



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA
TRITURADORA AUTOMÁTICA DE PLÁSTICOS P.E.T. CON
CAPACIDAD DE 15 KG/H”**

Trabajo de titulación

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar el grado académico de:

INGENIERO MECÁNICO

AUTORES:

EDWIN FABRICIO GÓMEZ JIMBO

ROBERTH VICENTE PULLUQUITIN BENAVIDES

DIRECTOR: Ing. DIEGO FERNANDO MAYORGA PÉREZ

Riobamba - Ecuador

2021

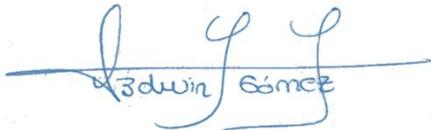
© 2021, Edwin Fabricio Gómez Jimbo; & Roberth Vicente Pulluquitin Benavides

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho del Autor.

Nosotros, Edwin Fabricio Gómez Jimbo y Roberth Vicente Pulluquitin Benavides, declaramos que el presente trabajo de titulación es de nuestra autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autores asumimos la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación. El patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 26 de febrero del 2021

Handwritten signature of Edwin Fabricio Gómez Jimbo in blue ink, with the name clearly legible below the signature.

Edwin Fabricio Gómez Jimbo
020241154-2

Handwritten signature of Roberth Vicente Pulluquitin Benavides in blue ink, enclosed in an oval shape.

Roberth Vicente Pulluquitin Benavides
150088005-7

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

El Tribunal del Trabajo de Titulación certifica que: El trabajo de titulación; tipo Propuesta Tecnológica **DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA TRITURADORA AUTOMÁTICA DE PLÁSTICOS P.E.T. CON CAPACIDAD DE 15 KG/H**, realizado por los señores : **EDWIN FABRICIO GÓMEZ JIMBO Y ROBERTH VICENTE PULLUQUITIN BENAVIDES**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del trabajo de titulación, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Ing. Edwin Fernando Viteri Núñez PRESIDENTE DEL TRIBUNAL	_____	2021-02-26
Ing. Diego Fernando Mayorga Pérez DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	_____	2021-02-26
Ing. Javier Enrique Orna Chávez MIEMBRO DEL TRIBUNAL	_____	2021-02-26

DEDICATORIA

El presente trabajo va dedicado principalmente a mis padres Vicente Pulluquitin y Marina Benavides ya que gracias a su paciencia y su apoyo incondicional me encuentro concluyendo una etapa más en mi vida, han sido mi motivo para continuar y ser una persona de bien. A mis hermanas Sandra y Linda quienes fueron apoyo en esta etapa, supieron animarme para continuar adelante en las metas que me propongo. A mi hijo Santiago y mi sobrino Josué quienes fueron una gran motivación para no desmayar y seguir esforzándome cada día a pesar de las todas las adversidades. A mi Abuelito José María Pulluquitin quien a pesar de no estar ya con nosotros siempre estuvo presente en toda esta etapa. A mi abuelita Lucinda Coque que gracias a su amor supo darme fuerzas para continuar. Así mismo a mi familia y amigos, quienes me supieron alentar a seguir adelante y me mostraron su apoyo en los momentos difíciles.

Roberth

En el presente proyecto está demostrado no sólo el esfuerzo de varios años de formación académica sino también el esfuerzo de toda mi familia por buscar hacer de mí un gran profesional y sobre todo una gran persona. Es por ello que este proyecto técnico los dedico a ellos: a mi mamá y hermanos por el apoyo incondicional a pesar de las circunstancias.

Edwin

AGRADECIMIENTO

Un agradecimiento primero a Dios quien gracias a todo el camino recorrido me ha brindado salud, fortaleza y perseverancia para poder cumplir la meta de obtener mi título profesional. A mis padres y hermanas que supieron apoyarme en toda circunstancia hasta cumplir con mi meta. A la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo por darme la oportunidad de poder haber culminado mis estudios hasta obtener mi título profesional y en especial a mi carrera la Escuela de Ingeniería Mecánica donde me ayudo a formarme como profesional gracias a la experiencia adquirida y tener la confianza de utilizarlo en el campo laboral.

Roberth

Agradezco a Dios por haber guiado mi camino en todo momento, darme sabiduría e inteligencia para cumplir uno de mis grandes sueños.

A mi familia, por creer en mí y lograr que alcance mi objetivo, convertirme en un profesional.

Edwin

TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	xiii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xv
ÍNDICE DE ANEXOS	xvii
RESUMEN	xviii
ABSTRACT	xix
INTRODUCCIÓN	1

CAPÍTULO I

1.	DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA.....	2
1.1.	Antecedentes.....	2
1.2.	Formulación del problema	2
1.3.	Justificación.....	3
1.3.1.	<i>Justificación práctica</i>	3
1.3.2.	<i>Justificación teórica</i>	3
1.3.3.	<i>Justificación metodológica</i>	3
1.4.	Objetivos.....	4
1.4.1.	<i>Objetivo General</i>	4
1.4.2.	<i>Objetivo Específico</i>	4

CAPÍTULO II

2.	REVISIÓN DE LA LITERATURA O FUNDAMENTOS TEÓRICOS	5
2.1.	El plástico	5
2.1.1.	<i>Tipos de plásticos</i>	6
2.1.2.	<i>Tereftalato de polietileno- PET</i>	7

2.1.2.1.	<i>Aplicaciones del plástico PET</i>	9
2.2.	Reciclaje	9
2.2.1.	Reciclaje de plástico PET	10
2.2.2.	<i>Tipos de reciclaje</i>	11
2.2.2.1.	<i>Reciclaje Químico</i>	11
2.2.2.2.	<i>Reciclaje Mecánico</i>	12
2.2.2.3.	<i>Reciclaje energético</i>	13
2.3.	Trituración del PET	14
2.4.	Tipos de trituradoras	14
2.4.1.	<i>Trituradora de martillos</i>	15
2.4.2.	<i>Trituradora de cuchillas</i>	15
2.5.	Métodos de diseño	16
2.5.1.	<i>Ciclo básico de diseño</i>	16

CAPÍTULO III

3.	MARCO METODOLOGICO	17
3.1.	Análisis y selección de alternativas	17
3.1.1.	<i>Metodología de Diseño</i>	17
3.1.1.1.	<i>Definición del producto</i>	17
3.1.1.2.	<i>Desarrollo de la función de calidad QFD</i>	18
3.1.1.3.	<i>Especificaciones del Producto</i>	23
3.1.2.	<i>Diseño Conceptual</i>	24
3.1.2.1.	<i>Análisis de Funcionalidad</i>	24
3.1.2.2.	<i>Definición Módulos</i>	25
3.1.2.3.	<i>Matriz Morfológica</i>	27
3.1.2.4.	<i>Criterios de Evaluación del modulo</i>	30
3.2.	Diseño y selección de componentes	34
3.2.1.	<i>Selección del Motorreductor</i>	34
3.2.1.1.	<i>Potencia de salida</i>	34
3.2.1.2.	<i>Potencia de entrada</i>	35
3.2.1.3.	<i>Cálculo de la relación de trasmisión</i>	36
3.2.1.4.	<i>Selección del motorreductor</i>	36
3.2.2.	<i>Diseño del eje de trituración</i>	39

3.2.2.1.	<i>Representación de los diagramas de cuerpo libre</i>	40
3.2.2.2.	<i>Componentes que actúan en el eje.</i>	41
3.2.2.3.	<i>Cálculos para la determinación del diámetro del eje.</i>	42
3.2.3.	<i>Selección de rodamientos</i>	55
3.2.4.	<i>Selección del acople</i>	58
3.2.5.	<i>Caja trituradora</i>	60
3.2.6.	<i>Cuchillas fijas</i>	60
3.2.7.	<i>Tolva</i>	61
3.2.8.	<i>Reservorio</i>	61
3.2.9.	<i>Acople para motorreductor</i>	62
3.2.10.	<i>Estructura metálica</i>	62
3.2.10.1.	<i>Análisis de estructura metálica</i>	64
3.2.10.2.	<i>Análisis en el programa SAP2000</i>	65
3.2.10.3.	<i>Análisis de los elementos estructurales sometidos a compresión.</i>	69
3.3.	<i>Selección de componentes eléctricos y electrónicos.</i>	72
3.3.1.	<i>Elementos eléctricos.</i>	72
3.3.1.1.	<i>Breaker o Interruptores</i>	72
3.3.1.2.	<i>Contactador LS</i>	73
3.3.2.	<i>Elementos electrónicos</i>	73
3.3.2.1.	<i>Arduino MEGA</i>	73
3.3.2.2.	<i>Relé</i>	74
3.3.2.3.	<i>Convertidor de voltaje DC-AC</i>	74
3.3.2.4.	<i>Sensor de proximidad</i>	75
3.3.2.5.	<i>Final de carrera</i>	75
3.3.2.6.	<i>Resistencia</i>	76
3.3.2.7.	<i>Paro de Emergencia</i>	76
3.3.2.8.	<i>Pulsador</i>	77
3.3.2.9.	<i>Luces piloto</i>	77
3.4.	<i>Control del prototipo de la máquina trituradora de plásticos PET.</i>	77
3.4.1.	<i>Algoritmo de proceso de la máquina trituradora de material PET</i>	77
3.4.2.	<i>Diagrama de circuito de potencia y control</i>	79
3.4.3.	<i>Etapas de control y adquisición de datos de los sensores</i>	80
3.5.	<i>Construcción y Montaje</i>	81
3.5.1.	<i>Componentes para la construcción</i>	82
3.5.2.	<i>Control de tiempo y operaciones en el proceso de construcción.</i>	84
3.5.2.1.	<i>Tiempo y operación del sistema estructural</i>	84

3.5.2.2.	<i>Tiempo y operación del sistema de trituración</i>	85
3.5.2.3.	<i>Tiempo y operación del sistema de transmisión</i>	86
3.5.2.4.	<i>Tiempo y operación del sistema de llenado y vaciado del material</i>	87
3.5.2.5.	<i>Tiempo y operación del sistema de control</i>	88
3.5.2.6.	<i>Tiempo de ensamble y automatización de la trituradora</i>	88
3.5.2.7.	<i>Tiempo de construcción y montaje</i>	89
3.6.	Manual de operación de la maquina	90
3.6.1.	<i>Instrucciones de funcionamiento de forma automática</i>	90
3.6.2.	<i>Instrucciones de funcionamiento de forma manual</i>	91
3.6.3.	<i>Manual de mantenimiento</i>	92
3.7.	Análisis de Costos	95
3.7.1.	<i>Costo directo</i>	96
3.7.2.	<i>Costos indirectos</i>	98
3.7.3.	<i>Costos totales</i>	99

CAPÍTULO IV

4.	RESULTADOS	100
4.1.	Funcionamiento de la máquina	100
4.2.	Análisis de Resultados	100
4.2.1.	<i>Tamaño de triturado</i>	100
4.2.2.	<i>Capacidad de triturado</i>	101
4.2.3.	<i>Funcionamiento del sistema de control y programación.</i>	103
4.2.4.	<i>Consumo Energético</i>	103
	CONCLUSIONES	104
	RECOMENDACIONES	105

GLOSARIO

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-2:	Tipos de plásticos	6
Tabla 2-2:	Propiedades del PET	9
Tabla 1-3:	Ficha técnica de la competencia 1	21
Tabla 2-3:	Ficha técnica de la competencia 2	22
Tabla 3-3:	Matriz QFD (Casa de la calidad).	23
Tabla 4-3:	Especificaciones del producto.....	25
Tabla 5-3:	Criterios de valores para cada solución.....	33
Tabla 6-3:	Criterios de valoración.....	33
Tabla 7-3:	Evaluación de criterio peso específico	34
Tabla 8-3:	Evaluación del criterio Eficiencia	34
Tabla 9-3:	Evaluación del criterio Dimensionamiento de la máquina	34
Tabla 10-3:	Evaluación del criterio Sistema automático	35
Tabla 11-3:	Evaluación del criterio Costo	35
Tabla 12-3:	Evaluación del criterio Mantenimiento	35
Tabla 13-3:	Tabla de conclusiones	36
Tabla 14-3:	Especificaciones del Motor seleccionado.....	38
Tabla 15-3:	Tabla de Características del motorreductor	40
Tabla 16-3:	Propiedades físicas acero AISI 1020.....	42
Tabla 17-3:	Datos para dimensionar el eje	42
Tabla 18-3:	Tabla de resumen de cálculo	54
Tabla 19-3:	Deformación del eje en el punto A, F y D.....	55
Tabla 20-3:	Propiedades del rodamiento SKF.....	59
Tabla 21-3:	Datos del perfil cuadrado metálico.....	71
Tabla 22-3:	Especificaciones Breaker Industrial trifásico modelo LS ABE103G	74
Tabla 23-3:	Interruptor Termomagnético de 3 polos RIEL DIN-Serie 200-ABB.....	74
Tabla 24-3:	Especificaciones Contactor MC-22b.....	75
Tabla 25-3:	Especificaciones Arduino Mega	75
Tabla 26-3:	Especificaciones Modulo Relé 5VDC SRD-05VDC-SL-C.....	76
Tabla 27-3:	Especificaciones del Sensor E18-D80NK.....	77
Tabla 28-3:	Especificaciones del Final de carrera V156-1C25	77
Tabla 29-3:	Especificaciones de la resistencia 1511000.....	78

Tabla 30-3:	Especificaciones del Pulsador de Hongo XB2-ES542	78
Tabla 31-3:	Pulsador XB2-BA42	79
Tabla 32-3:	Luces piloto AD212-R.....	79
Tabla 33-3:	Maquinas Herramientas	84
Tabla 34-3:	Herramientas varias	84
Tabla 35-3:	Materiales de construcción.....	84
Tabla 36-3:	Tiempo y operación del sistema estructural	86
Tabla 37-3:	Tiempo y operación del sistema de trituracion.....	87
Tabla 38-3:	Tiempo y operación del sistema de transmisión.....	89
Tabla 39-3:	Tiempo y operación del sistema de llenado y vaciado del material.....	89
Tabla 40-3:	Tiempo y operación del sistema de control.....	90
Tabla 41-3:	Tiempo de ensamble y automatización de la trituradora	91
Tabla 42-3:	Tiempo de construcción y montaje	91
Tabla 43-3:	Funcionamiento de forma automática	92
Tabla 44-3:	Funcionamiento de forma manual	93
Tabla 45-3:	Plan de mantenimiento anual	96
Tabla 46-3:	Materiales mecánicos.....	98
Tabla 47-3:	Materiales eléctricos y electrónicos	99
Tabla 48-3:	Costos de mano de obra	99
Tabla 49-3:	Costos de transporte.....	100
Tabla 50-3:	Costo total directo	100
Tabla 51-3:	Costos de imprevistos	100
Tabla 52-3:	Costos total	101
Tabla 1-4:	Muestras de plástico triturado	103
Tabla 2-4:	Capacidad de triturado sin criba.....	104
Tabla 3-4:	Capacidad de triturado con criba.....	104
Tabla 4-4:	Datos para el cálculo del consumo energético.....	105

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-2.	Botellas PET.....	8
Figura 2-2.	Aplicaciones del PET	9
Figura 3-2.	Reciclaje	10
Figura 4-2.	Reciclaje del PET	11
Figura 5-2.	Reciclaje químico	12
Figura 6-2.	Reciclaje Mecánico.....	13
Figura 7-2.	Reciclaje Energético	14
Figura 8-2.	Trituradora de Martillo	15
Figura 9-2.	Trituradora de Cuchillas	16
Figura 10-2.	Ciclo básico de diseño.	17
Figura 1-3.	Nivel 0.....	26
Figura 2-3.	Nivel 1	27
Figura 3-3.	Generación de módulos	28
Figura 4-3.	Generación de Alternativas.....	29
Figura 5-3.	Solución A.....	30
Figura 6-3.	Solución B	31
Figura 7-3.	Solución C	32
Figura 8-3.	Selección del Factor de servicio	39
Figura 9-3.	Selección del Factor de servicio por el número de horas	40
Figura 10-3.	Selección de posición del motorreductor	41
Figura 11-3.	Diagrama de cuerpo libre General 1	43
Figura 12-3.	Diagrama de cuerpo libre General 2.	43
Figura 13-3.	Cuchilla móvil	43
Figura 14-3.	Separadores de cuchillas.....	44
Figura 15-3.	Reacciones en el plano XY	46
Figura 16-3.	Diagrama de Momentos.....	47
Figura 17-3.	Diagrama de Torsores.....	47
Figura 18-3.	Dimensionamiento del eje.	50
Figura 19-3.	Representación del eje de trituración.	50
Figura 20-3.	Deformación del eje.....	55
Figura 21-3.	Caja trituradora.	62

Figura 22-3.	Cuchillas fijas.	62
Figura 23-3.	Tolva.....	63
Figura 24-3.	Reservorio.	63
Figura 25-3.	Acople para motorreductor.	64
Figura 26-3.	Estructura Metálica.	64
Figura 27-3.	Peso de una botella de 500 ml.....	66
Figura 28-3.	Estructura metálica en SAP2000.	67
Figura 29-3.	Colocación de carga muerta 1.....	68
Figura 30-3.	Colocación de carga muerta 2.....	69
Figura 31-3.	Colocación de carga muerta 3.....	70
Figura 32-3.	Resultado de la relación Demanda/Capacidad.	70
Figura 33-3.	Convertidor de voltaje.	76
Figura 34-3.	Algoritmo del proceso de trituración de Plástico PET.	80
Figura 35-3.	Esquema de circuito de fuerza.	81
Figura 36-3.	Esquema de conexión de emergencia.	82
Figura 37-3.	Esquema de Control automático.	83
Figura 1-4.	Resultado de la relación Demanda/Capacidad.	101

SIMBOLOGÍA

ϕ_c	Factor de resistencia
A_g	Área total de la sección transversal
F_{cr}	Tensión crítica
F_e	Esfuerzo de Pandeo Elástico
M_A	Momento generado por el motorreductor
P_n	Resistencia de compresión nominal
T_A	Par para motriz
T_{CU}	Torque generado por las cuchillas
T_K	Par para el acoplamiento
f_B	Factor de trabajo
f_D	Factor de rigidez torsional.
f_T	Factor de temperatura
k_a	Factor de Superficie
C	Capacidad
D	Demanda
d	Distancia de aplicación, Radio de la cuchilla
F	Fuerza necesaria para el corte de las botellas, Fuerza necesaria para la trituración de la botella.
F_a	Fuerza axial aplicada
f_h	Factor de vida
f_h	Factor de vida
f_n	Factor de velocidad
f_n	Factor de velocidad
F_r	Fuerza radial, Fuerza radial aplicada
F_y	Fuerza en el eje y
F_z	Fuerza en el eje z
HP	Potencia del motor
i	Relación de transmisión
K	Factor de longitud efectiva
K_a	Factor de Superficie
K_b	Factor de Tamaño

K_c	Factor de modificación de carga
K_d	Factor de Temperatura
K_e	Factor de Confiabilidad
K_f	Factor de efectos Varios
K_t	Factor de concentración de esfuerzos
L	Longitud, Longitud del eje
L_{10}	Vida nominal
n	Rendimiento, Rendimiento, Velocidad
n_e	Velocidad de entrada
n_s	Velocidad de salida
P	Carga dinámica equivalente, Potencia de la máquina trituradora
P_a	Potencia teórica
P_e	Potencia de entrada
q	Sensibilidad a la muestra
r	Radio de giro mínimo
RPM	Revoluciones por minuto del eje de salida del motorreductor
S_e	Límite de fatiga
S_e'	Límite de resistencia a la fatiga en viga rotatoria
S_{ut}	Resistencia última a la tensión
T	Torque necesario para la trituración
w	Velocidad angular
X	Factor de carga radial
Y	Factor de carga axial
γ	Deflexión máxima
δ	Deflexión
E	Modulo Elástico
F_e	Esfuerzo de pandeo elástico
F_y	Esfuerzo de Fluencia
a	Factor de condición a
b	Exponente de condición b

LISTA DE ABREVIACIONES

AISC	Soldadura manual por arco eléctrico
ASTM	Sociedad Americana de Ensayos de Materiales
AISC	Instituto Americano de Construcción en Aceros
CAD	Diseño Asistido por Computadora
ASME	Sociedad Americana de Mecánica

ÍNDICE DE ANEXOS

- ANEXO A:** ENSAYO DE CORTE REALIZADO POR ESTUDIANTES DE LA UTE (UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA EQUINOCCIAL).
- ANEXO B:** RENDIMIENTO DE LOS REDUCTORES DEL CATALOGO LENTAX.
- ANEXO C:** CATALOGO DE SELECCIÓN DE CAJA REDUCTORA
- ANEXO D:** PROPIEDADES DE LOS MATERIALES
- ANEXO E:** FACTOR DE SUPERFICIE
- ANEXO F:** FACTOR DE TEMPERATURA
- ANEXO G:** FACTOR DE CONFIABILIDAD
- ANEXO H:** FACTOR DE EFECTOS VARIOS
- ANEXO I:** FACTOR DE CONCENTRACION DE ESFUERZOS
- ANEXO J:** FACTOR DE TAMAÑO
- ANEXO K:** FACTOR DE CONCENTRACION DE ESFUERZOS
- ANEXO L:** SENSIBILIDAD A LA MUESCA
- ANEXO M:** SELECCIÓN DE RODAMIENTO CATALOGO SKF
- ANEXO N:** SELECCIÓN DEL FACTOR TEMPERATURA
- ANEXO O:** SELECCIÓN DE ACOUPLE DEL CATALOGO JAKOB
- ANEXO P:** DIMENSION DEL ACOUPLE DEL CATALO JAKOB.
- ANEXO Q:** SELECCIÓN DEL TUBO DE PERFIL CUADRADO DEL CATALOGO DIPAC .
- ANEXO R:** DATOS GENERADO POR EL PROGRAMA SAP2000
- ANEXO S:** CÓDIGO DE PROGRAMACIÓN
- ANEXO T:** DATA SHEET

RESUMEN

El presente proyecto técnico hace referencia al diseño y construcción de una máquina trituradora automática de plásticos P.E.T con capacidad de 15 Kg/h, , que ayudará a la protección del medio ambiente y permitirá el proceso de reducción de los desechos de este material contaminante. En la metodología para el análisis y selección de alternativas, se aplicó el método de la casa de la calidad QFD, en la cual se trabajó en tres aspectos necesarios para la máquina, lo que corresponde a la velocidad de giro, sistema de control y el sistema de trituración, donde se obtuvo como resultado en velocidad, utilizar una caja reductora, en el sistema de control, la utilización de un Arduino MEGA, sensores y en el sistema de trituración cuchillas distribuidas. La máquina seleccionada se diseñó en el software SOLIDWORKS , SAP2000 y con la norma AISI 360-10 para la aplicación en la construcción de estructuras metálicas. La parte de la automatización se lo realizó en base un algoritmo donde nos garantizó la parte automática y manual, donde para su programación se utilizó un Arduino mega, dispositivos para la detección del material a triturar y uno para el paro de la maquina por llenado de recipiente, luego por cuestiones de seguridad se colocó un sistema de emergencia. Finalmente, se diseñó, se construyó y se automatizó la máquina trituradora de material P.E.T. cumpliendo las siguientes especificaciones: una granulometría entre 5 a 10 mm, la capacidad de trituración de 14 kg/h muy cercano al valor establecido de 15 kg/h, siendo un valor aceptable para ser un prototipo con un funcionamiento satisfactorio de forma automática y manual.

Palabras clave: <TRITURADORA>, <P.E.T. (POLIETILENO TEREFRALATO-POLIESTER)>, <SISTEMA DE CONTROL>, <SOLIDWORDS (SOFTWARE)>, <SAP2000 (SOFTWARE)>, <GRANULOMETRIA>, <CAPACIDAD DE TRITURACION>



19/03/2021

0786-DBRAI-UTP-2021

ABSTRACT

This technical project refers to the design and construction of an automatic P.E.T plastic crushing machine with a capacity of 15 Kg / h, which will help to protect the environment and allow the process of reducing the waste of this polluting material. In the methodology for the analysis and selection of alternatives, the method of the QFD quality house was applied, in which three aspects necessary for the machine were worked, the rotation speed, control system and the shredding system. It was obtained as a result in speed, the use a gearbox, in the control system, the use of an Arduino MEGA, sensors and distributed blades in the shredding system. The selected machine was designed in SOLIDWORKS software, SAP2000 and with the AISI 360-10 standard for application in the construction of metallic structures. The automation part was carried out based on an algorithm in which the automatic and manual part was guaranteed. For its programming, an Arduino mega was used, devices for the detection of the material to be shredded and one for the stop of the machine by filling of container. Then for safety reasons an emergency system was placed. Finally, the P.E.T. complies the following specifications: a granulometry between 5 to 10 mm, the crushing capacity of 14 kg / h very close to the established value of 15 kg / h, it is an acceptable value to be a prototype with a satisfactory automatic and manual operation.

Keywords: <CRUSHER>, <P.E.T. (POLYETHYLENE TEREFRALATE- POLYESTER)>, <CONTROL SYSTEM>, <SOLIDWORDS (SOFTWARE)>, <SAP2000 (SOFTWARE)>, <GRANULOMETRY>, <CRUSHING CAPACITY>

INTRODUCCIÓN

Pensar en un planeta sin plástico es muy complejo, ya que en la actualidad en la vida diaria existen diferentes aplicaciones y usos de envases plásticos, como por ejemplo una simple botella que contiene una bebida. Los desperdicios que estos generan tardan cientos de años en degradarse naturalmente. Este es un tema de debate que ocupa un lugar central en debates, foros y mesas de dialogo a nivel mundial y entorno a este se toman muchas de las decisiones ambientales hoy en día (Sanmartín, 2017). Sin duda el PET tiene grandes beneficios como facilidad de producción, apariencia, calidad y peso ligero que tienen grandes ventajas en la vida cotidiana, por lo tanto, es un material muy demandado; por otro lado, este tiene las desventajas como una gran cantidad de desechos que en muchas ocasiones no son administrados correctamente y terminan en lugares que perjudican la vida de plantas animales e incluso el ser humano. Gran cantidad de desperdicios terminan en ríos y en el fondo del océano perjudicando así al medio ambiente. . Esto con un problema social con poca conciencia de reciclaje y de clasificación de los residuos en hogares, empresas e industrias agravan la problemática de desechos sólidos en gran masa, ya que una vida sin envases de Tereftalato de polietileno (PET) es casi imposible (Bruna y Suarez, 2016), sin embargo este tipo de plástico ocupado mayormente es cien por ciento reciclaje y actualmente tiene muchos usos que van desde la reutilización en manualidades hasta la producción de fibras textiles y con un correcto proceso puede volverse a ocupar en envases que contengan alimentos a .

Sin embargo, con una correcta política de reutilización es posible contribuir con este problema desde el reciclaje y el reúso de materiales especialmente de Tereftalato de polietileno (PET). La ingeniería mecánica juega un rol importante en una parte de la solución del problema ya que con las herramientas y conocimiento obtenido se pueden diseñar maquinaria que ayude en el proceso de reciclaje de este tipo de materiales (Ormaza, 2020). El diseño de una máquina trituradora de plásticos PET contribuye en la cadena de la economía circular de este tipo de materiales, y con esto beneficiar a pequeñas empresas que se dedican al reciclaje de plásticos y ver este como una gran oportunidad para el desarrollo y con esto causar un impacto favorable y elevar el nivel de calidad de vida de la población fomentando una cultura de reciclaje (Feitó et al., 2015). A partir de lo anteriormente expuesto, el presente trabajo la presente se plantea como objetivo esencial realizar un diseño adecuado y accesible para contribuir con el proceso de reciclaje de plástico PET.

CAPÍTULO I

1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA

1.1. Antecedentes

Un planeta sin uso de plástico es muy difícil de imaginar ya que el mismo es parte de la vida diaria de cada ser humano, aunque este tenga un proceso de degradación muy largo. La principal causa del deterioro del medio ambiente en la actualidad es por el uso del P.E.T (Tereftalato de Poliuretano) para la elaboración de botellas y envases plásticos (Ormaza, 2020). En Ecuador cada habitante genera un 0,86 kg de basura diaria, según el INEC (Instituto Nacional de Estadística y Censos) en Ecuador en el año 2017 se produjeron 12.337 toneladas de basura donde el 96% de la basura se entierra y solo se recicla el 4% .

Ahora, en la ciudad de Riobamba se recogen diariamente 200 toneladas de basura, alrededor del 65% de los desechos que se genera en la ciudad, es materia orgánica y el 35% es materia inorgánica. Del 35%, aproximadamente un 11% es material plástico y el 8% papel y cartón.. Lo que indica que diariamente se desechan 22 toneladas de plástico, el mismo que no es aprovechado, simplemente genera contaminación. Actualmente la ciudad no cuenta con un sistema de reciclaje por parte de la municipalidad, en otras ciudades como Quito se lo realiza, pero a pequeña escala. Dichas actividades de reciclaje son realizadas por empresas privadas con un impacto mínimo. Lo cual, nos compromete como sociedad a una búsqueda de soluciones para aliviar este problema mundial.

1.2. Formulación del problema

Un gran problema que tiene la humanidad en la actualidad es la gran cantidad de desechos plásticos y en especial PET que se desechan diariamente y que tardan cientos de años en degradarse, este es un inconveniente que a nivel internacional las autoridades competentes no han logrado resolver y tampoco los ciudadanos no han creado un hábito de reciclaje que beneficie en la solución de esta problemática .

Siendo el PET un material muy útil para la sociedad por un peso ligero y su facilidad de fabricación pero con un gran impacto ambiental que va desde la contaminación de ríos y océanos donde se ven afectados la flora y fauna de estos ecosistemas, hasta la degradación de suelos agrícolas que se ven afectados por la presencia de este tipo de plásticos bajando así su

productividad; otro problema es la acumulación de gran cantidad de botellas plásticas que en muchos casos ocasionan inundaciones por el taponamiento de alcantarillas (Ormaza, 2020); por lo tanto se ve una pequeña solución a esta problemática en el diseño de una maquina trituradora de plástico con el fin de apoyar a recicladoras que realizan el trabajo de recolección de botellas de plástico y su procesamiento para darles un nuevo uso.

1.3. Justificación

1.3.1. Justificación práctica

El presente proyecto tiene como propósito diseñar una máquina automática para triturar plásticos P.E.T. y obtener un producto granulado de ± 1 a 10 mm² para la aplicación, ya terminado el diseño se procederá a la construcción del mismo con las medidas y tolerancias propuestas por el diseño establecido, por último, se realizará las pruebas pertinentes.

Para el diseño de la máquina trituradora se tomará como referencia las máquinas elaboradas en proyectos anteriores realizados a nivel nacional e internacional, con el propósito de innovar la máquina para cubrir las necesidades que se requerirá que cumpla en su funcionamiento.

1.3.2. Justificación teórica

Para el diseño y la construcción de la máquina trituradora automática se tomará muy en cuenta el uso de los conocimientos adquiridos en la carrera. En el proceso de diseño se tomará muy en cuenta la utilización de Normas nacionales e internacionales disponibles y manejo de catálogos para la selección de algunos componentes con las medidas ya estandarizadas en el mercado, con el fin de obtener un producto de calidad que beneficie y sea útil a la sociedad

1.3.3. Justificación metodológica

Se realizará un estudio amplio para el diseño y construcción de la máquina de proyectos antes realizados con la finalidad de triturar materiales plásticos, espáticamente el PET, con el producto que se obtenga se puede realizar más investigaciones para darle un correcto uso al mismo. Brindando así una contribución a problemáticas sociales, que no solo atraviesa el país si no el planeta entero. Ya que el uso de este plástico va desde la reutilización para elaboración de botellas plásticas, hasta para la elaboración de nuevos materiales de construcción como ladrillos que con un adecuado proceso a gran escala podría beneficiar a muchas familias que viven es estado de

pobreza y que son estudios que se realizan a pequeña escala pero que con la contribución de proyectos menores como este se pueden realizar de manera más industrializada y así obtener los resultados deseados.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo General

Diseñar y construir una máquina trituradora automática de plástico P.E.T. con la capacidad de 15 Kg/h.

1.4.2. Objetivo Específico

- Realizar una fundamentación teórica sobre el tema para fortalecer la investigación.
- Diseñar y construir la máquina de acuerdo a parámetros calculados.
- Realizar las respectivas pruebas de la maquinaria.

CAPÍTULO II

2. REVISIÓN DE LA LITERATURA O FUNDAMENTOS TEÓRICOS

En el presente capítulo se tratan temas sobre la revisión de la literatura y los fundamentos teóricos que se deben conocer para el diseño, construcción y automatización de una máquina recicladora de botellas PET.

2.1. El plástico

El origen de los plásticos se remonta al año 1869 y fue realizado por primera vez John Wesley Hyatt, quien se inspiró en un concurso para cualquiera que pudiera proporcionar un sustituto del marfil. La creciente popularidad del billar había puesto a prueba el suministro de marfil natural, obtenido mediante la matanza de elefantes salvajes. Al tratar la celulosa, derivada de la fibra de algodón, con alcanfor, Hyatt descubrió un plástico que podía elaborarse en una variedad de formas e imitar sustancias naturales como carey, cuerno, lino y marfil (Almeda et al., 2018: pp. 44-57).

Posteriormente en el año 1909, Leo Hendrik Baekeland parece haber sido la primera persona en utilizar el término “materiales plásticos” para describir productos hechos de macromoléculas (resinas, elastómeros y fibras artificiales) conocido como baquelita. Los principales inventos en el mundo de los plásticos ocurrieron entre las dos guerras mundiales: el celofán en 1913, luego el cloruro de polivinilo en 1927, el poliestireno y nailon en 1938 y el polietileno en 1942 (Almeda et al., 2018: pp. 44-57).

Las primeras botellas de plástico aparecieron en 1968. En 1980, el mundo produjo 60 millones de toneladas métricas de plástico. Para el 2000, la producción alcanzó 187 millones de toneladas métricas, luego 265 millones en 2010 y 348 millones en 2017. Esa es una tasa de crecimiento promedio de 8.5% por año desde 1950 cuando fue de 1.5 millones de toneladas métricas. Hoy en día, China representa un tercio de la producción mundial, una proporción menor que la de otras industrias básicas como el acero y el aluminio. Desde 1950, se han producido 8,3 mil millones de toneladas métricas de plástico. En un estudio de 2018, la Agencia Internacional de Energía predice una producción de alrededor de 600 millones de toneladas métricas para mediados de siglo (Chalmin, 2019, pp. 6-11)

2.1.1. Tipos de plásticos

Todos alguna vez hemos observado que en los diferentes envases de plástico que usamos a diario se observa un triángulo con flechas, sin embargo, muy pocos conocen el significado de los mismos. Estos símbolos fueron desarrollados en el año 1988 por la Sociedad de la Industria de Plásticos (SPI), la numeración indica el tipo de resina que posee el envase y que ayuda a clasificar a cada recipiente para su posterior reciclaje (Contreras et al., 2018: pp. 127-129). Los principales propósitos del código SPI son:

- Obtener un sistema coherente para facilitar el reciclaje de envases plásticos usados
- Un código único para envases a nivel mundial
- Brindar información para poder identificar el contenido de resina de botellas y envases que son desechados diariamente.
- Obtener una codificación de seis tipos de resina comunes y una séptima categoría que no corresponde a otros tipos, generalmente a plásticos empleados en ingeniería. (Contreras et al., 2018: pp. 127-129).

Las categorías de los plásticos se detallan en la tabla 1.1 que se presenta a continuación.

Tabla 1-2: Tipos de plásticos

Símbolo	Tipo de plástico	Propiedades	Utilidad
	Tereftalato de Polietileno (PET)	Contacto alimentario, resistencia física, propiedades térmicas, transparente y ligero. Resistente a químicos.	Botellas y envases para bebidas y alimentos
	Polietileno de alta densidad	Poco flexible, resistente a químicos, opaco, fácil de pigmentar fabricar y manejar. Se moldea a los 75°C.	Envases para leche, helados, detergentes, shampoo, bolsas de supermercado, tapas y cubetas.
	Cloruro de polivinilo	Duro, resistente, puede ser ocupado con solventes. Moldeable a los 80°C.	Envases para plomería y tuberías. Mangueras, suelas de zapato y cables.

 <p>LDPE</p>	<p>Polietileno de baja densidad</p>	<p>Suave, flexible, translucido, moldeable a los 70°C, se raya fácilmente.</p>	<p>Película para eMPaque, fundas de basura, envases para laboratorio.</p>
 <p>PP</p>	<p>Polipropileno</p>	<p>Poco flexible, moldeable a los 140°C, translúcido, soporta solventes y versátil</p>	<p>Bolsas para snacks, sorbetes, quipo de jardinería, cajas para alimentos, cintas para eMPacar, envases de uso farmacéutico y veterinario.</p>
 <p>PS</p>	<p>Poliestireno</p>	<p>Claro, rígido, se rompe con facilidad, moldeable a los 95°C. Se afecta por grasas y solventes.</p>	<p>Cubiertos de plástico, imitaciones de cristal, juguetes, envases cosméticos</p>
 <p>PS-E</p>	<p>Poliestireno expandido</p>	<p>Esponjoso, ligero y mantiene temperaturas.</p>	<p>Envases para bebidas calientes, envases para transportar alimentos, envases de hielo seco y empaques para proteger mercadería frágil.</p>
 <p>OTHER</p>	<p>Otros (Nylon, ASB, SAN, PC)</p>	<p>Incluyen otras resinas y materiales. Sus propiedades dependen de la combinación de los plásticos.</p>	<p>Autopartes, hieleras, piezas para empaques, componentes electrónicos.</p>

Fuente: Procesos de fabricación en polímeros y cerámicos

Realizado por: (Contreras et al., 2018: p.127)

2.1.2. Tereftalato de polietileno- PET

El tereftalato de polietileno (PET) es un polímero termoplástico de uso cotidiano que pertenece a la familia de polímeros de poliéster. Las resinas de poliéster son conocidas por su excelente combinación de propiedades tales como resistencia mecánica, térmica, química y estabilidad dimensional, que es utilizada mayormente en botellas de plástico para el almacenamiento y transporte de alimentos (Richardson y Lonkengard, 2008: p.137).



Figura 1-2: Botellas PET
Fuente:

El PET es uno de los plásticos que más se puede reciclar y tiene el número "1" como símbolo de reciclaje. Y ofrece múltiples ventajas y desventajas que se detallan a continuación:

Ventajas: Es transparente, pero también se le puede dar color ya que admite algunos colorantes, es muy liviano, impermeable, no tóxico, presenta buena resistencia a esfuerzos permanentes y al desgaste, también posee alta rigidez, dureza y alta resistencia química, además tiene muy buenas propiedades térmicas y es reciclable (Juárez et al., 2011: p.2).

Desventajas: su descomposición natural tarda cientos de años, tiene un número finito de reciclado, cuando se somete a temperaturas superiores a los 230°C puede desprender ciertas sustancias tóxicas (Juárez et al., 2011: p.3).

Las propiedades físicas del Tereftalato de polietileno (PET) se detallan a continuación en la tabla 2-2.

Tabla 2-2: Propiedades del PET

Propiedad	Valor	Unidad
Densidad	1,34 – 1,39	g/cm ³
Resistencia a la tensión	59 – 72	MPa
Resistencia a la compresión	76 - 128	MPa
Tenacidad a la fractura	9,5	MPa
Resistencia al iMPacto, izod	0,01 – 0,04	J/mm
Dureza	M94 – M101 Rockwell	---
Dilatación térmica	15,2 – 24	10 ⁻⁴ /°C
Resistencia al calor	80 -120	°C
Constante dieléctrica (60Hz)	3,65	---

Absorción de agua	0,02	%
Velocidad de combustión	Consumo lento	Mm/min
Efecto de luz solar	Se decolora ligeramente	---
Calidad de mecanizado	Muy buena	---
Calidad óptica	Transparente a opaco	---
Temperatura de fusión	244 - 254	°C

Fuente: Industria del plástico

Realizado por: (Richardson y Lonkengard, 2008: pp.147-148).

2.1.2.1. Aplicaciones del plástico PET

El PET es uno de esos plásticos que son una parte del día a día. Es un tipo de polímero muy comercial importante que tiene múltiples aplicaciones que van desde envases, tejidos, piezas moldeadas para automoción, electrónica y muchos más. Puede encontrar a nuestro alrededor como botella de agua o recipiente de botella de refresco.



Figura 2-2: Aplicaciones del PET

Fuente:

2.2. Reciclaje

Se puede definir como reciclaje al proceso de recolección de materiales de desecho de hogares, empresas o industrias para su posterior transformación en productos o materia prima que puede ser nuevamente vendida y utilizada (EROSKI, 2016: p. 4).



Figura 3-2: Reciclaje
Fuente:

El proceso del reciclaje es un poco simple y es de gran ayuda para resolver muchos de los problemas ocasionados en el planeta por la excesiva contaminación ambiental. Este simple hábito nos puede ayudar a salvar grandes cantidades de recursos naturales renovables y no renovables. Por ejemplo, la reutilización de materiales reciclados disminuye el consumo de energía y por ende se reduce el consumo de combustibles fósiles, hay menos generación de CO₂ y se reduce notablemente gases de efecto invernadero y la lluvia acida (EROSKI, 2016: pp. 5-6). Además, desde el aspecto social y económico genera un gran iMPacto ya que es necesario una gran cantidad de personas para recolectar todos los materiales que son aptos para su respectivo reciclaje y transformación (Sanmartín et al., 2017: p. 38).

2.2.1. Reciclaje de plástico PET

El reciclaje del PET consiste en la reutilización de los plásticos que ya fueron empleados para algún uso ya sea en hogares o industrias. Cabe recalcar que el PET es un material 100% reciclable y que el reciclaje del mismo tiene como objetivo integrarlo nuevamente al ciclo de la materia prima. Al PET reciclado se lo llama PET. (Paz, 2016, pp. 46 - 47).



Figura 4-2: Reciclaje del PET
Fuente:

Por varios años instituciones como la FDA (Food and Drug Administration), no permitieron el uso de PET reciclado para el uso de envases que tengan contacto directo con alimentos. Por lo tanto, este material se reusaba para la fabricación de fibras, la razón por la cual no se emplea el material reciclado es porque en el proceso de reducción del material las temperaturas a las que se las realiza no son suficientemente alto para esterilizar el mismo (Paz, 2016, p.47).

Los productos elaborados a partir de PET reciclado son:

- Fibra poliéster para la industria textil
- Monofilamentos
- Envases para productos no alimentarios
- Envases para contacto alimenticio. Siempre y cuando tengan aprobación de la FDA
- Resinas de ingeniería
- Madera plástica
- Aplicaciones industriales

2.2.2. Tipos de reciclaje

Para comprender de mejor forma el reciclaje se va a detallar los tipos de reciclaje con el fin de conocer cada tipo e identificar el que se usará para el diseño de la maquina planteada.

2.2.2.1. Reciclaje Químico

Este tipo de reciclaje consiste en recolectar el material plástico para posteriormente separar las moléculas de los polímeros en la materia prima inicial, petroquímicos que luego son utilizados para la fabricación de nuevos plásticos, pero con la desventaja de que se obtienen materiales de

menor calidad que los iniciales. Este proceso es exclusivo de los plásticos (Elgegren et al., 2012: pp. 105-106). Para este tipo de reciclaje se emplean métodos químicos como: Quimiólisis, Hidrogenación, Gasificación, Pirolisis, Chemólisis y Metanólisis (Canals, 2012. p. 12).

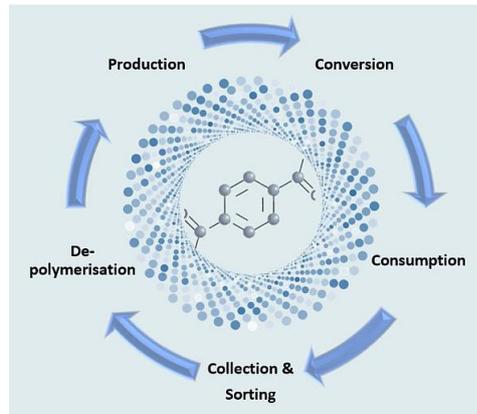


Figura 5-2: Reciclaje químico
Fuente:

2.2.2.2. Reciclaje Mecánico

Este tipo de reciclaje consta en la clasificación, limpieza y trituración del material plástico recogido. En el caso del PET (Tereftalato de polietileno) el material que se reutiliza es vendido en forma de escamas y en la mayoría de los plásticos el proceso de reciclado mecánico finaliza con el pelletizado del material (Urquiza, et al., 2016: p. 227). Es de gran importancia la limpieza de del material reciclado antes del ingreso a la trituradora, ya que las sustancias que los mismos contengan pueden provocar daños en la máquina que los tritura, una gran ventaja de este tipo de reciclaje es que se consigue un procesamiento de grandes volúmenes de material (Freire y González, 2013, pp. 22-29).



Figura 6-2: Reciclaje Mecánico
Fuente:

Las etapas del reciclaje mecánico son:

- **Recolección del plástico PET:** generalmente personas que se dedican al oficio del reciclaje buscan el material en lugares donde se desechan estos ya sea de hogares o desechos municipales, o a su vez recurren a empresas o industrias donde los desechan. Usualmente los proveedores del material recuperado suelen hacer una primera limpieza del material.
- **Clasificación:** en esta etapa en pequeñas recicladoras clasifican el material dependiendo del tipo de plástico que se recolecto.
- **Trituración:** una vez clasificado el material plástico se procede al triturado, con el objeto de reducir el espacio de almacenamiento y así facilitar el transporte y el procesamiento del material, varias empresas venden el material únicamente triturado.
- **Petelizado:** el PET triturado se funde para luego pasar por tubos muy delgados y formar una especie de hilo al que se le realiza un enfriamiento con agua, finalmente es cortado en pedazos muy pequeños conocidos como pellets.

2.2.2.3. Reciclaje energético

Este tipo de reciclaje consiste en incinerar el plástico reciclado para así poder ocuparlo como fuente de energía. El PET (Tereftalato de polietileno) posee un poder calorífico de 6.3 Kcal/Kg, y puede realizar una combustión eficiente. Las emisiones de la combustión no son tóxicas, generan tan sólo bióxido de carbono y vapor de agua (Paz, 2016, pp. 46 - 47).

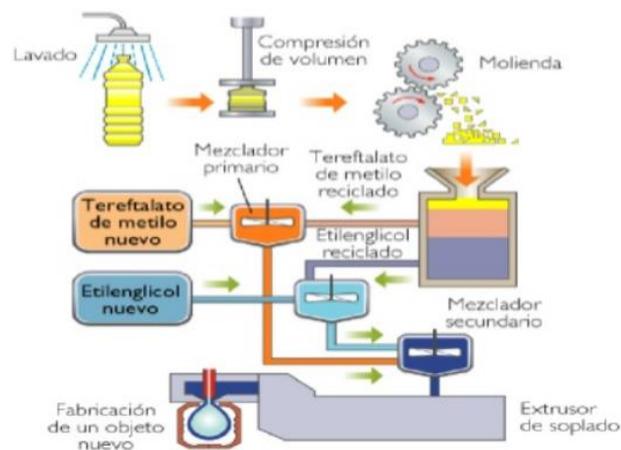


Figura 7-2: Reciclaje Energético

Fuente:

2.3. Trituración del PET

La trituración del PET es un proceso de reducción del mismo, los diferentes equipos para reducción de tamaño se dividen en trituradores, molinos, y máquinas de corte. Las trituradoras son las máquinas que se encargan de romper los envases completos que se recolectan en pedazos

más pequeños para el proceso de reutilización. Para esto es necesario conocer los diferentes tipos de etapas tanto de la trituración como de la molienda (Luque, 2019, pp. 8-9). Los mismos se detallan a continuación:

Trituración

Trituración gruesa: tamaños: 15 cm.

Trituración mediana - tamaños: entre 3 y 15 cm.

Trituración fina – tamaños: entre 0,5 y 3 cm.

Molienda

Molienda grosera: tamaños: entre 1 y 3 mm

Molienda fina: tamaños: menores de 1 mm

2.4. Tipos de trituradoras

Como se observó anteriormente las trituradoras procesan el material dejándolo de un tamaño más grueso que en un molino, he ahí su diferencia. Los trituradores de PET se utilizan para romper materiales duros y de tamaño considerable por lo tanto necesitan de más fuerza para cumplir con su objetivo. Hay diferentes tipos de máquinas trituradoras y su diseño depende del uso que vaya a tener (Luque, 2019, p. 9).

2.4.1. Trituradora de martillos

Su diseño hace que los martillos no pivoten en el eje porta martillos, por lo tanto, se consigue mayor fuerza de impacto en la periferia de la cámara de trituración Este tipo de trituradora tiene la ventaja de ser utilizada con materiales que se encuentren secos o húmedos. Además, se puede triturar materiales muy duros y frágiles (Vásconez, 2013, pp.14-15).

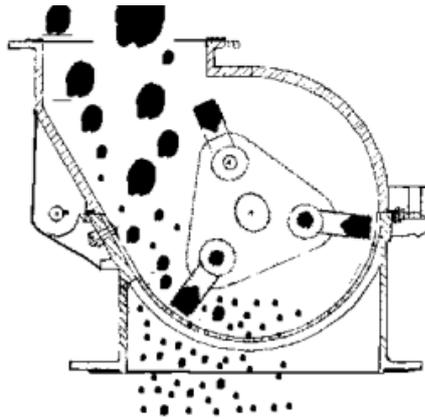


Figura 8-2: Trituradora de Martillo
Fuente: (Váscone, 2013, p.15)

2.4.2. Trituradora de cuchillas

El diseño de este tipo de trituradoras depende de su aplicación ya que el número de discos que contienen las cuchillas son variables van de 1 a 20. Dichos discos pueden ser circulares o triangulares. Generalmente, se encuentran de 2 a 3 cuchillas en la periferia de los discos. En la siguiente figura se observa una trituradora de cuchillas para plásticos (Váscone, 2013, p.15).



Figura 9-2: Trituradora de Cuchillas
Fuente:

2.5. Métodos de diseño

Se define como métodos de diseño al procedimiento las técnicas y las diferentes herramientas empleadas para diseñar un determinado producto y cada actividad que utiliza la profesional combina en el proceso general de diseño (Cross, 2002, p.43). Para desarrollar un diseño es necesario transformar una idea o necesidad en productos que puedan ser construidos fácilmente (Riba, 2002, p.70).

2.5.1. Ciclo básico de diseño

Las actividades del ciclo básico de diseño se detallan en la figura 10-2, este es un proceso sistemático que debe cumplir el diseño de un producto con el fin de garantizar un diseño de calidad. (Riba, 2002, p.72).

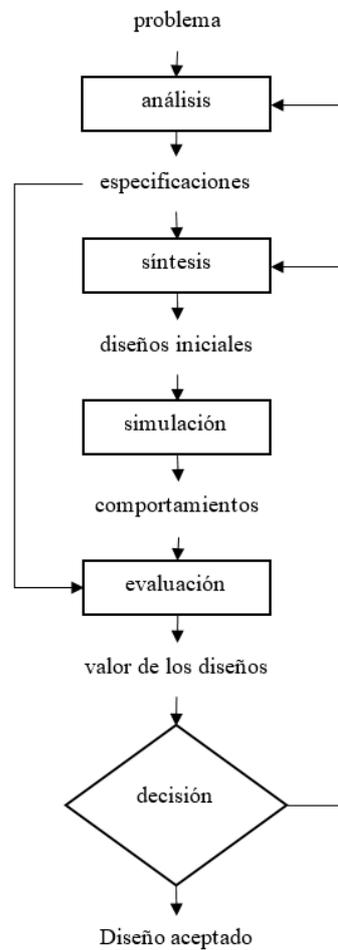


Figura 10-2: Ciclo básico de diseño
Fuente: (Riba, 2002)

CAPÍTULO III

3. MARCO METODOLÓGICO

3.1. Análisis y selección de alternativas.

En el presente capítulo se tendrá en cuenta el diseño conceptual en donde se mostrarán las posibles alternativas de soluciones que tendrá antes de su construcción, para esto se recurre al uso de la metodología de diseño en el cual se subdivide en etapas.

3.1.1. *Metodología de Diseño*

Para realizar el diseño y desarrollo de una trituradora de plásticos PET se recurre a un proceso en el que el Autor del libro “Diseño concurrente” nos dicta un proceso que consta de cuatro etapas.

3.1.1.1. *Definición del producto*

La definición del producto pretende resolver el problema anteriormente planteado, el mismo que se resuelve con el cumplimiento de forma satisfactoria con los requerimientos.

Necesidades del cliente

Los requerimientos dichos por el cliente son los que se deben cumplir para que cumplan la necesidad del mismo, en nuestro caso nuestro cliente es el grupo de investigación “GIDETER”, los requerimientos principales son:

- **Función**

La máquina tiene la función de triturar el plástico a una granulometría establecida por el usuario con la menor intervención posible.

- **Capacidad**

La capacidad de trituración de la máquina según nuestro cliente es de 15 kg/h

- **Peso**

La máquina debe ser lo más ligera posible para poder movilizarlo en diferentes puntos donde se requiera instalarlo.

- **Dimensión**

Las dimensiones de la maquina debe ser lo más compacta posible para que ocupe el menor espacio posible y así mismo que tenga fácil acceso a cualquier punto de ingreso, se podría considerar que la maquina podría ser menores a un metro en la base, ancho y alto.

- **Materiales**

Los materiales deben ser los más accesibles en el mercado del país y los adecuados para la construcción.

- **Costo**

La máquina debe ser lo menos costosa posible que las existentes en el mercado, teniendo en cuenta que la comparación de precios sea por similitud en su forma de operación.

- **Ruido**

Que sea lo más silenciosa posible en el momento de su operación

- **Fabricación y montaje**

La fabricación debe ser con tecnología accesible en el país para reemplazar cualquier componente que con el tiempo tiene presencia de desgaste, su montaje y desmontaje de ser fácil para reemplazar cualquier componente, así como su mantenimiento.

- **Seguridad**

Debe ser segura al momento de operar evitando así accidentes laborales.

- **Automatización**

El usuario debe intervenir lo menos posible, la maquina debe identificar la presencia del material para comenzar la trituración y dar por terminado el mismo por si sola.

3.1.1.2. *Desarrollo de la función de calidad QFD*

Para que la maquina cumpla con los requerimientos y necesidad del cliente o usuario nos regimos en la utilización del método del “Desarrollo de la Función de la Calidad QFD”.

Este método considerado por Carles Riba que conlleva cuatro etapas solo utilizaremos la primera etapa el cual es la planificación del producto correspondiente a la mencionada casa de la calidad, esto se debe a que el objetivo del trabajo es de diseñar y construir una máquina trituradora.

➤ *Casa de la calidad.*

Voz del Usuario

La voz del usuario es lo que el cliente desea en su máquina, lo que desea que se agregue o que le falte añadir a las demás en el mercado (Riba, 2002, p.179).

- Capacidad del triturado lo mejor posible
- La máquina debe ser ligera
- Espacio que ocupar lo más mínimo
- Bajo costo
- Facilidad de mantenimiento
- Segura al momento de operar
- Manejo accesible
- Lo más silenciosa posible
- Tamaño del triturado lo más fino posible

Voz del Ingeniero

La voz del ingeniero es la que describe los requerimientos técnicos que van a satisfacer las necesidades de los usuarios al momento de adquirir la máquina (Riba, 2002, p.180).

- Capacidad
- Peso
- Dimensiones
- Costo
- Materiales
- Seguridad
- Control
- Nivel de Ruido

- Granulometría

➤ *Análisis de competitividad*

Está relacionado con la descripción del usuario y su nivel de satisfacción hacia el producto con respecto a las demás competencias existentes en el mercado (Riba, 2002, p.178). Las maquinas trituradoras que se encuentran en el mercado del país son de capacidades mucho mayores dedicados para un trabajo industrial, la competencia se dio de máquinas que se podrían importar de otros países como en este caso de argentina donde se dedican a la venta de trituradoras similares a las que se desea diseñar con una capacidad de 10 kg/h de hasta 15 kg/h con granulometría del triturado que se desea realizar. El costo de las competencias se representa sin el costo de importación.

Tabla 1-3: Ficha técnica de la competencia 1

COMPETENCIA 1		Ficha: 1
DATOS TECNICOS- PARTES PRINCIPALES		Tipo: Trituradora De Plástico Precios
Año: 2019	INDUSTRIA TECNAPLAST	Dirección: Córdoba-Argentina
		
Descripción		Parámetros
Motor		Monofásico o trifásico
Potencia (hp)		2 – 5
Motorreductor		30:1
Caja trituradora		Monoeje con 15 móviles y 25 fijas
Material cuchillas		Acero al carbono
Largo (mm)		600
Ancho (mm)		300
Alto (mm)		1200
Capacidad (kg/h)		10
Peso (kg)		90
Tolva (mm)		300x300 tipo cónica

Granulado (mm)	5 - 10
Costo	\$2541.81

Realizado por: Gomez, E.; Pulluquitin, R. 2020

Tabla 2-3: Ficha técnica de la competencia 2

COMPETENCIA 2		Ficha: 2
DATOS TECNICOS- PARTES PRINCIPALES		Tipo: Trituradora De Plástico 2hp
Año: 2019	INDUSTRIA THEKITMAKER	Dirección: Villa crespo -Argentina
		
Descripción		Parámetros
Motor		Monofásico
Potencia (hp)		2
Motorreductor		40:1
Caja trituradora		Monoeje con 15 móviles y 25 fijas
Material cuchillas		Acero inoxidable cortadas por laser
Largo (mm)		650
Ancho (mm)		250
Alto (mm)		1100
Capacidad (kg/h)		7-10
Peso (kg)		80
Tolva (mm)		200x200
Granulado (mm)		5-8
Costo		\$3147.00

Realizado por: Gomez, E.; Pulluquitin, R. 2020

➤ *Resultados de la Matriz de Calidad*

Realizado el respectivo análisis de nuestra matriz QFD tenemos como factores importantes para la construcción de nuestra maquina los siguientes:

- **Costo:** Este factor es muy importante para la construcción de nuestra maquina ya que con ello podemos competir con otros productos.
- **Seguridad:** Nuestro equipo deber tener un alto grado de seguridad ya que con eso garantizamos los mínimos accidentes con el operario.
- **Capacidad:** Es otro factor muy importante ya que el equipo debe cumplir con la demandad desead por el usuario.
- **Dimensiones:** La dimensión de nuestra maquina debe ser conforme a las necesidades de la operación al realizar su función.
- **Control:** El equipo debe tener un fácil control y adecuado para el uso del operario.
- **Materiales:** El material de nuestra maquina deben ser de la mejor calidad para que garanticen un buen trabajo y vida útil del equipo.
- **Capacidad:** La capacidad de triturado de 15kg/h es la tercera opción en importancia para nuestro cliente, en la cual se basarán los cálculos de diseño.

3.1.1.3. Especificaciones del Producto

En el estudio anterior se pudo identificar los factores más representativos para el diseño de la máquina, con la ayuda de comparaciones con otras competencias llegamos a obtener las siguientes especificaciones técnica de nuestra máquina.

Tabla 4-3: Especificaciones del producto

Capacidad de la máquina	15 kg/h
Peso final de la maquina	80 kg
Dimensiones máximas de la maquina	Largo: 80cm; Ancho: 50cm; Alto:1100cm

Costo máximo Total	\$ 1800
Material	Acero comercial

Realizado por: Gomez, E.; Pulluquitin, R. 2020

3.1.2. *Diseño Conceptual.*

Ya conociendo las especificaciones técnicas para la máquina, se procede a realizar un análisis conceptual, esta consiste en conocer la funcionalidad de la maquina con el objetivo de establecer o definir módulos. Para cada módulo se generarán distintas soluciones las cuales serán evaluadas para establecer la mejor.

3.1.2.1. *Análisis de Funcionalidad*

Este análisis nos ayuda a conocer las funciones principales y secundarias de la máquina Trituradora de plásticos PET, se consideran las funciones principales las que el cliente requiere en la máquina, en el gráfico a continuación, se muestra la función principal.



Figura 1-3: Nivel 0

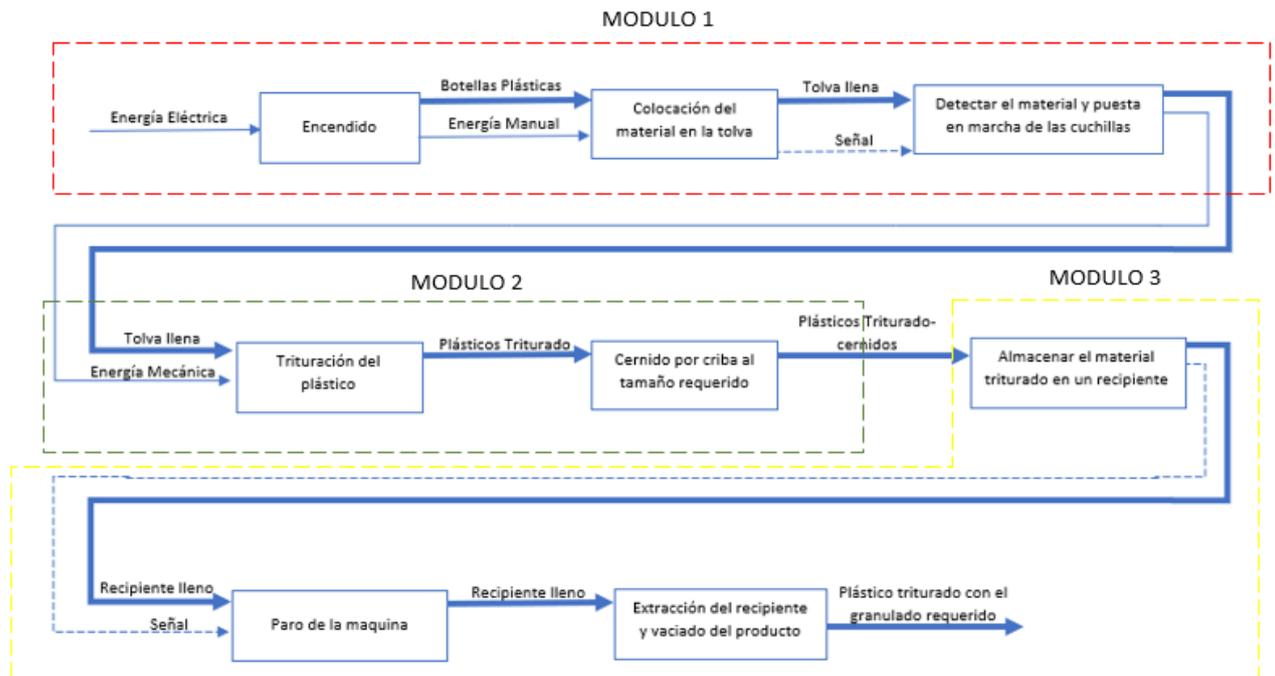
Realizado por: Gomez, E.; Pulluquitin, R. 2020

Las variables que ingresan en el primer nivel son:

- Botellas Plásticas
- Energía eléctrica
- Señal puesta en marcha

Las variables que salen:

- Plástico Triturado



Realizado por: Gomez, E.; Pulluquitin, R. 2020

3.1.2.3. Matriz Morfológica

Para la matriz morfológica se ha considerado tres posibles soluciones para que cumpla la máquina con las expectativas analizadas, esto ayudara a la elección de la mejor solución.

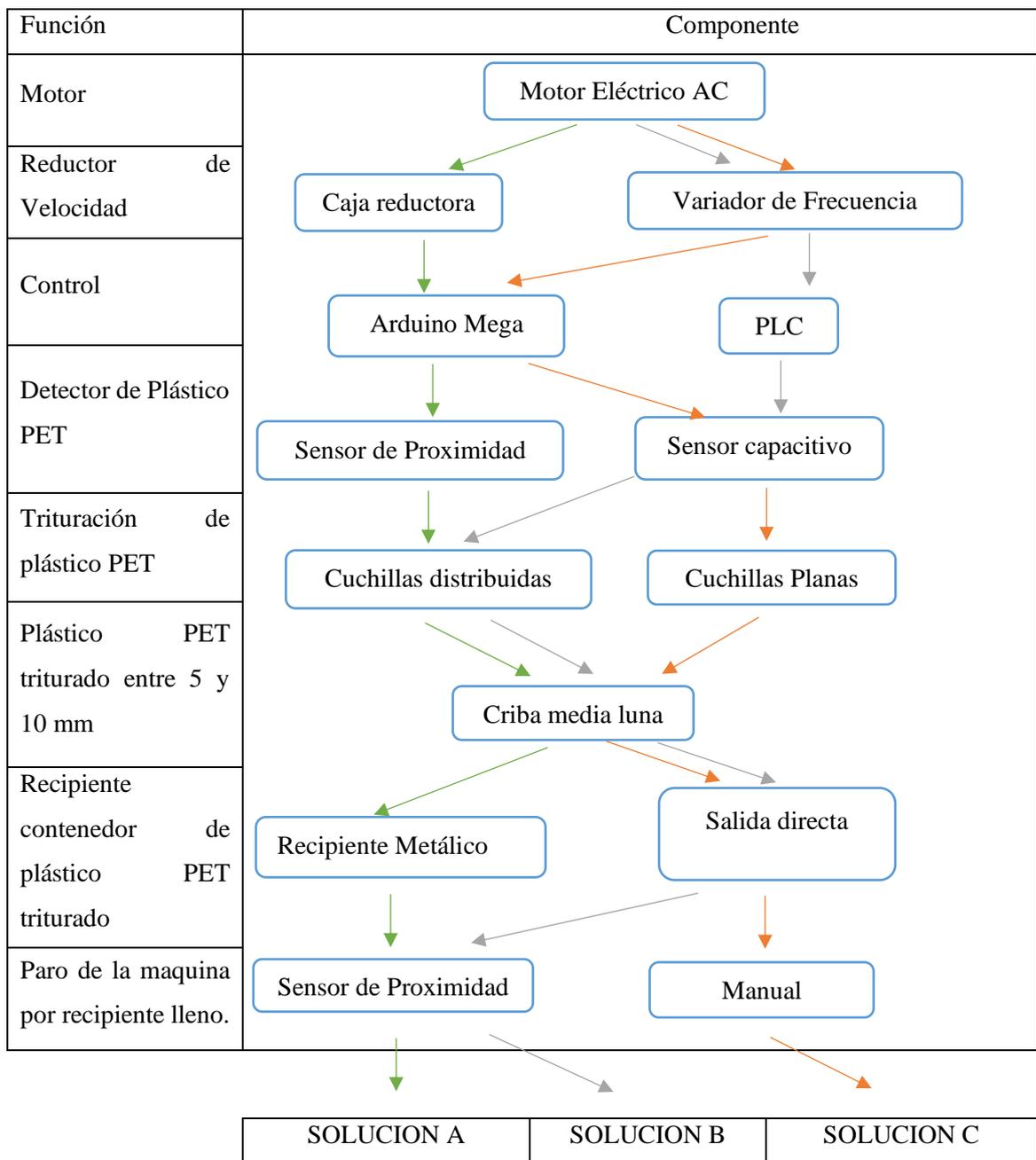


Figura 4-3: Generación de Alternativas

Realizado por: Gomez, E.; Pulluquitin, R. 2020

Ya establecidas las tres soluciones a continuación se especificará cada solución presentada en la matriz morfológica demostrando así sus ventajas y desventajas que cada una puede tener.

➤ *Alternativas de solución*

Solución A

La trituradora del material PET consta de un motor eléctrico AC el cual para disminuir su velocidad de giro se utiliza una caja reductora, así mismo como para el sistema automático se utiliza un Arduino mega. En la tolva para la puesta en marcha de la maquina se utiliza un sensor de proximidad el cual dará una señal. En el sistema de trituración se utilizará cuchillas distribuidas posterior a ellas una criba media luna donde pasará el material ya triturado con la granulometría establecida en la misma. Para el almacenamiento del material de salida se utilizará un recipiente metálico en el cual vendrá acoplado otro sensor de proximidad para la detectar el llenado del recipiente y esta conlleve al paro del proceso.

Ventajas:

Buena potencia en el triturado.

Económico y de fácil programación.

Trituración eficiente.

Poca intervención del usuario en su manipulación

Desventajas:

No existe un control de velocidad

Ingreso del material no es continuo

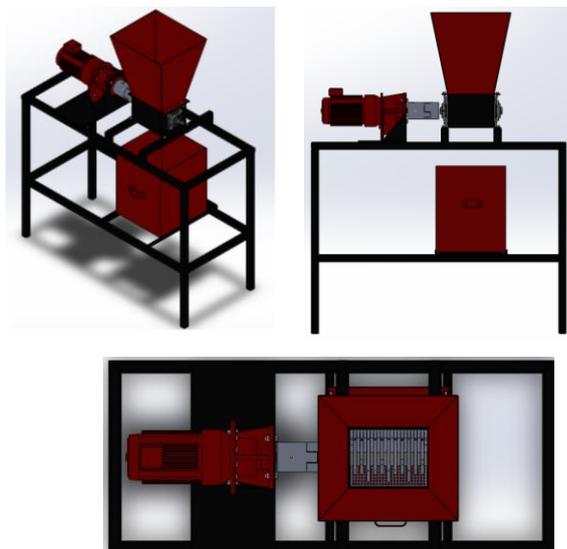


Figura 5-3: Solución A

Realizado por: Gomez, E.; Pulluquitin, R. 2020

Solución B

La máquina consta de un motor eléctrico con un varedador de frecuencia, el sistema de control estará dirigido con un PLC. Para la detección de la materia prima se utilizará un control capacitivo el cual dará una señal para la puesta en marcha de la máquina. El proceso de trituración conlleva a la utilización de una cuchilla distribuidas posterior a ella una criba media luna. En la salida del material no se colocará un recipiente que sea parte de la máquina, solamente una salida directa a cualquier contenedor (fundas, recipiente plástico, etc.) para el paro de la maquina se utilizará un sensor de proximidad para cuando no se presente ninguna salida de material este se detendrá.

Ventajas:

Un buen control de la velocidad

Mayor eficiencia en el control automático

Desventaja:

Alto costo en la parte de control

Perdida de potencia al regular la velocidad de trituración

Dificultad de vaciado del recipiente de almacenamiento

Presencia del usuario muy frecuente

Triturado deficiente

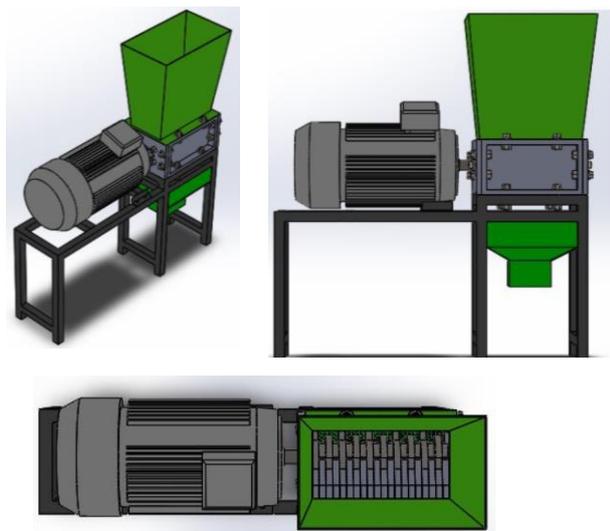


Figura 6-3: Solución B

Realizado por: Gomez, E.; Pulluquitin, R. 2020

Solución C

La máquina consta de un motor eléctrico el cual tendrá un variador de frecuencia, la parte automática será controlado un Arduino Mega. En la entrada del material se utilizará un sensor capacitivo. En el sistema de trituración se utilizará cuchillas planas y posteriormente con la criba media luna. Para el almacenamiento del material ya triturado se utilizará un sujetador de funda y para la detección de la maquina será manualmente.

Ventajas:

Control de velocidad

Bajo costo en el control automático

Desventajas:

Presencia del usuario muy frecuente

Perdida de potencia

Trituración deficiente

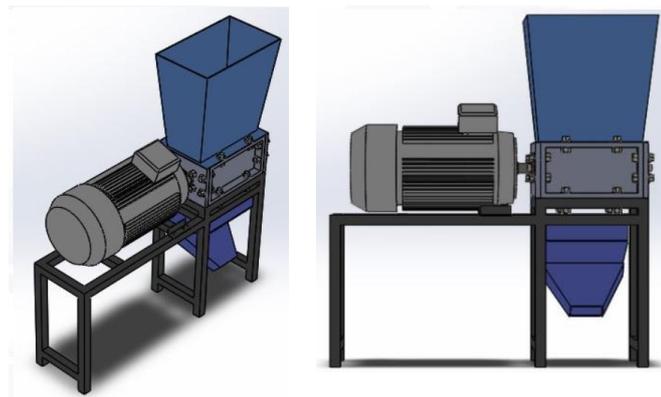


Figura 7-3: Solución C

Realizado por: Gomez, E.; Pulluquitin, R. 2020

3.1.2.4. Criterios de Evaluación del modulo

Para la selección de la mejor alternativa se utiliza el Método ordinal corregido de criterios ponderados, las ponderaciones más selectas son:

- **Eficiente**

La eficiencia de la maquina debe ser alta ya que debe cumplir con la capacidad requerida de trituración, además también debe cumplir con una trituración con un granulado de entre 5mm a 20mm.

- **Dimensiones de la máquina**

Las dimensiones de la maquina tiene que ser adecuadas para que pueda cumplir con el requerimiento de la máquina que el usuario desea.

- **Sistema de automatización**

Este sistema debe cumplir con la parte automática de la maquina donde el usuario no tendrá mucha presencia en el proceso de trituración.

- **Costo**

La máquina debe ser de costo accesible en el mercado para pequeños emprendedores, lo que encarece a la maquina son sus implementos de seguridad y de automatización, pero los mismos hacen que la maquina destaque en el mercado.

- **Mantenimiento**

El mantenimiento de dicha maquina se destacaría más en sus componentes de automatización ya que son las más importantes y delicadas de la máquina, los otros componentes de mecanismo no requieren un mantenimiento de forma profunda.

Tabla 5-3: Criterios de valores para cada solución

Solución	Eficiencia	Dim. Maquina	Sist. Aut.	Costo	Mantenimiento
Solución A	2	4	5	3	2
Solución B	3	4	4	4	4
Solución C	4	5	4	3	3

Realizado por: Gomez, E.; Pulluquitin, R. 2020

Grado de importancia de cada criterio:

Tabla 6-3: Criterios de valoración

1	Eficiencia
2	Dimensiones de la maquina
3	Sistema automático
3	Costo
2	Mantenimiento

Realizado por: Gomez, E.; Pulluquitin, R. 2020

Ya conocido los principales criterios y analizados se procede a evaluar el peso específico de cada criterio:

Tabla 7-3: Evaluación de criterio peso específico

Criterio	Eficiencia	Dim. Maquina	Sist. Aut.	Costos	Mantenimiento	$\Sigma+1$	Ponderación
Eficiencia	-	1	1	1	1	5	0.33
Dim. Maquina	0	-	1	1	0.5	3.5	0.23
Sist. Aut.	0	0	-	0.5	0	1.5	0.1
Costo	0	0	0.5	-	0	1.5	0.1
Mantenimiento	0	0.5	1	1	-	3.5	0.23
						15	1

Realizado por: Gomez, E.; Pulluquitin, R. 2020

Evaluación el peso específico del criterio “Eficiencia”

Tabla 8-3: Evaluación del criterio Eficiencia

Eficiencia	A	B	C	$\Sigma+1$	Ponderación
A	-	1	1	3	0.5
B	0	-	1	2	0.33
C	0	0	-	1	0.16
				6	1

Realizado por: Gomez, E.; Pulluquitin, R. 2020

Evaluación del peso específico del criterio de “Dimensionamiento de la máquina”.

Tabla 9-3: Evaluación del criterio Dimensionamiento de la máquina

Dim. Maquina	A	B	C	$\Sigma+1$	Ponderación
A	-	0.5	1	2.5	0.42
B	0.5	-	1	2.5	0.42
C	0	0	-	1	0.16
				6	1

Realizado por: Gomez, E.; Pulluquitin, R. 2020

Evaluación del peso específico del criterio “Sistema automático”

Tabla 10-3: Evaluación del criterio Sistema automático

Sist. Automático	A	B	C	$\Sigma+1$	Ponderación
A	-	0	0	1	0.16
B	1	-	0.5	2.5	0.42
C	1	0.5	-	2.5	0.42
				6	1

Realizado por: Gomez, E.; Pulluquitin, R. 2020

Evaluación del peso específico del criterio “Costo”

Tabla 11-3: Evaluación del criterio Costo

Costo	A	B	C	$\Sigma+1$	Ponderación
A	-	1	0.5	2.5	0.42
B	0	-	0	1	0.16
C	0.5	1	-	2.5	0.42
				6	1

Realizado por: Gomez, E.; Pulluquitin, R. 2020

Evaluación del peso específico del criterio “Mantenimiento”

Tabla 12-3: Evaluación del criterio Mantenimiento

Mantenimiento	A	B	C	$\Sigma+1$	Ponderación
A	-	1	1	3	0.5
B	0	-	0	1	0.16
C	0	1	-	2	0.33
				6	1

Realizado por: Gomez, E.; Pulluquitin, R. 2020

Tabla 13-3: Tabla de conclusiones

Conclusiones	Eficiencia	Dim. Maquina	Sist. Aut.	Costos	Mantenimiento	Σ	Ponderación
A	0.165	0.0966	0.016	0.042	0.115	0.4346	1
B	0.1089	0.0966	0.042	0.016	0.0368	0.3003	2
C	0.0528	0.0368	0.042	0.042	0.0759	0.2495	3

Realizado por: Gomez, E.; Pulluquitin, R. 2020

Ya evaluado los pesos específicos, el resultado de la tabla de conclusiones nos da la solución más adecuada para el diseño la cual es la solución A.

3.2. Diseño y selección de componentes

Con el estudio de alternativas se procede a realizar el diseño y la selección de elementos de nuestra máquina, para ello es necesario definir ciertas características y condiciones que debe tener nuestra trituradora de material P.E.T.

- La capacidad del equipo es de 15 kg/h.
- La dimensión apropiada de la maquina son: largo máximo de 80 cm, ancho máximo de 50 cm y una altura máxima de 110 cm.
- Se utilizará acero Comercial A36.

Para proceder con el diseño de la maquina utilizaremos la ayuda de softwares de CAD, como lo son SOLIDWORKS, SAP 2000 y AUTOCAD.

3.2.1. Selección del Motorreductor

3.2.1.1. Potencia de salida.

El primer paso a considerar es el cálculo de la potencia necesaria en la máquina para triturar de forma eficiente las botellas de plásticos, la fuerza necesaria para triturar una botella es de 3123N (Ortiz, 2016: p. 88). El dato se obtuvo en base a los ensayos de corte por estudiantes de la Universidad Tecnológica Equinoccial en el laboratorio de la Escuela Politécnica Nacional, el mismo que se lo puede observar en el anexo A, el cálculo que se realiza es el siguiente:

Motorreductor

Formula de la potencia

$$P = T * w \quad (1)$$

P: Potencia de la máquina trituradora. (Kw)

T: Torque necesario para la trituración (Nm)

w: Velocidad angular (rpm)

Torque necesario

$$T = F * d \quad (2)$$

T: Torque necesario para la trituración. (Nm)

F: Fuerza necesaria para la trituración de la botella. (N)

d: Distancia de aplicación (m)

$$T = (3123)(0.02)$$

$$T = 62.46 \text{ Nm}$$

La velocidad de trabajo necesaria para la máquina trituradora es de 200 rpm, ya obtenido el torque y la velocidad de trabajo se utilizará la ecuación (1) obteniendo una potencia de:

$$P = (62.46) * \left(200 \frac{\text{rev}}{\text{min}} * \frac{2\pi \text{ rad}}{1 \text{ rev}} * \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}} \right)$$

$$P = 1308.16 \text{ W} = 1.308 \text{ Kw}$$

$$P = 1.75 \text{ HP}$$

3.2.1.2. Potencia de entrada

Para el cálculo de la potencia de entrada necesitamos el rendimiento de la caja reductora para esto nos guiaremos del catálogo LENTAX. Del anexo B podemos obtener el rendimiento de las cajas reductoras lineales del 98.5%, luego se realiza el siguiente cálculo:

$$P_e = \frac{P_a}{n} \quad (3)$$

Pe: potencia de entrada (Hp)

Pa: Potencia teórica (Hp)

n: rendimiento (%)

$$P_e = \frac{1.75}{98.5\% * \frac{1}{100\%}}$$

$$P_e = 1.78 \text{ Hp}$$

En el Anexo C se realiza la preselección del motor de la caja reductora del catálogo antes mencionado, los seleccionados son:

Tabla 14-3: Especificaciones del Motor seleccionado

Potencia de entrada	Velocidad de entrada	Relación	Modelo	Velocidad Aproximada
1.5 kW	18.0	7.73	C00T2 2	1410
2.00HP	206.0	6.85	TR 2.00	1410

Fuente: (LENTAX, 2018)

Realizado por: Gomez, E.; Pulluquitin, R. 2020

3.2.1.3. Cálculo de la relación de transmisión

$$i = \frac{n_e}{n_s} \quad (4)$$

i: relación de transmisión

n_e: velocidad de entrada (rpm)

n_s: velocidad de salida (rpm)

$$i = \frac{1410}{200}$$
$$i = 7.05$$

3.2.1.4. Selección del motorreductor

Con la relación de transmisión hacemos un recalcu para la selección del motorreductor.

Modelo C00T2 200

Características

Velocidad de entrada 1410 rpm

Velocidad de salida 182.10 rpm

Factor de seguridad 2.3

Relación de transmisión 7.73

- *Cálculo del factor de servicio*

En el catálogo del fabricante LENTAX nos da ciertos factores de servicio de las maquinas más frecuentes según su tipo de trabajo a efectuar, ahí se realizará una selección para el factor de servicio que tendrá nuestra máquina.

TRITURACION Y MOLIENDA (cemento-cal-yeso)				STONE AND CLAY WORKING MACHINES
Trituradoras de mandíbulas	1.65	1.8	1.8	Jaw crushers
Trituradoras de cono	1.65	1.8	1.8	Cone crushers
Trituradoras rotativas	1.65	1.8	1.8	Gyratory crushers
Quebrantadoras rotativas	1.65	1.8	1.8	Rotary breakers
Hornos rotativos	1.8	2	2	Rotary ovens
Sopladores	1.4	1.5	1.5	Blowers
Zarandas vibratorias	1.5	1.6	1.6	Vibrating screens
Molinos de martillos	1.8	2	2	Hammer mills
Molinos de bolas	1.65	1.8	1.8	Ball mills
Molinos de percusión	1.9	2.1	2.1	Beater mills
Molinos tubulares	1.8	2	2	Tube mills
Machacadoras	1.8	2	2	Breakers

Figura 8-3: Selección del Factor de servicio
Fuente: (LENTAX, 2018)

El factor de servicio seleccionado es de 1.8 porque nuestra maquina será una trituradora rotativa.
Ahora

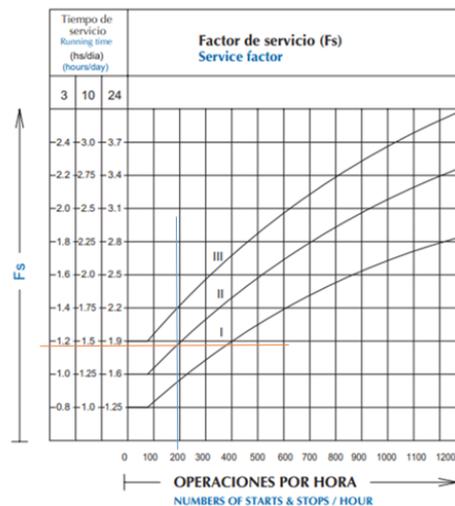


Figura 9-3: Selección del Factor de servicio por el número de horas
Fuente: (LENTAX, 2018)

Seleccionamos un factor de servicio por horas de trabajo.

$F_s = 1.15$

Al ser nuestra maquina rotativa, pero trabaja pocas horas al día seleccionamos nuestro factor de servicio $F_s = 1.15$

- *Cálculo de la potencia de mando.*

Con el cálculo de esta potencia verificamos la selección de nuestro motorreductor.

$$i = \frac{ne}{ns} \quad (4)$$

$$Pm = Pe * Fs \quad (5)$$

$$Pm = 1.78 * 1.15$$

$$Pm = 2.047 \text{ Hp}$$

Hacemos una última selección utilizando nuestra potencia de mando y nuestra relación de transmisión, para esto se utiliza el anexo C nuevamente. En conclusión, se nuestro modelo final seleccionado es:

Modelo TR 200

Tabla 15-3: Tabla de Características del motorreductor

CARACTERISTICAS	
Velocidad de entrada	1410 rpm
Velocidad de salida	206 rpm
Relación de transmisión	6.85
Factor de seguridad	1.9
Peso	32 kg

Fuente: (LENTAX, 2018)

Realizado por: Gomez, E.; Pulluquitin, R. 2020

- *Posición del reductor*

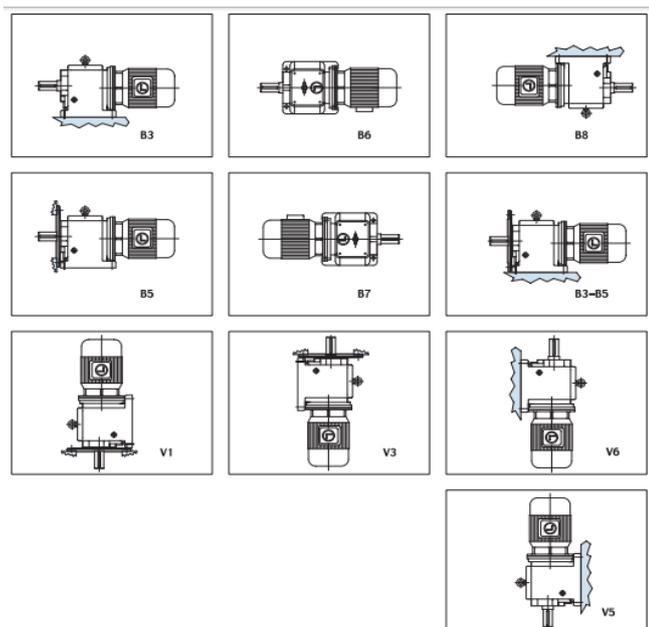


Figura 10-3: Selección de posición del motorreductor

Fuente: (LENTAX, 2018)

Según la posición del ensamble y como va ir ubicado en nuestra maquina seleccionamos posición B3

Ya realizado todo el análisis llegamos a la selección de nuestra caja que sería la siguiente

TR 2,00-200-B3

3.2.2. *Diseño del eje de trituración*

A continuación, procedemos al cálculo del eje de nuestra máquina, para ello aplicaremos parámetros de diseño lo que es análisis fatiga, análisis de rigidez y análisis de resonancia.

También una característica muy importante será que nuestro eje lo vamos a construir de acero AISI 1020 y nos servirá para poder sacar las propiedades del material y proceder al diseño de nuestro eje.

La tabla siguiente mostramos las propiedades físicas de nuestro material de trabajo, en este caso el acero AISI 1020 el cual se obtuvo del anexo D.

Tabla 16-3: Propiedades físicas acero AISI 1020

Tipo	densidad (Kg/m ³)	Módulo de elasticidad		Resistencia a la fluencia (Sy)		Resistencia a la rotura		Resistencia a la tensión (Sut)	
		PSI x10 ⁶	MPa	KSI	MPa	KSI	MPa	KSI	MPa
Acero de bajo carbono AISI 1020	7860	30	207	43	390	57	395	64	470

Fuente: (Hamrock et al., 1999)

Realizado por: Gomez, E.; Pulluquitin, R. 2020

Tabla 17-3: Datos para dimensionar el eje

Datos para dimensionar el eje		
Velocidad	N	200 rpm
Potencia	P	2 hp
Factor de seguridad	n	2
Material	AISI 1020	
Resistencia a la fluencia	Sy	390 MPa
Resistencia a la tensión	S _{ut}	470 MPa

Fuente: (Hamrock et al., 1999)

Realizado por: Gomez, E.; Pulluquitin, R. 2020

3.2.2.1. Representación de los diagramas de cuerpo libre

Con la ayuda de un programa de CAD realizamos la respectiva representación de las cargas que actúan sobre nuestro eje de trabajo, para la representación de estas cargas tenemos que tomar en cuenta varios aspectos, las cuchillas y separadores actúan como una carga completamente distribuida a lo largo del eje, representamos también el par torsor provocado por el motorreductor, por último, representamos las reacciones que provocan los apoyos del eje. En nuestro diagrama de cuerpo libre también podemos notar la presencia de las longitudes de eje lo cual nos servirá para facilitar el cálculo.

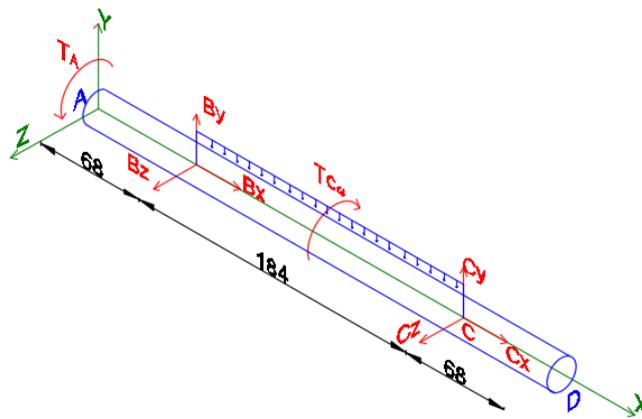


Figura 11-3: Diagrama de cuerpo libre General 1

Fuente: Gomez, E.; Pulluquitin, R. 2020

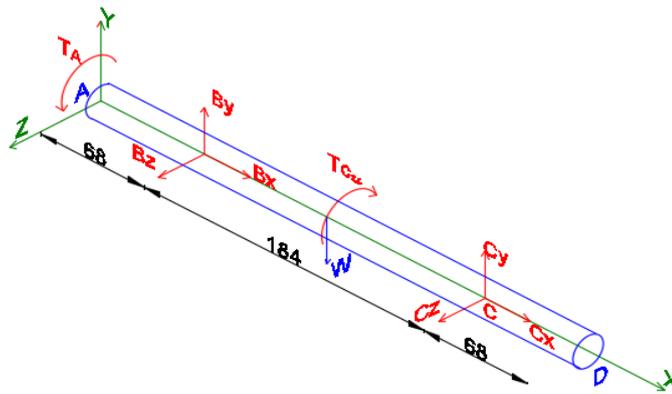


Figura 12-3: Diagrama de cuerpo libre General 2.

Fuente: Gomez, E.; Pulluquitin, R. 2020

3.2.2.2. Componentes que actúan en el eje.

Con la ayuda del programa SolidWorks procedemos a calcular la mayoría de componentes de nuestra máquina para facilitar el diseño.

- **Cuchilla**

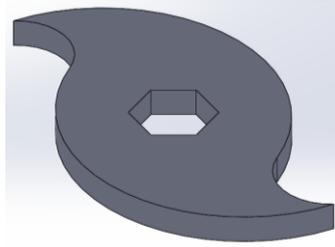


Figura 13-3: Cuchilla móvil
Fuente: Gomez, E.; Pulluquitin, R. 2020

La cuchilla es elaborada de acero A36, con un espesor de 8 mm, utilizaremos 11 de ellas, por lo cual debemos saber la masa de cada una, para el posterior diseño del eje.

Con la ayuda de SolidWorks, calculamos la masa de la cuchilla, siendo esta de 379,67 g, con un total de 11 cuchillas, la masa total es de 4.16 Kg.

- **Separador**

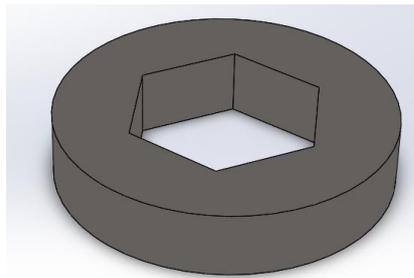


Figura 14-3: Separadores de cuchillas
Fuente: Gomez, E.; Pulluquitin, R. 2020

El separador al igual q la cuchilla será elaborada de un acero ASTM A36 comercial, con un espesor de 8 mm, utilizaremos 12 de ellas, por lo cual debemos saber la masa de cada una, para el posterior diseño del eje.

Con la ayuda de SolidWorks, calculamos la masa del separador, siendo esta de 189,91 g, con un total de 12 separadores, la masa total es de 2.28 Kg.

3.2.2.3. *Cálculos para la determinación del diámetro del eje.*

Para proceder con los cálculos en el que se hallara el diámetro del eje se realizara primero las siguientes consideraciones:

- **Determinación de las fuerzas puntuales que actúan en nuestro eje.**

Para la determinación de fuerzas para nuestro eje vamos a apoyarnos de nuestro software CAD SolidWorks, para el cálculo de los pesos de las componentes como es el peso de la cuchilla, separadores, con la ayuda de nuestro software podremos sacar dichas fuerzas.

- **Peso total de las cuchillas y separadores**

Teniendo en cuenta la masa de cada cuchilla, separador y el número de ellas procedemos a sacar una masa total para luego proceder a sacar el peso total.

$$m_{cuchilla} = 379.67 \text{ gr}$$

$$m_{separador} = 189.91 \text{ gr}$$

$$m_{Tcuchilla} = m_{cuchilla} * \#cuchillas$$

$$m_{Tcuchilla} = 379.67 * 11$$

$$m_{Tcuchilla} = 4176.37 \text{ gr} = 4.16 \text{ kg}$$

$$m_{Tseparador} = m_{separador} * \#separadores$$

$$m_{separador} = 189.91 * 12$$

$$m_{separador} = 2278.92 \text{ gr} = 2.28 \text{ kg}$$

$$m_{total} = m_{Tcuchilla} + m_{Tseparador}$$

$$m_{total} = 4.16 + 2.28$$

$$m_{total} = 6.44 \text{ kg}$$

Con la ayuda de la ecuación (6) podremos hallar el peso total que actúa en nuestro eje, sabiendo que la gravedad tiene un valor de $9,8 \text{ m/s}^2$.

$$W = m * g \tag{6}$$

$$W = m_{total} * g$$

$$W = (6.44)(9.8)$$

$$W = \mathbf{63.11 \text{ N}}$$

- **Determinación del torque necesario en las cuchillas**

La fuerza necesaria para el triturado de las botellas de plástico es de 3123 N.

Con esta fuerza calculamos el torque generada por las cuchillas. (T_{CU})

$$T_{CU} = F \cdot d \quad (7)$$

Donde:

T_{CU} : Torque generada por las cuchillas

F: Fuerza necesaria para el corte de las botellas

d: Radio de la cuchilla

$$T_{CU} = (3123 \text{ N})(40\text{mm})$$

$$T_{CU} = 124920 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

- **Determinación del momento generado**

El momento generado por el motor reductor se representa por M_A , y se calcula de la siguiente manera:

$$M_A = \frac{HP * 716}{RPM} \quad (8)$$

Donde:

M_A : Momento generado por el motorreductor (Kgm)

HP: Potencia del motor

RPM: revoluciones por minuto del eje de salida del motorreductor

$$M_A = \frac{(2 \text{ HP}) * 716}{(200 \text{ rpm})}$$

$$M_A = 7,16 \text{ kg} \cdot \text{m}$$

Transformándolo a N.mm, nos da como resultado.

$$M_A = 70168 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

Ya obtenido los datos a considerar de las fuerzas que actúan en el eje a diseñar se procede a realizar los respectivos cálculos para hallar el diámetro de diseño, primero se realiza el cálculo de las reacciones en el plano XY, luego con los datos obtenidos se tiene el diagrama de momentos y finalmente el diagrama de momentos torsores.

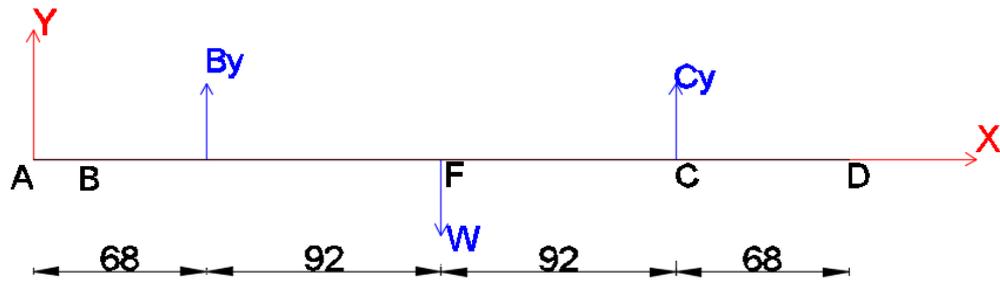


Figura 15-3: Reacciones en el plano XY
Fuente: Gomez, E.; Pulluquitin, R. 2020

$$\sum M_C = 0$$

$$B_y(184) = 63.11(92)$$

$$B_y = 31.56 \text{ N}$$

$$\sum F_y = 0$$

$$C_y = (63.11 - 31.56) \text{ N}$$

$$C_y = 31.55 \text{ N}$$

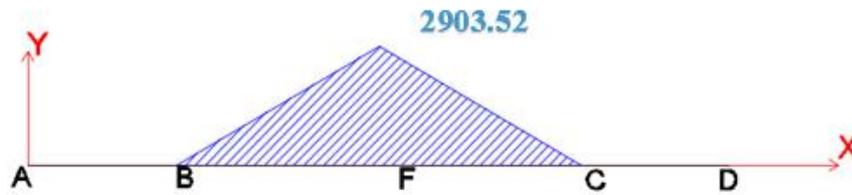


Figura 16-3: Diagrama de Momentos.
Fuente: Gomez, E.; Pulluquitin, R. 2020

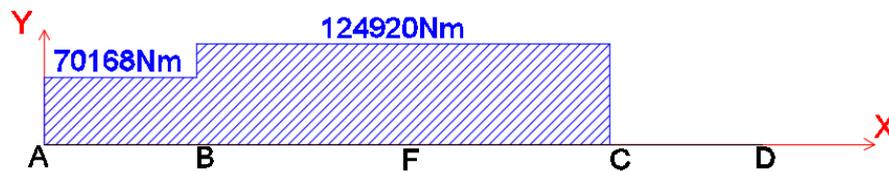


Figura 17-3: Diagrama de Torsores.
Fuente: Gomez, E.; Pulluquitin, R. 2020

Después de realizar los diagramas de momentos torsores y momento flector analizamos y seleccionamos el punto más crítico para proceder a realizar el diseño del eje.

Punto crítico F

$$M_F = 6284.25 \text{ Nmm}$$

$$T_F = 124920 \text{ Nmm}$$

Ya con los datos obtenidos procedemos a hallar el diámetro crítico.

$M_a = 6284,25 \text{ Nmm}$ momento amplitud

$M_m = 0$ momento medio

$T_a = 0$ torque amplitud

$T_m = 129020 \text{ Nmm}$ torque medio

Aplicando la ecuación de la norma ASME B106.1M

$$d_1 = \left\{ \frac{16n}{\pi} \left[4 \left(\frac{k_f M_a}{S_e} \right)^2 + 3 \left(\frac{k_{fs} T_a}{S_e} \right)^2 + 4 \left(\frac{k_f M_m}{S_y} \right)^2 + 3 \left(\frac{k_{fs} T_m}{S_y} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \right\}^{\frac{1}{3}} \quad (9)$$

Considerando $k_f = 1.6$ y $k_{fs} = 1.4$

Para este análisis el límite de fatiga se calcula con la siguiente fórmula:

$$S_e = k_a k_b k_c k_d k_e k_f S_e' \quad (10)$$

Donde:

S_e : Límite de fatiga [MPa]

K_a : Factor de Superficie

K_b : Factor de Tamaño

K_c : Factor de modificación de carga

K_d : Factor de Temperatura

K_e : Factor de Confiabilidad

K_f : Factor de efectos Varios

S_e' : Limite de resistencia a la fatiga en viga rotatoria

Para un material AISI/SAE 1020 sus propiedades mecánicas son:

$S_{ut} = 470 \text{ MPa}$

$S_y = 390 \text{ MPa}$

Para encontrar el factor de superficie se utilizará el anexo E, el cual se sabe que el acabado superficial es maquinado, entonces:

$k_a = 0.9$ Maquinado o laminado en frio.

Para el factor de tamaño se considerar un valor asumido de:

$k_b = 0.906$.

Factor de modificación de carga $k_c = 1$ debido que está sometido a flexión.

Factor de Temperatura $k_d = 1$ a condiciones normales, ver Anexo F.

Factor de Confiabilidad $k_e = 0,897$, ver el Anexo G

El factor de efectos Varios k_f se obtiene mediante la siguiente fórmula:

$$k_f = q(k_t - 1) + 1 \quad (11)$$

Donde:

K_f : Factor de efectos varios

q : Sensibilidad a la muestra

K_t : Factor de concentración de esfuerzos

Para la obtención de la sensibilidad a la muesca con un $q = 0.85$ su valor aproximado de radio de muesca es de 0.08 in, ver en Anexo H. El factor $K_t = 1.61$ como se muestra en el anexo I.

Reemplazando los valores se obtiene que el factor de esfuerzos varios es igual a:

$$k_f = 0,85(1,61 - 1) + 1$$

$$k_f = 1.52$$

Para S_e' a flexión se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$S_e' = 0.5 * S_{ut} \quad (12)$$

Donde:

S_e' : Limite de resistencia a la fatiga en viga rotatoria [MPa]

S_{ut} : Resistencia última a la tensión [MPa]

Reemplazando los valores tenemos que es igual a:

$$S_e' = 0.5 * 470 = 235 \text{ MPa}$$

Con los resultados anteriores calculados reemplazamos en la fórmula y tenemos:

$$S_e = 0,9 * 0,906 * 1 * 1 * 0,897 * 1,52 * 235$$

$$S_e = 261,26 \text{ MPa}$$

Finalmente, para el diámetro reemplazamos en la fórmula los valores y tenemos:

$$d_c = \left\{ \frac{16 (2)}{\pi} \left[4 * \left(\frac{1,6 * (6284,25) \text{ Nmm}}{261,26 \text{ N/mm}^2} \right)^2 + 3 * \left(\frac{1,4 * (124920) \text{ Nmm}}{390 \text{ N/mm}^2} \right)^2 \right]^{1/2} \right\}^{1/3}$$

$$d_c = 19,96 \text{ mm} = 20 \text{ mm}$$

Para las demás secciones se toma una relación $D/d = 1.6$ debido a que la mayor carga aplicada se encuentra en el punto C los demás puntos resultan con diámetros muy pequeños y para evitar un cambio de sección brusca se utiliza dicha relación.

Se realizará el primer dimensionamiento del eje considerando que para evitar que el eje sea muy pesado se realizó las siguientes relaciones:

$$\frac{D}{d} = 1,2 \quad \text{y} \quad r = 0,125 \quad \text{para zonas donde no se puede hallar el radio.}$$



Figura 18-3: Dimensionamiento del eje.

Fuente: Gomez, E.; Pulluquitin, R. 2020

• Recalculo del eje

Para proceder al recalculo del eje, vamos a tomar muchas consideraciones que no tomamos al principio una de ellas es el peso del eje, con la ayuda de un programa de CAD en nuestro caso SolidWorks, sacamos la masa del eje. Se tomará también en consideración que para la sujeción de nuestras cuchillas el eje tendrá una sección hexagonal para la colocación de las cuchillas y separadores.

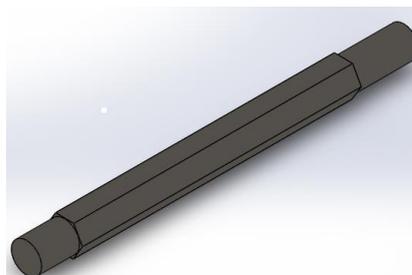


Figura 19-3: Representación del eje de trituración.

Fuente: Gomez, E.; Pulluquitin, R. 2020

La masa del eje es la siguiente.

$$m = 0.7024 \text{ Kg}$$

Calculamos el peso de nuestro eje con la ecuación (6) antes mencionado y el valor es de:

$$W_{eje} = (0.7024)(9.8)$$

$$W_{eje} = 6.88 \text{ N}$$

Calculamos valor de momentos

$$M_F = 3219.54 \text{ Nmm}$$

$$T_F = 124920 \text{ Nmm}$$

Límite de fatiga

Para proceder al recalcu del límite de fatiga utilizaremos la siguiente ecuación:

$$k_a = a * S_{ut}^b \quad (14)$$

Donde:

k_a : Factor de Superficie

a : Factor de condición a

b : Exponente de condición b

S_{ut} : Resistencia última a la tensión [MPa]

El factor y el exponente de condición se lo selecciona de la tabla en el Anejo J, se seleccionará de acuerdo al acabado superficial de nuestro eje.

Para selección de nuestros factores tomar en cuenta el acabado del eje, el cual en nuestro caso sea un maquinado o laminado en frío para ello tenemos los siguientes valores.

$$a = 4.51 \text{ MPa}$$

$$b = -0.265$$

$$k_a = 4.51 * (470)^{-0.265}$$

$$k_a = 0.88$$

Para el recalcu del factor de tamaño será tomado de la siguiente tabla que se muestra en el Anexo J.

Para esta selección tomar en cuenta el diámetro de nuestro eje que es 20 mm, que se encuentra dentro del rango de $2.79 \leq d \leq 51$ mm, utilizaremos la siguiente ecuación:

$$k_b = 1.24 * d^{-0.107} \quad (15)$$

$$k_b = 1.24 * 20^{-0.107}$$

$$k_b = 0.899$$

El factor de confiabilidad seleccionamos del Anexo G con una confiabilidad del 99%, cuyo valor es de:

$$k_e = 0.814$$

El factor de temperatura se tomará del Anexo F y se seleccionará dependiendo el calor de trabajo que esta nuestro eje, para temperatura $T < 450^{\circ}\text{C}$ no es relevante.

$$k_d = 1$$

Para el recalcu del factor de carga consideramos los valores de $\frac{D}{d} = 1,25$ y $\frac{r}{d} = 0.15$ considerando estos valores ingresamos a la tabla del Anexo I para la selección, cuyo valor es de:

$$k_t = 1.55$$

Para la corrección del factor q, procedemos a obtenerle del Anexo H, con el valor de nuestra muesca de 2 mm y el valor de $S_{ut} = 470$ obtenemos nuestro factor de:

$$q = 0.7$$

Ya con la selección de estos factores procedemos al cálculo de nuestro factor de carga con la fórmula:

$$k_c = \frac{1}{q(k_t - 1) + 1} \quad (16)$$

$$k_c = \frac{1}{0.7(1.55 - 1) + 1}$$

$$k_c = 0.722$$

Se considera un último factor para causas por corrosión, humedad, desgaste entre otros.

$$k_g = 1$$

Ya recalculado y seleccionado todos nuestros factores procedemos al resultado de nuestro límite de fatiga utilizando la ecuación (10) tenemos:

$$S_e = (0.88) * (0.899) * (0.814) * (1) * (0.722) * (1.385) * (235)$$

$$S_e = 151.32 \text{ MPa}$$

Para el recalcu de nuestro eje procedemos a realizar primero el recalcu de los factores de concentraci3n.

Las ecuaciones para hallar los factores de concentraci3n por flexi3n y por torsi3n se presentan en la ecuaci3n (17) y (18).

$$k_f = 1 + q(k_t - 1) \quad (17)$$

$$k_{fs} = 1 + q_{ts}(k_{ts} - 1) \quad (18)$$

Para el c3lculo de factor de concentraci3n por flexi3n se obtuvo un valor de $k_t = 1.55$ y un $q = 0.7$

$$k_f = 1 + 0.71 * (1.55 - 1)$$

$$k_f = 1.385$$

Para el c3lculo del factor de concentraci3n por torsi3n el valor de k_t y q procedemos a seleccionar en el Anexo K, consideramos los valores de $\frac{D}{d} = 1,25$ y $\frac{r}{d} = 0.15$ considerando estos valores ingresamos a la siguiente tabla para la selecci3n.

$$k_{ts} = 1.35$$

Procedemos a seleccionar nuestra sensibilidad de muesca q con el valor de nuestra muesca de 2 mm y considerando aceros recocidos, obtenemos el siguiente valor utilizando el Anexo L.

$$q_{ts} = 0.9$$

Despu3s de obtener nuestros factores procedemos a calcular el factor de concentraci3n de esfuerzos mediante torsi3n

$$k_{fs} = 1 + 0.9(1.35 - 1)$$

$$k_{fs} = 1.315$$

Procedemos al recalcu del eje reemplazando nuevamente los valores en la ecuaci3n (9).

$$d_F = \left\{ \frac{16 (2)}{\pi} \left[4 * \left(\frac{1,385 * (6284,25) \text{Nmm}}{151.32 \text{ N/mm}^2} \right)^2 + 3 * \left(\frac{1,315 * (124920) \text{Nmm}}{390 \text{ N/mm}^2} \right)^2 \right]^{1/2} \right\}^{1/3}$$

$$d_F = 19.59 \text{ mm} = 20 \text{ mm}$$

De la ecuación (9) se despejará el factor de seguridad para poder recalculer el mismo con el valor del diámetro obtenido.

$$\frac{1}{n} = \frac{16}{\pi(20)^3} \left[4 * \left(\frac{1,385 * (6284,25) \text{ Nmm}}{151.32 \text{ N/mm}^2} \right)^2 + 3 * \left(\frac{1,315 * (124920) \text{ Nmm}}{390 \text{ N/mm}^2} \right)^2 \right]^{1/2}$$

$$n = 2.13$$

Tabla 18-3: Tabla de resumen de cálculo

ITERACION	iteración 1			Recalculo	
	Momento Flector	6284.25	N.mm	3219.54	N.mm
	Momento torsor	124920	N.mm	124920	N.mm
Límite de fatiga Se	Ka	0.9	261.26 MPa	0.88	151.32 MPa
	Kb	0.906		0.899	
	Kc	1		0.722	
	Kd	1		1	
	Ke	0.897		0.814	
	Kf	1.52		1.385	
	Kg	1		1	
Factor concentración de esfuerzos	Flexión Kf	1.6		1.385	
	Torsión Kfs	1.4		1.315	
Diámetro		19.96 mm		19.59 mm	
Factor de seguridad		2		2.13	

Realizado por: Gomez, E.; Pulluquitin, R. 2020

Con el recalculo obtenemos un valor de diámetro no muy lejano a la primera iteración por ende mantenemos los diámetros anteriormente hallados que se muestran en la figura 18-3.

- **Análisis de Rigidez**

Para el análisis de rigidez se tendrá que cumplir la condición $\delta < \gamma$,

$$\gamma = 0,0003 L \quad (19)$$

δ : Deflexión

γ : Deflexión máxima

L : Longitud del eje

Para el cálculo de las deformaciones utilizadas en rigidez procedemos a utilizar el Software SAP2000.

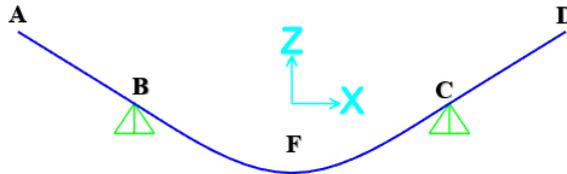


Figura 20-3: Deformación del eje
Realizado por: Gomez, E.; Pulluquitin, R. 2020

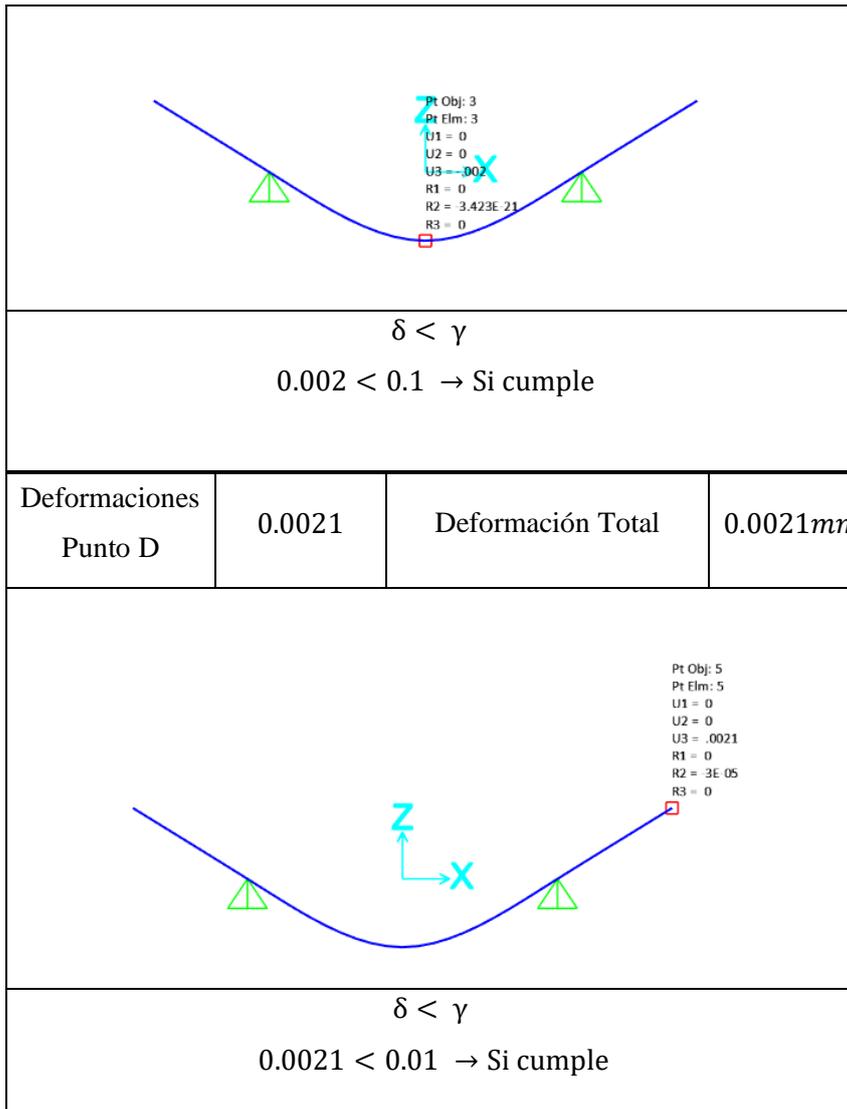
Utilizando la ecuación (19) obtenemos la deflexión máxima permitida para nuestro eje diseñado.

$$\gamma = 0,0003 L = 0.10 \text{ mm}$$

Tabla 19-3: Deformación del eje en el punto A, F y D.

Deformaciones Punto A	0.0021mm	Deformación Total	0.0021mm
<pre> Pt Obj: 1 Pt Elm: 1 U1 = 0 U2 = 0 U3 = .0021 R1 = 0 R2 = 3E-05 R3 = 0 </pre>			
$\delta < \gamma$ $0.0021 < 0.1 \rightarrow$ Si cumple			

Deformaciones Punto F	-0.002 mm	Deformación Total	0.002 mm



Realizado por: Gomez, E.; Pulluquitin, R. 2020

• Análisis de Resonancia

Cálculo de la velocidad Rayleigh-Ritz y Dunkerley.

Las deformaciones obtenidas en el programa SAP2000 del eje diseñado serán utilizadas para el análisis de resonancia.

Rayleigh-Ritz

Para obtener el valor de velocidad mediante el método antes mencionado se utilizará la ecuación (20).

$$n_c = \frac{30}{\pi} \sqrt{\frac{g (W_1 * \delta_1 + W_2 * \delta_2 + \dots + W_n * \delta_n)}{W_1 * \delta_1^2 + W_2 * \delta_2^2 + \dots + W_n * \delta_n^2}} \quad (20)$$

$$g = 385,83$$

$$\begin{aligned}\delta_1 &= 0.0021 \\ W_1 &= 14.18 \text{ lb} \\ n_c &= 4093.17 \text{ rpm}\end{aligned}$$

Dunkerley

Ahora para obtener por el método antes mencionado se lo realizara mediante la ecuación (21).

$$\frac{1}{nc^2} = \frac{1}{n_1^2} + \frac{1}{n_2^2} + \dots + \frac{1}{n_n^2} \quad (21)$$

$$\begin{aligned}\text{Donde: } n_1 &= \sqrt{\frac{g}{\delta_{11}}} \quad n_2 = \sqrt{\frac{g}{\delta_{22}}} \quad n_n = \sqrt{\frac{g}{\delta_{nn}}} \\ \delta_1 &= 0.0021 \\ n_c &= 4093.17 \text{ rpm}\end{aligned}$$

El análisis de resonancia nos muestra que nuestro eje puede trabajar normalmente ya que los valores son mayores a las velocidades de trabajo.

3.2.3. Selección de rodamientos

Se seleccionará el rodamiento gracias al catálogo SKF, los valores a utilizar para la selección de nuestros rodamientos son los de las reacciones que anteriormente se calcularon en el eje diseñado y se utilizaran en la ecuación (28).

$$F_r = \sqrt{(F_y)^2 + (F_z)^2} \quad (1)$$

Donde:

F_r : Fuerza radial [N]

F_y : Fuerza en el eje y [N]

F_z : Fuerza en el eje z [N]

La reacción a calcular con la ecuación (28) en el punto B es la misma reacción en el punto C de apoyo del otro extremo por ende el valor de la fuerza radial será el mismo.

Punto B

$$\text{Carga Radial} = \begin{cases} B_z = 0 \text{ lbf} \\ B_y = 41.89 \text{ lbf} \end{cases}$$

$$F_r = \sqrt{(41.89)^2 + (0)^2} = 41.89 \text{ lbf}$$

$$F_r = 186.84 \text{ N} = 0.868 \text{ KN}$$

Ahora se realizará el chequeo de carga dinámica del rodamiento se utilizará la siguiente formula:

$$C' = \frac{f_h}{f_n} * P \quad (29)$$

Donde:

f_h : Factor de vida [adimensional]

f_n : Factor de velocidad [adimensional]

P: Carga dinámica equivalente [KN]

Se procederá a calcular el factor de vida el cual se consideró un factor de vida de 30000 horas, se calculará con la ecuación (29).

$$f_h = \left(\frac{L_{10}}{500} \right)^{1/3} \quad (30)$$

Donde:

f_h : Factor de vida [adimensional]

L_{10} : Vida nominal [horas]

Obtenemos un valor de:

$$f_h = \left(\frac{30000}{500} \right)^{1/3} = 3,9148$$

El factor de velocidad se calcular con la fórmula:

$$f_n = \left(\frac{33,3}{n} \right)^{1/3} \quad (2)$$

Donde:

f_n : Factor de velocidad [adimensional]

n: Velocidad [rpm]

Para la maquina se consideró en los anteriores cálculos que trabajara con una velocidad de 200 rpm, entonces nuestro valor de factor de velocidad es de:

$$f_n = \left(\frac{33,3}{200} \right)^{1/3} = 0.55$$

En el cálculo de la carga equivalente se utilizará la siguiente formula:

$$P = XF_r + YF_a \quad (3)$$

Donde:

P: Carga dinámica equivalente [KN]

X: Factor de carga radial [adimensional]

F_r: Fuerza radial aplicada [KN]

Y: Factor de carga axial [adimensional]

F_a: Fuerza axial aplicada [KN]

La fuerza axial en el caso de nuestra maquina no está presente por ende se considera con un valor de cero y el factor de carga radial es igual a uno, considerando lo anterior nuestro resultado en la primera iteración es:

$$P = 0.868 \text{ KN}$$

El valor de la capacidad de carga dinámica del rodamiento a seleccionar es de:

$$C' = \frac{3,9148(0.868 \text{ KN})}{0,55} = 6.178 \text{ KN}$$

La selección del rodamiento se la realizo bajo el catálogo SKF antes mencionado, lo cual en la selección nos arrojó un rodamiento 6004 seleccionado en el Anexo M, en la Tabla 20-3 se puede apreciar las propiedades principales del rodamiento.

Tabla 20-3: Propiedades del rodamiento SKF

d (mm)	D (mm)	B (mm)	Cr (KN)	Cor (KN)	Type
20	42	12	9.95	5	6004

Fuente: SKF, 2020.

Realizado por: Gomez, E.; Pulluquitin, R. 2020

El rodamiento seleccionado debe cumplir la condición:

$$C' \leq C_r \quad (33)$$

$$6.178 \text{ KN} \leq 9.95$$

El rodamiento cumple con la condición.

3.2.4. Selección del acople

Para la selección del acople tenemos que tener en cuenta la aplicación que va a tener, en nuestro caso es para transmisión de una trituradora, otro punto importante es tener en cuenta a qué velocidad va a trabajar, el acople seleccionado por nosotros que se comporta bien para nuestro trabajo es el acople tipo estrella, nos ayudaremos del catálogo JAKOB.

Para seleccionar el acople seguiremos los siguientes pasos según el catálogo.

- **Fórmula para calculo rápido**

El primer paso para realizar el cálculo rápido se hallará el par solicitado para el acoplamiento:

$$T_k = T_A + f_T + f_D + f_B \quad (34)$$

T_K : par para el acoplamiento (Nm)

T_A : par para motriz (Nm)

f_T : factor de temperatura

f_D : factor de rigidez torsional.

f_B : factor de trabajo

Par motriz

$$T_A = 124920 \text{ Nmm}$$

$$T_A = 124.92 \text{ Nm}$$

Este par tomamos de la característica de nuestro motor del datasheet que nos facilita el fabricante.

Factor de temperatura

Para la selección del factor de temperatura nos ayudamos por las tablas que tenemos en el catálogo JAKOB.

Para la selección tener en cuenta a las temperaturas que va a trabajar dicho acople y seleccionar en la tabla del Anexo N. Nuestro acople va a trabajar en un rango de temperaturas -30°C a $+30^{\circ}\text{C}$ con tal dato seleccionamos nuestro factor

$$f_T = 1$$

Factor de rigidez torsional

Para la selección de este factor tomar en cuenta si la transmisión del par debe ser exacta, y saber cómo se comportan cada tipo de motores en su rigidez torsional, el factor puede ser tomado en un rango de 3 a 10.

Por el tipo de motor y el trabajo que realiza nuestro motor tomamos el siguiente factor de rigidez.

$$f_D = 5$$

Factor de trabajo

Para la selección de este factor se toma en cuenta el ciclo de trabajo de la aplicación, y su incidencia de golpes.

$$f_D = 1$$

Cálculo del par solicitado

$$T_k = (124.92) + (1) + (5) + (1)$$

$$T_k = 624.6 \text{ Nm}$$

Ya calculo el par solicitado procedemos a seleccionar la serie y el tipo de acople que necesitamos. Seleccionamos un acople de estrella serie ESM en el Anexo O, y procedemos a seleccionar uno que cumpla con los requerimientos exigidos.

Basados en torque nominal y el diámetro mínimo de acople que necesitamos para nuestro eje de 20 mm hacemos una comparación con el torque sugerido y comprobamos si cumple con el requerimiento de la ecuación (35).

$$T_K \geq T_A \quad (35)$$

$$624.6 \geq 90 \text{ cumple}$$

Si cumple esta característica procedemos a dar las características de nuestro acople.

ESM 90-20-29-L62

Ya seleccionado el acople pasamos a la siguiente tabla para conocer todas sus dimensiones, se muestra en el Anexo P.

Las dimensiones se considerarán en la construcción del acople, este será elaborado a través de máquinas herramientas.

3.2.5. *Caja trituradora*

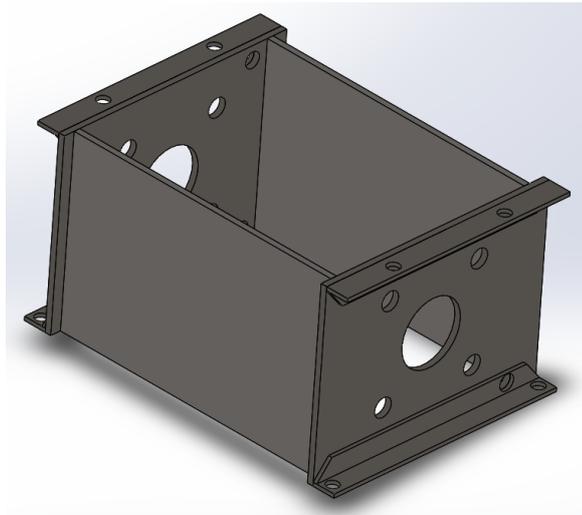


Figura 21-3: Caja trituradora
Realizado por: Gomez, E.; Pulluquitin, R. 2020

Para las paredes frontales y laterales de la caja trituradora se realizará con una plancha de 4 milímetros de espesor con acero ASTM A36, las paredes se unirán a través de cordones de soldadura, los ángulos seleccionados para la base superior y exterior son de 25.4 milímetros y de un espesor de 3 milímetros, las mismas servirán como apoyo para la tolva y apoyo en la estructura metálica respectivamente.

3.2.6. *Cuchillas fijas*

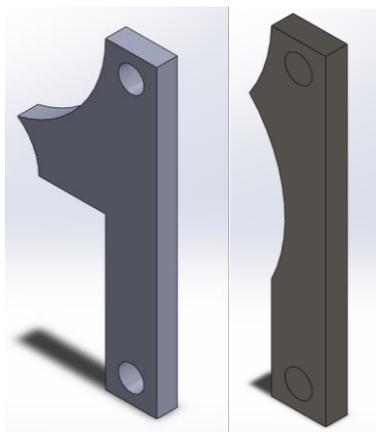


Figura 22-3: Cuchillas fijas
Realizado por: Gomez, E.; Pulluquitin, R. 2020

Las cuchillas fijas se realizarán de acero ASTM A36 con un espesor de 8 milímetros de espesor, estas cuchillas cumplirán con el objetivo de que el material sea triturado hasta llegar al granulado adecuado para pasar por la criba.

3.2.7. *Tolva*

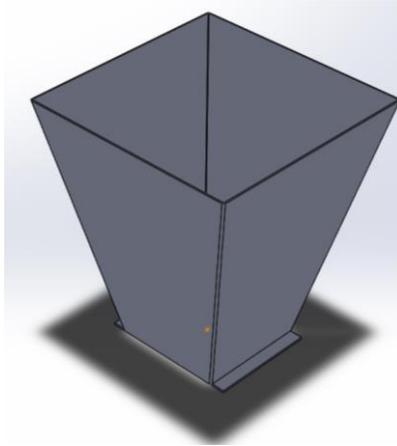


Figura 23-3: Tolva
Realizado por: Gomez, E.; Pulluquitin, R. 2020

La tolva cumplirá con el objetivo de mantener el plástico a triturar en el contenedor, se realizará de una plancha de acero ASTM A36 con un espesor de 2 milímetros.

3.2.8. *Reservorio*

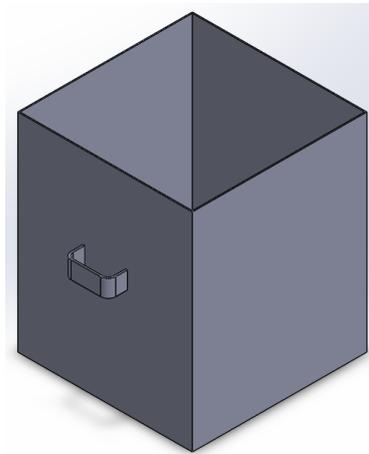


Figura 24-3: Reservorio
Realizado por: Gomez, E.; Pulluquitin, R. 2020

El reservorio tiene como finalidad contener el material triturado, se realizará de acero ASTM A36 con un espesor de 2 milímetros, para su mejor manejo se colocará una agarradera y ruedas para facilitar su movimiento y extracción del material.

3.2.9. Acople para motorreductor

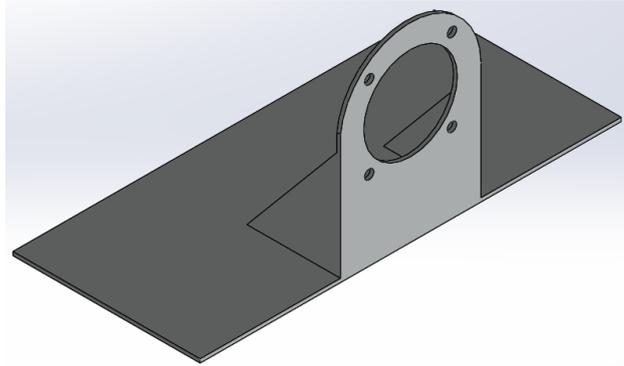


Figura 25-3: Acople para motorreductor
Realizado por: Gomez, E.; Pulluquitin, R. 2020

La base para el motorreductor se realizará de acero ASTM A36 con un espesor de 5 mm, el mismo será soldada en la estructura.

3.2.10. Estructura metálica



Figura 26-3: Estructura Metálica
Realizado por: Gomez, E.; Pulluquitin, R. 2020

Para el diseño de la estructura metálica, se realizó la selección de un tubo de perfil cuadrado, el mismo fue seleccionado en los catálogos disponibles, en nuestro caso se seleccionó en el catálogo Dipac un tubo cuadrado 30x30x2 el mismo se puede apreciar en el Anexo Q.

Seleccionado el tipo de perfil a considerar, realizamos un análisis para evaluar que nuestra estructura tenga el soporte suficiente para los componentes a continuación.

- *Carga aplicada por el motorreductor y base*

El valor de la masa que se asignó al motorreductor se presenta en la tabla de selección antes mostrado y el valor del peso en kg, utilizando la ecuación (6) obtenemos su peso en N.

$$W = (32 + 3.79) * (9.8) = 350.74 \text{ N}$$

- *Carga aplicada por la caja trituradora*

Para la calcular el peso que proporciona todos los componentes de la caja trituradora se lo obtiene la masa a través del programa SolidWorks, como son las masas de las cuchillas y separadores, placas frontales y laterales, cuchillas fijas, eje, ángulos base inferior y superior, base del motorreductor, tolva, chumaceras y los demás componentes sujetadores como son pernos y tornillos se estimó un valor general ya que no conllevan un gran peso que se podría apreciar en este análisis.

$$W = (6.44 + 1.082 + 1.395 + 1.483 + 2.61 + 0.702 + 0.316 + 3.938 + 0.216) * 9.8$$

$$W = 178.18 \text{ N}$$

- *Carga aplicada por reservorio*

Al igual que el peso calculado de la caja trituradora se obtuvo el valor del reservorio obteniendo el siguiente resultado:

$$W = (8.217 \text{ kg}) \left(9.8 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)$$

$$W = 80.53 \text{ N}$$

- *Carga total*

$$W_{TOTAL} = (350.74 + 178.18 + 80.53) \text{ N}$$

$$W_{TOTAL} = 609.45 \text{ N}$$

3.2.10.1. Análisis de estructura metálica

Para tener un análisis más profundo se realizará una simulación en el programa SAP 2000, donde se considerará los diferentes tipos de carga en la estructura metálica, el análisis se realizará en los 4 pilares los mismos que soportan una carga a compresión.

- *Tipos de cargas que actúan en la estructura*

Carga Viva

Las botellas de plástico PET trabajaran como carga viva en la estructura, hallaremos su peso con la ayuda de una balanza como se muestra en la figura 27 el cual nos arroja un valor de 0.017 kg, con el valor hallado obtenemos el peso aproximado de una botella de 500 ml.



Figura 27-3: Peso de una botella de 500 ml
Realizado por: Gomez, E.; Pulluquitin, R. 2020

$$W = (0.017 \text{ kg}) \left(9.8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right)$$

$$W = 0.166 \text{ N}$$

Carga Muerta

La carga muerta a considerar son los elementos y mecanismos que compone la trituradora, los mismos que juntos tienen un peso total equivalente de 609.45 N.

3.2.10.2. Análisis en el programa SAP2000

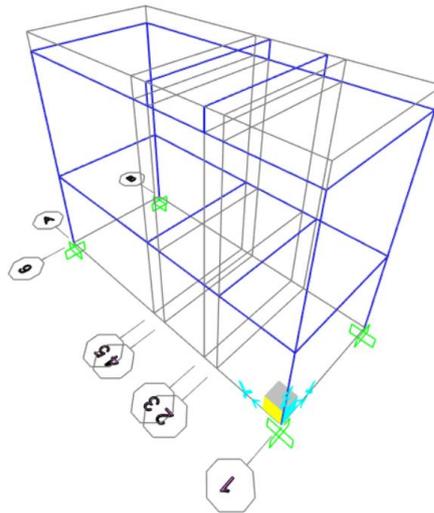


Figura 28-3: Estructura metálica en SAP2000.
Realizado por: Gomez, E.; Pulluquitin, R. 2020

Determinación de la carga viva

La carga viva actúa en la parte superior en las vigas de 460 mm donde se encontrará ubicada la caja de trituración.

$$Carga_{viva} = 0.166 N$$

$$Carga_{viva} = \frac{0.166 N}{2}$$

$$Carga_{viva} = 0.083 N$$

$$Carga_{viva} = \frac{0.083 N}{460 mm}$$

$$Carga_{viva} = 0.0001804 \frac{N}{mm}$$

Determinación de la carga muerta

Para la obtención de la carga muerta se realizará de la misma forma que se obtuvo la carga viva, en este caso se tiene 3 tipos de carga muerta, la caja trituradora, el motorreductor y el recipiente, estos son los 3 tipos de carga muerta ya que actúan en diferentes puntos de la estructura metálica.

Carga muerta 1 (caja trituradora)

$$Carga_{Muerta 1} = 178.18 N$$

$$Carga_{Muerta 1} = \frac{178.18 N}{2}$$

$$Carga_{Muerta 1} = 89.09 N$$

$$Carga_{Muerta\ 1} = \frac{89.09\ N}{460\ mm}$$

$$Carga_{Muerta\ 1} = 0.194\ \frac{N}{mm}$$

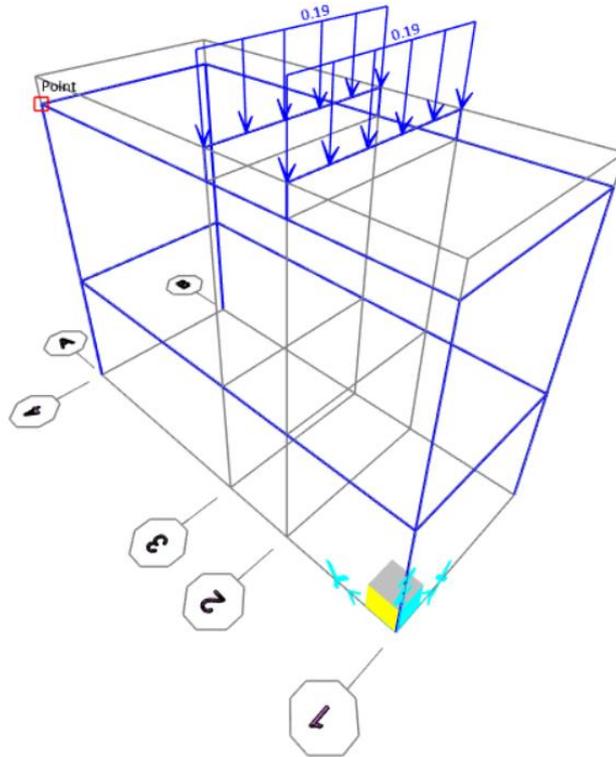


Figura 29-3: Colocación de carga muerta 1
Realizado por: Gomez, E.; Pulluquitin, R. 2020

Carga muerta 2 (motorreductor y base)

$$Carga_{Muerta\ 2} = 350.74\ N$$

$$Carga_{Muerta\ 2} = \frac{350.74\ N}{2}$$

$$Carga_{Muerta\ 2} = 175.37\ N$$

$$Carga_{Muerta\ 2} = \frac{175.37\ N}{1060\ mm}$$

$$Carga_{Muerta\ 2} = 0.165\ \frac{N}{mm}$$

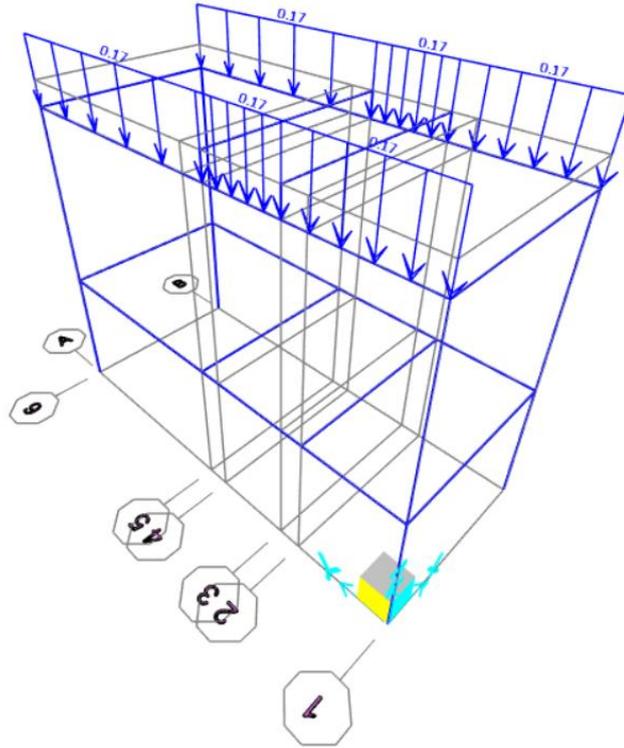


Figura 30-3: Colocación de carga muerta 2
 Realizado por: Gomez, E.; Pulluquitin, R. 2020

Carga muerta 3 (recipiente)

$$Carga_{Muerta\ 3} = 80.53\ N$$

$$Carga_{Muerta\ 3} = \frac{80.53\ N}{2}$$

$$Carga_{Muerta\ 3} = 40.265\ N$$

$$Carga_{Muerta\ 3} = \frac{40.265\ N}{1060\ mm}$$

$$Carga_{Muerta\ 3} = 0.0379\ \frac{N}{mm}$$

3.2.10.3. Análisis de los elementos estructurales sometidos a compresión.

El análisis se realizará bajo la norma AISC 360-10 para evaluar la aceptación de resistencia a compresión de las columnas que conforman la estructura.

Se trabajará con los datos que el programa utilizado en este caso SAP2000 nos dé ya que se trata de una comparación de resultados.

Tabla 21-3: Datos del perfil cuadrado metálico

Descripción	Valor	Unidades
Modulo Elástico [E]	199947.98	MPa
Esfuerzo de Fluencia [Fy]	235.36	MPa
Altura [h]	800	mm
Área [mm ²]	214	mm ²
Radio de giro en X [rx]	11.46	mm
Radio de giro en Y [ry]	11.46	mm
Factor de longitud efectiva [K]	1	-

Realizado por: Gomez, E.; Pulluquitin, R. 2020

Relación de Esbeltez

La relación de esbeltez en miembros sometidos a tensión nos permite garantizar que la estructura posea suficiente rigidez para prevenir deflexiones laterales o también vibraciones indeseables (McCormac et al, 2012: p.105). Para el cálculo de la relación de esbeltez se lo hallara con la siguiente formula:

$$\frac{(K * L)}{r} \quad (36)$$

K: Factor de longitud efectiva

L: Longitud

r: Radio de giro mínimo

Remplazando valores obtenemos el siguiente resultado:

$$\frac{(K * L)}{rx} = \frac{(470 \text{ mm})}{11.46 \text{ mm}} = 41.012$$

Ahora la relación de esbeltez debe cumplir la condición para miembros estructurales sometidos a compresión, el cual nos dicta que el valor obtenido debe ser menor a 200.

$$\frac{(K * L)}{rx} = 41.012 < 200$$

Su valor es menor a 200, entonces se procederá a utilizar los siguientes cálculos para miembros no esbeltos.

Esfuerzo de pandeo elástico

$$F_e = \frac{\pi^2 * E}{\left(\frac{K * L}{r}\right)^2} \quad (37)$$

F_e : Esfuerzo de Pandeo Elástico [MPa]

E : Modulo Elástico [MPa]

K : Factor de longitud efectiva

L : Longitud [mm]

r : Radio de giro mínimo [mm]

$$F_e = \frac{\pi^2 * E}{\left(\frac{K * L}{r}\right)^2} = \frac{\pi^2 * (199947.98)}{\left(\frac{470}{11.46}\right)^2} = 1173.25 \text{ MPa}$$

Se utilizará la ecuación (38) o (39) según la condición de esbeltez:

$$\frac{(K * L)}{r} \leq 4.71 * \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad (38)$$

$$\frac{(K * L)}{r} > 4.71 * \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad (39)$$

Comprobamos si la relación de esbeltez se cumple con la formula (38).

$$\frac{(K * L)}{r} = 41.012 \leq 4.71 * \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 4.71 * \sqrt{\frac{199947.98}{235.36}} = 137.28$$

Se cumple la condición de esbeltez con la formula (38). Concluyendo con la relación de esbeltez entonces el esfuerzo por pandeo a flexión utilizando la ecuación (40) es:

$$F_{cr} = \left[0.658 \frac{F_y}{F_e}\right] * F_y \quad (40)$$

F_{cr} : Tensión crítica [MPa]

F_y : Esfuerzo de Fluencia [MPa]

F_e : Esfuerzo de pandeo elástico [MPa]

$$\left[0.658^{\frac{235.36}{1173.25}} \right] \cdot 235.36 = 216.41 \text{ MPa}$$

Para hallar la capacidad que tendrá nuestra estructura se utilizará la siguiente ecuación:

$$\phi_c * P_n = \phi_c * F_{cr} * A_g$$

ϕ_c : Factor de resistencia

P_n : Resistencia de compresión nominal [MPa]

F_{cr} : Tensión crítica [MPa]

A_g : Área total de la sección transversal [mm²]

Factor de Resistencia:

$$\phi_c = 0.90$$

$$(0.9) * (216.41) * (214) = 41680.57 \text{ MPa}$$

Entonces

$$\phi_c * P \geq P_u$$

Sabiendo que P_u tiene un valor de 96.66 MPa el mismo que se obtuvo en el programa SAP2000.

Obtendremos la relación demanda/capacidad con la siguiente fórmula:

$$\frac{D}{C} \tag{41}$$

D: Demanda [MPa]

C: Capacidad [MPa]

Obteniendo un valor de:

$$\frac{D}{C} = \frac{96.66}{41680.57} = 0.002$$

La estructura resiste ya que su valor demanda capacidad es menor a uno, el cual cumple las condiciones de diseño y realizando una comparación con los resultados obtenidos en el programa Sap2000 el resultado es similar o supuestamente el mismo, se lo pude observar en el anexo R.

3.3. Selección de componentes eléctricos y electrónicos.

3.3.1. Elementos eléctricos.

3.3.1.1. Breaker o Interruptores

El breaker o interruptores tiene como finalidad proteger contra sobrecargas y cortocircuitos a los circuitos de una instalación estos se encuentran alojados comúnmente en un tablero (Gilberto, 2004, pp. 127). Se seleccionó dos breakeres uno industrial trifásico modelo LS ABE103G y el Interruptor Termomagnético de 3 polos RIEL DIN-Serie 200-ABB, en la tabla 22-3 y la tabla 23-3 se muestran las especificaciones principales de cada uno respectivamente.

Tabla 22-3: Especificaciones Breaker Industrial trifásico modelo LS ABE103G

	Especificaciones	
	Modelo	LS ABE103G
	Voltaje	690 V
	Corriente	100 A
	Fases o n° de polos	3 fases- 6 polos
	Temperatura	-40 a 75 ° C

Fuente: LS Industrial Systems, 2009

Realizado por: Gomez, E.; Pulluquitin, R. 2020

Tabla 23-3: Interruptor Termomagnético de 3 polos RIEL DIN-Serie 200-ABB

	Especificaciones	
	Modelo	S 200
	Voltaje	400 V
	Corriente	100 A
	Fases o n° de polos	3 polos
	Temperatura	-30 a 50 °C

Fuente: ELECTRORED, 2020

Realizado por: Gomez, E.; Pulluquitin, R. 2020

3.3.1.2. Contactor LS

El contactor es un dispositivo que se utiliza muy a menudo en los sistemas de automatismo donde permite controlar elevadas potencias eléctricas por medio de un mando de baja potencia (Hermosa, 1999, p. 61). Se seleccionó un contactor MC-22b cuyas especificaciones se muestran en la tabla 24-3.

Tabla 24-3: Especificaciones Contactor MC-22b

	Especificaciones	
	Modelo	MC-22b
	Voltaje	120-480 V
	Corriente	50 A
	Fases o n° de polos	AC 3
	Temperatura	-25 a 70 °C

Fuente: Industria Eléctricas JMA, S.A., 2008

Realizado por: Gomez, E.; Pulluquitin, R. 2020

3.3.2. Elementos electrónicos

3.3.2.1. Arduino MEGA

Arduino tiene como finalidad brindar un software necesario para realizar programaciones de carácter sencillo (Peña, 2020). Se eligió un Arduino Mega para la programación de la máquina, las especificaciones se presentan en la tabla 25-3.

Tabla 25-3: Especificaciones Arduino Mega

	Especificaciones	
	Modelo	ATmega 2560
	Voltaje	7-12 V
	Corriente	20 mA
	Pines	16 entrada
	Temperatura	-25 a 70 °C

Fuente: AG Electrónica, 2017

Realizado por: Gomez, E.; Pulluquitin, R. 2020

3.3.2.2. Relé.

El relé es frecuentemente utilizado en proyectos que se requiera pequeñas potencias y los mismos dispositivos que necesiten una salida de media o baja potencia (Hermosa, 2011, p. 136). Para nuestra maquina se utilizará 2 modulo RELE de 4 canales modelo 5VDC SRD-05VDC-SL-C cuyas especificaciones se muestran en la tabla 26-3.

Tabla 26-3: Especificaciones Modulo Relé 5VDC SRD-05VDC-SL-C

	Especificaciones	
	Modelo	5VDC SRD-05VDC-SL-C
	Voltaje	5 V
	Corriente	10 A
	N° de relays	4
	Temperatura	-25 a 70° C

Fuente: Naylamp Mechatronics, 2019

Realizado por: Gomez, E.; Pulluquitin, R. 2020

3.3.2.3. Convertidor de voltaje DC-AC

Este convertidor tiene como función principal proporcionar a los componentes electrónicos como es el Arduino y demás transformando la energía 110V-220V a 12VDC el cual se requiere para la parte de automatización.



Figura 33-3: Convertidor de voltaje

Fuente: Gomez, E.; Pulluquitin, R. 2020

3.3.2.4. Sensor de proximidad

Este tipo de sensor es un oscilador LC en el cual este dispositivo oscila con normalidad cuando no existe objetos presentes a una distancia prudente, pero cesa cuando un objeto entra en contacto dentro de la distancia antes mencionada (Mendoza et al., 2006: pp. 924). Se selecciono un Sensor de proximidad modelo E18-D80NK el cual se muestra en la tabla 27-3 sus especificaciones.

Tabla 27-3: Especificaciones del Sensor E18-D80NK

	Especificaciones	
	Modelo	E18-D80NK
	Voltaje	5 V
	Corriente	100 mA
	Rango detección	3 a 80 cm
	Temperatura	-25 a 70 °C

Fuente: AV Electronics, 2020

Realizado por: Gomez, E.; Pulluquitin, R. 2020

3.3.2.5. Final de carrera

Es también llamado interruptor de posición, es un dispositivo electromecánico similar a un interruptor el cual su actuación es de manera mecánica por contacto de un objeto móvil (Cerdá, 2014, pp. 262). Se selecciono un final de cara modelo V156-1C25 con las especificaciones que se muestra en la tabla 28-3.

Tabla 28-3: Especificaciones del Final de carrera V156-1C25

	Especificaciones	
	Modelo	V156-1C25
	Voltaje	125 V
	Corriente	15 A
Fijación	3 mm	

Fuente: OMRON Corporation, 2021.

Realizado por: Gomez, E.; Pulluquitin, R. 2020

3.3.2.6. Resistencia

Existen casos donde se utilizan resistencias en la entrada o salida de los circuitos digitales, dichas resistencias pueden estar conectadas a la tensión de alimentación, y se los denomina resistencias de pull-up, o a tierra, en cuyo caso se les llama resistencias de pull-down. La función de las dos resistencias es dar un valor lógico determinado a la entrada de un circuito lógico cuando la conexión por tal motivo quedaría al aire en algún momento o mejorar un determinado valor lógico que pueda estar debilitado por alguna razón (Martín et al, 2006: pp. 156).

Tabla 29-3: Especificaciones de la resistencia 1511000

	Especificaciones	
	Modelo	1511000
	Capacidad	560 ohm
	Potencia	0.25 W

Fuente: Electronica Plug and Play, 2021

Realizado por: Gomez, E.; Pulluquitin, R. 2020

3.3.2.7. *Paro de Emergencia.*

Se colocará como medida de seguridad un pulsador de hongo para el paro de emergencia, el mismo que tendrá como finalidad detener la maquina en su totalidad si existe alguna irregularidad en el funcionamiento de la maquina o en la ejecución de la maquina por el operario.

Tabla 30-3: Especificaciones del Pulsador de Hongo XB2-ES542

	Especificaciones	
	Modelo	XB2-ES542
	Voltaje	660 V
	Corriente	3 A.

Fuente: INYEPARTES INDUSTRIAL, 2021

Realizado por: Gomez, E.; Pulluquitin, R. 2020

3.3.2.8. *Pulsador*

Se utilizará pulsadores normalmente abierto/cerrado para la puesta en marcha de la maquina así mismo como su apagado. Se utilizarán 4 pulsadores 1 de color rojo y 3 de color verde. La tabla 31-3 muestra sus especificaciones.

Tabla 31-3: Pulsador XB2-BA42

	Especificaciones	
	Modelo	XB2-BA42
	Voltaje	660 V
	Corriente	10 A.
	Peso	70 g.

Fuente:

Realizado por: Gomez, E.; Pulluquitin, R. 2020

3.3.2.9. Luces piloto

Las luces piloto nos indicasen cuando la maquina se encuentre encendida en forma manual y en la forma automática, para esto se utilizarán 4 luces de diferente color como amarillo, azul, rojo y verde.

Tabla 32-3: Luces piloto AD212-R

	Modelo	AD212-R
	Voltaje	120 V
	Color	Varios
	Empaque	50

Fuente: DIMALEXA, 2021

Realizado por: Gomez, E.; Pulluquitin, R. 2020

3.4. Control del prototipo de la máquina trituradora de plásticos PET.

3.4.1. Algoritmo de proceso de la máquina trituradora de material PET

En la siguiente figura 34-3 se muestra el algoritmo del proceso de trituración del plástico, en este algoritmo muestra la ejecución de los sensores tanto el de entrada como el de salida y el sensor de seguridad, en la figura nos muestra el proceso específico de la máquina, el sensor de entrada recepta señal y obliga al motor a arrancar y comenzar el proceso de trituración, el sensor de salida capta señal a un cierto nivel del reservorio y lo que obliga al motor apagarse para proceder al vaciado del reservorio, por último tenemos el sensor de seguridad, utilizamos un final de carrera en el ingreso del material lo que hace es que cuando la tapa este cerrada la maquina trabaje normalmente, pero el momento q la tapa se levante automáticamente el motor se detiene, todos estos sensores son controlados por un Arduino mega.

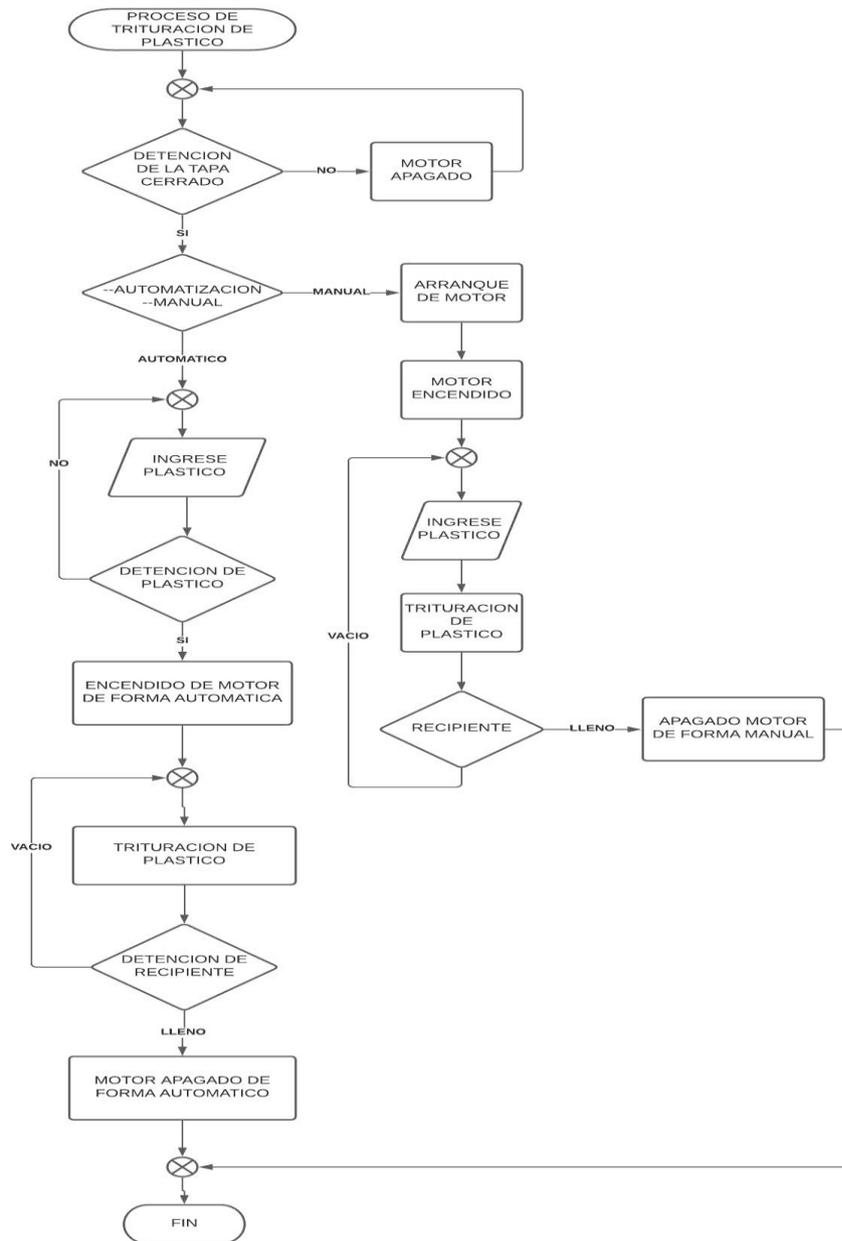


Figura 34-3: Algoritmo del proceso de trituración de Plástico PET
 Realizado por: Gomez, E.; Pulluquitin, R. 2020

3.4.2. Diagrama de circuito de potencia y control

El esquema de circuito de fuerza se muestra en la figura 35-3. En el cual se encuentran el contactor y guardamotor que permite la puesta en marcha y paro de la máquina trituradora, de acuerdo a la señal de control del Arduino mega 2560.

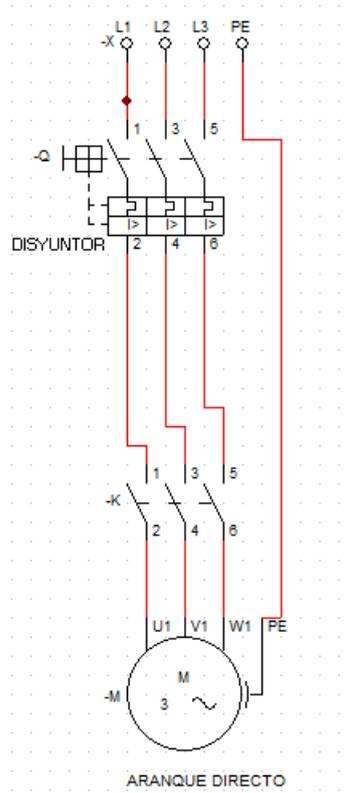


Figura 35-3: Esquema de circuito de fuerza
Realizado por: Gomez, E.; Pulluquitin, R. 2020

El esquema de conexión mostrado en la figura. indica los elementos eléctricos que funciona en relación con el Arduino mega 2560. El módulo relé se acciona según la señal de control del Arduino mega 2560 que es el elemento controlador principal. Si la bobina del relé se acciona cierra el contacto –K lo que permite que el motor se encienda. Mediante el pulsador de paro de emergencia nos permite cortar el flujo eléctrico y por ende el paro del motor.

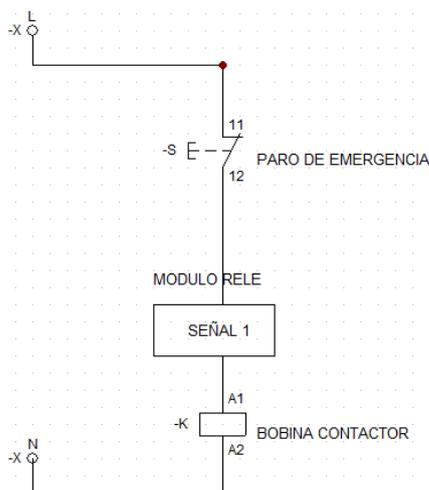


Figura 36-3: Esquema de conexión de emergencia
Realizado por: Gomez, E.; Pulluquitin, R. 2020

3.4.3. Etapa de control y adquisición de datos de los sensores

El esquema de control se muestra en la siguiente figura. Las entradas de los pines al Arduino mega 2560 son nuestros sensores infrarrojos y pulsadores como pines de salida tenemos nuestro relé el cual activa los leds indicadores y acciona el contactor de la etapa de fuerza.

La máquina de trituración tiene dos tipos de manejo, una de forma manual y otro automático. Al presionar P1 Activamos nuestro manejo automático y a la vez se activa el relé RL2 que enciende el led indicador de color azul; Ingresa a trabajar de manera automática esperando la señal de activación de los sensores infrarrojo S1 si dicho sensor es activado el relé RL1 se activa y por ende se enclava el contactor el cual arranca el motor trifásico. El sensor infrarrojo S2 es activado nos indica que nuestro recipiente contenedor está lleno y por lo tanto el relé RL1 es desactivado por ende desenclavando el contactor el cual apaga el motor trifásico.

Al presionar P2 Activamos nuestro manejo manual y a la vez se activa el relé RL3 que enciende el led indicador de color amarillo. Esto nos indica que nuestra maquina es lista para trabajar de una forma de control on/off; que al presionar P3 activamos el relé RL4 que enciende el led indicador de color rojo y el relé RL1 que activa el contactor del cual arranca el motor trifásico; Presionamos P4 activamos el relé RL5 que enciende el led indicador de color verde y el relé RL1 que desactiva el contactor y a la vez apagando el motor trifásico.

Al activar P5 que es nuestro sensor final de carrera este interrumpe el funcionamiento del sistema de la maquina parando la marcha del motor trifásico esta es una medida de seguridad.

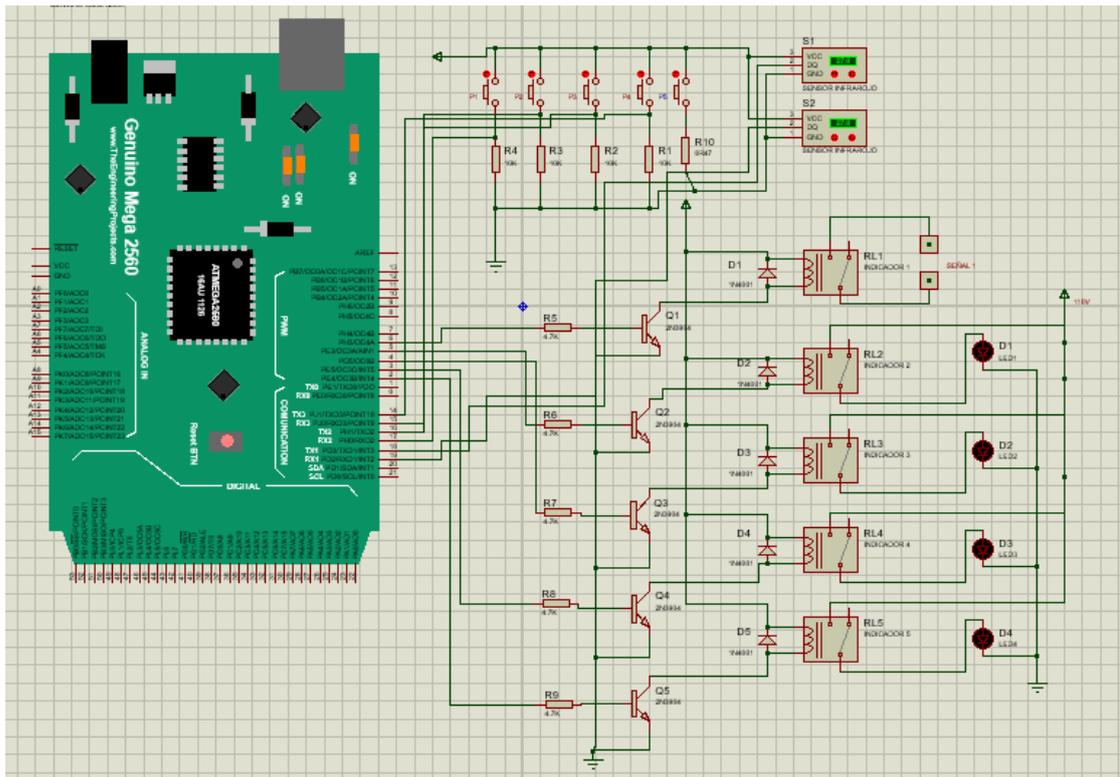


Figura 37-3: Esquema de Control automático

Realizado por: Gomez, E.; Pulluquitin, R. 2020

Etapa de control

Para esta etapa se realizó una programación en el programa Arduino, obteniendo la codificación que ayudara en el proceso de automatización, captando señales y dando órdenes al sistema motriz, toda esta codificación se la realizo tomando encuentra las señales de entrada y salida que se utilizó en el proceso de trituración a continuación se muestra parte de la codificación en el Anexo S.

3.5. Construcción y Montaje

Para la construcción de la máquina trituradora se utilizaron las máquinas herramientas para cada proceso de fabricación de piezas. En la tabla 33-3, se detallan las utilizadas en proceso de construcción.

Tabla 33-3: Maquinas Herramientas

Máquinas
Torno
Fresadora

Soldadora de arco eléctrico
Compresor
Dobladora
Tronzadora
Taladro
Horno
Amoladora

Realizado por: Gomez, E.; Pulluquitin, R. 2020

Al igual se utilizaron también una variedad de herramientas de medición, de ajuste con fuerza de la persona, etc., las mismas que se detalla en la tabla 34-3.

Tabla 34-3: Herramientas varias

Herramientas
Juego de llaves
Brocas
Disco de corte y disco de pulir
Desarmadores
Flexómetro
Escuadra
Cuchilla de torno
Cuchilla de fresa
Rayador

Realizado por: Gomez, E.; Pulluquitin, R. 2020

3.5.1. Componentes para la construcción

Para la máquina trituradora de plástico PET se usaron los siguientes materiales que se detallan a continuación en la tabla 35-3, en dicha tabla se mostrara el tipo de material utilizado con sus respectivas medidas.

Tabla 35-3: Materiales de construcción

Sistema	Elemento	Cantidad	Material
Estructura	Estructura	1	Tubo cuadrado 30x30x3 Acero comercial A36
	Soporte moto reductor	1	Plancha estructural A36 de 5 mm de espesor
	Refuerzos	1	Perfil ángulo 20x20x2
Trituración	Cuchillas móviles	12	Plancha estructural A36 de 8 mm de espesor
	Cuchillas fijas	10	Plancha estructural A36 de 8 mm de espesor
	Separadores	12	Plancha estructural A36 de 8 mm de espesor
	Cuchillas fijas 2	2	Plancha estructural A36 de 8 mm de espesor
	Eje de transmisión	1	Barra de acero de transmisión AISI 1020 D= 1 in
	Paredes de la caja de trituration	4	Plancha estructural A36 de 4 mm de espesor
	Chumaceras	2	SKF 6004
	Criba	1	Plancha de acero de 2mm
	Transmisión	Eje motriz	1
Motor reductor		1	2 Hp
Acople de Manzana		2	ESM 90-20-29-L62

Entrada	Tolva	1	Plancha estructural A36 de 2 mm de espesor
Salida	Reservorio	1	Plancha estructural A36 de 2 mm de espesor

Realizado por: Gomez, E.; Pulluquitin, R. 2020

3.5.2. Control de tiempo y operaciones en el proceso de construcción.

A continuación, detallaremos los procesos que utilizamos en la etapa de construcción, y tiempo de cada proceso en la construcción de la máquina trituradora de material PET, hablaremos de procesos de corte, mecanizado que se dio a cada elemento de trituración así mismo para la parte estructural y para el sistema de transmisión.

3.5.2.1. Tiempo y operación del sistema estructural

En la siguiente tabla 36-3 detallamos los tipos de procesos y el tiempo utilizados en cada uno de ellos para la parte de la estructura, como procesos significativos observamos proceso de mediación, corte y soldado, procesos que con llevan una gran importancia al momento de la construcción estructural.

Tabla 36-3: Tiempo y operación del sistema estructural

Sistema Estructural			
Elemento	Numero	Proceso	Tiempo(min)
Estructura	1	Medición	120
	2	Corte	240
	3	Soldado (Puntos)	60
	4	Encuadre	20
	5	Soldado (Cordón)	100
Soporte motor reductor	1	Medición	20
	1	Corte	30
	3	Soldado (Puntos)	20
	4	Ensamblado	10
Refuerzos	1	Medición	30

	2	Corte	30
	3	Soldado	20
	4	Ensamblado	20
Ensamble General	1	Pulido	120
	2	Lijado	60
	3	pintado	60
TIEMPO TOTAL			960

Realizado por: Gomez, E.; Pulluquitin, R. 2020

3.5.2.2. Tiempo y operación del sistema de trituración

En el análisis de este sistema aun unos procesos que se consideran muy importantes para la calidad de nuestro equipo uno de ellos es el proceso de mecanizado de las cuchillas fijas y móviles ya que ellas cumplirán un trabajo muy importante en el proceso de trituración, esta cuchilla después de su mecanizado se procedió a realizar el respectivo tratamiento térmico que fue el temple tratamiento que servirá a estos elementos obtener mayor dureza y disminuir su desgaste.

Tabla 37-3: Tiempo y operación del sistema de trituración

Sistema de trituración			
Elemento	Numero	Proceso	Tiempo(min)
Cuchillas móviles	1	Medición	60
	2	Corte	60
	3	Mecanizado	180
	4	Tratamiento térmico	480
	5	Lijado	30
Cuchillas Fijas 1	1	Medición	60
	2	Corte	60
	3	Mecanizado	180
	4	Tratamiento térmico	480
	5	Lijado	30
Separadores	1	Medición	30
	2	Corte	30
	3	Mecanizado	60
	4	Lijado	30

	5	Pulido	20
Cuchillas Fijas 2	1	Medición	60
	2	Corte	60
	3	Mecanizado	120
	4	Tratamiento térmico	480
	5	Lijado	30
Eje de transmisión	1	Medición	20
	2	Corte	10
	3	Mecanizado	60
Paredes de la caja de trituration	1	Medición	60
	2	Corte	60
	3	Taladrado	20
	4	Soldado	20
	5	Pintado	60
Criba	1	Medición	10
	2	Corte	20
	3	Taladrado	30
	4	Rolado	10
	5	Soldado (Puntos)	10
Ensamble General	1	Acoplar	240
	2	Ensamblar	150
TIEMPO TOTAL			3320

Realizado por: Gomez, E.; Pulluquitin, R. 2020

3.5.2.3. *Tiempo y operación del sistema de transmisión*

El tiempo requerido en este sistema de transmisión de potencia es, muy corto ya que los procesos que conllevan a este son muy fáciles, comenzando por la transmisión de potencia que es transmisión directa de la moto reductora al eje de trituración, unidos por un acople de manzana que permite al motor una transmisión donde rompe la inercia existente en el eje de trituración.

Tabla 38-3: Tiempo y operación del sistema de transmisión

Sistema de trasmisión			
Elemento	Numero	Proceso	Tiempo
Eje motriz	1	Medición	30
	2	Corte	30
	3	Mecanizado	120
Acople	1	Medición	30
	2	Corte	30
	3	Mecanizado	160
Motor reductor	1	Cálculos	60
	2	Selección	20
	3	Adquisición	480
TIEMPO TOTAL			960

Realizado por: Gomez, E.; Pulluquitin, R. 2020

3.5.2.4. *Tiempo y operación del sistema de llenado y vaciado del material*

A continuación, mostramos los procesos para realizar la construcción de la tolva de entrada y del reservorio, tales elementos que se utilizó el diseño mediante chapa metálica la misma que se procedió a doblarla según nuestro diseño y a soldarla, todos estos elementos con su respectivo acabado.

Tabla 39-3: Tiempo y operación del sistema de llenado y vaciado del material

Sistema de llenado y vaciado			
Elemento	Numero	Proceso	Tiempo
Tolva	1	Medición	30
	2	corte	30
	3	Doblado	30
	4	soldado(puntos)	10
	5	Encuadre	10
	6	Soldado (Cordón)	40
	7	Pulido	20
	8	Masillado	10
	9	Lijado	30
	10	Pintado	30

Reservorio	1	Medición	30
	2	corte	30
	3	Doblado	30
	4	soldado(puntos)	10
	5	Encuadre	10
	6	Soldado (Cordón)	40
	7	Pulido	20
	8	Masillado	10
	9	Lijado	30
	10	Pintado	30
TIEMPO TOTAL			480

Realizado por: Gomez, E.; Pulluquitin, R. 2020

3.5.2.5. Tiempo y operación del sistema de control

En este sistema trabajamos en el área eléctrica y electrónica, ya que nos basamos en la construcción del tablero de control que contiene elementos de ambas áreas.

Tabla 40-3: Tiempo y operación del sistema de control

Sistema de control			
Elemento	Numero	Proceso	Tiempo
Tablero	1	Construcción	240
	2	Instalación de elementos eléctricos	480
	3	Instalación de elementos electrónicos	480
TIEMPO TOTAL			1200

Realizado por: Gomez, E.; Pulluquitin, R. 2020

3.5.2.6. Tiempo de ensamble y automatización de la trituradora.

En la tabla 41-3 siguiente observamos la compilación de todos los tiempos que se utilizaron tanto en el ensamble y montaje de elementos, también tomamos en cuenta la instalación de sensores para la parte automática de la máquina y su respectiva programación de ella.

Tabla 41-3: Tiempo de ensamble y automatización de la trituradora

ENSAMBLE FINAL			
Elemento	Numero	Proceso	Tiempo
Estructura	1	Montaje	30
Sistema de trituración	1	Montaje	100
Sistema de trasmisión	1	Montaje	100
Acople de tolva y reservorio	1	Montaje	100
Sistema de control	1	Instalación elementos eléctrico	210
	1	Instalación elementos electrónicos	210
	2	Instalación de sensores	210
Programación	1	Creación de código	480
TIEMPO TOTAL			1440

Realizado por: Gomez, E.; Pulluquitin, R. 2020

3.5.2.7. *Tiempo de construcción y montaje*

En la tabla 42-3 siguiente se muestra el tiempo que se utilizó en cada proceso de construcción, en minutos, horas y días, cada sistema de la maquina tuvo el tiempo requerido para su construcción y montaje, llegando a la conclusión que la construcción y automatización del equipo se llevó a cabo en 17 días laborables.

Tabla 42-3: Tiempo de construcción y montaje

TIEMPO TOTAL			
Sistema	Tiempo(min)	Tiempo(h)	Tiempo(días)
Estructural	960	16	2
Trituración	3320	56	7
Trasmisión	960	16	2
Llenado y vaciado	480	8	1
Control	1200	20	3
Montaje final	1440	24	3
TIEMPO TOTAL	8360	140	18

Realizado por: Gomez, E.; Pulluquitin, R. 2020

3.6. **Manual de operación de la maquina**

El manual de operación tiene como finalidad proporcionar el conocimiento de cómo manejar la máquina trituradora de plástico PET de forma manual y automática, teniendo las debidas precauciones al momento de ser operada por un usuario.

Instalación de la maquina:

- Conectarlo en una fuente de conexión trifásica.

- Instalarlo en una superficie estable.
- Observar que la tapa de entrada a la tolva se encuentre cerrada en su totalidad.

Introducción de la materia prima (Plástico PET):

- La botella no debe contener la tapa ni la etiqueta para obtener solo el triturado de la botella.
- Observar que la botella se encuentre seca por dentro y por fuera antes de ingresar a la máquina.
- Compactar la botella para facilitar su triturado en la máquina.

3.6.1. Instrucciones de funcionamiento de forma automática

Para el uso de la maquina en forma automática se puede observar en la tabla 43-3, donde se detallarán los pasos a seguir.

Tabla 43-3: Funcionamiento de forma automática

N°	Descripción	Ilustración
1	Presionar el pulsador rojo para activación del proceso automático	
2	Observar que el led Azul se encuentre encendido.	
3	Colocar la botella de plástico PET en la abertura de la tapa de la tolva	

4	Inicia el proceso de triturado por un lapso de tiempo estimado de 30 segundos.	
5	La máquina se procederá a parar acabado los 30 segundos de trituración y se volverá a encender, caso que el recipiente se encuentre lleno la maquina no se volverá a encender si no se vacía dicho recipiente.	

Realizado por: Gomez, E.; Pulluquitin, R. 2020

3.6.2. Instrucciones de funcionamiento de forma manual

Para el uso de máquina de forma manual sin intervención de la parte automática se muestra en la tabla 44-3.

Tabla 44-3. Funcionamiento de forma manual

N°	Descripción	Ilustración
1	Presionar el pulsador verde para activar de forma manual.	
2	Observar que el led amarillo este encendido.	

3	El siguiente pulsador es para que la trituradora se ponga en marcha.	
4	Colocar las botellas en la tolva.	
5	El último pulsador es para el apagado y detención de la maquina en su totalidad	
6	Llenado y vaciado del recipiente.	

Realizado por: Gomez, E.; Pulluquitin, R. 2020

3.6.3. *Manual de mantenimiento*

Toda máquina consta con un plan de mantenimiento con el objetivo de mantener la maquina en las mejores condiciones posibles para que sea eficiente para lo que fue elaborado, el plan de mantenimiento nos ayudara a revisar los componentes que más comúnmente necesitaran una inspección ya sea diaria, semanal, mensual o anualmente con el fin de evitar problemas su ejecución. El plan de mantenimiento para nuestra maquina será de forma anual considerando los días laborables solo de lunes a viernes y se muestra en la tabla 45-3.

- Limpieza del equipo.

La limpieza del equipo se realizará de forma diaria luego de finalizar o al comienzo de los días que se lo utilizara para evitar que el material triturado entre en los componentes que se encuentran en movimiento, eléctricos y electrónicos.

- Lubricación en elementos en movimiento (chumacera, acople, etc.)

La lubricación se realizará cada cuatro semanas, cualquier día de la cuarta semana para evitar desgaste por fricción de los componentes en movimiento e inspeccionar si existe alguna presencia de material triturado que se encuentre obstruyendo su funcionamiento.

- Revisión de cuchillas móviles y fijas

Se realizará una revisión por observación de la cuchillas fijas y móviles el cual se realizará una vez cada dos meses, para observar alguna perdida de filo o alguna anomalía como lo más común oxido por contacto con el agua, esto puede ocurrir porque algunas botellas entran con agua presente.

- Reajuste de la máquina

Realizar un reajuste de tuercas y pernos de la maquina cada seis semanas ya que la misma se encuentra con componentes móviles.

- Revisión de componentes eléctricos y electrónicos.

La revisión de los componentes eléctricos y electrónicos se lo realizara cada 4 meses, es decir se realizará un mantenimiento de limpieza de dichos componentes, si existe alguna anomalía en la automatización se revisará el estado de los sensores y más dispositivos electrónicos.

3.7. Análisis de Costos

A continuación, detallamos los costos para la construcción y automatización de la máquina trituradora de material PET, consideramos tanto costos directos, como indirectos que llevaran al resultado del costo final del equipo.

3.7.1. Costo directo

Son costos que se identifican fácilmente con el producto, servicio, proceso o departamento, son considerados costos directos los materiales o materia prima a utilizar y la mano de obra (Charles et al., 2006: p.135).

En la construcción de nuestro equipo consideramos costos directos, la compra de los materiales para la parte estructural, para el sistema de trituración y la parte de sistema control, insumos, contratación de taller y mecánico, continuación detallaremos cada uno de ellos.

Tabla 46-3: Materiales mecánicos

N°	Material	Cantidad	Precio Unitario	Total
1	Tubo cuadrado 30x30x3 Acero comercial A36	2	15	30
2	Plancha estructural A36 de 5 mm de espesor	1	50	50
3	Plancha estructural A36 de 2 mm de espesor	1	30	30
4	Plancha estructural A36 de 8 mm de espesor	1	60	60
5	Barra de acero de transmisión AISI 1020 D=1 in	1	30	30
6	Perfil ángulo 20x20x2	2	8	16
7	Acople manzana	1	10	10
8	Chumaceras	2	10	20
9	Pernos	20	0.5	10
Total				256

Realizado por: Gomez, E.; Pulluquitin, R. 2020

Tabla 47-3: Materiales eléctricos y electrónicos

N°	Material	Cantidad	Precio Unitario	Total
1	Motorreductor	1	500	500
2	Contactador	1	15	15
3	Disyuntor	1	49	49
4	Stwite	2	13	26
5	Luz led	4	3.5	14

6	Pulsadores	4	6	24
7	Pulsador tipo hongo	1	7.5	7.5
8	Arduino MEGA	2	60	120
9	Cable flexible 12 AWG Azul	2	1.25	2.5
10	Cable flexible 12 AWG negro	2	1.25	2.5
11	Cables Dupoint 30 cm	4	3.4	13.6
12	Cables Dupoint 20 cm	2	2.49	4.98
13	Cable de timbre amarillo	10	0.25	2.5
14	Cable de timbre negro	10	0.25	2.5
15	Resistencias	20	0.05	1
16	Modulo Relé	1	8	8
17	Fuente 5v	1	10	10
18	Sensores inductivos	2	12	24
19	Final de carrera	1	1	1
20	Enchufe trifásico	1	35	3.5
Total				831.58

Realizado por: Gomez, E.; Pulluquitin, R. 2020

Tabla 48-3: Costos de mano de obra

N°	Descripción	Días de Trabajo	Precios por día	Total
1	Taller	17	5	85
2	Mecánico	17	25	425
Total				510

Realizado por: Gomez, E.; Pulluquitin, R. 2020

Tabla 49-3: Costos de transporte

N°	Descripción	Precios por día	Total
1	Transporte	150	150
Total			150

Realizado por: Gomez, E.; Pulluquitin, R. 2020

A continuación, encontraremos el costo total directo realizando de la suma de todos los subtotaes de los costos directos.

Tabla 50-3: Costo total directo

N°	Descripción	Costo
1	Materiales Mecánicos	256
2	Materiales Eléctricos y electrónicos	831.58
3	Costos de mano de obra	510
4	Costos de transporte	180
Total, de costos directos		1777.58

Realizado por: Gomez, E.; Pulluquitin, R. 2020

3.7.2. Costos indirectos

Son costos que pueden vincularse con más de un objeto de costos y el mismo que no pueden identificarse ni especificar (Charles et al., 2006: p.135). Como imprevistos que sucedan durante la fase de fabricación o construcción. Los costos indirectos también conocidos como gastos generales.

Tabla 51-3: Costos de imprevistos

N°	Descripción	Precios Unitario	Precio Total
1	Imprevistos	200	200
Total			200

Realizado por: Gomez, E.; Pulluquitin, R. 2020

3.7.3. Costos totales

Para calcular los costos totales se realiza la suma de los costos directos e indirectos, después de haber realizado detalladamente cada coste procedemos a calcularlo y tener nuestro valor total de la construcción de la máquina.

Tabla 52-3: Costos total

N°	Detalle	Valor (USD)
1	Costos directos	1777.58
2	Costos indirectos	200
Total		1977.58

Realizado por: Gomez, E.; Pulluquitin, R. 2020

Al realizar todo el análisis de costos llegamos a obtener el costo total de nuestra máquina que equivale a 1977.58 dólares, se debe considerar que el costo podría variar dependiendo el tiempo de construcción en el que se requiera la máquina.

CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS

4.1. Funcionamiento de la máquina.

Ya realizado el montaje e instalación de los componentes tanto mecánicos como electrónicos se procedió a realizar las pruebas correspondientes para su verificar su correcto funcionamiento determinando así si existen fallas de funcionamiento mecánicos o electrónicos donde afecte su eficiencia y siendo así poder detectarlos para su corrección. Se realizo primero el funcionamiento en control manual de la maquina en el cual se utilizan solo botoneras, esto con la finalidad de hallar alguna traba existente en el proceso de triturado entre dientes móviles y fijos. Para la parte automática se realizaron las pruebas del programa para verificar el correcto funcionamiento de los sensores de detección del material, final de carrera, el encendido y apagado del motorreductor, todo esto controlado por un Arduino Mega.

4.2. Análisis de Resultados

4.2.1. *Tamaño de triturado*

Para comprobar la efectividad de la maquina al momento de triturar se tomaron muestras de 10 procesos de triturado por botella, con eso obtenemos medidas para obtener el tamaño de granulado que la maquina arrojara gracias a la criba, las muestras tomadas se presentan en la tabla 1-4.



Figura 1-4: Resultado de la relación Demanda/Capacidad

Fuente: Gomez, E.; Pulluquitin, R. 2020

Tabla 1-4: Muestras de plástico triturado

Muestra	Ancho [mm]	Largo [mm]	Área [mm ²]
1	7.44	3.74	27.83
2	10.10	6.22	62.82
3	8.20	6.10	50.02
4	6.82	3.62	24.69
5	5.42	5.42	29.38
6	7.10	5	35.5
7	8.20	3.38	27.72
8	9	4	36
9	6	4.20	25.2
10	7	4.20	29.4
Promedio	7.53	4.59	34.54

Realizado por: Gomez, E.; Pulluquitin, R. 2020

Se realizo un promedio teniendo, así como resultado una trituración menor de 10 mm de ancho y menor de 5 mm de largo con una aria promedio de 34.54 mm², a comparación de otras máquinas trituradoras fabricadas en trabajos similares dando como resultado:

- 28.8 mm de largo y 10.2 mm de ancho (Ortiz Palacios, 2016: pp. 76).
- 36 mm de largo y 16 mm de ancho (Freire et al., 2013: pp. 63).

Esta variación dependerá del tipo de criba que las maquinas hayan utilizado ya que ambos poseen la misma o casi mismo valor de potencia de trituración.

4.2.2. Capacidad de triturado

Para hallar la capacidad de triturado de la máquina, se tomó 5 muestras tomando los tiempos de cada una de las botellas de 500 ml con su respectivo peso de 0,017 kg.

Tabla 2-4: Capacidad de triturado sin criba.

Muestras	Peso [kg]	Tiempo [s]	Capacidad [kg/h]
1	0.017	4	15.3
2	0.017	5	12.24
3	0.017	5	12.24

4	0.017	4	15.3
5	0.017	4	15.3
Promedio	0.017	4.4	14.08

Realizado por: Gomez, E.; Pulluquitin, R. 2020

También se consideró la toma de datos con la criba, se tomaron 5 muestras con sus respectivos pesos en un determinado tiempo.

Tabla 3-4: Capacidad de triturado con criba.

Muestras	Peso [kg]	Tiempo [s]	Capacidad [kg/h]
1	0.020	80	0.9
2	0.022	80	0.99
3	0.019	80	0.86
4	0.020	80	0.9
5	0.021	80	0.95
Promedio	0.0204	80	0.92

Realizado por: Gomez, E.; Pulluquitin, R. 2020

La tabla 2-4 muestra que la capacidad de triturado de nuestra maquina se asemeja a nuestro objetivo de 15 kg/h con un valor promedio de 14.08 kg/h y la tabla 3-4 muestra la capacidad que tendrá nuestra maquina en la salida del material colocada la criba.

4.2.3. Funcionamiento del sistema de control y programación.

En la maquina hay dos tipos de sistema de control en forma manual con una botonera para encendido y apagado, el otro sistema es para triturar de forma automática programado por Arduino los sensores de detección, llenado y final de carrera, para la selección de cualquiera de los dos tipos existe una botonera donde se activará una y deshabilitará la otra, y así de forma viceversa.

4.2.4. Consumo Energético

Se realizará el análisis de consumo energético de la maquina en la ciudad de Riobamba, para ello se tomará en consideración el valor de kwh de \$0.09 cuyo valor se obtuvo en la planilla de luz.

El consumo energético (CE) se hallará en base a la siguiente formula:

$$CE = \frac{\text{Potencia (Kw)}. (\text{Horas al dia}). (\text{Uso al mes})}{1000} \quad (42)$$

Los datos a considerar se presentan en la tabla 55-3.

Tabla 4-4: Datos para el cálculo del consumo energético

Potencia	2(1491.39)	HP(Watts)
Horas de trabajo	8	h
Días de trabajo al mes	20	días

Realizado por: Gomez, E.; Pulluquitin, R. 2020

$$CE = \frac{(1491.39). (8). (20)}{1000}$$

$$CE = 238.68 \text{ kwh}$$

Ahora que se obtiene el consumo eléctrico procedemos a hallar el consumo energético mensual de la máquina, multiplicando el valor antes hallado con el costo por kwh de 0.09 dando como resultado \$ 21.48.

CONCLUSIONES

- Aplicando los conocimientos teóricos y prácticos adquiridos durante toda la carrera se ha logrado diseñar y construir la máquina trituradora de PET demostrando así que el tiempo y dinero se pueden optimizar de buena manera evitando un gasto excesivo en ambas partes.
- En la selección de materiales se consideró los más comunes en la construcción de maquinaria y también que se tenga más acceso en el mercado para que en los futuros mantenimientos correctivos se pueda adquirir en la mayoría de locales que se dediquen a la venta de productos de construcción de acero.
- El acople motor-caja trituradora se lo construyo gracias a las sugerencias que se obtuvieron por personas dedicadas a la construcción de máquinas trituradoras, el cual su implementación es con el objetivo de “romper” la inercia que existe en la caja de trituración.
- En las cuchillas fijas y móviles se realizaron un tratamiento térmico de temple con el único objetivo de endurecerlas para que su vida útil se alargase y también considerando que al realizar este tipo de tratamiento se lo realiza a materiales que se considerará como herramienta de corte.
- La criba que cumple con el granulado deseado será fija ya que la maquina se la diseño y construyo con el objetivo de obtener granulado de 5 a 10 mm para fines y usos prácticos.
- La parte automática se lo realizo en un Arduino Mega ya que la programación no abarca complejidad a nivel industrial, su funcionamiento es satisfactorio y sin ningún inconveniente en ambos funcionamientos de forma automática y manual.
- La capacidad de trituración se obtuvo de 14 kg/h muy cercano al valor establecido de 15 kg/h, un valor aceptable para ser un prototipo.

RECOMENDACIONES

- Para que la maquina se mantengan en óptimas condiciones se deberá tomar en cuenta los mantenimientos sugeridos, evitando así el deterioro de los principales elementos que componen la máquina, prolongando así la vida útil de la máquina.
- Si se desea realizar una maquina a nivel industria se recomienda utilizar un PLC y sensores industriales para un mejor rendimiento, con esto la prolongación de la vida útil de los elementos electrónicos aumentarían ya que el trabajo de la maquina seria de forma más frecuente.
- Si se desea realizar trituraciones con granulados de diferente tamaño, así como una trituración directa es decir que la materia prima caiga directamente con la primera trituración se recomienda que la criba no sea fija sino intercambiable.
- El material Plástico a ingresar en la maquina debe pasar antes por un tratamiento de secado y compactación para así evitar el óxido en la parte de los componentes mecánicos y daños en lo electrónico, al igual para su fácil y rápida trituración.

GLOSARIO

Algoritmo: Es un conjunto finito de criterios bien establecidos en su lógica de control el cual permite la solución de un problema a través del cumplimiento de pasos que den la solución debida al problema en un determinado tiempo finito (Mancilla Herrera et al., 2014: p. 6).

Esbelto: Cuando su longitud es mucho mayor que las dimensiones de la sección transversa, este tiende a flexionarse o pandearse (Vanegas Useche, 2018. p. 31).

Pandeo: Es un comportamiento de los elementos estructurales sometidos a un esfuerzo de compresión; un elemento esbelto sometido a una carga a compresión en lugar disminuir su altura, curva su eje hasta llegar al colapso (Diez, 2005, p. 172).

QFD: Es un método globalizado en el cual el principal objetivo es asegurar que se toma principalmente en cuenta la voz del usuario o cliente, a la vez que constituya una ayuda para la planificación de la calidad durante todo el ciclo de vida (Riba, 2002, p.176).

Resonancia: Todo sistema tiende a oscilar con una gran amplitud cuando se excita con una determinada frecuencia a esto se le llama resonancia (Vanegas Useche, 2018. p. 43).

Sensor: También conocido como transductor o captador, su objetivo es transformar una magnitud física en una magnitud eléctrica, también se tendrá en cuenta que el dispositivo no tiene contacto físico (Cerdá, 2014, p. 265).

Temple: Un acero enfriado cuando se encuentra su temperatura por encima de la transformación Ac_3 a una velocidad suficientemente rápida a fin de endurecerlo considerablemente (Morela Solá, 1991, p. 43).

BIBLIOGRAFÍA

AG ELECTRÓNICA. *Catálogos de Productos* [blog]. 2020. [Consulta: 22 enero de 2021]. Disponible en: <https://www.agelectronica.com/detalle.php?p=A000067>

ALMEDA, Omar. 2018. *Máquinas Expendedoras Inversas: El Futuro Para el Reciclado de Plásticos PET en México.* Chihuahua , México: Universidad Tecnológica de Ciudad Juárez, 2018, pp. 44 - 57.

AV ELECTRONICS. *Catálogos de Productos* [blog]. 2020. [Consulta: 22 de Enero de 2021]. Disponible: <https://avelectronics.cc/producto/sensor-proximidad-infrarrojo-ajustable-e18-d80nk/>.

BMIMACHINES. *Cinco plásticos que se usan en el día a día* [blog]. 2020. [Consulta: 28 de diciembre de 2020]. Disponible en: https://www.bmimachines.com/cinco-tipos-de-plasticos-que-usas-en-tu-dia-a-dia/#Tereftalato_de_Polietileno_PET.

BRUNA TAPIA, Rodrigo Alejandro & SUAREZ COCA, Javier Ignacio. DISEÑO DE UNA TRITURADORA DE BOTELLAS PET. (Trabajo de titulación) (Pregrado), Universidad Técnica Federico, Santa María, Chile. 2016.

BUDYNAS, Richard & NISBETT, Keith. *Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley.* México D.F - México: McGraw-Hill, 2008.

CANALS MEDINA, Arianna Susel. Propuesta y análisis de la configuración geométrica de las cuchillas de un molino triturador de plástico, [En línea] (Trabajo de Titulación). (Pregrado) Universidad de Holguín, Holguín, Cuba. 2012. pp. 12-14. [Consulta: 2020-12-30]. Disponible en: <https://repositorio.uho.edu.cu/jspui/handle/uho/5851>.

CERDÁ FILIU, L. M. *Instalaciones eléctricas y automatismo.* Madrid - España: Paraninfo, 2014.

CHALMIN, Philippe. “The history of plastics: from the Capitol to the Tarpeian Rock”. *Field Actions Science Reports*, vol.2, (2019), (United States).

CHARLES, T; et al. *Contabilidad Administrativa*. Naucalpan de Juárez- México : PEARSON EDUCACIÓN, 2006, p.135.

CONTRERAS, Leonardo et al. *Procesos de fabricación en polímeros y cerámicos*. Bogotá : Ediciones de la U, 2018. ISBN 978-958-762-742-8.

CROSS, Nigel. *Métodos de Diseño: Estrategias para el Diseño de Productos*. 2ª ed. México-México: LYMUSA WILEY, 2002, p.43.

FEITÓ, Michael et al. “Diagnóstico ecológico y económico de la cadena de suministros para el reciclaje de plásticos en el contexto empresarial cubano”. *Estudios Gerenciales*, vol. 31, (2015), (Cuba).

DIEZ, Gloria. *Diseño estructural en Arquitectura: introducción*. Buenos Aires - Argentina: Nobuko, 2005.

DIMALEXA. *Catálogos de Productos* [blog] 2020. [Consulta: 22 enero de 2021]. Disponible en: <http://dimalex.com/carp/camsco.pdf>.

ECOPLAST. *Reciclado de Plásticos* [blog] 2018. [Consulta: 31 de Diciembre de 2020]. Disponible en: <https://ecoplas.org.ar/reciclado-de-plasticos-1/>.

ELECTRONICA PLUG AND PLAY. *Catálogos de Resistencias* [blog]. 2021. [Consulta: 22 de Enero de 2021]. Disponible en: <https://www.electronicaplugandplay.com/componentes-pasivos/resistencias/resistencias-de-carbon/product/81-resistencia-560-1-4-watt>.

ELECTRORED. *Productos de electrificación* [blog] 2020. [Consulta: 22 de Enero de 2021]. Disponible en: <https://electrored.store/>

ELGEGREN, Mariela. “Reciclaje químico de desechos plásticos”. *Revista de la Sociedad Química del Perú*, vol. 78, (2012), (Perú) pp. 105-106.

ENRÍQUEZ, Gilberto. *Manual de instalación y reparación de aparatos electrodomésticos: instalaciones eléctricas e hidráulicas*. México D.F - México: Limusa, 2004.

EROSKI. *La importancia de Reciclar* [blog] 2016. [Consulta: 31 de Diciembre de 2020]. Disponible en: https://www.academia.edu/7248817/Escuelas_Idea_Sana_EROSKI_Noviembre_La_importancia_de_reciclar_1

FREIRE CÁRDENAS, Luis Miguel & GONZÁLEZ MOSQUERA, Cristian Jeyson. Diseño y construcción de un equipo triturador de botellas plásticas tipo PET. (Trabajo de titulación) (Pregrado). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba – Ecuador. 2013.

HAMROCK, Benjard; et al. *Elementos de máquinas.* Mexico D.F- México: McGraw-Hill, 1999.

HERMOSA, Antonio. *Electrónica Aplicada.* Barcelona - España: MARCOMBO, 2011, pp 61-136

INDUSTRIA ELÉCTRICAS JMA, S.A. *Productos Eléctricos LSIS.* Ciudad de Mexico-México: LSIS, 2008.

INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICAS Y CENSOS. *Estadística de información ambiental Ecuador* [blog] 2018. [Consulta: 31 de Diciembre de 2020]. Disponible en: <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/segun-la-ultima-estadistica-de-informacion-ambiental-cada-ecuatoriano-produce-058-kilogramos-de-residuos-solidos-al-dia/#:~:text=El%20Instituto%20Nacional%20de%20Estad%C3%ADstica,Municipales%2C%20correspondiente%20al%20a.>

INYE PARTES INDUSTRIAL. . *Catálogos de productos* [blog]. 2020. [Consulta: 21 de Enero de 2021]. Disponible en: <https://www.inyepartes.com/producto/boton-paro-de-emergencia-tipo-hongo-22mm/>.

LENTAX. *Línea de engranajes cónicos.* Buenos Aires Argentina, 2018.

LÍNEA VERDE. *Reciclaje* [blog] 2019. [Consulta: 20 de diciembre de 2020]. Disponible en: <http://www.lineaverdehuelva.com/lv/consejos-ambientales/reciclaje/Que-es-el-reciclaje.asp#>.

LS INDUSTRIAL SYSTEMS. *Low Voltage Circuit Breakers.* Corea: LS Industrial Systems, 2009.

LUQUE, Eder. DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE MAQUINA TRITURADORA DE BOTELLAS PET. (Trabajo de titulación) (Pregrado). Universidad Técnica de Perú, Lima – Perú. 2019.

GONZÁLEZ, Martín; et al. *Electronica Digital*. Madrid: Delta Publicaciones, 2006.

MCCORMAN, J & CSERNAK S. *Diseño de Estructuras de Acero*. 5ª ed. México: Alfaomega, 2013. ISBN: 978 607 707 559 2.

MANCILLA HERRERA, Alfonso, EBRATT GÓMEZ, Roberto & CAPACHO PORTILLA, José. *Diseño y construcción de algoritmos*. Barranquillas - Colombia: Universidad del Norte, 2014.

BUDYNAS, Richard & NISBETT, Keith. *Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley*. México D.F - México: McGraw-Hill, 2008.

MENDOZA, Carlos; et al. *Electrónica industrial moderna*. 2ª ed. México: PEARSON EDUCATION, 2006.

MORÁN, Susana. *Basura: los números rojos de Ecuador* [blog] [Consulta: 30 de Diciembre de 2020]. Disponible: <https://www.planv.com.ec/historias/sociedad/basura-numeros-rojos-ecuador>.

MORELA SOLÁ, Pere. 1991. *Tratamientos térmicos de los metales*. Barcelona - España: MARCOMBO, 1991.

MUNDOPLAST. *Petcore crea un nuevo grupo para el reciclado químico de PET* [blog] [Consulta: 30 de diciembre de 2020.] Disponible en: <https://mundoplast.com/reciclado-quimico-pet/>.

NATIONAL GEOGRAPHIC. *Innovacion y reciclaje* [blog] 2018. [Consulta: 30 de diciembre de 2020]. Disponible en: https://www.nationalgeographic.com/es/mundo-ng/actualidad/innovacion-y-reciclaje-2_13839.

NAYLAMP MECHATRONICS. *Relay 5VDC SRD-05VDC-SL-C* [blog]. 2019. [Consulta: 24 de Enero de 2021.] Disponible en: <https://www.naylampmechatronics.com/drivers/263-relay-5vdc-srd-05vdc-sl-c.html>.

OMRON CORPORATION. *Alldatasheet* [blog] 2021. [Consulta: 22 de Enero de 2021]. Disponible en: <https://pdf1.alldatasheet.es/datasheet-pdf/view/826800/OMRON/V-156-1C25.html>.

ORMAZA ANDRADE, J. “Maquina bio-recicladora de plástico pet: un emprendimiento viable. Caso Azogues – Ecuador”. *Telos* [En línea], 2020, (Ecuador) 22(2). [Consulta: 29 diciembre 2020]. ISSN 1317-0670. Disponible en: <https://doi.org/10.36390/telos22.11>

ORTIZ PALACIOS, Jaime Andrés. Diseño y construcción de una maquina trituradora automatizada para envases plásticos. (Trabajo de titulación) (Pregrado). Universidad Técnica Equinoccial, Quito- Ecuador. 2016.

PAZ, María. Reciclado de PET a partir de botellas [En línea] (Trabajo de titulación). (Pregrado) Universidad Nacional de Córdoba, Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Escuela de Ingeniería Industrial, Córdoba, Argentina. 2016. pp. 46 - 47. [Consulta: 30 diciembre 2020]. Disponible en: <https://rdu.unc.edu.ar/bitstream/handle/11086/5567/PAZ%2C%20MARIA%20-%20PI%20Reciclado%20de%20PET%20a%20partir%20de%20botellas%20post%20consumo.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

PEÑA, C. A. *Descubriendo Arduino*. Buenos Aires- Argentina: Miguel Lederkremer, 2020.

RECOVERY. *Trituración de Plásticos* [blog] 2018. [Consulta: 31 de diciembre de 2020]. Disponible en: <http://www.recovery.com.es/portfolio-view/trituracion-de-plasticos/>.

REMSA. *Recicla Electrónicos México* [blog] 2018. [Consulta: 29 de diciembre de 2020]. Disponible en: <https://www.reciclaelectronicos.com/blog/2018/05/motivos-para-no-utilizar-botellas-de-plastico-pet/>.

RIBA, Carles. *Diseño Concurrente* [en línea]. Barcelona-España: Ediciones UPC, 2002. [Consulta: 29 diciembre 2020]. Disponible en: <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.3/36754/9788498800746.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

RICHARDSON, L & LONKENS GARD, E. *Industria del Plástico*. Mexico: Paraninfo, 2008.

SANMARTÍN, Gladys. “El reciclaje: un nicho de innovación y emprendimiento con enfoque ambientalista”. *Universidad y Sociedad*, vol. 9, n° 1 (2017), (Ecuador).

SKF. *Rodamientos*. Barcelona - España, 2020.

UCHIHA, Denis. *Procesos del reciclado* [blog]. 2014. [Consulta: 31 de diciembre de 2020] Disponible en: <https://es.slideshare.net/DenisOUchihaJimnez/procesos-de-reciclado>.

URQUIZA, Franco; et al. *Reciclado mecánico de residuos plásticos*. Barcelona: Universitat Politècnica de Catalunya, 2016.

VANEGAS USECHE, Libardo Vicente. *Diseño de Elementos de Máquinas*. Pereira - Colombia: Universidad Tecnológica de Pereira, 2018.

VÁSCONEZ ORTIZ, Alex Paul. Diseño y simulación de una máquina trituradora de plásticos de 15KG/H para el laboratorio de conformado de la Facultad de Ingeniería Mecánica. (Trabajo de titulación) (Pregrado). Universidad Politécnica Nacional, Quito - Ecuador . 2019.

ANEXOS

ANEXO A: ENSAYO DE CORTE REALIZADO POR ESTUDIANTES DE LA UTE (UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA EQUINOCCIAL).

INFORME TÉCNICO

LAEV - OCT.06.15

Quito, 2 de octubre de 2015

TRABAJO SOLICITADO POR: UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA EQUINOCCIAL
Ing. Luis Hidalgo M.Sc.

ORDEN DE TRABAJO Nº 0004141

Los resultados contenidos en el presente informe corresponden a ensayos realizados en muestras de plástico, pertenecientes al señor Jaime Ortiz Palacios para el proyecto final de titulación "DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA TRITURADORA AUTOMATIZADA PARA ENVASES PLÁSTICOS PET". Las muestras fueron entregadas en el Laboratorio de Análisis de Esfuerzos y Vibraciones de la Escuela Politécnica Nacional.

RESULTADOS

1. **MUESTRAS:** Una (1) muestras de envase plástico para ensayo de compresión y ensayo de corte.

2. ENSAYO DE COMPRESIÓN A ENVASE PLÁSTICO

En la tabla 1 se presentan los resultados del ensayo de compresión realizado a la muestra de envase plástico.

Tabla 1. Resultados de la resistencia a la compresión de la muestra de envase plástico.

Muestra	Carga máxima registrada	
	lbf	N
M-1	525	2.33



3. ENSAYO DE CORTE A ENVASE PLÁSTICO

En la tabla 2 se presentan los resultados del ensayo de corte realizado a la muestra de envase plástico.

Tabla 2. Resultados de la resistencia al corte de la muestra de envase plástico.

Muestra	Carga máxima registrada	
	lbf	N
M-1	702	3.123

En el anexo se presenta fotografías de las muestras a ser ensayadas.



ANEXO B: RENDIMIENTO DE LOS REDUCTORES DEL CATALOGO LENTAX.

ENGRANAJES

Todos los piñones y engranajes de esta serie de reductores de simple doble o triple reducción son construídos con aceros especiales de cementación y temple, obteniéndose de esta forma un dentado con elevada dureza superficial y gran resistencia al desgaste en combinación con un núcleo dúctil de excelente tenacidad. Posteriormente se rectifican los flancos de los



dientes lográndose así un dentado helicoidal con perfil corregido de elevada capacidad portante. Paralelamente, se realiza un estricto control de la evolvente de los dientes, el paso, el ángulo de hélice y la concentricidad de cada par de engranajes.

La concepción de modularidad aplicada al diseño de estas cajas, permite utilizar los pares de engranajes en diferentes tamaños de serie.

Estos engranajes se caracterizan también por su elevado rendimiento, (98.5 % por cada etapa) funcionamiento suave y gran durabilidad.

ANEXO C: CATALO DE SELECCIÓN DE CAJA REDUCTORA



Potencia Entrada		Velocidad Salida aprox.	Relación	MODELO	Factor de Seguridad	Momento Util	Velocidad Entrada aprox.	Carga Radial adm.	Carga Axial adm.	Peso aprox.	Medidas	Repuestos
kW	HP	(RPM)	(i)		(fz)	(Nm)	(RPM)	(kg)	(kg)	(kg)	Página	Página
1,50 kW	2,00 HP	157,0	9,00	CD0T2 2,00	2,05	89	1410	90	36	29	pag 57	pag 75
		182,0	7,73	CD0T2 2,00	2,30	76	1410	90	36	29	pag 57	pag 75
		211,0	6,69	CD0T2 2,00	2,55	66	1410	90	36	29	pag 57	pag 75
		242,0	5,82	CD0T2 2,00	2,85	57	1410	90	36	29	pag 57	pag 75
		151,0	6,08	HR 2,00 /6	2,55	93	920	940	376	47	pag 56	pag 74
		194,0	4,75	HR 2,00 /6	3,25	73	920	680	272	47	pag 56	pag 74
		239,0	3,84	HR 2,00 /6	4,00	59	920	680	272	47	pag 56	pag 74
		232,0	6,08	HR 2,00	3,80	61	1410	680	272	37	pag 56	pag 74
		134,0	6,85	TR 2,00 /6	1,25	105	920	655	262	42	pag 56	pag 74
		171,0	5,38	TR 2,00 /6	1,60	82	920	470	188	42	pag 56	pag 74
		348,0	2,64	TR 2,00 /6	3,30	41	920	410	164	42	pag 56	pag 74
		1,50 kW	2,00 HP	206,0	6,85	TR 2,00	1,90	69	1410	470	188	32
262,0	5,38			TR 2,00	2,45	54	1410	410	164	32	pag 56	pag 74
323,0	4,37			TR 2,00	3,00	44	1410	410	164	32	pag 56	pag 74
388,0	3,64			TR 2,00	3,60	36	1410	410	164	32	pag 56	pag 74
458,0	3,08			TR 2,00	4,00	31	1410	410	164	32	pag 56	pag 74
534,0	2,64			TR 2,00	4,00	26	1410	350	140	32	pag 56	pag 74
669,0	2,11			FR 2,00	1,60	21	1410	200	80	24	pag 56	pag 74
781,0	1,81			FR 2,00	1,90	18	1410	200	80	24	pag 56	pag 74

ANEXO D: PROPIEDADES DE LOS MATERIALES.

APÉNDICE

A

PROPIEDADES DE LOS MATERIALES

Tabla A.1 Propiedades de metales ferrosos.

Material	Densidad, kg/m ³	Módulo de elasticidad, psi × 10 ⁶ (GPa)	Resistencia a la fluencia, ksi (MPa)	Resistencia a la rotura, ksi (MPa)	Ductilidad, %AL en 2 pulg	Razón de Poisson	Conductividad térmica, W/m-°C	Coefficiente de dilatación térmica, (°C) ⁻¹ × 10 ⁻⁶
Hierro	7 870	30 (207)	19 (130)	38 (260)	45	0.29	80	11.8
Hierro fundido gris	7 150	Variable	—	18 (125)	—	Variable	46	10.8
Hierro fundido nodular	7 120	24 (165)	40 (275)	60 (415)	18	0.28	33	11.8
Hierro fundido maleable	7 200–7 450	25 (172)	32 (220)	50 (345)	10	0.26	51	11.9
Acero al bajo carbono (AISI 1020)	7 860	30 (207)	43 (295)	57 (395)	37	0.30	52	11.7
Acero al medio carbono (1040)	7 850	30 (207)	51 (350)	75 (520)	30	0.30	52	11.3
Acero al alto carbono (AISI 1080)	7 840	30 (207)	55 (380)	89 (615)	25	0.30	48	11.0
Aceros inoxidables								
Tipo ferrítico 446	7 500	29 (200)	50 (345)	80 (552)	20	0.30	21	10.4
Tipo austenítico 316	8 000	28 (193)	30 (207)	80 (552)	60	0.30	16	16.0
Tipo martensítico 410	7 800	29 (200)	40 (275)	70 (483)	30	0.30	25	9.9

ANEXO E: FACTOR DE SUPERFICIE

Acabado superficial	Factor <i>a</i>		Exponente <i>b</i>
	<i>S_{ur}</i> kpsi	<i>S_{ur}</i> MPa	
Esmerilado	1.34	1.58	-0.085
Maquinado o laminado en frío	2.70	4.51	-0.265
Laminado en caliente	14.4	57.7	-0.718
Como sale de la forja	39.9	272.	-0.995

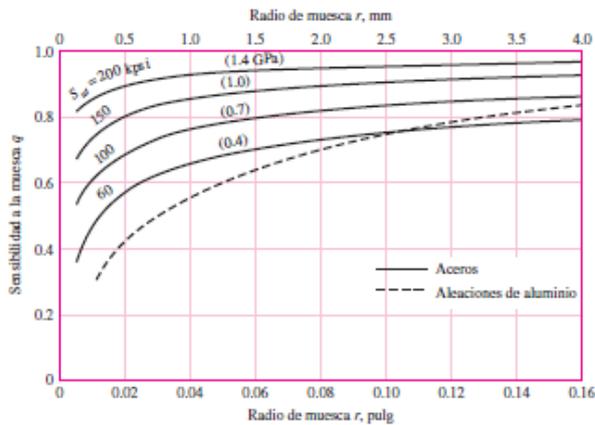
ANEXO F: FACTOR DE TEMPERATURA

Temperatura, °C	S_T/S_{RT}	Temperatura, °F	S_T/S_{RT}
20	1.000	70	1.000
50	1.010	100	1.008
100	1.020	200	1.020
150	1.025	300	1.024
200	1.020	400	1.018
250	1.000	500	0.995
300	0.975	600	0.963
350	0.943	700	0.927
400	0.900	800	0.872
450	0.843	900	0.797
500	0.768	1 000	0.698
550	0.672	1 100	0.567
600	0.549		

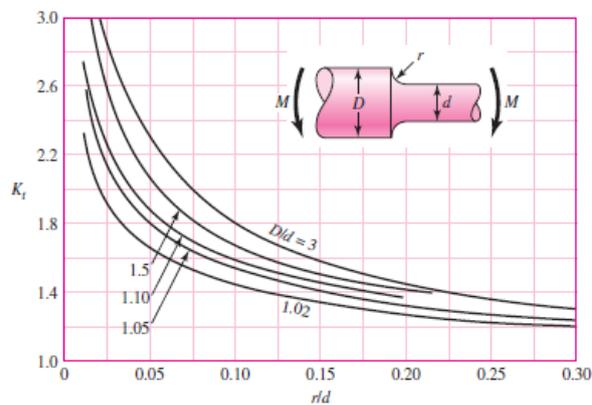
ANEXO G: FACTOR DE CONFIABILIDAD

Confianza, %	Variación de transformación z_u	Factor de confiabilidad k_u
50	0	1.000
90	1.288	0.897
95	1.645	0.868
99	2.326	0.814
99.9	3.091	0.753
99.99	3.719	0.702
99.999	4.265	0.659
99.9999	4.753	0.620

ANEXO H: FACTOR DE EFECTOS VARIOS



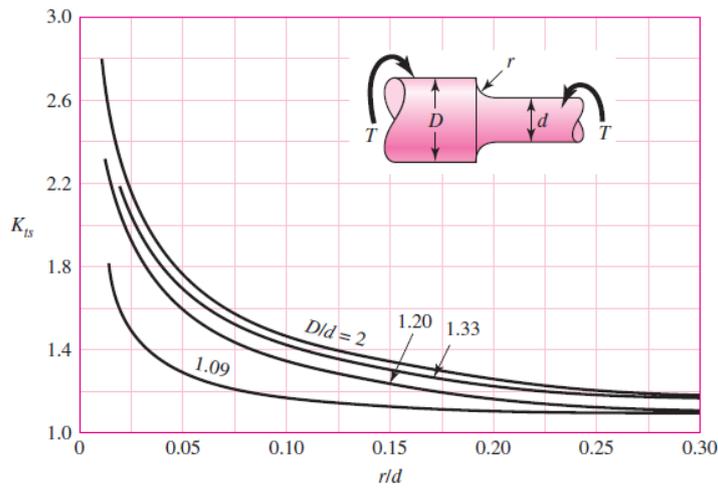
ANEXO I: FACTOR DE CONCENTRACION DE ESFUERZOS



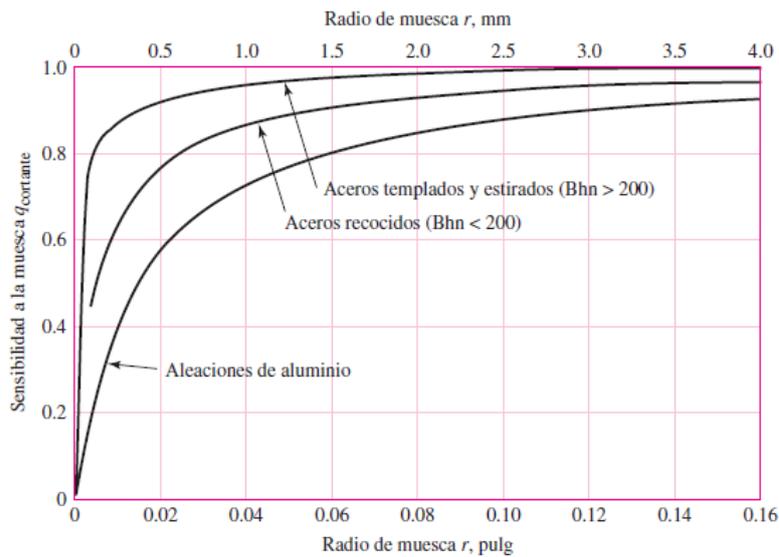
ANEXO J: FACTOR DE TAMAÑO

$$k_b = \begin{cases} (d/0.3)^{-0.107} = 0.879d^{-0.107} & 0.11 \leq d \leq 2 \text{ pulg} \\ 0.91d^{-0.157} & 2 < d \leq 10 \text{ pulg} \\ (d/7.62)^{-0.107} = 1.24d^{-0.107} & 2.79 \leq d \leq 51 \text{ mm} \\ 1.51d^{-0.157} & 51 < d \leq 254 \text{ mm} \end{cases}$$

ANEXO K: FACTOR DE CONCENTRACION DE ESFUERZOS

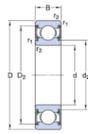


ANEXO L: SENSIBILIDAD A LA MUESCA



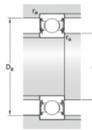
ANEXO M: SELECCIÓN DE RODAMIENTO CATALOGO SKF

Especificación técnica



DIMENSIONES

d	20 mm
D	42 mm
B	12 mm
d ₂	+ 24.65 mm
D ₂	+ 37.19 mm
r _{1,2}	min. 0.6 mm



DIMENSIONES DE LOS RESALTES

d _a	min. 23.2 mm
d _b	max. 24.5 mm
D _a	max. 38.8 mm
r _a	max. 0.6 mm

DATOS DEL CÁLCULO

Capacidad de carga dinámica básica	C	9.95 kN
Capacidad de carga estática básica	C ₀	5 kN
Carga límite de fatiga	P _u	0.212 kN
Velocidad límite		11000 r/min
Factor de cálculo	k _f	0.025
Factor de cálculo	f ₀	14

MASA

Rodamiento de masa	0.069 kg
--------------------	----------

ANEXO N: SELECCIÓN DEL FACTOR TEMPERATURA

Factor de temperatura f_T:

Rango de temperaturas admisible para ciclo continuo
PUR 98 Sh - A : -30° C hasta + 90° C
PUR 72 Sh - D : -20° C hasta + 120° C

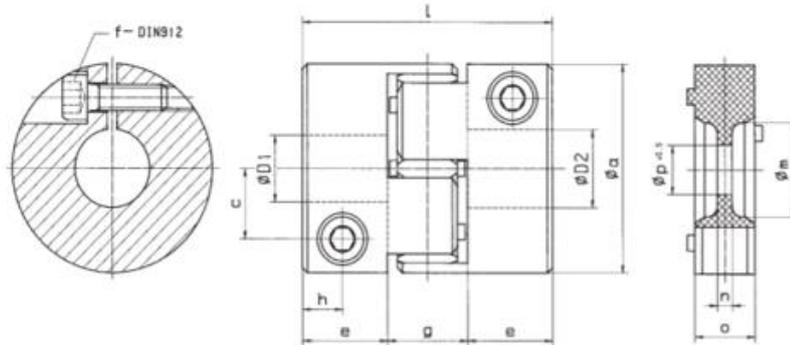
Temperatura de trabajo	+30°C	+50°C	+70°C	+90°C	+110°C
Factor fr	1	1,3	1,6	1,8	2

ANEXO O: SELECCIÓN DE ACOUPLE DEL CATALOGO JAKOB

Datos técnicos:

ESM	Medidas/DIN69002	Par Nominal	Dureza	Momento de inercia	Momento de Inercia Vers. "A"	Rigidez torsional estática	Desalineación máxima (mm)		Rigidez radial	Peso (vers. "A")		Par de apriete de los tornillos	Velocidad máx.
							axial ±	lateral		(N/mm)	(kg)		
10	25 x 20	10	98 Sh-A	0,02	0,015	160	0,5	0,1	600	0,15	0,11	1,8	20.000
14	32 x 25	14	98 Sh-A	0,08	0,05	670	0,5	0,1	2000	0,30	0,23	4	19.000
17	32 x 30	17	98 Sh-A	0,10	0,06	820	0,5	0,1	2100	0,35	0,28	4	18.000
25	-	25	72 Sh-D	0,1	0,06	1200	0,5	0,07	2900	0,35	0,28	4	18.000
43	40 x 35	43	98 Sh-A	0,29	0,19	1400	0,5	0,1	2500	0,65	0,4	8	14.500
50	-	50	72 Sh-D	0,29	0,19	2000	0,5	0,07	3600	0,65	0,4	8	14.500
60	50 x 45	60	98 Sh-A	0,43	0,28	2100	0,5	0,1	2600	0,9	0,6	8	13.000
90	-	90	72 Sh-D	0,43	0,28	3100	0,5	0,07	3700	0,9	0,6	8	13.000
150	63 x 55	150	98 Sh-A	0,92	0,65	3600	1	0,1	3300	1,2	0,9	8	11.000
200	-	200	72 Sh-D	0,92	0,65	5200	1	0,07	4600	1,2	0,9	8	11.000
320	-	320	98 Sh-A	2,7	2,0	6800	1	0,12	4500	2,6	1,9	35	9.000
400	-	400	72 Sh-D	2,7	2,0	9800	1	0,1	6500	2,6	1,9	35	9.000
500	-	500	98 Sh-A	8,8	5,6	20.000	1	0,15	5900	6,0	4,5	67	7.500
700	-	700	98 Sh-A	20,5	13,0	24.000	1	0,15	7000	9,5	7,0	115	6.000

ANEXO P: DIMENSION DEL ACOLPTE DEL CATALO JAKOB.



Dimensiones: (mm) longitud s/DIN 7168 (tolerancias de acabado)

EKM Medida	a	c	e	f	g	h	i	m	n	o	p	ØD 1/2 °	
												min.	max.
8	32	10,5	13,5	M 4	13	6	40	10,5	2	10	8,5	8	15
15	40	13,5	17	M 5	16	8	50	18	3	12	9,5	10	19
20	40	13,5	17	M 5	16	8	50	18	3	12	9,5	12	19
30	50	16,5	20	M 6	18	9	58	27	3	14	12,5	13	26
45	50	16,5	20	M 6	18	9	58	27	3	14	12,5	18	26
60	60	19,5	22	M 8	18	10	62	27	3	14	12,5	15	29
90	60	19,5	22	M 8	18	10	62	27	3	14	12,5	20	29
150	70	23 (25)	26,5	M10 (M8)**	20	12	73	30	4	15	14,5	22 (30)**	33 (38)**
200	70	23	26,5	M10	20	12	73	30	4	15	14,5	26	33
300	85	29 (30)	31	M12 (M10)**	24	14	86	38	4	18	16,5	30 (38)**	42 (46)**
400	85	29	31	M12	24	14	86	38	4	18	16,5	35	42
500	100	36	33	M12	28	16	94	47	5	22	20,5	38	56
700	120	44	38	M14	33	18	109	58	6	25	22,5	40	70

ANEXO Q: SELECCIÓN DEL TUBO DE PERFIL CUADRADO DEL CATALOGO DIPAC.

Dimensiones			Área	Ejes X-Xe Y-Y		
A mm	Espesor mm (e)	Peso Kg/m	Área cm ²	I cm ⁴	W cm ³	I cm ³
20	1.2	0.72	0.90	0.53	0.53	0.77
20	1.5	0.88	1.05	0.58	0.58	0.74
20	2.0	1.15	1.34	0.69	0.69	0.72
25	1.2	0.90	1.14	1.08	0.87	0.97
25	1.5	1.12	1.35	1.21	0.97	0.95
25	2.0	1.47	1.74	1.48	1.18	0.92
30	1.2	1.09	1.38	1.91	1.28	1.18
30	1.5	1.35	1.65	2.19	1.46	1.15
30	2.0	1.78	2.14	2.71	1.81	1.13
40	1.2	1.47	1.80	4.38	2.19	1.25
40	1.5	1.82	2.25	5.48	2.74	1.56
40	2.0	2.41	2.94	6.93	3.46	1.54

ANEXO R: DATOS GENERADO POR EL PROGRAMA SAP2000.

Steel Stress Check Data AISC 360-10

File						
PhiB=0.9	PhiC=0.9	PhiTV=0.9	PhiTF=0.75			Uni
PhiS=0.9	PhiS-RI=1.	PhiST=0.9				
A=224.	I33=29418.667	r33=11.46	S33=1961.244	Av3=120.		
J=43904.	I22=29418.667	r22=11.46	S22=1961.244	Av2=120.		
E=195947.979	Fy=235.36	Ry=1.5	z33=2356.			
RLLF=1.	Fu=362.846		z22=2356.			
HSS Welding: ERW Reduce HSS Thickness? No						
STRESS CHECK FORCES & MOMENTS (Combo COMB1)						
Location	Fu	Mu33	Mu22	Vu2	Vu3	Tu
470.	-96.663	583.435	0.	-1.789	0.	0.
PRM DEMAND/CAPACITY RATIO (Hi-lb)						
D/C Ratio: 0.002 = 0.001 + 0.001 + 0.						
= (1/2)(Pr/Pc) + (Mr33/Mc33) + (Mr22/Mc22)						
AXIAL FORCE & BIAXIAL MOMENT DESIGN (Hi-lb)						
Factor	L	K1	K2	B1	B2	Cm
Major Bending	1.	1.	1.	1.	1.	0.424
Minor Bending	1.	1.	1.	1.	1.	1.
	Lltb	Kltb	Cb			
LTB	1.	1.	2.163			
	Fu	phi*Fnc	phi*Fnt			
Axial	Force	Capacity	Capacity			
	-96.663	43627.281	47448.496			
	Mu	phi*Mn	phi*Mn	phi*Mn		
Major Moment	Moment	Capacity	No LTB	Cb=1		
	583.435	499056.506	499056.506	499056.506		
Minor Moment	0.	499056.506				
	Tu	Tn	phi*Tn			
Torsion	Moment	Capacity	Capacity			
	0.	438488.689	394639.82			
SHEAR CHECK						
			Vu	phi*Vn	Stress	Status
Major Shear	1.789	12201.042	Force	Capacity	Ratio	Check
Minor Shear	0.	12201.042	0.	OK		
			0.	OK		

ANEXO S: CÓDIGO DE PROGRAMACIÓN

int sensor1=18;

int sensor2=19;

int sensorValor1=0;

int sensorValor2=0;

int contactor=6;

int rojo=4;

int verde=5;

int finalcarrera=7;

int automatico=14;

int arranque=15;

int parra=17;

```
int manual=16;

int amarillo=2;

int azul=3;

int t1=0;

int a1;

int a2;

int a3;

int a4;

int a5;

int var=0;

void setup() {
  pinMode(contactor,OUTPUT);
  pinMode(rojo,OUTPUT);
  pinMode(verde,OUTPUT);
  pinMode(azul,OUTPUT);
  pinMode(amarillo,OUTPUT);
  pinMode(finalcarrera,INPUT);
  pinMode(automatico,INPUT);
  pinMode(aranque,INPUT);
  pinMode(parra,INPUT);
  pinMode(manual,INPUT);
  Serial.begin(9600);
  digitalWrite(azul,HIGH);
  digitalWrite(verde,LOW);
  digitalWrite(rojo,HIGH);
  digitalWrite(amarillo,HIGH);
  digitalWrite(contactor,HIGH);
```

```
}
```

```
void loop() {
```

```
////////////////////CONTROL MANUAL
```

```
a5=digitalRead(manual);
```

```
if(a5==HIGH){
```

```
digitalWrite(amarillo,LOW);
```

```
digitalWrite(azul,HIGH);
```

```
while(digitalRead(automatico)==HIGH){
```

```
    a3=digitalRead(aranque);
```

```
    a1=digitalRead(finalcarrera);
```

```
    if(a1==LOW){ ///condicion final de carrera parar
```

```
        digitalWrite(contactor,HIGH);
```

```
        digitalWrite(verde,LOW);
```

```
        digitalWrite(rojo,HIGH);
```

```
    }
```

```
if(a3==HIGH){ ///condicion arrancar motor
```

```
digitalWrite(contactor,LOW);
```

```
digitalWrite(verde,HIGH);
```

```
digitalWrite(rojo,LOW);
```

```
}
```

```
a4=digitalRead(parra);
```

```
if(a4==HIGH){
```

```
digitalWrite(contactor,HIGH);
```

```
digitalWrite(verde,LOW);
```

```

digitalWrite(rojo,HIGH);

}

}

digitalWrite(amarillo,HIGH);

digitalWrite(contactor ,HIGH);

digitalWrite(verde,LOW);

digitalWrite(rojo,HIGH);

t1=1;

}

//////////CONTROL AUTOMATICO

a2=digitalRead(automatico);

if((t1==1)||((a2==LOW)){

t1=0;

digitalWrite(azul,LOW);

while(digitalRead(manual)==LOW){

sensorValor1=digitalRead(sensor1);

sensorValor2=digitalRead(sensor2);

a1=digitalRead(finalcarrera);

if((sensorValor1==LOW)&&(sensorValor2==HIGH)){ //condicion para arrancar motor

digitalWrite(contactor,LOW);

digitalWrite(verde,HIGH);

digitalWrite(rojo,LOW);

}

if (a1==LOW){

digitalWrite(contactor,HIGH);

digitalWrite(verde,LOW);

digitalWrite(rojo,HIGH);

```

```
}  
if(sensorValor2==LOW){  
    digitalWrite(contactor,HIGH);  
    digitalWrite(verde,LOW);  
    digitalWrite(rojo,HIGH);  
  
}  
  
}  
digitalWrite(contactor,HIGH);  
digitalWrite(verde,LOW);  
digitalWrite(rojo,HIGH);  
  
}  
}
```

ANEXO T: DATA SHEET

Trituradora automática de plástico PET

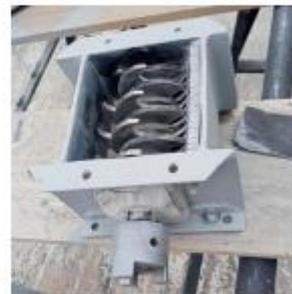
Las trituradoras de PET se utilizan para romper materiales duros y de tamaño considerable por lo tanto necesitan de más fuerza para cumplir con su objetivo.

Esta máquina trituradora automática de plásticos P.E.T con capacidad de 15 Kg/h, permitirá el proceso de reducción de los desechos de este material contaminante existente en gran cantidad en el medio que nos rodea. La reducción del plástico P.E.T. tendrá como finalidad ser utilizado en la creación de nuevos materiales.



Características del equipo

Ficha: 1		
DATOS	TECNICOS-	Tipo: Trituradora De Plástico PET
PARTES PRINCIPALES		
Año: 2021	ESPOCH	Dirección: Riobamba
Descripción		Parámetros
Motor		Trifásico
Potencia (hp)		2
Motor reductor		7:1
Caja trituradora		11 móviles y 12 fijas (cuchillas)
Material cuchillas		Acero al carbono(temple)
Largo (mm)		600
Ancho (mm)		300
Alto (mm)		1500
Capacidad (kg/h)		15
Peso (kg)		90
Tolva (mm)		300x300 tipo cónica
Granulado (mm)		5 - 10



MECANICA-ESPOCH

FUNCIONAMIENTO AUTOMATICO

N°	Descripción	Ilustración
1	Presionar el pulsador rojo para activación del proceso automático	
2	Observar que el led Azul se encuentre encendido.	
3	Colocar la botella de plástico PET en la abertura de la tapa de la tolva	
4	Inicia el proceso de triturado por un lapso de tiempo estimado de 30 segundos.	
5	La máquina se procederá a parar acabado los 30 segundos de trituración y se volverá a encender, caso que el recipiente se encuentre lleno la máquina no se volverá a encender si no se vacía dicho recipiente.	

FUNCIONAMIENTO MANUAL

N°	Descripción	Ilustración
1	Presionar el pulsador verde para activar de forma manual.	
2	Observar que el led amarillo este encendido.	
3	El siguiente pulsador es para que la trituradora se ponga en marcha.	
4	Colocar las botellas en la tolva.	
5	El último pulsador es para el apagado y detención de la máquina en su totalidad	
6	Llenado y vaciado del recipiente.	



Recomendaciones específicas

- Limpieza del equipo.

La limpieza del equipo se realizará de forma diaria luego de finalizar o al comienzo de los días que se lo utilizara para evitar que el material triturado entre en los componentes que se encuentran en movimiento, eléctricos y electrónicos.

- Lubricación en elementos en movimiento (chumacera, acople, etc.).

La lubricación se realizará cada cuatro semanas, cualquier día de la cuarta semana para evitar desgaste por fricción de los componentes en movimiento e inspeccionar si existe alguna presencia de material triturado que se encuentre obstruyendo su funcionamiento.

- Revisión de cuchillas móviles y fijas

Se realizará una revisión por observación de las cuchillas fijas y móviles el cual se realizará una vez cada dos meses, para observar alguna pérdida de filo o alguna anomalía como lo más común oxido por contacto con el agua, esto puede ocurrir porque algunas botellas entran con agua presente.

- Reajuste de la máquina

Realizar un reajuste de tuercas y pernos de la máquina cada seis semanas ya que la misma se encuentra con componentes móviles.

- Revisión de componentes eléctricos y electrónicos.

La revisión de los componentes eléctricos y electrónicos se lo realizara cada 4 meses, es decir se realizará un mantenimiento de limpieza de dichos componentes, si existe alguna anomalía en la automatización se revisará el estado de los sensores y más dispositivos electrónicos.

Recomendaciones generales

- Realizar una limpieza a las botellas antes de ingresarlas a la máquina.
- Verificar que todas las botellas estén secas para evitar deterioro de los componentes de trituración.
- Aplastar la botella antes del ingreso a la máquina.
- Evitar ingreso de materiales duros al equipo(acero, piedra)
- Clasificar las botellas antes del ingreso del equipo para mejorar la calidad del plástico triturado.



MECANICA-ESPOCH