



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA TRITURADORA PARA
RECICLAJE DE TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE AGUA
DE USO RESIDENCIAL (PET)”**

Trabajo de titulación

Tipo: Proyecto Técnico.

Presentado para optar el grado académico de:

INGENIERO MECÁNICO

AUTORES: MARÍA FERNANDA SILVA CASTELO

SANTIAGO FABIÁN PILCO PAGUAY

DIRECTOR: Ing. GEOVANNY GUILLERMO NOVILLO ANDRADE

Riobamba - Ecuador

2020

© 2020, María Fernanda Silva Castelo; & Santiago Fabián Pilco Paguay

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, María Fernanda Silva Castelo y Santiago Fabián Pilco Paguay, 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 Noviembre del 2020



María Fernanda Silva Castelo

060476030-6



Santiago Fabián Pilco Paguay

180432746-6

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 Proyecto Técnico **DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA TRITURADORA PARA RECICLAJE DE TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE AGUA DE USO RESIDENCIAL (PET)**, realizado por los señores: **MARÍA FERNANDA SILVA CASTELO Y SANTIAGO FABIÁN PILCO PAGUAY**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros 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

**EDWIN
FERNANDO
VITERI NUNEZ**
Firmado digitalmente
por EDWIN FERNANDO
VITERI NUNEZ
Fecha: 2020.12.14
17:41:45 -05'00'

2020-11-26

PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

Ing. Geovanny Guillermo Novillo Andrade

 FIRMADO DIGITALMENTE POR:
**GEOVANNY
GUILLERMO NOVILLO
ANDRADE**

2020-11-26

DIRECTOR DEL TRABAJO DE

TITULACIÓN

Ing. Nelson Santiago Chuquín Vasco

 FIRMADO DIGITALMENTE POR:
**NELSON SANTIAGO
CHUQUIN VASCO**

2020-11-26

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

DEDICATORIA

Este trabajo se lo dedico a Dios quien me ha ayudado en cada paso del camino, a mi familia, quienes me han acompañado en este proceso y a mis amigos quienes me animaron a no rendirme.

María

A Dios, por darme la fortaleza, la sabiduría y la vida para poder culminar uno de mis anhelos más deseados.

Igualmente, dedico esta tesis a mis padres Fabián y Yolanda por ser el pilar fundamental en toda esta etapa estudiantil, por siempre estar ahí presentes y apoyándome en cada circunstancia que se presentaba, a mis hermanos Ruth y Josué, por su apoyo y por compartir buenos y malos momentos.

A toda mi familia, profesores y amigos que formaron parte de mi formación.

Santiago

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por guiarme en mi camino, a mi familia y amigos por su apoyo.

Quiero agradecer a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo y a la Escuela de Ingeniería Mecánica por la formación profesional que he recibido, al Ing. Geovanny Novillo y al Ing. Nelson Chuquín por sus conocimientos y apoyo en la realización de nuestro trabajo de titulación.

María.

Agradezco primeramente a Dios por cuidarme durante todo este camino, por no dejarme caer y darme las fuerzas cuando estaba a punto de rendirme.

A mis padres Fabián y Yolanda, aunque no tengo palabras para expresar todo el agradecimiento y cariño que les tengo, pero siempre los llevare en mi corazón por ese apoyo incondicional y ese ejemplo a seguir que me han brindado día a día, por sus consejos que me ayudaron a no dejarme vencer por las adversidades.

A mis hermanos Ruth y Josué, por siempre estar ahí con su ayuda y cariño ya que ellos son unos de los seres más importantes en mi vida.

A toda mi familia ya que son lo más valioso que Dios ha puesto en mi vida, por lo cual le viviré agradecido eternamente.

Igualmente, a todos mis profesores, amigos y compañeros que me apoyaron para llegar a esta meta.

A la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo y a la Escuela de Ingeniería Mecánica por brindarme todos los recursos para poder culminar este presente trabajo de titulación.

Santiago.

TABLA DE CONTENIDOS

ÍNDICE DE TABLAS	XI
ÍNDICE DE FIGURAS	XIII
ÍNDICE DE GRÁFICOS	XVI
ÍNDICE DE ANEXOS.....	XVII
RESUMEN.....	XVIII
SUMMARY.....	XIX
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPITULO 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>	4
1.4 Alcance	4
1.5 Objetivos	4
1.5.1 <i>Objetivo general</i>	4
1.5.2 <i>Objetivos específicos</i>	4
CAPITULO II	
2. REVISIÓN DE LA LITERATURA O FUNDAMENTOS TEÓRICOS	5
2.1 Marco teórico.....	5
2.1.1 <i>Reciclaje</i>	5
2.1.1.1 <i>Tipos de reciclaje</i>	5
2.1.2 <i>Tipos de plástico</i>	6
2.1.3 <i>Trituración</i>	7
2.1.3.1 <i>Tipos de trituradora</i>	8
2.1.4 <i>Datos obtenidos de forma experimental</i>	8

2.1.4.1	<i>Resultados obtenidos de las encuestas</i>	9
2.1.5	<i>Tamaño y masa promedio de un tanque de almacenamiento de agua de uso residencial</i>	13
2.1.6	<i>Tamaño de las hojuelas de plástico a obtener con la máquina trituradora</i>	14
2.1.7	<i>Propiedades físicas del material polietileno</i>	14

CAPITULO III

3.	MARCO METODOLÓGICO	16
3.1	Especificaciones y requerimientos	16
3.1.1	<i>Voz del usuario</i>	16
3.1.2	<i>Voz del ingeniero</i>	16
3.1.3	<i>Matriz QFD (Quality Function Deployment)</i>	16
3.2	Análisis funcional	17
3.2.1	<i>Definición de módulos</i>	18
3.2.2	<i>Soluciones para cada módulo</i>	20
3.2.2.1	<i>Solución 1</i>	21
3.2.2.2	<i>Solución 2</i>	22
3.3	Alternativas de solución	23
3.3.1	<i>Evaluación y solución a los módulos</i>	23
3.3.2	<i>Sistema de distribución de cuchillas</i>	25
3.3.3	<i>Sistema de alimentación</i>	27
3.3.4	<i>Sistema de almacenamiento</i>	28
3.3.5	<i>Sistema de tamizado</i>	30
3.4	Diseño mecánico	32
3.4.1	<i>Diseño de las cuchillas</i>	33
3.4.1.1	<i>Cálculo de la resistencia a la rotura</i>	33
3.4.1.2	<i>Cálculo de la fuerza de corte</i>	34
3.4.1.3	<i>Análisis en Ansys de la cuchilla</i>	35
3.4.2	<i>Diseño de la contra cuchilla</i>	38
3.4.2.1	<i>Medidas generales de la contra cuchilla</i>	38
3.4.2.2	<i>Análisis en Ansys de la contra cuchilla</i>	39
3.4.3	<i>Cálculo de la potencia requerida</i>	41
3.4.3.1	<i>Potencia de la máquina</i>	41
3.4.3.2	<i>Potencia requerida en el motor eléctrico</i>	42
3.4.4	<i>Selección de las poleas</i>	44
3.4.4.1	<i>Potencia de diseño</i>	44

3.4.4.2	<i>Tipo de sección.....</i>	46
3.4.4.3	<i>Relación de transmisión</i>	46
3.4.4.4	<i>Diámetro de las poleas.....</i>	47
3.4.4.5	<i>Distancia entre centros.....</i>	47
3.4.4.6	<i>Cálculo de la longitud de la correa</i>	48
3.4.4.7	<i>Corrección de la distancia entre centros.</i>	49
3.4.4.8	<i>Potencia básica.</i>	49
3.4.4.9	<i>Potencia de la correa</i>	50
3.4.4.10	<i>Número de correas</i>	50
3.4.4.11	<i>Tolerancias de instalación.....</i>	51
3.4.5	<i>Diseño del eje.....</i>	52
3.4.5.1	<i>Determinación de las fuerzas debido al peso de los componentes.</i>	52
3.4.5.2	<i>Análisis de fuerzas en el rotor</i>	53
3.4.5.3	<i>Análisis de fuerzas en la polea.....</i>	54
3.4.5.4	<i>Cálculo de tensiones en la polea.....</i>	55
3.4.5.5	<i>Diagrama de cuerpo libre</i>	58
3.4.5.6	<i>Cálculo de reacciones.</i>	59
3.4.5.7	<i>Diagrama de cortante.....</i>	60
3.4.5.8	<i>Diagrama de momentos.....</i>	60
3.4.5.9	<i>Diagrama de torque</i>	61
3.4.5.10	<i>Dimensionamiento del eje en el punto crítico.</i>	61
3.4.5.11	<i>Determinación del límite de fatiga (Se)</i>	64
3.4.5.12	<i>Dimensionamiento completo del eje.</i>	66
3.4.5.13	<i>Análisis en Ansys.</i>	66
3.4.6	<i>Análisis de resonancia.....</i>	69
3.4.6.1	<i>Método de Dunckerley.....</i>	69
3.4.6.2	<i>Método de Rayleigh-Ritz.....</i>	70
3.4.7	<i>Estructura.....</i>	77
3.4.7.1	<i>Análisis de las cargas.</i>	78
3.4.7.2	<i>Carga viva.....</i>	78
3.4.7.3	<i>Carga muerta.</i>	79
3.4.7.4	<i>Análisis mediante software Sap2000</i>	79
3.4.7.5	<i>Combinación de cargas para el análisis de la estructura.</i>	82
3.4.7.6	<i>Resultados obtenidos mediante el software Sap 2000.....</i>	83
3.4.8	<i>Diseño del volante de inercia.....</i>	83
3.4.9	<i>Dimensionamiento de la criba.....</i>	84
3.4.9.1	<i>Medidas generales de la criba.....</i>	85

3.4.10	<i>Dimensionamiento del bastidor</i>	85
3.4.10.1	<i>Medidas generales del bastidor</i>	86
3.4.11	<i>Dimensionamiento de la tolva</i>	86
3.4.11.1	<i>Medidas generales de la tolva</i>	87
3.4.11.2	<i>Volumen de la tolva</i>	87
3.4.12	<i>Selección de las chumaceras</i>	88
3.4.12.1	<i>Factor de velocidad</i>	89
3.4.12.2	<i>Factor de Vida</i>	90
3.4.12.3	<i>Capacidad básica de carga dinámica</i>	90
3.5	Análisis de costos	91
3.5.1	<i>Costos directos</i>	91
3.5.1.1	<i>Materiales</i>	91
3.5.1.2	<i>Componentes mecánicos</i>	91
3.5.1.3	<i>Sistema eléctrico</i>	92
3.5.1.4	<i>Maquinaria por hora</i>	92
3.5.1.5	<i>Costo de mano de obra</i>	92
3.5.1.6	<i>Costos varios</i>	93
3.5.1.7	<i>Valor total de los costos directos</i>	93
3.5.2	<i>Costos indirectos</i>	93
3.5.3	<i>Costo total de la máquina trituradora</i>	94
3.6	Construcción y montaje	94
3.6.1	<i>Ejes</i>	94
3.6.2	<i>Cuchillas</i>	95
3.6.3	<i>Porta cuchillas</i>	96
3.6.4	<i>Estructura</i>	97
3.6.5	<i>Polea</i>	98
3.6.6	<i>Volante de inercia</i>	98
3.6.7	<i>Bastidor</i>	99
3.6.8	<i>Chumaceras</i>	101
3.6.9	<i>Criba</i>	101
3.6.10	<i>Contra cuchilla</i>	102
3.6.11	<i>Junta de placas laterales desmontable</i>	103
3.6.12	<i>Tolva de entrada</i>	103
3.6.13	<i>Tolva de salida</i>	104
3.7	Manual de operación	104
3.7.1	<i>Requerimientos técnicos de instalación para el funcionamiento de la máquina trituradora</i>	104

3.7.2	<i>Funcionamiento de la máquina trituradora</i>	105
3.8	Manual de mantenimiento	107
3.8.1	<i>Tipos de mantenimiento</i>	107
3.8.2	<i>Inspección visual del equipo</i>	107
3.8.3	<i>Control de temperatura de funcionamiento del motor</i>	108
3.8.4	<i>Limpieza y lubricación de la máquina trituradora</i>	108
3.9	Plan de mantenimiento mensual de la trituradora	108

CAPITULO IV

4.	RESULTADOS	110
4.1	Pruebas de funcionamiento	110
4.1.1	<i>Prueba de ruido</i>	110
4.1.2	<i>Prueba de corriente en el motor</i>	112
4.1.3	<i>Prueba de temperatura en las chumaceras</i>	112
4.2	Análisis de resultados	113
	CONCLUSIONES	115
	RECOMENDACIONES	116

GLOSARIO

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2-1: Propiedades del polietileno por parte del fabricante.....	14
Tabla 2-2: Propiedades generales del polietileno	15
Tabla 3-1: Soluciones para cada módulo.	20
Tabla 3-2: Evaluación de los pesos específicos del módulo 1 para la trituradora.	23
Tabla 3-3: Evaluación del peso específico del criterio capacidad.....	24
Tabla 3-4: Evaluación del peso específico del criterio energía.....	24
Tabla 3-5: Evaluación del peso específico del criterio mantenimiento.....	24
Tabla 3-6: Evaluación del peso específico del criterio bajo costo	24
Tabla 3-7: Tabla de conclusiones.....	25
Tabla 3-8: Evaluación de los pesos específicos del módulo 2 para la trituradora.	25
Tabla 3-9: Evaluación del peso específico del criterio capacidad.....	25
Tabla 3-10: Evaluación del peso específico del criterio energía.....	26
Tabla 3-11: Evaluación del peso específico del criterio mantenimiento.....	26
Tabla 3-12: Evaluación del peso específico del criterio bajo costo.	26
Tabla 3-13: Tabla de conclusiones.....	26
Tabla 3-14: Evaluación de los pesos específicos del sistema de alimentación.	27
Tabla 3-15: Evaluación del peso específico del criterio capacidad.....	27
Tabla 3-16: Evaluación del peso específico de energía.	27
Tabla 3-17: Evaluación del peso específico mantenimiento.....	28
Tabla 3-18: Evaluación del peso específico de bajo costo.....	28
Tabla 3-19: Tabla de conclusiones.....	28
Tabla 3-20: Evaluación de los criterios del sistema de almacenamiento.	29
Tabla 3-21: Evaluación del criterio específico capacidad.	29
Tabla 3-22: Evaluación del peso específico energía.....	29
Tabla 3-23: Evaluación del peso específico mantenimiento.....	29
Tabla 3-24: Evaluación del peso específico bajo costo.	30
Tabla 3-25: Tabla de conclusiones:.....	30
Tabla 3-26: Evaluación de los criterios para el sistema de tamizado.....	30
Tabla 3-27: Evaluación del peso específico del criterio capacidad.....	31
Tabla 3-28: Evaluación del peso específico del criterio energía.....	31
Tabla 3-29: Evaluación del peso específico del criterio mantenimiento.....	31
Tabla 3-30: Evaluación del peso específico del criterio bajo costo.	31
Tabla 3-31: Tabla de conclusiones.....	32

Tabla 3-32: Factor de servicio.	45
Tabla 3-33: Propiedades físicas el acero AISI 1020.....	52
Tabla 3-34: Recomendaciones de vida de cojinetes para varias clases de maquinaria.....	89
Tabla 3-35: Costo de los materiales.....	91
Tabla 3-36: Costos componentes mecánicos.....	91
Tabla 3-37: Costos elementos del sistema eléctrico.....	92
Tabla 3-38: Costos maquinaria.....	92
Tabla 3-39: Costo mano de obra.....	92
Tabla 3-40: Costos varios.....	93
Tabla 3-41: Valor total de los costos directos.....	93
Tabla 3-42: Costos indirectos.....	93
Tabla 3-43: Costo total.....	94
Tabla 3-44: Plan de mantenimiento anual.....	108
Tabla 3-45: Plan de mantenimiento, por fecha y duración.....	109
Tabla 4-1: Niveles de ruido aceptable para diferentes tipos de recintos.....	110

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2-1: Clasificación de los plásticos.	6
Figura 2-2: Características de un tanque de almacenamiento.....	14
Figura 3-1: Casa de la calidad para la máquina trituradora	17
Figura 3-2: Nivel 0	18
Figura 3-3: Nivel 1	18
Figura 3-4: Generación de módulos.....	19
Figura 3-5: Solución 1.....	21
Figura 3-6: Solución 2.....	22
Figura 3-7: Máquina trituradora de plástico.....	32
Figura 3-8: Diseño de las cuchillas.....	33
Figura 3-9: Representación de la operación de cizalladura.	33
Figura 3-10: Representación de la fuerza de corte sobre el material.	34
Figura 3-11: Importación de la geometría de la cuchilla en el programa Ansys.	35
Figura 3-12: Representación de la posición de la cuchilla con respecto al rotor en Ansys.	36
Figura 3-13: Representación de la fuerza de corte sobre la cuchilla.....	36
Figura 3-14: Deformaciones en la cuchilla en el programa Ansys.	37
Figura 3-15: Análisis de esfuerzos en la cuchilla (Von Mises) en Ansys.	37
Figura 3-16: Contra cuchilla de la máquina trituradora.....	38
Figura 3-17: Medidas generales de la contra cuchilla.	38
Figura 3-18: Importación de la geometría de la contra cuchilla al software Ansys	39
Figura 3-19: Colocación de la fuerza que actúa sobre la contra cuchilla.....	39
Figura 3-20: Deformación en la contra cuchilla en el software Ansys.	40
Figura 3-21: Esfuerzo en la contra cuchilla por medio del software Ansys.....	40
Figura 3-22: Placa del motor adquirido.	42
Figura 3-23: Transmisión	44
Figura 3-24: Eje de la máquina.....	52
Figura 3-25: Fuerzas en el rotor.....	54
Figura 3-26: Tensiones en la polea	55
Figura 3-27: Ángulo α	56
Figura 3-28: Fuerzas en la polea.....	58
Figura 3-29: Diagrama de cuerpo libre del eje.....	58
Figura 3-30: Diagrama de fuerzas en el plano xy.....	59
Figura 3-31: Diagrama de cortante.	60

Figura 3-32: Diagrama de momentos del eje.	60
Figura 3-33: Diagrama de torque en el eje de la máquina.	61
Figura 3-34: Dimensiones del eje.	66
Figura 3-35: Importación del eje en el programa Ansys.	66
Figura 3-36: Representación de los soportes en el eje.....	67
Figura 3-37: Representación de los momentos que actúan sobre el eje de la máquina.	67
Figura 3-38: Representación de las fuerzas que actúan en el eje.	68
Figura 3-39: Análisis de deformaciones del eje en el programa Ansys.	68
Figura 3-40: Análisis de esfuerzos de Von Mises en Ansys.....	69
Figura 3-41: Geometría del eje en el programa Sap2000	72
Figura 3-42: Deformación en el punto “A”.....	72
Figura 3-43: Deformación en el punto “B”	72
Figura 3-44: Deformación en el punto “C”	73
Figura 3-45: Deformación en el punto “A”	73
Figura 3-46: Deformación en el punto “B”	73
Figura 3-47: Deformación en el punto “C”	74
Figura 3-48: Deformación en el punto “A”.....	74
Figura 3-49: Deformación en el punto “B”	74
Figura 3-50: Deformación en el punto “C”	75
Figura 3-51: Estructura.....	77
Figura 3-52: Dimensiones de la estructura.....	78
Figura 3-53: Estructura.....	78
Figura 3-54: Asignación de tipos de cargas en el software Sap 2000.....	79
Figura 3-55: Asignación de la carga viva	80
Figura 3-56: Asignación de la carga muerta 1	81
Figura 3-57: Asignación de la carga muerta 2.	81
Figura 3-58: Combinación de cargas para la estructura.	82
Figura 3-59: Adición del material A36 para el análisis.	82
Figura 3-60: Resultados mediante el software Sap 2000.....	83
Figura 3-61: Volante de inercia.	83
Figura 3-62: Criba de la máquina trituradora.	84
Figura 3-63: Dimensiones generales de la criba.....	85
Figura 3-64: Bastidor.....	85
Figura 3-65: Dimensiones del bastidor.	86
Figura 3-66: Tolva.....	86
Figura 3-67: Medidas de la tolva.	87
Figura 3-68: División en áreas.....	87

Figura 3-69: Chumacera.....	88
Figura 3-70: Máquina trituradora.....	94
Figura 3-71: Construcción del eje de la máquina.....	95
Figura 3-72: Cuchillas de la máquina trituradora.....	95
Figura 3-73: Revisión de tolerancias en la cuchilla.....	96
Figura 3-74: Filo de las cuchillas.....	96
Figura 3-75: Colocación de las porta cuchillas sobre el eje.....	97
Figura 3-76: Estructura.....	97
Figura 3-77: Polea.....	98
Figura 3-78: Fundición del volante de inercia.....	98
Figura 3-79: Rectificado del volante de inercia.....	99
Figura 3-80: Volante de inercia.....	99
Figura 3-81: Construcción de las placas laterales del bastidor.....	100
Figura 3-82: Placa lateral del bastidor.....	100
Figura 3-83: Construcción de las placas laterales.....	100
Figura 3-84: Construcción de las placas laterales del bastidor.....	101
Figura 3-85: Chumaceras.....	101
Figura 3-86: Criba.....	102
Figura 3-87: Contra cuchilla.....	102
Figura 3-88: Junta de placas laterales desmontable.....	103
Figura 3-89: Tolva de entrada.....	103
Figura 3-90: Tolva de salida.....	104
Figura 3-91: Botonera.....	105
Figura 3-92: Introduciendo del material.....	105
Figura 3-93: Transmisión.....	106
Figura 3-94: Material triturado.....	106
Figura 4-1: Ruido trabajo en vacío.....	111
Figura 4-2: Ruido trituración.....	111
Figura 4-3: Amperaje en el motor.....	112
Figura 4-4: Temperatura en la chumacera derecha.....	113
Figura 4-5: Temperatura en la chumacera izquierda.....	113

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 2-1: Resultado a la pregunta 1 de la encuesta.....	10
Gráfico 2-2: Resultado a la pregunta 2 de la encuesta.....	10
Gráfico 2-3: Resultado a la pregunta 3 de la encuesta.....	11
Gráfico 2-4: Resultado a la pregunta 4 de la encuesta.....	11
Gráfico 2-5: Resultado a la pregunta 5 de la encuesta.....	12
Gráfico 2-6: Resultado a la pregunta 6 de la encuesta.....	12
Gráfico 2-7: Resultado a la pregunta 7 de la encuesta.....	13

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A: MODELO DE ENCUESTA PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS SOBRE LA DISPONIBILIDAD DEL MATERIAL DE LOS TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE AGUA PARA SER RECICLADOS.

ANEXO B: SECCIÓN TRANSVERSAL PARA BANDAS TRAPEZOIDALES SKF

ANEXO C: DIÁMETROS RECOMENDADOS PARA LA POLEA MENOR SEGÚN EL TIPO DE SECCIÓN DE BANDAS SKF.

ANEXO D: DIÁMETROS RECOMENDADOS PARA LA POLEA MAYOR SEGÚN EL TIPO DE SECCIÓN DE BANDAS SKF

ANEXO E: POTENCIA BÁSICA PARA BANDAS TRAPEZOIDALES TIPO B SKF

ANEXO F: FACTORES DE CORRECCIÓN PARA LA POTENCIA NOMINAL DE LAS CORREAS CATÁLOGO SKF

ANEXO G: TOLERANCIAS DE INSTALACIÓN PARA BANDAS SKF.

ANEXO H: COEFICIENTES DE FRICCIÓN EN CORREAS.

ANEXO I: PROPIEDADES FÍSICAS DEL VOLANTE DE INERCIA.

ANEXO J: PROPIEDADES FÍSICAS DEL ROTOR.

ANEXO K: PROPIEDADES FÍSICAS DE LA POLEA.

ANEXO L: CATÁLOGO DE TUBO CUADRADO DIPAC.

ANEXO M: PESO DE LA MÁQUINA TRITURADORA EN SOLIDWORKS

ANEXO N: COMBINACIONES DE CARGA PARA EL ANÁLISIS DE UNA ESTRUCTURA BAJO LA NORMA NEC-SE-CG.

ANEXO O: PROPIEDADES TÉCNICAS DE LA CHUMACERA DE LA MÁQUINA.

ANEXO P: PROFORMA DE MATERIALES, FACILITADA POR LA EMPRESA DIPAC.

RESUMEN

La contaminación por material plástico en nuestra ciudad, ha causado la necesidad de un método de reciclaje eficiente para los tanques de almacenamiento de agua fabricados de polietileno de baja densidad, la propuesta de este proyecto nació ante la posibilidad de que la ciudad de Riobamba tenga agua 24 horas al día, una vez terminado el Proyecto Alao Maguazo, se realizó el diseño y construcción de una trituradora para reciclaje de tanques de almacenamiento de agua de uso residencial. Para conocer la disponibilidad del material se efectuó una encuesta a los habitantes de la ciudad de Riobamba, obtuvimos información de cómo se desechaban estos tanques y que no existe una forma de reciclaje para este material en específico. Se partió del diseño del eje, el motor fue seleccionado a partir del torque necesario para triturar el material, se eligió una transmisión de potencia mediante poleas, y se diseñó un rotor con cuchillas de corte oblicuo para obtener la mayor fuerza de corte, el bastidor se ensambló mediante uniones empernadas para evitar fracturas en uniones soldadas, se rectificó y balanceó las poleas y el volante de inercia para evitar vibraciones en el sistema, y se instaló un arrancador de motor monofásico para controlar el sistema de encendido y apagado de la máquina, finalmente se realizó las pruebas de funcionamiento, se introdujo en la máquina láminas de 250 x 250 cm y se obtuvo hojuelas de 0.5 x 0.5 mm, se tomó la temperatura de las chumaceras para corroborar que no existiera un sobrecalentamiento después de una hora de trabajo, se comprobó que el ruido generado por la maquina se encuentre dentro del rango aceptable para trabajo en talleres. Se recomienda al momento de operar la máquina que el operador cuente con todo el equipo de protección personal.

Palabras clave: <TRITURADORA>, <RECICLAJE>, <POLIETILENO (PET)>, <CONTAMINACIÓN>, <MECÁNICA>, <RIOBAMBA (CANTÓN)>.



Firmado electrónicamente por:
JHONATAN RODRIGO
PARREÑO UQUILLAS



30/11/2020

0392-DBRAI-UPT-2020

SUMMARY

Pollution by plastic material in our city has caused the need for an efficient recycling method for water storage tanks made of low-density polyethylene, the proposal of this project was born before the possibility that the city of Riobamba has water 24 hours a day. Once the Alao Maguazo Project was completed, the design and construction of a shredder was carried out to recycle water storage tanks for residential use. To know the availability of the material, a survey was carried out among the inhabitants of the city of Riobamba, we obtained information on how these tanks were disposed of and that there is no way of recycling for this specific material. It was based on the design of the shaft, the motor was selected based on the torque necessary to crush the material, a power transmission using pulleys was chosen, and a rotor with oblique cutting blades was designed to obtain the highest cutting force, the frame was assembled by bolted joints to avoid fractures in welded joints, the pulleys and flywheel were ground and balanced to prevent vibrations in the system, and a single-phase motor starter was installed to control the on-off system of the machine. Finally, the performance tests were carried out, 250 x 250 cm sheets were introduced into the machine and 0.5 x 0.5 mm flakes were obtained, the temperature of the bearings was taken to confirm that there was no overheating after one hour of work. The noise generated by the machine was found to be within the acceptable range for workshop work. It is recommended when operating the machine that the operator has all the personal protective equipment.

Keywords: <CRUSHER>, <RECYCLING>, <POLYETHYLENE (PET)>, <CONTAMINATION>, <MECHANICAL>, <RIOBAMBA (CANTON)>.

INTRODUCCIÓN

Los tanques cisterna y tanques elevados de almacenamiento de agua, están fabricados de polipropileno (PET) de baja densidad, los fabricantes de estos tanques utilizan el material virgen, de ahí que tengan una gran resistencia y propiedades físicas que le permiten almacenar el agua sin que ésta se contamine y sea apta para el consumo humano, la instalación de estos sistemas de bombeo para suministrar el líquido vital a toda la vivienda dependen del tamaño de la misma y del promedio de personas que en ella habitan para determinar el tamaño más adecuado del tanque de almacenamiento de agua. Actualmente cuando un tanque sufre un daño y debe ser reemplazado, el tanque roto es desechado de manera irresponsable en lotes abandonados, este material no es biodegradable razón por la cual su descomposición tarda muchos miles de años considerando el volumen de material del que están fabricados.

La contaminación en nuestra ciudad ha ido en crecimiento no solamente a la falta de un sistema de recolección de basura que llegue a los lugares más lejanos de nuestra ciudad, sino también a la poca educación e información sobre métodos de reciclaje, actualmente existen lugares en la ciudad de Riobamba donde se puede reciclar ciertos materiales como papel, cartón, metal y plástico exclusivamente de las botellas de cola, ya que cumplen con un fin determinado para la creación de nuevos productos, pero no contamos con un lugar que recoja el material del que esta fabricados los tanques de almacenamiento de agua para darles un nuevo uso, esto se debe a que por su alta resistencia y propiedades no sufre un desgaste prematuro, y tiene un tiempo de vida muy largo.

El proceso de reciclaje empieza desde la recolección del material, clasificarlo, y descomponerlo sea químicamente o en pequeñas partículas mediante la trituración del material, un proceso de descomposición química representa un costo elevado además de sustancias químicas que para descomponer el material producen vapores que contaminarían aún más el medio ambiente es por ello que el proceso más adecuado para comenzar el reciclaje de este material es la trituración, al obtener pequeñas partículas obtenemos una materia prima más adaptable a nuestras necesidades de investigación, el siguiente paso podría ser calentarlo y extruirlo para darle nuevas formas o combinarlo con otros materiales para obtener un material compuesto con nuevas propiedades.

CAPÍTULO I

1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA

1.1 Antecedentes

Desde años atrás la ciudad de Riobamba sufría de la escasez de agua, llegando incluso a depender de tanqueros en los barrios más alejados de la ciudad por la falta de abastecimiento de este líquido vital, lo que ha llevado a la construcción del proyecto “Alao-Maguazo” por parte del Municipio, se espera a futuro que la ciudad de Riobamba cuente con un servicio de agua potable las 24 horas del día.

Según el INEC (Instituto Nacional de Estadísticas y Censo) en el último censo realizado en el cantón Riobamba, 39621 viviendas se encontraban conectadas al servicio de red pública de agua potable, debido a que el servicio de agua potable en la ciudad es solamente a ciertas horas del día, en la mañana de 6 a 8 am, tarde de 1 a 2 pm y en la noche de 6 a 7 pm. Estas instalaciones constan por lo general de válvulas, motor, tanques elevados que varían desde los 500 a 1000 litros dependiendo del tipo de vivienda y cantidad de habitantes de la misma.

Los tanques elevados de almacenamiento de agua representan una contaminación visual y a futuro una contaminación ambiental, si no se le da un adecuado proceso de reciclaje, estos tachos una vez que termina su vida útil o sufren de algún tipo de deterioro o avería son desechados de forma incorrecta convirtiéndose en un foco de infecciones y bacterias puesto que es un material que demora mucho tiempo en degradarse.

1.2 Formulación del problema

Una vez terminado el Proyecto “Alao-Maguazo” desarrollado por el Municipio de Riobamba con el objetivo de que las viviendas cuenten con un servicio de agua potable las 24 horas, se vuelve improductivo el uso de tanques elevados y tanques cisterna para el almacenamiento de agua potable en las viviendas, debido al consumo de electricidad por parte de las bombas centrifugas que requiere la instalación, y al mantenimiento de limpieza que estos tanques requieren, es por ello que se hace necesario disponer del material el cual están fabricados estos tanques y darles una utilidad evitando que sean desechados de una manera infructuosa y contaminante al medio ambiente.

Si observamos a nuestro alrededor en la ciudad de Riobamba los habitantes casi en su totalidad han recurrido a este tipo de instalaciones hidráulicas con tanques elevados para abastecerse de agua en sus hogares, provocando una contaminación visual y a futuro una contaminación ambiental si no se da una buena utilización del material de estos tanques. Actualmente este material no cuenta con un proceso de reciclaje óptimo, siendo este de alta durabilidad, sin embargo, al contar con un servicio de agua potable eficiente estos tachos pasarían a ser desechados sin importar su estado.

La degradación del plástico se lleva a cabo entre 100 a 1000 años dependiendo del tipo de material y de su tamaño, además este tiempo puede variar dependiendo de las condiciones en las que se produce la descomposición del material, (por ejemplo, si este se encuentra enterrado demorará más en degradarse).

1.3 Justificación

1.3.1 *Justificación práctica.*

Este proyecto se realiza por la necesidad de que en la actualidad no existe un reciclaje adecuado de este tipo de material, con esto se contribuye a la sociedad y al medio ambiente, esta trituradora tiene como objetivo incentivar el reciclaje de estos tanques elevados de uso residencial y reusar el plástico del que están fabricados.

1.3.2 *Justificación teórica.*

Este proyecto se lo realiza con el fin de aportar una salida viable y sustentable para ayudar al medio ambiente, mediante la implementación de una máquina para la trituración de tanques elevados de uso residencial cuyo resultado facilitara el reciclaje de dichos tanques, con este nuevo producto se podría producir nuevas cosas dándole un adecuado proceso de transformación.

1.3.3 *Justificación metodológica.*

Con el producto que se obtenga una vez ya triturado el tanque se puede realizar investigaciones para poder demostrar cuál es su validez y confiabilidad para la creación de nuevos productos de forma adecuada.

1.4 Alcance

El proyecto tiene como objetivo diseñar una máquina trituradora para tanques elevados de uso residencial como primer paso para el reciclaje adecuado de este material.

1.5 Objetivos

1.5.1 *Objetivo general.*

- Diseñar y construir una trituradora para reciclaje de tanques de almacenamiento de agua de uso residencial (PET).

1.5.2 *Objetivos específicos.*

- Diseñar un prototipo de trituración para tanques de almacenamiento de agua de uso residencial.
- Modelar el prototipo con ayuda de un software.
- Construir una trituradora para tanques de almacenamiento de agua de uso residencial
- Realizar las pruebas experimentales de funcionamiento de la trituradora

CAPÍTULO II

2. REVISIÓN DE LA LITERATURA O FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.1 Marco teórico

2.1.1 *Reciclaje*

El plástico es un material derivado del petróleo, es económico, duradero, impermeable y muy resistente a ambientes húmedos con una amplia gama de aplicaciones, es el material más usado en nuestra industria. Con el reciclaje protegemos el medio ambiente y ayudamos a nuestra comunidad reduciendo focos de contaminación, y abarataremos el costo de la disposición final de estos residuos. (Aguirre y Tapia, 2018, pp. 14-16).

Para un reciclaje factible es necesario tomar en consideración cuatro aspectos.

- La recolección.
- Tipo de materia prima
- Recuperación de la materia prima para la creación de otros elementos
- Clientes y mercado para estos nuevos productos.

El reciclaje actualmente es un tema de mucha importancia, representando la mayor preocupación de la sociedad por la disposición de los productos de plástico que se utilizan a diario, el reciclaje ofrece múltiples ventajas algunas de ella se mencionan a continuación:

- Aprovechamiento adecuado de los recursos
- Disminución de la contaminación.
- Dar un segundo uso al material
- Evitar el desperdicio de materia prima.

2.1.1.1 *Tipos de reciclaje.*

Reciclaje químico

Este proceso permite recuperar todo tipo de material plástico, separando sus moléculas y rompiéndolas, es utilizado en industrias grandes debido a su alto costo, se utilizan métodos como Quimiólisis, Hidrogenación, Gasificación, Pirolisis, Chemólisis y Metanólisis. (Canals, 2012. p. 12).

Reciclaje mecánico.

Este método es el más utilizado, consiste en reducir el tamaño del material triturándolo mediante operaciones de corte continuo hasta obtener el tamaño deseado, el material debe ser clasificado y lavado antes de ingresarlo a la trituradora, para evitar impurezas o sustancias corrosivas que dañen las partes mecánicas de la trituradora, las propiedades del material triturado se ven afectadas, teniendo que mezclarse con aditivos antes de volver a utilizarlo en la fabricación de nuevos productos. Una de las ventajas de este tipo de reciclaje es la compactación de grandes volúmenes de plástico al reducirlo a pequeñas partículas (Freire y González, 2013, pp. 22-29).

2.1.2 Tipos de plástico.

En la actualidad existen infinidad de productos fabricados de plástico, su capacidad de conformado le permite adoptar formas complicadas, además de ser utilizado como componente en otros productos, es usado comercialmente con más frecuencia que los metales y cerámicos, y llegando a reemplazar en muchas ocasiones al vidrio.

La Plastics Industry Association creó un código estándar para identificar y clasificar los plásticos, estos se encuentran generalmente en la parte inferior de los envases de plástico identificados con una numeración del 1 al 7, dependiendo de su dificultad para ser reciclados siendo el 7 el más difícil (Vela, 2018, pp. 13-16).

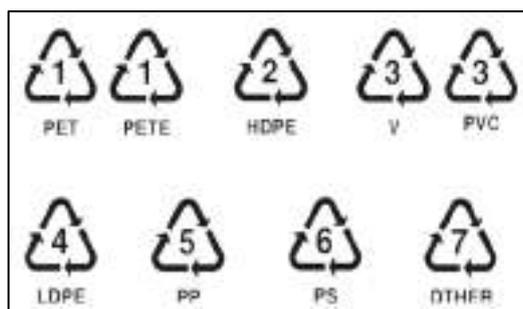


Figura 2-1: Clasificación de los plásticos.

Fuente: (Groover, 2007, p.148)

- **1 PET** (polietileno tereftalato): Utilizado en la producción de botellas.
- **2 PEAD** (polietileno de Alta Densidad): Envases de productos de limpieza, cosmética o juguetes.

- **3 PVC** (poli cloruro de vinilo): Para materiales médicos, toldos, marcos de ventanas, sombrillas y tuberías.
- **4 PEBD** (polietileno de baja densidad): Para hacer bolsas de basura, contenedores flexibles.
- **5 PP** (polipropileno): Envases de yogur, tapas de botellas.
- **6 PS** (polietileno expandido): Se usa para espuma plast, vasos térmicos o envases de contacto directo con productos alimenticios.
- **7 Otros.** Indica que es una mezcla de varios plásticos por ejemplo platos para hornos de microondas. Estos plásticos no se reciclan porque no se sabe con certeza qué tipo de resinas contienen.

El plástico es un material con muy buenas características en la industria,

- Fácil de moldear para la elaboración de muchos productos de uso diario.
- Menor costo de producción
- Baja densidad
- Impermeabilidad
- Aislante eléctrico
- Resistencia a la corrosión.
- No es biodegradable.

Otras aplicaciones:

Otra de las aplicaciones comunes del PET son fibras, empaques y film.

- Las fibras se utilizan en la confección de alfombras, prendas de vestir y telas de decoración.
- Como empaque es utilizado para envasar perfumes, licores, comida, productos farmacéuticos y del hogar.
- Es utilizado como film para radiografías, tapes de audio y video.

2.1.3 Trituración.

El objetivo principal de una trituradora es reducir el tamaño del material a un tamaño menor que sea más manejable y pueda ser aprovechado en la industria, este proceso comienza con la entrada del material a través de una tolva que lo guía hacia la cámara de trituración en donde se encuentran las cuchillas, estas efectuarán el proceso de trituración hasta obtener el tamaño deseado (Cajusol, 2020, pp. 19-24). En el proceso de trituración mecánica intervienen esfuerzos de tracción, compresión y cizalladura, con la finalidad de llevar al material a la rotura este método es

ampliamente utilizado en la industria para la recuperación del plástico (Gamarra y Taipe, 2017: pp.41-46); estos residuos se clasifican en tres tipos:

- Residuo plástico simple: que ya han sido separados y clasificados por el tipo de plástico con el que fueron fabricados.
- Residuo mixto: Proviene de la mezcla de varios tipos de plástico con fines específicos.
- Residuos mixtos con otro tipo de residuos no plásticos: Materiales que han sido mezclados con otros materiales como metales, papel, cartón, etc.

Una de las ventajas del reciclaje mecánico es su costo en comparación con otros tipos de reciclaje para plásticos PET. Con el proceso de reciclado obtenemos materia prima para la producción de nuevos productos, como filamentos, fibras textiles, etc.

2.1.3.1 *Tipos de trituradora.*

Tritrador de cuchillas.

Este tipo de trituradoras se conforman de uno, dos o cuatro ejes y múltiples cuchillas que van rompiendo el material alternadamente por su disposición en el eje, requieren de gran potencia para triturar y su aplicación en la industria ha servido para triturar diferentes tipos de materiales, como plástico, madera, chatarra, llantas, etc. (Eder, 2019, pp.8-10)

Tritrador de cuchillas cortadoras rotatorias.

Este tipo de trituradora es el modelo que se desarrolló en el presente trabajo, consta de cuchillas móviles soldadas al eje principal y una cuchilla fija, el corte se produce cuando las cuchillas móviles giran y apoyan el material sobre la cuchilla fija realizando una operación de cizalladura del material a triturar (Ramírez, 1991, pp. 42-60).

2.1.4 *Datos obtenidos de forma experimental.*

Las características del tanque de almacenamiento de agua de uso residencial que se va a triturar para reciclar y su disponibilidad son obtenidas de la encuesta realizada a los ciudadanos de Riobamba.

El censo realizado en la ciudad de Riobamba en el año 2010 indica un total de 71000 viviendas en el sector urbano, para el cual calculamos la muestra, mediante la ecuación (1) (Pilatasig, 2014, pp. 35-46).

$$n = \frac{z^2 * p * q * N}{e^2(N - 1) + z^2 * p * q} \quad (1)$$

Donde:

N= Población

n= muestra

p= Probabilidad a favor

q= Probabilidad en contra

e= Error de la muestra

Ingresando nuestros valores determinaremos el número de encuestas que debemos realizar para determinar el fin que actualmente tienen los tanques de almacenamiento de agua cuando son desechados y la disponibilidad de parte de la población para reciclarlo.

$$n = \frac{1.96^2 * 0.5 * 0.5 * 71000}{0.05^2(71000 - 1) + 1.96^2 * 0.5 * 0.5}$$
$$n = 382$$

Estas características del tanque a reciclar serán utilizadas más adelante en el diseño de los elementos que conforman la máquina trituradora.

2.1.4.1 *Resultados obtenidos de las encuestas.*

El modelo de la encuesta realizada se puede observar en el Anexo A

Las preguntas y resultados se muestran a continuación:

Pregunta 1: ¿Conoce usted de que se trata el proyecto Alao Maguazo?

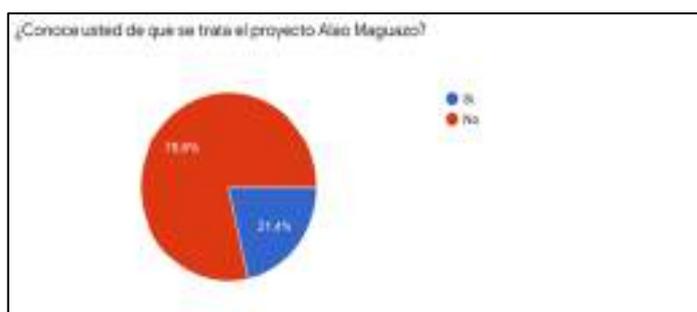


Gráfico 2-1: Resultado a la pregunta 1 de la encuesta.

Realizado por: Silva, M.; Pilco, S.2020

Interpretación de resultados:

De la población encuestada obtenemos que el 78.6% conoce del Proyecto Alao Maguazo, este proyecto se encargara de proveer agua a la ciudad 24 horas al día, el conocimiento sobre este proyecto es muy importante ya que permite a la población decidir qué tan beneficioso es continuar o adquirir un sistema de bombeo para su casa con tanques de almacenamiento de agua, una vez el proyecto culmine.

Pregunta 2: ¿Cuenta usted con un sistema de bombeo para el abastecimiento de agua en su hogar?

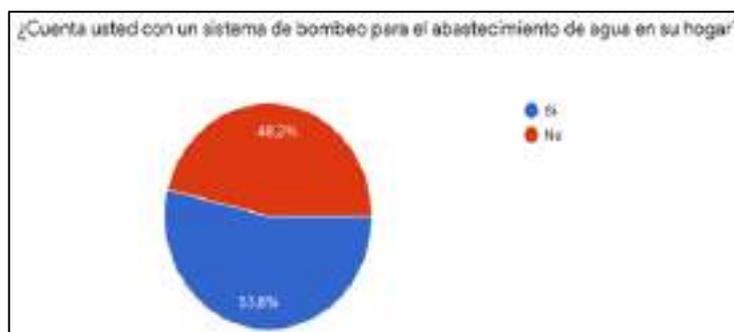


Gráfico 2-2: Resultado a la pregunta 2 de la encuesta.

Realizado por: Silva, M.; Pilco, S.2020

Interpretación de resultados:

Más del 50% de la población encuestada tiene un sistema de bombeo de abastecimiento de agua en su hogar, hasta el día que el proyecto Alao Maguazo culmine más gente se añadirá a este porcentaje, aumentando la cantidad de tanques que necesitaran ser reciclados aumentando el problema ambiental que con nuestra máquina queremos mitigar.

Pregunta 3: ¿Cuál es la capacidad del tanque de almacenamiento de agua que usa su sistema de bombeo para abastecer su hogar?

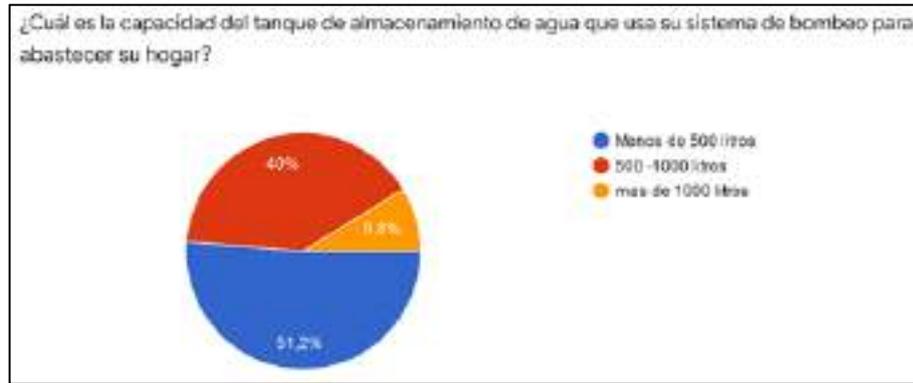


Gráfico 2-3: Resultado a la pregunta 3 de la encuesta.

Realizado por: Silva, M.; Pilco, S.2020

Interpretación de resultados:

Del resultado de esta pregunta de la encuesta, observamos que el 51.2% de la población encuestada posee tanques de menos de 500 litros, esto se debe a que este volumen de agua es suficiente para una familia de 3 a 4 personas, considerando además el sistema de agua de la ciudad provee de agua potable 3 veces al día permitiendo que el tanque se abastezca, también observamos que un 40% de la población tiene tanques de volúmenes entre 500 y 1000 litros esto puede deberse a lugares más alejados donde el abastecimiento de agua es menor, viéndose en la necesidad de un tanque de almacenamiento de agua de mayor volumen, todos estos tanques serán nuestra materia prima.

Pregunta 4: ¿Al contar con el servicio de agua potable en su hogar las 24 horas del día considera necesario seguir teniendo un sistema de bombeo en su vivienda además de su tanque elevado?

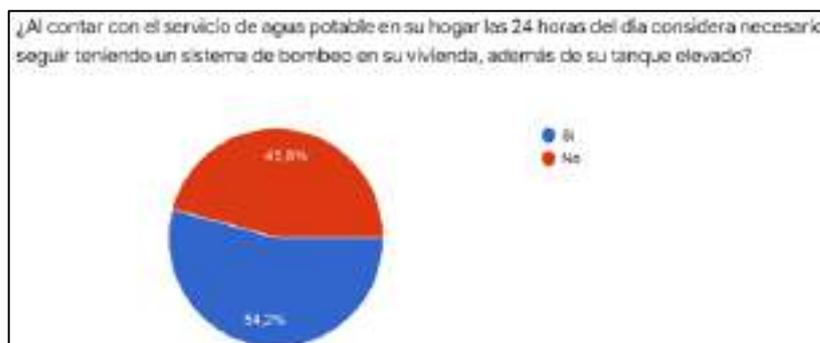


Gráfico 2-4: Resultado a la pregunta 4 de la encuesta.

Realizado por: Silva, M.; Pilco, S.2020.

Interpretación de resultados:

El 54.2% de la población considera seguir teniendo su sistema de abastecimiento de agua esto se debe a la poca confianza en la obras realizadas en la ciudad de Riobamba, una vez que el Proyecto Alao Maguazo culmine más gente podrá optar por reciclar su tanque de almacenamiento de agua y dejar de utilizar sus sistema de bombeo, que conlleva gastos de energía eléctrica.

Pregunta 5: ¿Conoce usted la forma de reciclar los tanques de almacenamiento de agua?

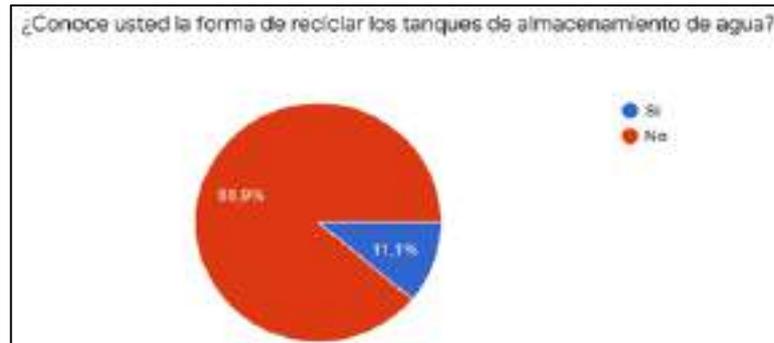


Gráfico 2-5: Resultado a la pregunta 5 de la encuesta.

Realizado por: Silva, M.; Pilco, S.2020

Interpretación de resultados:

Como podemos observar 88.9% de la población desconoce la forma de reciclar este material, estos tanques están fabricados para durar muchos años sin embargo si su utilidad se desvanece con la culminación del Proyecto Alao Maguazo, será una fuente de contaminación ambiental y su durabilidad pasara de ser un beneficio a una desventaja, al triturarlo buscamos darle otra utilidad y que este material sea reciclado y aprovechado para la elaboración de nuevos productos.

Pregunta 6: ¿Al retirar el sistema de bombeo de su hogar consideraría donar el tanque de almacenamiento de agua para ser reciclado?

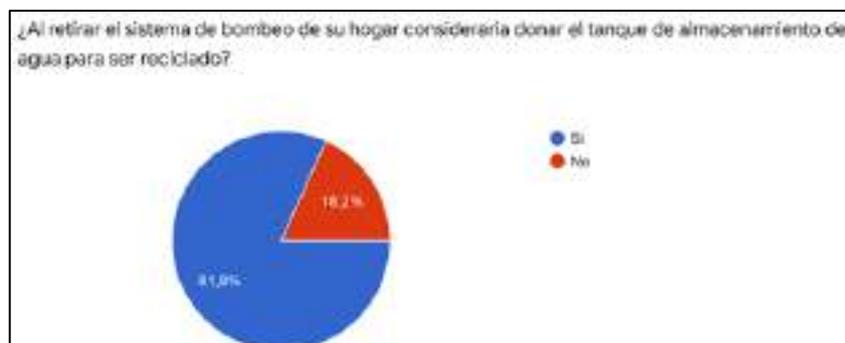


Gráfico 2-6: Resultado a la pregunta 6 de la encuesta

Realizado por: Silva, M.; Pilco, S.2020

Interpretación de resultados:

Una vez retirado el sistema de bombeo el 81.8% de la población encuestada considera donar el tanque de almacenamiento de agua para ser reciclado, puesto que deshacerse de él es una tarea complicada ya que no existen lugares donde los recojan o los reciclen y por su tamaño no es posible que el sistema de recolección de basura se los lleve, con el paso de los años la población ha tomado conciencia del cuidado del medio ambiente, y se observa esto en el porcentaje de encuestados que optaron por donar su tanque para ser reciclado.

Pregunta 7: ¿Qué estaría dispuesto hacer con su tanque elevado o tanque cisterna si ya contara con el servicio de agua potables las 24 horas del día?

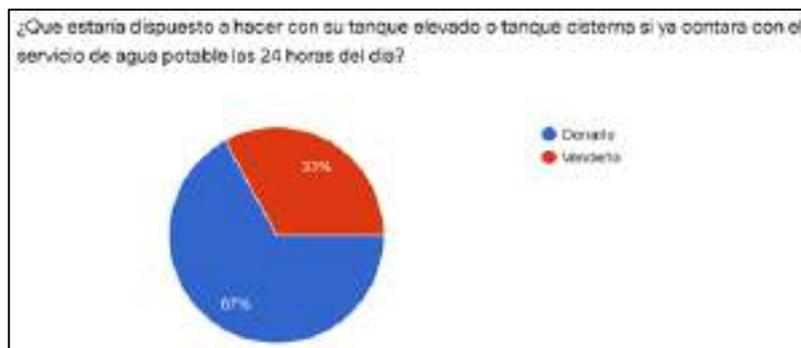


Gráfico 2-7: Resultado a la pregunta 7 de la encuesta.

Realizado por: Silva, M.; Pilco, S.2020

Interpretación de resultados:

Ante la posibilidad de recibir un valor económico el 67% de los encuestados prefiere donarlo, esto demuestra una generosidad y conciencia con el medio ambiente, pues comprenden que el material es para un fin investigativo y que su reciclaje es un bien común para con la sociedad y el planeta.

2.1.5 *Tamaño y masa promedio de un tanque de almacenamiento de agua de uso residencial*

Las características del tanque de almacenamiento de agua de uso residencial a reciclar son
Capacidad: 1100 litros.

Espesor: 4 mm

Altura: 1465 mm

Ancho: 1120 mm

Densidad: $0.94 \frac{g}{cm^3}$

Volumen: $24559,71 cm^3$

masa: 23.08 Kg



Figura 2-2: Características de un tanque de almacenamiento

Fuente:(Tanques de uso residencial, 2018, p.5)

2.1.6 Tamaño de las hojuelas de plástico a obtener con la máquina trituradora.

Tamaño de las hojuelas: 0,5 cm x 0,5 cm.

2.1.7 Propiedades físicas del material polietileno.

Tabla 2-1: Propiedades del polietileno por parte del fabricante.

Densidad	$0.935 g/cm^3$	
Módulo de flexión	593 (86.000) MPa (psi)	
Esfuerzo de tensión máximo	17.2 (2.500) MPa (psi)	
Temperatura de deformación	a 0,47 MPa (68 psi)	54°
	A 1,82 MPa (264 psi)	40°

Fuente:(Tanques-grandes-volumenes.pdf, 2018, p.7)

Realizado por: Silva, M.; Pilco, S.2020

Tabla 2-2: Propiedades generales del polietileno

Polímero	Estado	Densidad <i>Kg/m³</i>	Módulo de elasticidad Ksi (GPa)	Resistencia a la Rotura Ksi (MPa)
Polietileno	Alta Densidad 70-80% cristalino	952.1 – 965.0	155-158 (1.07 – 1.09)	3.2 – 4.5 (22 – 31)
	Baja Densidad 40-50% cristalino	917.1 – 932.1	25 – 41 (0.17 – 0.21)	1.2 – 4.5 (8.3 – 31.0)

Fuente: (Hamrock, 1999, p. 67)

Realizado por: Silva, M.; Pilco, S.2020

CAPÍTULO III

3. MARCO METODOLÓGICO

3.1 Especificaciones y requerimientos.

3.1.1 *Voz del usuario.*

Se realizaron encuestas a los ciudadanos de la ciudad de Riobamba para conocer la disponibilidad del material y sus características para poder ser reciclado de forma óptima.

De esta información obtenida podemos concluir las dimensiones y capacidad de nuestra trituradora, además de las características técnicas del producto final (hojuelas).

3.1.2 *Voz del ingeniero.*

Una vez conocidos los requerimientos de nuestra máquina, los convertimos en especificaciones técnicas como: dimensiones de la máquina, peso, costo, volumen de producción, tamaño de las hojuelas a la salida de la trituradora

3.1.3 *Matriz QFD (Quality Function Deployment)*

La casa de la calidad es una herramienta, que ayuda a organizar las necesidades del cliente y nos permite buscar la mejor opción para el diseño final de la máquina.

MÁQUINA TRITURADORA DE TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE AGUA DE USO RESIDENCIAL

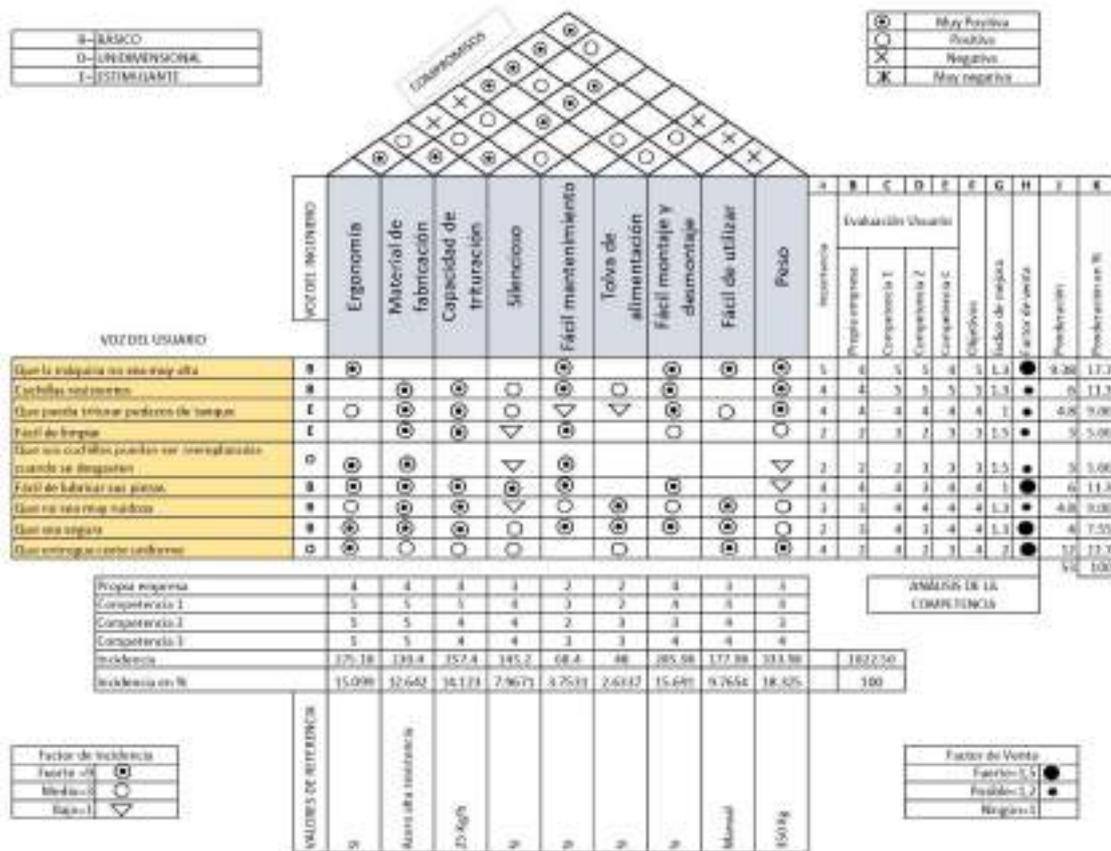


Figura 3-1: Casa de la calidad para la máquina trituradora

Realizado por: Silva, M.; Pilco, S.2020

3.2 Análisis funcional

Describiremos las funciones de nuestra trituradora empezando desde el nivel cero, describiendo todas las funciones de la máquina para así dar opciones a las diferentes partes que constituyen nuestro diseño.

Nivel 0:

En el nivel 0 describiremos la función general de la trituradora, ingresando la materia prima y a la salida obteniendo el material en forma de hojuelas con un tamaño específico.

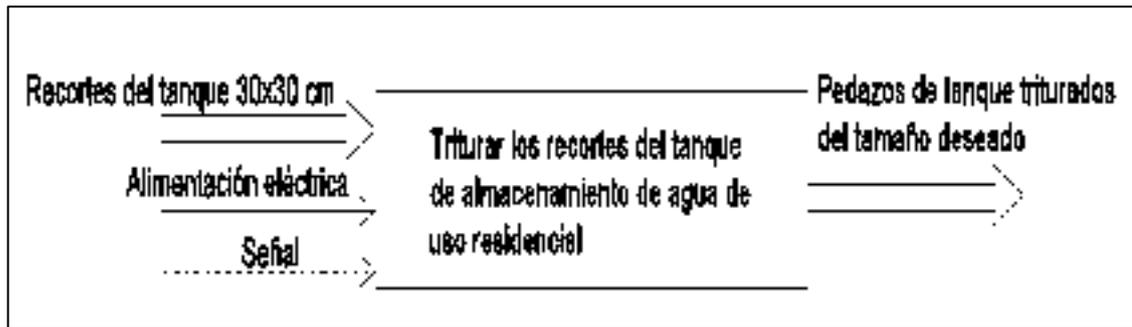


Figura 3-2: Nivel 0

Realizado por: Silva, M.; Pilco, S.2020

Nivel 1:

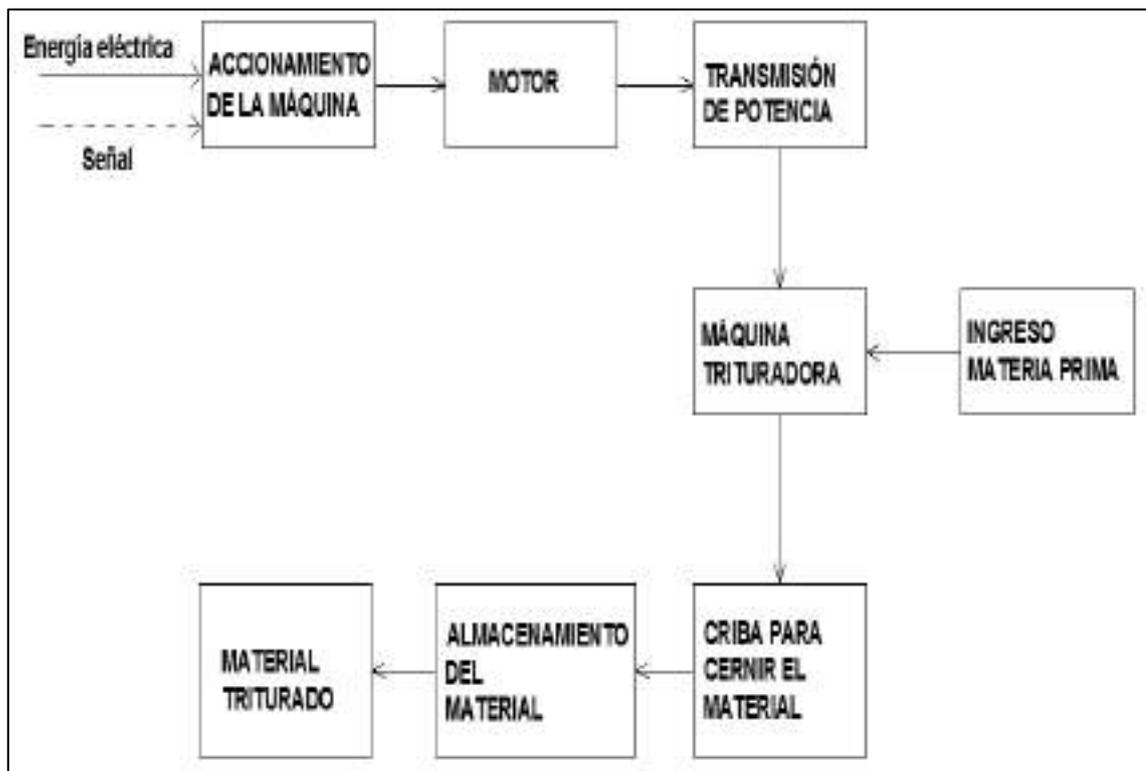


Figura 3-3: Nivel 1

Realizado por: Silva, M.; Pilco, S.2020

3.2.1 Definición de módulos

Los módulos representan los procesos que se llevan a cabo en la máquina trituradora, separándolos por grupos para un mejor análisis

Módulo 1

- Accionamiento de la máquina.
- Encendido del motor

Módulo 2

- Transmisión de potencia
- Ingreso de la materia prima
- Trituración del material
- Separación del material triturado con las medidas deseadas por medio de una criba cernidora.

Módulo 3

- Almacenamiento del material
- Salida del material de la máquina.

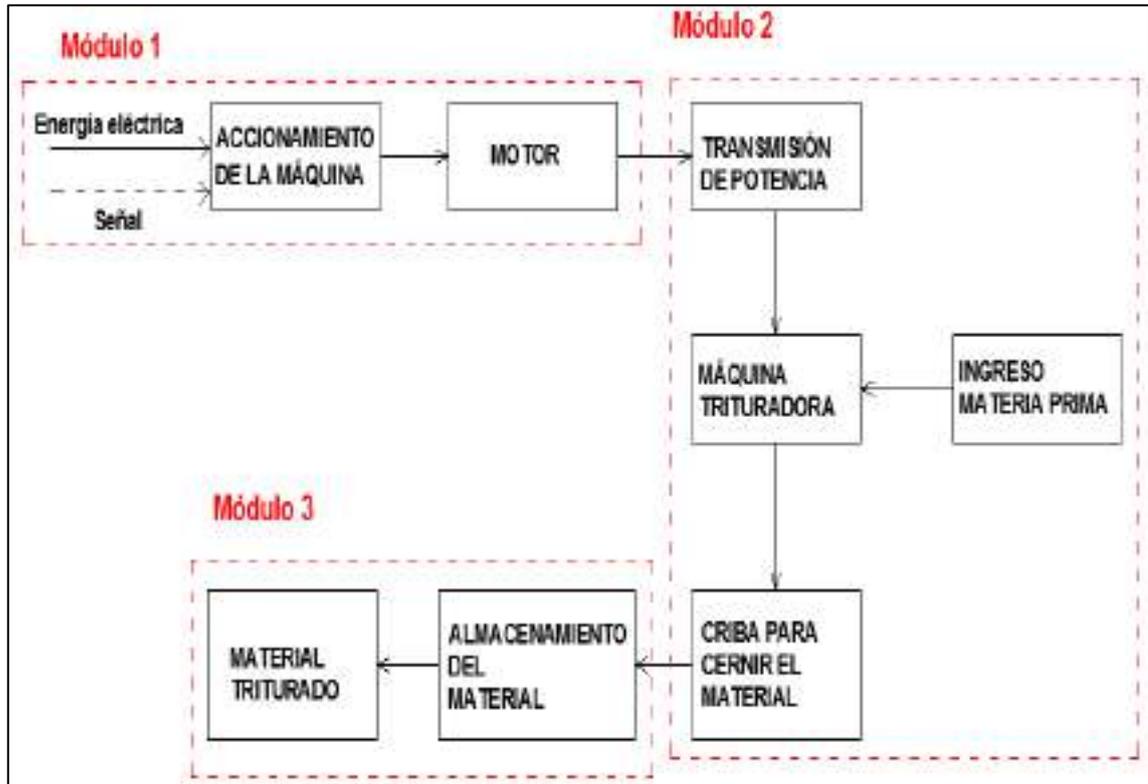
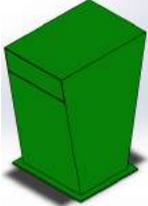


Figura 3-4: Generación de módulos

Realizado por: Silva, M.; Pilco, S.2020

3.2.2 Soluciones para cada módulo.

Tabla 3-1: Soluciones para cada módulo.

Función	Componentes	
MOTOR	MONOFÁSICO 	
TRANSMISIÓN DE POTENCIA	ENGRANAJES 	POLEA 
CUCHILLAS	CUCHILLAS INDIVIDUALES 	CUCHILLAS DE CORTE OBLICUO 
TOLVA	ABIERTA 	CERRADA 
CRIBA	SEMICIRCULAR 	
ALMACENAMIENTO	ALMACENAMIENTO 	SALIDA LATERAL 
	SOLUCIÓN 1	SOLUCIÓN 2

Fuente: Silva, M.; Pilco, S.2020

Realizado por: Silva, M.; Pilco, S.2020

3.2.2.1 Solución 1.

A partir de un motor monofásico se transmitirá la potencia del mismo a través de engranajes a ambos ejes, las cuchillas irán montadas sobre los ejes con una tolva vertical y una criba distribuida para que el material pase por él una vez que tenga el tamaño deseado, este se depositara en un cubo de almacenamiento debajo de la máquina.

Ventajas:

- La distribución de la criba ayuda a que el material no se quede arraigado y de acumule en el centro de la máquina
- El almacenamiento del material evita que este al salir de la trituradora caiga al suelo y se contamine de otros materiales.

Desventajas:

- Tamaño del contenedor de material triturado es una limitante, puesto que debe el operador estar pendiente de su vaciado continuo después de cierta cantidad de material.
- Cuando las cuchillas se hayan desgastado será necesario desarmar la máquina para poder cambiar dichas piezas.

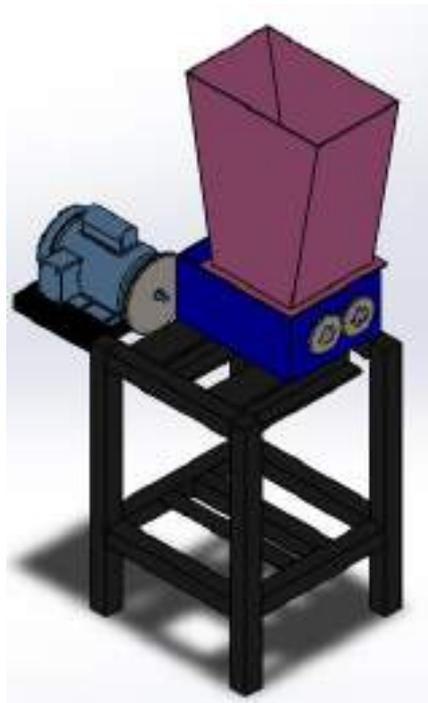


Figura 3-5: Solución 1.

Realizado por: Silva, M.; Pilco, S.2020

3.2.2.2 Solución 2.

A partir de un motor monofásico se transmitirá la potencia del mismo a través de poleas al eje, las cuchillas irán montadas sobre el eje con una tolva vertical para introducir el material por la parte lateral de la misma para salvaguardar la seguridad del operador, previniendo que partículas salgan disparadas al momento de la trituración, tendrá una criba distribuida para que el material pase por él una vez que tenga el tamaño deseado, este se depositara en un cubo de almacenamiento debajo de la máquina.

Ventajas:

- La forma de la tolva brinda seguridad para el operario al introducir el material
- La distribución de la criba ayuda a que el material no se quede arraigado y de acumule en la máquina
- El almacenamiento del material evita que este al salir de la trituradora caiga al suelo y se contamine de otros materiales.
- La existencia de los porta cuchillas permite un mantenimiento más fácil al momento de cambiar las cuchillas cuando estas ya se encuentren desgastadas hayan perdido filo

Desventajas:

Tamaño del contenedor de material triturado es una limitante, puesto que debe el operador estar pendiente de su vaciado continuo después de cierta cantidad de material.

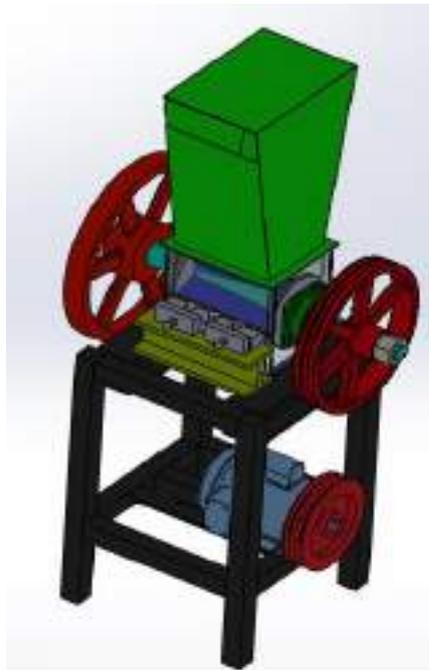


Figura 3-6: Solución 2.

Realizado por: Silva, M.; Pilco, S.2020.

3.3 Alternativas de solución.

3.3.1 Evaluación y solución a los módulos.

Para evaluar la solución más óptima utilizaremos el método de criterios ponderados para ello asignaremos un valor al criterio para compararlos con los demás, usaremos 1 para dar mayor relevancia a uno de los criterios, 0.5 si tienen la misma importancia, y 0 si es de menor valor con el criterio que se compara.

- Calidad: Es de suma importancia cuidar la calidad del material triturado, para así poder reutilizarlo.
- Precio: el control del costo de la máquina es importante puesto que el modelo propuesto se trata de un prototipo que podrá ser desarrollado en mayor escala de ser necesario.
- Mantenimiento: Este debe ser mínimo y muy fácil de realizar para el operador.
- Energía: la energía utilizada será la eléctrica.

Estos criterios los escogemos por ser los de mayor importancia para el usuario al momento de adquirir nuestra máquina

Evaluación del peso específico de cada criterio.

Transmisión de energía

Solución 1: Transmisión por engranes

Solución 2: Transmisión por poleas.

Capacidad > Energía > Mantenimiento > Precio

Tabla 3-2: Evaluación de los pesos específicos del módulo 1 para la trituradora.

Criterio	Capacidad	Energía	Mantenimiento	Precio	$\sum +1$	Ponderación
Capacidad		1	1	1	4	0.4
Energía	0		1	1	3	0.4
Mantenimiento	0	0		1	2	0.2
Precio	0	0	0		1	0.1
				Suma	10	1

Fuente: Silva, M.; Pilco, S.2020.

Realizado por: Silva, M.; Pilco, S.2020.

Evaluación del peso específico del criterio capacidad

Solución 1 = Solución 2

Tabla 3-3: Evaluación del peso específico del criterio capacidad

Capacidad	Solución 1	Solución 2	$\sum +1$	Ponderación
Solución 1		0.5	1.5	0.5
Solución 2	0.5		1.5	0.5
		Suma	3	1

Fuente: Silva, M.; Pilco, S.2020.

Realizado por: Silva, M.; Pilco, S.2020.

Evaluación del peso específico del criterio energía

Solución 1 = Solución 2

Tabla 3-4: Evaluación del peso específico del criterio energía

Energía	Solución 1	Solución 2	$\sum +1$	Ponderación
Solución 1		0.5	1.5	0.5
Solución 2	0.5		1.5	0.5
		Suma	3	1

Fuente: Silva, M.; Pilco, S.2020.

Realizado por: Silva, M.; Pilco, S.2020.

Evaluación del peso específico del criterio mantenimiento.

Solución 2 < Solución 1

Tabla 3-5: Evaluación del peso específico del criterio mantenimiento.

Mantenimiento	Solución 1	Solución 2	$\sum +1$	Ponderación
Solución 1		0	0	0
Solución 2	1		2	1
		Suma	2	1

Fuente: Silva, M.; Pilco, S.2020.

Realizado por: Silva, M.; Pilco, S.2020.

Evaluación del peso específico del criterio bajo costo

Solución 2 < Solución 1

Tabla 3-6: Evaluación del peso específico del criterio bajo costo

Bajo Costo	Solución 1	Solución 2	$\sum +1$	Ponderación
Solución 1		0	0	0
Solución 2	1		2	1
		Suma	2	1

Fuente: Silva, M.; Pilco, S.2020.

Realizado por: Silva, M.; Pilco, S.2020.

Tabla 3-7: Tabla de conclusiones

Conclusión	Capacidad	Energía	Mantenimiento	Bajo costo	Σ	Prioridad
Solución 1	0.5 (0.4)	0.5(0.4)	0.5(0.2)	0.5(0.1)	0.407	2
Solución 2	0.33(0.4)	0.5(0.4)	0.25(0.2)	0.25(0.1)	0.55	1

Fuente: Silva, M.; Pilco, S.2020.

Realizado por: Silva, M.; Pilco, S.2020.

Se concluye que la solución 2: Transmisión por poleas es la más adecuada para nuestra máquina trituradora por su fácil mantenimiento, menor nivel de ruido y bajo costo en comparación a la manufactura de los engranajes.

3.3.2 Sistema de distribución de cuchillas

Este criterio es muy importante, la configuración de las cuchillas determinará la calidad y tamaño del material triturado, a mayor número de ejes, más número de cuchillas tendrá la máquina y el consumo energético y costos se elevarán.

Solución 1: Dos ejes

Solución 2: Un eje

Capacidad > Energía > Mantenimiento > Bajo costo

Tabla 3-8: Evaluación de los pesos específicos del módulo 2 para la trituradora.

Criterio	Capacidad	Energía	Mantenimiento	Bajo costo	Σ +1	Ponderación
Capacidad		1	1	1	4	0.4
Energía	0		1	1	3	0.4
Mantenimiento	0	0		1	2	0.2
Bajo costo	0	0	0		1	0.1
				Suma	10	1

Fuente: Silva, M.; Pilco, S.2020.

Realizado por: Silva, M.; Pilco, S.2020.

Evaluación del peso específico del criterio capacidad.

Solución 2 > Solución 1.

Tabla 3-9: Evaluación del peso específico del criterio capacidad.

Capacidad	Solución 1	Solución 2	Σ +1	Ponderación
Solución 1		0	0	0
Solución 2	1		1	1
		Suma	2	1

Fuente: Silva, M.; Pilco, S.2020.

Realizado por: Silva, M.; Pilco, S.2020.

Evaluación del peso específico del criterio energía.

Solución 1 = Solución 2

Tabla 3-10: Evaluación del peso específico del criterio energía

Energía	Solución 1	Solución 2	$\sum +1$	Ponderación
Solución 1		0.5	1.5	0.5
Solución 2	0.5		1.5	0.5
		Suma	3	1

Fuente: Silva, M.; Pilco, S.2020.

Realizado por: Silva, M.; Pilco, S.2020.

Evaluación del peso específico del criterio mantenimiento.

Solución 1 > Solución 2

Tabla 3-11: Evaluación del peso específico del criterio mantenimiento.

Mantenimiento	Solución 1	Solución 2	$\sum +1$	Ponderación
Solución 1		1	2	1
Solución 2	0		0	0
		Suma	2	1

Fuente: Silva, M.; Pilco, S.2020.

Realizado por: Silva, M.; Pilco, S.2020.

Evaluación del peso específico del criterio bajo costo

Solución 1 > Solución 2

Tabla 3-12: Evaluación del peso específico del criterio bajo costo.

Bajo Costo	Solución 1	Solución 2	$\sum +1$	Ponderación
Solución 1		1	2	1
Solución 2	0		0	0
		Suma	2	1

Fuente: Silva, M.; Pilco, S.2020.

Realizado por: Silva, M.; Pilco, S.2020.

Tabla 3-13: Tabla de conclusiones.

Conclusión	Capacidad	Energía	Mantenimiento	Bajo costo	\sum	Prioridad
Solución 1	0.5 (0.4)	0.5(0.4)	0.5(0.2)	0.5(0.1)	0.43	2
Solución 2	0.33(0.4)	0.5(0.4)	0.33(0.2)	0.33(0.1)	0.55	1

Fuente: Silva, M.; Pilco, S.2020.

Realizado por: Silva, M.; Pilco, S.2020.

Se concluye que la solución 2: Cuchillas de corte oblicuo es la opción más adecuada.

3.3.3 Sistema de alimentación

La selección de este criterio está relacionada a la seguridad del operador, al momento de la trituración el material rebota varias veces sobre las cuchillas hasta ser atrapado y triturado, intentando regresar velozmente por la entrada de la tolva, pudiendo provocar un accidente, también tenemos a recirculación del material debido a la criba para alcanzar el tamaño deseado, estas partículas también pueden salir proyectadas hacia la entrada de la tolva.

Solución 1: Tolva vertical

Solución 2: Tolva lateral

Capacidad > Energía > Mantenimiento > Bajo costo

Tabla 3-14: Evaluación de los pesos específicos del sistema de alimentación.

Criterio	Capacidad	Energía	Mantenimiento	Bajo costo	$\sum +1$	Ponderación
Capacidad		1	1	1	4	0.4
Energía	0		1	1	3	0.4
Mantenimiento	0	0		1	2	0.2
Bajo costo	0	0	0		1	0.1
				Suma	10	1

Fuente: Silva, M.; Pilco, S.2020.

Realizado por: Silva, M.; Pilco, S.2020.

Evaluación del peso específico del criterio capacidad

Solución 1 > Solución 2

Tabla 3-15: Evaluación del peso específico del criterio capacidad.

Capacidad	Solución 1	Solución 2	Solución 3	$\sum +1$	Ponderación
Solución 1		1	1	3	0.6
Solución 2	0		1	2	0.4
		Suma		5	1

Fuente: Silva, M.; Pilco, S.2020.

Realizado por: Silva, M.; Pilco, S.2020.

Evaluación del peso específico del criterio energía

Solución 1 = Solución 2

Tabla 3-16: Evaluación del peso específico de energía.

Energía	Solución 1	Solución 2	Solución 3	$\sum +1$	Ponderación
Solución 1		0.5	0.5	2	0.5
Solución 2	0.5		0.5	2	0.5
		Suma		4	1

Fuente: Silva, M.; Pilco, S.2020.

Realizado por: Silva, M.; Pilco, S.2020.

Evaluación del peso específico del criterio mantenimiento.

Solución 1 = Solución 2

Tabla 3-17: Evaluación del peso específico mantenimiento.

Mantenimiento	Solución 1	Solución 2	Solución 3	$\sum +1$	Ponderación
Solución 1		0.5	0.5	2	0.5
Solución 2	0.5		0.5	2	0.5
		Suma		4	1

Fuente: Silva, M.; Pilco, S.2020.

Realizado por: Silva, M.; Pilco, S.2020.

Evaluación del peso específico del criterio bajo costo

Solución 1 > Solución 2

Tabla 3-18: Evaluación del peso específico de bajo costo

Bajo costo	Solución 1	Solución 2	Solución 3	$\sum +1$	Ponderación
Solución 1		1	1	3	0.6
Solución 2	0		1	2	0.4
		Suma		5	1

Fuente: Silva, M.; Pilco, S.2020.

Realizado por: Silva, M.; Pilco, S.2020.

Tabla 3-19: Tabla de conclusiones.

Conclusión	Capacidad	Eficiencia	Mantenimiento	Bajo costo	\sum	Prioridad
Solución 1	0.5 (0.4)	0.5(0.4)	0.5(0.2)	0.5(0.1)	0.55	2
Solución 2	0.33(0.4)	0.5(0.4)	0.33(0.2)	0.33(0.1)	0.43	1

Fuente: Silva, M.; Pilco, S.2020.

Realizado por: Silva, M.; Pilco, S.2020.

Se concluye que la solución 2: La tolva cerrada con una abertura lateral para introducir el material es la mejor opción.

3.3.4 Sistema de almacenamiento.

Tomamos dos posibles soluciones en beneficio del usuario, el almacenamiento para cantidades pequeñas que deberá ser vaciado constantemente y una salida lateral que podrá ser adaptado según las necesidades del usuario, permitiendo un trabajo constante e ininterrumpido de trituración del material

Solución 1: Almacenamiento

Solución 2: Salida lateral

Capacidad > Energía > Mantenimiento > Bajo costo

Tabla 3-20: Evaluación de los criterios del sistema de almacenamiento.

Criterio	Capacidad	Energía	Mantenimiento	Bajo costo	$\sum +1$	Ponderación
Capacidad		1	1	1	4	0.4
Energía	0		1	1	3	0.4
Mantenimiento	0	0		1	2	0.2
Bajo costo	0	0	0		1	0.1
				Suma	10	1

Fuente: Silva, M.; Pilco, S.2020.

Realizado por: Silva, M.; Pilco, S.2020.

Evaluación del peso específico del criterio capacidad

Solución 1 = Solución 2

Tabla 3-21: Evaluación del criterio específico capacidad.

Capacidad	Solución 1	Solución 2	$\sum +1$	Ponderación
Solución 1		0.5	1.5	0.5
Solución 2	0.5		1.5	0.5
		Suma	3	1

Fuente: Silva, M.; Pilco, S.2020.

Realizado por: Silva, M.; Pilco, S.2020.

Evaluación del peso específico del criterio energía.

Solución 1 = Solución 2

Tabla 3-22: Evaluación del peso específico energía.

Energía	Solución 1	Solución 2	$\sum +1$	Ponderación
Solución 1		0.5	1.5	0.5
Solución 2	0.5		1.5	0.5
		Suma	3	1

Fuente: Silva, M.; Pilco, S.2020.

Realizado por: Silva, M.; Pilco, S.2020.

Evaluación del peso específico del criterio mantenimiento.

Solución 1 = Solución 2

Tabla 3-23: Evaluación del peso específico mantenimiento.

Mantenimiento	Solución 1	Solución 2	$\sum +1$	Ponderación
Solución 1		0.5	1.5	0.5
Solución 2	0.5		1.5	0.5
		Suma	3	1

Fuente: Silva, M.; Pilco, S.2020.

Realizado por: Silva, M.; Pilco, S.2020.

Evaluación del peso específico del criterio bajo costo.

Solución 1 < Solución 2

Tabla 3-24: Evaluación del peso específico bajo costo.

Bajo costo	Solución 1	Solución 2	$\sum +1$	Ponderación
Solución 1		0	0	0
Solución 2	1		2	1
		Suma	2	1

Fuente: Silva, M.; Pilco, S.2020.

Realizado por: Silva, M.; Pilco, S.2020.

Tabla 3-25: Tabla de conclusiones:

Conclusión	Capacidad	Eficiencia	Mantenimiento	Bajo costo	\sum	Prioridad
Solución 1	0.5 (0.4)	0.5(0.4)	0.5(0.2)	0.5(0.1)	0.55	1
Solución 2	0.33(0.4)	0.5(0.4)	0.33(0.2)	0.33(0.1)	0.43	2

Fuente: Silva, M.; Pilco, S.2020.

Realizado por: Silva, M.; Pilco, S.2020.

Se concluye que la solución 2: Una salida lateral es la mejor opción para juntar el material triturado y seguirlo almacenando en otro lugar.

3.3.5 Sistema de tamizado.

Tenemos dos opciones dependiendo de la configuración de los ejes y número de cuchillas, la finalidad es obtener el tamaño de hojuela adecuado.

Solución 1: Criba acoplada a ambos ejes.

Solución 2: Semicircular.

Capacidad > Energía > Mantenimiento > Bajo costo.

Tabla 3-26: Evaluación de los criterios para el sistema de tamizado.

Criterio	Capacidad	Energía	Mantenimiento	Bajo costo	$\sum +1$	Ponderación
Capacidad		1	1	1	4	0.4
Energía	0		1	1	3	0.4
Mantenimiento	0	0		1	2	0.2
Bajo costo	0	0	0		1	0.1
				Suma	10	1

Fuente: Silva, M.; Pilco, S.2020.

Realizado por: Silva, M.; Pilco, S.2020.

Evaluación del peso específico del criterio capacidad.

Solución 1 = Solución 2

Tabla 3-27: Evaluación del peso específico del criterio capacidad.

Capacidad	Solución 1	Solución 2	\sum_{+1}	Ponderación
Solución 1		0.5	1.5	0.5
Solución 2	0.5		1.5	0.5
		Suma	3	1

Fuente: Silva, M.; Pilco, S.2020.

Realizado por: Silva, M.; Pilco, S.2020.

Evaluación del peso específico del criterio energía.

Solución 1 = Solución 2

Tabla 3-28: Evaluación del peso específico del criterio energía.

Energía	Solución 1	Solución 2	\sum_{+1}	Ponderación
Solución 1		0.5	1.5	0.5
Solución 2	0.5		1.5	0.5
		Suma	3	1

Fuente: Silva, M.; Pilco, S.2020.

Realizado por: Silva, M.; Pilco, S.2020.

Evaluación del peso específico del criterio mantenimiento.

Solución 1 = Solución 2

Tabla 3-29: Evaluación del peso específico del criterio mantenimiento.

Mantenimiento	Solución 1	Solución 2	\sum_{+1}	Ponderación
Solución 1		0.5	1.5	0.5
Solución 2	0.5		1.5	0.5
		Suma	3	1

Fuente: Silva, M.; Pilco, S.2020.

Realizado por: Silva, M.; Pilco, S.2020.

Evaluación del peso específico del criterio bajo costo.

Solución 1 < Solución 2

Tabla 3-30: Evaluación del peso específico del criterio bajo costo.

Bajo costo	Solución 1	Solución 2	\sum_{+1}	Ponderación
Solución 1		0	0	0
Solución 2	1		2	1
		Suma	2	1

Fuente: Silva, M.; Pilco, S.2020.

Realizado por: Silva, M.; Pilco, S.2020.

Tabla 3-31: Tabla de conclusiones.

Conclusión	Capacidad	Eficiencia	Mantenimiento	Bajo costo	Σ	Prioridad
Solución 1	0.5 (0.4)	0.5(0.4)	0.5(0.2)	0.6(0.1)	0.54	2
Solución 2	0.5(0.4)	0.5(0.4)	0.5(0.2)	0.4(0.1)	0.56	1

Fuente: Silva, M.; Pilco, S.2020.

Realizado por: Silva, M.; Pilco, S.2020.

Se concluye que la solución 2: Este tipo de criba debidamente acoplada permite que el material triturado recircule hasta tener el tamaño deseado.

3.4 Diseño mecánico.

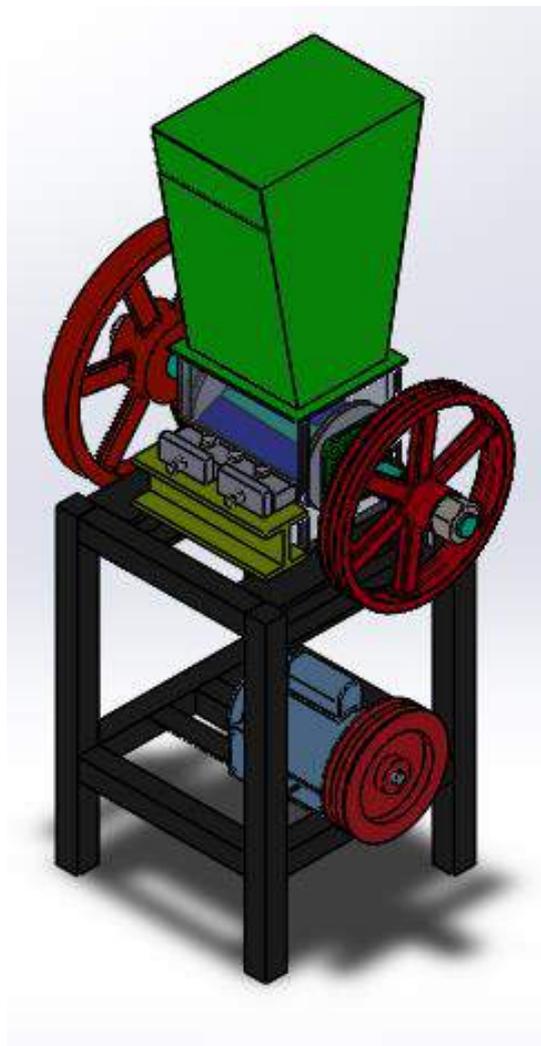


Figura 3-7: Máquina trituradora de plástico.

Realizado por: Silva, M.; Pilco, S.2020.

3.4.1 *Diseño de las cuchillas.*

Para el diseño de las cuchillas nos hemos basado en los modelos de trituradoras con cuchillas rotatorias, nuestra máquina se compone de cuatro cuchillas móviles y una cuchilla fija sobre la cual se producirá la operación de cizalladura o corte del material, existe una separación entre la cuchilla fija y la cuchilla móvil que se encuentra entre 0,2 y 0,3 mm, esta distancia ayudará a obtener una buena calidad de corte (Gualoto, 2015, pp-35-40).

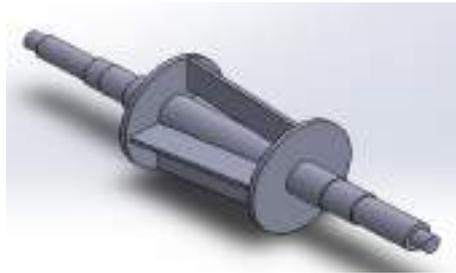


Figura 3-8: Diseño de las cuchillas.

Realizado por: Silva, M.; Pilco, S.2020.

Para el diseño de la cuchilla, partiremos de la operación de cizalladura, que es el corte recto entre dos bordes, siendo nuestros bordes la cuchilla y la contracuchilla.

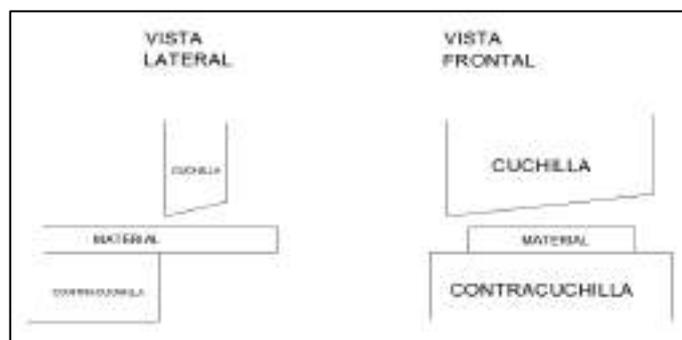


Figura 3-9: Representación de la operación de cizalladura.

Realizado por: Silva, M.; Pilco, S.2020.

3.4.1.1 *Cálculo de la resistencia a la rotura*

Según Groover es posible calcular el esfuerzo cortante en la fractura que se usa como resistencia a la cortante ζ del material. La resistencia a la cortante se puede obtener a partir de datos de resistencia a la tensión por medio de la siguiente aproximación (Groover, 2007: p.100).

$$\zeta = 0.7 (Ts) \quad (2)$$

Donde:

$\zeta =$ resistencia a la cortante

$Ts =$ resistencia a la tensión

$$\zeta = 0.7 (17 \text{ Mpa})$$

$$\zeta = 11.9 \text{ MPa}$$

3.4.1.2 Cálculo de la fuerza de corte.

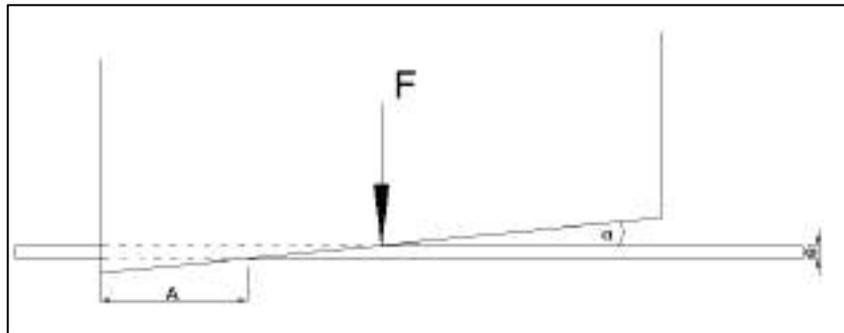


Figura 3-10: Representación de la fuerza de corte sobre el material.

Realizado por: Silva, M.; Pilco, S.2020.

La fuerza de corte la podemos calcular mediante la ecuación (3) (Hidalgo, 2020, pp. 41-50).

$$F_c = k * A * s * \zeta \quad (3)$$

Donde:

$F_c =$ fuerza de corte (N)

$k =$ coeficiente de penetración (adim)

$A =$ área de corte (mm)

$s =$ espesor del material (mm)

$\zeta =$ resistencia al corte (MPa)

Coficiente de penetración: este puede variar de 0.03 a 0.25, siendo 0.25 el valor más alto para materiales como el acero, para nuestro caso tomaremos un valor intermedio de 0.11 (Hidalgo, 2020, pp. 41-50).

Área de corte: Cuando la cuchilla es recta, se produce el corte al mismo tiempo y a todo lo largo del material, en ese caso la fuerza de corte es máxima, para reducirla hemos usamos un ángulo de corte de 6° , logrando una distribución del corte a través del tiempo, reduciendo la fuerza necesaria en cada instante (Hidalgo, 2020, pp. 41-50), entonces:

$$A = \frac{s}{\text{tang}(\alpha)} \quad (4)$$

$\alpha = \text{ángulo de corte}$

$$\alpha = 6^\circ$$

$$A = \frac{6}{\text{tang}(6^\circ)}$$

$$A = 57.08 \text{ mm}$$

$$\zeta = 11.9 \text{ Mpa}$$

Reemplazando los valores en la ecuación (3) tenemos:

$$F_c = 0.11 * A * s * \zeta$$

$$F_c = 0.11 * 57.08 * 6 * 11.9$$

$$F_c = 448.3 \text{ N}$$

3.4.1.3 Análisis en Ansys de la cuchilla.

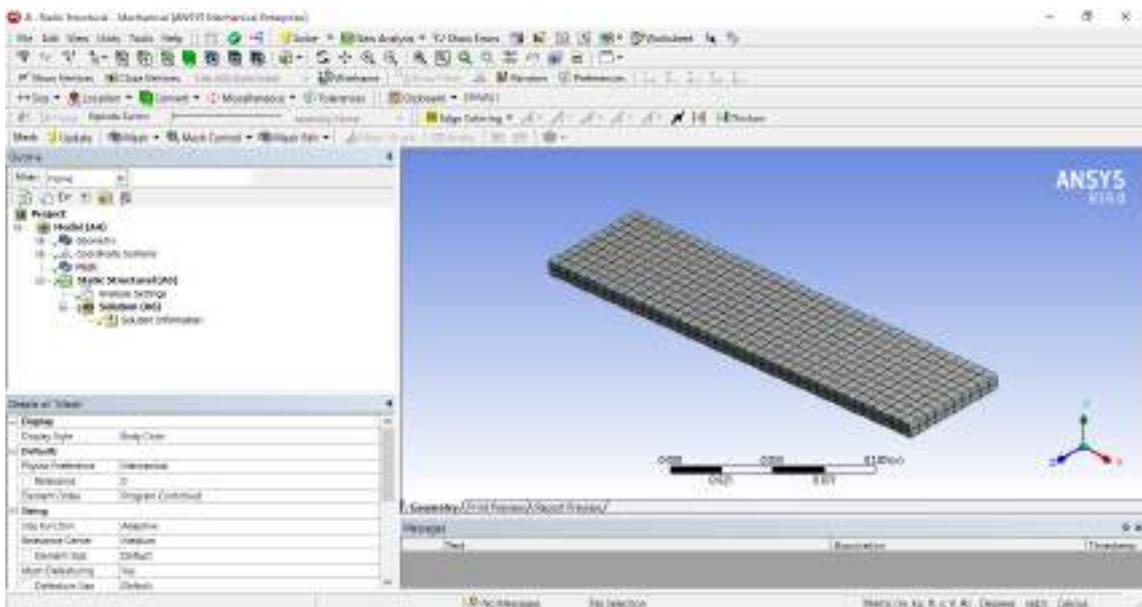


Figura 3-11: Importación de la geometría de la cuchilla en el programa Ansys.

Realizado por: Silva, M.; Pilco, S.2020.

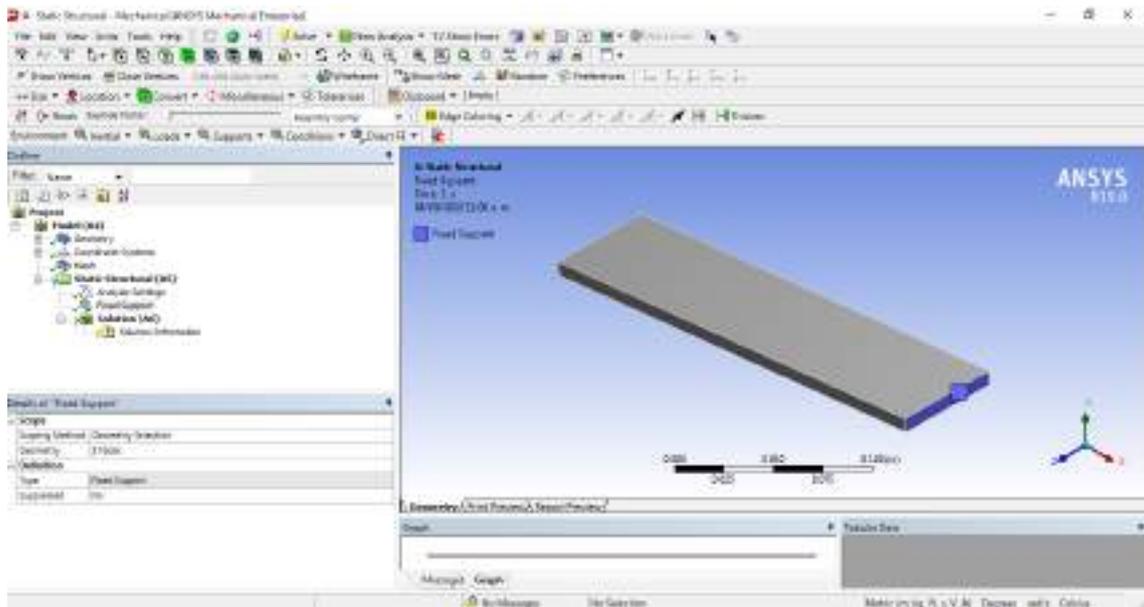


Figura 3-12: Representación de la posición de la cuchilla con respecto al rotor en Ansys.

Realizado por: Silva, M.; Pilco, S.2020.

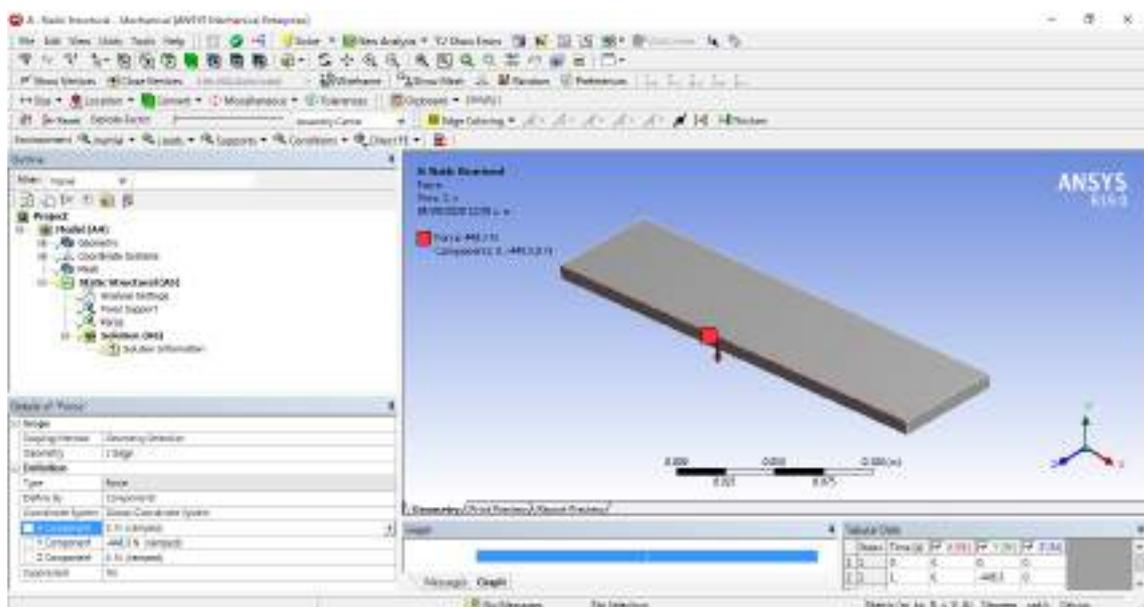


Figura 3-13: Representación de la fuerza de corte sobre la cuchilla.

Realizado por: Silva, M.; Pilco, S.2020.

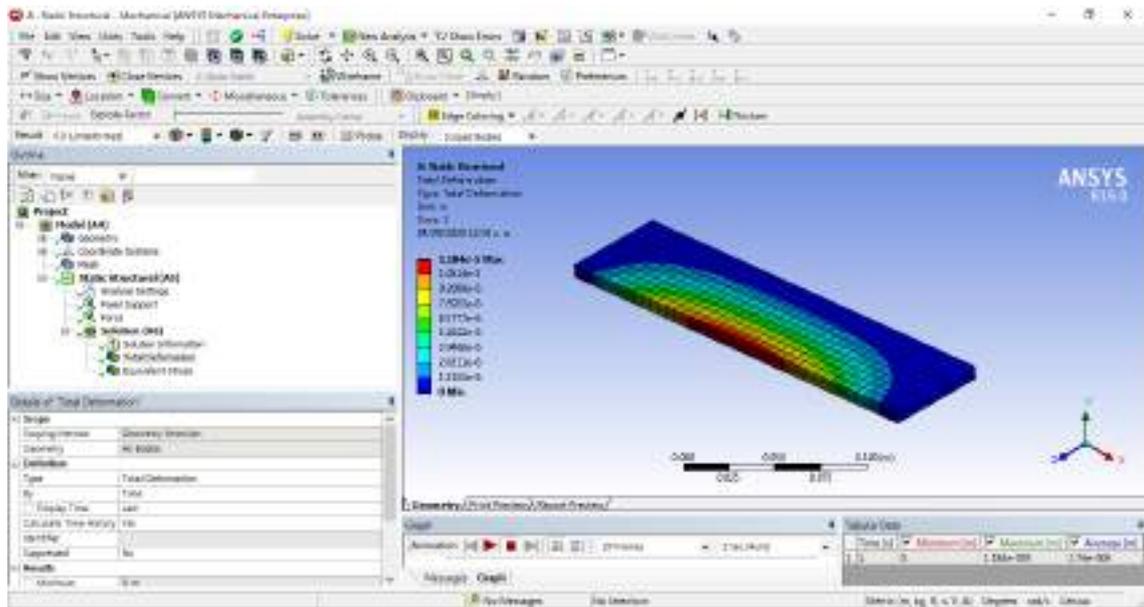


Figura 3-14: Deformaciones en la cuchilla en el programa Ansys.

Realizado por: Silva, M.; Pilco, S.2020.

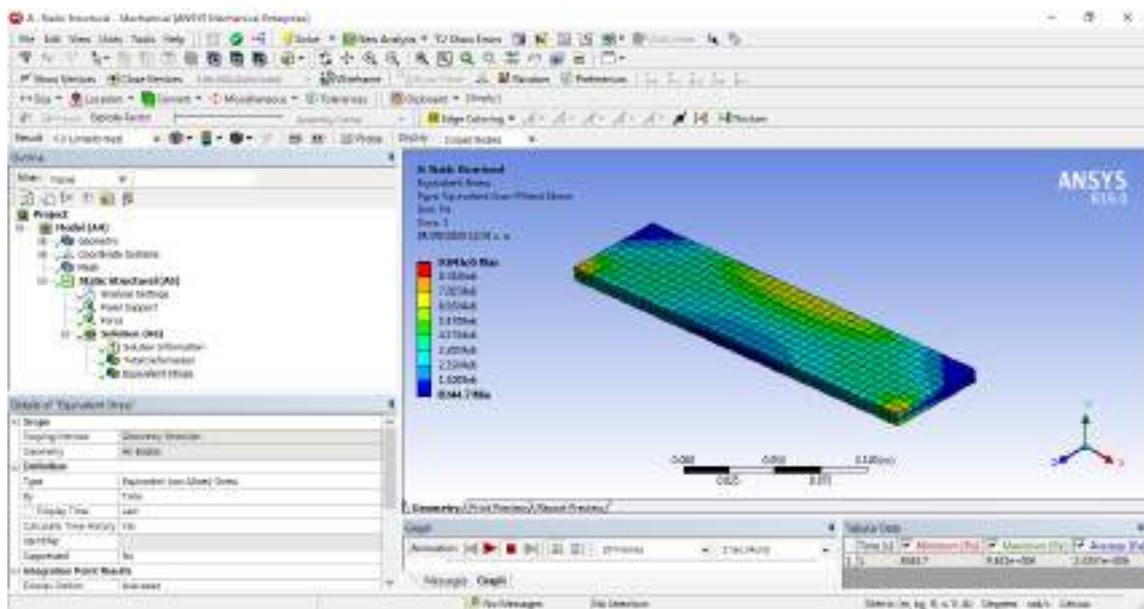


Figura 3-15: Análisis de esfuerzos en la cuchilla (Von Mises) en Ansys.

Realizado por: Silva, M.; Pilco, S.2020.

3.4.2 *Diseño de la contra cuchilla*

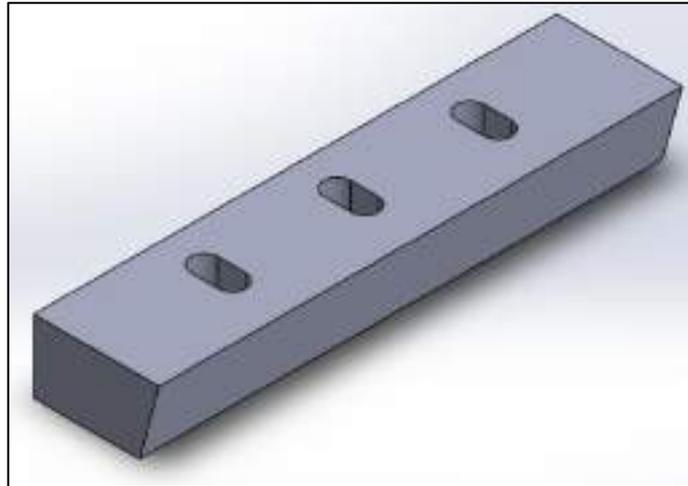


Figura 3-16: Contra cuchilla de la máquina trituradora.

Realizado por: Silva, M.; Pilco, S.2020.

Este elemento servirá de soporte cada vez que la cuchilla corte el material las ranuras que posee nos servirán para regular la distancia entre la cuchilla y la contra cuchilla.

3.4.2.1 *Medidas generales de la contra cuchilla.*

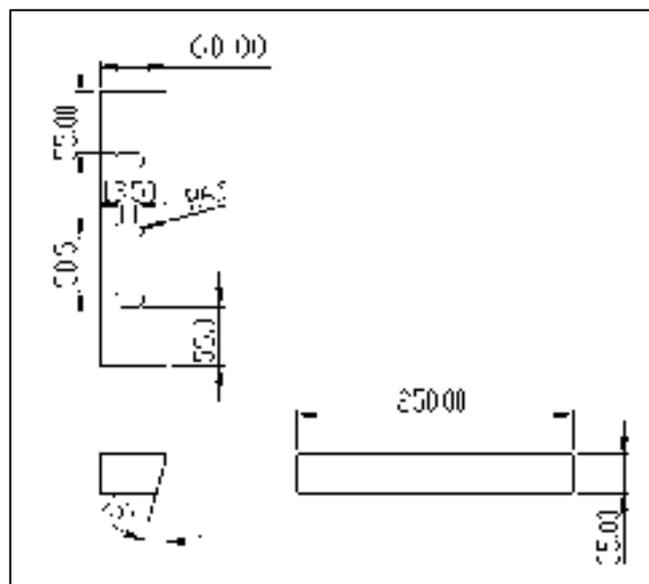


Figura 3-17: Medidas generales de la contra cuchilla.

Realizado por: Silva, M.; Pilco, S.2020.

3.4.2.2 Análisis en Ansys de la contra cuchilla.

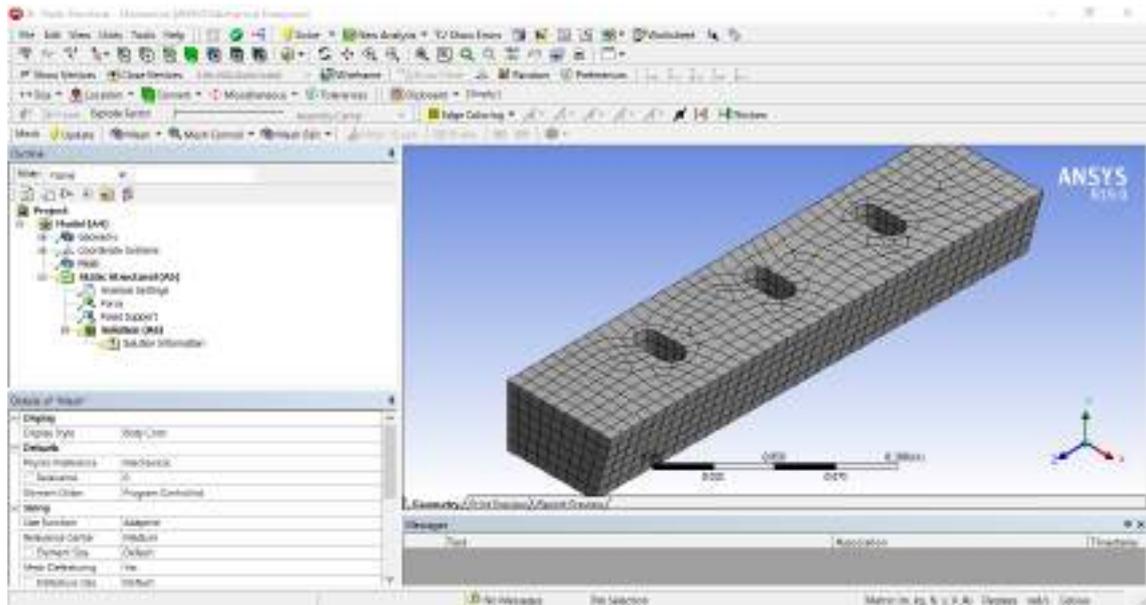


Figura 3-18: Importación de la geometría de la contra cuchilla al software Ansys

Realizado por: Silva, M.; Pilco, S.2020.

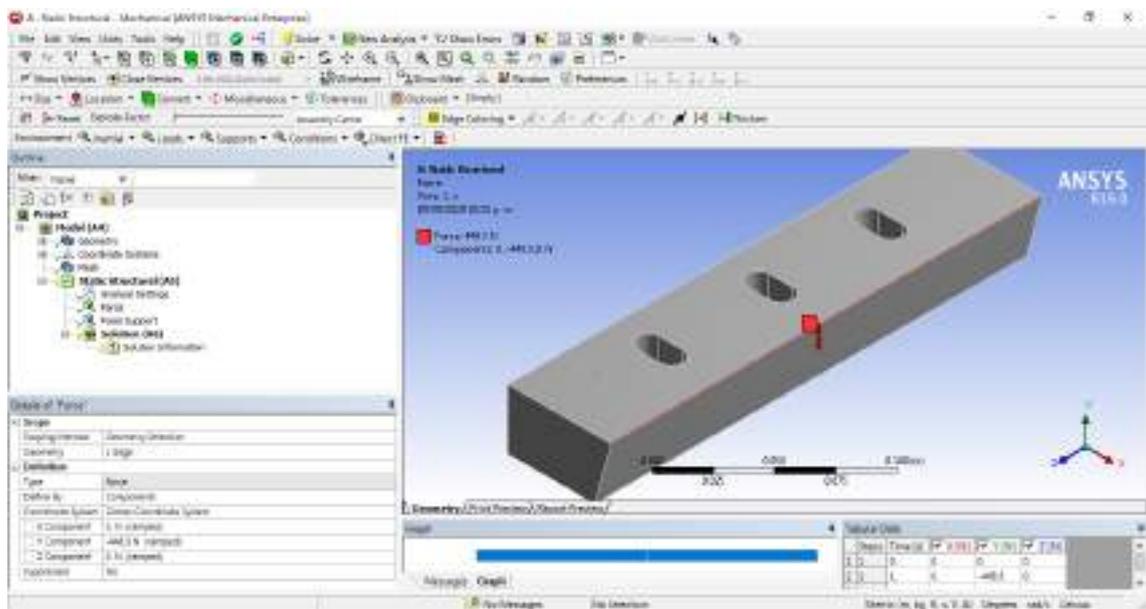


Figura 3-19: Colocación de la fuerza que actúa sobre la contra cuchilla.

Realizado por: Silva, M.; Pilco, S.2020.

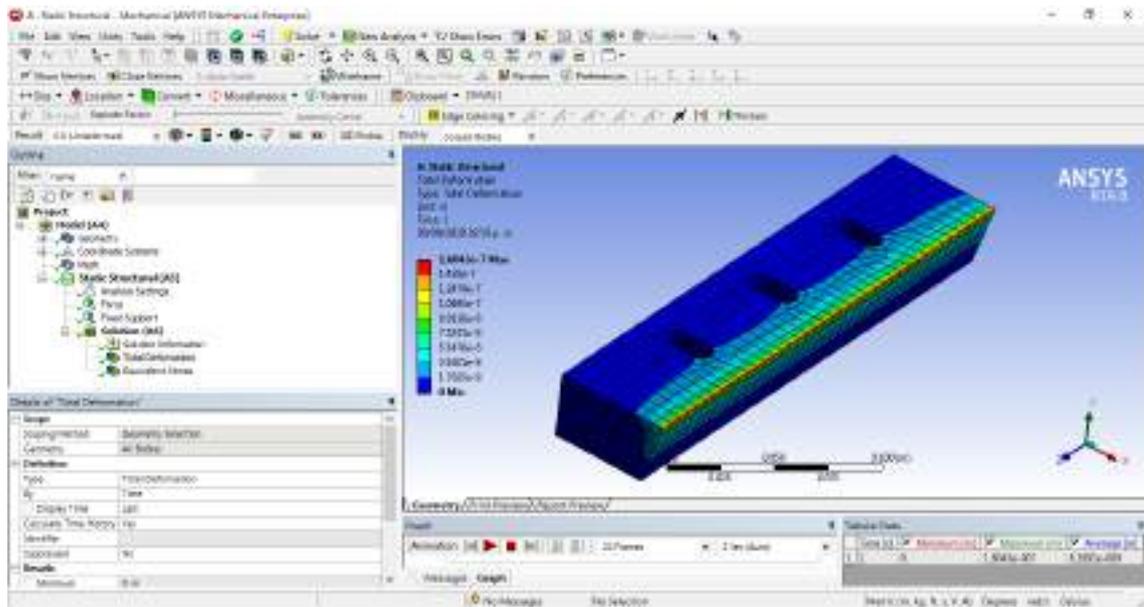


Figura 3-20: Deformación en la contra cuchilla en el software Ansys.

Realizado por: Silva, M.; Pilco, S.2020.

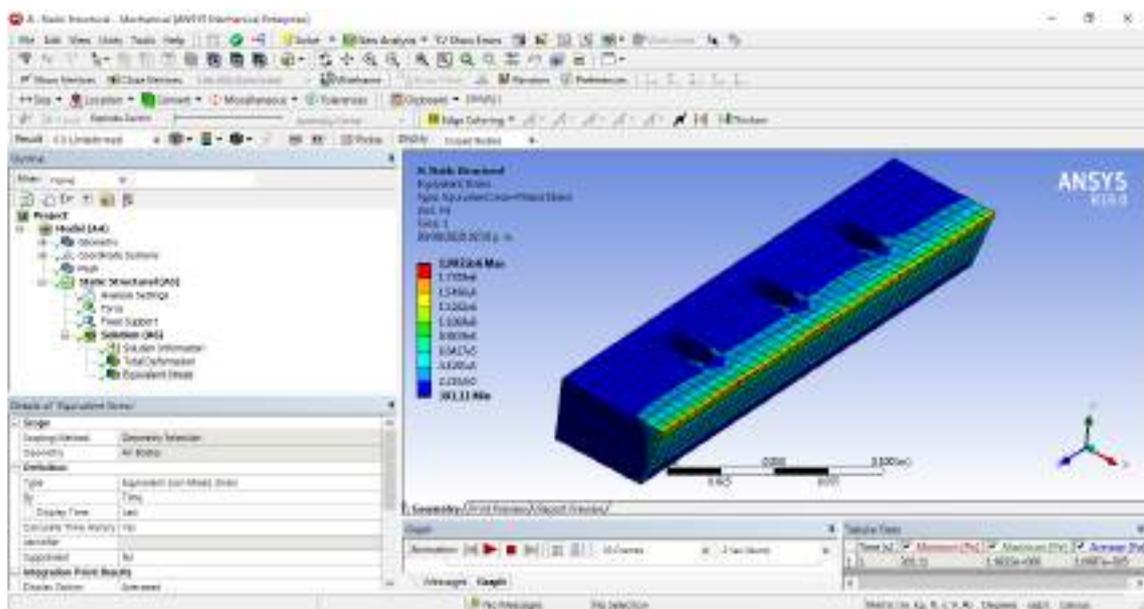


Figura 3-21: Esfuerzo en la contra cuchilla por medio del software Ansys.

Realizado por: Silva, M.; Pilco, S.2020.

Los resultados obtenidos fueron de una deformación total de 0.00016 mm en el filo de la cuchilla y un esfuerzo de 2 MPa, muy por debajo del esfuerzo admisible de 295 MPa.

3.4.3 Cálculo de la potencia requerida.

3.4.3.1 Potencia de la máquina

La potencia de la máquina la calculamos mediante las ecuación (5) y (6) (Hamrock, 1999).

$$P = T w \quad (5)$$

Donde:

$P =$ Potencia de la máquina (Kw)

$T =$ Torque requerido en la trituración (N.m)

$w =$ Velocidad angular $\left(\frac{\text{rad}}{\text{s}}\right)$

$$T = F * d \quad (6)$$

Donde:

$T =$ Torque [N.m]

$d =$ Distancia de aplicación [m]

$F =$ Fuerza de corte [N]

$$T = 448.3 \text{ N} * 0.1 \text{ m}$$

$$T = 44.83 \text{ N.m}$$

La velocidad a la que trabajara nuestra máquina será de $400 \frac{\text{rev}}{\text{min}}$

$$P = 44.83 \text{ N.m} \left(400 \frac{\text{rev}}{\text{min}}\right)$$

$$P_m = (44.83 \text{ N.m}) * 400 \frac{\text{rev}}{\text{min}} * \frac{2\pi \text{ rad}}{1 \text{ rev}} * \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}}$$

$$P_m = 1607.83 \text{ W} * \frac{1 \text{ HP}}{746 \text{ W}}$$

$$P_m = 2.15 \text{ Hp}$$

3.4.3.2 Potencia requerida en el motor eléctrico

La potencia obtenida será multiplicada por un factor de trabajo de 1.2 para trabajo moderado, con el fin de prevenir sobrecargas en el sistema que pueden ocasionar daños en la máquina (Jimeno, 2019, pp. 36-43).

$$P = 1.2 P_m \quad (7)$$

Donde:

P = Potencia en el motor eléctrico (hp)

P_m = Potencia requerida en la máquina (hp)

$$P = 1.2 (2.15)$$

$$P = 2.58 \text{ Hp}$$

Procedemos a revisar el catálogo de motores WEG en donde se tomó el valor de potencia igual o mayor más cercano teniendo como resultado un motor de las siguientes características:

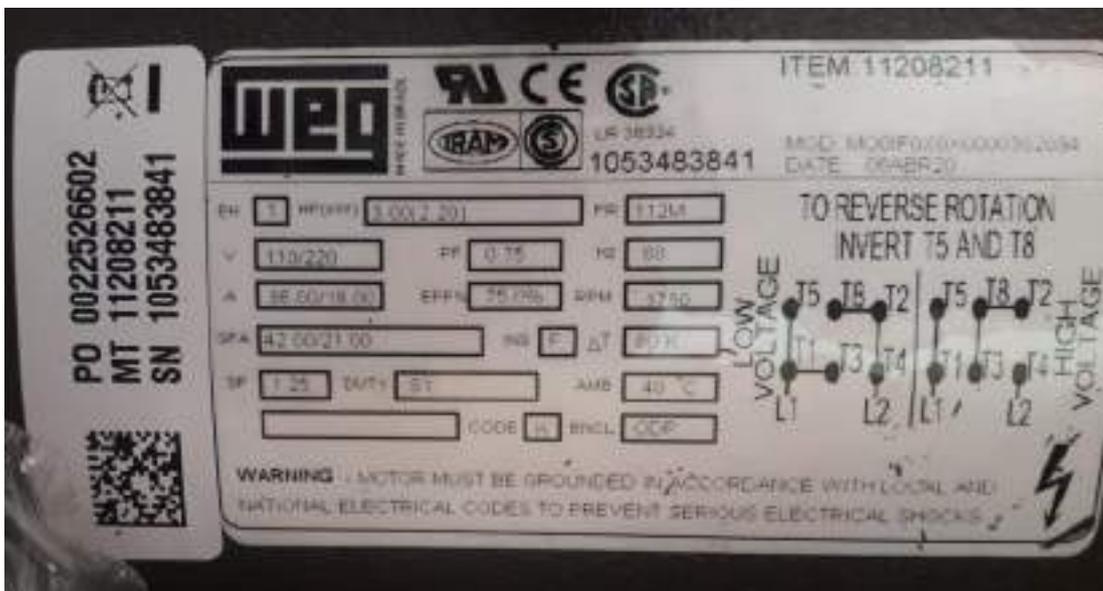


Figura 3-22: Placa del motor adquirido.

Realizado por: Silva, M.; Pilco, S.2020.

Debemos considerar además la eficiencia del motor de un 75%, esta información la obtenemos de la placa del motor, así sabremos que potencia tenemos disponible a la salida del mismo, para ello usaremos la ecuación (8) de eficiencia de un motor eléctrico (Moyano, 2017, pp. 50-55).

$$e = \frac{pot_{sal}}{pot_{ent}} \quad (8)$$

Donde:

e = eficiencia del motor eléctrico

pot_{sal} = potencia de salida del motor eléctrico (hp)

pot_{ent} = potencia de entrada del motor eléctrico (hp).

Nuestros datos son:

$$e = 0.75$$

$$pot_{ent} = 3hp$$

Despejamos la potencia de salida y resolvemos:

$$pot_{sal} = e * pot_{ent}$$

$$pot_{sal} = 0,75 * 3hp$$

$$pot_{sal} = 2,25 hp$$

Nuestra máquina requiere de una potencia de 2,15 hp y el motor seleccionado nos entregara una potencia de salida de 2,25 hp por lo que el motor seleccionado es suficiente para nuestra trituradora.

3.4.4 Selección de las poleas



Figura 3-23: Transmisión

Realizado por: Silva, M.; Pilco, S.2020.

Para la transmisión de la potencia hemos realizado la selección de una banda trapezoidal tomando como datos la relación de transmisión de las poleas, las velocidades de entrada de motor y de salida de la máquina trituradora.

El motor eléctrico tiene una potencia de 1720 rpm y nuestra máquina trituradora tendrá una velocidad de salida de 400 rpm por lo tanto haremos la selección de las bandas y del diámetro de las poleas para transmitir esta potencia y conseguir la velocidad de salida en la máquina trituradora, este tipo de transmisión es la menos ruidosa y no requiere de lubricación, sin embargo la instalación puede resultar peligrosa si el operario se acerca a las bandas en movimiento, pudiendo provocarse un atascamiento, por ellos se recomienda siempre cubrir esta parte de la máquina (García y Ponce, 2016, pp. 63-71).

3.4.4.1 Potencia de diseño.

La potencia de diseño se calcula mediante la ecuación (9) (SKF Power Transmission belts, 2011: p.14).

$$Pd = P * C_2 \quad (9)$$

Pd = potencia de diseño (Kw)

P = potencia de entrada (Kw)

C_2 : factor de servicio (adim)

Tabla 3-32: Factor de servicio.

Types of driven machinery		Soft starts			Heavy starts		
		Duty time h/day			Duty time h/day		
		10 and under	Over 10 to 16	Over 16	10 and under	Over 10 to 16	Over 16
Class 1 Light duty	Blowers, exhausters and fans (up to 7,5 KW), centrifugal compressors and pumps. Belt conveyors (uniformly loaded)	1,0	1,1	1,2	1,1	1,2	1,3
Class 2 Medium duty	Agitators (uniform density), blowers, exhausters and fans (over 7,5 kW). Rotary compressors and pumps (other than centrifugal). Belt conveyors (not uniformly loaded), generators and excitors, laundry machinery, lineshafts, machine tools, printing machinery, sawmill and woodworking machinery, screens (rotary).	1,1	1,2	1,3	1,2	1,3	1,4
Class 3 Heavy duty	Agitators and mixers (variable density), brick machinery, bucket elevators, compressors and pumps (reciprocating), conveyors (heavy duty). Hoists, mills (hammer), pulverisers, punches, presses, shears, quarry plant, rubber machinery, screens (vibrating), textile machinery.	1,2	1,3	1,4	1,4	1,5	1,6
Class 4 Extra heavy duty	Crushers (gyratory-jaw roll), mills (ball-rod-tube).	1,3	1,4	1,5	1,5	1,6	1,8

Fuente: SKF Power Transmission belts, 2011: p.16.

Realizado por: Silva, M.; Pilco, S.2020.

Para nuestro caso tomamos el valor de $C_2 = 1.3$ para maquinas trituradoras con tiempo de trabajo menor a 10h/día, y $P = 3Hp$ (2,24Kw) de nuestro motor eléctrico, reemplazando en la ecuación (9) obtenemos:

$$Pd = (2.24 Kw)(1.3)$$

$$Pd = 2.9 Kw$$

3.4.4.2 Tipo de sección

El tipo de sección se selecciona en base a la potencia que se va a transmitir (Kw) y a la velocidad de la patea menor (r/min), en el Anexo B ubicamos estos valores.

$$P_d = 2.24 Kw$$

$$n = 1720 rpm$$

Y seleccionamos la banda trapezoidal de sección tipo B.

3.4.4.3 Relación de transmisión

La relación de transmisión la encontramos dividiendo la velocidad de entrada por la velocidad de salida como se muestra en la ecuación (10) (SKF Power Transmission belts, 2011: p.14).

$$L = \frac{N_1}{N_2} \quad (10)$$

Donde:

$L =$ relación de transmisión (adim)

$N_1 =$ velocidad de entrada (r/min)

$N_2 =$ velocidad de salida (r/min)

$$L = \frac{1720}{400}$$

$$L = 4$$

3.4.4.4 *Diámetro de las poleas*

Para seleccionar el diámetro de la polea menor entramos a la tabla 5a que se muestra en el Anexo C perteneciente al catálogo de bandas SKF, con el tipo de sección de la banda tipo B y obtenemos el diámetro menor de 125 mm.

$$d = 125 \text{ mm}$$

Para determinar el valor de la polea mayor entramos a la tabla 5b que se muestra en el Anexo D con los valores de la polea menor y la relación de transmisión obteniendo un diámetro para la polea mayor de 500 mm.

$$D = 500 \text{ mm}$$

3.4.4.5 *Distancia entre centros*

La distancia entre los centros de la polea mayor y menor que transmitirán la potencia, deberá estar dentro del rango recomendado según el tipo de sección de la banda trapezoidal, tomaremos como referencia un valor máximo y un valor mínimo con las ecuaciones (11) y (12). (SKF Power Transmission belts, 2011: p.14).

$$C_{cp \text{ min}} = 0,7(D + d) \tag{11}$$

Donde:

$C_{cp \text{ min}}$ = distancia mínima entre centros (mm)

D = diámetro de la polea mayor (mm)

d = diámetro de la polea menor (mm)

$$C_{cp \text{ min}} = 0,7(500 + 125)$$

$$C_{cp \text{ min}} = 437.5 \text{ mm}$$

Donde:

$C_{cp\ max}$ = distancia máxima entre centros (mm)

D = diámetro de la polea mayor (mm)

d = diámetro de la polea menor (mm)

$$C_{cp\ max} = 2(D + d) \quad (12)$$

$$C_{cp\ max} = 2(500 + 125)$$

$$C_{cp\ max} = 1250\ mm$$

Se tomará una distancia de 600 mm que se encuentra dentro del rango.

3.4.4.6 Cálculo de la longitud de la correa

Para seleccionar la correa es necesario determinar su longitud, esto lo haremos mediante la ecuación (13) (SKF Power Transmission belts, 2011: p.14).

$$L_d = 2C_{cp} + 1.57(D + d) + \frac{(D - d)^2}{4C_{cp}} \quad (13)$$

Donde:

L_d = longitud de la correa (mm)

C_{cp} = distancia entre centros (mm)

D = diámetro mayor de la polea (mm)

d = diámetro menor de la polea (mm)

$$L_d = 2(600) + 1,57(500 + 125) + \frac{(500 - 125)^2}{4(600)}$$

$$L_d = 2239,84\ mm$$

$$L_d = 2240\ mm \rightarrow PHG\ SPB\ 2240$$

3.4.4.7 Corrección de la distancia entre centros.

Una vez seleccionada la correa *PHG SPB 2240* corregimos la distancia entre centros de las poleas, mediante la ecuación (14) (SKF Power Transmission belts, 2011: p.14).

$$CC = \frac{a + \sqrt{a^2 - 8(D - d)^2}}{8} \quad (14)$$

Donde:

$$a = 2L - \pi(D + d)$$

D = diámetro de la polea mayor (mm)

d = diámetro de la polea menor (mm)

Reemplazando en la ecuación obtenemos los siguientes valores.

$$a = 2(2240) - \pi(500 + 125)$$

$$a = 2516.50$$

$$CC = \frac{2516.50 + \sqrt{2516,50^2 - 8(500 - 125)^2}}{8}$$

$$CC = 599,81 \text{ mm}$$

3.4.4.8 Potencia básica.

La potencia nominal básica total de la correa consta de la potencia nominal básica según el tipo de correa más la potencia nominal basada en la relación de velocidad, estos valores los obtendremos de la tabla 9c del catálogo SKF que se muestra en el Anexo E y los reemplazaremos en la ecuación (15). (SKF Power Transmission belts, 2011: p.14).

$$P_b = P'_b + P''_b \quad (15)$$

Donde:

P_b = potencia básica [Kw].

$P'_b =$ potencia nominal segun el tipo de sección de la correa [Kw].

$P''_b =$ potencia nominal basada en la relación de velocidad [Kw].

$$P_b = 1,78 + 0,26 \text{ [Kw]}$$

$$P_b = 2,04 \text{ [Kw]}$$

3.4.4.9 Potencia de la correa

La potencia de la correa se determina mediante la ecuación (16), tomando la potencia básica y multiplicándola por los factores de corrección C_1 y C_3 , tomados de la tabla 7 y 8 del catálogo SKF que se muestran en el Anexo F (SKF Power Transmission belts, 2011: p.40).

$$C_3 = 0,93$$

$$C_1 = 1$$

$$P_r = P_b * C_3 * C_1 \quad (16)$$

$$P_r = 2,04 * 0,93 * 1$$

$$P_r = 1,89 \text{ Kw}$$

Donde:

$P_r =$ potencia de la correa [Kw].

$P_b =$ potencia básica [Kw]

C_1 y $C_3 =$ factores de correccion de potencia de la correa (adim)

3.4.4.10 Número de correas

El número de correas se determina mediante la ecuación (17) que divide la potencia de diseño para la potencia de la correa (SKF Power Transmission belts, 2011: p.14).

$$N = \frac{P_d}{P_r} \quad (17)$$

Donde:

N = número de correas.

P_d = potencia de diseño [Kw].

P_r = potencia de la correa [Kw].

$$N = \frac{2,9}{1,89}$$

$$N = 1,53$$

Usaremos 2 correas.

3.4.4.11 Tolerancias de instalación.

Para instalar las poleas es necesario establecer una tolerancia máxima (MTA) y mínima (MIA), para que esta no se encuentre sobre-tensada o muy holgada, estos valores los tomaremos de la tabla 10a en el Anexo G, donde ingresaremos con la longitud de la correa y el tipo de sección de la correa, obteniendo los siguientes valores (SKF Power Transmission belts, 2011: p.63).

$$MTA = 40 \text{ mm}$$

$$MIA = 30 \text{ mm}$$

$$CC = 599,81_{-30}^{+40}$$

Donde:

MTA = tolerancia máxima de instalación

MIA = tolerancia mínima de instalación

CC = distancia entre centros.

3.4.5 Diseño del eje.



Figura 3-24: Eje de la máquina.

Realizado por: Silva, M.; Pilco, S.2020.

Para el diseño de los ejes de la máquina trituradora aplicaremos los fundamentos del diseño a fatiga, el material seleccionado para el eje es acero 1020 cuyas propiedades son:

Tabla 3-33: Propiedades físicas el acero AISI 1020

Material	Densidad Kg / m^3	Módulo de elasticidad $psi \times 10^6$ (GPa)	Resistencia a la fluencia (S_y) ksi (MPa)	Resistencia a la rotura ksi (MPa)	Resistencia a la tensión (S_{ut}) ksi (MPa)
Acero al bajo carbono (AISI 1020)	7860	30 (207)	43 (295)	57 (395)	64 (440)

Fuente: (Hamrock, 1999)

Realizado por: Silva, M.; Pilco, S.2020.

3.4.5.1 Determinación de las fuerzas debido al peso de los componentes.

Las fuerzas que actúan sobre el eje son:

$$W_{volante\ inercia} = 32,289Kg * 9,8 m/s^2$$

$$W_{volante\ inercia} = 316,43 N$$

El valor de la masa del volante de inercia fue determinado con ayuda del programa Solidworks que se adjunta en el Anexo C.

$$W_{rotor} = 8,2 \text{ Kg} * 9,8 \frac{m}{s^2}$$

$$W_{rotor} = 80,36 \text{ N}$$

El valor de la masa del rotor fue determinado con ayuda del programa Solidworks que se adjunta en el Anexo D.

$$W_{polea} = 59,3 \text{ Kg} * 9,8 \text{ m/s}^2$$

$$W_{polea} = 581,14 \text{ N}$$

El valor de la masa de la polea fue determinado con ayuda del programa Solidworks que se adjunta en el Anexo E.

Además tenemos el torque que nos entrega la polea proveniente del motor este valor lo recalculamos puesto que para el diseño calculamos un torque necesario para el funcionamiento de la máquina y el obtenido por el motor será superior por haber sido seleccionado de un catálogo.

3.4.5.2 *Análisis de fuerzas en el rotor*

La fuerza de corte fue determinada en la sección anterior, así que tomaremos su valor:

$$F_c = 448,3 \text{ N}$$

Esta fuerza se localiza en el extremo del rotor, al borde de la cuchilla produciendo un momento (Sarmiento, 2020, pp. 5-7), el cual denotamos:

$$M = F_c * d \tag{18}$$

Donde:

$M = \text{momento}(\text{N.m})$

$F_c = \text{fuerza de corte} (\text{N})$

$d = \text{distancia} (\text{m})$

$$M = 448,3 \text{ N} * 0,1 \text{ m}$$

$$M = 53,49 \text{ N.m}$$

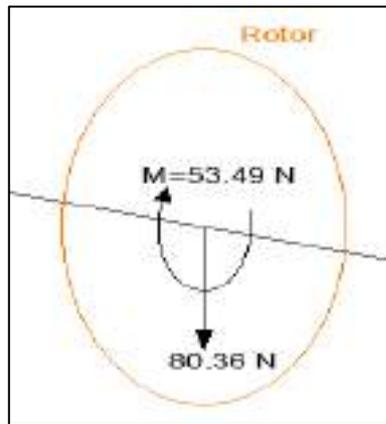


Figura 3-25: Fuerzas en el rotor.

Realizado por: Silva, M.; Pilco, S.2020.

3.4.5.3 Análisis de fuerzas en la polea.

Como primer paso determinaremos el torque que transmite la polea al eje mediante la ecuación (19) (Hamrock, 1999, p):

$$T = \frac{P}{w} \quad (19)$$

Donde:

$T = \text{torque (N.m)}$

$P = \text{potencia (W)}$

$w = \text{velocidad angular } \left(\frac{\text{rad}}{\text{s}}\right)$

Reemplazando los valores tendremos:

$$P = 2,24 \text{ KW}$$

$$w = 400 \text{ rpm} \approx 41,88 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

$$T = \frac{2240 \text{ W}}{41,88 \text{ rad/s}}$$

$$T = 53,49 \text{ N.m}$$

3.4.5.4 Cálculo de tensiones en la polea.

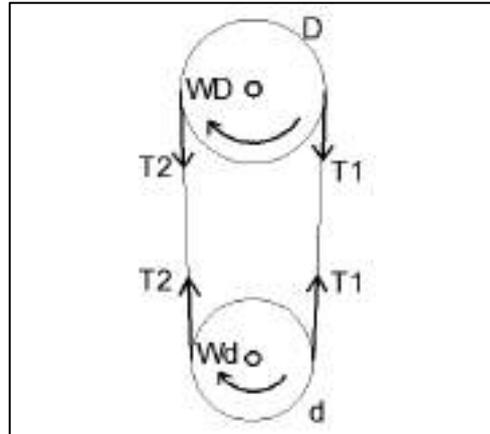


Figura 3-26: Tensiones en la polea

Realizado por: Silva, M.; Pilco, S.2020.

El análisis de Firbank nos ayuda a determinar las tensiones en la polea, suponiendo que la fuerza de fricción entre la banda y el arco de contacto es uniforme, y la fuerza centrífuga despreciable, entonces la relación entre el lado tenso y el lado flojo de la correa es la misma que la de los frenos de cinta esto se representa mediante la ecuación (20) (Medina y Rivadeneira, 2010, pp. 46-47).

$$T_1 = T_2 * e^{\frac{f\beta}{\sin \frac{\alpha}{2}}} \quad (20)$$

Donde:

T_1 = tensión de la banda en el lado tenso (N)

T_2 = tensión de la banda en el lado flojo (N)

f = rozamiento entre la polea y la banda (adim)

β = ángulo de contacto (rad)

α = ángulo formado por las caras laterales de la correa trapezoidal (38°)

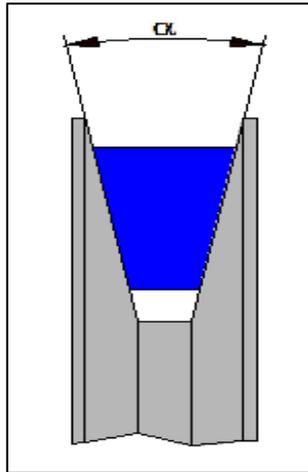


Figura 3-27: Ángulo α

Realizado por: Silva, M.; Pilco, S.2020.

En ángulo de contacto se determina mediante la fórmula (21) (Medina y Rivadeneira, 2010, pp. 46-47).

$$\beta = \pi + 2\text{sen}^{-1}\left(\frac{D - d}{2C}\right) \quad (21)$$

Donde:

D = diámetro de la polea mayor (mm)

d = diámetro de la polea menor (mm)

C = distancia entre centros (mm)

Los valores de D , d y C , fueron determinamos en la selección del tipo de banda a instalar.

$D = 500 \text{ mm}$

$d = 125 \text{ mm}$

$C = 600 \text{ mm}$

Reemplazando los valores en la fórmula (20) (Medina y Rivadeneira, 2010, pp. 46-47), tenemos:

$$\beta = \pi + 2\text{sen}^{-1}\left(\frac{500 - 125}{2(600)}\right)$$

$$\beta = \pi + 0,615$$

$$\beta = 3,75$$

El coeficiente de fricción del cuero lo tomamos de la tabla 17-2 que se muestra en el Anexo H.

$$f = 0.4$$

Reemplazando los valores de f y β los reemplazamos en la ecuación (20) (Medina y Rivadeneira, 2010, pp. 46-47), y obtenemos la relación de tensiones entre en lado tenso y flojo.

$$T_1 = T_2 * e^{\frac{(0.4)(3.75)}{\text{sen } 19^\circ}}$$
$$\frac{T_1}{T_2} = 100,22$$

Conociendo la relación entre el lado tenso y el lado flojo de la correa, determinaremos las tensiones en la correa instalada en la polea mediante la fórmula (22) (Medina y Rivadeneira, 2010, pp. 46-47).

$$T = (T_1 - T_2) * r \quad (22)$$

Donde:

$T = \text{torque (N.m)}$

$T_1 = \text{tensión del lado tenso de la correa (N)}$

$T_2 = \text{tensión del lado flojo de la correa (N)}$

$r = \text{radio de la polea instalada en el eje (m)}$

Reemplazando los valores y resolviendo la fórmula (22) (Medina y Rivadeneira, 2010, pp. 46-47), obtenemos las tensiones en la polea:

$$T = (T_1 - T_2) * r$$

$$T = (100,22 * T_2 - T_2) * r$$

$$T = (99,22 * T_2) * r$$

$$53,49 = (99,22 * T_2) * 0,250$$

$$\mathbf{T_2 = 2,16 N}$$

$$T_1 = 100,22 * T_2$$

$$T_1 = 100,22 * (2,16)N$$

$$\mathbf{T_1 = 216,47 N}$$

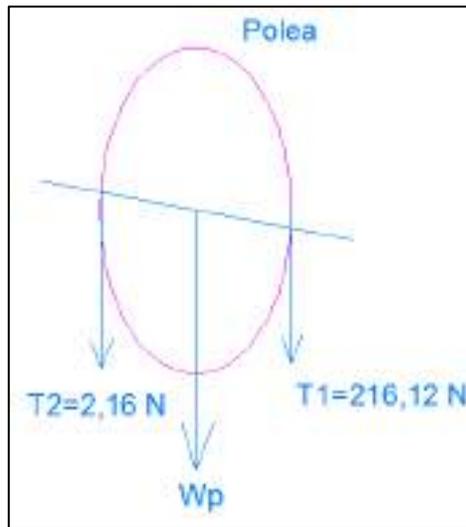


Figura 3-28: Fuerzas en la polea.

Realizado por: Silva, M.; Pilco, S.2020.

3.4.5.5 Diagrama de cuerpo libre

El diagrama de cuerpo libre nos ayuda a visualizar las fuerzas en tres dimensiones sobre el eje para determinar en qué plano están actuando y como afectan el diseño del eje.

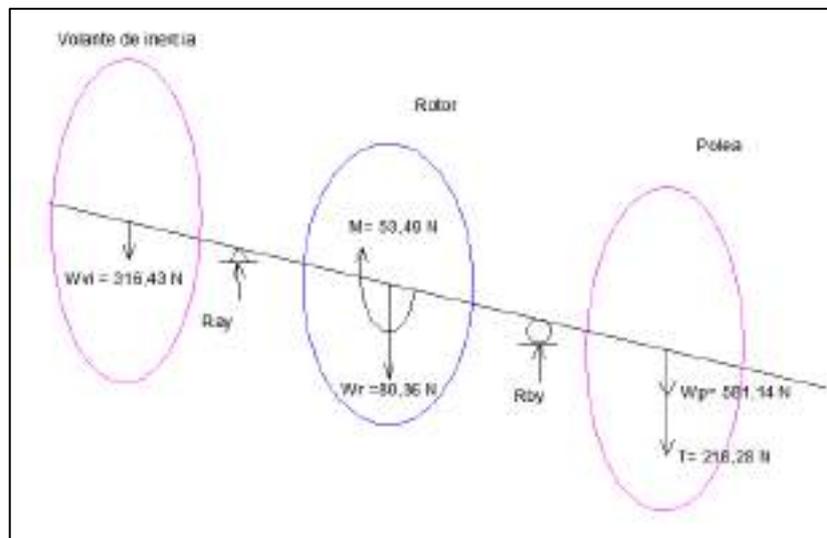


Figura 3-29: Diagrama de cuerpo libre del eje.

Realizado por: Silva, M.; Pilco, S.2020.

3.4.5.6 Cálculo de reacciones.

Plano x-y

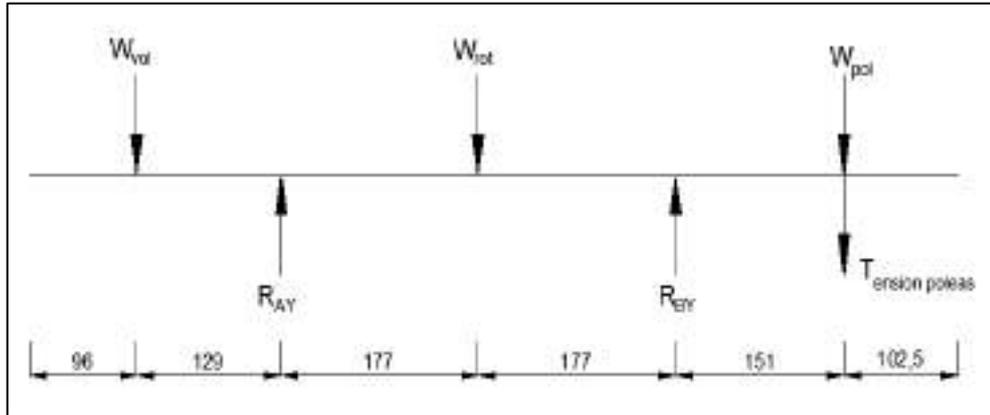


Figura 3-30: Diagrama de fuerzas en el plano xy.

Realizado por: Silva, M.; Pilco, S.2020.

$$\sum M_A = 0 \quad (23)$$

$$-316,43(129) + 80,36(177) - R_{BY}(354) + 799,4(505) = 0$$

$$377101,25 = R_{BY}(354)$$

$$R_{BY} = 1065,25 \text{ N}$$

$$\sum F_Y = 0 \quad (24)$$

$$316,43 - R_{AY} + 80,36 - 1065,25 + 918,06 = 0$$

$$R_{AY} = 249,6 \text{ N}$$

3.4.5.7 Diagrama de cortante

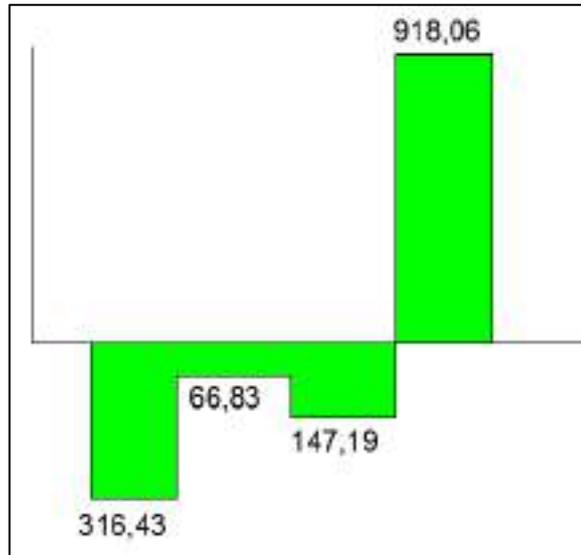


Figura 3-31: Diagrama de cortante.

Realizado por: Silva, M.; Pilco, S.2020.

3.4.5.8 Diagrama de momentos

De este análisis concluimos que el punto crítico se encuentra en el punto B es ahí donde comenzaremos con el dimensionamiento del eje.

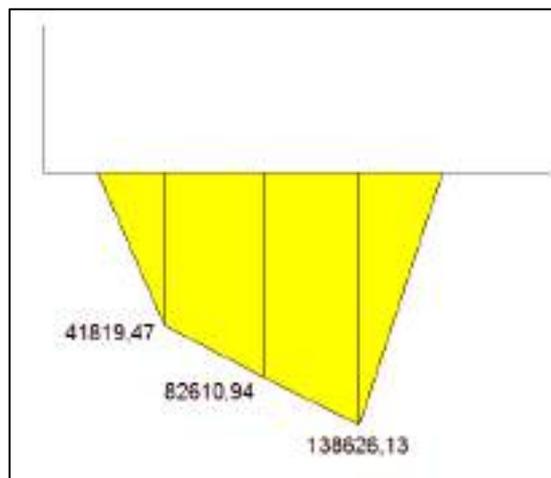


Figura 3-32: Diagrama de momentos del eje.

Realizado por: Silva, M.; Pilco, S.2020.

3.4.5.9 Diagrama de torque

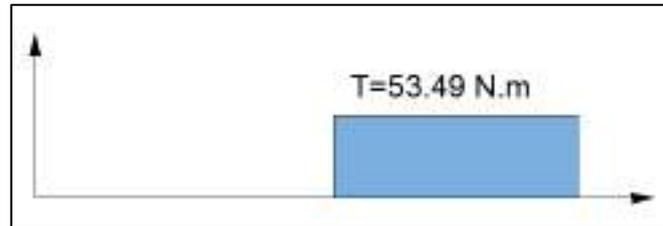


Figura 3-33: Diagrama de torque en el eje de la máquina.

Realizado por: Silva, M.; Pilco, S.2020.

3.4.5.10 Dimensionamiento del eje en el punto crítico.

Esfuerzos en el eje.

Los esfuerzos fluctuantes debido a flexión y torsión están dados por las ecuaciones (25), (26), (27) y (28) (Shigley, 2008: p.729).

$$\sigma_a = K_f \frac{32M_a}{\pi d^3} \quad (25)$$

$$\sigma_m = K_f \frac{32M_m}{\pi d^3} \quad (26)$$

$$\tau_a = K_{fs} \frac{16T_a}{\pi d^3} \quad (27)$$

$$\tau_m = K_{fs} \frac{16T_m}{\pi d^3} \quad (28)$$

Donde:

σ_a = esfuerzo amplitud a flexión

σ_m = esfuerzo medio a flexión

τ_a = esfuerzo amplitud a torsión

τ_m = esfuerzo medio a torsión

$M_m =$ momento medio

$M_a =$ momento amplitud

$T_m =$ par torsor medio

$T_a =$ par torsor amplitud

$K_f =$ factor de concentración de esfuerzo por fatiga a flexión.

$K_{fs} =$ factor de concentración de esfuerzo por fatiga a torsión

$d =$ diámetro del eje

Nuestro eje está sometido a un esfuerzo de flexión completamente reversible y a una torsión constante por lo tanto $M_m = 0$ y $T_a = 0$, (Shigley, 2008: p.729) entonces:

$$\mathbf{M}_m = \mathbf{0}$$

$$\mathbf{M}_a = 138626,13 \text{ N.mm}$$

$$\mathbf{T}_a = \mathbf{0}$$

$$\mathbf{T}_m = 53490 \text{ N.mm}$$

Para el análisis de esfuerzos se debe combinar los esfuerzos medios y de amplitud en esfuerzos de von Mises, de acuerdo a la teoría de falla por energía de distorsión para el diseño de ejes sólidos, giratorios y de geometría circular, esto se muestra en las ecuaciones (29) y (30) (Shigley, 2008: p.729)

$$\sigma'_a = (\sigma_a^2 + 3\tau_a^2)^{1/2} = \left[\left(\frac{32K_f M_a}{\pi d^3} \right)^2 + 3 \left(\frac{16K_{fs} T_a}{\pi d^3} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (29)$$

$$\sigma'_m = (\sigma_m^2 + 3\tau_m^2)^{1/2} = \left[\left(\frac{32K_f M_m}{\pi d^3} \right)^2 + 3 \left(\frac{16K_{fs} T_m}{\pi d^3} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (30)$$

Donde:

$\sigma'_a = \text{esfuerzo amplitud equivalente.}$

$\sigma'_m = \text{esfuerzo medio equivalente.}$

Estos esfuerzos los evaluamos mediante el criterio de falla por fatiga de Soderberg mediante la ecuación (31) (Shigley, 2008: p.729).

$$\frac{1}{n} = \frac{\sigma'_a}{S_e} + \frac{\sigma'_m}{S_y} \quad (31)$$

Si reemplazamos y resolvemos las ecuaciones (29) y (30) en la ecuación (31) obtenemos la ecuación (32) (Shigley, 2008: p.729):

Reemplazando:

$$\frac{1}{n} = \frac{1}{S_e} \left[\left(\frac{32K_f M_a}{\pi d^3} \right)^2 + 3 \left(\frac{16K_{fs} T_a}{\pi d^3} \right)^2 \right]^{1/2} + \frac{1}{S_y} \left[\left(\frac{32K_f M_m}{\pi d^3} \right)^2 + 3 \left(\frac{16K_{fs} T_m}{\pi d^3} \right)^2 \right]^{1/2}$$

Obtenemos:

$$\frac{1}{n} = \frac{16}{\pi d^3} \left[\frac{1}{S_e} 4(K_f M_a)^2 + 3(K_{fs} T_a)^2 \right]^{1/2} + \frac{1}{S_y} \left[4(K_f M_m)^2 + 3 \left(\frac{K_{fs} T_m}{\pi d^3} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (32)$$

Resolviendo la ecuación (32) (Shigley, 2008: p.729) para el diámetro obtenemos la ecuación (33) que nos permite diseñar el eje en su punto crítico.

$$d = \left\{ \frac{16n}{\pi} \left\{ 4 \left(\frac{k_{ff} M_a}{S_e} \right)^2 + 3 \left(\frac{k_{fs} T_a}{S_e} \right)^2 + 4 \left(\frac{k_{ff} M_m}{S_y} \right)^2 + 3 \left(\frac{k_{fs} T_m}{S_y} \right)^2 \right\} \right\}^{1/3} \quad (33)$$

3.4.5.11 Determinación del límite de fatiga (S_e)

Cuando vamos a realizar el diseño inicial de un eje, es necesario realizar una estimación del límite de fatiga, este valor se estima como el 50% de la resistencia a la tensión para el acero (Shigley, 2008: p.729).

$$S'_e = 0,5S_{ut} \quad (34)$$

Donde:

S'_e = límite de fatiga de una probeta

S_{ut} = resistencia a la tensión

Al diseñar un elemento de máquina en específico es necesario tomar en cuenta factores que modifican el valor del límite de la resistencia a la fatiga, esto se debe a que la estimación realizada en la ecuación (34) (Shigley, 2008: p.729), se realizó en un laboratorio con un ambiente controlado, los principales factores que se toman en cuenta al momento de diseñar son:

k_a = factor de modificación de la condición superficial

k_b = factor de modificación del tamaño.

k_c = factor de modificación de la carga

k_d = factor de modificación de la temperatura.

k_e = factor de confiabilidad.

k_f = factor de modificación de efectos varios.

De modo que nuestro límite a la fatiga nos queda expresado como:

$$S_e = k_a * k_b * k_c * k_d * k_e * k_f * (0,5 S_{ut})Mpa \quad (35)$$

Para un diseño preliminar donde no conocemos aún cada uno de estos factores, podemos agruparlos en un factor global k , su valor en base a la experiencia se encontrara comprendido en un rango de 0,5 a 0,7, pudiendo quedar expresado mediante la ecuación (36) (Shigley, 2008: p.729).

$$S_e = k (0,5 S_{ut})Mpa \quad (36)$$

Resolviendo obtenemos nuestro límite a la fatiga para el diseño de nuestro eje:

$$S_e = 0,6 (0,5 (440))Mpa$$

$$S_e = 132 MPa$$

Reemplazando nuestros valores obtenemos el diámetro mínimo en el punto crítico del eje.

$$M_a = 138626,13 N.mm$$

$$T_m = 53490 N.mm$$

$$k_{ff} = 1,6$$

$$k_{fs} = 1,4$$

$$n = 2$$

$$S_e = 132 MPa$$

$$S_y = 295 MPa$$

$$d_B = \left\{ \frac{16 (2)}{\pi} \left\{ 4 \left(\frac{(1,6) (138626,13)}{132} \right)^2 + 3 \left(\frac{(1,4) (53490)}{295} \right)^2 \right\}^{\frac{1}{2}} \right\}^{\frac{1}{3}}$$

$$d_B = 32,56 mm$$

3.4.5.12 Dimensionamiento completo del eje.

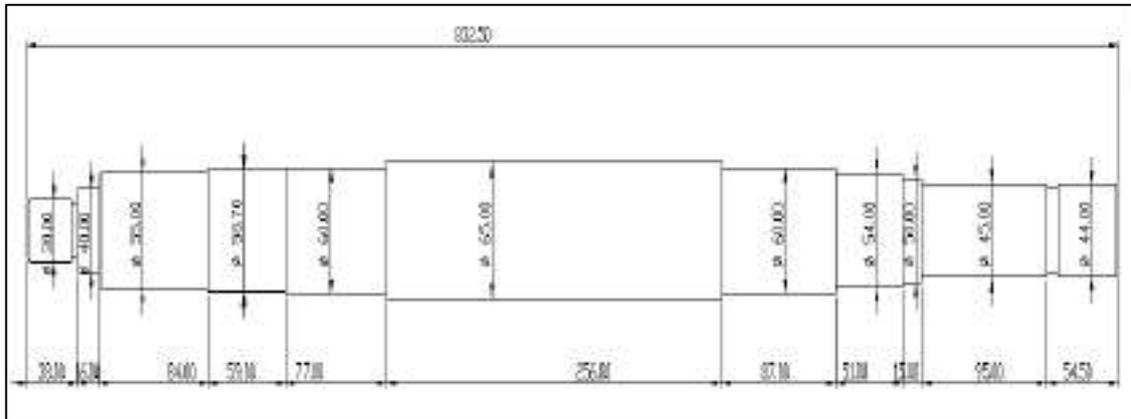


Figura 3-34: Dimensiones del eje.

Realizado por: Silva, M.; Pilco, S.2020.

3.4.5.13 Análisis en Ansys.

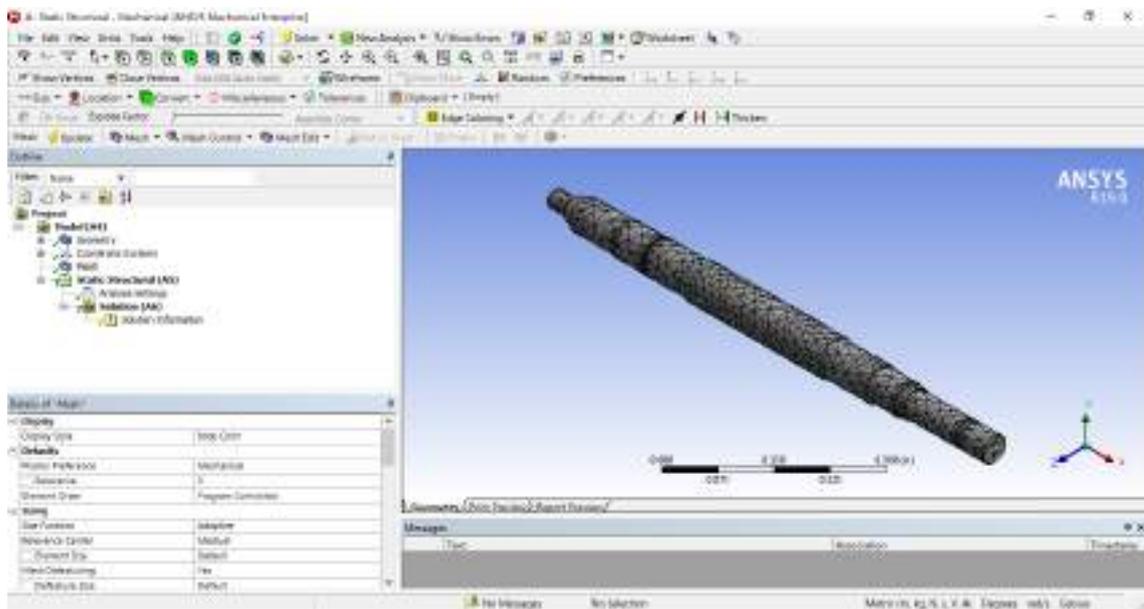


Figura 3-35: Importación del eje en el programa Ansys.

Realizado por: Silva, M.; Pilco, S.2020.

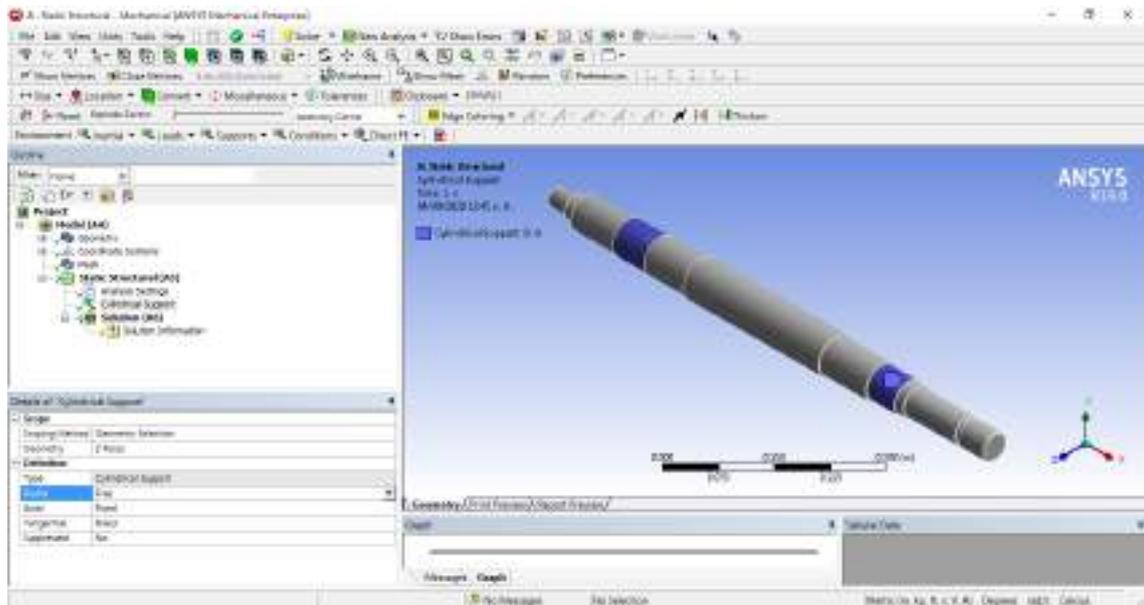


Figura 3-36: Representación de los soportes en el eje.

Realizado por: Silva, M.; Pilco, S.2020.

Los soportes colocados en Ansys fueron de tipo cilíndricos, teniendo restricción axial y tangencial, y movimiento libre en sentido radial, simulando el funcionamiento de las chumaceras.

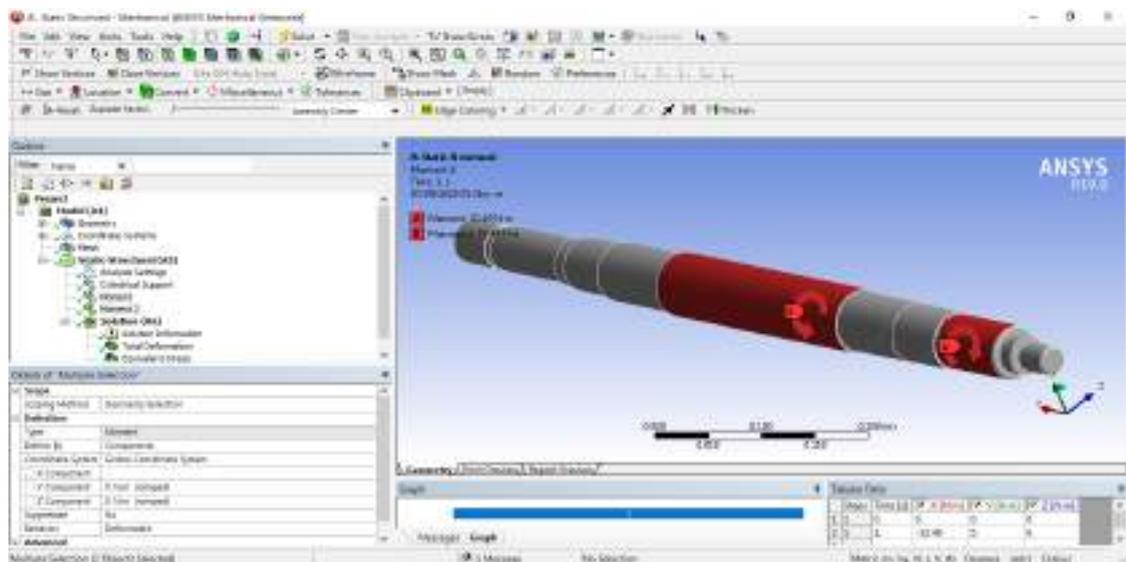


Figura 3-37: Representación de los momentos que actúan sobre el eje de la máquina.

Realizado por: Silva, M.; Pilco, S.2020.

El momento A de 53,49 N.m corresponde al torque que entrega el motor, esta potencia se consume en la sección de las cuchillas.

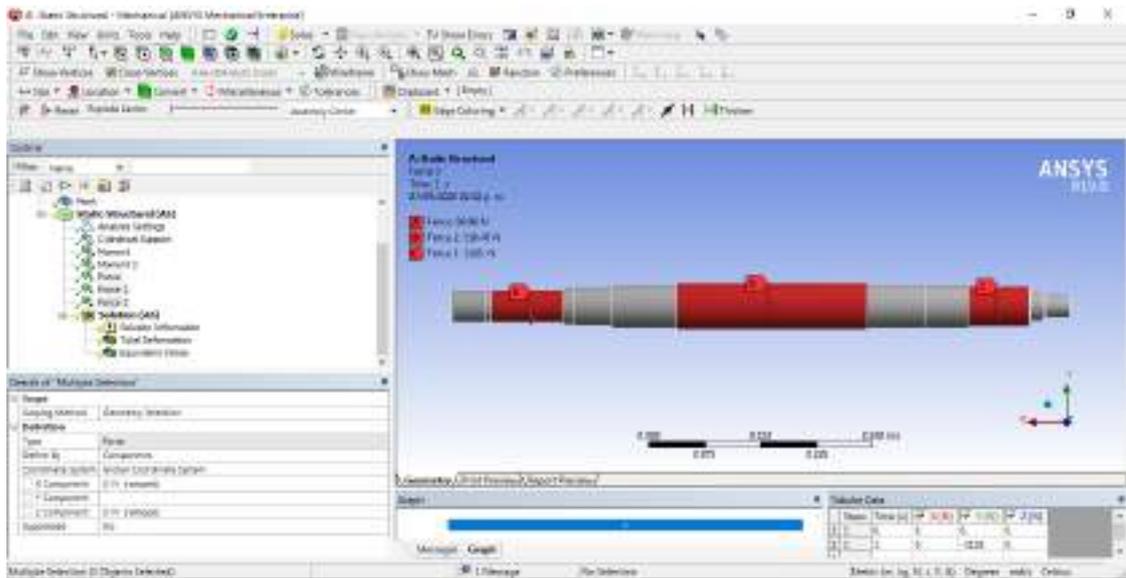


Figura 3-38: Representación de las fuerzas que actúan en el eje.

Realizado por: Silva, M.; Pilco, S.2020.

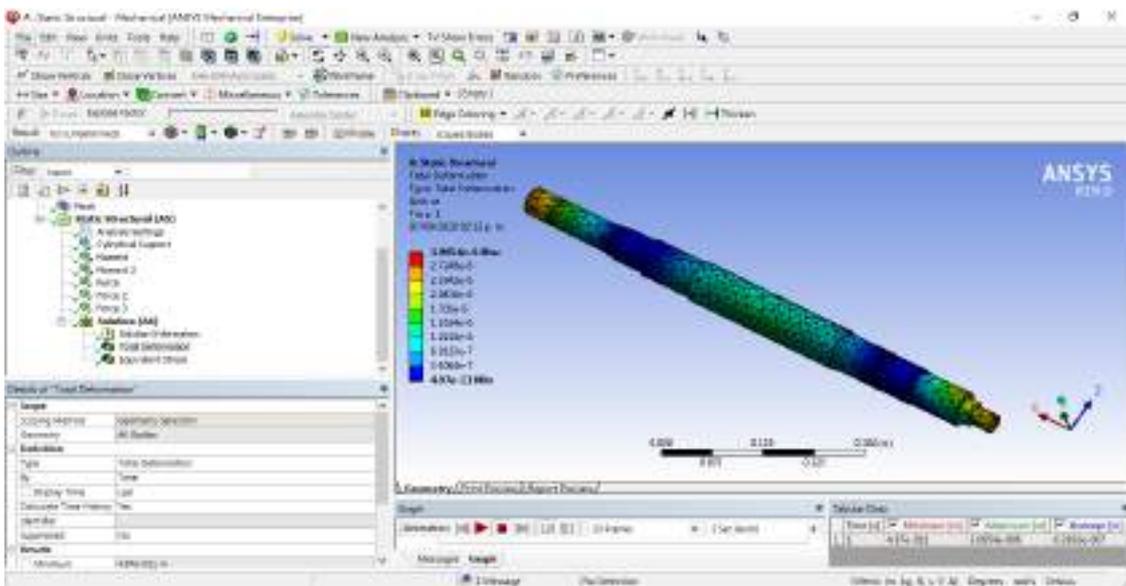


Figura 3-39: Análisis de deformaciones del eje en el programa Ansys.

Realizado por: Silva, M.; Pilco, S.2020.

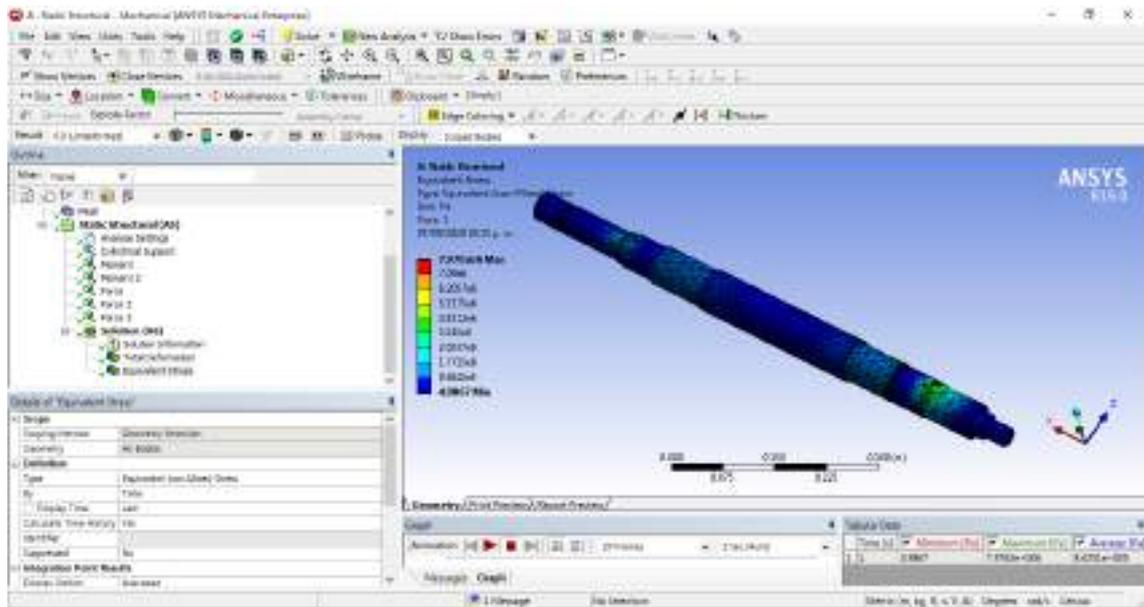


Figura 3-40: Análisis de esfuerzos de Von Mises en Ansys.

Realizado por: Silva, M.; Pilco, S.2020.

La deformación en el eje es de 0,003065 mm, y un esfuerzo máximo de 7,97 MPa, el esfuerzo admisible del acero 1020 es de 295 MPa.

3.4.6 Análisis de resonancia

Existen velocidades a las cuales un eje se vuelve inestable y sus deflexiones durante la rotación aumentan sin un límite establecido, para estimar la velocidad crítica de un eje con varias masas unidas a él, usaremos el método de Dunckerley y el método de Rayleigh Ritz, este análisis lo realizamos debido a la existencia de tres masas importantes en el eje: el rotor, la polea y el volante de inercia (Shigley, 2008: p. 420).

3.4.6.1 Método de Dunckerley

Este método determina la primera velocidad crítica del eje subestimándola, mediante las ecuaciones (37) y (38) (Shigley, 2008: p. 420).

$$n_i = \sqrt{\frac{g}{\delta_i}} \quad (37)$$

$$\frac{1}{w_{crit}^2} = \frac{1}{n_1^2} + \frac{1}{n_2^2} + \frac{1}{n_3^2} + \dots + \frac{1}{n_i^2} \quad (38)$$

Donde:

n_i = frecuencia crítica en el punto "i" del eje (rpm)

δ_i = deformación en el punto "i" (m)

w_{crit} = velocidad crítica del eje (rpm)

g = gravedad $\left(9,8 \frac{m}{s^2}\right)$

3.4.6.2 Método de Rayleigh-Ritz

El método de Rayleigh-Ritz determina la primera velocidad crítica del eje sobrestimándola, mediante la ecuación (39) (Shigley, 2008: p. 425).

$$w_{crit} = \sqrt{\frac{g[(m_1)(\delta_1) + (m_2)(\delta_2) + \dots + (m_i)(\delta_i)]}{(m_1)(\delta_1)^2 + (m_2)(\delta_2)^2 + \dots + (m_i)(\delta_i)^2}} \quad (39)$$

Donde:

w_{crit} = velocidad crítica del elemento.

g = gravedad $\left(9,8 \frac{m}{s^2}\right)$

m_i = masa "i" unida al eje.

δ_i = deformación en el punto "i" del eje.

Los valores de las masas unidas al eje fueron determinadas mediante el programa Solidworks como se detalló en la sección 4.5.1.

$$W_{polea} = 581.14 \text{ N}$$

$$W_{volante\ inercia} = 80.36 \text{ N}$$

$$W_{rotor} = 316.43 \text{ N}$$

Una vez conocidas las masas de los elementos unidos al eje, determinaremos las deflexiones utilizando los coeficientes de influencia, esto es la deflexión en un punto i del eje debido a una carga en la ubicación j del eje (Shigley, 2008: p. 420).

Como tenemos tres cargas en nuestro eje; rotor, polea y volante de inercia, denominaremos a cada uno con una letra para identificarlas, correspondiente a la ubicación de las mismas en el eje.

masa A = masa de la polea

masa B = masa del rotor

masa C = masa del volante de inercia

Coeficientes de influencia:

δ_{AA} = deflexión en el punto A debido a la masa A

δ_{BA} = deflexión en el punto B debido a la masa A

δ_{CA} = deflexión en el punto C debido a la masa A

δ_{AB} = deflexión en el punto A debido a la masa B

δ_{BB} = deflexión en el punto B debido a la masa B

δ_{CB} = deflexión en el punto C debido a la masa B

δ_{AC} = deflexión en el punto A debido a la masa C

δ_{BC} = deflexión en el punto B debido a la masa C

δ_{CC} = deflexión en el punto C debido a la masa C

Para calcular estos coeficientes haremos uso del programa Sap2000.

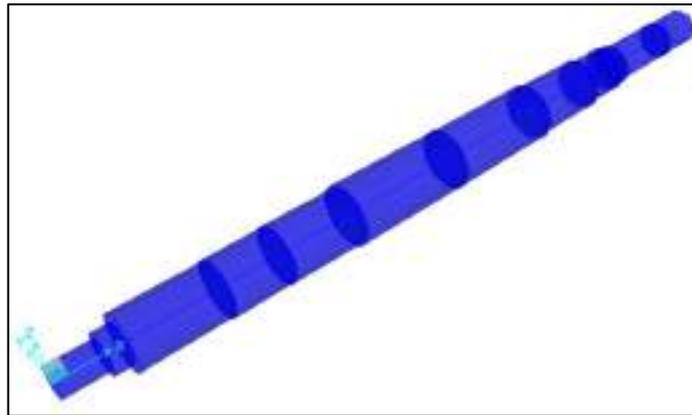


Figura 3-41: Geometría del eje en el programa Sap2000

Realizado por: Silva, M.; Pilco, S.2020.

Deflexión debido a la masa A en los puntos A, B y C:

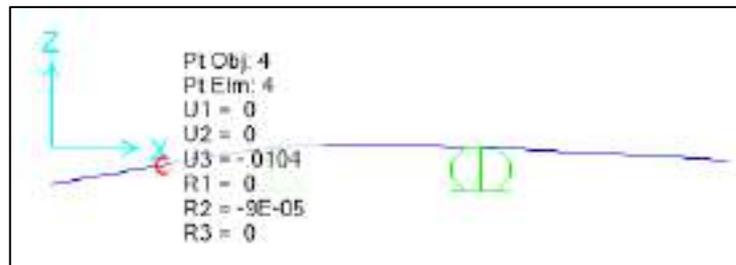


Figura 3-42: Deformación en el punto “A”

Realizado por: Silva, M.; Pilco, S.2020.

$$\delta_{AA} = -0,0104 \text{ mm}$$

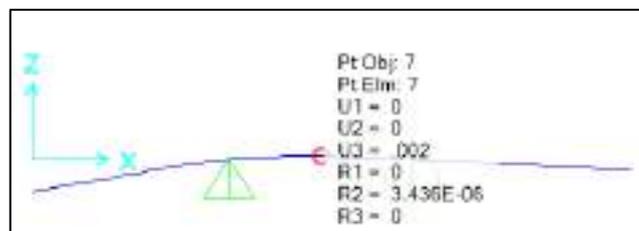


Figura 3-43: Deformación en el punto “B”

Realizado por: Silva, M.; Pilco, S.2020.

$$\delta_{BA} = 0,002 \text{ mm}$$

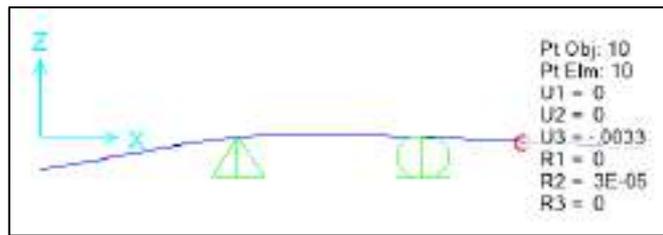


Figura 3-44: Deformación en el punto “C”

Realizado por: Silva, M.; Pilco, S.2020.

$$\delta_{CA} = -0,0033 \text{ mm}$$

Deflexión debido a la masa B en los puntos A, B y C:

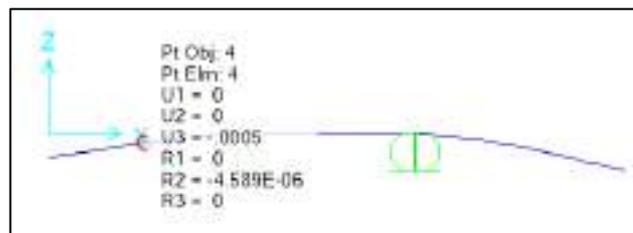


Figura 3-45: Deformación en el punto “A”

Realizado por: Silva, M.; Pilco, S.2020.

$$\delta_{AB} = -0,0005 \text{ mm}$$

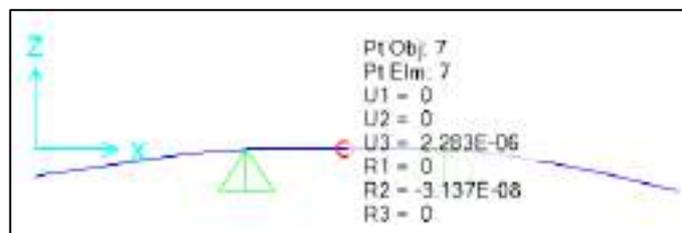


Figura 3-46: Deformación en el punto “B”

Realizado por: Silva, M.; Pilco, S.2020.

$$\delta_{BB} = 2,283 * 10^{-6} \text{ mm}$$

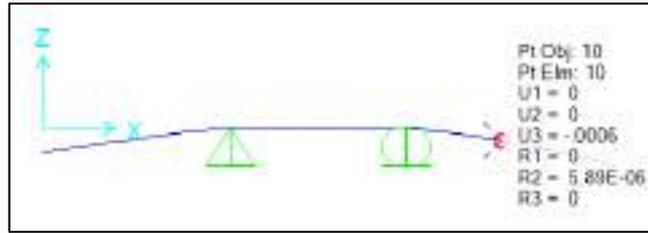


Figura 3-47: Deformación en el punto “C”

Realizado por: Silva, M.; Pilco, S.2020.

$$\delta_{CB} = -0,0006 \text{ mm}$$

Deflexión debido a la masa C en los puntos A, B y C:

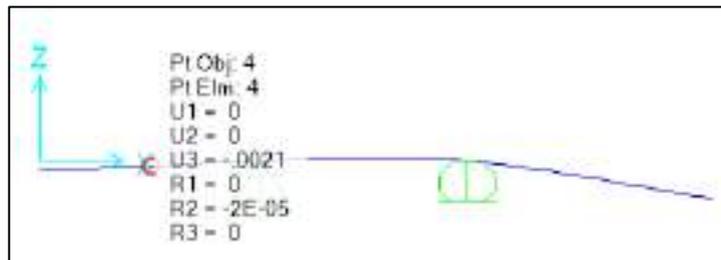


Figura 3-48: Deformación en el punto “A”

Realizado por: Silva, M.; Pilco, S.2020.

$$\delta_{AC} = -0,0021 \text{ mm}$$

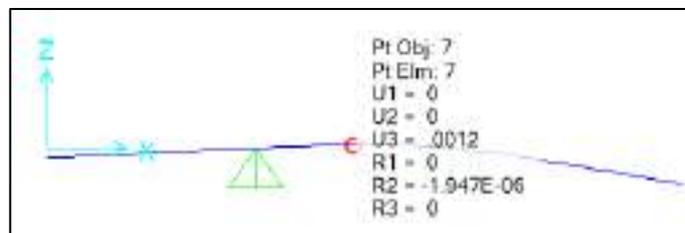


Figura 3-49: Deformación en el punto “B”

Realizado por: Silva, M.; Pilco, S.2020.

$$\delta_{BC} = 0,0012 \text{ mm}$$

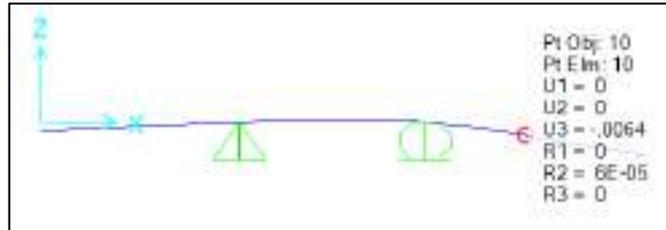


Figura 3-50: Deformación en el punto “C”

Realizado por: Silva, M.; Pilco, S.2020.

$$\delta_{CC} = -0,0064 \text{ mm}$$

Deflexiones en los puntos A, B y C.

A partir de los coeficientes de influencia podemos calcular las deflexiones mediante las ecuaciones (40), (41) y (42) (Shigley, 2008: p. 420).

$$\delta_A = \delta_{AA} + \delta_{BA} + \delta_{CA} \tag{40}$$

$$\delta_A = -0,0104 - 0,0005 - 0,0021$$

$$\delta_A = 0,013 \text{ mm} = 0,051 \text{ in}$$

$$\delta_B = \delta_{AB} + \delta_{BB} + \delta_{CB} \tag{41}$$

$$\delta_B = 0,002 + 2,283 * 10^{-6} + 0,0012$$

$$\delta_B = 0,003 = 0,012 \text{ in}$$

$$\delta_C = \delta_{AC} + \delta_{BC} + \delta_{CC} \tag{42}$$

$$\delta_C = -0,0033 - 0,0006 - 0,0064$$

$$\delta_C = 0,0103 = 0,04 \text{ in}$$

Ya con estos valores podemos encontrar las velocidades críticas mediante el método de Dunckerley y Rayleigh-Ritz

Método de Dunckerley:

Reemplazando nuestros valores en la ecuación (37) y (38):

$$n = \sqrt{\frac{g}{\delta}}$$

$$n_A = \frac{30}{\pi} \sqrt{\frac{32,2(12)}{0.051}}$$

$$\mathbf{n_A = 831,19 \text{ rad/s}}$$

$$n_B = \frac{30}{\pi} \sqrt{\frac{32,2(12)}{0.012}}$$

$$\mathbf{n_B = 1713,5 \text{ rad/s}}$$

$$n_C = \frac{30}{\pi} \sqrt{\frac{32,2(12)}{0.04}}$$

$$\mathbf{n_C = 938,56 \text{ rad/s}}$$

$$\frac{1}{w_{crit}^2} = \frac{1}{n_A^2} + \frac{1}{n_B^2} + \frac{1}{n_C^2}$$

$$\frac{1}{w_{crit}^2} = \frac{1}{831,19^2} + \frac{1}{1713,5^2} + \frac{1}{938,56^2}$$

$$\mathbf{w_{crit} = 584,88 \text{ rad/s}}$$

$$\mathbf{w_{crit} = 5585,21 \text{ rpm}}$$

Método de Rayleigh-Ritz

Reemplazamos nuestros valores en la ecuación (39):

$$w_{crit} = \frac{30}{\pi} \sqrt{\frac{32,2(12)[(m_1)(\delta_1) + (m_2)(\delta_2) + \dots]}{(m_1)(\delta_1)^2 + (m_2)(\delta_2)^2 + \dots}}$$

$$w_{crit} = \frac{30}{\pi} \sqrt{\frac{32,2(12)[(581,14)(0,051) + (80,36)(0,012) + (316,43)(0,04)]}{(581,14)(0,051)^2 + (80,36)(0,012)^2 + (316,43)(0,04)^2}}$$

$$w_{crit} = 100,24 \text{ rad/s}$$

$$w_{crit} = 957,31 \text{ rpm}$$

Nuestro eje va a trabajar a 400 rpm así que no existe riesgo de resonancia

3.4.7 Estructura



Figura 3-51: Estructura.

Realizado por: Silva, M.; Pilco, S. 2020.

La estructura debe estar diseñada para soportar el peso de cada elemento que interviene en el funcionamiento de la máquina trituradora, para su construcción se usó tubo estructural de 50x50 mm, características que se pueden observar en el Anexo F.

Las medidas generales para el análisis en el programa Sap 2000 se muestran en la siguiente figura:

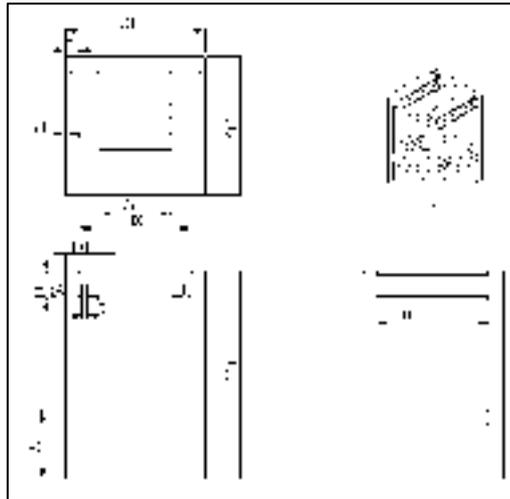


Figura 3-52: Dimensiones de la estructura.

Realizado por: Silva, M.; Pilco, S.2020.

3.4.7.1 *Análisis de las cargas.*

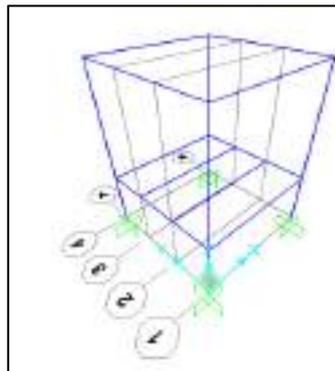


Figura 3-53: Estructura

Realizado por: Silva, M.; Pilco, S.2020.

Las cargas que intervienen en el diseño de la estructura son carga viva y carga muerta, siendo estas, el material a triturar y los elementos propios de la máquina respectivamente.

3.4.7.2 *Carga viva.*

Como hemos mencionado la carga viva será el material que se introducirá en la máquina para ser triturado, asumiremos una lámina o pedazo de tanque de dimensiones 250 x 250 mm, de espesor 6 mm, la densidad del material es 935 Kg/m^3

Así definiremos la carga muerta con un valor de:

$$m = \rho * V \quad (43)$$

$$m = 935 \frac{Kg}{m^3} * 0.000375 m^3$$

$$m = 0,351 Kg$$

3.4.7.3 Carga muerta.

Dentro de este parámetro se tomara en cuenta todos los elementos que constituyen la máquina como el motor, eje, cuchillas, contra cuchillas, caja, etc.

El peso de la máquina fue tomado mediante el programa Solidworks como se indica en el Anexo G, obteniendo el valor de:

$$m = 181,49093 Kg$$

El peso del motor es de:

$$m_{motor} = 41 Kg$$

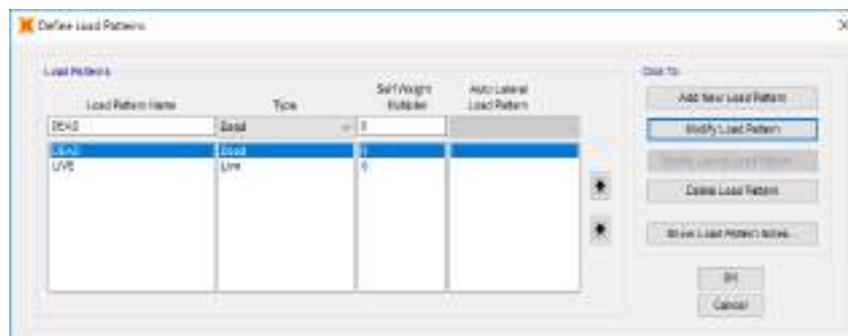


Figura 3-54: Asignación de tipos de cargas en el software Sap 2000

Realizado por: Silva, M.; Pilco, S.2020.

3.4.7.4 Análisis mediante software Sap2000

Determinación de carga viva para software Sap2000

Este valor al igual que la carga muerta se dividirá sobre los 4 perfiles de la parte superior de la estructura.

$$Carga_{viva} = 0,351 Kg$$

$$Carga_{viva} = \frac{0,351 \text{ Kgf}}{4}$$

$$Carga_{viva} = 0,0878 \text{ Kgf}$$

$$Carga_{viva} = \frac{0,0878 \text{ Kgf}}{500}$$

$$Carga_{viva} = 0,00018 \text{ Kgf/mm}$$

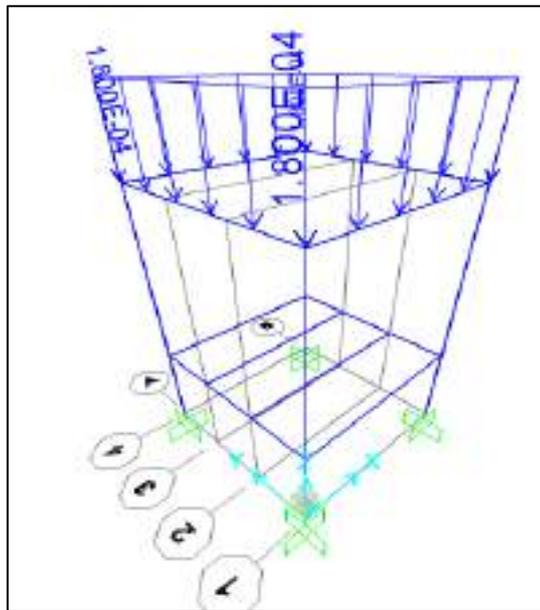


Figura 3-55: Asignación de la carga viva

Realizado por: Silva, M.; Pilco, S.2020.

Determinación de carga muerta para software Sap2000

Tendremos dos cargas muertas una de los elementos de la máquina que su peso se sitúa en los cuatro perfiles de la parte superior de la estructura y la otra carga muerta será el peso del motor ubicado en la parte inferior de la estructura, sus valores serán:

$$Carga_{muerta1} = 181,49093 \text{ Kgf}$$

$$Carga_{muerta1} = \frac{181,49093 \text{ Kgf}}{4}$$

$$Carga_{muerta1} = 45,37 \text{ Kgf}$$

$$Carga_{muerta1} = \frac{45,37}{500} \text{ Kgf/mm}$$

$$Carga_{muerta1} = 0,091 \text{ Kgf/mm}$$

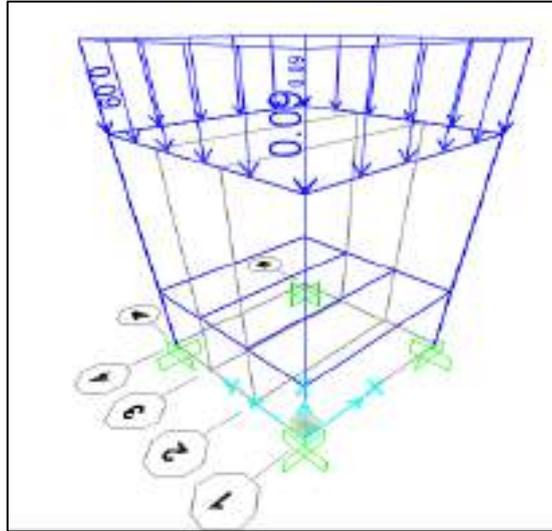


Figura 3-56: Asignación de la carga muerta 1

Realizado por: Silva, M.; Pilco, S.2020.

$$Carga_{muerta2} = \frac{41 \text{ Kg}f}{2}$$

$$Carga_{muerta2} = 20,5 \text{ Kg}f$$

$$Carga_{muerta2} = \frac{20,5 \text{ Kg}f}{500 \text{ mm}}$$

$$Carga_{muerta2} = 0,041 \text{ Kg}f/\text{mm}$$

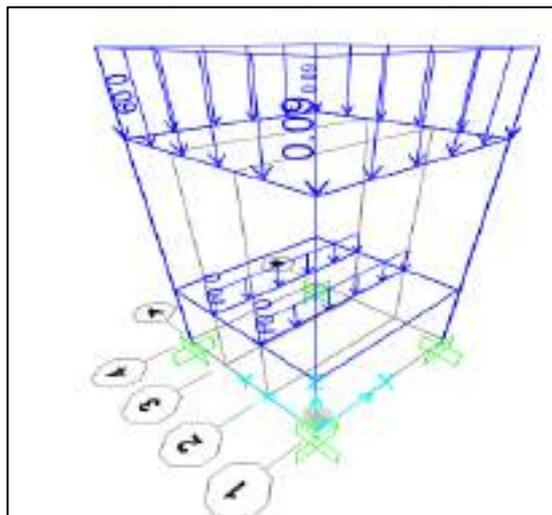


Figura 3-57: Asignación de la carga muerta 2.

Realizado por: Silva, M.; Pilco, S.2020.

3.4.7.5 Combinación de cargas para el análisis de la estructura.

Una vez asignados los valores de las cargas viva y muerta 1 y 2 procedemos a establecer las combinaciones de las cargas para su análisis, según la norma NEC-SE-CG dando un coeficiente de 1.2 a la carga muerta y de 1.6 a la carga viva estos valores los observamos en el Anexo I.

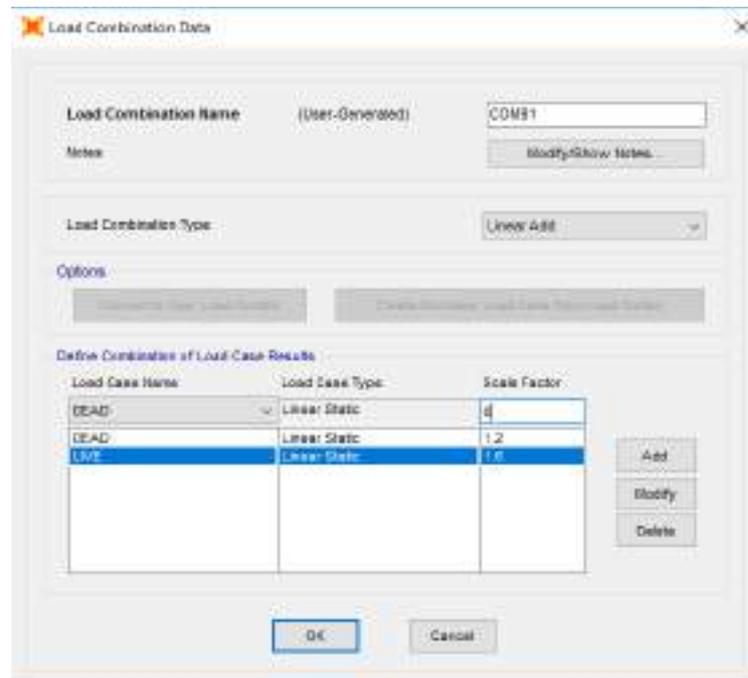


Figura 3-58: Combinación de cargas para la estructura.

Realizado por: Silva, M.; Pilco, S.2020.

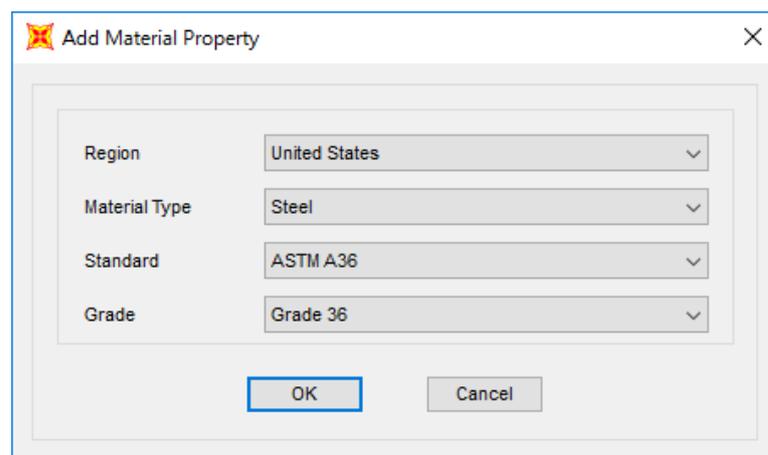


Figura 3-59: Adición del material A36 para el análisis.

Realizado por: Silva, M.; Pilco, S.2020.

3.4.7.6 Resultados obtenidos mediante el software Sap 2000.

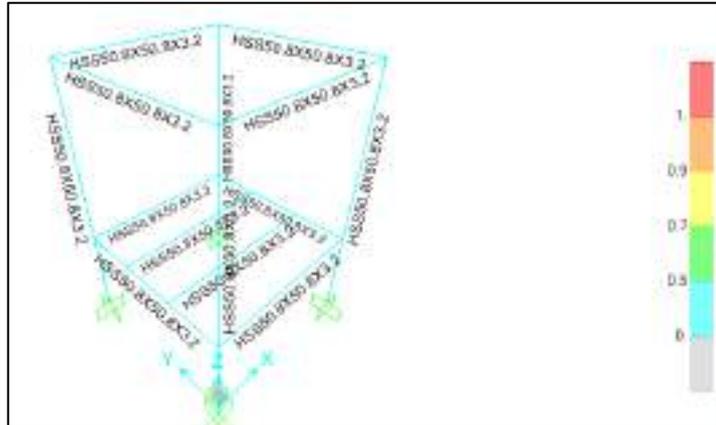


Figura 3-60: Resultados mediante el software Sap 2000.

Realizado por: Silva, M.; Pilco, S.2020.

Los resultados que nos proporciona el software son la relación de demanda/capacidad, como podemos observar todos los elementos se encuentran de coloración celeste, indicando que no superan la unidad y que su relación demanda/capacidad se encuentra en un valor aproximado de 0.5, este análisis nos permite determinar con certeza que el diseño es correcto y que resistirá las cargas.

3.4.8 *Diseño del volante de inercia.*



Figura 3-61: Volante de inercia.

Realizado por: Silva, M.; Pilco, S.2020.

En este elemento se almacena energía cinética al darle una velocidad, permitiendo controlar las variaciones de velocidad de la máquina al momento que se produce el corte del material con las cuchillas (Tabares, 2017, pp. 51-60).

Esta energía se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$E_{cin} = \frac{1}{2} I \omega^2 \quad (44)$$

$$E_{cin} = \frac{1}{2} (0,151211877320 \text{ Kg. m}^2) (41,89 \text{ rad/s})^2$$

$$E_{cin} = 132,671 \text{ J/s}$$

Los Valores de Inercia del volante de Inercia fueron obtenidos mediante el programa Solidworks que se adjunta en el Anexo C.

3.4.9 Dimensionamiento de la criba



Figura 3-62: Criba de la máquina trituradora.

Realizado por: Silva, M.; Pilco, S.2020.

La criba se fabricó a partir de una plancha de 4 mm de espesor, su dimensionamiento se basa en recubrir la parte de abajo del rotor para que pueda recoger el material que se encuentra triturado pero que aún no posee las dimensiones deseadas, haciendo que recircule hacia el rotor y nuevamente se triture hasta que pueda liberarse a través de los agujeros de la criba (Hoyos y Hoyos, 2017, pp. 28-32).

3.4.9.1 Medidas generales de la criba.

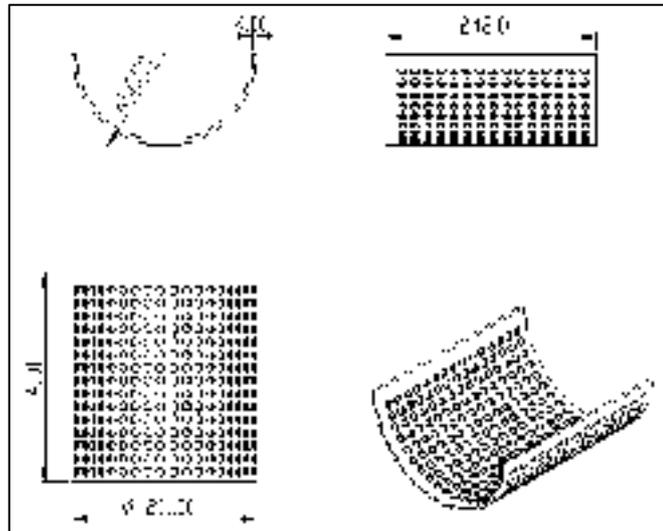


Figura 3-63: Dimensiones generales de la criba.

Realizado por: Silva, M.; Pilco, S.2020.

3.4.10 Dimensionamiento del bastidor

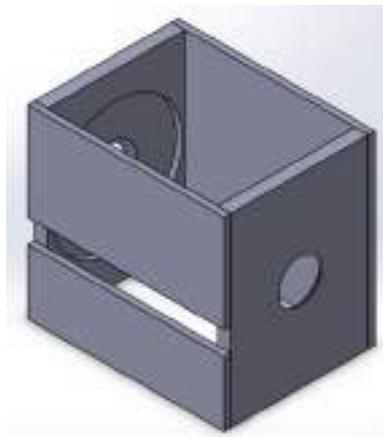


Figura 3-64: Bastidor.

Realizado por: Silva, M.; Pilco, S.2020.

Las paredes del bastidor se fabricaron con plancha A36 de 10 mm de espesor, su función es contener y mantener el material triturado recirculando hasta que alcance el tamaño deseado y puedan traspasar la criba que se encuentra en la parte inferior del bastidor, su geometría está determinada por las dimensiones de los elementos principales ya diseñados que son el eje y el rotor, la abertura en su parte lateral está destinada a la contra cuchilla (Sempere, 2017, pp. 62-73).

3.4.10.1 Medidas generales del bastidor.

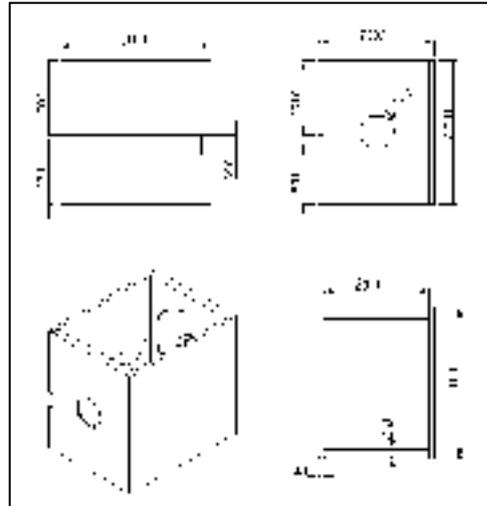


Figura 3-65: Dimensiones del bastidor.

Realizado por: Silva, M.; Pilco, S.2020.

3.4.11 Dimensionamiento de la tolva.

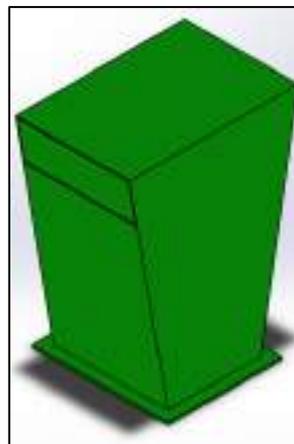


Figura 3-66: Tolva.

Realizado por: Silva, M.; Pilco, S.2020.

Se fabricó de una plancha de Acero A36 de espesor 3 mm, su principal propósito es contener las partículas que pudieran salir disparadas al momento de la trituración, es por ello que tiene una abertura en el lado lateral por donde se introducirá el material sus medidas fueron determinadas para poder triturar pedazos de tanque con medidas máximas de 256 de ancho que es la dimensión de la abertura de ingreso del material (Caviedes, 2020. pp. 57-60).

3.4.11.1 Medidas generales de la tolva.

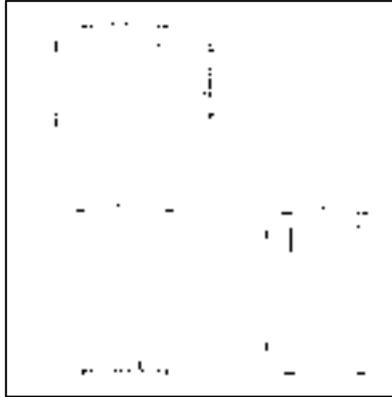


Figura 3-67: Medidas de la tolva.

Realizado por: Silva, M.; Pilco, S.2020.

Las medidas fueron determinadas a criterio de los autores, considerando la medida del rotor y del bastidor donde se produce la trituration del material, la propuesta es poder introducir láminas del material de medidas máximas de 250 de ancho que es la abertura superior lateral de la tolva.

3.4.11.2 Volumen de la tolva

Determinaremos el volumen de la tolva para estimar la cantidad de material que puede contener si introducimos pequeñas piezas de material a la vez. El volumen de un objeto se determina mediante la operación matemática del área de un lado por su profundidad, para este caso determinaremos el área de la vista frontal de la tolva y la descompondremos en tres áreas como se muestra en la figura. (Clevel, 2020, pp. 49)

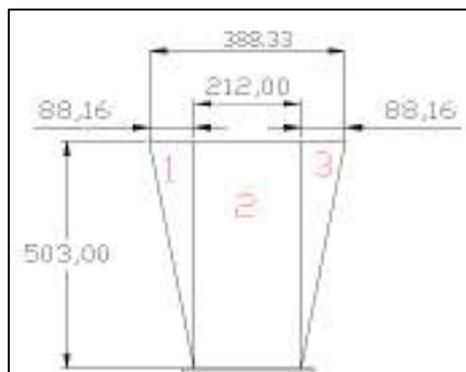


Figura 3-68: División en áreas.

Realizado por: Silva, M.; Pilco, S.2020.

$$Area\ total = A_1 + A_2 + A_3$$

$$A_1 = A_3$$

$$A_1 = \frac{88,16 * 503}{2} = 22172,24\ mm^2$$

$$A_2 = 212 * 503 = 106636\ mm^2$$

$$Area\ total = 22172,24 + 106636 + 22172,24$$

$$Area\ total = 150980,48\ mm^2$$

L=262 mm

$$Volumen = Area\ total * L$$

$$Volumen = 150980,48 * 262$$

$$Volumen = 39556885,76\ mm^3$$

$$Volumen = 0,039\ m^3$$

3.4.12 Selección de las chumaceras



Figura 3-69: Chumacera.

Realizado por: Silva, M.; Pilco, S.2020.

Para la selección de las chumaceras es necesario determinar el rodamiento interno del mismo, para ello contamos con los siguientes datos:

Carga radial: determinada en la sección 4.5 con un valor de 1234,53 N

Diámetro del eje: 60 mm

Velocidad de giro: 400 rpm.

La vida nominal básica (L_{10h}), recomendada para los cojinetes será de 14000 horas como se muestra en la tabla 4-3 que nos indica el tipo de máquina y su aplicación

Tabla 3-34: Recomendaciones de vida de cojinetes para varias clases de maquinaria.

Tipo de aplicación	Vida, Kh
Instrumentos y aparatos de uso poco frecuente	Hasta 0,5
Motores de aeronaves	0,5-2
Máquinas de operación corta o intermitente, donde la interrupción del servicio resulta de poca importancia.	4-8
Máquinas de servicio intermitente donde una operación confiable es de gran importancia.	8-14
Máquinas para servicio de 8h, que no siempre se usan completamente	14-20
Máquinas para servicio de 8h, que se utilizan plenamente	20-30
Máquinas para servicio continuo las 24 h	50-60
Máquinas para un servicio continuo de 24h, donde la confiabilidad es de suma importancia	100-200

Fuente: Shigley, 2008: p.563.

Realizado por: Silva, M.; Pilco, S.2020.

Para seleccionar el rodamiento necesitaremos conocer el factor de velocidad (f_n), el factor de vida (f_h) la capacidad básica de carga dinámica requerida (C_r).

3.4.12.1 Factor de velocidad

Este se determina mediante la ecuación (45) (Cepeda y Arroba, 2016, pp. 14-34).

$$f_n = \left(\frac{33,3}{n} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (45)$$

Donde:

f_n = factor de velocidad.

n = velocidad de giro (rpm)

$$f_n = \left(\frac{33,3}{400} \right)^{\frac{1}{3}}$$

$$f_n = 0,43$$

3.4.12.2 Factor de Vida

Este se determina mediante la ecuación (46) (Cepeda y Arroba, 2016, pp. 14-34).

$$f_h = \left(\frac{L_{10h}}{500} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (45)$$

Donde:

f_h = factor de vida

L_{10h} = vida nominal básica

$$f_h = \left(\frac{14000}{500} \right)^{\frac{1}{3}}$$

$$f_h = 3,04$$

3.4.12.3 Capacidad básica de carga dinámica

Este se determina mediante la ecuación (46) (Cepeda y Arroba, 2016, pp. 14-34).

$$C_r = \frac{f_h}{f_n} P \quad (45)$$

Donde:

C_r = Capacidad básica de carga dinámica

f_n = factor de velocidad.

f_h = factor de vida

P = fuerza radial en el cojinete. (N)

$$C_r = \frac{3,04}{0,43} * 1234,53 [N]$$

$$C_r = 8727 [N]$$

El rodamiento a utilizar es NU212, de diámetro interno 60 mm, sus características comerciales se observan en el Anexo O, del Catálogo NTN.

3.5 Análisis de costos.

Este análisis es muy importante para poder construir la máquina trituradora, en este se detallan aspectos como el costo de los materiales y fabricación de los elementos, así como la mano de obra para el montaje de la máquina.

3.5.1 Costos directos.

3.5.1.1 Materiales

Tabla 3-35: Costo de los materiales

Ítem	Material	Cantidad	Valor unitario	Valor total
1	Plancha de acero A36		\$174	\$174
2	Perfil IPN 120x58x5	1	\$71,81	\$71,81
3	Ángulo de (3/4 x 1/8)	1	\$5,10	\$5,10
4	Pernos ½	12	\$0,55	\$6,6
5	Pernos ¼	24	\$0,45	\$10,8
5	Electrodos E6011	1	\$12,21	\$12,21
Total				\$280,52

Fuente: Silva, M.; Pilco, S.2020.

Realizado por: Silva, M.; Pilco, S.2020.

3.5.1.2 Componentes mecánicos.

Tabla 3-36: Costos componentes mecánicos

ítem	Material	Cantidad	Valor unitario	Valor total
1	Eje	1	\$55	\$55
2	Polea	1	\$260	\$260
3	Volante de inercia	1	\$350	\$350
4	Tubo cuadrado 50x50 mm	1	\$15,48	\$15,48
5	Polea motor	1	\$30	\$30
6	Chumaceras	2	\$30	\$60
Total				\$770,48

Fuente: Silva, M.; Pilco, S.2020.

Realizado por: Silva, M.; Pilco, S.2020.

3.5.1.3 Sistema eléctrico

Tabla 3-37: Costos elementos del sistema eléctrico.

ítem	Material	Cantidad	Valor unitario	Valor total
1	Motor 3hp	1	\$500	\$320
2	Botonera	1	\$65	\$65
Total				\$385,00

Fuente: Silva, M.; Pilco, S.2020.

Realizado por: Silva, M.; Pilco, S.2020.

3.5.1.4 Maquinaria por hora

Tabla 3-38: Costos maquinaria

Ítem	Equipos	Tiempo (hora)	Costo /hora	Valor total
1	Torno	15	\$25	\$375
2	Fresadora	10	\$30	\$300
3	Soldadora	8	\$16	\$128
Total				\$803,00

Fuente: Silva, M.; Pilco, S.2020.

Realizado por: Silva, M.; Pilco, S.2020.

3.5.1.5 Costo de mano de obra

Tabla 3-39: Costo mano de obra.

ítem	Descripción	Tiempo (hora)	Costo /hora	Valor total
1	Mecánico	100	\$5	\$500
Total				\$500,00

Fuente: Silva, M.; Pilco, S.2020.

Realizado por: Silva, M.; Pilco, S.2020.

3.5.1.6 Costos varios

Tabla 3-40: Costos varios

ítem	Descripción	Cantidad	Valor unitario	Valor total
1	Transporte	1	\$50	\$50
Total				\$50,00

Fuente: Silva, M.; Pilco, S.2020.

Realizado por: Silva, M.; Pilco, S.2020.

3.5.1.7 Valor total de los costos directos.

Tabla 3-41: Valor total de los costos directos.

Material	Valor total
Costos materiales	\$280,52
Costo componentes mecánicos	\$770,48
Costo sistema eléctrico	\$385
Costo maquinaria por hora	\$803
Costo mano de obra	\$500
Costos varios	\$50
Total	\$2789,00

Fuente: Silva, M.; Pilco, S.2020.

Realizado por: Silva, M.; Pilco, S.2020.

3.5.2 Costos indirectos

Tabla 3-42: Costos indirectos

ítem	Descripción	Valor unitario	Valor total
1	Ingenieriles	\$310	\$310
2	Utilidad	0	0
Total			\$310,00

Fuente: Silva, M.; Pilco, S.2020.

Realizado por: Silva, M.; Pilco, S.2020.

3.5.3 Costo total de la máquina trituradora

Tabla 3-43: Costo total.

Material	Valor total
Costos directos	\$2789
Costos indirectos	\$310
Total	\$3099

Fuente: Silva, M.; Pilco, S.2020.

Realizado por: Silva, M.; Pilco, S.2020.

3.6 Construcción y montaje



Figura 3-70: Máquina trituradora.

Realizado por: Silva, M.; Pilco, S.2020.

3.6.1 Ejes

El material del eje es Acero 1020, es uno de los elementos principales de la máquina trituradora, sobre él se ubicarán las cuchillas y porta cuchillas, para construir el eje se parte de un material en bruto de 3 in., mediante trabajo de desbaste en el torno se procede a dejar al eje en las dimensiones necesarias con la ayuda del torno se procede a realizar las roscas en los extremos del eje para brindar las seguridades necesarias al volante de inercia y a la polea.



Figura 3-71: Construcción del eje de la máquina

Realizado por: Silva, M.; Pilco, S.2020.

3.6.2 *Cuchillas.*

Las cuchillas fueron cortadas de una plancha de acero, para dar las medidas y tolerancias se utilizó una fresadora mediante el proceso de desbaste para sus cuatro lados de cada cuchilla, de igual manera se realizó las perforaciones en las cuchillas para las distintas posiciones de la cuchilla.



Figura 3-72: Cuchillas de la máquina trituradora.

Realizado por: Silva, M.; Pilco, S.2020.



Figura 3-73: Revisión de tolerancias en la cuchilla.

Realizado por: Silva, M.; Pilco, S.2020.

Una vez terminado esas operaciones se procedió a sacar filo a las cuchillas con la finalidad de reducir el área de corte.



Figura 3-74: Filo de las cuchillas.

Realizado por: Silva, M.; Pilco, S.2020.

3.6.3 *Porta cuchillas.*

Este elemento es fundamental al momento del mantenimiento de la máquina trituradora, permitiéndonos cambiar las cuchillas cuando estas estén desgastadas, los porta cuchillas van soldadas en el eje a una inclinación de 6 grados, para obtener las medidas y tolerancias se utilizó la fresadora, se realizó una perforación para realizar las roscas para poder asegurar las cuchillas



Figura 3-75: Colocación de las porta cuchillas sobre el eje.

Realizado por: Silva, M.; Pilco, S.2020.

3.6.4 *Estructura.*



Figura 3-76: Estructura.

Realizado por: Silva, M.; Pilco, S.2020.

Las medidas fueron tomadas de los planos, se cortó los tubos cuadrados de 50x50 mm además se reforzó con perfil IPN 120 en los extremos que va a reposar las placas que soportaran al eje con esto se procedió a soldarlos, se utilizó soldadura eléctrica con electrodos E6011, sobre esta estructura reposaran todos los componentes de la máquina trituradora.

3.6.5 Polea

La polea sera la encargada de la transmision de la potencia desde el motor al eje principal, por ello fue necesario rectificar sus canales y balancearlo para evitar vibraciones durante le funcionamiento de la máquina. Los procedimientos se realizaron en el torno para tener mayos precisión ademas se realizo una perforacion para colocar pricioneros de ¼ in.



Figura 3-77: Polea

Realizado por: Silva, M.; Pilco, S.2020.

3.6.6 Volante de inercia

Hecho mediante fundición, fue balanceado y rectificado en un torno, este será el responsable de ayudar a mantener una velocidad constante durante el triturado del material, también cumple la función de equilibrar el peso de la máquina.



Figura 3-78: Fundición del volante de inercia.

Realizado por: Silva, M.; Pilco, S.2020.



Figura 3-79: Rectificado del volante de inercia

Realizado por: Silva, M.; Pilco, S.2020.



Figura 3-80: Volante de inercia.

Realizado por: Silva, M.; Pilco, S.2020.

3.6.7 Bastidor

Para las placas que van a soportar el eje se cortó placas en forma circular para poder rectificar en el torno de esta manera eliminamos las imperfecciones superficiales, luego se procedió a fresar los contornos para obtener piezas rectangulares, una vez realizado esta operación se procede a realizar las perforaciones para la chumacera aquí se empleó la fresadora y el divisor universal.



Figura 3-81: Construcción de las placas laterales del bastidor.

Realizado por: Silva, M.; Pilco, S.2020.



Figura 3-82: Placa lateral del bastidor.

Realizado por: Silva, M.; Pilco, S.2020.



Figura 3-83: Construcción de las placas laterales.

Realizado por: Silva, M.; Pilco, S.2020.



Figura 3-84: Construcción de las placas laterales del bastidor.

Realizado por: Silva, M.; Pilco, S.2020.

3.6.8 *Chumaceras*

Necesitamos de dos chumaceras de soporte, fabricadas de fundición gris fueron seleccionadas según los requerimientos de la geometría del eje con diámetro interno de 60 mm y rodamiento interno de NU212.



Figura 3-85: Chumaceras.

Realizado por: Silva, M.; Pilco, S.2020.

3.6.9 *Criba*

Para realizar esto cortamos una plancha de las medidas que se requiere, marcamos los agujeros mediante un granete con la ayuda de un taladro procedemos a perforar hasta dejar los agujeros de 10mm de diámetro, luego procedemos a rolar la plancha para dar esa forma cóncava que se necesita.



Figura 3-86: Criba.

Realizado por: Silva, M.; Pilco, S.2020.

3.6.10 *Contra cuchilla*

De una plancha de 1 in de espesor cortamos mediante oxicorte las medidas necesarias de la contra cuchilla, en la fresadora procedemos a desbastar los lados para darle un acabado superficial sin imperfecciones, en la misma máquina realizamos las perforaciones para la regulación.



Figura 3-87: Contra cuchilla.

Realizado por: Silva, M.; Pilco, S.2020.

3.6.11 Junta de placas laterales desmontable



Figura 3-88: Junta de placas laterales desmontable

Realizado por: Silva, M.; Pilco, S.2020.

En los extremos de las placas se procede con la distribución de los agujeros y se perfora con la ayuda de la fresadora para tener una mayor precisión, con la ayuda de machuelos realizamos las roscas para pernos de $\frac{1}{4}$ in rosca fina, esto se realizó con la finalidad facilitar el mantenimiento de la máquina.

3.6.12 Tolva de entrada



Figura 3-89: Tolva de entrada

Realizado por: Silva, M.; Pilco, S.2020.

La tolva se realizó en plancha de 3 mm de espesor, primero se trazó en la plancha posteriormente se cortó, luego para unirlos utilizamos soldadura eléctrica con electrodos E6011, mediante esta tolva brindamos seguridad al operario de la máquina.

3.6.13 *Tolva de salida*



Figura 3-90: Tolva de salida

Realizado por: Silva, M.; Pilco, S.2020.

Con los planos procedimos a realizar el trazado en la plancha de 3 mm de espesor de la tolva de salida, estas pizas se las unió mediante soldadura eléctrica con electrodos E6011, mediante esta tolva se facilita la obtención del material triturado.

3.7 **Manual de operación**

Para poner en funcionamiento la trituradora es necesario cumplir con parámetros de seguridad lubricación y mantenimiento que ayuden a evitar un posible accidente como atascamiento del material al triturar o atrapamiento del operador en la máquina trituradora.

3.7.1 *Requerimientos técnicos de instalación para el funcionamiento de la máquina trituradora.*

- Para instalarla máquina trituradora se requiere de una superficie plana para evitar vibraciones en la máquina trituradora
- Como su fuente de potencia es un motor de 3HP monofásico, necesitaremos un Tomacorriente de 220V monofásico para su conexión.

3.7.2 *Funcionamiento de la máquina trituradora.*

Para controlar el encendido y apagado de la máquina trituradora se ha utilizado una botonera de arranque para motor monofásico de 17 a 25 amperio para 220 v.



Figura 3-91: Botonera

Realizado por: Silva, M.; Pilco, S.2020.

El material a triturar será introducido por la parte superior de la máquina trituradora.



Figura 3-92: Introduciendo del material.

Realizado por: Silva, M.; Pilco, S.2020.

La potencia será transmitida por la polea desde el motor al eje principal de la máquina



Figura 3-93: Transmisión

Realizado por: Silva, M.; Pilco, S.2020.

El material saldrá triturado por la parte inferior de la máquina del tamaño deseado



Figura 3-94: Material triturado.

Realizado por: Silva, M.; Pilco, S.2020.

3.8 Manual de mantenimiento

3.8.1 *Tipos de mantenimiento*

Toda máquina mecánica debe poseer un plan de mantenimiento preventivo y correctivo, con la finalidad de alargar su vida útil y evitar costos de mantenimiento imprevistos.

Mantenimiento preventivo

Este tipo de mantenimiento debe ser programado para precautelar la vida útil de los elementos mecánicos y eléctricos de la máquina evitando un desgaste excesivo en las cuchillas por falta de lubricación o en las partes eléctricas un deterioro de sus elementos.

De manera general podemos nombrar algunos chequeos rutinarios que se deben realizar

- Inspección visual del equipo
- Control de temperatura de funcionamiento del motor
- Engrasado de chumaceras
- Revisión o cambio de pernos de sujeción
- Limpieza y lubricación de las cuchillas trituradoras.
- Limpieza externa de la máquina

Mantenimiento correctivo

Dentro de este tipo de mantenimiento entra el cambio de algunos elementos móviles de la trituradora como sus cuchillas una vez que hayan sufrido el desgaste necesario, el motor si este presenta fallas en su funcionamiento, entre otros.

3.8.2 *Inspección visual del equipo*

Este tipo de inspección se puede realizar diariamente, constatando el estado de las cuchillas que estén alineadas correctamente y que no presenten partes rotas en su composición, que no exista material residual atascado, caso contrario se debe realizar una limpieza (Cedillo, 2016, pp. 4-9).

3.8.3 Control de temperatura de funcionamiento del motor

Este control se lo puede realizar por medio de un pirómetro evitando que exista un sobrecalentamiento en el motor y este falle de manera imprevista, su sobrecalentamiento se puede deber a un sobre esfuerzo de la máquina al triturar el material o un atascamiento en el proceso de trituración. (Bernal y Linares, 2020, pp. 18-20).

3.8.4 Limpieza y lubricación de la máquina trituradora.

Elementos como la chumacera y otros elementos móviles se deben revisar su vida útil para mantener su correcto funcionamiento, es importante después de triturar el material limpiar la máquina evitando que existan residuos que puedan ocasionar un atascamiento en el siguiente proceso de trituración

3.9 Plan de mantenimiento mensual de la trituradora

Para lograr un funcionamiento adecuado de nuestra máquina trituradora hemos preparado un plan de mantenimiento detallando las acciones para prevenir fallas inesperadas en la máquina.

Tabla 3-44: Plan de mantenimiento anual.

PLAN DE MANTENIMIENTO ANUAL MÁQUINA TRITURADORA DE PLÁSTICO												
ACTIVIDAD	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Limpieza del equipo	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Lubricación de las partes móviles				X				X				X
Revisión de la temperatura del motor eléctrico			X			X			X			X
Revisión del estado de desgaste de las cuchillas						X						X
Revisión de apriete de pernos						X						X

Fuente: Silva, M.; Pilco, S.2020.

Realizado por: Silva, M.; Pilco, S.2020.

A continuación se detalla las actividades en las fechas que deben ser realizadas.

Tabla 3-45: Plan de mantenimiento, por fecha y duración

ACTIVIDAD	FECHA	DURACIÓN (min)
Limpieza del equipo	Todos los días después de cada proceso de trituración	30
Lubricación de las partes móviles de la máquina trituradora	03/04/2021-06/08/2021- 05/12/2021	15
Revisión de la temperatura del motor eléctrico	18/03/2021-18/06/2021- 15/09/2021-15/12/2021	15
Revisión del estado de desgaste de las cuchillas	20/06/2021-20/12/2021	30
Revisión de apriete de pernos	20/06/2021-20/12/2021	20

Fuente: Silva, M.; Pilco, S.2020.

Realizado por: Silva, M.; Pilco, S.2020.

CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS.

4.1 Pruebas de funcionamiento.

4.1.1 Prueba de ruido.

Diferencia entre sonido y ruido.

Un sonido se percibe mediante el oído, es producido generalmente por un objeto cuando vibra, mientras que un ruido se considera un sonido molesto compuesto por muchos tonos de distintas amplitudes y frecuencias, su unidad de medida son los decibelios (Bruna y Suárez, 2016, pp. 56-61).

Realizar esta prueba es muy importante debido a las consecuencias que los niveles de ruido pueden ocasionar a los trabajadores en una empresa, siendo el trauma más común la sordera, como enfermedad laboral más habitual en una empresa, este padecimiento se produce cuando el operador se encuentra continuamente expuesto a ruidos de elevada intensidad (Ochoa, 1990, p. 25).

Tabla 4-1: Niveles de ruido aceptable para diferentes tipos de recintos.

Tipo de recinto	Criterio de ruido dB (A)
Grandes oficinas, almacenes, sala de espera, restaurantes silenciosos	35
Grandes restaurantes, oficinas con máquinas de escribir	45
Grandes recintos con máquinas de oficinas	55
Talleres	45-75

Fuente: (Ochoa, J. 1990, p. 27)

Realizado por: Silva, M.; Pilco, S.2020.



Figura 4-1: Ruido trabajo en vacío.

Realizado por: Silva, M.; Pilco, S.2020.

Se procedió a realizar una medición del ruido de la máquina al encenderla y sin ningún material a triturar en su interior (trabajo en vacío), dándonos como medida un rango de entre 46 a 60 decibelios, aceptable para trabajar en talleres.

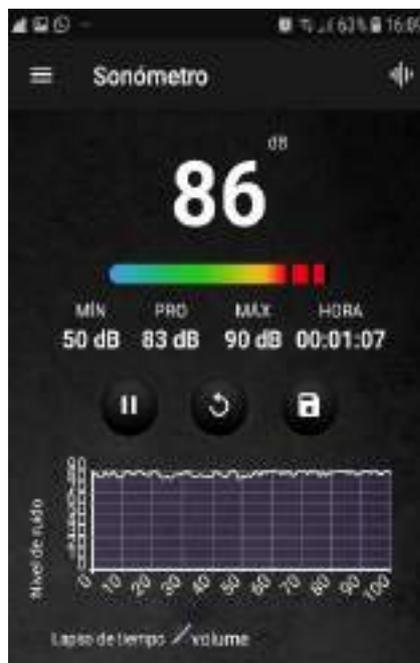


Figura 4-2: Ruido trituración.

Realizado por: Silva, M.; Pilco, S.2020.

Una vez introducido el material para triturar el rango de ruido en decibelios fue entre 80 a 90 decibelios, teniendo como resultado el tener que utilizar tapones de oídos para prevenir un daño en el oído del trabajador en sesiones largas de trabajo.

4.1.2 Prueba de corriente en el motor

Para determinar si la maquina tiene una sobrecarga en el motor al momento de triturar el material se mide la corriente que este consume siendo la máxima corriente de 18 amperios (dato de placa), se obtuvo una corriente de vacío de 12.7 amperios y amperaje de trabajo de 14 amperios, comprobando que no existe una sobre-esfuerzo para el motor.



Figura 4-3: Amperaje en el motor.

Realizado por: Silva, M.; Pilco, S.2020.

4.1.3 Prueba de temperatura en las chumaceras

Después de una hora de trabajo continuo de la máquina trituradora se procedió a medir la temperatura en las chumaceras estas se encontraron a temperatura ambiente (22°C), mostrando que no existe una sobrecarga en estos elementos.



Figura 4-4: Temperatura en la chumacera derecha.

Realizado por: Silva, M.; Pilco, S.2020.



Figura 4-5: Temperatura en la chumacera izquierda.

Realizado por: Silva, M.; Pilco, S.2020.

4.2 Análisis de resultados.

Los resultados que se obtuvo para el diámetro del eje en su punto más crítico esto debido a que por este se va a transmitir el torque del motor al eje en cálculos es de 44.71 mm lo aproximamos a 45 mm, de este dato se partió para dimensionar todo el eje.

Se realizó un estudio de velocidades críticas que va a estar sometido el eje para evitar la resonancia, en nuestro calculo obtuvimos una velocidad critica de 957,31 rpm comparando con la velocidad a la que va a trabajar el eje que es 400 rpm llegamos a la conclusión que no va a llegar a producirse la resonancia.

Analizando el eje en el programa Ansys con el módulo de Von Mises se obtuvo datos de deformación en el eje es de 0.003065 mm, y un esfuerzo máximo de 7.97 MPa, el esfuerzo admisible del acero 1020 es de 295 MPa., dándonos una coloración azul en casi todo el eje por lo tanto no existe riesgo de fracturas.

La estructura se procedió a analizarlo en el programa Sap 2000 donde nos arrojó datos que nos indican que el diseño es correcto ya que la relación demanda/capacidad se encuentra en un aproximado de 0.5, y la coloración en la estructura analizada es celeste por lo tanto no hay ningún riesgo.

CONCLUSIONES

- Los tanques de almacenamiento de agua están fabricados de material PET, la importancia de su trituración para posterior reciclaje y estudio para fabricar nuevos productos se basa en su característica de termoplástico, este tipo de material puede llegar a sufrir un deterioro químico o envejecimiento térmico si se somete a un calentamiento y enfriamiento repetidamente, es por ello que estos tanques son adecuados para reciclar ya que su materia prima es 100% virgen, el proceso de trituración propuesto es el primer paso para un estudio del material y encontrar una aplicación adecuada.
- El análisis de cada uno de los elementos que intervienen en el diseño de la máquina es importante, cada elemento se relaciona con los demás de tal manera que, si alguno falla, provocaría daños en los demás componentes, es por ello que el diseño de una máquina es un proceso que no se debe tomar a la ligera, valiéndonos de programas como ANSYS y SAP 2000 para verificar nuestros resultados con respecto a dimensiones y la selección de los demás componentes.
- Para que las cuchillas tengan una vida útil más elevada se tuvo que realizar un temple, dándoles una dureza similar a un acero de herramientas.
- La mayor parte del bastidor se encuentra con uniones empernadas, esto se debe a dos razones primordiales una para facilitar el mantenimiento, la otra se da para evitar futuras fracturas en las uniones soldadas.
- La distribución de las cuchillas en el rotor y la posición de la contra cuchilla nos ayuda a que el material se triture rápidamente, de esta manera pueda ser evacuado por la tolva de salida y evitar la recirculación de las partículas dentro del rotor.

RECOMENDACIONES

- Si tomamos el proceso de trituración como un primer paso para el reciclaje de este material, se recomienda continuar este proceso de reciclaje con el estudio del material obtenido para agregarle aditivos que mejoren sus propiedades físicas, dependiendo de la aplicación que se le quiera dar.
- El manejo de diferentes programas de diseño nos permite tener una mayor confianza en nuestro diseño, sin embargo, no debemos olvidar que los programas son un apoyo para darnos mayor seguridad, un software no puede por sí solo diseñar un elemento, somos nosotros como diseñadores quienes planteamos cada una de las variables y requerimientos que va a cumplir una máquina.
- El operador de la maquina debe contar con todo el equipo de protección personal como es guantes, orejeras, casco y calzado de seguridad industrial.
- Para evitar daños en las cuchillas se debe introducir en la tolva de entraba material a triturar el mismo que esté libre de cuerpos extraños.

GLOSARIO

Cizalladura: Es el corte que se produce a lo largo de un material entre dos bordes. (Hamrock, 1999, p. 442).

Factor de Seguridad: Margen de seguridad que se impone para asegurar que los elementos diseñados no fallen ante una carga insospechada. (Eder, 2019, p.56).

PET: Tereftalato de polietileno, es un polímero de tipo termoplástico con excelentes propiedades como buena resistencia y tenacidad, apto para la fabricación de envases alimenticios. (Bruna y Suarez 2016, p.37).

Potencia: Trabajo realizado en una unidad de tiempo, sus unidades más comunes son Watts o caballos de fuerza. (Eder, 2019, p.55).

QFD: Despliegue de la función de calidad, su objetivo es transformar las peticiones del usuario en términos de ingeniería para un diseño de calidad. (Garzón; Estrada y Valencia, 2016, p.36)

Termoplástico: Es un polímero cuya característica principal es su capacidad de someterse a repetidos ciclos de calentamiento y enfriamiento para dar forma a nuevos productos. (Groover, 2007, p. 145).

Trituración: Reducción de tamaño de un sólido aplicando esfuerzos de tracción, compresión y cizalladura hasta llegar a la rotura (Bruna y Suarez, 2016, p.44).

BIBLIOGRAFÍA

AGUIRRE FLORES, Pamela Alejandra, & TAPIA RIVADENEIRA, Israel Alejandro. Diseño y construcción de un prototipo de trituradora de polipropileno (PP), polietileno tereftalato (PET), y aluminio para la elaboración de material compuesto dentro de un proceso de supra-reciclaje [En línea] (Trabajo de Titulación). (Pregrado) Universidad San Francisco de Quito USFQ, Quito, Ecuador. 2018. pp. 14-16. [Consulta: 2019-07-11]. Disponible en: <http://repositorio.usfq.edu.ec/handle/23000/7332>

BERNAL BELTRAN, Giovanni, & LINARES DIAZ, Lucy Bernarda. Proyecto de emprendimiento social para la creación de una microempresa de reciclaje de residuos plásticos “RECI-PET”, [En línea] (Trabajo de Titulación). (Pregrado) Universidad Nacional Abierta y a Distancia, Colombia. 2020. pp. 18-20. [Consulta: 2020-08-02]. Disponible en: <http://repository.unad.edu.co/handle/10596/35926>.

BRUNA TAPIA, Rodrigo Alejandro, & SUAREZ COCA, Javier Ignacio. Diseño de trituradora de botellas pet, [En línea] (Trabajo de Titulación). (Pregrado) Universidad Técnica Federico Santa María, Chile. 2016. pp. 56-61. [Consulta: 2019-06-06]. Disponible en: <https://repositorio.usm.cl/handle/11673/40763>.

CAJUSOL BALDERA, Henry Paul & OLORTEGUI YUME, Jorge Antonio. Diseño de una máquina trituradora de botellas de plástico de 25 kg/h para la empresa recicladora “Bravo”-Tucume, Lambayeque, [En línea] (Trabajo de Titulación) (Pregrado) Universidad Señor de Sipán, Perú. 2020. pp. 19-24. [Consulta: 2019-03-17]. Disponible en: <http://repositorio.uss.edu.pe/handle/uss/6677?show=full>

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: 2019-06-13]. Disponible en: <https://repositorio.uho.edu.cu/jspui/handle/uho/5851>.

CAVIEDES AGUIRRE, Juan David. Diseño de una máquina trituradora para plástico pet, [En línea], (Trabajo de Titulación). (Pregrado) Fundación Universidad de América, Bogotá, Colombia. 2020. pp. 57-60. [Consulta: 2020-09-23]. Disponible en: <https://repository.uamerica.edu.co/handle/20.500.11839/7904>.

CEDILLO MORAN, Alex Rolando. Análisis de riesgos mecánicos que están expuestos los trabajadores en trituradora de botellas, [En línea] (Trabajo de Titulación). (Pregrado) Universidad de Guayaquil, Guayaquil, Ecuador. 2016. pp. 4-9. [Consulta: 2019-07-15]. Disponible en: <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/19672>.

CEPEDA LASCANO, Jaime Esteban, & ARROBA ARROBA, César Hernán. Diseño y construcción de una máquina trituradora de capacidad 2,5 kg de polietileno de baja densidad reciclado, [En línea] (Trabajo de Titulación) (Pregrado) Universidad Técnica de Ambato, Ecuador. 2016. pp. 14-34. [Consulta: 2019-08-28]. Disponible en: <https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/24314>

CLEVEL ANGULO, Jesús Alberto. Diseño de una trituradora de pet como herramienta de apoyo para las asignaturas de ingeniería de unicatólica, [En línea] (Trabajo de Titulación) (Pregrado) Fundación Universitaria Católica Lumen Gentium, Colombia. 2020. pp. 49-51. [Consulta: 2019-02-24]. Disponible en: <http://repository.unicatolica.edu.co/handle/20.500.12237/1930>.

EDER MENDOZA, Luque Yuen. Diseño de un prototipo de máquina trituradora de botellas PET [En línea] (Trabajo de Titulación) (Pregrado) Universidad Tecnológica del Perú, Perú. 2019. pp. 8-10 [Consulta: 2020-06-08]. Disponible en: <http://repositorio.utp.edu.pe/handle/UTP/2492>.

FREIRE CARDENAS, Luis Miguel, & GONZÁLEZ MOSQUERA Cristian Jeyson. Diseño y construcción de un equipo triturador de botellas plásticas tipo pet, [En línea] (Trabajo de Titulación). (Pregrado) Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Ecuador. 2013. pp. 22-29 [Consulta: 2019-07-23]. Disponible en: <http://dspace.espoch.edu.ec/handle/123456789/3218>.

GAMARRA MORENO, Arturo Huber, & TAIPE CASTRO, José Antonio. Diseño de un prototipo de trituradora para mejorar el rendimiento de trituración de botellas tipo PET. [En línea], (Perú) 14(1). 2017. pp. 41-46 [Consulta: 2019-06-15]. ISSN: 1990-2409. Disponible en: <http://revistas.uncp.edu.pe/index.php/prospectiva/article/view/698/925>

GARCÍA VILLALVA Luz Angélica, & PONCE CORRAL, Carlos Javier. Diseño y prototipo de una máquina trituradora de PET, *Revista Cultura Científica y Tecnológica*, vol. 0, n.º 54, Art. n.º 54. 2016. pp. 63-71. Disponible en: <http://erevistas.uacj.mx/ojs/index.php/culcyt/article/view/866>.

GARZÓN LOPEZ, Camilo Augusto, & ESTRADA TRIANA, Jorge Luis, & VALENCIA ESPINOSA, Cristian Camilo. Prototipo de máquina peletizadora para triturado de botellas plásticas en la ciudad de Villavicencio - Meta (Proyecto PET House) [En línea] (Trabajo de Titulación). (Pregrado) Universidad Cooperativa de Colombia, Colombia. 2016. pp. 36-40. [Consulta: 2019-10-18]. Disponible en: <https://repository.ucc.edu.co/handle/20.500.12494/14978>.

GROOVER, M. *Fundamentos de manufactura moderna* [En línea] México. McGraw-Hill/Interamericana Editores, S.A. De C.V. 2007. [Consulta: 2019-06-28] Disponible en: [https://www.academia.edu/33002366/Fundamentos de manufactura moderna 3edi Groover](https://www.academia.edu/33002366/Fundamentos_de_manufactura_moderna_3edi_Groover)

GUALOTO CALUPIÑA, Freddy Mauricio. Diseño y construcción de una trituradora y extrusora para la producción de hilo plástico empleado en impresoras 3D, [En línea] (Trabajo de Titulación) (Pregrado) Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador. 2015. pp.35-40. [Consulta: 2019-12-15]. Disponible en: <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/9089>.

HAMROCK, B. J. *Elementos De Máquinas.* [En línea] México. McGraw-Hill/INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V. 1999. [Consulta: 2019-06-15] Disponible en: <https://es.scribd.com/document/364356904/Elementos-de-Maquinas-Hamrock>

HIDALGO SANCHEZ, Diego Alexander. Diseño de una máquina trituradora de plástico para la comunidad de Limoncocha, provincia de Sucumbíos-Ecuador, [En línea]. (Trabajo de Titulación). (Pregrado). Universidad Internacional Sek, Sucumbíos, Ecuador. 2020. pp. 41-50. [Consulta: 2020-09-28]. Disponible en: <https://repositorio.uisek.edu.ec/handle/123456789/3906>

HOYOS MATEUS, Daniel, & HOYOS MATEUS, Marcos Roberto. Diseño de una trituradora de PET [En línea] (Trabajo de Titulación) (Pregrado) Universidad Distrital Francisco José De Caldas, Colombia. 2017. pp. 28-32. [Consulta: 2019-06-13]. Disponible en: <http://repository.udistrital.edu.co/handle/11349/5292>.

JIMENO IZQUIERDO, Ignacio. Estudio para el diseño, optimización y construcción de una trituradora para la obtención de granulado plástico a partir de envases, para la obtención de barras estructurales de plástico reciclado, [En línea] (Trabajo de Titulación) (Pregrado) Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona. 2019. pp. 36-43. [Consulta: 2019-04-12]. Disponible en: <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/171977>.

MEDINA BETANCOURT, Ramiro Iván, & RIVADENEIRA ROMERO, Roberto Patricio. Diseño y construcción de una máquina pulidora de engranes para el laboratorio de máquinas herramientas de la Facultad de Ingeniería Mecánica. [En línea] (Trabajo de Titulación). (Pregrado) Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador. 2010. pp. 46-47. [Consulta: 2019-02-14]. Disponible en: <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/2203/1/CD-2963.pdf>

MOYANO HERNANDEZ, José Luis, & FONSECA LA ROTTA, Diego. Diseño de una trituradora de residuos sólidos tipo PET para la Fundación Alianza Forestal de Colombia E.S.P. [En línea] (Trabajo de Titulación) (Pregrado), Universidad Pedagógica Y Tecnológica De Colombia, Colombia. 2017. pp. 50-55. [Consulta: 2019-06-18]. Disponible en: <http://repositorio.uptc.edu.co/handle/001/2640>.

OCHOA, J., *Medida y control del ruido.* [En línea] Barcelona, España: Marcombo. 1990. [Consulta: 2020-04-23] Disponible en: <https://elibro.net/es/lc/espoch/titulos/45863>.

PILATASIG LASLUISA, Diego Armando. & POZO CORREA, Freddy Rodolfo. Diseño y construcción de una máquina para moler plásticos p.e.t. para la microempresa de reciclaje “santa anita” ubicada en el cantón salcedo provincia de Cotopaxi, [En línea] (Trabajo de Titulación) (Pregrado), Universidad Técnica de Cotopaxi, Cotopaxi, Ecuador. 2014. pp. 35-46. [Consulta: 2019-05-12]. Disponible en: <http://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/1872>.

PLASTIGAMA. Tanques de uso residencial. [En línea] Quito, Ecuador. 2018. pp. 5-6 Disponible en: <https://plastigamawavin.com/wp-content/uploads/2019/05/Tanques-Triptico-2019.pdf>

PLASTIGAMA. Tanques-grandes-volumenes.pdf. [En línea]. Quito, Ecuador. 2018. pp. 7-9 Disponible en: <https://plastigamawavin.com/wp-content/uploads/2018/07/Tanques-grandes-volumenes-2018.pdf>

RAMÍREZ, Gustavo. Diseño de una cizalla para corte de lámina. [En línea] (Trabajo de Titulación) (Pregrado) Corporación Universitaria Autónoma de Occidente División de Ingenierías, Colombia. 1991. pp. 42-60. [Consulta: 2019-12-09]. Disponible en: <https://red.uao.edu.co/bitstream/10614/3592/1/T0001483.pdf>

SARMIENTO SALAMANCA, Juan Rodrigo. “Diseño y construcción de máquina para el triturado de polímeros y metales blandos”, Revista Ambiental Agua, Aire y Suelo, [En línea], 2020, España vol. 10, n.º 1, Art. n.º 1. pp. 5-7, [Consulta: 2019-06-15]. Disponible en: [10.24054/19009178.v1.n1.2019.3958](https://doi.org/10.24054/19009178.v1.n1.2019.3958).

SEMPERE PEREZ, Oscar Daniel. Diseño y estudio técnico de una máquina trituradora para el sector del plástico, [En línea] (Trabajo de Titulación). (Pregrado) Universidad Politécnica de Valencia, España. 2017. pp. 62-73. [Consulta: 2020-08-18]. Disponible en: <https://riunet.upv.es/handle/10251/93964>.

SHIGLEY, J. Diseño en Ingeniería Mecánica. (Octava edición) México, Mcgraw-Hill/Interamericana Editores, S.A. De C.V. 2008. [Consulta: 2019-06-15] Disponible en: <https://termoaplicadaunefm.files.wordpress.com/2015/03/disec3b1o-en-ingenierc3ada-mecc3a1nica-de-shigley-8-edicic3b3n-budynas.pdf>

TABARES PERILLA, Cindy Julieth. Estudio de alternativa al proceso de reciclaje del plástico PET en la Universidad Católica de Colombia, [En línea] (Trabajo de Titulación) (Pregrado), Universidad Católica de Colombia, Colombia. 2017. pp. 51-60 [Consulta: 2019-10-21]. Disponible en: <https://repository.ucatolica.edu.co/handle/10983/15588>.

VELA ROJAS, Cristian Camilo, & REY ROMERO, Edixon Javier, & JAIMES RADA, Angie Nataly. Diseño y construcción de prototipo de trituración para PET, [En línea] (Trabajo de Titulación) (Pregrado) Universidad Cooperativa De Colombia, Colombia. 2018. pp. 13-16. [Consulta: 2019-08-26]. Disponible en: <https://repository.ucc.edu.co/handle/20.500.12494/5086>.



JHONATAN RODRIGO
PARRINO UQUILLAS

ANEXOS

ANEXO A: MODELO DE ENCUESTA PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS SOBRE LA DISPONIBILIDAD DEL MATERIAL DE LOS TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE AGUA PARA SER RECICLADOS.



ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE MECÁNICA

ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA



ENCUESTA

1. ¿Conoce usted de que se trata el proyecto Alao Maguazo?

Sí

No

2. ¿Cuenta usted con un sistema de bombeo para el abastecimiento de agua en su hogar?

Sí

No

3. ¿Cuál es la capacidad del tanque de almacenamiento de agua que usa su sistema de bombeo para abastecer su hogar?

Menos de 500 litros

500 – 100 litros

Más de 1000 litros

4. ¿De beneficiarse con el servicio de agua en su hogar las 24 horas considera necesario seguir teniendo un sistema de bombeo en su vivienda?

Sí

No

5. ¿Conoce usted la forma de reciclar los tanques de almacenamiento de agua?

Sí

No

6. ¿Al retirar el sistema de bombeo de su hogar consideraría donar el tanque de almacenamiento de agua para ser reciclado?

Sí

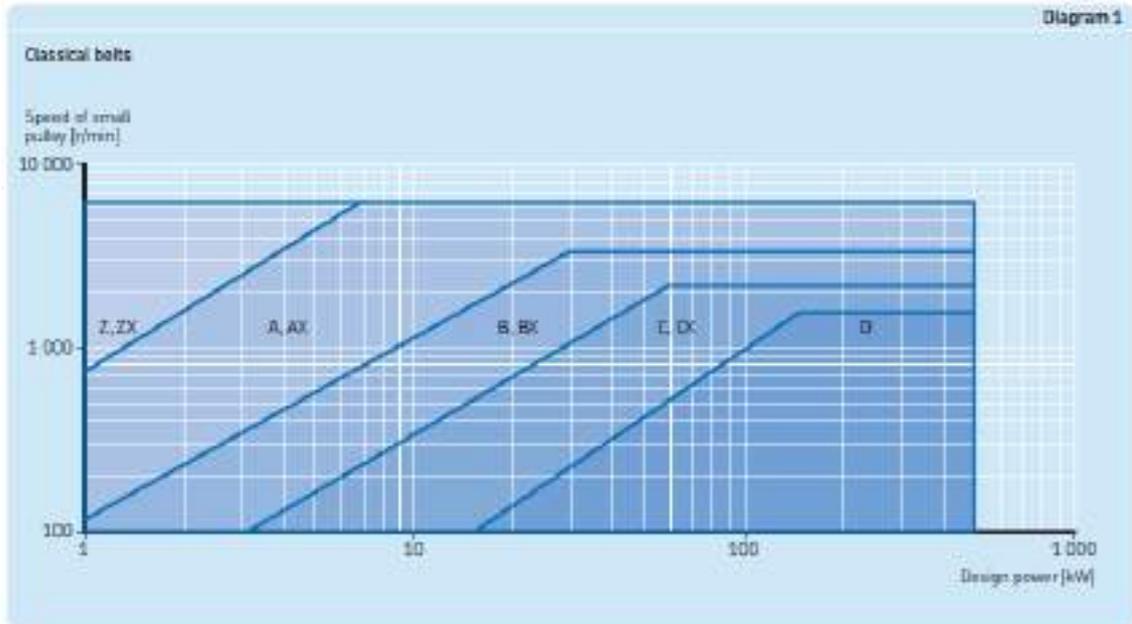
No

7. ¿Qué estaría dispuesto hacer con su tanque elevado o tanque cisterna si ya contara con el servicio de agua potables las 24 horas del día?

Donarlo

Venderlo

ANEXO B: SECCIÓN TRANSVERSAL PARA BANDAS TRAPEZOIDALES SKF



ANEXO C: DIÁMETROS RECOMENDADOS PARA LA POLEA MENOR SEGÚN EL TIPO DE SECCIÓN DE BANDAS SKF

Recommended standard pulley diameters for faster shaft

Pulley section	Pulley diameters																				
	50	56	63	71	75	80	85	90	95	100	112	125	132	140	160	170	180	190	200	224	
Z	✓*	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
A					✓*	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
G											✓*	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
C																					
D																					
SPB/SPL-3P					✓*	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
SPB/SPL-6P											✓*	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
SPB/SPL-9P																					
SPB/SPL-12P																					
ZK	✓*	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
AK																					
BE					✓*	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
DI																					
EPZ		✓*	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
KPB																					
KPB																					
KPC																					

*Shows minimum pulley diameter for particular section. If smaller pulley diameter is used, the belt service life could be affected.

ANEXO D: DIÁMETROS RECOMENDADOS PARA LA POLEA MAYOR SEGÚN EL TIPO DE SECCIÓN DE BANDAS SKF

Table 5b

	226	236	250	261	280	300	315	335	355	375	400	425	455	475	500	530	565	630	710	800	900	1.000	1.250
4.00	4.72	5	5.32	5.60	6	6.30	6.70	7.03	7.50	8	8.50	9	9.50	10	10.00	11.20	12.60	14.20	16	18	20	25	30
4	4.21	4.66	4.72	5	5.36	5.62	5.96	6.26	6.70	7.04	7.50	7.89	8.16	8.40	8.89	9.66	10	11.26	12.66	14.29	16.00	17.86	22.20
4.5	4.73	4.37	4.62	4.67	5	5.25	5.58	5.82	6.25	6.67	7.05	7.58	7.92	8.25	8.70	9.33	10.00	11.20	12.33	14	16.57	19.00	24
5.0	4.75	4.87	4.74	4.64	4.74	5	5.20	5.62	5.95	6.38	6.75	7.16	7.54	7.84	8.41	9.09	10	11.20	12.30	14.29	16.87	19.00	24
5.25	4.57	4.73	4.58	4.58	4.61	4.70	4.77	5.20	5.60	6.01	6.34	6.71	7.09	7.45	7.97	8.26	8.83	10.60	11.04	13.42	14.93	18.68	27
5.5	4.32	4.32	4.71	4.98	4.73	4.64	4.72	5	5.28	5.63	5.99	6.36	6.69	7.04	7.58	7.89	8.57	10	11.27	12.68	14.88	17.60	24
5.75	4.35	4.33	4.53	4.73	5	5.20	5.47	4.73	5	5.23	5.67	6	6.23	6.87	7.07	7.47	8.40	9.47	10.57	12	13.33	16.27	24
6.00	4.95	4.13	4.23	4.10	4.76	4.94	4.59	4.84	4.69	5	5.35	5.43	5.94	6.26	6.63	7	7.88	8.88	10	11.26	12.69	15.63	20
6.25	4.75	4.94	4.32	4.79	4.53	4.71	4.34	4.39	4.43	4.71	5	5.29	5.59	5.85	6.26	6.59	7.41	8.25	9.40	10.59	11.76	14.71	20
6.50	4.62	4.78	4.76	4.11	4.33	4.60	4.32	4.96	4.17	4.64	4.73	5	5.26	5.56	5.89	6.27	7	7.80	8.89	10	11.23	13.89	20
7.00	4.68	4.68	4.63	4.74	4.95	4.74	4.72	4.53	4.74	4.95	4.71	4.67	4.74	5	5.26	5.58	5.89	6.63	7.43	8.47	10.51	11.76	14.71
7.50	4.73	4.36	4.36	4.64	4.61	4.81	4.36	4.36	4.54	4.71	4.83	4.75	4.48	4.72	5	5.26	5.84	6.70	7.35	8.49	9.43	11.76	14.71
8	4.73	4.36	4.36	4.64	4.61	4.81	4.36	4.36	4.54	4.71	4.83	4.75	4.48	4.72	5	5.26	5.84	6.70	7.35	8.49	9.43	11.76	14.71
8.5	4.73	4.36	4.36	4.64	4.61	4.81	4.36	4.36	4.54	4.71	4.83	4.75	4.48	4.72	5	5.26	5.84	6.70	7.35	8.49	9.43	11.76	14.71
9	4.73	4.36	4.36	4.64	4.61	4.81	4.36	4.36	4.54	4.71	4.83	4.75	4.48	4.72	5	5.26	5.84	6.70	7.35	8.49	9.43	11.76	14.71
1.00	4.73	4.36	4.36	4.64	4.61	4.81	4.36	4.36	4.54	4.71	4.83	4.75	4.48	4.72	5	5.26	5.84	6.70	7.35	8.49	9.43	11.76	14.71
1.10	4.73	4.36	4.36	4.64	4.61	4.81	4.36	4.36	4.54	4.71	4.83	4.75	4.48	4.72	5	5.26	5.84	6.70	7.35	8.49	9.43	11.76	14.71
1.25	4.73	4.36	4.36	4.64	4.61	4.81	4.36	4.36	4.54	4.71	4.83	4.75	4.48	4.72	5	5.26	5.84	6.70	7.35	8.49	9.43	11.76	14.71
1.50	4.73	4.36	4.36	4.64	4.61	4.81	4.36	4.36	4.54	4.71	4.83	4.75	4.48	4.72	5	5.26	5.84	6.70	7.35	8.49	9.43	11.76	14.71
1.75	4.73	4.36	4.36	4.64	4.61	4.81	4.36	4.36	4.54	4.71	4.83	4.75	4.48	4.72	5	5.26	5.84	6.70	7.35	8.49	9.43	11.76	14.71
2	4.73	4.36	4.36	4.64	4.61	4.81	4.36	4.36	4.54	4.71	4.83	4.75	4.48	4.72	5	5.26	5.84	6.70	7.35	8.49	9.43	11.76	14.71
2.50	4.73	4.36	4.36	4.64	4.61	4.81	4.36	4.36	4.54	4.71	4.83	4.75	4.48	4.72	5	5.26	5.84	6.70	7.35	8.49	9.43	11.76	14.71
3	4.73	4.36	4.36	4.64	4.61	4.81	4.36	4.36	4.54	4.71	4.83	4.75	4.48	4.72	5	5.26	5.84	6.70	7.35	8.49	9.43	11.76	14.71
3.50	4.73	4.36	4.36	4.64	4.61	4.81	4.36	4.36	4.54	4.71	4.83	4.75	4.48	4.72	5	5.26	5.84	6.70	7.35	8.49	9.43	11.76	14.71
4	4.73	4.36	4.36	4.64	4.61	4.81	4.36	4.36	4.54	4.71	4.83	4.75	4.48	4.72	5	5.26	5.84	6.70	7.35	8.49	9.43	11.76	14.71
4.5	4.73	4.36	4.36	4.64	4.61	4.81	4.36	4.36	4.54	4.71	4.83	4.75	4.48	4.72	5	5.26	5.84	6.70	7.35	8.49	9.43	11.76	14.71
5	4.73	4.36	4.36	4.64	4.61	4.81	4.36	4.36	4.54	4.71	4.83	4.75	4.48	4.72	5	5.26	5.84	6.70	7.35	8.49	9.43	11.76	14.71
6	4.73	4.36	4.36	4.64	4.61	4.81	4.36	4.36	4.54	4.71	4.83	4.75	4.48	4.72	5	5.26	5.84	6.70	7.35	8.49	9.43	11.76	14.71
7	4.73	4.36	4.36	4.64	4.61	4.81	4.36	4.36	4.54	4.71	4.83	4.75	4.48	4.72	5	5.26	5.84	6.70	7.35	8.49	9.43	11.76	14.71
8	4.73	4.36	4.36	4.64	4.61	4.81	4.36	4.36	4.54	4.71	4.83	4.75	4.48	4.72	5	5.26	5.84	6.70	7.35	8.49	9.43	11.76	14.71
9	4.73	4.36	4.36	4.64	4.61	4.81	4.36	4.36	4.54	4.71	4.83	4.75	4.48	4.72	5	5.26	5.84	6.70	7.35	8.49	9.43	11.76	14.71
10	4.73	4.36	4.36	4.64	4.61	4.81	4.36	4.36	4.54	4.71	4.83	4.75	4.48	4.72	5	5.26	5.84	6.70	7.35	8.49	9.43	11.76	14.71
12.5	4.73	4.36	4.36	4.64	4.61	4.81	4.36	4.36	4.54	4.71	4.83	4.75	4.48	4.72	5	5.26	5.84	6.70	7.35	8.49	9.43	11.76	14.71
15	4.73	4.36	4.36	4.64	4.61	4.81	4.36	4.36	4.54	4.71	4.83	4.75	4.48	4.72	5	5.26	5.84	6.70	7.35	8.49	9.43	11.76	14.71
20	4.73	4.36	4.36	4.64	4.61	4.81	4.36	4.36	4.54	4.71	4.83	4.75	4.48	4.72	5	5.26	5.84	6.70	7.35	8.49	9.43	11.76	14.71
25	4.73	4.36	4.36	4.64	4.61	4.81	4.36	4.36	4.54	4.71	4.83	4.75	4.48	4.72	5	5.26	5.84	6.70	7.35	8.49	9.43	11.76	14.71
30	4.73	4.36	4.36	4.64	4.61	4.81	4.36	4.36	4.54	4.71	4.83	4.75	4.48	4.72	5	5.26	5.84	6.70	7.35	8.49	9.43	11.76	14.71
35	4.73	4.36	4.36	4.64	4.61	4.81	4.36	4.36	4.54	4.71	4.83	4.75	4.48	4.72	5	5.26	5.84	6.70	7.35	8.49	9.43	11.76	14.71
40	4.73	4.36	4.36	4.64	4.61	4.81	4.36	4.36	4.54	4.71	4.83	4.75	4.48	4.72	5	5.26	5.84	6.70	7.35	8.49	9.43	11.76	14.71
45	4.73	4.36	4.36	4.64	4.61	4.81	4.36	4.36	4.54	4.71	4.83	4.75	4.48	4.72	5	5.26	5.84	6.70	7.35	8.49	9.43	11.76	14.71
50	4.73	4.36	4.36	4.64	4.61	4.81	4.36	4.36	4.54	4.71	4.83	4.75	4.48	4.72	5	5.26	5.84	6.70	7.35	8.49	9.43	11.76	14.71
55	4.73	4.36	4.36	4.64	4.61	4.81	4.36	4.36	4.54	4.71	4.83	4.75	4.48	4.72	5	5.26	5.84	6.70	7.35	8.49	9.43	11.76	14.71
60	4.73	4.36	4.36	4.64	4.61	4.81	4.36	4.36	4.54	4.71	4.83	4.75	4.48	4.72	5	5.26	5.84	6.70	7.35	8.49	9.43	11.76	14.71
65	4.73	4.36	4.36	4.64	4.61	4.81	4.36	4.36	4.54	4.71	4.83	4.75	4.48	4.72	5	5.26	5.84	6.70	7.35	8.49	9.43	11.76	14.71
70	4.73	4.36	4.36	4.64	4.61	4.81	4.36	4.36	4.54	4.71	4.83	4.75	4.48	4.72	5	5.26	5.84	6.70	7.35	8.49	9.43	11.76	14.71
75	4.73	4.36	4.36	4.64	4.61	4.81	4.36	4.36	4.54	4.71	4.83	4.75	4.48	4.72	5	5.26	5.84	6.70	7.35	8.49	9.43	11.76	14.71
80	4.73	4.36	4.36	4.64	4.61	4.81	4.36	4.36	4.54	4.71	4.83	4.75	4.48	4.72	5	5.26	5.84	6.70	7.35	8.49	9.43	11.76	14.71
85	4.73	4.36	4.36	4.64	4.61	4.81	4.36	4.36	4.54	4.71	4.83	4.75	4.48	4.72	5	5.26	5.84	6.70	7.35	8.49	9.43	11.76	14.71
90	4.73	4.36	4.36	4.64	4.61	4.81	4.36	4.36	4.54	4.71	4.83	4.75	4.48	4.72	5	5.26	5.84	6.70	7.35	8.49	9.43	11.76	14.71
95	4.73	4.36	4.36	4.64	4.61	4.81	4.36	4.36	4.54	4.71	4.83	4.75	4.48	4.72	5	5.26	5.84	6.70	7.35	8.49	9.43	11.76	14.71
100	4.73	4.36	4.36	4.64	4.61	4.81	4.36	4.36	4.54	4.71	4.83	4.75	4.48	4.72	5	5.26	5.84	6.70	7.35	8.49	9.43	11.76	14.71
125	4.73	4.36	4.36	4.64	4.61	4.81	4.36	4.36	4.54	4.71	4.83	4.75	4.48	4.72	5	5.26	5.84	6.70	7.35	8.49	9.43	11.76	14.71
150	4.73	4.36	4.36	4.64	4.61	4.81	4.36	4.36	4.54	4.71	4.83	4.75	4.48	4.72	5	5.26	5.84	6.70	7.35	8.49	9.43	11.76	14.71
175	4.73	4.36	4.36	4.64	4.61	4.81	4.36	4.36	4.54	4.71	4.83	4.75	4.48	4.72	5	5.26	5.84	6.70	7.35	8.49	9.43	11.76	14.71
200	4.73	4.36	4.36	4.64	4.61	4.81	4.36	4.36	4.54	4.71	4.83	4.75	4.48	4.72	5	5.26	5.84	6.70	7.35	8.49	9.43	11.76	14.71
250	4.73	4.36	4.36	4.64																			

ANEXO E: POTENCIA BÁSICA PARA BANDAS TRAPEZOIDALES TIPO B SKF

Power ratings Section B

Factor shaft speed	Rated power per belt for small pulley diameters (mm)									Additional power per belt for speed ratio				
	125	132	140	150	160	170	180	190	200	1.05 to 1.05	1.04 to 1.24	1.25 to 1.54	> 1.50	
n/min	kW													
100	0.41	0.51	0.56	0.63	0.69	0.75	0.81	0.87	0.93	0.99	0.02	0.04	0.04	0.05
200	0.84	1.02	1.10	1.24	1.35	1.47	1.59	1.69	1.79	1.89	0.04	0.08	0.08	0.10
300	1.26	1.53	1.63	1.86	2.01	2.17	2.30	2.41	2.51	2.61	0.06	0.12	0.12	0.15
400	1.68	2.04	2.16	2.52	2.70	2.89	3.07	3.24	3.40	3.56	0.08	0.16	0.16	0.20
500	2.10	2.57	2.70	3.18	3.40	3.61	3.81	3.99	4.17	4.34	0.10	0.20	0.20	0.25
600	2.52	3.09	3.23	3.84	4.10	4.33	4.54	4.72	4.89	5.06	0.12	0.24	0.24	0.30
700	2.94	3.59	3.74	4.46	4.75	5.00	5.21	5.39	5.56	5.73	0.14	0.28	0.28	0.35
800	3.36	4.11	4.27	5.08	5.40	5.66	5.88	6.05	6.22	6.39	0.16	0.32	0.32	0.40
900	3.78	4.62	4.79	5.70	6.05	6.32	6.55	6.72	6.89	7.06	0.18	0.36	0.36	0.45
1000	4.20	5.13	5.30	6.30	6.68	6.96	7.20	7.37	7.54	7.71	0.20	0.40	0.40	0.50
1100	4.62	5.64	5.82	6.90	7.31	7.60	7.84	8.01	8.18	8.35	0.22	0.44	0.44	0.55
1200	5.04	6.15	6.34	7.50	7.93	8.23	8.48	8.65	8.82	8.99	0.24	0.48	0.48	0.60
1300	5.46	6.66	6.86	8.10	8.55	8.86	9.12	9.29	9.46	9.63	0.26	0.52	0.52	0.65
1400	5.88	7.17	7.38	8.70	9.17	9.49	9.76	9.93	10.10	10.27	0.28	0.56	0.56	0.70
1500	6.30	7.68	7.90	9.30	9.79	10.12	10.40	10.57	10.74	10.91	0.30	0.60	0.60	0.75
1600	6.72	8.19	8.42	9.90	10.41	10.75	11.04	11.21	11.38	11.55	0.32	0.64	0.64	0.80
1700	7.14	8.70	8.94	10.50	11.03	11.38	11.68	11.85	12.02	12.19	0.34	0.68	0.68	0.85
1800	7.56	9.21	9.46	11.10	11.63	12.00	12.30	12.47	12.64	12.81	0.36	0.72	0.72	0.90
1900	7.98	9.72	9.98	11.70	12.25	12.62	12.93	13.10	13.27	13.44	0.38	0.76	0.76	0.95
2000	8.40	10.23	10.50	12.30	12.87	13.25	13.56	13.73	13.90	14.07	0.40	0.80	0.80	1.00
2200	9.24	11.15	11.43	13.50	14.13	14.52	14.84	15.01	15.18	15.35	0.44	0.88	0.88	1.10
2400	10.08	12.07	12.36	14.70	15.39	15.79	16.12	16.29	16.46	16.63	0.48	0.96	0.96	1.20
2600	10.92	12.99	13.29	15.90	16.65	17.06	17.40	17.57	17.74	17.91	0.52	1.04	1.04	1.30
2800	11.76	13.91	14.22	17.10	17.91	18.33	18.68	18.85	19.02	19.19	0.56	1.12	1.12	1.40
3000	12.60	14.83	15.15	18.30	19.17	19.60	20.00	20.17	20.34	20.51	0.60	1.20	1.20	1.50
3200	13.44	15.75	16.08	19.50	20.43	20.87	21.28	21.45	21.62	21.79	0.64	1.28	1.28	1.60
3400	14.28	16.67	17.01	20.70	21.69	22.14	22.56	22.73	22.90	23.07	0.68	1.36	1.36	1.70
3600	15.12	17.59	17.94	21.90	22.95	23.41	23.84	24.01	24.18	24.35	0.72	1.44	1.44	1.80
3800	15.96	18.51	18.87	23.10	24.21	24.68	25.12	25.29	25.46	25.63	0.76	1.52	1.52	1.90
4000	16.80	19.43	19.80	24.30	25.47	25.95	26.40	26.57	26.74	26.91	0.80	1.60	1.60	2.00
4200	17.64	20.35	20.72	25.50	26.73	27.22	27.66	27.83	28.00	28.17	0.84	1.68	1.68	2.10
4400	18.48	21.27	21.65	26.70	27.99	28.49	28.94	29.11	29.28	29.45	0.88	1.76	1.76	2.20
4600	19.32	22.19	22.57	27.90	29.25	29.76	30.20	30.37	30.54	30.71	0.92	1.84	1.84	2.30
4800	20.16	23.11	23.50	29.10	30.51	31.03	31.48	31.65	31.82	31.99	0.96	1.92	1.92	2.40
5000	21.00	24.03	24.42	30.30	31.77	32.30	32.76	32.93	33.10	33.27	1.00	2.00	2.00	2.50
5200	21.84	24.95	25.34	31.50	33.03	33.57	34.04	34.21	34.38	34.55	1.04	2.08	2.08	2.60
5400	22.68	25.87	26.26	32.70	34.29	34.84	35.32	35.49	35.66	35.83	1.08	2.16	2.16	2.70
5600	23.52	26.79	27.18	33.90	35.55	36.11	36.60	36.77	36.94	37.11	1.12	2.24	2.24	2.80
5800	24.36	27.71	28.10	35.10	36.81	37.38	37.88	38.05	38.22	38.39	1.16	2.32	2.32	2.90
6000	25.20	28.63	29.02	36.30	38.07	38.65	39.16	39.33	39.50	39.67	1.20	2.40	2.40	3.00
6200	26.04	29.55	29.94	37.50	39.33	39.92	40.44	40.61	40.78	40.95	1.24	2.48	2.48	3.10
6400	26.88	30.47	30.86	38.70	40.59	41.19	41.70	41.87	42.04	42.21	1.28	2.56	2.56	3.20
6600	27.72	31.39	31.78	39.90	41.85	42.46	43.00	43.17	43.34	43.51	1.32	2.64	2.64	3.30
6800	28.56	32.31	32.70	41.10	43.11	43.73	44.32	44.49	44.66	44.83	1.36	2.72	2.72	3.40
7000	29.40	33.23	33.62	42.30	44.37	45.00	45.62	45.79	45.96	46.13	1.40	2.80	2.80	3.50
7200	30.24	34.15	34.54	43.50	45.63	46.27	46.94	47.11	47.28	47.45	1.44	2.88	2.88	3.60
7400	31.08	35.07	35.46	44.70	46.89	47.54	48.22	48.39	48.56	48.73	1.48	2.96	2.96	3.70
7600	31.92	35.99	36.38	45.90	48.15	48.81	49.54	49.71	49.88	50.05	1.52	3.04	3.04	3.80
7800	32.76	36.91	37.30	47.10	49.41	50.08	50.82	50.99	51.16	51.33	1.56	3.12	3.12	3.90
8000	33.60	37.83	38.22	48.30	50.67	51.35	52.10	52.27	52.44	52.61	1.60	3.20	3.20	4.00
8200	34.44	38.75	39.14	49.50	51.93	52.62	53.36	53.53	53.70	53.87	1.64	3.28	3.28	4.10
8400	35.28	39.67	40.06	50.70	53.19	53.89	54.62	54.79	54.96	55.13	1.68	3.36	3.36	4.20
8600	36.12	40.59	40.98	51.90	54.45	55.16	55.90	56.07	56.24	56.41	1.72	3.44	3.44	4.30
8800	36.96	41.51	41.90	53.10	55.71	56.43	57.16	57.33	57.50	57.67	1.76	3.52	3.52	4.40
9000	37.80	42.43	42.82	54.30	56.97	57.70	58.42	58.59	58.76	58.93	1.80	3.60	3.60	4.50
9200	38.64	43.35	43.74	55.50	58.23	58.97	59.70	59.87	60.04	60.21	1.84	3.68	3.68	4.60
9400	39.48	44.27	44.66	56.70	59.49	60.24	60.98	61.15	61.32	61.49	1.88	3.76	3.76	4.70
9600	40.32	45.19	45.58	57.90	60.75	61.51	62.22	62.39	62.56	62.73	1.92	3.84	3.84	4.80
9800	41.16	46.11	46.50	59.10	62.01	62.78	63.50	63.67	63.84	64.01	1.96	3.92	3.92	4.90
10000	42.00	47.03	47.42	60.30	63.27	64.05	64.74	64.91	65.08	65.25	2.00	4.00	4.00	5.00

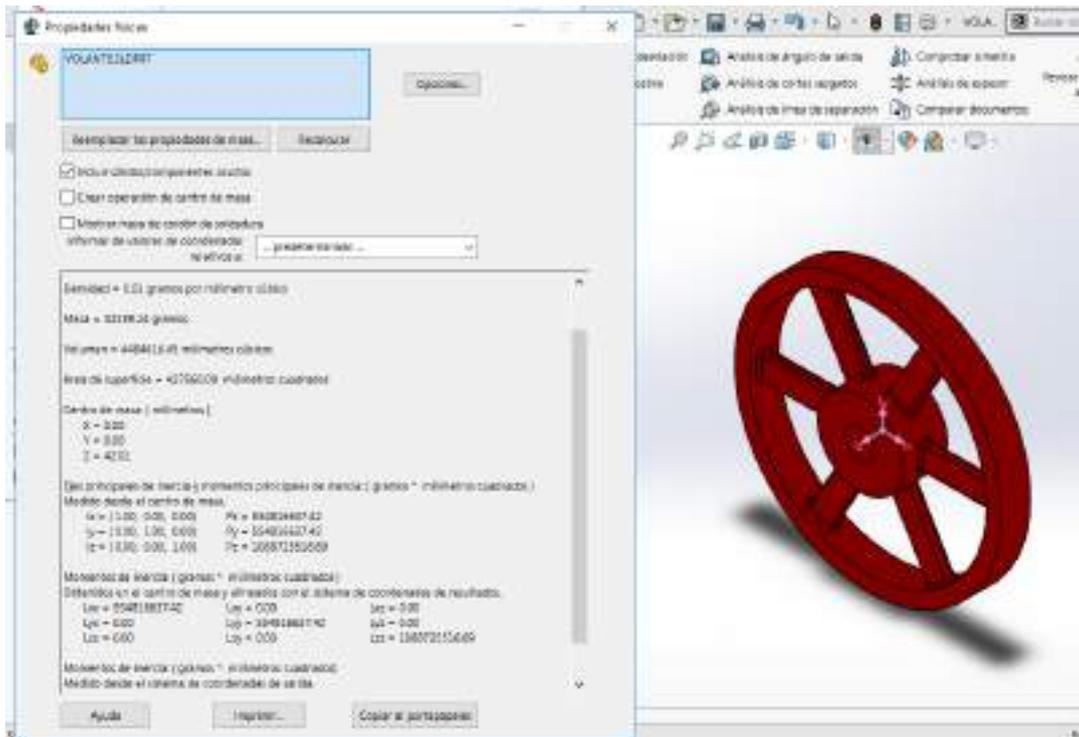
ANEXO H: COEFICIENTES DE FRICCIÓN EN CORREAS.

Tabla 17-2

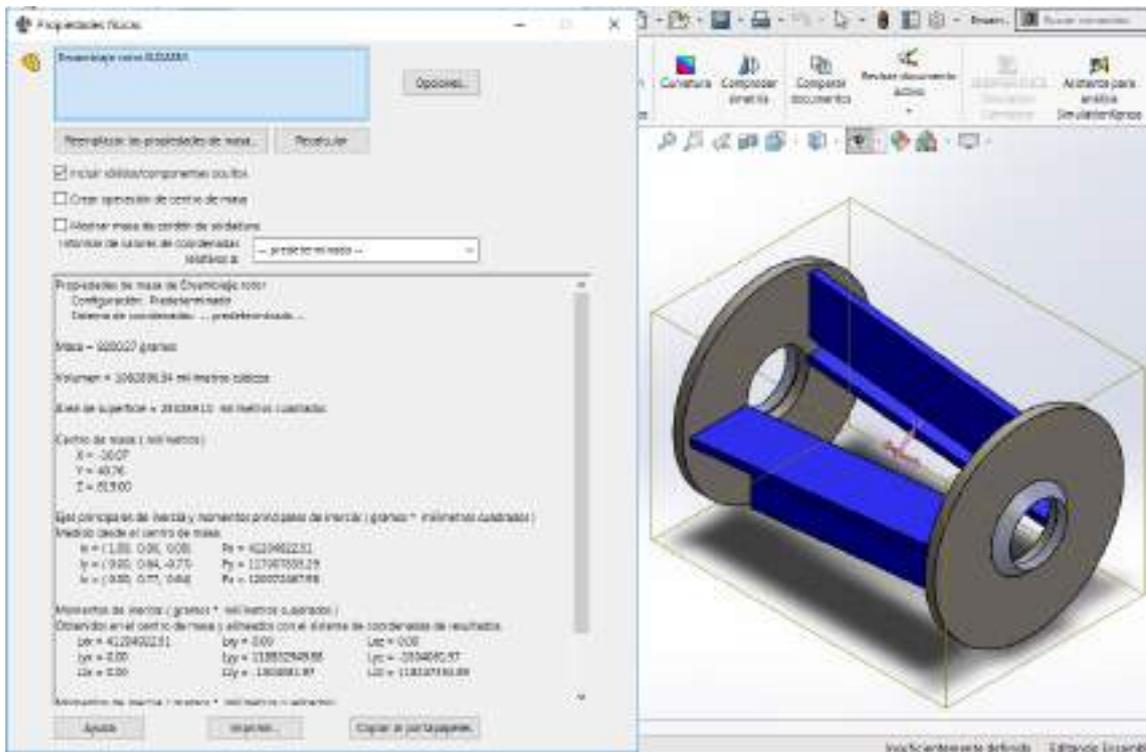
Propiedades de algunos materiales de las bandas planas y redondas. (Diámetro = d , espesor = t , ancho = w)

Material	Especificación	Tamaño, pulg	Diámetro mínimo de la polea, pulg	Tensión permisible por ancho unitario a 600 pies/mín, lbf/pulg	Peso específico, lbf/pulg ³	Coefficiente de fricción
Cuero	1 capa	$t = \frac{11}{32}$	3	30	0.035-0.045	0.4
		$t = \frac{13}{32}$	$3\frac{1}{2}$	33	0.035-0.045	0.4
	2 capas	$t = \frac{18}{32}$	$4\frac{1}{2}$	41	0.035-0.045	0.4
		$t = \frac{21}{32}$	6 ^a	50	0.035-0.045	0.4
		$t = \frac{23}{32}$	9 ^a	60	0.035-0.045	0.4
Poliamida ^b	F-0 ^c	$t = 0.03$	0.60	10	0.035	0.5
	F-1 ^c	$t = 0.05$	1.0	35	0.035	0.5
	F-2 ^c	$t = 0.07$	2.4	60	0.051	0.5
	A-2 ^c	$t = 0.11$	2.4	60	0.037	0.8
	A-3 ^c	$t = 0.13$	4.3	100	0.042	0.8
	A-4 ^c	$t = 0.20$	9.5	175	0.039	0.8
	A-5 ^c	$t = 0.25$	13.5	125	0.039	0.8
Ureano ^d	$w = 0.50$	$t = 0.062$	Ver	5.2 ^e	0.038-0.045	0.7
		$t = 0.078$	la tabla	9.8 ^e	0.038-0.045	0.7
		$t = 0.090$	17.3	18.9 ^e	0.038-0.045	0.7
	Redonda	$d = \frac{1}{8}$	Ver	8.3 ^e	0.038-0.045	0.7
		$d = \frac{3}{16}$	la tabla	18.6 ^e	0.038-0.045	0.7
		$d = \frac{1}{2}$	17.3	33.6 ^e	0.038-0.045	0.7
		$d = \frac{3}{4}$		74.3 ^e	0.038-0.045	0.7

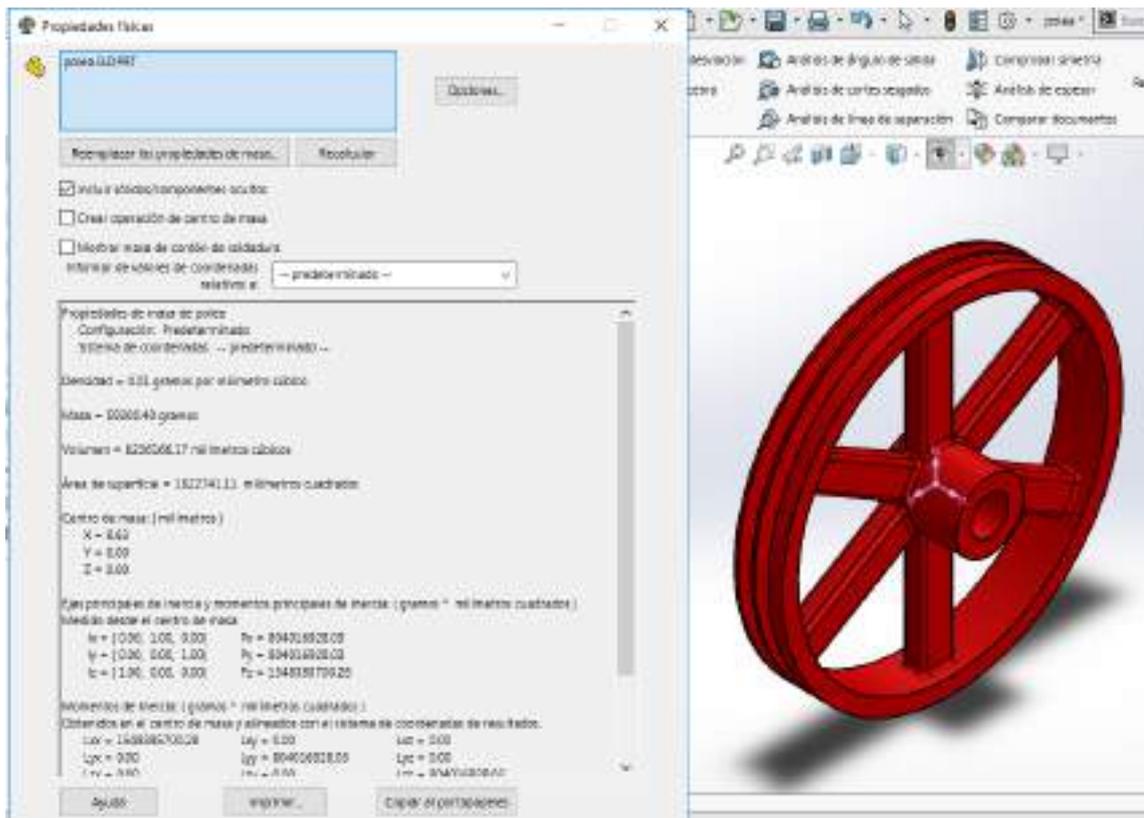
ANEXO I: PROPIEDADES FÍSICAS DEL VOLANTE DE INERCIA



ANEXO J: PROPIEDADES FÍSICAS DEL ROTOR



ANEXO K: PROPIEDADES FÍSICAS DE LA POLEA



ANEXO L: CATÁLOGO DE TUBO CUADRADO DIPAC

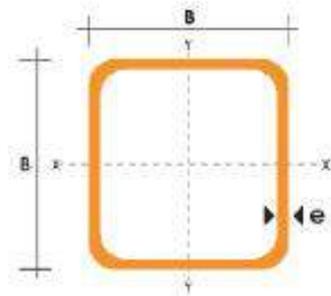
TUBO ESTRUCTURAL CUADRADO

Especificaciones Generales

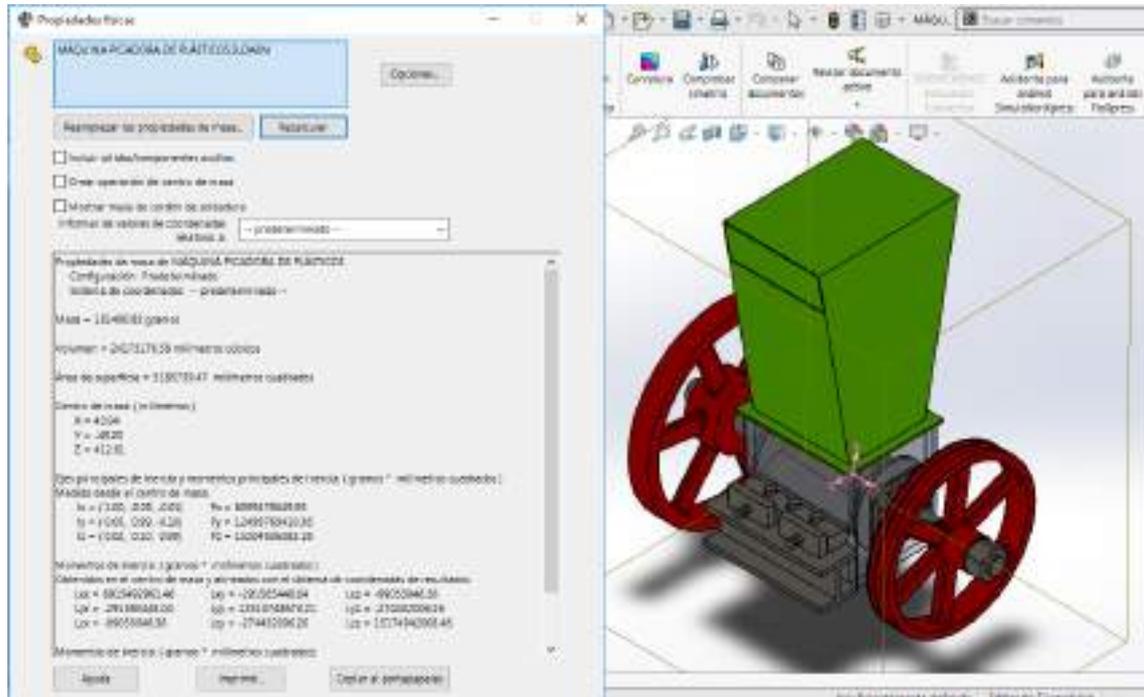
Norma	ASTM A-500
Recubrimiento	Negro o galvanizado
Largo normal	6.00m
Otros largos	Previa Consulta
Dimensiones	Desde 20.00mm a 100.00mm
Espesor	Desde 2.00mm a 3.00mm



DIMENSIONES			AREA	EJES X-Xe Y-Y		
A	ESPESOR	PESO	AREA	I	W	i
mm	mm	Kg/m	cm ²	cm ⁴	cm ³	cm
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	1,06	0,87	0,97
25	1,5	1,12	1,35	1,21	0,97	0,95
25	2,0	1,47	1,74	1,46	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
40	3,0	3,54	4,44	10,20	5,10	1,52
50	1,5	2,29	2,85	11,06	4,42	1,97
50	2,0	3,03	3,74	14,13	5,65	1,94
50	3,0	4,48	5,61	21,20	8,48	1,91
60	2,0	3,66	3,74	21,26	7,09	2,39
60	3,0	5,42	6,61	35,06	11,69	2,34
75	2,0	4,52	5,74	60,47	13,46	2,97
75	3,0	6,71	8,41	71,54	19,08	2,92
75	4,0	8,59	10,95	89,98	24,00	2,87
100	2,0	6,17	7,74	122,99	24,60	3,99
100	3,0	9,17	11,41	176,95	35,39	3,94
100	4,0	12,13	14,95	225,09	45,22	3,89
100	5,0	14,40	18,36	270,57	54,11	3,84



ANEXO M: PESO DE LA MÁQUINA TRITURADORA CON EL SOFTWARE SOLIDWORKS



ANEXO N: COMBINACIONES DE CARGAS PARA EL ANÁLISIS DE UNA ESTRUCTURA
BAJO LA NORMA NEC-SE-CG

3.4.3. Combinación para el diseño por última resistencia

a. Combinaciones básicas

Cuando sea apropiado, se deberá investigar cada estado límite de resistencia. Los efectos más desfavorables, tanto de viento como de sismo, no necesitan ser considerados simultáneamente.

Las estructuras, componentes y cimentaciones, deberán ser diseñadas de tal manera que la resistencia de diseño iguale o exceda los efectos de las cargas incrementadas, de acuerdo a las siguientes combinaciones:

Combinación 1

1.4 D

Combinación 2

1.2 D + 1.6 L + 0.5 max[L_r ; S ; R]

Combinación 3*

1.2 D + 1.6 max[L_r ; S ; R] + max[L ; 0.5W]

Combinación 4*

1.2 D + 1.0 W + L + 0.5 max[L_r ; S ; R]

Combinación 5*

1.2 D + 1.0 E + L + 0.2 S

Combinación 6

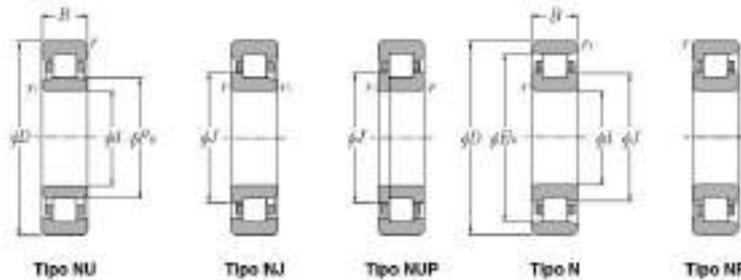
0.9 D + 1.0 W

Combinación 7

0.9 D + 1.0 E

ANEXO O: PROPIEDADES TÉCNICAS DE LOS RODAMIENTOS DE LA MÁQUINA.

● Rodamientos de Rodillos Cilíndricos



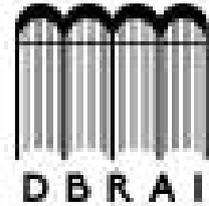
45 ~ 60mm

d	Dimensiones principales			Capacidad básica de carga				Velocidades límites ¹⁾		Número de rodamientos ²⁾				
	D	B	r _{max} ³⁾	C _{dinámica}	C _{estática}	C _{dinámica}	C _{estática}	grasa	aceite	tipo NU	tipo NJ	tipo NUP	tipo N	
45	75	16	1	0.6	31.0	34.0	3 200	3 450	9 900	12 000	NU1009	NJ	NUP	N
	85	19	1.1	1.1	46.0	47.0	4 700	4 800	8 400	9 900	NU209	NJ	NUP	N
	85	19	1.1	1.1	63.0	66.5	6 450	6 800	7 600	9 000	NU209E	NJ	NUP	—
	85	23	1.1	1.1	61.5	68.0	6 250	6 900	7 600	9 000	NU2209	NJ	NUP	N
	85	23	1.1	1.1	76.0	84.5	7 750	8 000	6 800	8 000	NU2209E	NJ	NUP	—
	100	25	1.5	1.5	74.0	71.0	7 650	7 250	7 200	8 400	NU309	NJ	NUP	N
	100	25	1.5	1.5	97.5	96.5	9 950	10 000	6 500	7 600	NU309E	NJ	NUP	—
	100	36	1.5	1.5	99.0	104	10 100	10 600	6 300	7 400	NU2309	NJ	NUP	N
	100	38	1.5	1.5	137	153	14 000	15 600	5 700	6 800	NU2309E	NJ	NUP	—
120	29	2	2	107	102	10 900	10 400	5 100	6 000	NU409	NJ	NUP	N	
50	80	16	1	0.6	32.0	36.0	3 300	3 700	8 900	11 000	NU1010	NJ	NUP	N
	90	20	1.1	1.1	48.0	51.0	4 900	5 200	7 600	9 000	NU210	NJ	NUP	N
	90	20	1.1	1.1	66.0	72.0	6 750	7 350	6 900	8 100	NU210E	NJ	NUP	—
	90	23	1.1	1.1	64.0	73.5	6 550	7 500	6 900	8 100	NU2210	NJ	NUP	N
	90	23	1.1	1.1	79.5	91.5	8 100	9 350	6 200	7 300	NU2210E	NJ	NUP	—
	110	27	2	2	87.0	86.0	8 850	8 800	6 500	7 700	NU310	NJ	NUP	N
	110	27	2	2	110	113	11 200	11 500	5 900	6 900	NU310E	NJ	NUP	—
	110	40	2	2	121	131	12 300	13 400	5 700	6 700	NU2310	NJ	NUP	N
	110	40	2	2	163	187	16 800	19 000	5 200	6 100	NU2310E	NJ	NUP	—
130	31	2.1	2.1	129	124	13 200	12 600	4 700	5 500	NU410	NJ	NUP	N	
55	90	18	1.1	1	37.5	44.0	3 850	4 400	8 200	9 700	NU1011	NJ	NUP	N
	100	21	1.5	1.1	58.0	62.5	5 900	6 350	6 900	8 200	NU211	NJ	NUP	N
	100	21	1.5	1.1	82.5	93.0	8 400	9 500	6 300	7 400	NU211E	NJ	NUP	—
	100	25	1.5	1.1	75.5	87.0	7 700	8 900	6 300	7 400	NU2211	NJ	NUP	N
	100	25	1.5	1.1	97.0	114	9 800	11 700	5 600	6 800	NU2211E	NJ	NUP	—
	120	29	2	2	111	111	11 300	11 400	5 900	7 000	NU311	NJ	NUP	N
	120	29	2	2	137	143	14 000	14 600	5 300	6 300	NU311E	NJ	NUP	—
	120	43	2	2	148	162	15 100	16 500	5 200	6 100	NU2311	NJ	NUP	N
	120	43	2	2	201	233	20 500	23 600	4 700	5 600	NU2311E	NJ	NUP	—
140	33	2.1	2.1	139	138	14 200	14 100	4 300	5 000	NU411	NJ	NUP	N	
60	95	18	1.1	1	40.0	48.5	4 100	4 650	7 500	8 800	NU1012	NJ	NUP	N
	110	22	1.5	1.5	68.5	75.0	7 000	7 650	6 400	7 600	NU212	NJ	NUP	N
	110	22	1.5	1.5	97.5	107	9 950	10 900	5 800	6 800	NU212E	NJ	NUP	—
	110	28	1.5	1.5	96.0	116	9 800	11 800	5 800	6 800	NU2212	NJ	NUP	N

1) Este valor se logra con jaulas metálicas, si usar jaulas plásticas, edlo el 40% del mismo es aceptable.
 2) La producción se controló al tipo E solamente para aquellas referencias para las cuales no hay una forma estándar.
 3) Dimensión mínima permitida para el chafán r₀.



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE
CHIMBORAZO
DIRECCIÓN DE BIBLIOTECAS Y RECURSOS
PARA EL APRENDIZAJE Y LA INVESTIGACIÓN**



**UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS
REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA**

Fecha de entrega: 15 / 12 / 2020

INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S)

Nombres – Apellidos: María Fernanda Silva Castelo
Santiago Fabian Pilco Paguay

INFORMACIÓN INSTITUCIONAL

Facultad: Mecánica

Carrera: Ingeniería Mecánica

Título a optar: Ingeniero Mecánico

f. Analista de Bibliotecas responsable: Ing. CPA. Jonathan Rodrigo Parraño Uquillas. MBA.



ANALISTA DE BIBLIOTECAS RESPONSABLE
JONATHAN RODRIGO
PARRAÑO UQUILLAS



15-12-2020

0393-DBRAI-UPT-2020