

UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK

Facultad de Arquitectura e Ingeniería

Ingeniería Mecánica Automotriz

Diseño de una maquina trituradora de plástico para la comunidad de Limoncocha, provincia de  
Sucumbíos-Ecuador

Nota del autor

Diego Alexander Hidalgo Sánchez, Facultad de Arquitectura e Ingeniería, Universidad  
Internacional SEK.

Director Ing. Jaime Molina, MSc.

Cualquier correspondencia concerniente a este trabajo puede dirigirse a:

[dahidalgo.mec@uisek.edu.ec](mailto:dahidalgo.mec@uisek.edu.ec)

## **Declaración Juramentada**

Yo, Diego Alexander Hidalgo Sánchez, con cédula de identidad 1722625835, declaro bajo juramento que el trabajo aquí desarrollado es de mi autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado a calificación profesional; y que se ha consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración, cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su reglamento y por la normativa institucional vigente.

**DIEGO ALEXANDER HIDALGO SANCHEZ**

C.I.: 1722625835-5

# Contenido

Resumen.....	8
Introducción .....	9
Antecedentes.....	9
Planteamiento del Problema .....	11
Justificación .....	12
Aspecto Ambiental.....	12
Aspecto Económico .....	13
Aspecto Técnico.....	13
Objetivos.....	13
Objetivo general.....	13
Objetivos específicos .....	13
Hipótesis .....	14
Estado del Arte.....	14
Metodología .....	20
Tipo de estudio y Modalidad de investigación .....	20
Método .....	21
Casa de la calidad o Quality Function Deployment (QFD) .....	21
La voz del usuario.....	22
Análisis de competencia .....	23
La voz del ingeniero.....	26
Correlaciones .....	27
Comparación técnica.....	27
Compromisos técnicos .....	28
Matriz casa de la calidad.....	29
Población y muestra.....	30
Selección de Instrumentos de Investigación .....	30
Observación .....	30
Encuesta .....	31
Título del cuestionario: .....	31
Validez y confiabilidad de los instrumentos .....	33
Materiales y equipos .....	33

Diseño e Implementación .....	34
Capacidad.....	34
Diseño .....	36
Diseño Conceptual .....	37
Alternativa I. Trituración de dos ejes giratorios. ....	37
Alternativa II. Trituración a partir cuchillas desfasadas en un eje.....	38
Alternativa III. Trituración a partir cuchillas cortadoras rotatorias. ....	38
Selección de Alternativa. ....	39
Fuerza de corte.....	40
Selección de Cuchillas. ....	43
Soporte de Cuchillas. ....	46
Selección del Motor. ....	46
Selección de Bandas y Poleas. ....	49
Diseño y cálculo del eje. ....	57
Selección de Cuñas. ....	69
Selección de Rodamientos. ....	70
Carcasa.....	73
Tolva .....	73
Estructura base .....	74
Simulación Estructural.....	75
Simulación de Esfuerzos en la Estructura base.....	75
Resultados de la Simulación de Esfuerzos en la Estructura Base.....	81
Simulación de esfuerzos en el Eje .....	90
Resultados del Eje.....	91
Conclusiones .....	94
Recomendaciones .....	95
Anexo 1 .....	96

## Índice de figuras

Figura 1 Reciclado de PET .....	16
Figura 2 Propiedades del Polietileno de Tereftalato I.....	18
Figura 3. Propiedades del Polietileno de Tereftalato II .....	19
Figura 4. Código de identificación (SPI) .....	20
Figura 5. QFD Matriz Casa de la Calidad.....	29
Figura 6.Tipo de material plástico utilizado .....	34
Figura 7. Cantidad de material plástico utilizado .....	35
Figura 8. Envase 1/2 litro Parras.....	35
Figura 9.Trituradora doble eje .....	37
Figura 10. Triturador de un eje con cuchillas desfasadas. ....	38
Figura 11. Trituradora de cuchillas rotatorias.....	39
Figura 12. Características Técnicas Botella 2 Litros P.T.....	41
Figura 13. Esquema de Funcionamiento Básico.....	41
Figura 14. Ángulos de cizallamiento .....	42
Figura 15. Tipos de Acero y Composición Química .....	44
Figura 16. Cuchillas industriales, forma geométrica .....	45
Figura 17. Angulo de Corte de Cuchilla .....	45
Figura 18. Esquema Básico de Corte .....	47
Figura 19. Selección de secciones de bandas en V estándar.....	50
Figura 20. Factor de servicio .....	51
Figura 21.Potencia H <sub>tab</sub> nominal .....	52
Figura 22. Circunferencias de bandas en V .....	53
Figura 23.Longitud de paso .....	53
Figura 24. Factor de corrección .....	55
Figura 25. Factor de corrección K <sub>2</sub> .....	55
Figura 26. Boceto de Cargas en el Eje.....	57
Figura 27. Diagrama de Cuerpo Libre .....	58
Figura 28. Diagrama Fuerza Cortante X-Y.....	60
Figura 29. Diagrama Momento Flector X-Y .....	61
Figura 30. Diagrama Fuerza Cortante X-Z.....	61
Figura 31. Diagrama Momento Flector X-Z.....	62
Figura 32. Propiedades de los Aceros.....	63
Figura 33. Factores de Concentración de Esfuerzos.....	64
Figura 34. Factor de Condición Superficial.....	64
Figura 35. Factor de Confiabilidad .....	65
Figura 36. Tamaño de Cuñas .....	70
Figura 37. Horas de Trabajo Sugeridas SNR Rodamientos.....	71
Figura 38. Geometría de la Carcasa.....	73
Figura 39. Tolva Mixta .....	74
Figura 40. Perfil Estructural CPS, Perfil en C 3 x 4.1 .....	74
Figura 41. Fuerza 1 aplicada en la estructura marcada de color celeste.....	77
Figura 42. Fuerza 2 aplicada en la estructura marcada de color celeste .....	78

Figura 43. Momento aplicado en la estructura marcada de color celeste .....	79
Figura 44. Fuerza 3 aplicada en la estructura marcada de color celeste .....	80
Figura 45. Fuerza 4 aplicada en la estructura marcada de color celeste .....	81
Figura 46. Desplazamiento máximo a carga máxima .....	82
Figura 47. Fuerza en el eje X .....	83
Figura 48. Fuerza en el eje Y .....	84
Figura 49. Fuerza en el eje Z .....	84
Figura 50. Momento en el eje X .....	85
Figura 51. Momento en el eje Y .....	86
Figura 52. Momento en el eje Z.....	86
Figura 53. Tensión normal $S_{max}$ .....	87
Figura 54. Tensión normal $S_{min}$ .....	88
Figura 55. Tensión de corte ( $T_x$ ) .....	88
Figura 56. . Tensión de corte ( $T_y$ ) .....	89
Figura 57. Tensión de Torsión ( $T$ ).....	90
Figura 58. Tensión de Von Mises .....	92
Figura 59. Desplazamiento máximo que podría sufrir el eje .....	93
Figura 60. Tasa de convergencia .....	93

Tabla 1 .....	28
Tabla 2. ....	36
Tabla 3. ....	40
Tabla 4. ....	40
Tabla 5. ....	75
Tabla 6. ....	75
Tabla 7. ....	76
Tabla 8. ....	77
Tabla 9. ....	78
Tabla 10. ....	79
Tabla 11. ....	80
Tabla 12. ....	81
Tabla 13. ....	82
Tabla 14. ....	90
Tabla 15. ....	91
Tabla 16. ....	92

## Resumen

El propósito de esta investigación es diseñar una máquina trituradora de plástico mediante software de simulación mecánica para el procesamiento de desechos plásticos en la comunidad de Limoncocha provincia de Sucumbíos, Ecuador.

En un comienzo se realizó una exhaustiva investigación de información, datos y características de diseños de máquinas trituradoras de plástico PET hechos para distintas aplicaciones y de esta manera recopilar algunos requerimientos y parámetros que permitan llevar a cabo el presente trabajo dirigido para la comunidad de Limoncocha situada en la provincia de sucumbíos en Ecuador.

Posterior a esto se utilizó la matriz casa de la calidad (QFD) como medio de extracción de datos necesarios para realizar un diseño correcto y con estos requerimientos utilizar el método de diseño concurrente para seleccionar una alternativa de diseño correcta para la aplicación necesitada.

Se escogió realizar el diseño de una trituradora de cuchillas cortadoras rotatorias, a partir de esto se realizó el diseño conceptual y el detallado de cada componente de la maquina trituradora, se realizó la simulación de esfuerzos de los elementos más críticos que componen la máquina que son la estructura y el eje que sostiene las cuchillas para comprobar el correcto funcionamiento cuando el conjunto está sometido a las distintas cargas, teniendo como resultado una confiabilidad muy alta de los elementos en mención asegurando que no van a tener ningún problema cuando la máquina esté en funcionamiento.

Palabras clave: Requerimientos, diseño, PET, máquina, trituradora.

## **Introducción**

### **Antecedentes**

Uno de los problemas más trascendentales del planeta a lo largo del tiempo ha sido el manejo de desechos provocando problemas de contaminación, el cual ha afectado a seres vivos y al ambiente en general, hablando del plástico en general se sabe que no se degrada fácilmente solo se fragmenta en pedazos más pequeños a medida que pasa el tiempo, según (Prado et al., 2019) el plástico tiene un tiempo de degradación aproximadamente de 200 a 1000 años cuando este se encuentra en el medio ambiente.

A partir de esto aparece el pensamiento de la reutilización de materiales llamada también reciclaje, (Pablo et al., 2015) como tal tubo origen aproximadamente en el siglo 400 A.C., es decir que el hombre ha obtenido a lo largo del tiempo certeza del reciclaje, pero en realidad se comenzó a realizar este proceso de una mejor manera una vez culminada la segunda Guerra mundial y hoy en día uno de los materiales con mayor incidencia en la contaminación son los productos que toman como materia prima el plástico ya que estos no se degradan tan cómodamente en comparación con otros materiales como madera, papel, etc.

Alrededor del planeta el hombre hace uso de una gran cantidad de productos plásticos por su gran versatilidad y como consecuencia de su uso diario se busca nuevas formas de reciclaje, apareciendo las maquinas trituradas de plástico para su procesamiento, las cuales están diseñadas teniendo en cuenta varios factores como son: el tipo de plástico que se va a colocar en la máquina, el volumen de plástico que va a procesarse, el lugar donde va a trabajar la máquina, entre otras.

En los últimos años se han desarrollado distintos estudios para el diseño de máquinas trituradoras de plástico con variadas metodologías, así como muchas aplicaciones para la misma, en una ellas (Prado et al., 2019) en su artículo titulado “Construcción de una maquina trituradora de plástico” muestra una alternativa de una posible solución a la contaminación producida por los productos no degradables en mención, dando un enfoque cuantitativo experimental realizándose para la región La Libertad en Perú, obteniendo como resultado un prototipo automatizado de una maquina trituradora de plástico que en específico tritura el plástico tereftalato de polietileno mediante un software de simulación mecánica-eléctrica promoviendo la innovación tecnológica.

En otro caso Omar Sánchez Vargas, (2015), en su investigación titulada “ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA APLICACIÓN DE UNA MÁQUINA TRITURADORA DE PLÁSTICO EN LA EMPRESA MG GESTORES AMBIENTALES”, la misma que tiene un enfoque cuantitativo no experimental y tuvo lugar en la ciudad de Guayaquil provincia de Guayas-Ecuador teniendo como objetivo la determinación de factibilidad de la máquina para la empresa mencionada priorizando la voz de sus clientes para el aporte de datos para el diseño en cuestión, y para alcanzar estos datos se utilizaron instrumentos como el cuestionario para realizar encuestas obteniendo como resultados la duplicación de rentabilidad de la empresa haciendo que su utilidad también vaya creciendo.

A nivel regional en México (García et al., 2015), en su artículo titulado “Diseño y prototipo de una maquina trituradora de PET”, tiene por objetivo la entrega de materia prima de PET por su alta demanda en México tanto a nivel nacional como en Distrito Federal lo cual conlleva a hacer un estudio con enfoque cuantitativo-experimental para dimensionar la maquina

trituradora obteniendo como producto final un prototipo eficiente que cumple con las demandas de producción.

## **Planteamiento del Problema**

Desde hace mucho tiempo la contaminación a nivel mundial debido al plástico ha sido un problema muy grande para el ambiente en general flora, fauna produciendo diversos efectos destructivos para el planeta, ya que por su composición química este material no desaparece de manera completa solo va reduciendo su tamaño, como se puede ver en datos del artículo científico de (Ocampo, 2019) titulado “Plásticos en los océanos” para la revista INC y TU, asegura que alrededor del planeta tierra se crean 300 millones de toneladas de desperdicios de origen plástico al año, lo cual equivale al peso de todos los seres humanos existentes y lastimosamente de esta cantidad solo se recicla un 9% dañando no solo cuerpos de agua, como son ríos o lagos, sino también en la tierra contaminando suelos y transportarse en el viento, al ser partículas tan diminutas estas pueden ser inhaladas produciendo enfermedades.

A nivel regional, en México hay cifras acerca de la contaminación que resaltan como precios, datos estadísticos:

- Los plásticos no desaparecen por completo, solo se fragmentan en piezas más pequeñas, que en el mar llegan a profundidades de hasta 10 mil metros.

(Ocampo, 2019,p 1)

Por este motivo se puede ver que el plástico contribuye a la contaminación de océanos también específicamente el Océano Pacífico y provocando que se busquen alternativas de reciclaje en las distintas zonas del país en mención.

A nivel local en Ecuador, (Torres et al., 2018) en su artículo titulado “Alternativa producción de material reciclado PET en la ciudad de Ibarra, Ecuador” la contaminación surge de todo material inservible, y este aparece de la actividad del ser humano aumentando de manera gradual a lo largo del tiempo ocasionando problemas para el entorno.

El Instituto Ecuatoriano de Estadísticas y Censos expresa que, al transcurrir del 2016, el 42 % de desperdicios en todo el país son de tipo inorgánicos, de los cuales en un 10.7% equivalen a material plástico, siendo posicionado justo detrás del valor más alto de residuos de tipo orgánico que representan el 58% del total. (INEC, 2018).

Como respuesta a esta contaminación aparece el reciclaje del material plástico involucrando planes de recolección y tratamiento residual que permitirán disminuir esta problemática realizando actividades preventivas, correctivas, una de estas alternativas en específico para los plásticos es su tratamiento comenzado por la trituración del mismo con el objetivo de reutilizarlos en otras actividades y aplicaciones.

## **Justificación**

### **Aspecto Ambiental**

El polietileno de tereftalato es un tipo de plástico maleable cuando es sometido a cierta temperatura también conocido como termoplástico, los cuales son utilizados para distintas aplicaciones, en específico para elaborar botellas de diferentes tamaños para las bebidas, las mismas que toman varios cientos de años para que se degraden produciendo desperdicios tóxicos para el ambiente flora y fauna, incidiendo de manera.

## **Aspecto Económico**

En este lugar no se cuenta con ninguna herramienta para realizar el procesamiento de este material, por lo cual se pretende crear un mecanismo que facilite el mencionado procesamiento brindando una fuente de ingresos extra para la comunidad.

## **Aspecto Técnico**

Por ello en base a un instrumento de investigación como es el cuestionario se realizó una encuesta a una muestra de la población de Limoncocha Sucumbíos, Ecuador contabilizando el flujo de plástico utilizado en la comunidad para crear un diseño que a base de cálculos ingenieriles cumpla adecuadamente con las necesidades requeridas para realizar un reciclado optimo del material.

## **Objetivos**

### **Objetivo general**

Diseñar una maquina trituradora de plástico mediante software de simulación mecánica para el procesamiento de desechos plásticos en la comunidad de Limoncocha provincia de Sucumbíos, Ecuador.

### **Objetivos específicos**

- Identificar las necesidades de la comunidad de Limoncocha Sucumbíos, Ecuador, aplicando encuestas y recopilando la mayor cantidad de información para el diseño de la maquina bajo los estándares y normativa nacional.

- Obtener una alternativa adecuada de solución para la problemática por medio de un proceso de selección competente, cumpliendo con las características de diseño para un producto de calidad.
- Dimensionar la máquina trituradora de plástico empleando cálculos de ingeniería y una metodología de diseño apropiada para un resultado óptimo y satisfactorio.
- Simular el comportamiento de los elementos críticos de la máquina trituradora de plástico por medio del software Inventor para tener un diseño seguro.

### **Hipótesis**

El diseño de una máquina trituradora de plástico para la comunidad de Limoncocha provincia de Sucumbíos, Ecuador determina un cambio drástico en el procesamiento de material plásticos y una mejora en la implementación del reciclaje.

### **Estado del Arte**

En la presente investigación es necesario desarrollar diversos pasos ir construyendo el conocimiento y afianzar la problemática en cuestión, y en consecuencia de esto, en este apartado se desarrolla un seguimiento investigaciones previas que tratan el proceso de diseño de una máquina trituradora de plástico para el tratamiento de desechos plásticos, que poseen distintos enfoques y aplicaciones.

En la investigación de grado de (Cajusol, 2020) titulada "Diseño de una Máquina Trituradora de Botellas de Plástico de 25 kg/h para la empresa recicladora "BRAVO"- Tucume, Lambayeque" la cual realizó el diseño de una máquina trituradora de 25 Kg/h recopilando datos técnicos o parámetros de diseño, como son potencia del motor, ejes porta cuchillas, cuchillas y

su velocidad, transmisión de fuerza, cantidad de Kg/h de materia prima (plástico), los cuales fueron obtenidos por medio de un instrumento de investigación como es el cuestionario, finalmente el sistema de seguridad además, este diseño se utilizó la Norma ISO 15270 y la Norma Europea ES 15348, como resultado se entregó una solución que cumple con los requerimientos de la empresa, tomando como elemento crítico el eje porta cuchillas dando como diámetro nominal de 1 ¼ ” tomando como material base un acero AISI 1045 con un factor de seguridad de 3, por tal motivo en la investigación en desarrollo se tomará de referencia varios puntos específicos como el instrumento del cuestionario para la recopilación de datos de los requerimientos de la población de Limoncocha, así como la recomendación del material base AISI 1045 para la fabricación del eje y las normas a aplicarse.

(García et al., 2015) en su artículo titulado “Diseño y prototipo de una máquina trituradora de PET” habla en un inicio acerca de la historia del material plástico (Polietileno de Tereftalato) diciendo que tuvo origen a partir de la búsqueda de un reemplazo para el algodón y que inició la producción de envases con esta materia prima en la década del año setenta produciendo problemas de contaminación por su prolongado tiempo de degradación, posteriormente se habla que el plástico en cuestión puede ser reutilizado por medio del reciclaje a través del proceso de triturado disminuyendo el tamaño del PET para convertirlos en productos de uso cotidiano y teniendo como principales partes de la maquina trituradora un motor que tiene como potencia 1 HP, un cortador tipo navaja construido en ACERO SISA A2, dos ejes críticos que sostienen las navajas, un sistema de transmisión de fuerzas constituido por un par de bandas y poleas o engranajes, por tal motivo en la investigación en desarrollo se tomará de referencia varios puntos específicos como las alternativas de los sistemas de transmisión de fuerza como

pueden ser los engranajes o las poleas, también se revisara el tipo de cortador de navaja para elegir el material más adecuado.

En la investigación de (Bolaños Zea, 2019) titulada “Reciclado de Plástico PET”, la cual habla del problema que produce el material plástico en el medio ambiente afectando en la actualidad abordando temas económicos, sociales, como se muestra en el mapa mental que se muestra en la figura 1, además tiene como objetivo el investigar procesos de tratamiento del Polietileno de Tereftalato planteando distintas maneras de reciclarlo teniendo en cuenta factores tecnológicos y de innovación en la industria identificando el reciclaje de tipo mecánico, químico, energético para lograr implementar una propuesta de implementación para el tratamiento del material en cuestión, por tal motivo en la investigación en desarrollo se tomará de referencia varios puntos específicos como el tipo de reciclaje mecánico para el tratamiento del PET es decir la utilización de un sistema de cuchillas, teniendo en cuenta sus propiedades químicas y físicas para determinar la fuerza a usarse en el sistema.

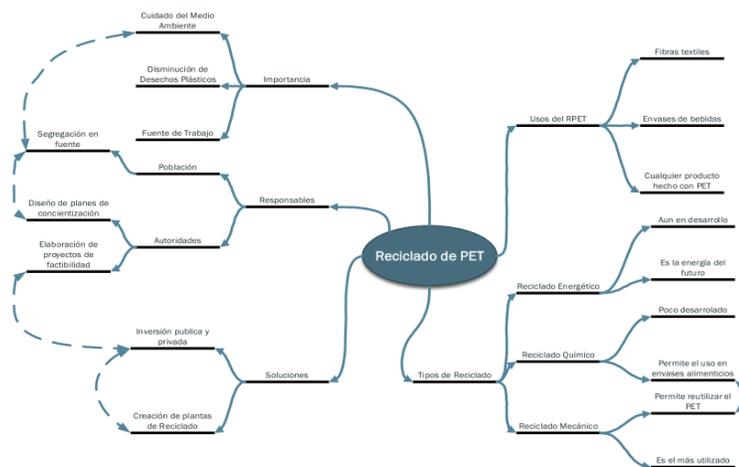


Figura 1 Reciclado de PET

Fuente: (Bolaños Zea, 2019)

(Silva, 2017) en su investigación titulada “Diseño de Máquina Trituradora y Acumuladora de Plástico PET, para Lugares Públicos y Centros de Acopio” la cual se desarrolló en Chile, habla del problema que existe para tratar los desechos sólidos que se producen a nivel nacional y más aún para reciclar los distintos tipos de materiales, asegurando que el plástico es uno de los materiales menos reciclados en este país, es por ello que se toma como objetivo entregar una alternativa de reciclaje de plástico para la población en sitios públicos para aprovechar de mejor manera esta materia prima y poderla reutilizar tomando en cuenta la incidencia de las propiedades física-químicas del material, la normativa vigente y la seguridad de las personas que van a emplearlo de tal manera que esta máquina se pueda modelar un software de trabajo en tercera dimensión, por tal motivo en la investigación en desarrollo se tomará de referencia varios puntos específicos como es la determinación del volumen específico de materia prima con la cual se va a trabajar cada día y la utilización de un software de modelación para simular los esfuerzos a los cuales van a estar sometidos los elementos mecánicos de la trituradora.

En la investigación de (Vela Rojas et al., 2018) titulada “Diseño y Construcción de Prototipo de Trituración para PET Análisis Sistemático de Literatura” desarrollada para la Universidad Cooperativa de Colombia, habla de los problemas que causa el PET y en específico en la universidad en mención proponiendo buscar una alternativa para la reutilización del plástico dando como idea la construcción de una maquina triturada de plástico para su reciclaje con la cual se pretende que este material tratado sea didáctico para la carrera de Ingeniería Civil, ya que con el plástico triturado puede dar lugar a la creación de nuevos materiales y ayudar en los distintos proyectos de los estudiantes, y toman como principales partes de la máquina de trituración a la fuente de poder (el motor) que es de tipo eléctrico y tiene una velocidad de 1700

rpm, finalmente se tuvo un resultado óptimo de solución para los requerimientos señalados principalmente los parámetro de las propiedades que posee el polietileno de tereftalato que muestra la figura 2, por tal motivo en la investigación en desarrollo se tomará de referencia varios puntos específicos como la utilización de un motor eléctrico que se acerque a la velocidad parecida a 1700 rpm, así como un sistemas de cuchillas fija y móviles en el armazón de una caja.

PROPIEDADES	Metodos de ensayo ISO/(IEC)	Unidades	Valores
Color		Natural	BL/Ne
Densidad	1183	g/cm <sup>3</sup>	1,39
<b>Absorcion de agua:</b>			
despues de estar 24/96 h sumergido en agua a 23°C	62	mg	jun-13
	62	%	0,07/0,16
hasta la saturacion en aire a 23°C / 50% HR		%	0,25
hasta la saturacion en aire a 23°C		%	0,5
<b>PROPIEDADES TERMICAS</b>			
Temperatura de Fusion		°C	255
Conductividad termica a 23°C		W/(K-m)	0,29
<b>Coefficiente de dilatacion termica lineal:</b>			
-Valor medio entre 23 y 60 °C		m/(m-K)	60-10 <sup>-6</sup>
-Valor medio entre 23 y 100°C		m/(m-K)	80-10 <sup>-6</sup>
<b>Temperatura por deformacion por carga:</b>			
-por metodo A: 1,8MPa	75	°C	75
<b>Temperatura maxima de servicio en aire:</b>			
-en periodos cortos		°C	160
-en continuo: durante 5.000/20.000 h		°C	115/100
<b>Temperatura minima de servicio</b>			
Inflamabilidad			-20
-Indice de oxigeno	4589	%	25
-con respecto a la clasificacion UL 94 (para 3/6 mm de espeso)			HB/HB

Figura 2 Propiedades del Polietileno de Tereftalato I

Fuente : (Vela Rojas et al., 2018)

POLIETILENTEREFTALAO				PET
PROPIEDADES MECANICAS	UNIDAD	ASTM	DIN	VALORES
A 23°C				
PESO ESPECIFICO	gr/cm <sup>3</sup>	D-792	53479	1.39
RESIST. A LA TRACC. (FLUENCIA / ROTURA)	Kg/cm <sup>2</sup>	D-638	53455	900
RES. A LA COMPRESION ( 1 Y 2 % DEF)	Kg/cm <sup>2</sup>	D-695	53454	260 / 480
RESISTENCIA A LA FLEXION	Kg/cm <sup>2</sup>	D-790	53452	1450
RES. AL CHOQUE SIN ENTALLA	Kg.cm/cm <sup>2</sup>	D-256	53453	> 50
ALARGAMIENTO A LA ROTURA	%	D-638	53455	15
MODULO DE ELASTICIDAD (TRACCION)	Kg/cm <sup>2</sup>	D-638	53457	37000
DUREZA	Shore D	D- 2240	53505	85 - 87
COEF. DE ROCE ESTATICO S/ACERO		D- 1894		--
COEF. DE ROCE DINAMICO S/ACERO		D- 1894		0.2
RES. AL DESGASTE POR ROCE				MUY BUENA

Figura 3. Propiedades del Polietileno de Tereftalato II

Fuente :(Caviedes Aguirre, 2020)

En la investigación de (Caviedes Aguirre, 2020) titulada “ DISEÑO DE UNA MÁQUINA TRITURADORA PARA PLÁSTICO PET” desarrollada en la Fundación Universidad de América en Bogotá D.C. en Colombia, en un inicio de investigo el código de identificación del PET como se muestra en la figura 3 que se va a utilizar en la presente investigación, determino las alternativas para el sistema posteriormente se analizó la estructura de montaje para verificar que soporte las cargas que se van a realizar por medio de elementos finitos y para concluir la investigación se realizaron los manuales de operación y mantenimiento de la máquina por tal motivo en la investigación en desarrollo se tomará de referencia varios puntos específicos como las opciones de material para la estructura de montaje que son hechos de perfiles estructurales de 3 pulgadas.

Termoplásticos			Aplicaciones	Usos después del reciclado
Poliétileno tereftalato	PET		Botellas, envasado de productos alimenticios, moquetas, refuerzos neumáticos de coches.	Textiles para bolsas, lonas y velas náuticas, cuerdas, hilos
Poliétileno alta densidad	PEAD		Botellas para productos alimenticios, detergentes, contenedores, juguetes, bolsas, embalajes y film, laminas y tuberías.	Bolsas industriales, botellas detergentes, contenedores, tubos
Poliétileno de baja densidad	PEBD		Film adhesivo, Bolsas, revestimientos de cubos, recubrimiento contenedores flexibles, tuberías para riego.	Bolsas para residuos, e industriales, tubos, contenedores, film uso agrícola, vallado
Policloruro de vinilo	PVC		Marcos de ventanas, tuberías rígidas, revestimientos para suelos, botellas, cables aislantes, tarjetas de crédito, productos de uso sanitario.	Muebles de jardín, tuberías, vallas, contenedores
Polipropileno	PP		Envases para productos alimenticios, Cajas, tapones, piezas de automoviles, alfombras y componentes eléctricos.	Cajas multiples para transporte de envases, sillas, textiles
Poliestireno	PS		Botellas, vasos de yogures, recubrimientos	Aislamiento térmico, cubos de basura, accesorios oficina

Figura 4. Código de identificación (SPI)

Fuente: RECYTRANS en: <https://www.recytrans.com/>

## Metodología

### Tipo de estudio y Modalidad de investigación

De acuerdo a los objetivos que se plantean en la presente investigación se define un tipo de estudio, el cual debe cumplir con el alcance de la propuesta que está en desarrollo, por lo tanto, será una investigación cuantitativa aplicada de carácter cuasiexperimental, ya que consiste en la recolección de información concreta para presentar una solución al problema en cuestión sin contar con el estricto control de todas las condiciones, estableciendo límites en la variables que se van a tratar.

## **Método**

Se va a utilizar el Diseño e Ingeniería Concurrente de acuerdo a los objetivos que se requieren cumplir, en este método se toman todos los parámetros de diseño que implican absoluta seguridad para la Comunidad de Limoncocha y se debe tomar muy en cuenta los requerimientos de sus habitantes de la comunidad de Limoncocha, para lo cual se va a utilizar la herramienta de toma de datos llamada “La casa de la calidad (QFD)”.

### ***Casa de la calidad o Quality Function Deployment (QFD)***

Según (Yacuzzi & Martín, n.d.) es una representación gráfica de la calidad, que señala los requerimientos del cliente estableciéndolos como punto de partida para la investigación y priorizándolos para el diseño de cualquier artículo, toma en cuenta los parámetros técnicos en los cuales dichos clientes estarían satisfechos con el resultado obtenido, lo cual ofrece la alternativa de comparación del producto entre dos o más soluciones presentadas por el diseñador y de esta manera se comprende la importancia de cada una de las características dándole un mayor enfoque a cada una de ellas.

Este método está conformado por los siguientes pasos según (Riba, 2002):

La voz del usuario, donde las personas implicadas en la operación de la maquina a entregarse proponen ideas para el diseño optimo, las cuales van a facilitar el trabajo de las personas.

Análisis de la competencia, donde se proponen máquinas de empresas que venden equipos similares al cual se va a diseñar, en este apartado se enuncia las características que ofrecen las máquinas de estas empresas para la posterior comparación con el diseño propuesto en la matriz QFD.

La voz del ingeniero, donde el diseñador propone ideas que mejoraran el desempeño de la máquina de una manera más técnica.

Correlaciones, donde se compara cada una de las ideas propuestas por la voz del usuario, el análisis de competencia y la voz del ingeniero, dándole prioridad a ciertas características que concuerdan las partes antes mencionadas.

Comparación técnica y compromisos técnicos, donde se verifica el peso relativo que tienen las ideas propuestas.

### ***La voz del usuario***

En este apartado se toma en cuenta los parámetros dados por las personas que van a trabajar con la máquina trituradora de plástico en la comunidad de Limoncocha tomando en cuenta que no cuentan con ninguna planta de reciclado ni tratamiento de plásticos, en la matriz (QFD) de la figura 10 se encuentran en el costado izquierdo y son las siguientes:

La máquina trituradora debe ser de un tamaño adecuado no muy grande por el espacio que se tiene para su utilización.

La máquina trituradora cómoda es decir que se adapte a las características de las personas que van a operar este instrumento.

La máquina trituradora debe tener la capacidad requerida para procesar todo el volumen de plástico generado por la comunidad.

La máquina trituradora debe tener un bajo costo para la construcción e implementación del instrumento de reciclado.

La máquina trituradora debe tener un consumo de energía adecuado para su utilización cotidiana.

La máquina trituradora debe brindar toda la seguridad posible para los operadores cuando estén haciendo uso de ella.

La máquina trituradora no debe presentar fallos mientras se realice el procesamiento de plástico es decir no debe remorderse y atascarse mientras se este realizando este procedimiento mecánico.

La máquina trituradora debe ser estable en su utilización diaria y además tener una vida útil alta.

La máquina trituradora debe ser fácil de dar mantenimiento después de terminada su fabricación o construcción.

La máquina trituradora debe trabajar ser rápida en el procesamiento del material plástico.

### ***Análisis de competencia***

En este apartado se compara las maquinas trituradoras que pueden ser construidas por distintas empresas teniendo en cuenta sus parámetros técnicos, precios y en este caso se toma tres alternativas que en la matriz (QFD) de la figura 10 se encuentran en el costado derecho y se comparan en relación al diseño propuesto con calificaciones del 1 al 5 donde 5 es lo más alto y 1 es lo más bajo.

Las propuestas de máquinas trituradoras y sus características son las siguientes:

**Opción 1. Eagle Crusher.** La marca Eagle Crusher ofrece distintas variedades de trituradoras, entre ellas una trituradora de tipo martillo con un costo de 8000, que cumple con las siguientes características:

La máquina trituradora esta provista de un diseño es robusto y de calidad asegurando una vida útil muy larga.

La máquina trituradora en el montaje ayuda a que la misma sea estable mientras está en funcionamiento.

La máquina trituradora tiene un sistema de seguridad y de bloqueo durante el funcionamiento del rotor del motor eléctrico.

La máquina trituradora tiene un alto costo por sus materiales, tamaño y cantidad de volumen que se puede triturar.

La máquina trituradora solo una gama de colores que son de tipo muy brillante específicamente el color anaranjado.

La máquina trituradora tiene un consumo energético alto cuando esta se encuentra en funcionamiento.

**Opción 2. ASIAN MACHINERY USA, INC.** La marca ASIAN MACHINERY USA, INC ofrece distintas variedades de trituradoras, entre ellas una trituradora de un solo con un costo de 9000 dólares, que cumple con las siguientes características:

La máquina trituradora esta provista de un diseño no tan robusto y de calidad media asegurando una vida útil no tan larga.

La máquina trituradora en el montaje ayuda a que la misma no haya vibraciones mientras está en funcionamiento.

La máquina trituradora tiene un sistema de seguridad y de bloqueo durante el funcionamiento del rotor del motor eléctrico.

La máquina trituradora tiene un costo medio por sus materiales, tamaño y cantidad de volumen que se puede triturar.

La máquina trituradora solo una gama de colores que son de tipo elegante específicamente el color azul y gris.

La máquina trituradora tiene un consumo energético adecuado cuando esta se encuentra en funcionamiento.

**Opción 3. Rock and Dirt.** La marca Rock and Dirt comercializa distintas variedades de trituradoras con un costo de 7000 dólares, entre ellas una trituradora PRASCHAK CHUSHER C1, que cumple con las siguientes características:

La máquina trituradora esta provista de un diseño robusto y de calidad alta, pero no una vida útil larga, ya que es de segunda mano, es decir que ya tiene varios años de trabajo.

La máquina trituradora en el montaje un soporte de motor ajustable el cual causa vibraciones mientras está en funcionamiento.

La máquina trituradora tiene un sistema de seguridad y de bloqueo durante el funcionamiento motor del motor eléctrico.

La máquina trituradora tiene un costo alto por sus materiales de construcción, tamaño y cantidad de volumen que se puede triturar.

La máquina trituradora tiene un consumo energético alto cuando esta se encuentra en funcionamiento.

### ***La voz del ingeniero***

En este apartado se toma en cuenta los parámetros dados por el diseñador de la máquina trituradora de plástico, que en la matriz (QFD) de la figura 10 se encuentra en la parte superior es, estos son los parámetros técnicos que debe tener el diseño y son las siguientes:

La máquina trituradora debe ser capaz de procesar un volumen de 334.74 Kg/día de material cuando está en funcionamiento.

La máquina trituradora debe tener una capacidad grande en su depósito de entrada es decir que al momento de ingresar la materia prima sea una o varias botellas no exista ningún problema y se tenga un mejor procesamiento de material dando un volumen neto de capacidad de  $63385 \text{ cm}^3$ .

La máquina trituradora debe tener un excelente costo-beneficio para que se obtenga ganancias en el procesado de plástico es decir su costo en construcción, así como su consumo energético debe ser menor en relación a las ofertas comparadas.

La máquina trituradora debe tener calidad en sus materiales de acuerdo con lo recomendado por las normas vigentes AISI-SAE.

La máquina trituradora debe tener un peso adecuado es decir deber ser el menor posible para su portabilidad considerando el volumen de trabajo diario.

La máquina trituradora debe tener una buena construcción y estética acorde con un proyecto de diseño de alta calidad.

### ***Correlaciones***

Se establecen directamente en la matriz entre las características escritas en las columnas y las filas, donde los símbolos tienen el siguiente significado:

- ⊖ Relación fuerte
- Relación moderada
- ▲ Relación débil
- ++ Correlación positiva fuerte
- + Correlación positiva
- Correlación negativa
- ▼ Correlación negativa fuerte
- ▼ Objetivo es minimizar
- ▲ Objetivo es maximizar
- X Objetivo es dar en el blanco

### ***Comparación técnica***

Se establecen directamente en la matriz, entre las características escritas en las columnas y las filas con las correlaciones establecidas anteriormente.

### *Compromisos técnicos*

Se establece cumplir todos los parámetros que tiene el método de la casa de la calidad para el diseño, el cual establece en las características técnicas una mejora, en la figura 5 en su peso relativo (RelativeWeight) la cual se encuentra en la parte inferior de la tabla y está dada en porcentaje, entre ellas se debe tener en cuenta el costo que debe ser menor en sus construcción y gasto energético respecto a las otras máquinas la compra debe ser menor a 5000 dólares, se distingue la calidad de los materiales a utilizarse que tiene una correlación positiva que se usaran todos respecto a la norma AISI- SAE, y una capacidad neta en su depósito de 63385 cm<sup>3</sup> para el funcionamiento.

Tabla 1

#### *Compromisos Técnicos*

Peso relative en la matriz QFD	
Costo	Menor a 5000 dolares
Material de calidad	Normativa AISI SAE
Capacidad de deposito	63385 cm <sup>3</sup>
Volumen de proceso diario	334.74 Kg/día

Fuente: Elaboración propia



## **Población y muestra**

Para obtener un parámetro fundamental para la máquina trituradora como es el volumen de plástico a procesar se toma como población a la parroquia de Limoncocha perteneciente al cantón Shushufindi de la provincia de Sucumbíos situada en Ecuador, en donde según el censo poblacional (INEC, 2001), el cual es el último con datos reales publicados tiene una población de 3819 habitantes entre ellos 2095 hombres y 1724 mujeres.

A partir de Los Gobiernos Autónomos Descentralizados (GAD) cuya página web es <https://gadlimoncocha.gob.ec/la-parroquia/informacion-general/> en su ventana de inicio se publica el número total de habitantes el cual es de 6817, donde existen 4086 hombres y 2731 mujeres, de los cuales se tomó una muestra de 46 personas.

## **Selección de Instrumentos de Investigación**

Para obtener datos de manera adecuada se procede a utilizar los siguientes instrumentos:

Laptop

Celulares

Cuestionario

Encuestas, presentadas en línea, vía Internet

## ***Observación***

Para iniciar el proceso de recolección de datos se va a realizar una observación la situación de la comunidad de Limoncocha, teniendo en cuenta algunos puntos clave como son el ambiente de la locación, el rango de edad de las personas que habitan la comunidad, el interés de

las personas en tener un medio de reciclaje, el interés de las personas en operar una maquina trituradora de plástico, el tipo de material que se va a reciclar y la cantidad de material plástico que se utiliza.

### ***Encuesta***

Según (D'Souza et al., 2016) se utiliza la encuesta como el camino entre la observación y la experimentación, ya que se puede documentar las necesidades, preferencias mostradas de la problemática en cuestión, obteniendo datos reales que va a permitir realizar la medición de manera cuantitativa los distintos parámetros necesitados para tener un punto de partida para realizar un experimento, en nuestro caso una cuasi experimentación, por este motivo se formuló el siguiente cuestionario, que se tiene en el siguiente link:

[https://docs.google.com/forms/d/e/1FAIpQLSfKEY5bmcvvH\\_QmpnN9PaVZ8ZCYo2l-BMACIZr1m6YLJOSg1Q/viewform?usp=sf\\_link](https://docs.google.com/forms/d/e/1FAIpQLSfKEY5bmcvvH_QmpnN9PaVZ8ZCYo2l-BMACIZr1m6YLJOSg1Q/viewform?usp=sf_link) y está estructurado de la siguiente manera:

### ***Título del cuestionario:***

Encuesta Vinculación de Máquina Trituradora

**Pregunta 1.** ¿Qué edad tiene?

**Pregunta 2.** ¿Qué tipo de plásticos utiliza más frecuentemente?

PET: Botellas de bebidas gaseosas

PEAD: Bolsas de supermercado, implementos de aseo

PVC: Tubos, cañerías, cables eléctricos, envases de detergentes

PEBD: Bolsas para basura, envases de crema y shampoo

PP: Tapas de botellas, vasos no desechables, mamaderas

PS: Vasos, platos y cubiertos desechables, envases de yogurt, helado y margarina

Otros: Teléfonos, artículos médicos, juguetes

**Pregunta 3.** ¿Cuántas botellas utiliza al día?

Menos de 3

De 3 a 6

Más de 6

Ninguna

**Pregunta 4.** ¿Conoce usted acerca del tema del reciclaje?

Sí

No

**Pregunta 5.** ¿Desde qué edad está usted interesado en el reciclaje?

Menos de 15 años

Desde los 15 a 20 años

20 años en adelante

No estoy interesado

**Pregunta 6.** ¿De qué manera se deshace de sus plásticos?

Basurero común: Boto los envases directamente en un basurero normal

Reciclo

**Pregunta 7.** Si escogió "Reciclo", previo a su desecho en los basureros de reciclaje, ¿lava usted el envase?

Sí

No

**Pregunta 8.** ¿Reutiliza usted los envases?

Sí

No

**Pregunta 9.** ¿Estaría usted interesado en que se implemente una máquina recicladora de plástico?

Sí

No

### **Validez y confiabilidad de los instrumentos**

Para dar una validez y confiabilidad se revisarán minuciosamente las variables más importantes y los resultados obtenidos con protocolos para la metodología empleada para su posterior utilización.

### **Materiales y equipos**

Para esta metodología se van a utilizar los siguientes materiales y equipos:

Una computadora.

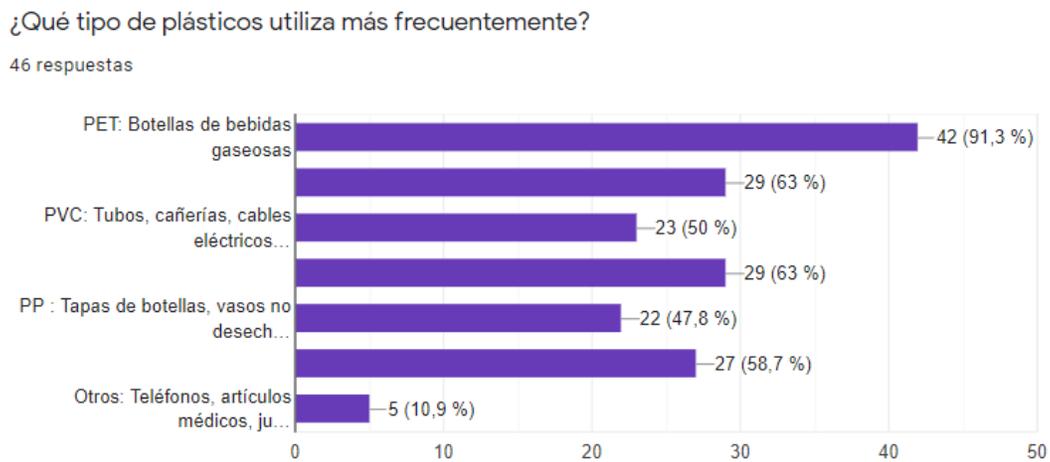
Internet.

Encuestas en línea.

## Diseño e Implementación

### Capacidad

Para tener claro el material a procesar toma en cuenta la pregunta 2 la cual indica el tipo de material más utilizado en la comunidad, siendo este el Polietileno de Tereftalato (PET), el cual está presente en las botellas de uso cotidiano, es por ello que el diseño de la máquina trituradora se va a centrar en el procesamiento de este tipo de materia prima, a continuación, en la figura 6 se puede apreciar el resultado de la encuesta:



*Figura 6. Tipo de material plástico utilizado*

Fuente: Resultados Encuesta Google Drive

Para el cálculo de la cantidad de materia prima por hora se toma en consideración la pregunta 3 de la encuesta, en la cual nos da la cantidad de material que las personas de la

comunidad utilizan diariamente de botellas plásticas por lo cual se va a tomar un promedio para saber la cantidad diaria de plástico a procesarse, se puede apreciar el resultado en la figura 7.



Figura 7. Cantidad de material plástico utilizado

Fuente: Resultados Encuesta Google Drive

Para el cálculo de la cantidad de materia prima se toma como base la botella de medio litro tipo parras o salomónico, según el catálogo de (S.L, 2018) la botella tiene un peso de 24 gramos, y se utiliza como referencia esta botella por ser la más común en el uso diario como se observa en la figura 8.

1/2 Litro Parras	
Capacidad nominal	500 ml
Capacidad hasta la boca	521,5 ml
Tolerancia	± 3 ml
Material	PET
Peso	24gr
Tolerancia	± 1 gr
Dimensiones	
Altura	225 mm
Tolerancia	± 0.5 mm
Diámetro	57x57 mm
Tolerancia	± 0.5 mm
Boca	
Tipo	Presión
Diámetro interno	21,7 mm
Tolerancia	± 0.2 mm
Diámetro externo	28.5 mm
Tolerancia	± 0.2 mm
Uso	Alimentario



Figura 8. Envase 1/2 litro Parras

Fuente: Catálogo Plásticos Torrijos S.L

Posterior a esto según la pregunta 2 de la encuesta, cada opción de respuesta tiene un rango de número de botellas que utiliza cada persona, por lo tanto se va a tomar el número máximo de botellas que muestra cada opción para tener el máximo volumen de trabajo diario de la máquina triturada, por ejemplo la opción que sostiene la utilización de menos de tres botellas se tomara como referencia las tres botellas completas y de igual manera con las otras opciones, esto se observa en la tabla 2, y luego se va a multiplicar por el peso de cada botella de 500 ml dada en kilogramos para tener un peso 4.032 kg/día por cada 46 personas, haciendo referencia al total de la población real publicada en el (INEC, 2001) de la comunidad de Limoncocha de 3819 habitantes, se tiene una producción de 334.74 Kg/día, se debe tomar en cuenta que no todas las personas tienen esta producción, pero esta cifra sería el máximo de plástico producido diariamente como se puede observar en la tabla 2.

Tabla 2.

*Capacidad de la máquina*

	<b># máx. botellas por Día</b>	<b>% de Personas</b>	<b># de Personas</b>	<b>Botellas por persona</b>	<b>Peso Botella 500ml (Kg)</b>	<b>Peso Total por Día (Kg)</b>
menos de 3	3	82,6	38	114	0,024	2,736
de 3 a 6	6	15,2	7	42	0,024	1,008
más de 6	12	2,2	1	12	0,024	0,288
Total	21	100	46	168	0,024	4,032

Fuente: Propia

***Diseño***

Se va a utilizar el diseño concurrente el cual consta de un diseño conceptual, su posterior análisis tanto cinemático como dinámico y finalmente su diseño mecánico avanzado, por tanto,

es recomendable dividir todo el proceso por bloques, los cuales tendrán una función específica y de esta manera abordar todo el problema en cuestión de una mejor manera, con el propósito de brindar soluciones optimas a cada bloque.

### ***Diseño Conceptual***

En este apartado se analiza distintas opciones para función de triturar el plástico especificando las alternativas existentes y escogiendo la más adecuada.

#### ***Alternativa I. Trituración de dos ejes giratorios.***

Esta alternativa según (Mendoza, 2019), consiste en dos ejes paralelos con cuchillas montadas en su cuerpo, estos ejes se colocan paralelamente y cada uno gira en sentido contrario del otro, de esta manera los ejes van tomando la materia prima para molerla, por lo cual va a tener fricción y va a elevar la temperatura en su funcionamiento y la velocidad con la que trabaja es baja teniendo como inconveniente el tamaño final del plástico procesado.

Por otro lado, va a tener más fuerza de corte en su trabajo por lo cual va a existir una óptima circulación de materia prima mientras está en funcionamiento.



*Figura 9. Trituradora doble eje*

Fuente: Feria virtual Interempresas, <https://www.interempresas.net/Plastico/FeriaVirtual/Producto-Trituradores-de-doble-eje-Forrec-TBS-165451.html>

### ***Alternativa II. Trituración a partir cuchillas desfasadas en un eje.***

Esta alternativa según (Caviedes Aguirre, 2020), consiste en cuchillas individuales montadas en un eje, las cuales pueden ser macizas en su totalidad o con pequeñas navajas en sus puntas con una distribución de forma helicoidal, esto implica un elevado costo de construcción y mantenimiento además de una difícil fabricación y montaje.

Por otro lado, posee una gran facilidad de fluencia de materia prima teniendo un efecto parecido a un tornillo sin fin y sus cuchillas son reemplazables.



*Figura 10. Triturador de un eje con cuchillas desfasadas.*

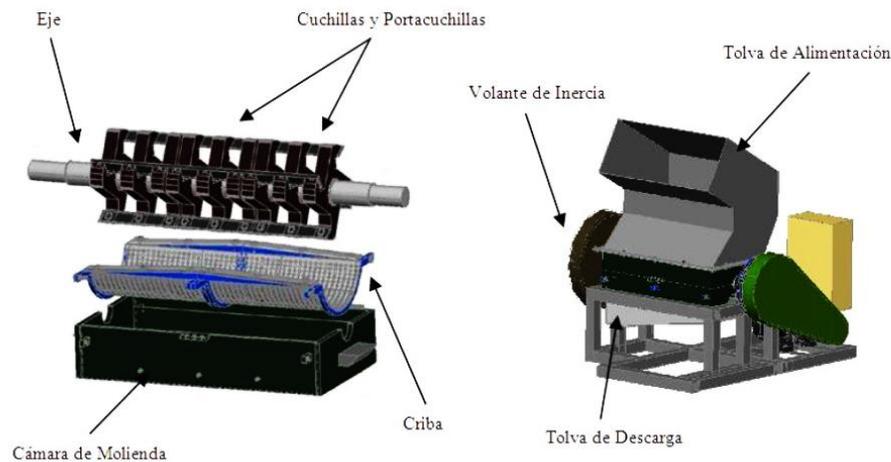
Fuente: Diseño de Trituradora PET, tesis de grado, <http://repository.udistrital.edu.co/bitstream/11349/5292/1/DanielHoyosMarcosHoyos2017.pdf>

### ***Alternativa III. Trituración a partir cuchillas cortadoras rotatorias.***

Esta alternativa según (Mendoza, 2019), realiza su trabajo utilizando cuchillas fijas y móviles, estas se encuentran incorporadas a un soporte anclando a un eje que giratorio dentro de una cámara, estas cuchillas hacen contacto con soportes soldados a la cámara de trituración, en

la misma existe una malla para separar el material procesado dependiendo de las dimensiones requeridas.

Este tipo de máquina se distingue por su facilidad de construcción y mantenimiento, su media alta velocidad de rotación, en contra parte se tiene que existe fricción lo que provoca que ese eleve la temperatura.



*Figura 11. Trituradora de cuchillas rotatorias*

Fuente: Tesis de grado, Diseño de un prototipo de máquina trituradora de botellas PET, Luque Eder,

### ***Selección de Alternativa.***

Los criterios a evaluar y su peso se obtuvo a través de la casa de la calidad, en la tabla 3, se muestra la puntuación de indicadores para realizar la calificación de las distintas alternativas, posterior a esto se realizó la ponderación de las alternativas escogidas y se eligió la alternativa III, tal y como se puede observar en la tabla 4.

Tabla 3.

*Puntuación de indicadores.*

Puntuación	Explicación
1	Nada Satisfactorio
2	Poco Satisfactorio
3	Satisfactorio
4	Muy Satisfactorio

Fuente: Tabla de elaboración propia.

Tabla 4.

*Alternativas de Solución para máquina trituradora*

Indicadores		Alternativas de Solución					
		Alternativa I		Alternativa II		Alternativa III	
Criterio	Peso %	Pun.	Cal.	Pun.	Cal.	Pun.	Cal.
Volumen de material	14,7	2	0,294	3	0,441	3	0,441
Capacidad de deposito	14,8	3	0,444	3	0,444	3	0,444
Costo-Beneficio	18,1	1	0,181	1	0,181	3	0,543
Control de vibraciones	12,7	2	0,254	2	0,254	3	0,381
Calidad de materiales	13,6	4	0,544	4	0,544	4	0,544
Peso Adecuado	14,7	2	0,294	2	0,294	4	0,588
Construcción y Estética	11,4	3	0,342	3	0,342	3	0,342
<b>Total</b>	100		2,353		2,5		3,283
<b>Posición Final</b>			Tercero		Segundo		Primero

Fuente: Tabla de elaboración propia

### ***Fuerza de corte***

Se va a utilizar como modelo de diseño una botella de 2 litros P.T. ya que las dimensiones que esta tiene servirá como rango máximo de tamaño de botella ingresada para procesarse en la trituradora, según el catálogo de (S.L, 2018), se tiene las medidas que se van a utilizar, la altura de esta botella es de 271mm, como se observa en la figura 12, por tanto para el diseño se toma una medida aun mayor para evitar que la botella en cuestión se atasque, es así

como se toma una medida de 29 mm mayor dando como resultado total 300 mm para el ingreso de materia prima.

2 Litros P.T.	
<b>Capacidad nominal</b>	2000 ml
<b>Capacidad hasta la boca</b>	2.028 ml
<b>Tolerancia</b>	± 10 ml
<b>Material</b>	PET
<b>Peso</b>	62 gr
<b>Tolerancia</b>	± 2 gr
<b>Dimensiones</b>	
<b>Altura</b>	271 mm
<b>Tolerancia</b>	± 1 mm
<b>Diámetro</b>	110 mm
<b>Tolerancia</b>	± 1 mm
<b>Boca</b>	
<b>Tipo</b>	Presión
<b>Diámetro interno</b>	25 mm
<b>Tolerancia</b>	± 0.2 mm
<b>Diámetro externo</b>	32 mm
<b>Tolerancia</b>	± 0.2 mm
<b>Uso</b>	Alimentario



Figura 12. Características Técnicas Botella 2 Litros P.T.

Fuente: Catálogo Plásticos Torrijos S.L

Por otro lado, para el radio de giro de la maquina se toma el diámetro de la botella, que según la figura 13 es de 110 mm, pero para tener un agarre adecuado de la botella, se toma un radio de giro menor, siendo este de 90 mm para efectos de corte.

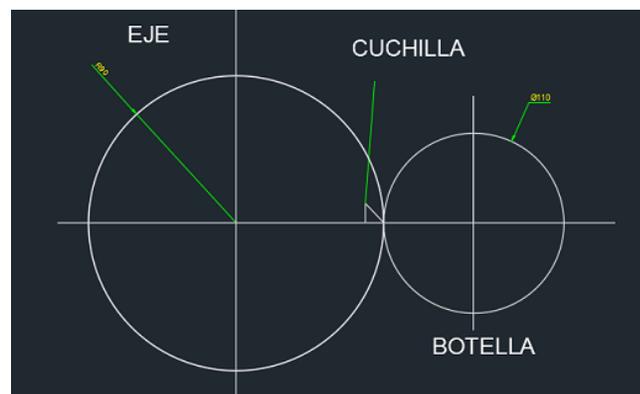


Figura 13. Esquema de Funcionamiento Básico

Fuente: Elaboración Propia

Para procesar la materia prima o plástico PET se necesita un tipo de corte de cuchillas inclinadas según (Caviedes Aguirre, 2020) se tiene como rango de ángulo ( $\beta$ ) base para realizar el cortado de 70 a 80 grados, también se tiene como rango de ángulo ( $\alpha$ ) de ataque de 4 a 6 y por último el ángulo ( $\varphi$ ) de incidencia también llamado de apertura recomendado de 10 grados, todos están ángulos se los observa en la figura 14.

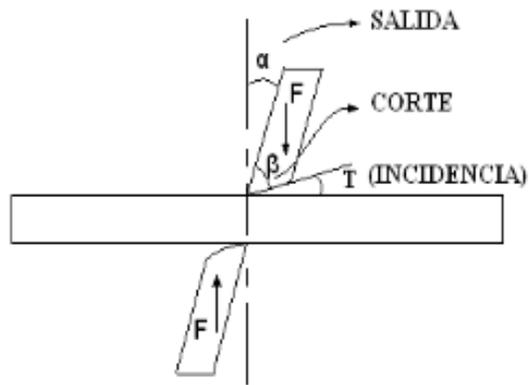


Figura 14. Ángulos de cizallamiento

Fuente:(Albuja, 2016)

Para realizar el cálculo de la fuerza de corte (Caviedes Aguirre, 2020) utiliza la siguiente ecuación:

$$F_c = \frac{s^2 * \tau}{2 * \tan(\varphi)}$$

Donde:

**$F_c$** : Fuerza de Corte.

**$s$** : Espesor del material.

Para el espesor se va a tomar el grosor del pico de una botella que es 1.9 mm según (Mendoza, 2019), que realizó la medición de la parte superior de la botella, que es la rosca, transformando esta medida a metros se tiene como resultado 0.0019m.

$\tau$ : Esfuerzo de cizalladura.

Esta fuerza viene dada de la figura 2, que es el esfuerzo de rotura de  $900 \text{ kg/cm}^2$ , transformándolo al Sistema Internacional de medición tenemos un valor de 88.2599 MPa.

$\varphi$ : Angulo de incidencia.

El ángulo de incidencia será de  $10^\circ$ , el cual fue tomado por recomendación.

Reemplazando los datos obtenemos la fuerza de corte cuando esta tiene solo un segmento de la materia prima:

$$F_c = \frac{(0.0019 \text{ m})^2 * 88.26 \text{ MPa}}{2 * \tan(10^\circ)}$$

$$F_c = 903.5 \text{ N}$$

La Fuerza de corte total ( $F T_c$ ) tiene un valor más alto, específicamente dos veces mayor, esto se debe a la disposición de las cuchillas fijas las cuales son dos, esto quiere decir que puede estar procesando dos segmentos de plástico PET a la vez, por tanto:

$$F T_c = 903.5 \text{ N} * 2 = 1807 \text{ N}$$

### ***Selección de Cuchillas.***

De la misma manera que se dijo al momento de obtener la fuerza de corte total, se debe tener en cuenta que existen dos puntos de corte entre las cuchillas móviles y las fijas que se van a encontrar en las paredes, según (Caviedes Aguirre, 2020) se toma como recomendación dar

cierto ángulo a las cuchillas móviles para que el contacto entre el material, la cuchilla móvil y fija sea menor para realizar un trabajo con mayor eficiencia y menor impacto, esto comparándolo con la de longitud de contacto mayor que tendrían las piezas mencionadas si no tuvieran ningún ángulo, produciendo mayor impacto para las piezas y la para la maquina trituradora en general.

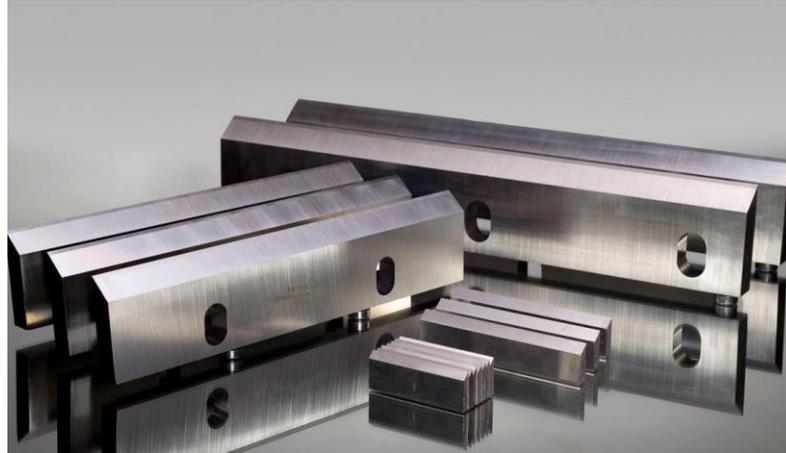
Según (Iron & Engineers, 2016) se necesita un tipo de acero de herramienta los cuales tienen denominación AISI de tipos O, A y D, los cuales poseen alto contenido de carbono para tener una mayor resistencia al desgaste y de esta manera conseguir una dureza muy alta.

En especifica la serie D tiene alto contenido de carbono y alto contenido de cromo siendo aceros perfectos para trabajo en frio y se escoge el acero de herramienta AISI D3.

AISI	UNS	Identifying elements, %								
		C	Mn	Si	Cr	V	W	Mo	Co	Ni
<b>Water-hardening tool steels</b>										
W1	T72301	0.60-1.40(a)	...	...	...	...	...	...	...	...
W2	T72302	0.60-1.40(a)	...	...	...	0.25	...	...	...	...
W5	T72305	1.10	...	...	0.50	...	...	...	...	...
<b>Shock-resisting tool steels</b>										
S1	T41901	0.50	...	...	1.50	...	2.50	...	...	...
S2	T41902	0.50	...	1.00	...	...	...	0.50	...	...
S5	T41905	0.55	0.80	2.00	...	...	...	0.40	...	...
S6	T41906	0.45	1.40	2.25	1.50	...	...	0.40	...	...
S7	T41907	0.50	...	...	3.25	...	...	1.40	...	...
<b>Oil-hardening cold work tool steels</b>										
O1	T31501	0.90	1.00	...	0.50	...	0.50	...	...	...
O2	T31502	0.90	1.60	...	...	...	...	...	...	...
O6(b)	T31506	1.45	0.80	1.00	...	...	...	0.25	...	...
O7	T31507	1.20	...	...	0.75	...	1.75	...	...	...
<b>Air-hardening medium-alloy cold work tool steels</b>										
A2	T30102	1.00	...	...	5.00	...	...	1.00	...	...
A3	T30103	1.25	...	...	5.00	1.00	...	1.00	...	...
A4	T30104	1.00	2.00	...	1.00	...	...	1.00	...	...
A6	T30106	0.70	2.00	...	1.00	...	...	1.25	...	...
A7	T30107	2.25	...	...	5.25	4.75	1.00(c)	1.00	...	...
A8	T30108	0.55	...	...	5.00	...	1.25	1.25	...	...
A9	T30109	0.50	...	...	5.00	1.00	...	1.40	...	1.50
A10(b)	T30110	1.35	1.80	1.25	...	...	...	1.50	...	1.80
<b>High-carbon high-chromium cold work steels</b>										
D2	T30402	1.50	...	...	12.00	1.00	...	1.00	...	...
D3	T30403	2.25	...	...	12.00	...	...	...	...	...
D4	T30404	2.25	...	...	12.00	...	...	1.00	...	...
D5	T30405	1.50	...	...	12.00	...	...	1.00	3.00	...
D7	T30407	2.35	...	...	12.00	4.00	...	1.00	...	...

Figura 15. Tipos de Acero y Composición Química

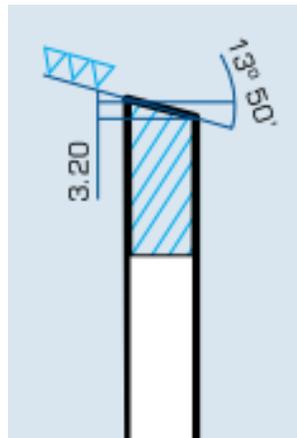
Fuente:(Iron & Engineers, 2016) Capitulo 11, pág. 2.



*Figura 16. Cuchillas industriales, forma geométrica*

Fuente: Cía. General de Aceros, <https://www.cga.com.co/producto/cuchillas-industriales/>

Para elegir su forma geométrica específica se tomara la recomendación de (S.A., 2020), la cual para el corte de plásticos da un ángulo de corte de  $13.5^\circ$ , una medida de 13 mm de espesor, y una longitud teórica de 290 mm, para que su utilización será dividida en dos partes cada una de 140 mm, y para su fijación con tres agujeros de 12 mm.



*Figura 17. Angulo de Corte de Cuchilla*

Fuente:(S.A., 2020)

### ***Soporte de Cuchillas.***

El soporte para el diseño será de igual geometría que las cuchillas móviles con la diferencia que los agujeros hechos en el soporte van tener una rosca de paso fino con una arandela de presión (guasa) y van a tener un diámetro de 12mm, teniendo en cuenta esto se va a utilizar un tornillo de acero de medio carbono, aleado, tratado térmicamente de Grado 8 y tamaño M12 para poder fijar las mencionadas cuchillas en los soportes, por recomendación de (Budynas & Nisbett, 2015) se toma como material de fabricación el acero A36 por su resistencia, y facilidad de maquinado, de igual manera los soportes estarán colocados en ranuras inclinadas en discos soporte con un espesor de 16 mm, del mismo material A36 que estarán soldados al eje de movimiento, con la inclinación del ángulo de incidencia de 10°, estos discos van a tener 3 ranuras para los soportes.

### ***Selección del Motor.***

Los criterios a evaluar para obtener la potencia requerida son la velocidad de giro y el torque promedio que se debe realizar.

Para la velocidad de giro se debe tener en cuenta una por recomendación de (Caviedes Aguirre, 2020) una velocidad de 900 rpm para una potencia de 2 a 5 HP para un rotor de 200 mm, para este diseño se va a tomar una velocidad más baja, específicamente el 60 % de la recomendación haciendo que esta velocidad sea más conservadora, siendo esta de 540 rpm.

El torque de corte teórico ( $T_c$ ) está en función de la fuerza de corte total ( $F T_c$ ) y el radio del rodillo ( $r_R$ ) el cual se va a tomar del diámetro de 20 cm por recomendación, por tanto, se tiene:

$$T_c = F T_c * r_R$$

$$T_c = 1807 \text{ N} * \frac{20 \text{ cm} * 1 \text{ m}}{2 * 100 \text{ cm}}$$

$$T_c = 180.7 \text{ Nm}$$

Las cuchillas van a trabajar de manera intermitente, por lo cual se debe tomar en cuenta el peor escenario posible, es decir cuando el corte en una sola cuchilla de 150 mm con el ángulo de incidencia de 10°, por tanto, se necesita la longitud de corte.

$$L_{corte} = L_{total} * \text{sen}(\varphi)$$

$$L_{corte} = 15 \text{ cm} * \frac{1 \text{ m}}{100 \text{ cm}} * \text{sen}(10^\circ)$$

$$L_{corte} = 0.026 \text{ m}$$

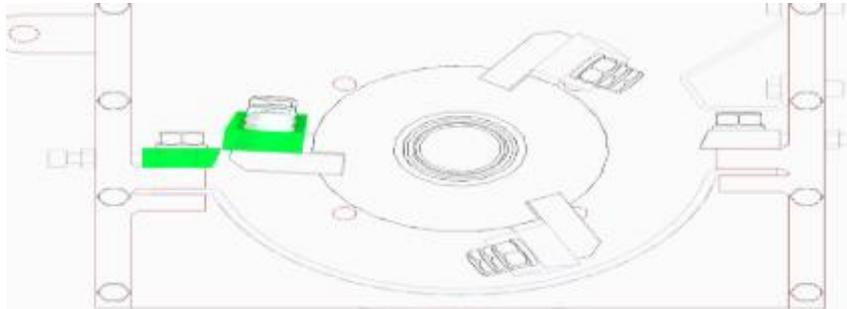


Figura 18. Esquema Básico de Corte

Fuente:(Caviedes Aguirre, 2020)

Existen tres cuchillas móviles, cada una realiza dos cortes por revolución al hacer contacto con las dos cuchillas fijas, por tanto, se tiene que se realizan seis cortes en total por cada revolución, y una vez obtenida la longitud de corte se debe calcular la longitud del arco ( $LA_c$ ) en el cual se está aplicando el torque por la cuchilla.

$$LA_c = L_{corte} * \frac{6}{r_R}$$

$$LA_c = 0.026 * \frac{6}{\frac{0.2}{2}}$$

$$LA_c = 1.56 \text{ rad}$$

Para obtener el torque promedio para la potencia debemos tener en cuenta la longitud del arco encontrado y el torque teórico calculado.

$$T_P = \frac{\int_0^{2\pi} T(\theta) * d\theta}{2\pi \text{ rad}}$$

$$T_P = \frac{180.7 \text{ Nm} * 1.56 \text{ rad}}{2\pi \text{ rad}}$$

$$T_P = 45 \text{ Nm}$$

Por último, obtenemos la potencia requerida con la relación que está en función de la velocidad de giro ( $W$ ) y el torque promedio ( $T_P$ ).

$$T = \frac{P}{W}$$

$$P = T_P * W$$

$$P = 45 \text{ Nm} * \frac{540 \text{ rev}}{1 \text{ min}} * \frac{2\pi \text{ rad} * 1 \text{ min}}{60 \text{ seg}}$$

$$P = 2544.69 \text{ W}$$

Según la recomendación de (Caviedes Aguirre, 2020) los fabricantes de motores trifásicos fabricados con el principio de jaula de ardilla tienen un factor de servicio (F.S.) de 1.15, por tanto se tiene una potencia para el motor más alta.

$$P = 2544.69 \text{ W} * 1.15$$

$$P = 2926.39 \text{ W}$$

$$P = 3.92 \text{ HP}$$

Para la selección del motor se requiere una potencia de 4 HP y se va a escoger un tipo de motor disponible para la venta al público en Sudamérica que es la línea W22 de la marca WEG, distribuida en Ecuador por la empresa PRO ELECTRIC, según el catálogo (Idict, 2018) se escoge el motor W22-IE3 Premium Efficiency – 50 Hz, el cual va a trabajar a 1440 rpm, se puede observar el catálogo del motor en el anexo 1.

### ***Selección de Bandas y Poleas.***

Se va a utilizar bandas tipo V para el sistema de transmisión, esto se debe a distintos criterios como es su más bajo ruido y vibración además de no requerir lubricación constante en comparación a otros tipos de sistemas como son engranajes o cadenas.

Para el cálculo de este sistema se va a tomar en consideración los pasos y recomendaciones de (Budynas & Nisbett, 2015) que en su libro Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley proporciona un método de referencia a seguir.

Se necesita de ciertos datos específicos como son potencia de motor, velocidad angular del motor en RPM y velocidad angular del eje en RPM, como primer paso se va a calcular la relación de transmisión.

$$P = 3.92 \text{ HP}$$

$$W_m = 1440 \frac{\text{rev}}{\text{min}}$$

$$W_e = 540 \frac{\text{rev}}{\text{min}}$$

$$i = \frac{W_{\text{conductor}}}{W_{\text{conducido}}}$$

$$i = \frac{1440 \text{ rpm}}{540 \text{ rpm}}$$

$$i = 2.66$$

Para determinar el diámetro mínimo de la polea se utiliza la potencia de 4 Hp, por tanto, en la tabla 17-9 se va a utilizar una sección de la banda tipo A con su diámetro mínimo de polea que es 3.0 pulgadas siendo su equivalente 76.2 mm.

**Tabla 17-9**  
Secciones de bandas en V estándar



Sección de la banda	Ancho $a$ , pulg	Espesor $b$ , pulg	Diámetro mínimo de polea, pulg	Intervalo de potencias (hp), una o más bandas
A	$\frac{1}{7}$	$\frac{11}{32}$	3.0	$\frac{1}{4}$ -10
B	$\frac{21}{32}$	$\frac{7}{16}$	5.4	1-25
C	$\frac{7}{8}$	$\frac{17}{32}$	9.0	15-100
D	$1\frac{1}{4}$	$\frac{3}{4}$	13.0	50-250
E	$1\frac{1}{2}$	1	21.6	100 y mayores

Figura 19. Selección de secciones de bandas en V estándar

Fuente: (Budynas & Nisbett, 2015), Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley

Para determinar el diámetro de la segunda polea se utiliza también la relación de transmisión que tiene el valor de 2.66, teniendo en cuenta que el  $\emptyset$  polea conductora es < al  $\emptyset$  polea conducida, siendo este un SISTEMA REDUCTOR

$$i = \frac{\emptyset \text{ polea conducida}}{\emptyset \text{ polea conductora}} = \frac{W_{\text{conductor}}}{W_{\text{conducido}}}$$

$$2.66 = \frac{\emptyset \text{ polea conducida}}{\emptyset \text{ polea conductora}}$$

$$\emptyset \text{ polea conducida} = 2.66 * \emptyset \text{ polea conductora}$$

$$\emptyset \text{ polea conducida} = 2.66 * 5.4 \text{ in}$$

$$\emptyset \text{ polea conducida} = 14.36 \text{ in}$$

$$\emptyset \text{ polea conducida} = 364.85 \text{ mm}$$

Posterior a esto se necesita la potencia de diseño que según (Budynas & Nisbett, 2015) viene dada por:

$$Hd = Hnom * Ks * nd$$

Donde:

*Hnom*: Potencia nominal

*Ks*: Factor de servicio (tabla 17-15), el cual va a ser de 1.4, se toma este valor con referencia a un par de torsión alto o no uniforme ya que la máquina en su trabajo tiene picos de torsión y un Impacto medio.

**Tabla 17-15**

Factores de servicio sugeridos  $K_S$  para transmisiones de banda en V

Maquinaria impulsada	Fuente de potencia	
	Características del par de torsión normal	Par de torsión alto o no uniforme
Uniforme	1.0 a 1.2	1.1 a 1.3
Impacto ligero	1.1 a 1.3	1.2 a 1.4
Impacto medio	1.2 a 1.4	1.4 a 1.6
Impacto pesado	1.3 a 1.5	1.5 a 1.8

Figura 20. Factor de servicio

Fuente: (Budynas & Nisbett, 2015), Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley

*nd*: Factor de diseño, este es igual a 1, por recomendación de los ejemplos del texto.

$$Hd = 3.92 Hp * 1.4 * 1$$

$$Hd = 5.488 Hp$$

Luego se necesita la potencia permitida por banda según (Budynas & Nisbett, 2015) viene dada por la ecuación 17-17:

$$H_a = K_1 * K_2 * H_{tab}$$

Donde:

$H_a$ : Potencia permitida

$H_{tab}$ : Potencia permitida por banda (tabla 17-12) y para determinar la velocidad de la correa se toma la siguiente formula:

$$V_{correa} = \emptyset \text{ polea conductora (in)} * \pi * W_m \left( \frac{rev}{min} \right)$$

$$V_{correa} = 5.4 \frac{in}{rev} * \pi * 1440 \left( \frac{rev}{min} \right) * \frac{1ft}{12 in}$$

$$V_{correa} = 2035.75 \frac{ft}{min} \approx 2000 \frac{ft}{min}$$

Teniendo en cuenta la velocidad de 2000 pies/ min, el tipo de sección de banda que es de tipo B y el diámetro de paso de la polea que es 5.4 pulgadas se escoge un  $H_{tab}$  de 2.62 Hp

**Tabla 17-12**

Potencias nominales de bandas en V estándar

Sección de la banda	Diámetro de paso de la polea, pulg	Velocidad de la banda, pie/min				
		1 000	2 000	3 000	4 000	5 000
A	2.6	0.47	0.62	0.53	0.15	
	3.0	0.66	1.01	1.12	0.93	0.38
	3.4	0.81	1.31	1.57	1.53	1.12
	3.8	0.93	1.55	1.92	2.00	1.71
	4.2	1.03	1.74	2.20	2.38	2.19
	4.6	1.11	1.89	2.44	2.69	2.58
	5.0 y mayor	1.17	2.03	2.64	2.96	2.89
B	4.2	1.07	1.58	1.68	1.26	0.22
	4.6	1.27	1.99	2.29	2.08	1.24
	5.0	1.44	2.33	2.80	2.76	2.10
	5.4	1.59	2.61	3.24	3.34	2.82
	5.8	1.72	2.87	3.61	3.85	3.45
	6.2	1.82	3.09	3.94	4.28	4.00
	6.6	1.92	3.29	4.23	4.67	4.48
7.0 y mayor	2.01	3.46	4.49	5.01	4.90	
C	6.0	1.84	2.66	2.72	1.87	
	7.0	2.48	3.94	4.64	4.44	3.12
	8.0	2.96	4.90	6.09	6.36	5.52

Figura 21. Potencia  $H_{tab}$  nominal

Fuente: (Budynas & Nisbett, 2015), Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley

K1: Factor de corrección del ángulo de cobertura, tabla 17-13.

Para determinar este factor se necesita los diámetros de las poleas que son 5.4 in y 14.36 in, la longitud de paso 17-11 donde se suma 1.8 a la circunferencia estándar dada en pulgadas que se escoge dependiendo del mercado y esto que se toma a partir de la tabla 17-10 donde se selecciona la circunferencia interior de la banda estándar que en Ecuador se utiliza la B75 y la distancia entre centros C, que se calcula a partir de la fórmula 17-16b.

Sección	Circunferencia, pulg
A	26, 31, 33, 35, 38, 42, 46, 48, 51, 53, 55, 57, 60, 62, 64, 66, 68, 71, 75, 78, 80, 85, 90, 96, 105, 112, 120, 128
B	35, 38, 42, 46, 48, 51, 53, 55, 57, 60, 62, 64, 65, 66, 68, 71, 75, 78, 79, 81, 83, 85, 90, 93, 97, 100, 103, 105, 112, 120, 128, 131, 136, 144, 158, 173, 180, 195, 210, 240, 270, 300
C	51, 60, 68, 75, 81, 85, 90, 96, 105, 112, 120, 128, 136, 144, 158, 162, 173, 180, 195, 210, 240, 270, 300, 330, 360, 390, 420
D	120, 128, 144, 158, 162, 173, 180, 195, 210, 240, 270, 300, 330, 360, 390, 420, 480, 540, 600, 660
E	180, 195, 210, 240, 270, 300, 330, 360, 390, 420, 480, 540, 600, 660

Figura 22. Circunferencias de bandas en V

Fuente: (Budynas & Nisbett, 2015), Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley

Sección de la banda	A	B	C	D	E
Cantidad a sumar	1.3	1.8	2.9	3.3	4.5

Figura 23. Longitud de paso

Fuente: (Budynas & Nisbett, 2015), Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley

La longitud de paso va a ser igual a:

$$Lp = 75 \text{ in} + 1.8 \text{ in}$$

$$Lp = 76.8 \text{ in}$$

La Distancia entre centros C es:

$$C = 0.25 \left\{ \left[ Lp - \frac{\pi}{2}(D + d) \right] + \sqrt{\left[ Lp - \frac{\pi}{2}(D + d) \right]^2 - 2(D - d)^2} \right\}$$

$$C = 0.25 \left\{ \left[ 76.8 - \frac{\pi}{2}(14.36 + 5.4) \right] + \sqrt{\left[ 76.8 - \frac{\pi}{2}(14.36 + 5.4) \right]^2 - 2(14.36 - 5.4)^2} \right\}$$

$$C = 0.25 * (45.76 + 43.97) \text{ in}$$

$$C = 22.43 \text{ in}$$

$$C = 569.78 \text{ mm}$$

Teniendo todos estos datos calculamos la siguiente relación para determinar el factor K1 siendo este el valor de 0.94.

$$\frac{D - d}{c} = \frac{14.36 - 5.4}{22.43} = 0.4$$

**Tabla 17-13**

Factor de corrección del ángulo de contacto  $K_1$  para transmisiones de banda plana VV\* y en V

$\frac{D-d}{C}$	$\theta$ , grados	K1	
		VV	Plana en V
0.00	180	1.00	0.75
0.10	174.3	0.99	0.76
0.20	166.5	0.97	0.78
0.30	162.7	0.96	0.79
0.40	156.9	0.94	0.80
0.50	151.0	0.93	0.81
0.60	145.1	0.91	0.83
0.70	139.0	0.89	0.84
0.80	132.8	0.87	0.85
0.90	126.5	0.85	0.85

*Figura 24. Factor de corrección*

Fuente: (Budynas & Nisbett, 2015), Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley

$K_2$ : Factor de corrección de la longitud de banda que se encuentra en la tabla 17-14 y se tiene la medida  $C = 22.43in$ , siendo el factor de 0.85.

**Tabla 17-14**

Factor de corrección de longitud de banda  $K_2^*$

Factor de longitud	Longitud nominal de la banda, pulg				
	Bandas A	Bandas B	Bandas C	Bandas D	Bandas E
0.85	Hasta 35	Hasta 46	Hasta 75	Hasta 128	
0.90	38-46	48-60	81-96	144-162	Hasta 195
0.95	48-55	62-75	105-120	173-210	210-240
1.00	60-75	78-97	128-158	240	270-300
1.05	78-90	105-120	162-195	270-330	330-390
1.10	96-112	128-144	210-240	360-420	420-480
1.15	120 y mayor	158-180	270-300	480	540-600
1.20		195 y mayor	330 y mayor	540 y mayor	660

\* Multiplique la potencia nominal de la banda por este factor para conseguir la potencia corregida.

*Figura 25. Factor de corrección  $K_2$* 

Fuente: (Budynas & Nisbett, 2015), Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley

Regresando a la formula inicial tenemos:

$$H_a = K_1 * K_2 * H_{tab}$$

$$H_a = 0.94 * 0.85 * 2.62$$

$$H_a = 2.09H_p$$

Para determinar el número de bandas, se toma el siguiente valor para la relación:

$$N_b \geq \frac{H_d}{H_a}$$

$$N_b \geq \frac{5.488}{2.09}$$

$$N_b = 2.62 \approx 3$$

Para la vida útil de las bandas se tiene como referencia el libro (Budynas & Nisbett, 2015), Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley argumenta que tienen 24000 horas de trabajo es decir que para un trabajo de 8 horas al diarias y 5 días laborales a la semana se tendrá que.

$$Vida\ util = 24000\ horas * \frac{1\ dia}{8\ horas} * \frac{1\ semana}{5\ dia} * \frac{1\ año}{48\ semanas}$$

$$Vida\ util = 12.5\ años$$

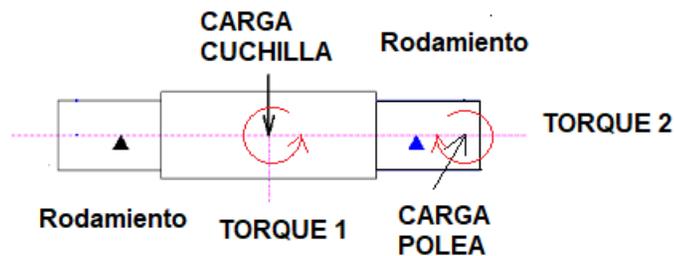
Para el material de las bandas se tiene como referencia el catálogo de correas industriales (DUNLOP, 2020), que nos dice que estos elementos están constituidos de fibra de poliéster, tejida en varios tipos de configuraciones de hilos, recubierta con un hilado de algodón y poliéster.

Para el material de las poleas según la recomendación de (Caviedes Aguirre, 2020) se va a utilizar fundición gris por su fácil maquinado, su fácil fabricación y su alta resistencia.

### ***Diseño y cálculo del eje.***

Se debe considerar todas las cargas de trabajo a las cuales está sometido el eje que se está diseñando, estas cargas pueden ser de flexión y torsión, las cuales aparecen como consecuencia de la transmisión de potencia que se da a través de las poleas y el eje en cuestión, también se debe tomar en cuenta la carga que genera el corte de la materia prima y los soportes del eje a la base que en este caso serán rodamientos, con fines de cálculos la carga que ejerce el peso del eje, las cuchillas, rodillos y soportes serán despreciables, pero se debe notar que gracias a un factor de seguridad más elevado no se tendrá ningún problema cuando la maquina trituradora esté en funcionamiento.

A continuación, en la figura 26, se observa un boceto del eje donde se observa los elementos a considerarse en el diseño:



*Figura 26. Boceto de Cargas en el Eje*

Fuente: Elaboración propia

Para el diseño estático del eje en la figura 27, se puede observar el diagrama de cuerpo libre que se va a emplear.

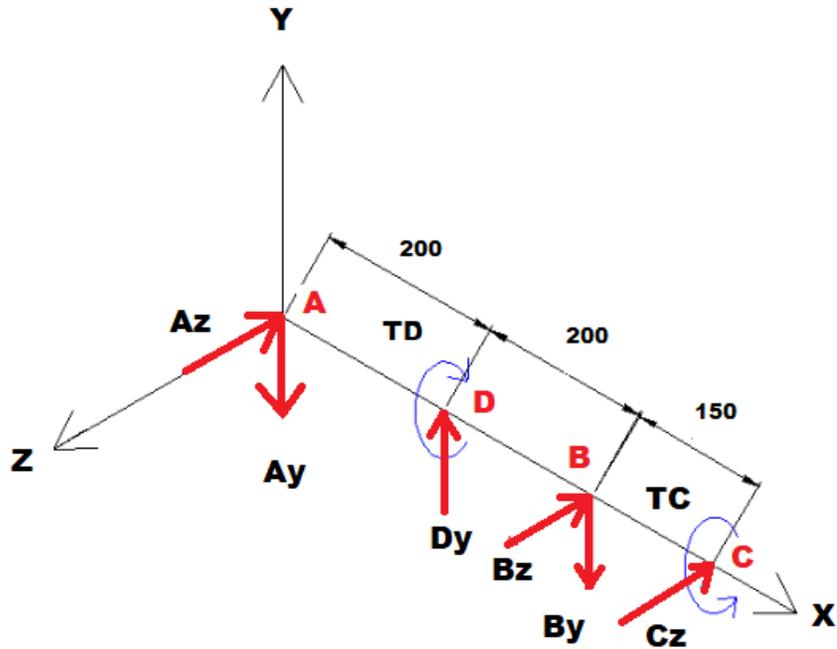


Figura 27. Diagrama de Cuerpo Libre

Fuente: Elaboración propia

Donde:

**Az, Ay:** Reacciones del rodamiento o chumacera en el punto A.

**Dy:** Carga generada por el impacto de las cuchillas en el instante de corte en el punto D, la cual equivale a la fuerza de corte igual a 1807 N.

**Td:** Torque generado por la fuerza de Corte, contrario al torque de la polea en el punto D.

**Bz, By:** Reacciones del rodamiento o chumacera en el punto B.

**Cz:** Reacción generada por la polea en el punto C, donde Cz es igual a la fuerza tangencial en la polea (Ft).

$$Cz = Ft = \frac{Tp}{D} = \frac{45 \text{ Nm}}{\frac{14.36 \text{ in} * 2.54 \text{ cm} * 1 \text{ m}}{2 * 1 \text{ in} * 100 \text{ cm}}}$$

$$C_z = 246.75 \text{ N}$$

**Tc:** Torque generado por la polea en el punto C.

Se procede a calcular las magnitudes de las cargas radiales y axiales actuando sobre el eje, además de calcular el torque en los elementos de transmisión.

$$\sum M_x = 0$$

$$T_d = T_c = T_p = 45 \text{ Nm}$$

$$\sum M_y = 0$$

$$B_z(400 \text{ mm}) - C_z(550 \text{ mm}) = 0$$

$$B_z = \frac{246.75 \text{ N} * 0.55 \text{ m}}{0.4 \text{ m}}$$

$$B_z = 339.28 \text{ N}$$

$$\sum M_z = 0$$

$$B_y(400 \text{ mm}) - D_y(200 \text{ mm}) = 0$$

$$B_y = \frac{1807 \text{ N} * 0.2 \text{ m}}{0.4 \text{ m}}$$

$$B_y = 903.5 \text{ N}$$

$$\sum F_y = 0$$

$$+A_y - D_y + B_y = 0$$

$$Dy + By = Ay$$

$$Ay = 1807 \text{ N} - 903.5 \text{ N}$$

$$Ay = 903.5 \text{ N}$$

$$\sum F_z = 0$$

$$+Az + Cz - Bz = 0$$

$$Az = -Cz + Bz$$

$$Az = -246.75 \text{ N} + 339.28 \text{ N}$$

$$Az = 92.5312 \text{ N}$$

Una vez calculado la magnitud de todas las cargas que afectan el eje se procede a realizar los diagramas de fuerza cortante y momento flector, se va a utilizar el demo de SkyCiv (CLOUD ENGINEERING SOFTWARE)

Diagrama de fuerza cortante X-Y

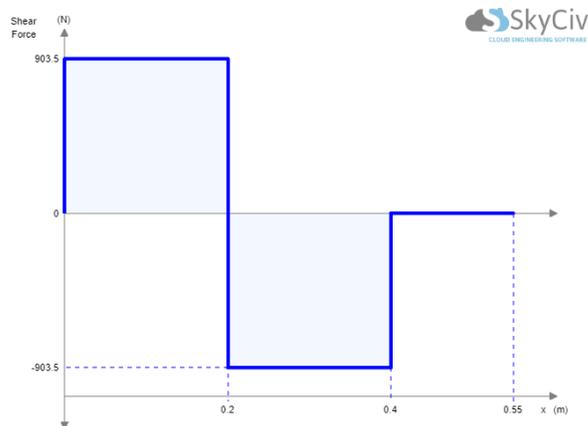


Figura 28. Diagrama Fuerza Cortante X-Y

Fuente: Elaboración propia, Software SkyCiv

## Diagrama de momento flector X-Y

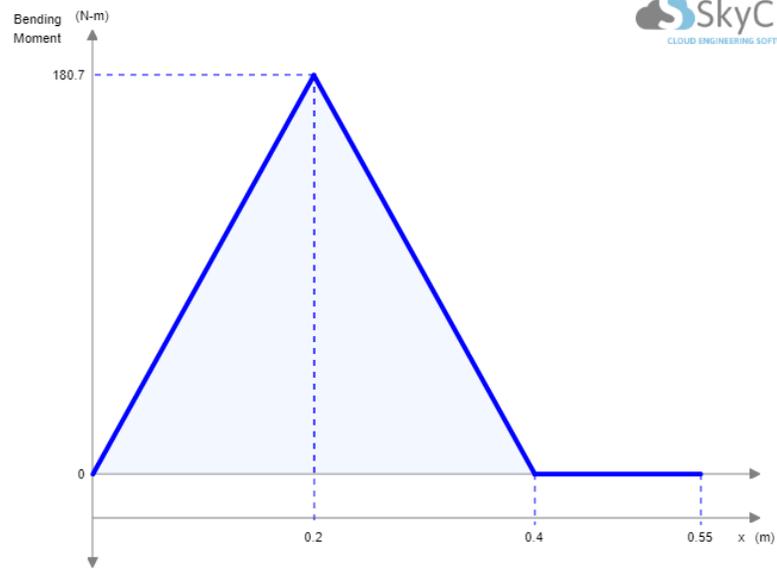


Figura 29. Diagrama Momento Flector X-Y

Fuente: Elaboración propia, Software SkyCiv

## Diagrama de fuerza cortante X-Z

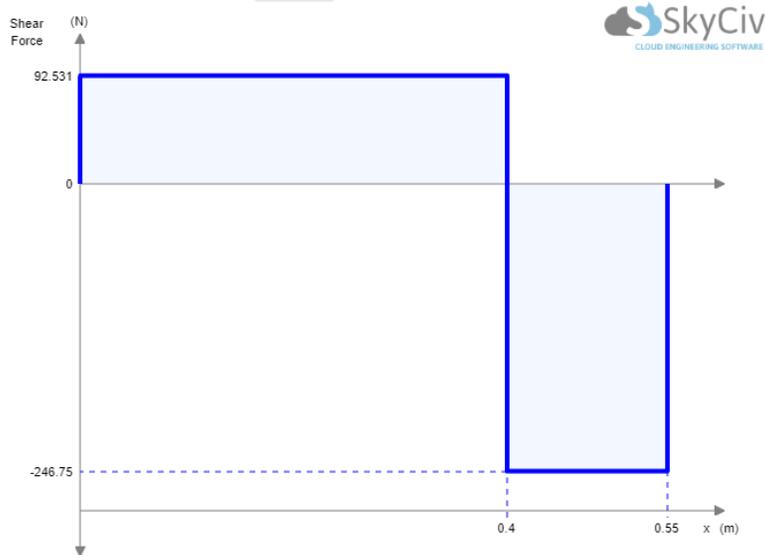


Figura 30. Diagrama Fuerza Cortante X-Z

Fuente: Elaboración propia, Software SkyCiv

## Diagrama de momento flector X-Y



Figura 31. Diagrama Momento Flector X-Z

Fuente: Elaboración propia, Software SkyCiv

Por el diagrama de momento flector se determina los momentos resultantes en los puntos del eje

$$MTA = 0 \text{ Nm}$$

$$MTD = \sqrt{180.7^2 + 18.506^2} \text{ Nm}$$

$$MTD = 181.65 \text{ Nm}$$

$$MTB = 37.012 \text{ Nm}$$

$$MTC = 0 \text{ Nm}$$

Para el material del eje por recomendación del libro Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley (Budynas & Nisbett, 2015) se toman aceros AISI 1020-1050, específicamente se va a

utilizar el AISI 1045 CD que se usa en aplicaciones de transmisión de fuerza, sus datos están en la tabla A-20.

1	2	3	Su	Sy	6	7	8
UNS núm.	SAE y/o AISI núm.	Proce-samiento	Resistencia a la tensión, MPa (kpsi)	Resistencia a la fluencia, MPa (kpsi)	Elongación en 2 pulg, %	Reducción en área, %	Dureza Brinell
G10060	1006	HR	300 (43)	170 (24)	30	55	86
		CD	330 (48)	280 (41)	20	45	95
G10100	1010	HR	320 (47)	180 (26)	28	50	95
		CD	370 (53)	300 (44)	20	40	105
G10150	1015	HR	340 (50)	190 (27.5)	28	50	101
		CD	390 (56)	320 (47)	18	40	111
G10180	1018	HR	400 (58)	220 (32)	25	50	116
		CD	440 (64)	370 (54)	15	40	126
G10200	1020	HR	380 (55)	210 (30)	25	50	111
		CD	470 (68)	390 (57)	15	40	131
G10300	1030	HR	470 (68)	260 (37.5)	20	42	137
		CD	520 (76)	440 (64)	12	35	149
G10350	1035	HR	500 (72)	270 (39.5)	18	40	143
		CD	550 (80)	460 (67)	12	35	163
G10400	1040	HR	520 (76)	290 (42)	18	40	149
		CD	590 (85)	490 (71)	12	35	170
G10450	1045	HR	570 (82)	310 (45)	16	40	163
		CD	630 (91)	530 (77)	12	35	179

Figura 32. Propiedades de los Aceros

Fuente: (Budynas & Nisbett, 2015), Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley

Una vez encontrado estos valores se procede a calcular el diámetro de la sección crítica del eje según la fórmula 7-14 de (Budynas & Nisbett, 2015) que es:

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

Donde:

**n:** Factor de seguridad estimado de 2.

**Kf, Kfs:** Factores de concentración de esfuerzos estimados en la tabla 7-1, que por recomendación se toma 1.7 y 1.5.

Estimaciones de primera iteración de los factores de concentración del esfuerzo  $K_t$  y  $K_{ts}$ . *Advertencia:* Estos factores sólo son estimaciones que pueden usarse cuando las dimensiones reales aún no se determinan. *No utilice* estos valores cuando ya cuente con las dimensiones reales.

	Flexión	Torsión	Axial
Filete de hombro: agudo ( $r/d = 0.02$ )	2.7	2.2	3.0
Filete de hombro: bien redondeado ( $r/d = 0.1$ )	1.7	1.5	1.9
Cuñero fresado ( $r/d = 0.02$ )	2.14	3.0	—
Cuñero de patín o trapezoidal	1.7	—	—
Ranura para anillo de retención	5.0	3.0	5.0

Los valores faltantes en la tabla no pueden obtenerse con facilidad.

Figura 33. Factores de Concentración de Esfuerzos

Fuente: (Budynas & Nisbett, 2015), Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley

**Se:** límite de resistencia a la fatiga en la ubicación crítica de una parte de maquina en la geometría y condición de uso.

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

**ka:** factor de modificación por la condición superficial, según la tabla 6-2 es 0.817

Tabla 6-2

Parámetros en el factor de la condición superficial de Marin, ecuación (6-19)

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

Figura 34. Factor de Condición Superficial

Fuente: (Budynas & Nisbett, 2015), Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley

$$k_a = aS_{ut}^b$$

$$k_a = 4.51 * (630 \text{ Mpa})^{-0.265}$$

$$k_a = 0.817$$

**kb:** factor de modificación por el tamaño, 0.9, el cual se debe verificar cuando se estime el diámetro

$$kb = 0.9$$

**kc:** factor de modificación por la carga, por flexión es igual a 1

$$kc = 1$$

**kd:** factor de modificación por la temperatura por ser menor a 450 grados centígrados es igual a 1.

$$kD = 1$$

**ke:** factor de confiabilidad, con una confiabilidad del 50 % es igual a 1

**Tabla 6-5**

Factores de confiabilidad  $k_e$  correspondientes a 8 desviaciones estándar porcentuales del límite de resistencia a la fatiga.

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

*Figura 35. Factor de Confiabilidad*

Fuente: (Budynas & Nisbett, 2015), Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley

**kf:** factor de modificación por efectos varios, igual a 1

**S'e:** Limite de resistencia a la fatiga por viga rotatoria

$$S'e = 0.5 Sut$$

$$S'e = 0.5 * 630 MPa$$

$$S'e = 315 \text{ MPa}$$

Por tanto, se tiene que Se es:

$$Se = 0.817 * 0.9 * 315 \text{ MPa}$$

$$Se = 231.62 \text{ Mpa}$$

Con todos los datos obtenidos, se procede a calcular el diámetro de la sección mas critica, es decir del mayor momento flector, donde el Mm y el Ta van a ser igual a cero.

$$d = \left( \frac{16(2)}{\pi} \left\{ \frac{1}{231.62 * 10^6 Pa} [4(1.7 * 181.65 \text{ Nm})^2]^{\frac{1}{2}} + \frac{1}{630 * 10^6 Pa} [3(1.5 * 45 \text{ Nm})^2]^{\frac{1}{2}} \right\} \right)^{\frac{1}{3}}$$

$$d = \left( \frac{16(2)}{\pi} \{2.66 * 10^{-6} + 1.85 * 10^{-7}\} \right)^{\frac{1}{3}}$$

$$d = 0.030 \text{ m}$$

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

$$d = 1.18 \text{ in}$$

Para la el soporte en un hombro la relación típica que se maneja es D/d=1.2 según (Budynas & Nisbett, 2015), por tanto se tiene:

$$\frac{D}{d} = 1.2$$

$$D = 1.2 * 0.030 \text{ m}$$

$$D = 0.036 \text{ m}$$

$$D = 36 \text{ mm}$$

$$D = 1.4173 \text{ in}$$

Se puede usar un diámetro nominal de 40 mm equivalente a 1.57 in, a continuación, se va a verificar los valores estimados.

$$\frac{D}{d} = 1.2$$

$$\frac{40\text{mm}}{d} = 1.2$$

$$d = \frac{40 \text{ mm}}{1.2}$$

$$d = 33.33 \text{ mm}$$

$$d = 1.31\text{in}$$

Para determinar el nuevo Kf y Kfs se necesita estimar el radio de filete.

$$r = \frac{d}{10}$$

$$r = \frac{1.31 \text{ in}}{10}$$

$$r = 0.131$$

$$\frac{r}{d} = 0.1$$

Se toma los valores de la figura A 15- 9 que se encuentra en el anexo 1, siendo Kt igual a 1.6.

Se toma los valores de la figura 6-20 que se encuentra en el anexo 1, un q igual a 0.82

Por tanto:

$$Kf = 1 + 0.82(1.6 - 1)$$

$$Kf = 1.49$$

Se toma los valores de la figura A 15- 8 que se encuentra en el anexo 1, sienta  $Kts$  igual a 1.35.

Se toma los valores de la figura 6-21 que se encuentra en el anexo 1, un  $qs$  igual a 0.85

$$Kfs = 1 + 0.85(1.35 - 1)$$

$$Kfs = 1.3$$

El  $ka$  no se va a cambiar, pero se debe calcular el nuevo  $kb$  con el  $d = 40$  mm que en pulgadas es 1.57 in, por tanto, según la fórmula 6-20 se tiene:

$$kb = \left(\frac{1.57}{0.3}\right)^{-0.107}$$

$$kb = 0.837$$

El nuevo  $Se$  va a ser:

$$Se = (0.817)(0.837)(315 \text{ MPa})$$

$$Se = 215.4 \text{ MPa}$$

Para determinar el factor de seguridad que tendrá el diseño se va a utilizar el criterio de Goodman dado en (Budynas & Nisbett, 2015) que son la fórmula 7-5 y 7-6

$$\sigma' a = \frac{32 * Kf * Ma}{\pi * d^3}$$

$$\sigma'a = \frac{32 * 1.49 * 181.65 \text{ Nm}}{\pi * 0.03333^3}$$

$$\sigma'a = 74458766.14 \text{ Pa}$$

$$\sigma'm = \left[ 3 * \left( \frac{16 * Kfs * Tm}{\pi * d^3} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$\sigma'm = \left[ 3 * \left( \frac{16 * 1.3 * 45 \text{ Nm}}{\pi * 0.03333^3} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$\sigma'm = 13937364.64 \text{ Pa}$$

Criterio de Goodman

$$\frac{1}{n} = \frac{\sigma'a}{Se} + \frac{\sigma'm}{Sut}$$

$$\frac{1}{n} = \frac{74458766.14 \text{ Pa}}{215400000 \text{ Pa}} + \frac{13937364.64 \text{ Pa}}{630000000 \text{ Pa}}$$

$$\frac{1}{n} = 0.3677$$

$$n = 2.72$$

Por tanto, tendremos para el eje un factor de seguridad de 2.72, el cual actuara perfectamente para todo trabajo en el que se encuentre la maquina trituradora y sus diámetros por sección serán de 40 mm equivalente a 1.57 in y 33.33 mm equivalente a 1.31 in respectivamente.

### ***Selección de Cuñas.***

Las cuñas cumplen la tarea de un elemento de seguridad para cualquier sistema de transmisión, en este caso específico como son las poleas, existe una gran variedad de ellas, para

este diseño se va a optar por un diseño de tipo cuadrado el cual es el más común para su aplicación en ejes, para hacer una selección correcta de la cuña es necesario conocer el diámetro real que se va a utilizar en el eje, este diseño tiene un diámetro  $D$  igual a 40 mm equivalente a 1.57 in y un diámetro  $d$  igual a 33.33 mm equivalente a 1.31 in, según (Caviedes Aguirre, 2020) se va a utilizar la siguiente tabla, que para su efecto se va a utilizar el diámetro  $d$  igual a 1.31 in, donde se escoge un tamaño nominal de la cuña de 5/16 in equivalente a 7.94 mm, teniendo en cuenta su forma cuadrada.

Tamaño nominal del eje		Tamaño nominal de la cuña		
Más de	Hasta (incl.)	Ancho, $W$	Altura, $H$	
			Cuadrada	Rectangular
5/16	7/16	3/32	3/32	
7/16	9/16	1/8	1/8	3/32
9/16	7/8	3/16	3/16	1/8
7/8	1	1/4	1/4	3/16
1	1 1/8	5/16	5/16	1/4
1 1/8	1 1/4	3/8	3/8	1/4
1 1/4	2 1/4	1/2	1/2	3/8
2 1/4	2 3/4	5/8	5/8	7/16
2 3/4	3 1/4	3/4	3/4	1/2
3 1/4	3 3/4	7/8	7/8	5/8
3 3/4	4 1/2	1	1	3/4
4 1/2	5 1/2	1 1/4	1 1/4	7/8
5 1/2	6 1/2	1 1/2	1 1/2	1

Figura 36. Tamaño de Cuñas

Fuente. (Caviedes Aguirre, 2020)

### **Selección de Rodamientos.**

Para la selección de los rodamientos según (Budynas & Nisbett, 2015) se debe tomar en consideración el tipo de carga al cual va a estar sometido el elemento en cuestión y su magnitud, es decir para el caso de diseño se va a utilizar la fuerza de corte de las cuchillas cuyo valor es de 1807 N y es una carga radial, se escoge el tipo de rodamiento de una hilera de bolas de contacto radial que según (Industry, 2016) tiene aptitudes para soportar cargas y velocidades de rotación elevadas, para nuestro caso el tipo de rodamiento que se va a emplear es para trituradoras la cual

en la figura 37 nos muestra las hora de funcionamiento más comunes que necesita la máquina, que aproximadamente es 22000 horas.

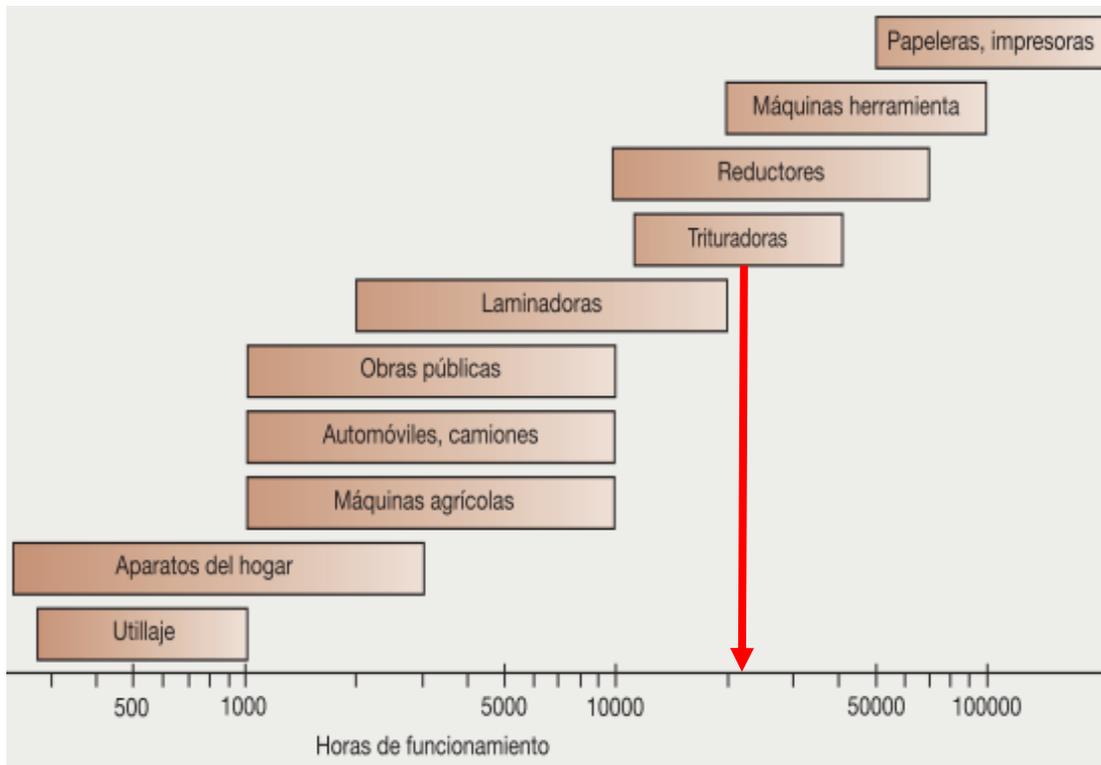


Figura 37. Horas de Trabajo Sugeridas SNR Rodamientos

Fuente: (Industry, 2016)

Para la selección del rodamiento tenemos un diámetro nominal de la sección de 33.33 mm, por tanto, se va a escoger un rodamiento de 35 mm, dando un juego de un milímetro para lubricación y por la temperatura que se pueda dar según (SKF, 2015) se va a tener una denominación de 6307-2Z que tiene una capacidad de carga básica dinámica (C) igual a 35.1 KN y una carga limite a la fatiga (Pu) de 0.815 KN, según la tabla de rodamientos presentada en el anexo 1.

Según (Budynas & Nisbett, 2015) para rodamientos de bolas se tiene un factor a igual a 3 y se va a utilizar un factor de carga con impactos moderados por la tabla 11-5 que se encuentra en el anexo 1, por recomendación se toma un factor (Kac) de 2.

Para hacer el cálculo de la vida del rodamiento se tiene la siguiente ecuación que muestra.

$$C_{10} = F_R = F_D \left( \frac{L_D}{L_R} \right)^{\frac{1}{a}} = F_D \left( \frac{L_D * n_D * 60 \text{ min}}{L_R * n_R * 60 \text{ min}} \right)^{\frac{1}{a}}$$

Donde:

$$C_{10} = F_D \left( \frac{\text{Vida revoluciones deseada}}{\text{Vida nominal fabricante}} \right)^{\frac{1}{a}} = F_D \left( \frac{L_D * n_D * 60 \text{ min}}{L_R * n_R * 60 \text{ min}} \right)^{\frac{1}{a}}$$

$$L_D * n_D * 60 \text{ min} = 22000 \text{ horas} * 540 \frac{\text{rev}}{\text{min}} * 60 \text{ min} = 7.12 * 10^8 \text{ rev}$$

$$L_R * n_R * 60 \text{ min} = 10^6 \text{ rev}; \text{ Esta es la referencia del fabricante SKF}$$

$$F_D = F_c * K_{ac}$$

$$F_D = 1807 \text{ N} * 2$$

$$F_D = 3614 \text{ N}$$

$$C_{10} = F_D \left( \frac{\text{Vida revoluciones deseada}}{\text{Vida nominal fabricante}} \right)^{\frac{1}{a}}$$

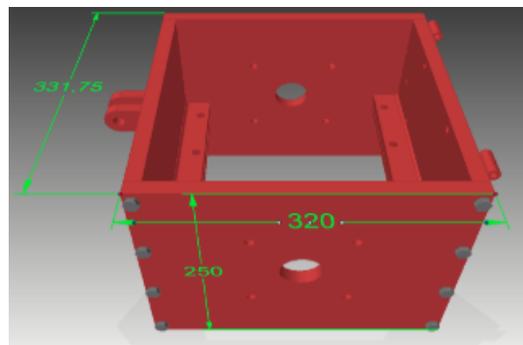
$$C_{10} = 3614 \text{ N} \left( \frac{7.12 * 10^8 \text{ rev}}{10^6 \text{ rev}} \right)^{\frac{1}{3}}$$

$$C_{10} = 32271.17 \text{ N}$$

La carga dinámica del rodamiento escogido es de 35.1 KN, siendo este valor mayor en un 8% a la carga dinámica requerida que es de 32.3 KN, por lo tanto, será suficiente para tolerar los esfuerzos de trabajo.

### ***Carcasa***

Para la selección del material de la carcasa se va a tomar el acero comercial A36, se va a utilizar placas de 16 mm de espesor y 21 mm de espesor, esta última para colocar los rodamientos escogidos, por recomendación de (Caviedes Aguirre, 2020) se va a tomar cuatro tapas con agujeros roscados y tornillos de tipo M12 rosca fina, asegurando que no existan sujeciones dentro de la caja para no generar choques en ella, y no se va a necesitar validaciones de resistencia ya que este espesor utilizado es el mismo de los discos de soporte y la caja armada será mucho más robusta, por tanto, más resistente por lo que el diseño de la carcasa queda validado, en la mencionada carcasa va a existir una lámina guía para las botellas.



*Figura 38. Geometría de la Carcasa*

Fuente: (Caviedes Aguirre, 2020)

### ***Tolva***

Para la selección del material de la carcasa se va a tomar planchas AISI 1010 para su construcción según la recomendación (Cajusol, 2020), para que cumpla su principal función, la

cual es recoger el material plástico, la geometría será mixta consiste en una un tolva rectangular y trapezoidal.

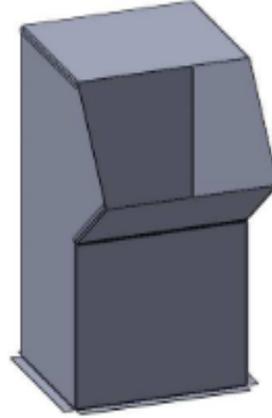


Figura 39. Tolva Mixta

Fuente: Elaboración Propia

### Estructura base

Para la selección del material de la se va a tomar acero estructural A36 y que se va a construir con un perfil estructural de 3 pulgadas como se observa en el catálogo (ACEROMEX, 2020), según la recomendación de (Caviedes Aguirre, 2020) y una placa de 3/16 pulgadas de espesor para fijar el motor eléctrico.

#### Canal C.P.S.

Peralte		Peso		Patín				Alma	
d				Ancho (bf)		Espesor (tf)		Espesor (tw)	
pulg.	mm.	kg./m.	lb./pie	pulg.	mm.	pulg.	mm.	pulg.	mm.
3	76.2	5.21	3.5	1.372	34.85	0.273	6.93	0.132	3.35
		6.10	4.1	1.410	35.81	0.273	6.93	0.170	4.32
4	101.6	6.70	4.5	1.584	40.23	0.296	7.52	0.125	3.18
		8.04	5.4	1.584	40.23	0.296	7.52	0.184	4.67
5	127.0	9.97	6.7	1.750	44.45	0.320	8.13	0.190	4.83

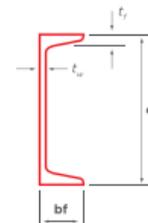


Figura 40. Perfil Estructural CPS, Perfil en C 3 x 4.1

Fuente: (ACEROMEX, 2020)

## Simulación Estructural

En este apartado se va a dar a conocer la simulación y los resultados respecto al análisis estructural que se realizó en el software de simulación y modelado Inventor para determinar deformaciones, desplazamientos en los elementos críticos de la máquina trituradora que son el eje y la estructura donde se va a montar todos los elementos mecánicos, de esta manera se va a comprobar el correcto funcionamiento de todo el conjunto.

### *Simulación de Esfuerzos en la Estructura base*

Se realiza la simulación de la estructura de la máquina puesto que en ella se ejercen todas las fuerzas del sistema y si no se comprueba su correcto funcionamiento se podría poner en riesgo la integridad física de los operadores y hasta su vida.

En la primera parte de la simulación en la tabla 5 se puede observar las propiedades físicas de la estructura y en la tabla 6 el material con sus respectivas características de la estructura que son las siguientes:

Tabla 5.

#### *Propiedades Físicas de la Estructura*

Propiedad	Valor
Masa	34,300 kg
Área	19919,246 mm <sup>2</sup>
Volumen	5331,186 mm <sup>3</sup>
	x=35,463 mm
Centro de gravedad	y=150,431 mm
	z=5,106 mm

Fuente: Tabla de elaboración propia.

Tabla 6.

#### *Material y sus características*

Nombre	Acero, suave	
General	Densidad de masa	7,850 g/cm <sup>3</sup>

Tensión	Límite de elasticidad	207,000 MPa
	Resistencia máxima a tracción	345,000 MPa
	Módulo de Young	220,000 GPa
	Coefficiente de Poisson	0,275 su
Nombre(s) de pieza	ANSI C 3 x 4,1 00000001.ipt	
	ANSI C 3 x 4,1 00000002.ipt	
	ANSI C 3 x 4,1 00000003.ipt	
	ANSI C 3 x 4,1 00000004.ipt	
	ANSI C 3 x 4,1 00000005.ipt	
	ANSI C 3 x 4,1 00000006.ipt	
	ANSI C 3 x 4,1 00000007.ipt	
	ANSI C 3 x 4,1 00000008.ipt	
	ANSI C 3 x 4,1 00000009.ipt	

Fuente: Tabla de elaboración propia.

Posterior se van a poner restricciones en la base de la estructura, es decir que las cuatro patas van a estar fijas y no van a tener movimiento alguno.

Luego se van a colocar las cargas a las cuales se va a someter la estructura con sus respectivas características es decir ubicación en la estructura y magnitud, que son las siguientes:

Gravedad, que se puede observar en la tabla 7.

Tabla 7.

*Gravedad*

Tipo de carga	Gravedad
Magnitud	9810,000 mm/s <sup>2</sup>
Dirección	Y-

Fuente: Tabla de elaboración propia.

Cargas ejercidas por el motor eléctrico en la estructura, que se puede observar en la tabla 8, tabla 9, tabla 10.

**Fuerza 1.** La carga está dada por el valor del torque del motor (T) encontrado en (Idict, 2018), que es 2.03 kgfm, que transformado tiene un valor de 19.91 Nm y la distancia de 0.173 m, encontrando así el valor de la fuerza de la siguiente manera:

$$T = F * d$$

$$F = \frac{T}{d}$$

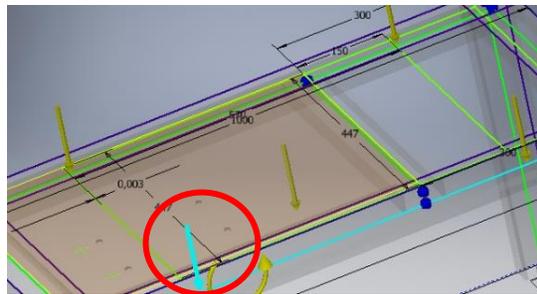
$$F = \frac{19.91Nm}{0.173m} = 115 N$$

Tabla 8.

*Fuerza 1 Aplicada en la Estructura*

Tipo de carga	Fuerza
Magnitud	115,000 N
Sistema de coordenadas de vigas	No
Ángulo de plano	270,00 gr
Ángulo en plano	90,00 gr
Fx	0,000 N
Fy	-115,000 N
Fz	0,000 N
Desfase	716,876 mm

Fuente: Tabla de elaboración propia.



*Figura 41. Fuerza 1 aplicada en la estructura marcada de color celeste*

Fuente: Elaboración propia.

**Fuerza2.** La carga está dada por el valor del torque del motor (T) encontrado en (Idict, 2018), que es 2.03 kgfm, que transformado tiene un valor de 19.91 Nm y la distancia de 0.173 m, encontrando así el valor de la fuerza de la siguiente manera:

$$T = F * d$$

$$F = \frac{T}{d}$$

$$F = \frac{19.91Nm}{0.173m} = 115 N$$

Tabla 9.

*Fuerza 2 aplicada en la estructura*

Tipo de carga	Fuerza
Magnitud	115,000 N
Sistema de coordenadas de vigas	No
Ángulo de plano	270,00 gr
Ángulo en plano	90,00 gr
Fx	0,000 N
Fy	-115,000 N
Fz	0,000 N
Desfase	187,312 mm

Fuente: Tabla de elaboración propia.

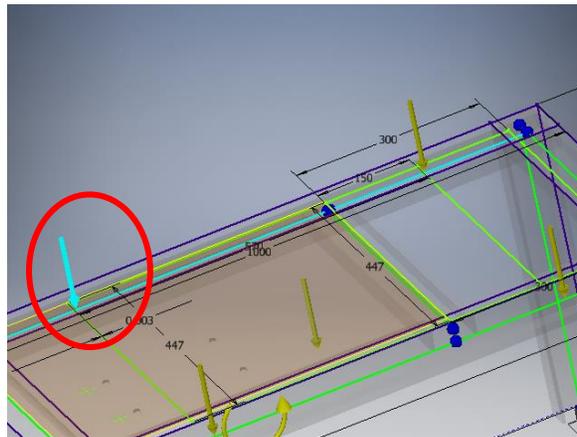


Figura 42. Fuerza 2 aplicada en la estructura marcada de color celeste

Fuente: Elaboración propia.

**Momento.** Esta dado para un caso extremo el cual es cuando el rotor esta trabado, según (Idict, 2018) se toma el valor de 3.5 kgfm.

$$3.5 \text{ kgf m} * \frac{9.8067 \text{ Nm}}{1 \text{ kgfm}} * \frac{1000 \text{ mm}}{1 \text{ m}} = 34320 \text{ Nmm}$$

Tabla 10.

*Momento aplicado en la estructura*

Tipo de carga	Momento
Magnitud	34320,000 N mm
Sistema de coordenadas de vigas	No
Ángulo de plano	0,00 gr
Ángulo en plano	0,00 gr
Mx	0,000 N mm
My	0,000 N mm
Mz	34320,000 N mm
Desfase	652,693 mm

Fuente: Tabla de elaboración propia.

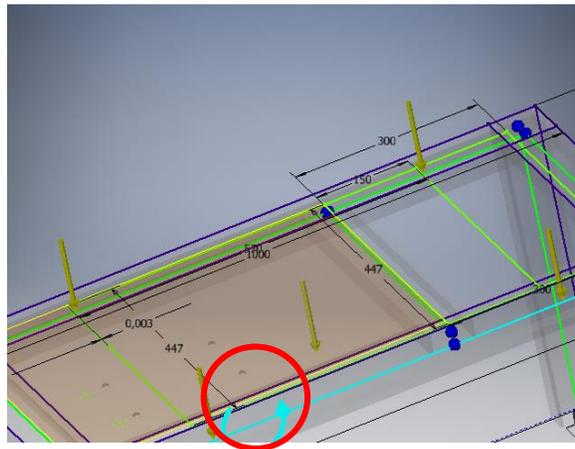


Figura 43. Momento aplicado en la estructura marcada de color celeste

Fuente: Elaboración propia.

Cargas ejercidas por los elementos mecánicos que conforman la trituradora en la estructura que se puede observar en la tabla 11, tabla 12

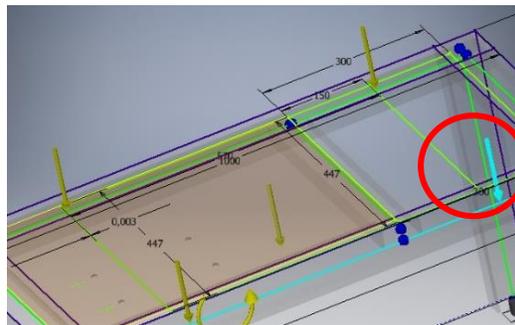
**Fuerza 3.** Esta carga está dada peso promedio que va a tener los elementos mecánicos que van a estar anclados a la estructura, dando una carga de 720 N.

Tabla 11.

*Fuerza 3 aplicada en la estructura*

Tipo de carga	Fuerza
Magnitud	720,00 N
Sistema de coordenadas de vigas	No
Ángulo de plano	270,00 gr
Ángulo en plano	90,00 gr
Fx	0,000 N
Fy	-720,00 N
Fz	0,000 N
Desfase	144,419 mm

Fuente: Tabla de elaboración propia.



*Figura 44. Fuerza 3 aplicada en la estructura marcada de color celeste*

Fuente: Elaboración propia.

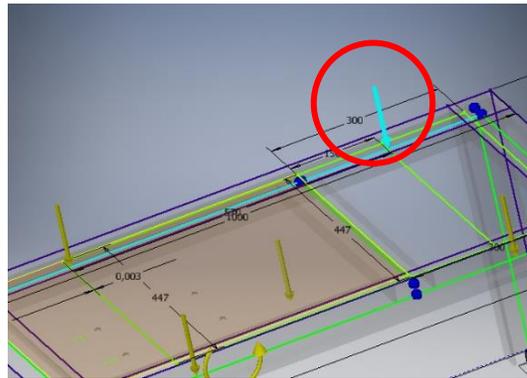
**Fuerza 4.** Esta carga está dada peso promedio que va a tener los elementos mecánicos que van a estar anclados a la estructura, dando una carga de 720 N.

Tabla 12.

*Fuerza 4 aplicada en la estructura*

Tipo de carga	Fuerza
Magnitud	720,00 N
Sistema de coordenadas de vigas	No
Ángulo de plano	270,00 gr
Ángulo en plano	90,00 gr
Fx	0,000 N
Fy	-720,00 N
Fz	0,000 N
Desfase	756,694 mm

Fuente: Tabla de elaboración propia.



*Figura 45. Fuerza 4 aplicada en la estructura marcada de color celeste*

Fuente: Elaboración propia.

### ***Resultados de la Simulación de Esfuerzos en la Estructura Base***

En la siguiente tabla se presenta los resultados de la simulación de cargas aplicadas en la estructura, en donde se puede observar los valores de las cargas máximas y mínimas que puede soportar la estructura y también la posición específica donde están aplicadas es decir el eje de coordenadas en donde se encuentra cada carga, así como los esfuerzos normales, de corte y torsión que puede soportar la estructura que se puede observar en la tabla 13.

Tabla 13.

*Resultados del Análisis Estructural*

Nombre	Mínimo	Máximo	
Desplazamiento	0,000 mm	0,094 mm	
Coef.de seguridad	12.689 su	17 su	
Fuerzas	Fx	-230,392 N	852,339 N
	Fy	-796,183 N	295,631 N
	Fz	-0,787 N	870,449 N
Momentos	Mx	-98472,109 N mm	53473,177 N mm
	My	-98595,436 N mm	42306,104 N mm
	Mz	-597,843 N mm	268,013 N mm
Esfuerzos normales	Smax	-0,819 MPa	12,704 MPa
	Smin	-26,265 MPa	0,001 MPa
Esfuerzo de corte	Tx	-2,342 MPa	0,633 MPa
	Ty	-1,072 MPa	2,886 MPa
Esfuerzo de torsión	T	-0,243 MPa	0,542 MPa

Fuente: Tabla de elaboración propia.

**Desplazamiento.** En la figura 46 se puede observar el desplazamiento máximo a carga máxima.

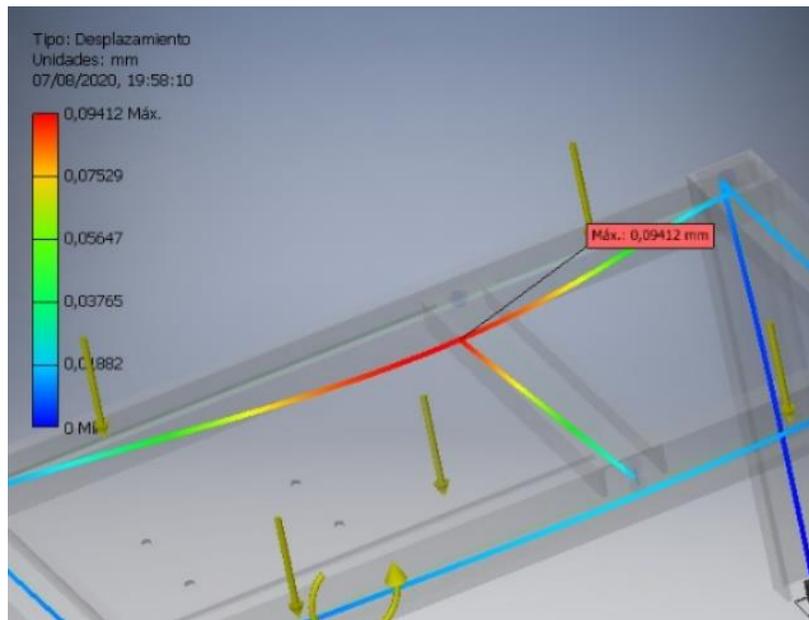
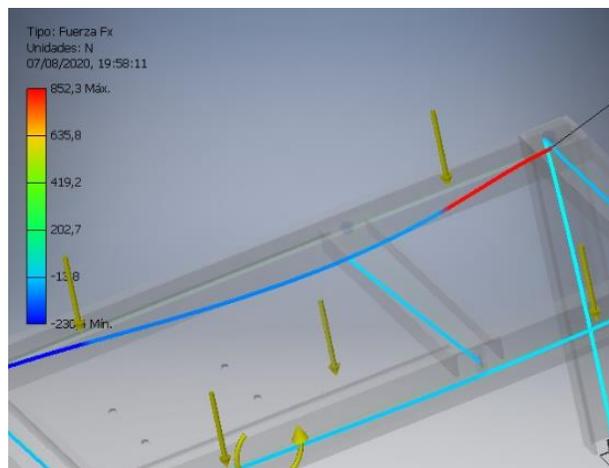


Figura 46. Desplazamiento máximo a carga máxima

Fuente: Elaboración propia.

### **Fuerza soportada en el eje X.**

Se presenta el resultado de la simulación de cargas aplicadas, en donde se puede observar el valor de la cargas máxima y mínima que puede soportar la estructura en el eje de coordenadas X que se puede observar en la tabla 13 y en la figura 47, donde está marcada con color rojo el fragmento de la estructura dónde soportara la mayor carga.



*Figura 47. Fuerza en el eje X*

Fuente: Elaboración propia.

### **Fuerza soportada en el eje Y.**

Se presenta el resultado de la simulación de cargas aplicadas, en donde se puede observar el valor de la cargas máxima y mínima que puede soportar la estructura en el eje de coordenadas Y que se puede observar en la tabla 13 y en la figura 48, donde está marcada con color anaranjado el fragmento de la estructura dónde soportara la mayor carga.

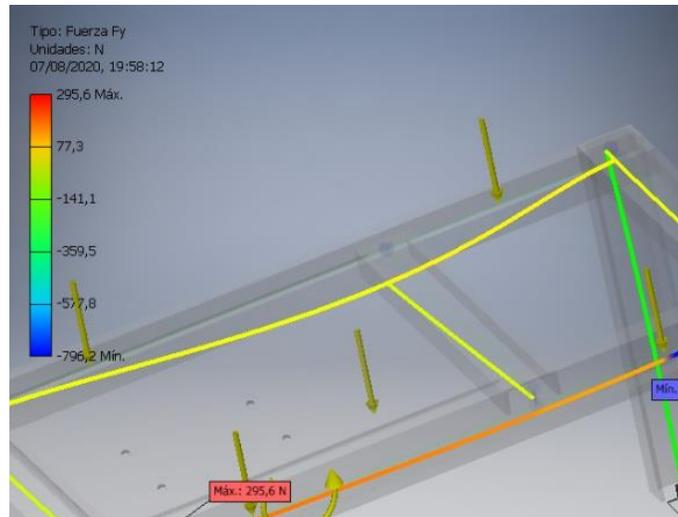


Figura 48. Fuerza en el eje Y

Fuente: Elaboración propia

### Fuerza soportada en el eje Z.

Se presenta el resultado de la simulación de cargas aplicadas, en donde se puede observar el valor de la cargas máxima y mínima que puede soportar la estructura en el eje de coordenadas Z que se puede observar en la tabla 13 y la figura 49, donde está marcada con color rojo el fragmento de la estructura dónde soportara la mayor carga.

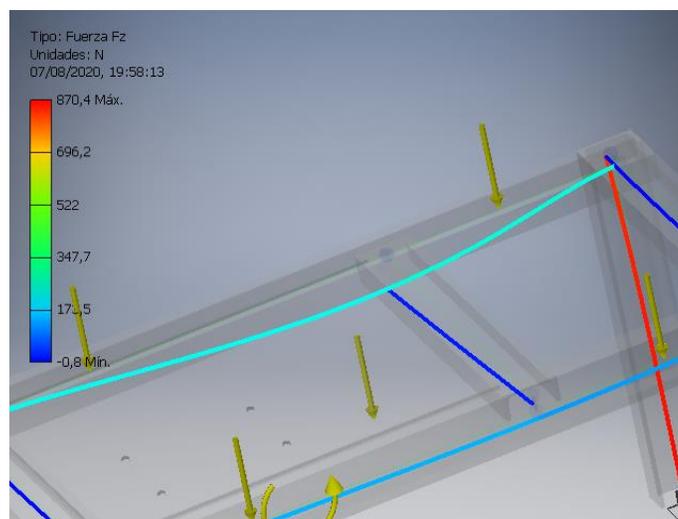


Figura 49. Fuerza en el eje Z

Fuente: Elaboración propia.

## Momento soportado en el eje X.

Se presenta el resultado de la simulación de cargas aplicadas, en donde se puede observar el valor del momento máximo y mínimo que puede soportar la estructura en el eje de coordenadas X que se puede observar en la tabla 13 y la figura 50, donde está marcada con color amarillo el fragmento de la estructura dónde soportara la mayor carga.

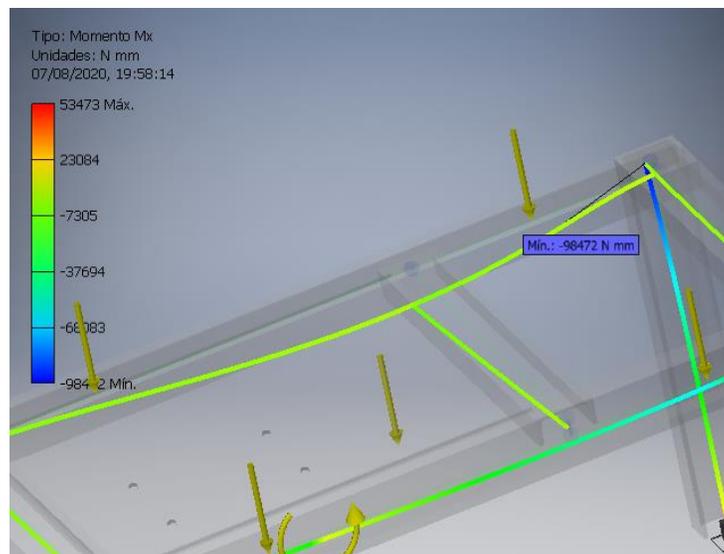


Figura 50. Momento en el eje X

Fuente: Elaboración propia.

## Momento soportado en el eje Y.

Se presenta el resultado de la simulación de cargas aplicadas, en donde se puede observar el valor del momento máximo y mínimo que puede soportar la estructura en el eje de coordenadas Y que se puede observar en la tabla 13 y la figura 51, donde está marcada con color rojo el fragmento de la estructura dónde soportara la mayor carga.

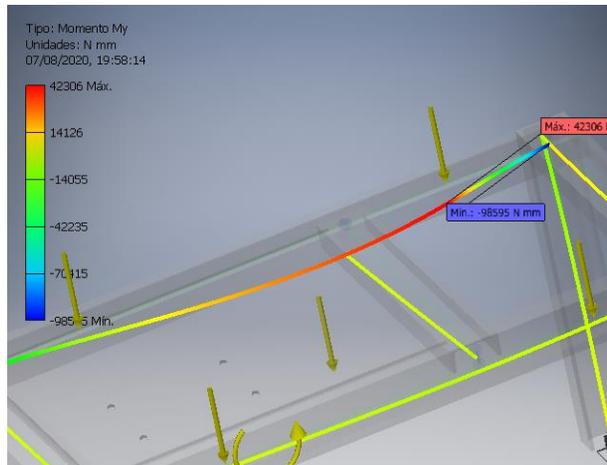


Figura 51. Momento en el eje Y

Fuente: Elaboración propia.

### Momento soportado en el eje Z.

Se presenta el resultado de la simulación de cargas aplicadas, en donde se puede observar el valor del momento máximo y mínimo que puede soportar la estructura en el eje de coordenadas Z que se puede observar en la tabla 13 y la figura 52, donde está marcada con color rojo el fragmento de la estructura dónde soportara la mayor carga.

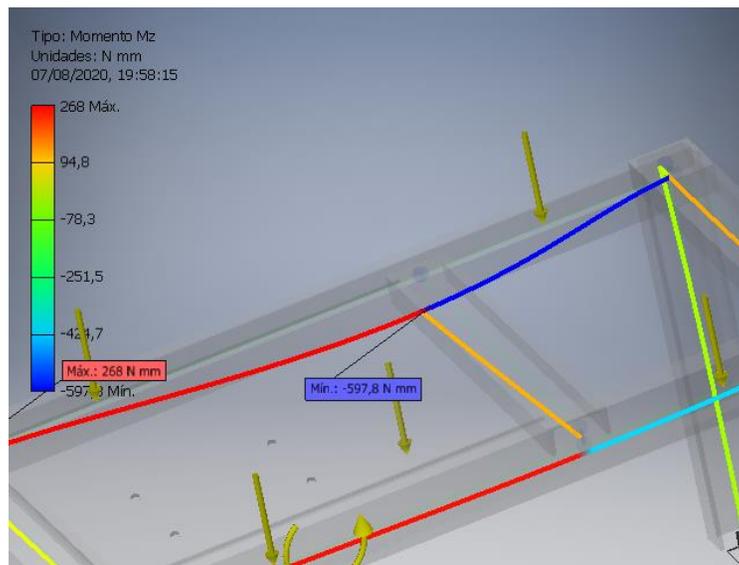
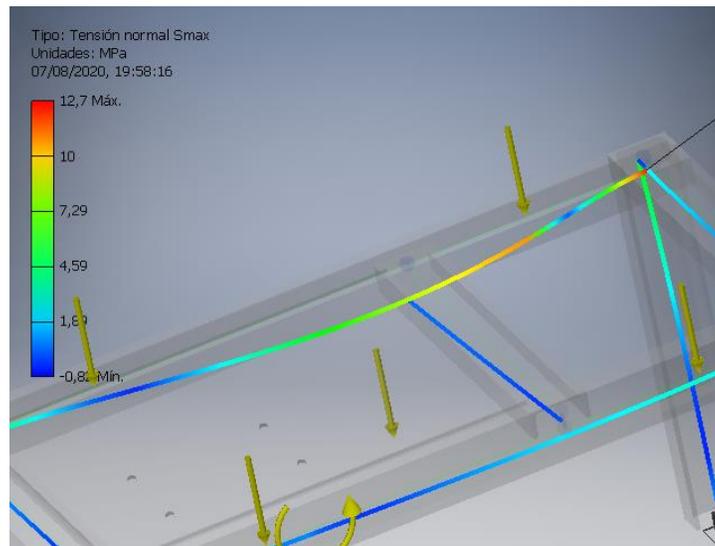


Figura 52. Momento en el eje Z

Fuente: Elaboración propia.

### **Esfuerzo normal (Smax)**

Se presenta el resultado de la simulación de cargas aplicadas, en donde se puede observar el valor de la tensión máxima que puede soportar la estructura que se puede observar en la tabla 13 y la figura 53, donde está marcada con color rojo, anaranjado el fragmento de la estructura dónde soportara la mayor tensión.



*Figura 53. Tensión normal Smax*

Fuente: Elaboración propia.

### **Esfuerzo Normal (Smin)**

Se presenta el resultado de la simulación de cargas aplicadas, en donde se puede observar el valor de la tensión mínima que puede soportar la estructura que se puede observar en la tabla 13 y la figura 54, donde está marcada con color rojo el fragmento de la estructura.

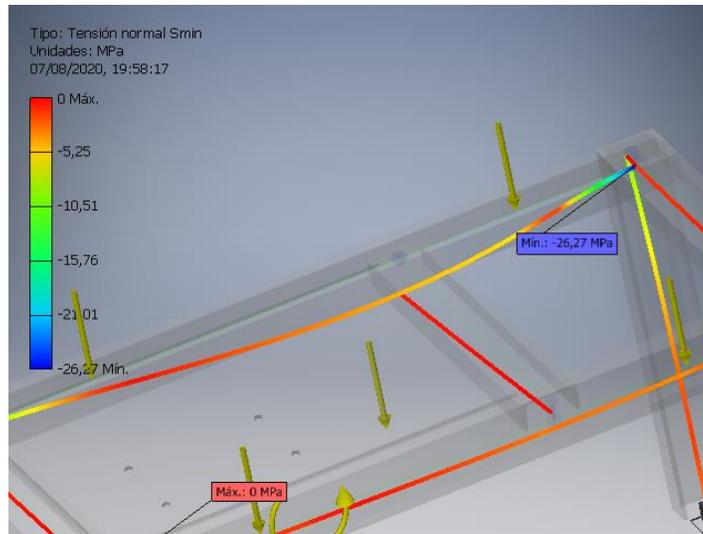


Figura 54. Tensión normal Smin

Fuente: Elaboración propia.

### Tensión de corte (Tx)

Se presenta el resultado de la simulación de cargas aplicadas, en donde se puede observar el valor de la tensión de corte en el eje X que puede soportar la estructura que se puede observar en la tabla 13 y la figura 55, donde está marcada con color rojo, anaranjado el fragmento de la estructura dónde soportara la mayor tensión de corte.

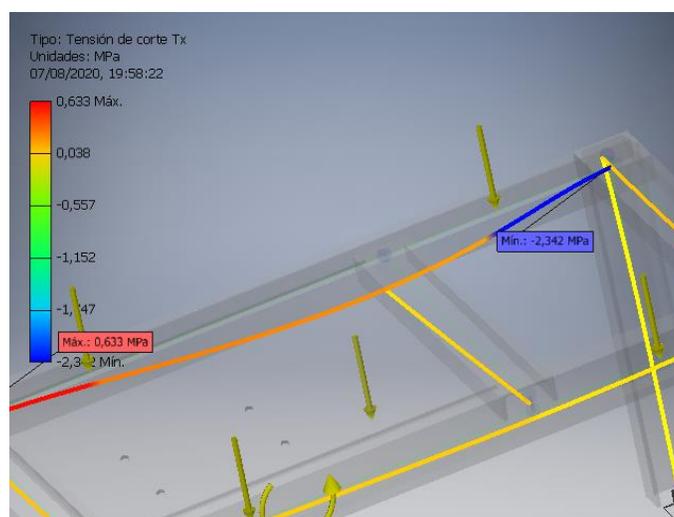


Figura 55. Tensión de corte (Tx)

Fuente: Elaboración propia.

### Tensión de corte ( $T_y$ )

Se presenta el resultado de la simulación de cargas aplicadas, en donde se puede observar el valor de la tensión de corte en el eje Y que puede soportar la estructura que se puede observar en la tabla 13 y la figura 56, donde está marcada con color rojo el fragmento de la estructura dónde soportara la mayor tensión de corte.

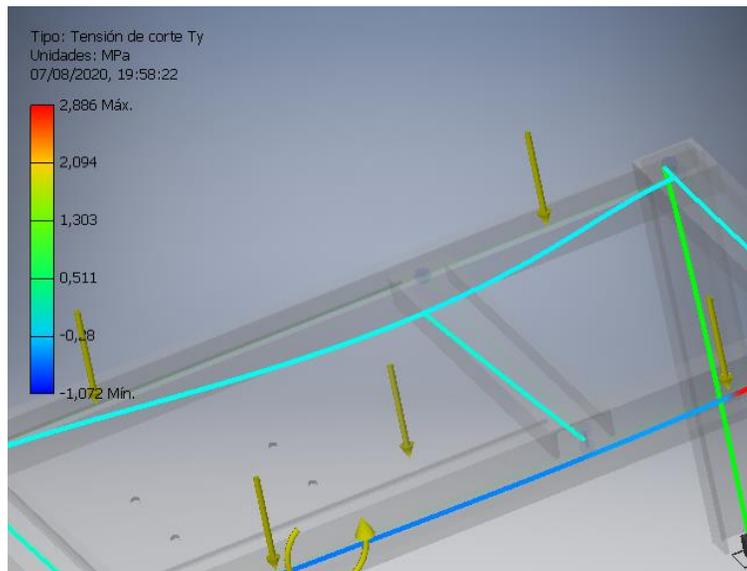


Figura 56. . Tensión de corte ( $T_y$ )

Fuente: Elaboración propia.

### Tensión de Torsión (T)

Se presenta el resultado de la simulación de cargas aplicadas, en donde se puede observar el valor de la tensión de torsión que puede soportar la estructura que se puede observar en la tabla 13 y la figura 57, donde está marcada con color rojo el fragmento de la estructura dónde soportara la mayor tensión de torsión.

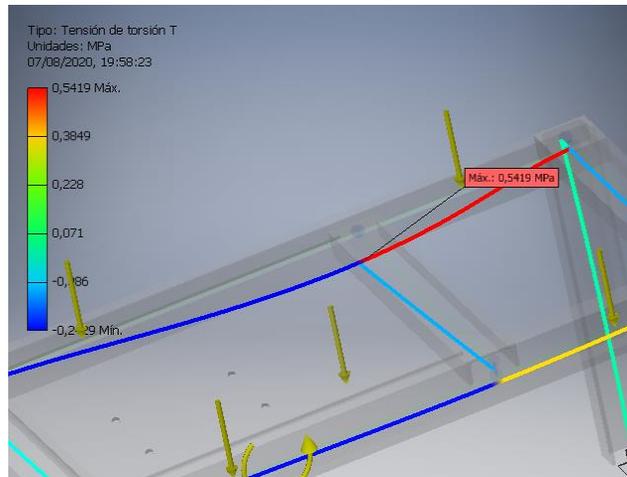


Figura 57. Tensión de Torsión (T)

Fuente: Elaboración propia.

### ***Simulación de esfuerzos en el Eje***

Se realiza la simulación del eje motriz de la máquina puesto que en ella se ejercen todas las fuerzas de corte y las reacciones de los elementos mecánicos que lo sostienen, si no se comprueba su correcto funcionamiento se podrían producir averías graves en el sistema de trituración ocasionado pérdidas en horas de trabajo, repuestos.

En la primera parte de la simulación se puede observar las propiedades físicas del eje en la tabla 14 y el material en la tabla 15 con sus respectivas características de la estructura que son las siguientes:

Tabla 14.

#### *Propiedades Físicas del Eje*

Material	Acero AISI 1045 LC
Densidad	7,85 g/cm <sup>3</sup>
Masa	4,70428 kg
Área	68867,7 mm <sup>2</sup>
Volumen	599272 mm <sup>3</sup>

	x=300 mm
Centro de gravedad	y=-0,00000000188181 mm
	z=0 mm

Fuente: Tabla de Elaboración propia

Tabla 15.

*Material del Eje*

Nombre	Acero AISI 1045 HV LC	
General	Densidad de masa	7,85 g/cm <sup>3</sup>
	Límite de elasticidad	327 MPa
	Resistencia máxima a tracción	671 MPa
Tensión	Módulo de Young	207 GPa
	Coefficiente de Poisson	0,33 su
	Módulo cortante	77,8195 GPa
Nombre(s) de pieza	eje análisis	

Fuente: Tabla de Elaboración propia

Tanto cargas, momentos y reacciones que se van a aplicar en el eje se encuentran descritas totalmente en el apartado del diseño del eje que son las siguientes:

$$Fuerza\ de\ corte = 1807\ N$$

$$Fuerza\ polea = 246.75\ N$$

$$Torque = 45\ N\ m$$

**Resultados del Eje**

En la siguiente tabla se presenta los resultados de la simulación de cargas aplicadas en el eje, en donde se puede observar los valores de las cargas máximas y mínimas que puede soportar y también la deformación específica de la sección, así como las tensiones y desplazamiento de cada eje como se puede observar en la tabla 16.

Tabla 16.

Resultados del Análisis del Eje

Nombre	Mínimo	Máximo
Volumen	555857 mm <sup>3</sup>	
Masa	4,36347 kg	
Tensión de Von Mises	3,3 Pa	33,8021 MPa
Primera tensión principal	-11,3432 MPa	43,5745 MPa
Tercera tensión principal	-42,1707 MPa	9,73427 MPa
Desplazamiento	0 mm	0,00280571 mm
Coefficiente de seguridad	3,34396 su	7 su
Desplazamiento X	-0,000615891 mm	0,000615347 mm
Desplazamiento Y	-0,00274142 mm	1,71654 *10 <sup>-12</sup> mm
Desplazamiento Z	-6,41288 *10 <sup>-4</sup> mm	0,00001932 mm
Deformación equivalente	1,51024 *10 <sup>-15</sup> su	0,000152402 su

Fuente: Tabla de Elaboración propia

**Tension de Von Mises.** En el eje de la máquina los esfuerzos son mucho menores a la resistencia elástica, y así se puede deducir que no experimentara deflexión alguna por las cargas sometidas.

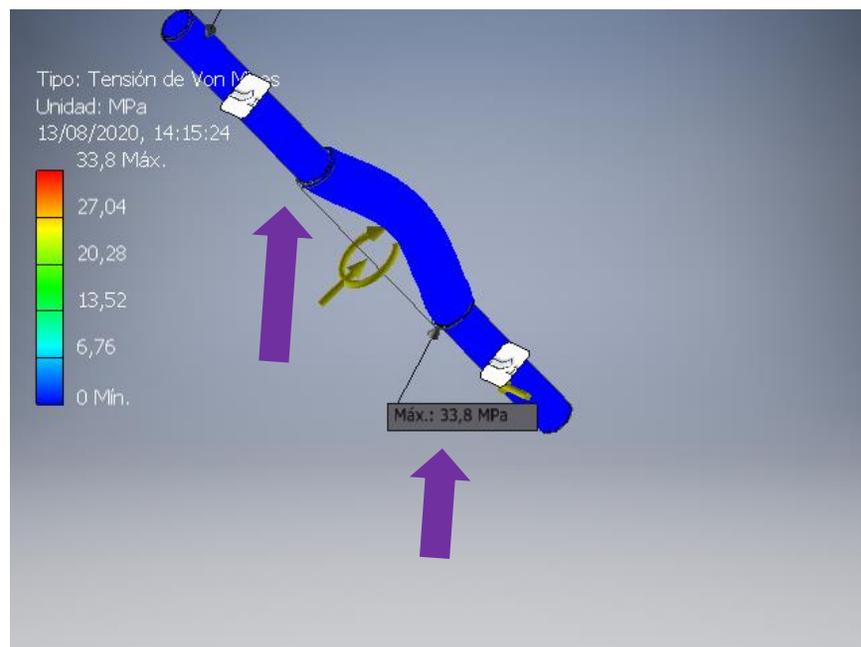


Figura 58. Tensión de Von Mises

Fuente: Elaboración propia

**Desplazamiento.** En la figura 59 se puede observar el desplazamiento máximo a carga máxima.

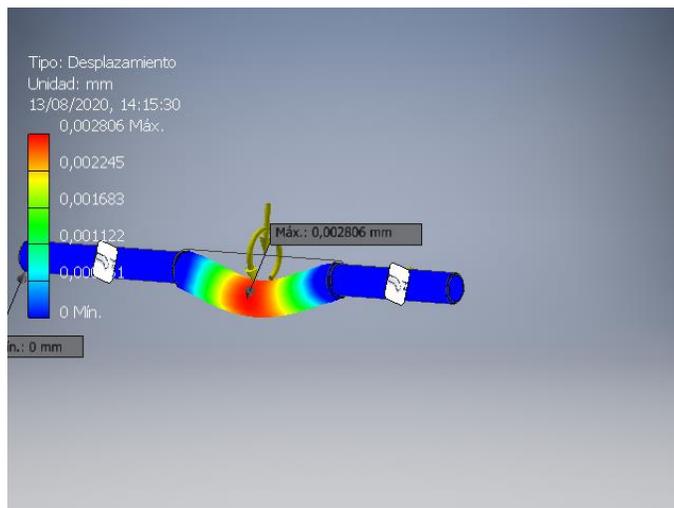


Figura 59. Desplazamiento máximo que podra sufrir el eje

Fuente: Elaboración propia

**Tasa de convergencia.** En la figura 60 se puede ver la tasa de convergencia en el esfuerzo de Von Mises, la cual es de 7.307 %.

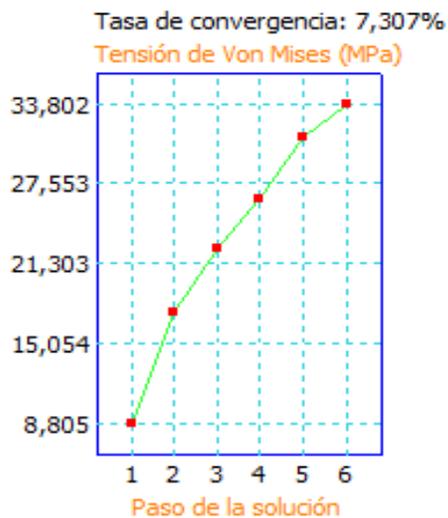


Figura 60. Tasa de convergencia

Fuente: Elaboración propia

**Porcentaje de error.** Se va a calcular el error para corroborar la simulación hecha entre el factor de seguridad de seguridad del eje calculado analíticamente que tiene el valor de 2.72 y el valor del coeficiente de seguridad que se obtuvo en la simulación del eje que es de 3,34396.

$$\% \text{ Error} = \frac{\text{Valor simulacion} - \text{Valor calculado}}{\text{Valor calculado}} * 100$$

$$\% \text{ Error} = \frac{3.34396 - 2.72}{2.72} * 100$$

$$\% \text{ Error} = 22.9$$

### **Conclusiones**

En la estructura de la máquina con cargas y momentos mucho mayores como se observa en la tabla, se puede notar una deflexión máxima de 0.094 mm y un factor de seguridad de mínimo de 12.689 lo cual indica claramente que la estructura va a soportar todas las cargas sin ningún tipo de problema, esto significa que la estructura tiene una confiabilidad muy alta.

En el eje de la máquina experimenta una deflexión máxima de 0.0028 mm y un factor de seguridad de mínimo de 3.34 lo cual indica claramente que el eje va a soportar todas las cargas y reacciones de los elementos acoplados a él sin ningún tipo de problema, esto significa que el eje tiene una confiabilidad muy alta.

Los cálculos de diseño para corroborar la simulación de los elementos críticos de la máquina trituradora se realizó con el porcentaje de error del coeficiente de seguridad del eje que

es 22.9 %, este valor se debe a que el software Inventor no está especializado para simulación estructural.

La máquina trituradora está bien justificada por las grandes cantidades de plástico PET que es 334.74 Kg/día producida por la comunidad de Limoncocha y es extremadamente importante desempeñar actividades de reciclaje que contribuyan a la reducción de contaminación además de promover la reutilización de este material.

Puesto que cada elemento mecánico de la trituradora es de fácil obtención o de fácil fabricación, la mayoría de ellas se las puede realizar en distintos talleres metalmecánicos, donde se cuente con la maquinaria apropiada para su fabricación.

### **Recomendaciones**

Se recomienda promover el reciclaje de material PET en la comunidad de Limoncocha, debido a su importancia ambiental y económica.

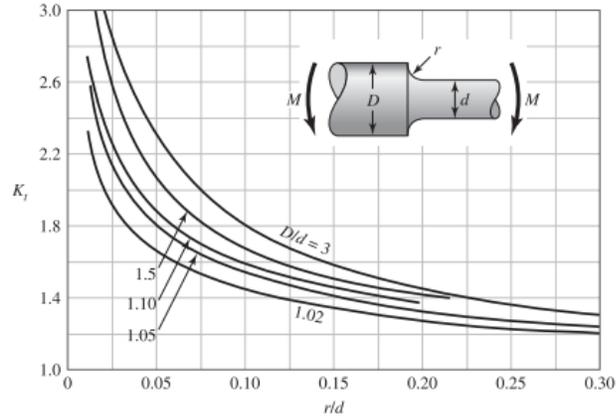
Mejorar el proceso de selección del tipo de plásticos antes de triturar, es decir la separación de la botella, la etiqueta y la tapa para optimizar el tiempo de procesamiento de esta materia prima.

Realizar una limpieza regular dentro de la caja de trituración para evitar la acumulación de materia prima en este lugar.

Se recomienda realizar la instalación de la máquina en un lugar adecuado es decir que el suelo sea plano para reducir la vibración de la máquina.

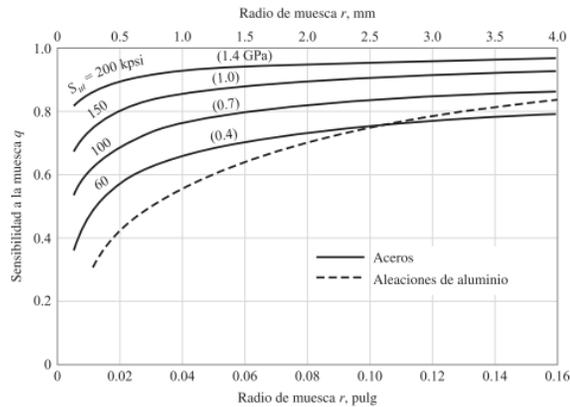
## Anexo 1

Figuras y Tablas utilizadas: (Budynas & Nisbett, 2015), Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley



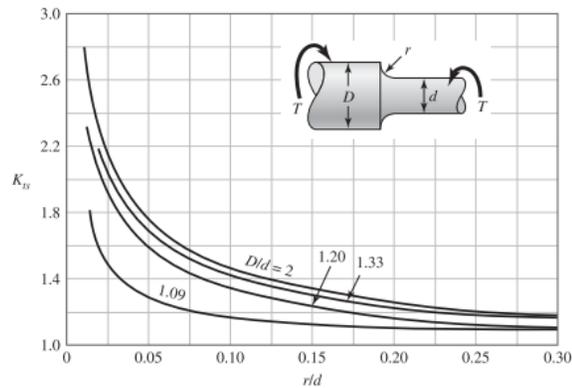
**Figura A-15-9**

Eje redondo con filete en el hombro en flexión.  $\sigma_0 = Mc/I$ , donde  $c = d/2$  e  $I = \pi d^4/64$ .



**Figura 6-20**

Sensibilidad a la muesca en el caso de aceros y aleaciones de aluminio forjado UNS A92024-T, sometidos a flexión inversa de cargas axiales inversas. Para radios de muesca más grandes, use los valores de  $q$  correspondientes a la ordenada  $r = 0.16$  pulg (4 mm). [De George Sines y J.L. Waisman (eds.), *Metal Fatigue*, McGraw-Hill, Nueva York, Copyright© 1969 por The McGraw-Hill Companies, Inc. Reproducido con autorización.]

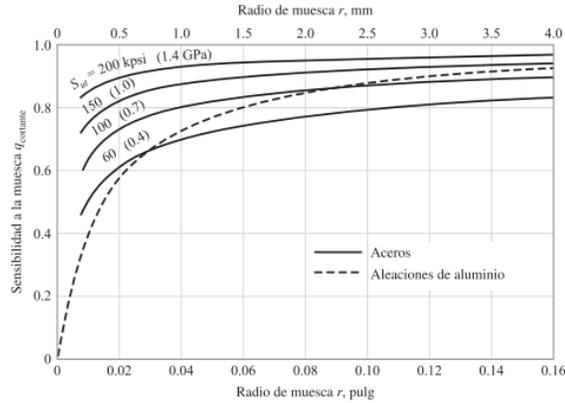


**Figura A-15-8**

Eje redondo con filete en el hombro en torsión.  $\tau_0 = Tc/J$ , donde  $c = d/2$  y  $J = \pi d^4/32$ .

**Figura 6-21**

Sensibilidad a la muesca de materiales sometidos a torsión inversa. En el caso de radios de muesca más grandes, use los valores de  $q_{\text{corname}}$  correspondientes a la ordenada  $r = 0.16$  pulg (4 mm).

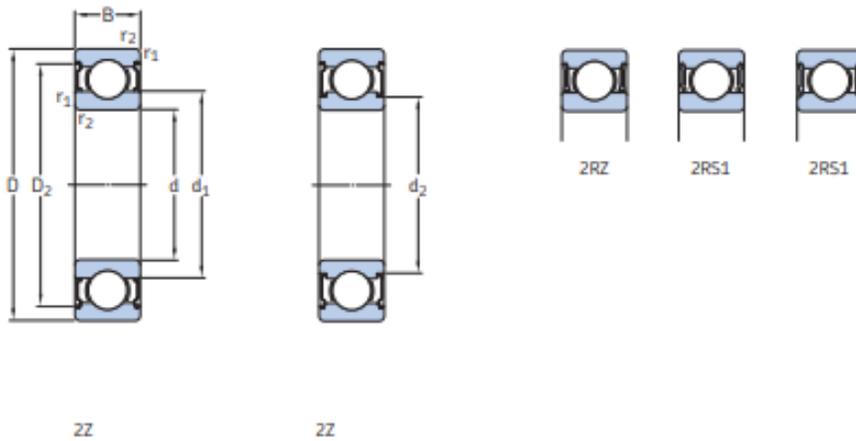


**Tabla 11-5**

Factores de aplicación de carga

Tipo de aplicación	Factor de carga
Engranajes de precisión	1.0-1.1
Engranajes comerciales	1.1-1.3
Aplicaciones con sellos deficientes en los cojinetes	1.2
Maquinaria sin impactos	1.0-1.2
Maquinaria con impactos ligeros	1.2-1.5
Maquinaria con impactos moderados	1.5-3.0

**Tabla de rodamientos.**



Dimensiones principales	Capacidad de carga básica		Carga límite de fatiga $P_u$	Velocidades nominales		Masa	Designaciones			
	dinámica C	estática $C_0$		Velocidad de referencia	Velocidad límite <sup>1)</sup>		Rodamientos tapados en ambos lados	un lado		
d D B	kN		kN	r. p. m.	kg	-				
35	80	21	33.8	19	0,815	20 000	11 000	0,48	E2.6307-2Z	≡
cont.	80	21	35.1	19	0,815	19 000	9 500	0,48	‡ 6307-2Z	‡ 6307-Z
	80	21	35.1	19	0,815	≡	6 000	0,47	‡ 6307-2RS1	‡ 6307-RS1
	80	31	33.2	19	0,815	≡	6 000	0,68	‡ 62307-2RS1	‡

## Catálogo de motor.

Potencia		Carcasa	Full Load Torque (kgfm)	Corriente con rotor trabajado I <sub>v</sub> / In	Par con rotor trabajado T <sub>v</sub> / T <sub>n</sub>	Break-down Torque T <sub>b</sub> / T <sub>n</sub>	Momento de Inercia J (kgm <sup>2</sup> )	Tiempo máximo con rotor trabajado (s)		Peso (kg)	Nivel de ruido dB (A)	400 V						Corriente nominal In (A)	
								RPM				% de la potencia nominal			Factor de potencia				
								Caliente	Frio			50	75	100	50	75	100		
IV Poles																			
0.12	0.16	63	0.085	4.4	2.1	2.3	0.0004	30	66	5.2	44	1370	57.0	62.0	63.0	0.52	0.65	0.75	0.967
0.18	0.25	63	0.128	4.7	2.3	2.4	0.0006	30	66	7.2	44	1370	62.0	64.0	64.5	0.53	0.66	0.75	0.537
0.25	0.33	71	0.178	4.8	2.1	2.3	0.0007	30	66	8.0	43	1370	66.0	69.0	69.5	0.52	0.65	0.74	0.702
0.37	0.5	71	0.263	4.8	2.6	2.6	0.0008	30	66	9.5	43	1370	69.0	72.0	72.0	0.51	0.64	0.73	1.02
0.55	0.75	80	0.377	6.6	2.9	3.2	0.0026	20	44	12.5	44	1420	77.0	79.0	79.5	0.61	0.74	0.80	1.25
0.75	1	80	0.514	6.7	3	3.3	0.0032	18	40	14.5	44	1420	80.0	82.0	82.5	0.59	0.72	0.81	1.62
1.1	1.5	90S	0.736	7.6	2.5	3.3	0.0055	15	33	19.5	49	1455	83.0	84.5	84.8	0.59	0.72	0.80	2.34
1.5	2	90L	1.01	7.4	2.6	3.4	0.0066	13	29	23.0	49	1450	84.0	86.0	86.0	0.58	0.72	0.80	3.15
2.2	3	100L	1.49	7.4	3.2	3.5	0.0090	18	40	31.5	53	1435	86.5	87.0	87.0	0.60	0.73	0.80	4.56
3	4	L100L	2.03	7.8	3.5	3.7	0.0120	15	33	37.5	53	1440	87.0	88.0	88.0	0.60	0.73	0.80	6.15
4	5.5	112M	2.89	7.0	2.3	3.1	0.0182	15	33	44.0	56	1450	88.7	89.1	89.1	0.62	0.74	0.81	8.00
5.5	7.5	132S	3.66	8.5	2.4	3.4	0.0528	15	33	69.0	56	1465	90.0	90.7	90.7	0.67	0.79	0.85	10.3
7.5	10	132M	4.99	8.5	2.5	3.4	0.0642	13	29	79.0	56	1465	91.0	91.5	91.5	0.69	0.80	0.85	13.9
9.2	12.5	132MVL	6.12	8.6	2.8	3.5	0.0681	10	22	82.0	56	1465	90.3	91.0	91.0	0.66	0.78	0.84	17.4
11	15	160M	7.29	7.0	2.5	3	0.1397	17	37	123	61	1470	91.0	91.8	92.2	0.65	0.76	0.83	20.7
15	20	160L	9.94	7.3	2.7	3.2	0.1743	10	22	145	61	1470	91.8	92.5	93.0	0.65	0.76	0.82	28.4
18.5	25	180M	12.3	7.3	2.7	3	0.2001	20	44	180	61	1470	92.2	92.9	93.3	0.64	0.76	0.82	34.9
22	30	180L	14.6	7.3	2.8	3.3	0.2272	18	40	198	61	1470	92.4	93.0	93.6	0.66	0.77	0.83	40.9
30	40	200L	19.7	7.3	2.5	3	0.3469	16	35	243	63	1480	93.0	94.0	94.2	0.64	0.75	0.82	56.1
37	50	225S/M	24.4	7.6	2.7	3	0.6388	14	31	392	63	1480	94.0	94.6	94.6	0.72	0.81	0.86	65.6
45	60	225S/M	29.6	7.9	2.8	3.2	0.6903	13	29	420	63	1480	94.2	94.8	94.8	0.70	0.80	0.85	79.4
55	75	250S/M	36.2	7.9	2.8	3.3	1.11	14	31	507	64	1480	94.6	95.0	95.3	0.71	0.81	0.86	96.9
75	100	280S/M	49.2	7.6	2.3	2.8	2.25	26	57	729	69	1485	94.7	95.2	95.6	0.75	0.83	0.87	130
90	125	280S/M	59.0	7.4	2.3	2.8	2.55	25	55	777	69	1485	95.0	95.5	95.8	0.74	0.82	0.86	158
110	150	315S/M	71.9	7.5	2.6	2.7	3.55	30	66	1010	71	1490	95.4	95.9	96.3	0.74	0.83	0.86	192
132	180	315S/M	86.3	7.6	2.9	3	4.22	26	57	1095	71	1490	95.5	96.0	96.4	0.75	0.83	0.86	230
132	180	315S/M	86.3	7.6	2.9	3	4.22	26	57	953	71	1490	95.5	96.0	96.4	0.75	0.83	0.86	230
150	200	315S/M	98.1	7.8	2.7	2.9	0.0000	27	59	1180	71	1490	95.4	95.8	95.9	0.71	0.81	0.85	266
160	220	315S/M	105	7.6	2.6	2.8	4.65	22	48	1152	71	1490	95.7	96.2	96.5	0.75	0.83	0.87	275
185	250	315S/M	121	7.6	2.5	2.5	4.97	18	40	1222	71	1490	95.8	96.3	96.5	0.74	0.83	0.87	318
200	270	315L	131	7.6	2.5	2.5	3.93	20	44	1332	73	1490	96.1	96.5	96.7	0.74	0.83	0.87	343
200	270	355M/L	131	7.6	2.5	2.5	7.01	22	48	1495	74	1490	95.9	96.5	96.7	0.72	0.81	0.85	351
220	300	315L	144	7.8	2.6	2.6	6.86	18	35	1430	73	1490	96.1	96.6	96.7	0.74	0.83	0.86	382
220	300	355M/L	144	7.4	2.4	2.5	7.52	20	44	1554	74	1490	96.0	96.6	96.8	0.72	0.80	0.85	396
250	340	315L	163	8.0	2.7	2.6	8.39	16	35	1527	73	1490	96.2	96.6	96.9	0.73	0.82	0.86	433
250	340	355M/L	163	7.3	2.3	2.4	8.50	16	35	1621	74	1490	96.2	96.6	96.9	0.73	0.82	0.85	438
260	350	315L	170	8.0	2.7	2.6	8.39	16	35	1527	73	1490	96.2	96.6	96.9	0.73	0.82	0.86	450
260	350	355M/L	170	7.3	2.3	2.4	8.50	16	35	1621	74	1490	96.2	96.6	96.9	0.73	0.82	0.85	456
290	380	355M/L	183	7.3	2.3	2.4	9.66	20	44	1695	74	1490	96.3	96.7	96.9	0.74	0.83	0.86	485
315	430	355M/L	206	7.3	2.3	2.4	10.7	22	48	1772	74	1490	96.4	96.7	96.9	0.71	0.81	0.85	552
355	480	355M/L	232	7.2	2.4	2.5	11.6	15	33	1878	74	1490	96.5	96.8	96.9	0.74	0.83	0.86	615