICA

ING. JAVIER CULQUI

Latacunga, Octubre de 2018