



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

SEDE QUITO

CARRERA DE MECÁNICA

**DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UNA MÁQUINA TRITURADORA DE PLÁSTICOS
PET CON MUELAS HELICOIDALES**

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de
Ingenieros Mecánicos

AUTORES:

**WILLIAM ALEXANDER TITE VICENTE
CRISTOFER MATEO ZAPATA SINGO**

TUTOR:

EDUARDO XAVIER VACA MICHILENA

Quito – Ecuador

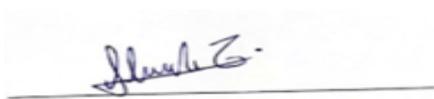
2024

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

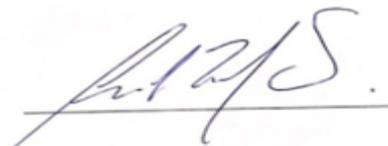
Nosotros. William Alexander Tite Vicente documento de identificación N ° 1803874815 y Cristofer Mateo Zapata Singo y N ° 1721410445; manifestamos que: Somos los autores y responsables del presente trabajo: y, autorizamos a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Quito, 23 de julio de 2024

Atentamente,



William Alexander Tite Vicente
1803874815



Cristofer Mateo Zapata Singo
1721410445

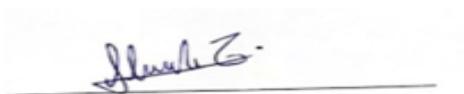
CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

Nosotros, William Alexander Tite con documento de identificación N ° 1803874815 y Cristofer Mateo Zapata Singo, y N ° 1721410445, expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores de la Propuesta Tecnológica: “Diseño y simulación de una maquina trituradora de plásticos PET con muelas helicoidales”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingenieros Mecánicos, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana

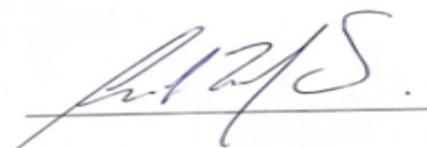
Quito, 23 de julio de 2024

Atentamente,



William Alexander Tite Vicente

1803874815



Cristofer Mateo Zapata Singo

1721410445

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Eduardo Xavier Vaca Michilena con documento de identificación N ° 1721078424, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UNA MÁQUINA TRITURADORA DE PLÁSTICOS PET CON MUELAS HELICOIDALES, realizado por William Alexander Vicente Tite con documento de identificación N ° 1803874815 y Cristofer Mateo Zapata Singo, y N ° 1721410445, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción de Propuesta Tecnológica que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 23 de julio del 2024

Atentamente,

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Eduardo Vaca', is written over a horizontal line. The signature is stylized and cursive.

Ing. Eduardo Xavier Vaca Michilena, Msc.

17211078424

ÍNDICE DE CONTENIDO

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN.....	I
CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA.....	II
CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	III
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	IV
ÍNDICE DE TABLAS	IX
ÍNDICE DE FIGURAS	X
RESUMEN.....	XII
ABSTRACT	XIII
GLOSARIO DE TÉRMINOS	XIV
INTRODUCCIÓN	1
a. Antecedentes.....	3
b. Descripción del problema.....	3
c. Justificación del problema	3
OBJETIVOS.....	5
Objetivo general	5
Objetivos específicos.....	5
CAPÍTULO I.....	6
Marco teórico	6
1.1. Plásticos.....	6
1.2. Clasificación de los plásticos.....	6
1.2.1. Polietileno (PP)	7
1.2.2. Polietileno de baja densidad (LDPE)	7
1.2.3. Polietileno densidad mínima (LLDPE)	7
1.2.4. Cloruro de polivinilo (PVC)	7
1.2.5. Tereftalato de polietileno (PET)	7
1.3. Propiedades mecánicas del PET	8
1.3.1. Propiedades ópticas	8
1.3.2. Propiedades caloríficas	8
1. 4. Uso de envases PET	9
1.5. Procesamiento de envases	10

1.5.1. Material plástico virgen	10
1.5.2. PET reciclado	11
1.6. Reciclaje	11
1.6.1. Reciclaje de plásticos	11
1.6.2. Reciclaje Químico	12
1.6.3. Reciclaje mecánico	12
1.7. Triturado	13
1.8. Máquina cortadora rotativa.....	13
1.9. Trituradora de martillos	14
1.10. Trituradora de cuchillas de un eje	16
1.11. Matriz de Holmes	17
1.11.1. Criterios de decisión	18
1.11.2. Ponderación criterios	18
1.11.3. Matriz costo	19
1.11.4. Matriz de mantenimiento	19
1.11.5. Matriz de dimensiones	19
1.11.6. Matriz de complejidad	20
1.11.7. Matriz de suficiencia de trituración	20
1.11.8. Matriz de disponibilidad	21
1.11.9. Matriz peso	21
1.11.10. Matriz conclusión	21
1.12. Análisis de alternativas.....	22
CAPÍTULO II.....	23
DISEÑO DE UNA MÁQUINA TRITURADORA	23
2.1. Funcionamiento	24
2.2. Corte en cizalla	24
2.3. Fuerza de corte	25
2.4. Diseño de cuchillas.....	26
2.5. Ángulos de corte.....	26
2.5.1. Ángulo de incidencia α	26
2.5.2. Ángulo de desprendimiento o ataque γ	26
2.5.3. Ángulo de Cuña β	27
2.6. Opciones para material cuchilla helicoidal	27
2.7. Propiedades acero K100	28

2.8. Tratamiento térmico	29
2.9. Elección del motor	30
2.10. Velocidad Angular.....	30
2.11. Torque.....	30
2.12 Potencia	30
6.4. Determinar el factor de servicio	31
6.5. Capacidad de diseño	32
7. Cálculo de bandas y poleas	33
7.1. Cálculo de la relación de transmisión.....	33
7.2. Diámetro exterior de la polea motriz.....	33
7.3. Escoger el tipo de perfil de la banda	34
7.4. Capacidad de transmisión por canal	34
7.5. Encontrar el número de bandas	35
7.6. Cálculo del diámetro de la polea conducida.....	35
7.7. Cálculo de la distancia entre centros	35
7.8. Cálculo de longitud de la banda	35
8. Diseño estático	36
8.1. Diagrama de cuerpo libre	36
8.2. Fuerzas cortantes y momentos.....	40
8.3 Sección crítica	42
8.4. Cálculo del momento resultante.	42
8.5. Cálculo de torsión.....	42
9. Diseño dinámico del eje	43
9.1. Factor de superficie	44
9.2. Factor de Tamaño	45
9.3. Factor de modificación por la carga	45
9.4. Factor de temperatura	45
9.5. Factor de confiabilidad	46
9.6. Esfuerzo equivalente amplitud	47
9.7. Esfuerzo equivalente medio	47
10. Selección de rodamientos.....	48
10.1. Cálculo del índice de carga estática básica C_o	48
11. Estructura de la máquina	50
11.1. Viga..	51

11.2. Columna	53
11.3. Análisis a compresión.....	55
11.4. Componentes sobre la estructura.....	55
12. Diseño de soldadura	56
12.1. Cortante directo	57
12.2. Cortante por flexión.....	58
12.3. Momento de inercia en la garganta de soldadura	58
12.4. Esfuerzo permisible	59
12.5 Factor de seguridad.....	59
13. Pernos.....	59
13.1. Cálculo fuerza principal	60
13.2. Calculo fuerza secundaria P''	60
13.3. Esfuerzo cortante en el perno	61
13.4. Esfuerzo a tensión del perno.....	61
13.5. Esfuerzo cortante máximo	61
13.6 Cálculo de pernos en la cuchilla fija.....	61
14. Cálculo capacidad de la Tolva.....	63
14.1. Cálculo de la capacidad de la tolva	64
CAPÍTULO III	65
Análisis estructural Mediante métodos de Elementos Finitos.....	65
3.1. Simulación estática	65
3.1.1. Introducción al análisis de elementos finitos (FEA)	66
3.1.2. Matriz de rigidez.....	66
3.1.3. Viga de nodos rígidos	67
3.2. Tipos de mallado	68
3.2.1. Malla sólida	68
3.2.2. Malla de vaciado.....	68
3.2.3. Malla de viga	69
3.2.4. Malla mixta.....	69
3.2.5. Mallado en SolidWorks.....	69
3.2.6. Modelado de malla	69
3.3. Métodos adaptativos.....	69
3.3.1. Método H.....	70
3.3.2. Método P.....	70

3.3.3. <i>Calidad de malla</i>	71
3.3.4. <i>Verificación cociente de aspecto</i>	72
3.3.5. <i>Cociente Jacobiano</i>	72
3.4. Procedimiento para realizar un proyecto en (FEA).....	73
3.5. Cargas externas.....	73
3.5.1. <i>Fuerza</i>	73
3.6. Análisis estático.....	73
3.6.1 <i>Grados de libertad</i>	73
3.6.2. <i>Restricciones</i>	74
3.6.5. <i>Estructura</i>	74
3.6.6. <i>Análisis factor de seguridad</i>	76
3.6.7. <i>Análisis mediante Von Misses</i>	77
3.7 Eje de trituración	79
3.7.1. <i>Análisis factor de seguridad</i>	79
3.7.2. <i>Simulación de esfuerzo de Von Mises</i>	81
3.7.3. <i>Simulación de desplazamiento del eje</i>	83
3.7.4. <i>Calidad – Cociente jacobiano</i>	83
3.7.5. <i>Simulación cuchilla fija</i>	84
CAPÍTULO IV	87
Análisis de Costos	87
4.1. Costos directos.....	87
4.2. Costo maquinaria.....	87
4.3. Mano de obra.....	88
4.4. Costo de operario.....	89
4.5. Análisis inversión	89
4.6. Análisis de producción	89
4.7. Depreciación.....	90
4.8. Costo de producción	91
4.9 Presupuesto	91
4.10. Periodo de retorno recuperación inversión.....	91
CONCLUSIONES	93
REFERENCIAS	95

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Propiedades datos técnicos PET	8
Tabla 2. Propiedades ópticas del PET	8
Tabla 3. Capacidad calorífica del PET	9
Tabla 4. Ventajas y desventajas de una trituradora tipo martillo.	14
Tabla 5. Características de una máquina rotativa.	14
Tabla 6. Ventajas y desventajas de una trituradora tipo martillo.	15
Tabla 7. Características Trituradora tipo martillo	15
Tabla 8. Ventajas y desventajas de una trituradora tipo martillo.	16
Tabla 9. Características de una trituradora de cuchillas	17
Tabla 10. Valores numéricos que evaluar	17
Tabla 11. Ponderación criterios.....	18
Tabla 12. Matriz costos de fabricación	19
Tabla 13. Matriz de mantenimiento	19
Tabla 14. Matriz de dimensiones	20
Tabla 15. Matriz de complejidad.....	20
Tabla 16. Matriz capacidad de trituración.....	20
Tabla 17. Matriz de excedencia.....	21
Tabla 18. Matriz peso.....	21
Tabla 19. Matriz final.....	21
Tabla 20. Componentes que conforman la máquina PET.	24
Tabla 21. Acero corte en frío según material y dureza	27
Tabla 22. Factores de carga de servicio	31
Tabla 23. Datos de las poleas	35
Tabla 24. Factor de acabado superficial.....	44
Tabla 25. Factor de confiabilidad.....	46
Tabla 26. Masa de los componentes.....	56
Tabla 27. Restricciones de diseño	74
Tabla 28. Iteraciones para conocer la estructura.	78
Tabla 29. Simulación del eje	80
Tabla 30. Densidad de malla	82
Tabla 31. Costo empleado máquina	88
Tabla 32. Costos mano de obra	88
Tabla 33. Precio operario	89
Tabla 34. Análisis producción.....	90
Tabla 35. Presupuesto valor Neto.....	91
Tabla 36. Ingresos anuales retorno.....	92

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Tereftalato De Polietileno	1
Figura 2. Materiales de reúso o reciclables	3
Figura 3. Contaminación de plásticos en mares	4
Figura 4. Composición química del tereftalato de polietileno	8
Figura 5. Número de botellas reportadas por año en el Ecuador	10
Figura 6. Reciclaje PET envase	11
Figura 7. Forma de reciclado	12
Figura 8. Reciclado de materia prima proceso despolimerización	12
Figura 9. Cortadora rotativa esquema cuchilla circular de corte navaja	13
Figura 10. Esquema general molino de martillo	15
Figura 11. Máquina trituradora cuchilla un eje	16
Figura 12. Máquina trituradora de plástico	24
Figura 13. Ángulos de corte	26
Figura 14. Referencia de cuchillas distribuidas helicoidalmente	27
Figura 15. Catálogo de motores WEG	32
Figura 16. Diámetro de la polea motriz	33
Figura 17. Perfil de la banda	34
Figura 18. Hp por canal	34
Figura 19. Fuerza de corte	36
Figura 20. Diagrama de cuerpo libre del eje.	38
Figura 21. Fuerzas cortantes plano xy	40
Figura 22. Fuerzas cortantes plano xz	41
Figura 23. Diagrama de momento	41
Figura 24. Diagrama de momento	42
Figura 25. Factor F1	48
Figura 26. Factor de vida amplia	49
Figura 27. Rodamientos rígidos de bolas	50
Figura 28. Estructura de la mesa.	51
Figura 29. Diagrama de cuerpo libre perfil horizontal.	51
Figura 30. Diagrama de fuerza cortante.	52
Figura 31. Momento máximo.	52
Figura 32. Tubo estructural cuadrado	53
Figura 33. Columna de estructura.	54
Figura 34. DCL Esquema de junta soldada.	56
Figura 35. Tamaño de soldadura	57
Figura 36. Propiedades flexionantes de soldadura	57
Figura 37. Esfuerzo permisible del metal de aporte	59
Figura 38. Vista frontal de la chumacera y Alargamiento del perno.	60
Figura 39. Dimensionamiento de pernos en la cuchilla fija	62
Figura 40. Diseño de tolva	63
Figura 41. Piezas discretas y continuas.	66
Figura 42. Elemento sólido lineal y parabólico.	68
Figura 43. Malla de vaciado	69
Figura 44. Densidad de malla en SolidWorks.	70

Figura 45. Métodos adaptativos SolidWorks.....	71
Figura 46. Calidad de malla en SolidWorks.....	72
Figura 47. Elemento con relación de aspecto cercana a 1– 0	72
Figura 48. Modelo CAD máquina tritura PET.	73
Figura 49. Simulación estructura	74
Figura 50. Estructura sujeción fija.	75
Figura 51. Factor de seguridad.....	76
Figura 52. Desplazamientos mesa.....	76
Figura 53. Von Misses tensiones	77
Figura 54. Simulación del eje de trituración.	79
Figura 55. Factor de seguridad del eje de trituración.....	81
Figura 56. Esfuerzo de Von Misses del eje.....	82
Figura 57. Desplazamiento del eje	83
Figura 58. Calidad cociente jacobiano	83
Figura 59. Esfuerzo de Von Misses	84
Figura 60. Desplazamientos	85
Figura 61. Deformaciones unitarias	85

RESUMEN

Esta propuesta tecnológica presenta el diseño y simulación de un equipo triturador de plástico PET con muelas helicoidales. Este equipo está diseñado para una capacidad de 20 kg/h, lo que permite la reutilización eficiente del plástico. Inicialmente, se investiga información sobre el plástico Polietileno Tereftalato (PET) para comprender sus propiedades y usos, luego, se realiza un estudio comparativo de los modelos disponibles en el mercado, tanto a nivel nacional como internacional. El objetivo es elegir la mejor alternativa en cuanto al estilo de trituración. Se determinó que la trituración convencional es más costosa. Por ello, se propone un diseño innovador que utiliza cuchillas helicoidales distribuidas en un cabezal. El funcionamiento del equipo se basa en una máquina conectada a un motor trifásico y poleas de transmisión. Esto garantiza una mayor operatividad, además de ofrecer un diseño fiable y sencillo. Este diseño es más económico en comparación con otros sistemas y también reduce el ruido durante la operación. Para la simulación, se realizó un análisis estático. Los resultados mostraron que la estructura de la máquina tiene un factor de seguridad de 4 en la parte más crítica dentro del rango admisible, lo que indica que no habrá fallos estructurales. Además, el costo del equipo representa solo el 25 % del costo de un equipo importado con las mismas características y capacidad.

Palabras Claves: Muelas helicoidales, trituradora, materiales, plástico, PET.

ABSTRACT

This technological proposal presents the design and simulation of a PET plastic crushing equipment with helical grinding wheels. This equipment has a capacity of 20 kg/h, which allows the efficient reuse of plastic. Initially, information about the Polyethylene Terephthalate (PET) plastic is investigated to understand its properties and uses. Then, a comparative study of the models available on the market is carried out, both nationally and internationally. The objective is to choose the best alternative in terms of shredding style. It was determined that conventional crushing is more expensive. Therefore, an innovative design is proposed that uses helical blades distributed in a head. The operation of the equipment is based on a machine connected to a three-phase motor and transmission pulleys. This guarantees greater operability, in addition to offering a reliable and simple design. This design is more economical compared to other systems and reduces noise during operation. For the simulation, a static analysis was performed. The results showed that the machine structure has a safety factor within the admissible range, indicating that there will be no structural failures. Furthermore, the cost of the equipment represents only 25 % of the cost of imported equipment with the same characteristics and capacity.

Keywords: Grinding wheels, helical, crusher, bearings, materials, plastic, PET.

GLOSARIO DE TÉRMINOS

Cuchilla: La cuchilla es una herramienta fundamental en la mecánica industrial es la parte plana que dispone de un filo, por lo general son de metal, cualquier aleación ferrosa [1].

Helicoidal: Un movimiento rototraslatorio, tiene forma de hélice, una forma redondeada en la mecánica es un dispositivo fabricado a altas temperaturas [2].

Motor: Es un aparato que modifica la corriente eléctrica en fuerza mecánica mediante el uso de corrientes alternas, el motor trifásico se caracteriza por generar un campo rotatorio, se utiliza generalmente para mover cosas [3].

Polea: La polea es básicamente un mecanismo redondo que incorpora un sistema giratorio por este se pueden deslizar cuerdas bandas cadenas ayuda a movilizar o también realizar trabajos de fuerza [4].

Chumacera: Puede ser construido de distintas formas, la mejor es de una aleación ferrosa que funciona cuando se encuentra empotrada y gira sobre su eje se usa en sistemas de rotación, usado en maquinaria y en la mecánica industrial [5].

Prototipo: Se le denomina al modelo que se ofrece de manera inicial, busca representar la idea, es el primer modelo que representa lo que queremos mostrar [6].

Plástico: Es un polímero derivado de compuestos y aleaciones orgánicas, también pueden ser sintéticos son maleables, pueden ser moldeados [7].

Simulación: Sirve para resolver cualquier inconveniente de ingeniería en estructuras, ayuda en decisiones de diseño, más eficientes, además que permite optimizar los diseños de las máquinas y reducir costos de las pruebas físicas [8].

PET: Las siglas PET, en idioma inglés significa tereftalato polietileno, denominado así al plástico fuerte que además es flexible y se puede dar varios usos y reúsos, es reciclable ayuda en los procesos de manufactura para fabricar todo tipo de envases en fin tejidos sintéticos [9].

INTRODUCCIÓN

El consumo del plástico cada vez va aumentando, el plástico es producto derivado de distintos materiales, tanto como naturales, orgánicos o el metano y desde luego del petróleo. Un material como el petróleo es una aleación múltiple de elementos por lo que se debe procesar antes de ser usado, la mezcla entre estos dos compuestos el metano y el petróleo producen este polímero denominado Tereftalato de polietileno también se conoce por sus siglas PET [10].

La formación de este hidrocarburo indispensable para crear el plástico empezó hace aproximadamente 430 millones de años mediante la creación de sedimentos y los restos orgánicos que quedaron sepultados a través de los años y hoy en día se explota sin medida, a continuación, se exhibe en la figura 1 el Tereftalato De Polietileno [11].



Figura 1. Tereftalato De Polietileno [6].

Los plásticos fueron fabricados hace más de 100 años y su uso cada día va aumentando progresivamente se busca que sean materiales irremplazables para la sociedad, el plástico permite progresar en diversos sectores generando impacto en el sector industrial, automotriz, y muchos más ejemplos [12].

Al plástico le lleva aproximadamente 500 años en descomponerse esto es una problemática alarmante a nivel mundial, un reciente análisis demuestra que alrededor de 8 millones de toneladas de plástico PET termina en mares, esto se va dando cada año, se pronostica que para 2050 exista más desecho que peces [13], por otro parte las botellas y el plástico PET es simplemente enterrado o terminan amontonado en vertederos.

Este proyecto es importante y genera impacto positivo para la sociedad y el mundo puesto que en Ecuador ha pasado a estar entre los tres primeros países de Latinoamérica que más importan basura, según una investigación de Alianza Basura es el país que más basura de tipo plástico importa, es preocupante por qué mientras otros países buscan la eliminación definitiva del uso del plástico, de “un solo uso”, Ecuador conlleva esta situación contrasentido, en 2018 y 2021 se ha importado más de cuarenta y cinco mil toneladas que son de desechos plásticos, aproximadamente USD 19 millones [14].

Cada persona lleva un estilo de vida en su mayoría consumista, al mundo lo que genera es aumentar progresivamente miles de toneladas de residuos, que muchas veces se logran reutilizar hay veces que simplemente no se da la reutilización y simplemente se opta por la incineración en un muchos casos estos residuos son enterrados, también se debe por falta de conocimiento o interés, la sociedad no se encuentra culturalizada acerca del reciclaje y temas que conlleven un correcto desecho o tratamiento del mismo haciendo que exista un impacto negativo, que afecta al medio ambiente.

Es de relevancia trabajar en este tipo de temas y diseños que contribuyen al planeta, es importante saber que el plástico tarda en degradarse aproximadamente setecientos años donde alteran el ecosistema incluso marino ya que se generan partículas plásticas que pueden traer elementos nocivos tóxicos, haciendo vulnerable este ecosistema generando mortalidad, esto se da principalmente en donde se vierte la basura, en Ecuador el 9 % de los residuos es reusado, según investigaciones de la revista técnica de medio Ambiente el 15 % se debe a la recolección y también el 40 % es desechado de forma que sirva como residuo, el otro 19 % es incinerado en su totalidad, además el 50 % termina en los vertederos, y por último el 22 % no es procesado y este es el que termina en los vertederos no controlados, esto se da en las zonas más pobres en la figura 2 se indica los materiales ideales para el reusó [15].



Figura 2. Materiales de reúso o reciclables [6].

a. Antecedentes

Se proyecta una solución para triturar plásticos, conocidos como materiales sintéticos, mediante un corte helicoidal. Estos plásticos se dividen en termoplásticos y termoestables según su capacidad de resistencia al calor. Los termoplásticos, que pueden moldearse, son ampliamente utilizados en productos industriales y domésticos. El objetivo es reutilizar todo tipo de plástico para reducir la contaminación ambiental, especialmente del tereftalato de polietileno (PET). La máquina trituradora debe poder triturar 25 kg por hora y manejar botellas de hasta 3 litros y galones.

b. Descripción del problema

El exceso de plástico y su mal manejo global son preocupaciones importantes. La falta de conocimiento técnico agrava la gestión inadecuada de residuos, como la incorrecta separación, lo que resulta en la acumulación de plásticos en vertederos y su liberación en los océanos. La degradación lenta del plástico contribuye al calentamiento global y aumenta la contaminación, afectando negativamente a los ecosistemas marinos y la pesca. Para abordar este problema, se propone desarrollar un equipo de trituración con muelas helicoidales específicamente diseñado para plástico PET.

c. Justificación del problema

Se propone un proyecto de trituración de plástico PET con una capacidad de 20 Kg/h, utilizando muelas helicoidales para crear una máquina silenciosa. El objetivo es reciclar desechos plásticos para fabricar productos variados, reduciendo el impacto ambiental del PET. Se busca alta

eficiencia en la molienda y beneficios sociales, políticos y económicos. El proyecto abarca la disponibilidad de información, diseño, construcción y simulación de la máquina, requiriendo conocimientos en componentes, materiales y uso de SolidWorks para una simulación precisa.

OBJETIVOS

Objetivo general

Diseño y simulación de una máquina trituradora de plásticos PET con muelas helicoidales con capacidad de 20Kg/h

Objetivos específicos

- Conocer el uso, procesamiento y posconsumo de los envases producidos en PET.
- Diseñar una máquina de trituración viable mediante un análisis estático.
- Validar mediante la aplicación de un software especializado el comportamiento de la máquina en condiciones estáticas.
- Establecer la viabilidad de la implementación del diseño mediante análisis de costos.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

En esta sección se introduce el uso actual del plástico Tereftalato de polietileno (PET) en Ecuador, justificando la propuesta tecnológica. Se aborda la clasificación y tipos de plásticos, sus propiedades, el reciclaje y la reutilización, concluyendo con las alternativas más eficientes para triturar botellas PET.

1.1. Plásticos

Los plásticos o polímeros son componentes sintéticos materiales alcanzados mediante efecto de polimerización a partir de derivados del petróleo. Obtenido con reacciones de polimerización provenientes del petróleo. Los polímeros están conformados por moléculas de gran tamaño compuestas por eslabones orgánicos llamados monómeros, estos a su vez están unidos con enlaces covalentes. Los materiales plásticos son los más utilizados debido a que son fáciles de procesar y tienen rapidez en la producción además tienen propiedades que lo hacen válido para varias aplicaciones como; buen aislante térmico por lo que se puede ahorrar en refrigeración y calefacción, resistentes a la corrosión lo cual permite una alta durabilidad del material, es muy versátil, se lo puede usar en varios campos por ejemplo en la industria de la alimentación, agricultura, mecánica. A continuación, se ejemplifica en la figura en la figura 3 la infección de los plásticos en mares.



Figura 3. La contaminación de los plásticos en Ecuador [9].

1.2. Clasificación de los plásticos

La forma en que se comportan los plásticos cuando se calientan en termofijos es lo que los categoriza, elastómeros y termoplásticos. Los termofijos son aquellos que cuando se les aplica calor se degradan y se carbonizan, resultado de este proceso ya no se podrá volver a procesar.

Los elastómeros son aquellos que se deforman cuando son sometidos a esfuerzos, se superponen a su forma original cuando se deja de aplicar esa fuerza sobre el material. Los termoplásticos son aquellos que cuando se les aplica calor se funden de esta manera se los puede moldear para volver a tener otra forma. Este tipo de plásticos son fáciles de reciclar y los más conocidos son:

1.2.1. Polietileno (PP)

Es un termoplástico de buena resistencia térmica y química asimismo que es muy versátil y con facilidad de procesamiento. Tiene varias aplicaciones como: tanques y depósitos químicos, tuberías, partes de automóviles, tapones, prótesis etc.

1.2.2. Polietileno de baja densidad (LDPE)

Un termoplástico que destaca por su flexibilidad y resistencia al impacto. Sus aplicaciones son envases de champú, bolsas, artículos de limpieza, tuberías, revestimiento de cables y alambres.

1.2.3. Polietileno densidad mínima (LLDPE)

Es un polímero versátil y de bajo costo. Tiene como características que son resistentes a ácidos, álcalis y disolventes además que tiene buenas propiedades aislantes y es duro.

1.2.4. Cloruro de polivinilo (PVC)

Un termoplástico que se caracteriza por tener buena resistencia química, bajo peso, resistente a la intemperie, resistente al impacto, buen flujo en tuberías. El PVC se lo puede utilizar en varios sectores:

- Se utiliza para fabricar uniones de tubos, tuberías, codos, entre otros.
- Mangueras, calzado, juguetes, tubos flexibles.

1.2.5. Tereftalato de polietileno (PET)

Se caracteriza por ser un tipo de plástico con propiedades mecánicas estables, resistente a agentes químicos, usado como aislante eléctrico y se lo reconoce por su código de identificación que se identifica en la figura 4 [16].

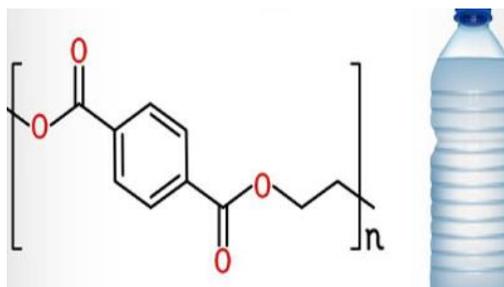


Figura 4. Composición química del tereftalato de polietileno [17].

1.3. Propiedades mecánicas del PET

En la tabla 1 se menciona las propiedades técnicas del PET se caracteriza principalmente por ser resistente al desgaste y al replegado.

Tabla 1. Propiedades datos técnicos PET [1]

Propiedad	Unidad	Valor
Resistencia a tensión	MPa	50-70
Resistencia a compresión	MPa	75-128
Resistencia al calor	°C	79 - 120
Temperatura fusión	°C	245 - 255

1.3.1. Propiedades ópticas

Las propiedades ópticas describen en común la absorción, transmisión, las propiedades del polietileno tereftalato son varias, en la tabla 2 se puede estimar las propiedades ópticas.

Tabla 2. Propiedades ópticas del PET

Propiedades PET	
Transmisión luz (%)	89
Refracción	1.576

1.3.2. Propiedades caloríficas

Las propiedades caloríficas indica la mayor o menor complejidad que se da en un cuerpo para poder observar cambios al exponerse a temperaturas a continuación se puede evidenciar en la tabla 3, la capacidad calórica del PET.

Tabla 3. Capacidad calorífica del PET

Propiedades PET	
T. máxima utilización continua	60
T. reblandecimiento A 1.8 MPa (°C)	69
Coefficiente de expansión lineal (°C)	0.00011
C. P. PET	1200 - 1350

1. 4. Uso de envases PET

El PET es usado masivamente en la industria de bebidas debido a que tiene propiedades de barrera de humedad y gas. Además de los envases el PET se lo puede usar en la industria textil para fabricar prendas de vestir, monofilamentos, alfombras, correas, películas y molduras de ingeniería [18].

El PET es usado principalmente para la fabricación de botellas de bebidas. En Ecuador se conoce que, entre 2012 y marzo de 2023 circularon 18580 millones de botellas. Al revisar la variación porcentual por años, se reporta que entre el 2013 y 2017, la variación se situó entre 4 % y 5 % respecto al año anterior sin embargo a partir del 2018 se registró una considerable disminución de estos envases debido en gran parte a la pandemia, luego se registró un crecimiento. Es así como en 2022 Ecuador supero la barrera registrando así 2007 millones de botellas respecto a 2012 donde las embotelladoras reportaron 1416 millones de envases. El 95 % de las botellas plásticas se produce en las provincias de Guayas con 10220 millones y Pichincha con 7437 millones, El 5 % restante lo produce Cuenca, Latacunga, Riobamba y Pelileo, a continuación, se expone en la figura 5 el número de botellas PET por año por consumo [19].

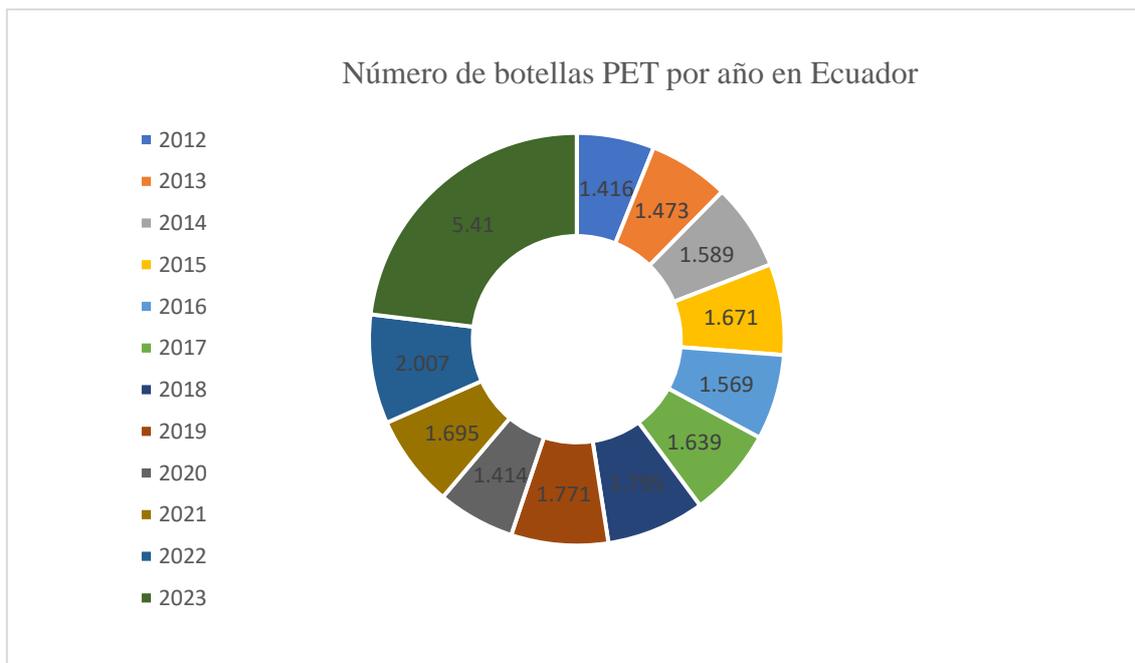


Figura 5. Número de botellas reportadas por año en el Ecuador [19].

1.5. Procesamiento de envases

Dos tipos de materiales se utilizan para fabricar botellas plásticas:

1.5.1. Material plástico virgen

Se obtiene de dos materias primas que a su vez son derivados del sector petrolífero, paraxileno y etileno. Los productos de estos elementos son el tereftalato y etilenglicol respectivamente, son sometidos a un proceso de reacción de policondensación con el ácido tereftalato y etilenglicol de esta manera se da la resina PET. La polimerización es un proceso químico donde interviene el calor este a su vez una varias moléculas conocidas como monómeros para crear una cadena con varios eslabones y que se dé un polímero o moléculas con gran tamaño. Este material al ser sometido a temperaturas de hasta los 255 ° C, se puede reblandecer lo que quiere decir que pueden ser reconformados sin afectar el comportamiento del polímero [20].

El material PET se utiliza en los procesos de inyección, estirado y soplado para fabricar botellas PET, se ofrece en forma de pequeños cilindros para lo cual se debe fundir e inyectar a presión en máquinas donde salen recipientes parecidos a los tubos, con rosca. Estos son sometidos al calor para ser moldeado y estirados hasta alcanzar el tamaño definitivo del envase. Como último paso, se procesa en una máquina de soplado con aire hasta que adquieren la forma del molde y las necesidades específicas de fabricación [21].

1.5.2. PET reciclado

El PET procedente del reciclaje comienza con la recolección de material de desecho posconsumo, que se distribuye a las diferentes industrias de reciclaje para que el material de desecho sea procesado en pallets con lo cual los gránulos de PET serán llevados a las diferentes fábricas de botellas donde se realiza el moldeo por inyección y soplado, en la figura 6 se puede observar los envases PET.



Figura 6. Reciclaje PET envase [22].

1.6. Reciclaje

En este proceso se debe seleccionar y clasificar el plástico de acuerdo con la norma [23], una vez realizado este proceso el material se tritura. Posteriormente se homogeniza con un proceso mecánico para lograr una textura uniforme que pueda tener la forma del molde [24].

1.6.1. Reciclaje de plásticos

Es un tratamiento de restablecimiento de materiales plásticos que ya han sido utilizados, como botellas y fundas, tiene como finalidad minimizar el impacto ambiental y menorar el gasto de energía necesario para generar originales productos. Actualmente el reciclaje de plásticos busca proyectos de desarrollo sostenible con la cual La conservación ambiental es el objetivo principal., promover el uso de energías alternativas, reducir el agotamiento de recursos naturales que tengan menos impacto al medio ambiente y desarrollar conciencia sobre la naturaleza [25].

Según la norma INEN [23] menciona cómo tratar los desechos de PET después del consumo conforme al desarrollo en la tecnología y ciencia, aplicando un control ambiental consciente que fomente las maneras de reciclar y por tal razón menore utilizando recursos no renovables la contaminación. Además, se debe establecer e implementar métodos para identificar, clasificar, guardar y proteger los desechos de plástico PET después del consumo que se emplean

en la industria del reciclado, en la figura 7 se puede apreciar una de las tantas formas de reciclado



Figura 7. Forma de reciclado [26].

Existen algunas técnicas de reciclaje, siendo principalmente reciclado químico y mecánico.

1.6.2. Reciclaje Químico

Para el proceso de reciclaje químico las macromoléculas se rompen al momento de aplicar calor, es así como se descompone el polímero base y se obtiene monómeros. Una vez obtenidos los monómeros, se procesan para obtener nuevos plásticos. Por lo general este tipo de reciclaje se utiliza como complemento al reciclaje mecánico, en la figura 8 se expone el proceso de despolimerización del PET [27].



Figura 8. Reciclado de materia prima proceso despolimerización [28].

1.6.3. Reciclaje mecánico

Este tipo de reciclaje es uno de los más populares en el mundo. En el cual debe pasar por varias fases para recuperar entre los materiales más utilizados en el planeta es el plástico. La característica principal de este proceso, las macromoléculas no se rompen, el plástico cambia de forma [6].

1.7. Triturado

El triturado de plásticos es un procedimiento que reduce o fragmenta el material hasta quedar en forma granular para luego ser usado como materia prima [29].

1.8. Máquina cortadora rotativa

Se caracteriza por tener una cámara de corte, con un eje el cual porta cuchillas, las cuales se encuentran distribuidas en toda su longitud, estas pueden estar de forma perpendicular o pueden tener un ángulo de inclinación para poder procesar el plástico.

El corte tipo rotativo es recomendado por su alta precisión además que cuenta con la suficiente capacidad para triturar plástico PET ideal para materiales blandos y materiales duros, a este tipo de máquinas se las conoce como “chapeadoras” haciendo referencia a sus cuchillas rotatorias, este tipo de corte no necesita de tornillos ni remaches por lo que realiza un corte eficaz y uniforme además que su vida útil es prolongada, posteriormente se indica en la figura 9 una cortadora rotativa.

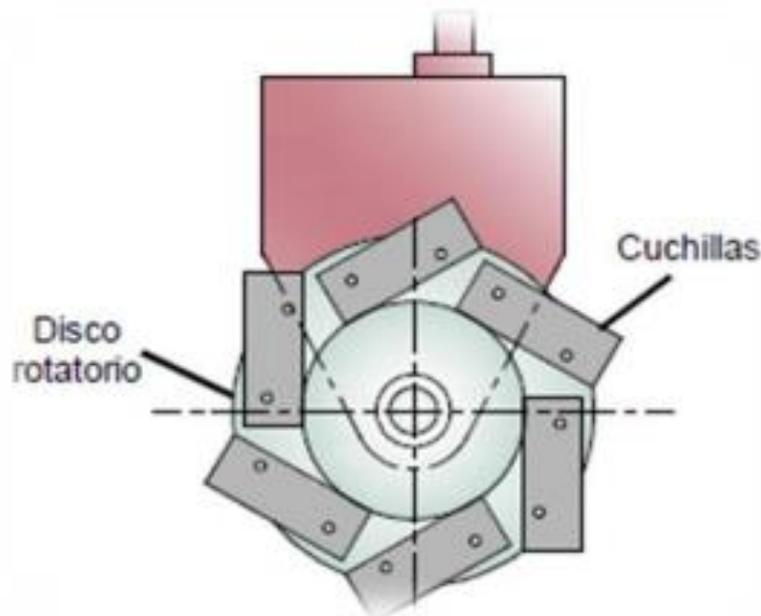


Figura 9. Cortadora rotativa esquema cuchilla circular de corte navaja [68].

En la tabla 4 se puede observar las ventajas y desventajas que se consideraron al construir una trituradora cortadora rotativa.

Tabla 4. Ventajas y desventajas de una trituradora tipo martillo.

Ventajas	Desventajas
Alta precisión.	Requiere de una inversión inicial alta.
Mantenimiento económico y fácil.	Costo herramientas para corrosión es alto.
Instalación compacta y sencilla.	Error mínimo manufactura precisión [30].
Menor personal para operar la máquina	Acorta espacio de corte

En la tabla 5 se puede observar los ítems que se evalúa para poder generar una matriz de alternativas acorde a la máquina rotativa.

Tabla 5. Características de una máquina rotativa.

Material	Especificación
Costo Fabricación	\$ 5500
Mantenimiento	medio
Dimensiones	2500 x 800 x 850
Complejidad mecánica	Alta, mecanismo complejo
Capacidad de trituración	2-10 (T/h)
Disponible	Importación
Peso	1 (T)

1.9. Trituradora de martillos

Este tipo de trituradoras tiene un eje rotatorio, este a su vez tiene martillos los cuales están sujetos a pivotes los cuales al entrar en contacto con las botellas las quiebran. El tamaño de salida del material depende de la velocidad del eje a continuación, en la figura 10 se enseña una imagen esquemática de una trituradora tipo martillo.

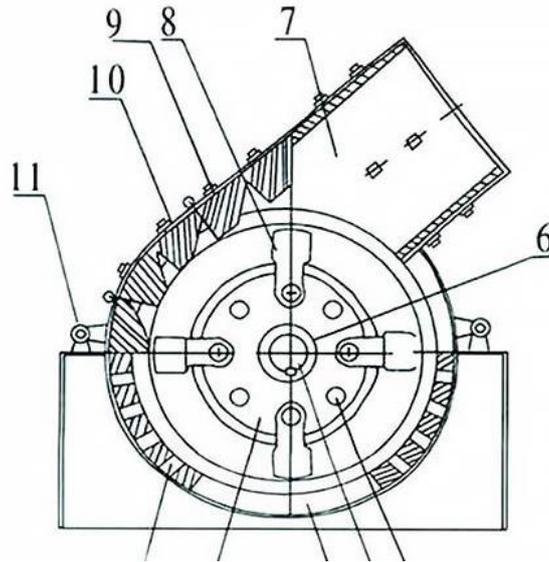


Figura 10. Esquema general molino de martillo [31].

En la tabla 6 se puede observar las ventajas y desventajas que se consideraron al construir una trituradora tipo martillo.

Tabla 6. Ventajas y desventajas de una trituradora tipo martillo.

Ventajas	Desventajas
Sencilla operación	Este tipo de cuchillas emite mucho ruido
Mantenimiento cómodo y simple	Trabajo excesivo produce calor [32].
Breve instalación.	El costo inicial es alto.
Consumo de energía bajo.	Acorta espacio de corte

En la tabla 7 se puede observar los ítems que se evalúa para poder generar una matriz de alternativas acorde a la máquina tipo martillo.

Tabla 7. Características Trituradora tipo martillo [31].

Material de pared	Especificación
Costo Fabricación	\$ 4500
Mantenimiento	bajo
Dimensiones	2500 x 800 x 800
Complejidad mecánica	Sencilla

Capacidad de trituración	5-10 (t/h)
Disponible	Importación
Peso	0.8 (t)

1.10. Trituradora de cuchillas de un eje

Se caracteriza por tener un eje en el cual sobresalen cuchillas que varían dependiendo la aplicación. Los discos con cuchillas pueden presentar configuraciones circulares y triangulares dependiendo las exigencias de los materiales a procesar a continuación, en la figura 11 se ejemplifica una imagen esquemática de una compactadora de un eje.

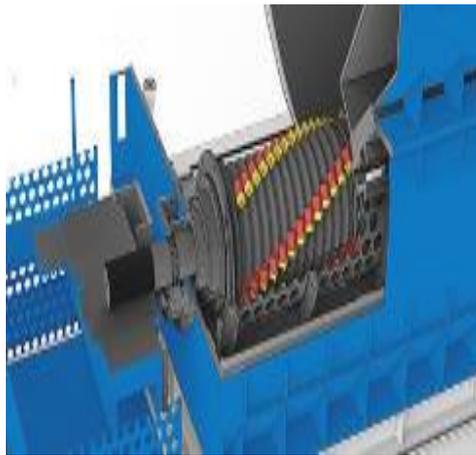


Figura 11. Máquina trituradora cuchilla un eje [32].

En la tabla 8 se puede observar las ventajas y desventajas que se consideraron al construir una trituradora de un eje.

Tabla 8. Ventajas y desventajas de una trituradora tipo martillo.

Ventajas	Desventajas
Posee cuchillas fijas	No diseñada para materiales de espesor alto.
No produce ruido.	No apta para materiales o aleaciones rígidas.
Inmediata trituración de material	Materiales específicos no metales u otros.
Buena ventilación, estructura sólida.	Acorta espacio de corte
Limpieza rápida y simple.	Mantenimiento riguroso

En la tabla 9 se puede observar las capacidades de procesamiento de una máquina de cuchillas con una gran cantidad de residuos además los ítems que se evalúa para poder generar una matriz de alternativas acorde a la máquina trituradora de cuchillas.

Tabla 9. Características de una trituradora de cuchillas [32].

Material de pared	Especificación
Costo Fabricación	\$ 2500
Mantenimiento	bajo
Dimensiones	250 x 80 x 80 mm
Complejidad mecánica	Sencilla
Capacidad de trituración	20 (kg/h)
Disponible	Fabricación Local
Peso	40 (kg)

1.11. Matriz de Holmes

Se lo puede establecer también como una herramienta de proporciones, se encuentran relacionadas y se colindan entre sí, se busca obtener información sobre el valor que representa cada criterio, permite escoger una opción a partir de una lista previa que se basa en criterios o parámetros que permiten evaluar luego de una selección colectiva a seguidamente se exhibe la tabla 10 que expone los valores a evaluar [33].

Tabla 10. Valores numéricos que evaluar

Valores para criterio	
Igual	1
Relevante	5
Muy relevante	10
Poco relevante	0.2
Sin relevancia	0.1

Para realizar un respectivo análisis comparativo en base a los requerimientos del equipo se tomará en cuenta los siguientes criterios.

1.11.1. Criterios de decisión

Se debe resolver de manera cualitativa y que solvente las dudas del proyecto.

Los criterios para analizar son:

- Costo de fabricación: C
- Mantenimiento: M
- Dimensiones: D
- Complejidad mecánica: CM
- Capacidad de trituración: CT
- Disponible en el País: DP
- Peso: P

1.11.2. Ponderación criterios

Se utilizó una matriz de Holmes tipo L, la ponderación se encuentra de manera vertical, para realizar una ubicación del valor correspondiente al criterio.

Para una correcta matriz de priorización se evalúa una serie de criterios acorde a cada alternativa de la máquina bajo una ponderación acorde a la necesidad del volumen del equipo de 20 kg/h, por medio de matemáticas simples a continuación se expone la tabla 11 que enseña la ponderación de Holmes [34].

Tabla 11. Ponderación criterios

CRITERIO	C	M	D	CM	CT	DP	P	TOTAL	PONDERACIÓN
C	-	5	5	0.2	1	0.2	0.2	116	0.13
M		-	0.2	1	5	1	0.2	7.4	0.07
D	5	1	-	5	1	0.2	0.2	12.4	0.12
CM	1	5	5	-	10	1	0.1	22.1	0.21
CT	1	1	0.2	5	-	1	5	13.2	0.22
DP	5	1	5	0.2	0.2	-	0.2	11.6	0.11
P	1	5	5	1	0.2	0.2	-	12.4	0.13
			Total					99	0.99

1.11.3. Matriz costo

La matriz de Holmes que se establece en la Tabla 12 indica la relevancia de los precios acorde a la alternativa seleccionada.

Tabla 12. Matriz costos de fabricación

Costo	Martillo	Rotatoria	Un eje	Total	Ponderación
Martillo	-	0.2	10	10.2	0.10
Rotatoria	10	-	0.1	10.1	0.10
Un eje	5	5	-	15	0.80
		Total			1

1.11.4. Matriz de mantenimiento

La tabla 13 detalla en ponderación la relevancia correspondiente a cada sección de cada alternativa previamente escogida para realizar la matriz de Holmes.

Tabla 13. Matriz de mantenimiento

Costo	Martillo	Rotatoria	Un eje	Total	Ponderación
Martillo	-	0.2	0.1	0.3	0.6
Rotatoria	5	-	1	6	0.06
Un eje	10	5	-	15	0.84
		Total			1

1.11.5. Matriz de dimensiones

La Tabla 14 presenta las dimensiones, el espacio físico que ocupa el equipo correspondiente a las propuestas planteadas.

Tabla 14. Matriz de dimensiones

Costo	Martillo	Rotatoria	Un eje	Total	Ponderación
Martillo	-	0.2	0.1	0.3	0.02
Rotatoria	1	-	5	6	0.34
Un eje	10	1	-	11	0.64
		Total			1

1.11.6. Matriz de complejidad

La Tabla 15 muestra la relevancia de la complejidad correspondiente a cada propuesta previamente estudiadas en las alternativas.

Tabla 15. Matriz de complejidad

Costo	Martillo	Rotatoria	Un eje	Total	Ponderación
Martillo	-	0.2	1	1.2	0.10
Rotatoria	1	-	0.2	1.2	0.10
Un eje	5	5	-	10	0.80
		Total			1

1.11.7. Matriz de suficiencia de trituración

La Tabla 16 revela la capacidad que se va a triturar correspondiente a cada propuesta seleccionada en las alternativas.

Tabla 16. Matriz capacidad de trituración

Costo	Martillo	Rotatoria	Un eje	Total	Ponderación
Martillo	-	0.2	10	10.2	0.10
Rotatoria	5	-	0.1	5.1	0.10
Un eje	5	5	-	10	0.80
		Total			1

1.11.8. Matriz de disponibilidad

La Tabla 17 determina si el equipo se encuentra en el país, la excedencia de adquisición

Tabla 17. Matriz de excedencia

Costo	Martillo	Rotativa	Un eje	Total	Ponderación
Martillo	-	0.2	1	1.2	0.13
Rotativa	1	-	1	2	0.22
Un eje	5	1	-	6	0.65
		Total			1

1.11.9. Matriz peso

La Tabla 18 enseña la relevancia en que exista un peso adecuado según la Matriz de Holmes.

Tabla 18. Matriz peso

Costo	Martillo	Rotatoria	Un eje	Total	Ponderación
Rotatoria	-	1	0.1	1.1	0.07
Martillo	1	-	0.2	1.2	0.07
Un eje	10	5	-	15	0.86
		Total			1

1.11.10. Matriz conclusión

La Tabla 19 revela toda la síntesis de matrices según el análisis de matrices de Holmes también la respectiva ponderación en general de cada alternativa se selecciona el que tenga la mayor ponderación total en este caso es trituración de un eje helicoidal.

Tabla 19. Matriz final

Criterio	C	M	D	CM	CT	DP	P	Total
Rotatoria	0.10	0.10	0.02	0.10	0.10	0.13	0.10	0.65
Martillo	0.10	0.06	0.34	0.10	0.10	0.22	0.10	1.02
Un eje	0.80	0.84	0.64	0.80	0.80	0.65	0.80	5.33

En la Tabla 19 se evidencia que la máquina con mayor calificación es la de un eje.

1.12. Análisis de alternativas

En función a los parámetros evaluados y dada la ponderación a cada criterio, se seleccionó la trituración con muelas helicoidales con capacidad de 20 kg/h.

En este análisis se toma en consideración las dimensiones, los componentes que se van a emplear, el peso aproximado de cada elemento que posteriormente se verificara en el software, cuánto va a costar el ensamblaje de la máquina, así mismo el tipo de trituración en su parte interna con cuchillas helicoidales, se debe tener en cuenta los materiales mecánicos, y eléctricos cada parte es fundamental, así como los precios que existen el mercado cada tipo de trituración.

CAPÍTULO II

DISEÑO DE UNA MÁQUINA TRITURADORA

Dentro de este capítulo se realizará un análisis con el fin de obtener los factores que intervienen en la ejecución de la máquina trituradora así también como la fuerza de corte, el diseño de las cuchillas, el ángulo de inclinación y de incidencia, del mismo modo las opciones que se escogerán previamente a fijar una cuchilla de acero, la estructura de la máquina y de lo que está conformada por último la capacidad de la tolva. En la figura 12 se observa el modelado. 3D.

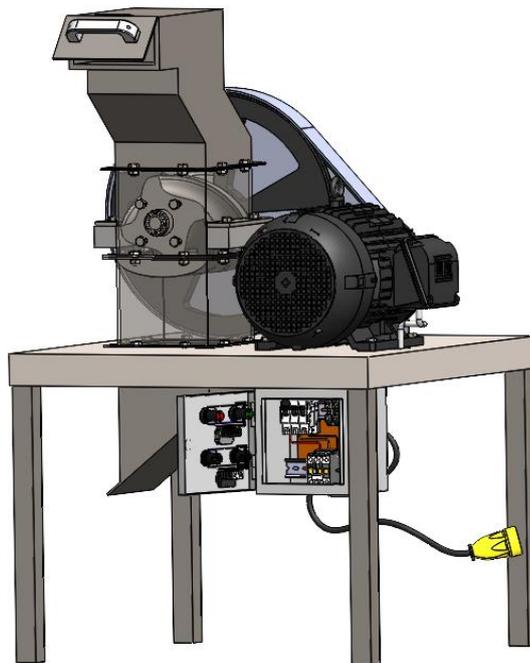


Figura 12. Vista isométrica máquina trituradora PET

En la tabla 20 se puede evidenciar los componentes que conforman la máquina trituradora de plástico con capacidad de 20 kg/h. Esta tabla detalla los elementos esenciales que contribuyen al funcionamiento y rendimiento óptimo de la máquina, proporcionando una visión clara de su estructura y diseño.

Tabla 20. Componentes que conforman la máquina PET.

Máquina trituradora con capacidad de 20 kg/h	
Componente	gr
Caja trituradora	8599.05
Tolva	23276.93
Tolva cargada	2000
Motor	61881.2
Polea conducida	15029.51
Polea Motriz	841.66
Rodillo + cuchilla	2499.67
TOTAL	112128.02

2.1. Funcionamiento

La máquina trituradora de plásticos funciona mediante una cámara de corte con una cuchilla fija y con tres cuchillas helicoidales alargadas sobre la hélice del rotor por donde circula el plástico el cual será cortado por cizallamiento a posteriormente en la figura 13 se expone una trituradora de plástico PET.

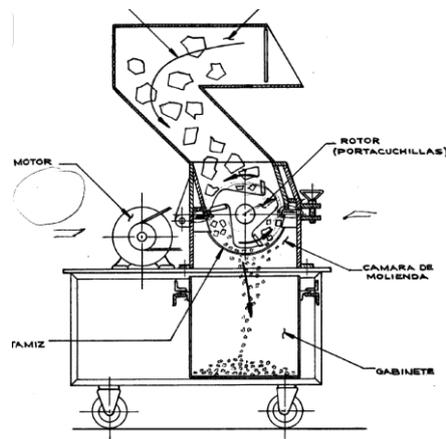


Figura 13. Máquina trituradora de plástico [29].

2.2. Corte en cizalla

Un proceso mecánico que permite el corte y separación de un material al someterlo a tensiones cortantes superiores a su resistencia mecánica. La capacidad de la fuerza de corte por cizalla

obedece el ángulo de los filos, la resistencia a la cizalladura del material PET y el espesor del material.

Es un proceso mecánico que somete al material a tensiones cortantes superiores a su resistencia mecánica, permitiendo así el corte y separación del material. En el caso del corte por cizalla el ángulo determina la magnitud de la fuerza de corte de los filos, resistencia a la cizalladura del material PET y del espesor del material [35]. La próxima ecuación se utiliza para calcular la fuerza de corte en cizalla, en la figura 14 se presenta el corte en cizalla.

$$P = \frac{e^2 \cdot K_s}{2 \cdot \tan(\alpha)} \quad (1)$$

2.3. Fuerza de corte

Las cuchillas están dispuestas de manera que sus planos inclinados producen los filos de corte, lo que es la fuerza necesaria para romper o fracturar el PET. Conociendo que la rosca de la botella tiene un espesor de 2.1 mm según la tabla 18 asimismo el PET tiene un esfuerzo a la rotura de 900 kg/cm^2 según la tabla 1 y el ángulo que recomienda [36] es de 45° con el fin de que no exista deslizamiento entre el plástico y la cuchilla. Se procede a aplicar la ecuación para deslindar la fuerza de corte como se visualiza en la figura 14.

Donde:

F_c = Fuerza de corte en cizalla (N)

K_s = Resistencia a la rotura $\left(\frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}\right)$

e = Espesor del PET (m^2)

α = Ángulo de inclinación de la cuchilla. ($^\circ$)

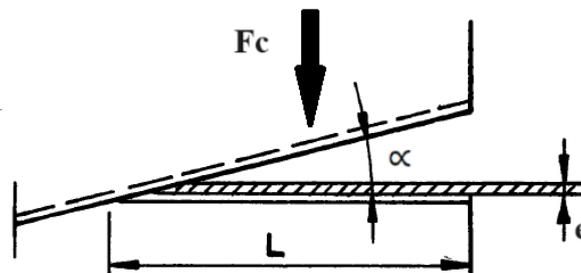


Figura 14. Corte en cizalla [36].

$$F_c = \frac{e^2 \cdot K_s}{2 \cdot \tan(\alpha)} \quad (1)$$

$$F_c = \frac{(0.0021m)^2 \cdot \left(\frac{900 \text{ kg}}{cm^2}\right) \cdot (100cm)^2}{2 \cdot \tan(10^\circ) \cdot (1m)^2}$$

$$F_c = 112, \cdot 54(Kgf) * \frac{9.8 \text{ N}}{1 \text{ kgf}}$$

$$F_c = 1103 \text{ N}$$

Se necesita una fuerza de corte de 1103 N para poder cortar el plástico PET.

2.4. Diseño de cuchillas

Con el fin de garantizar un corte con mínimo esfuerzo se debe establecer un ángulo.

2.5. Ángulos de corte

Las cuchillas tienen tres ángulos principales de corte los cuales influyen en el corte de plásticos como se evidencia en la figura 15.

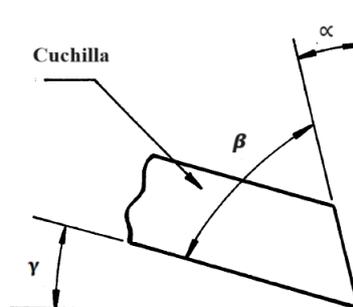


Figura 15. Ángulos de corte [36].

2.5.1. Ángulo de incidencia α

Su función es evitar la fricción entre la superficie de influencia y la superficie del plástico que se va a cortar [36].

2.5.2. Ángulo de desprendimiento o ataque γ

La función de este ángulo es facilitar el desprendimiento del plástico cuando se está realizando el corte. Se debe tomar en cuenta que el valor del ángulo depende si el plástico a cortar es duro el ángulo γ debe ser bajo, si el plástico es blando, se debe trabajar con un ángulo alto [36].

2.5.3. Ángulo de cuña β

Este ángulo indica la robustez de la cuchilla en consecuencia, si se aumenta α y γ , disminuirá el valor de β , es decir que se produciría un debilitamiento de la herramienta de corte permitiendo un desgaste prematuro en el filo de la herramienta. Para que la cuchilla tenga la robustez adecuada se recomienda trabajar con un ángulo de 45° [36].

El sistema de corte de la cuchilla es parecido al de una fresa, con un solo filo de corte alargado sobre el rotor. La Figura 14 evidencia el rotor y las cuchillas a diseñar.

La casa comercial Knova sirve como referencia para un diseño de cuchilla helicoidal. A diferencia de este modelo se optará por diseñar cuchillas con un solo filo de corte alargadas sobre el rotor. En la figura 16 se expone las cuchillas y rotor a diseñar.



Figura 16. Referencia de cuchillas distribuidas helicoidalmente [37].

2.6. Opciones para material cuchilla helicoidal

Se debe tomar en cuenta que las cuchillas requieren buena resistencia al desgaste por lo que se busca disponibilidad y costos para la selección del material. A continuación, se exhiben materiales que son adecuados a usar en herramientas para corte en frío, posteriormente la tabla 21 revela el acero en frío material para cuchillas.

Tabla 21. Acero corte en frío según material y dureza [38].

Acero para cuchillas		
Material	Espesor	Dureza escala Rockwell
ACERO D2 K100	6 - 11 mm	58 - 62 (HRC)
SVERVER3 AISI D6	< 3 mm	60 - 62 (HRB)
SVERVER-21=AISI D2	3 - 6 mm	54 - 56 (HRC)

El acero que se seleccionó es el K100 D2 es una opción popular para aplicaciones de ingeniería y fabricación de herramientas debido a su alta resistencia y durabilidad. Sin embargo, cuando se trata de un equipo triturador de PET (polietileno tereftalato), el acero utilizado dependerá de varios factores, como el diseño específico de la máquina, las fuerzas y tensiones incluidas en el proceso de trituración, y el presupuesto disponible.

Para una máquina trituradora de PET que procese 20 kg por hora, es importante seleccionar un acero que pueda soportar las fuerzas y tensiones repetidas asociadas con la trituración de este material. Además del acero K100, otros tipos de acero que podrían ser adecuados incluyen el acero SAE 4140, el acero inoxidable AISI 304 o 316, o incluso aleaciones de aluminio endurecidas. La fabricación de la cuchilla se puede llevar a cabo mediante una fresa de 4 ejes, el costo aproximadamente del material K100 \varnothing 160 x 185 es de \$ 400. En la figura 17 se observa la cuchilla diseñada en material K100.

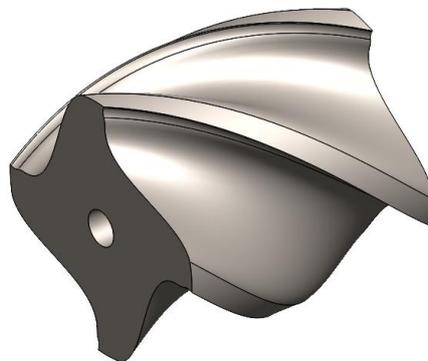


Figura 17. Acero K100 cuchilla helicoidal 4 filos.

Sin embargo, el acero por sí solo no determinará la capacidad de la máquina para triturar PET a la velocidad deseada. Otros factores como el boceto de la cuchilla, la potencia del motor y la eficiencia del mecanismo de alimentación también influirán en la suficiencia de fabricación de la máquina.

2.7. Propiedades acero K100

Alta resistencia al desgaste: Debido a su alto contenido de cromo y carbono, que forma carburos duros.

Buena retención de filo: Ideal para herramientas de corte y moldes.

Alta dureza: Después del tratamiento térmico, puede alcanzar durezas de 55 - 62 HRC.

Resistencia a la deformación: Mantiene su forma y dimensiones bajo carga y en condiciones de trabajo intensas.

2.8. Tratamiento térmico

El acero D2 requiere un tratamiento térmico específico para alcanzar sus propiedades. El proceso típico incluye:

Austenización: Calentamiento a una temperatura de aproximadamente 1020 – 1040 °C (1868 -1904 °F).

Temple: Enfriamiento rápido (en aire o aceite) para obtener la dureza deseada.

Revenido: Calentamiento a una temperatura más baja (150 – 250 °C) para reducir tensiones internas y aumentar la tenacidad sin sacrificar demasiada dureza, en la figura 18 se visualiza la escala acorde a revenido y temple del tratamiento térmico.

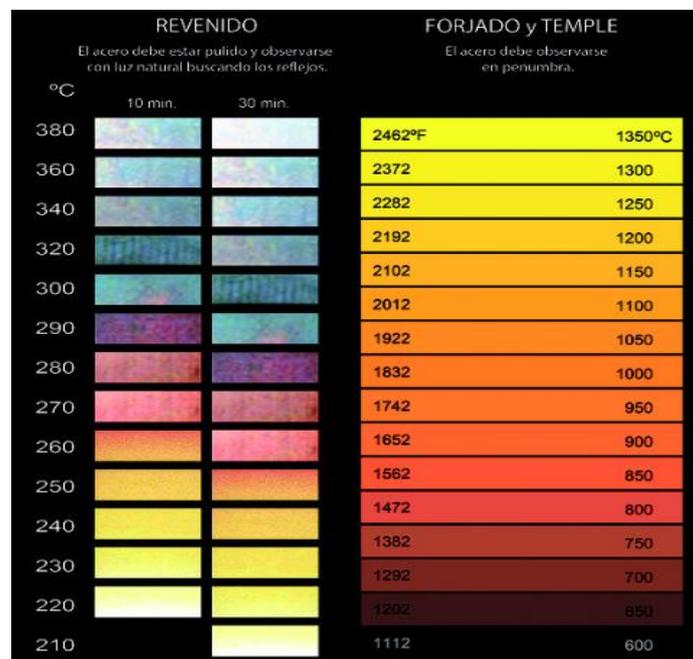


Figura 18. Tratamiento térmico del acero [39].

2.9. Elección del motor

En la elección de motor se toma como referencia al fabricante de máquinas para reciclaje de piezas de plástico [40] que recomienda trabajar con una velocidad de corte de 200 rpm para triturar botellas PET. A continuación, se indican los datos:

F_c : 1103 N

Diámetro de corte: 166 mm

Rpm: 200

2.10. Velocidad angular

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

$$W = \frac{2 \cdot \pi \cdot 200 \text{ rpm}}{60} = 20.94 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

2.11. Torque

$$T = F_c \cdot r \quad (3)$$

$$T = 1103 \text{ N} \cdot 0.083 \text{ m}$$

$$T = 91.55 \text{ N} \cdot \text{m}$$

2.12 Potencia

$$P = T \cdot W \quad (4)$$

Donde:

T = torque

W = Velocidad angular

$$P = 91,55 \text{ Nm} \cdot 20.94 \frac{\text{rad}}{\text{s}} / 1000 = 1.92 \text{ kw}$$

$$P = 1.92 \text{ kw} \cdot \frac{1.341 \text{ HP}}{1 \text{ kw}} = 2.57 \text{ HP}$$

6.4. Determinar el factor de servicio

El factor de servicio es una medida que determina si un motor funciona bien en condiciones de carga variables. Con un factor de servicio adecuado se garantiza seguridad en su funcionamiento, durabilidad y eficiencia. En la tabla 22 se detalla las condiciones en la que opera la máquina.

Tabla 22. Factores de carga de servicio [41].

Ejemplos de máquinas de trabajo	Motores de corriente alterna manejo en horas (h) (factor carga)		
	Límite 10 h	10 a 15 h	más de 15 h
	Transmisión liviana	1.1	1.1
Transmisión intermedia	1.1	1.2	1.3
Transmisión pesada	1.2	1.3	1.4
Transmisión maciza	1.3	1.4	1.5
	Motores de arranque manejo fijo en horas (h) (factor carga)		
	Límite 10 h	10 a 15 h	más de 15 h

Transmisión liviana	1.1	1.2	1.3
Transmisión intermedia	1.2	1.3	1.4
Transmisión pesada	1.4	1.5	1.6
Transmisión maciza	1.5	1.6	1.8

La transmisión mediana, que funciona hasta 10 horas, es el factor de servicio utilizado por la máquina.

$$f_{servicio} = 1.1$$

6.5. Capacidad de diseño

Se escoge el motor. En la figura 19 el catálogo seleccionado para el equipo.

$$P_{diseño} = P \cdot f_{servicio} \quad (5)$$

$$P_{diseño} = 2.57 \cdot 1.1$$

$$P_{diseño} = 2.8 \text{ HP}$$

Potencia		Carcasa	Par nominal Tn (Nm)	Corriente con rotor trabado I/In		Par de arranque Ta/Tn	Par máximo Tm/Tn	Inercia J (kgm ²)	Tiempo máx. con rotor trabado (s)		Peso (kg)	Nivel de ruido dB (A)	RPM
HP	kW			Letra	Ia/In				Caliente	Frío			
VI polos													
1	0,75	143/5T	6,11	K	6,2	2,6	3,0	0,0067	28	62	24,0	49,0	1150
1,5	1,1	182/4T	9,01	M	7,8	3,2	4,0	0,0206	16	35	31,9	52,0	1170
2	1,5	182/4T	12,0	L	7,5	3,0	3,5	0,0262	31	68	39,7	52,0	1170
3	2,2	213/5T	17,9	K	7,0	2,0	2,8	0,0504	58	128	55,0	55,0	1175

Figura 19. Catálogo de motores WEG [42].

Para la máquina se usará un motor de 3 Hp.

7. Cálculo de bandas y poleas

Se tiene entonces:

Potencia del motor = 3 Hp

rpm del motor = 1175

rpm al eje = 200

7.1. Cálculo de la relación de transmisión.

$$R = \frac{n}{N} = \frac{1175 \text{ rpm}}{200 \text{ rpm}} = 5.8 \quad (6)$$

7.2. Diámetro exterior de la polea motriz

Los diámetros mínimos que corresponden a la capacidad y a la velocidad del motor como se denota en la Figura 20.

Diámetros mínimos en mm				
Caballos de fuerza (HP)	RPM de Motor			
	900	1200	1800	3600
0.50	65	-	-	-
0.75	65	65	-	-
1.00	65	65	60	-
1.50	75	65	65	60
2.00	75	65	65	65
3.00	75	75	65	65
5.00	100	75	75	65
7.50	115	100	75	75
10.00	115	115	100	75
15.00	135	115	115	100
20.00	155	135	115	115
25.00	170	155	115	115
30.00	170	170	135	-
40.00	210	170	155	-
50.00	230	210	170	-
60.00	260	230	190	-
75.00	260	260	230	-
100.00	350	350	250	-
125.00	380	350	280	-
150.00	465	350	-	-
200.00	550	-	-	-
250.00	-	-	-	-
300.00	-	-	-	-

Figura 20. Diámetro de la polea motriz [43].

\emptyset polea motriz = 75 mm

7.3. Escoger el tipo de perfil de la banda

La figura 21 enseña el perfil de la banda que se usa en la máquina trituradora.

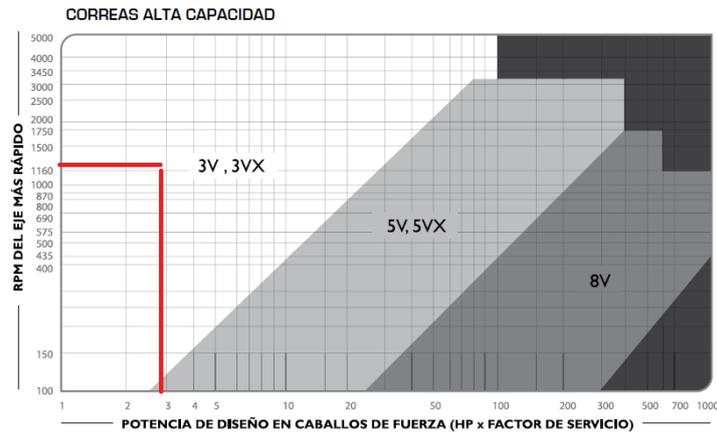


Figura 21. Perfil de la banda [43].

El perfil de la banda será 3VX.

7.4. Capacidad de transmisión por canal

La figura 22 expone la capacidad de transmisión que se usa en el canal, en el cálculo de la polea motriz.

CORREAS TIPO 3VX		TABLA DE CAPACIDAD DE TRANSMISIÓN POR CANAL							
RPM del Eje más Rápido	Diámetro exterior de la Polea Motriz (en milímetros)								
	55	60	65	67	70	75	80	85	
100	0.12	0.14	0.16	0.18	0.19	0.22	0.23	0.26	
200	0.22	0.26	0.29	0.33	0.36	0.41	0.44	0.48	
300	0.31	0.37	0.42	0.47	0.52	0.58	0.63	0.70	
400	0.40	0.47	0.54	0.60	0.67	0.75	0.82	0.91	
500	0.49	0.57	0.65	0.73	0.81	0.92	1.00	1.10	
575	0.55	0.64	0.73	0.83	0.92	1.04	1.13	1.25	
600	0.57	0.66	0.76	0.86	0.95	1.08	1.18	1.30	
690	0.64	0.75	0.86	0.97	1.08	1.22	1.33	1.48	
700	0.65	0.76	0.87	0.98	1.10	1.24	1.35	1.50	
725	0.66	0.78	0.90	1.00	1.13	1.28	1.40	1.54	
800	0.72	0.85	0.98	1.10	1.23	1.40	1.52	1.68	
870	0.77	0.91	1.05	1.18	1.32	1.50	1.63	1.80	
900	0.80	0.94	1.08	1.22	1.36	1.54	1.68	1.87	
950	0.83	0.98	1.13	1.28	1.42	1.62	1.77	1.96	
1000	0.87	1.02	1.18	1.34	1.50	1.70	1.85	2.05	
1100	0.94	1.10	1.28	1.45	1.62	1.84	2.00	2.23	
1160	0.98	1.16	1.34	1.52	1.69	1.93	2.10	2.34	
1200	1.00	1.20	1.38	1.56	1.74	2.00	2.17	2.40	
1300	1.08	1.28	1.47	1.67	1.87	2.13	2.32	2.58	
1400	1.14	1.36	1.57	1.78	2.00	2.27	2.48	2.75	

Figura 22. Hp por canal [43].

7.5. Encontrar el número de bandas

$$\text{Número de bandas requeridas} = \frac{\text{Potencia HP}}{\text{HP por banda}} = \frac{2.8}{2} = 1.4 \quad (7)$$

Por lo tanto, se debe usar dos bandas.

7.6. Cálculo del diámetro de la polea conducida

$$\emptyset \text{ polea motriz} \cdot R = \emptyset \text{ polea conducida} \quad (8)$$

$$\emptyset \text{ polea conducida} = 435 \text{ mm}$$

7.7. Cálculo de la distancia entre centros

$$C = 0.7 (D + d) \quad (9)$$

Donde:

C = distancia entre centros.

D = diámetro polea mayor

d = diámetro polea menor

$$C = 0.7 (435 + 75) \text{ mm} = 357 \text{ mm}$$

7.8. Cálculo de longitud de la banda

$$L = 2C + 1.57 (D + d) + \frac{(D + d)^2}{4C} \quad (10)$$

$$L = 1690 \text{ mm}$$

La tabla 23 se presentan los datos que se usó para el cálculo de las poleas.

Tabla 23. Datos de las poleas

\emptyset De la polea motriz [mm]	\emptyset De la polea conducida [mm]	Distancia entre centros de las poleas [mm]	Hp por canal	Número de bandas
75	435	357	2	2

8. Diseño estático

Para realizar el diseño estático se debe iniciar calculando las componentes de la fuerza de corte para poder determinar el momento resultante y consecuentemente calcular el diámetro del eje como se puede ver en la figura 23.

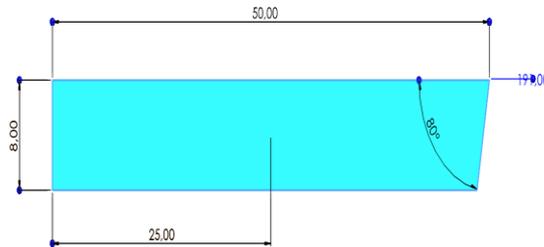


Figura 23. Fuerza de corte

La figura 23 expone cómo actúa la fuerza de corte sobre el material a cortar formando un ángulo de 7° con la vertical.

A continuación, se aplica la siguiente fórmula para hallar las componentes de la fuerza:

$$\sin 7^\circ = \frac{F_{cz}}{F_c} \quad (11)$$

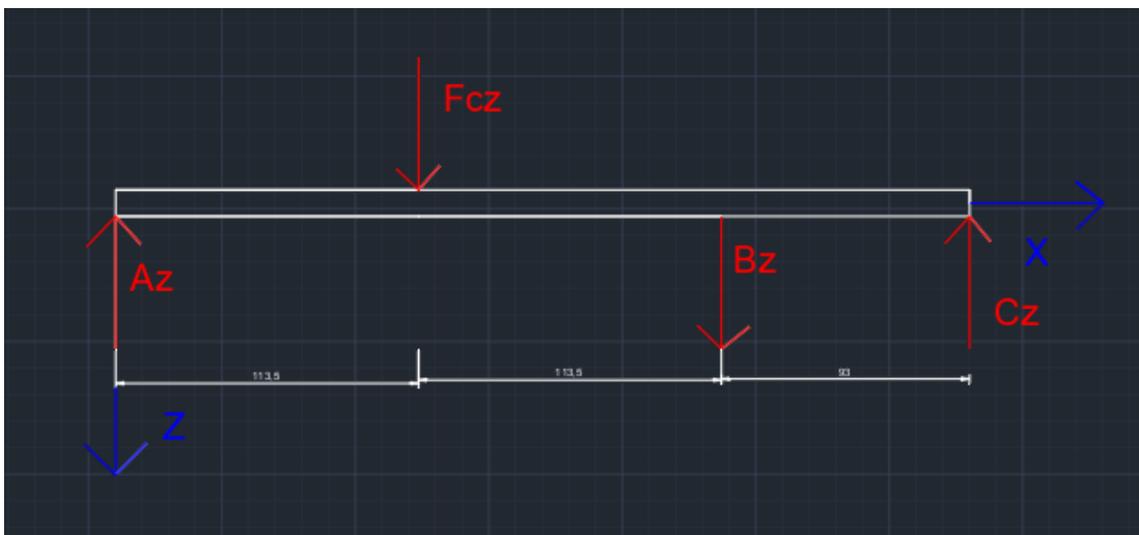
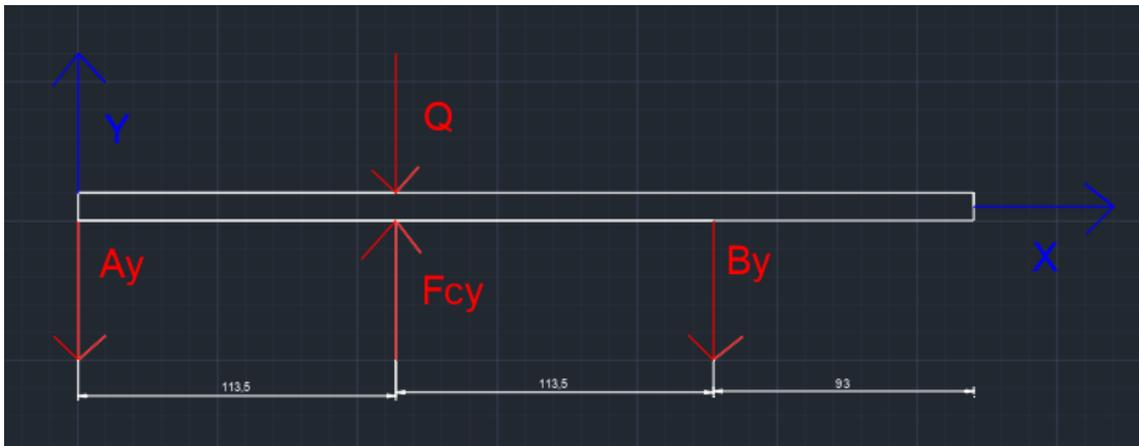
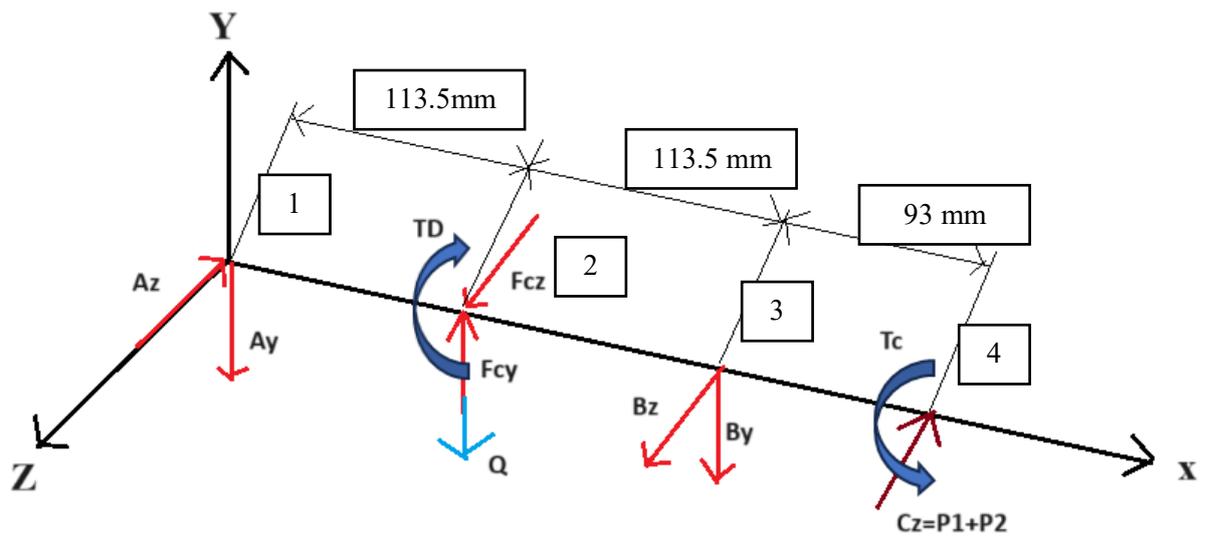
$$F_{cz} = 134.42 \text{ N}$$

$$\cos 7^\circ = \frac{F_{cy}}{F_c}$$

$$F_{cy} = 1094.7344 \text{ N}$$

8.1. Diagrama de cuerpo libre

Las fuerzas que proceden sobre el eje de la trituradora se exponen en el DCL en la Figura 24.



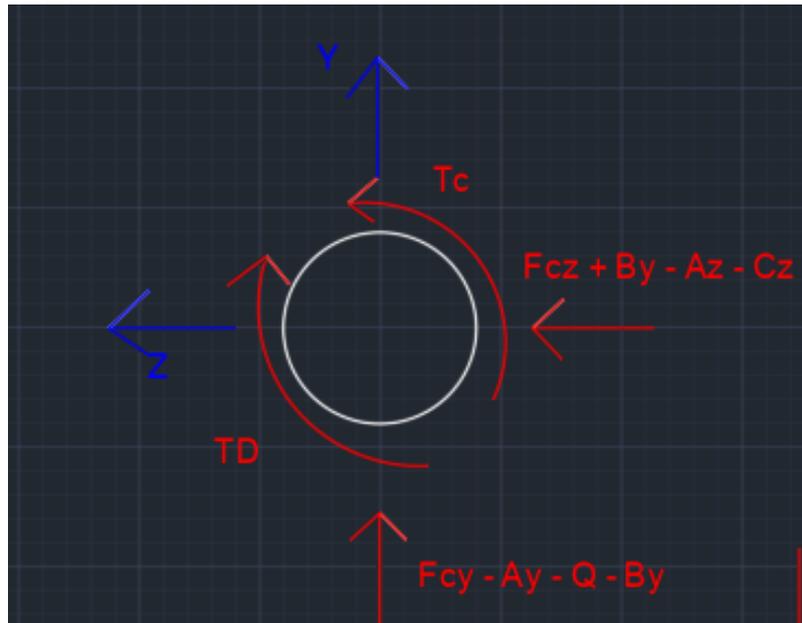


Figura 24. Diagrama de cuerpo libre del eje (X-Y) (X-Z)

Donde:

1. A_z, A_y = Reacciones del rodamiento en A [N/m].

2. F_{cy} = Fuerza de corte en y. [N]

F_{cz} = Fuerza de corte en z. [N]

Q = Fuerza de peso del rodillo y eje. [N]

3. B_z, B_y = Reacciones del rodamiento en B.

4. C_z = Reacción y torque de la polea. [N/m]

Se tiene los siguientes datos

\emptyset polea conducida = 217.5 mm

\emptyset polea motriz = 75 mm

Distancia entre centros = 357 mm

β = Ángulo de contacto polea banda.

$f = 0.25$ (Polea de Aluminio - banda de caucho)

$$\mathbf{P1} = \mathbf{P2} \cdot \mathbf{e}^{f \cdot \beta}$$

(12)

$$\beta = 180^\circ + \frac{60(D-d)}{C} = 240.5^\circ = 4.19 \text{ rad}$$

Reemplazando se tiene:

$$P1 = P2 \cdot e^{0.25 \cdot 4.19} = 2.85 P2$$

Radio de la polea C = 0.2175 m

$$\sum M \text{ eje } x = 0$$

$$(\mathbf{P1} - \mathbf{P2}) \mathbf{R} = \mathbf{T_D} \quad (13)$$

$$(2.85P2 - P2)2175 = 91.55 \text{ N.m}$$

$$P2 = 228.87 \text{ N}$$

$$P1 = 192.05 \text{ N}$$

Peso del rodillo y eje

$$\mathbf{Q} = (\mathbf{18.2} + \mathbf{1.2})\mathbf{Kg} \cdot \mathbf{9.8} \frac{\mathbf{m}}{\mathbf{s}^2} = \mathbf{190.12} \text{ N} \quad (14)$$

$$\sum F_y = 0$$

$$-A_y + F_{cy} - Q - B_y = 0$$

$$A_y + B_y = 904.61 \text{ N}$$

$$\sum M \text{ eje } z = 0$$

$$1094.73 \cdot 0.1135 - 190.12 \cdot 0.1135 - B_y \cdot 0.227 = 0$$

$$B_y = 452.31 \text{ N}$$

$$A_y = 452.31 \text{ N}$$

$$\sum M \text{ eje } y = 0$$

$$-F_{cz} \cdot 0.1135 - B_z \cdot 0.227 + (P_1 + P_2) \cdot 0.3 = 0$$

$$B_z = 526.16 \text{ N}$$

$$\sum F_{eje z} = 0$$

$$-A_z + F_{cz} + B_z - C_z = 0$$

$$-A_z + 134.42 + 526.16 - 420.92 = 0$$

$$A_z = 239.66 \text{ N}$$

8.2. Fuerzas cortantes y momentos

El diagrama de fuerza cortante que se muestran en sus respectivos planos en la Figura 25 y 26.

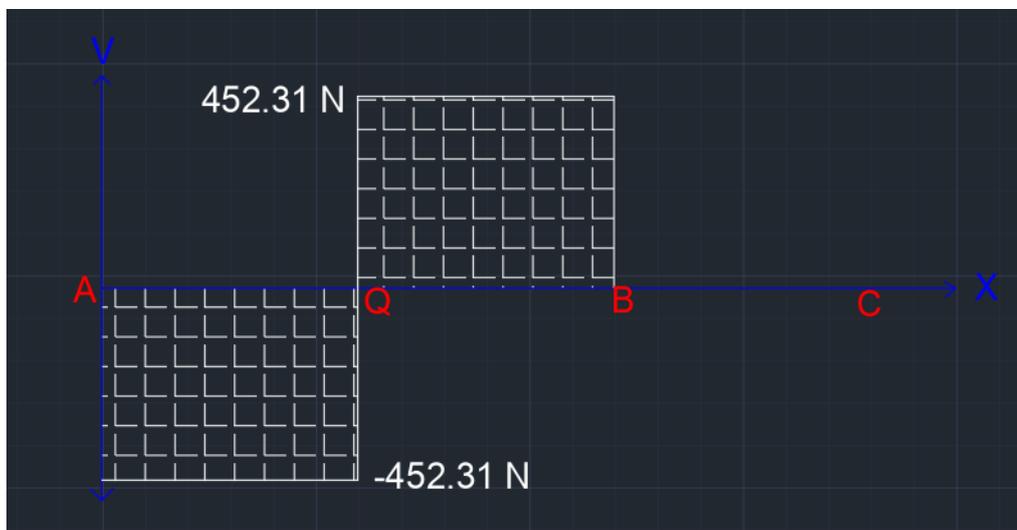


Figura 25. Fuerzas cortantes plano XY.

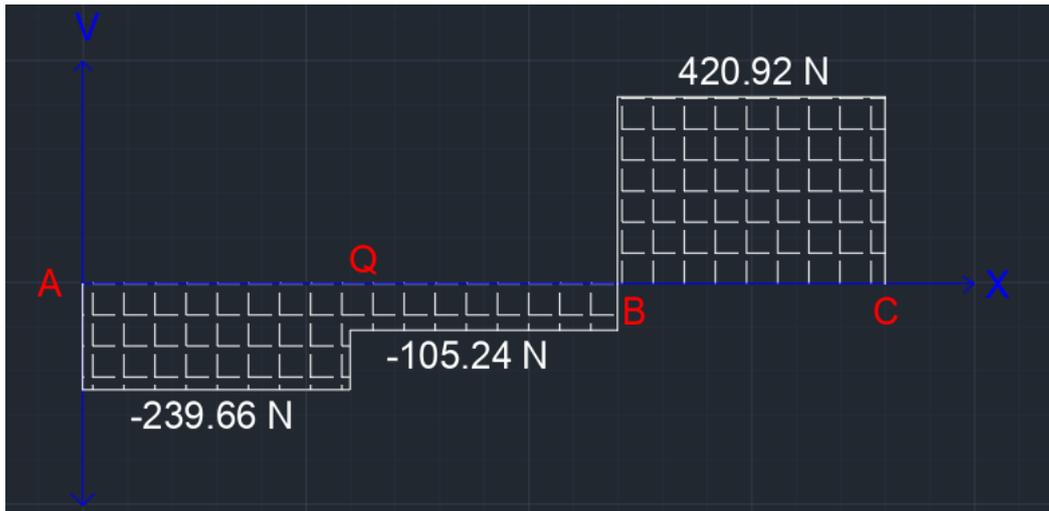


Figura 26. Fuerzas cortantes plano XZ.

Los diagramas de momentos se crean utilizando diagramas de fuerzas cortantes, en la figura 27 se puede ver el diagrama de momento.

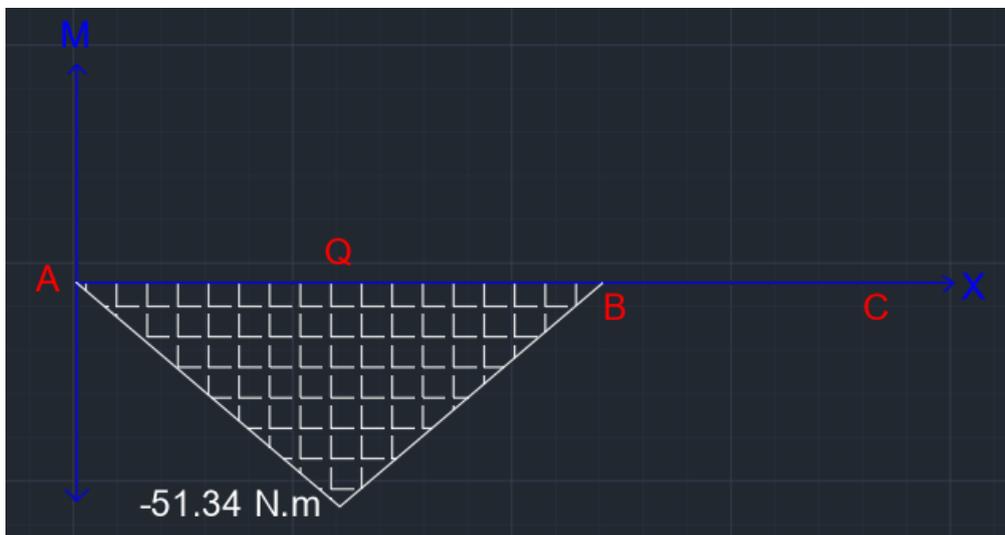


Figura 27. Diagrama de momento

En la figura 28 se puede distinguir el diagrama de momento.

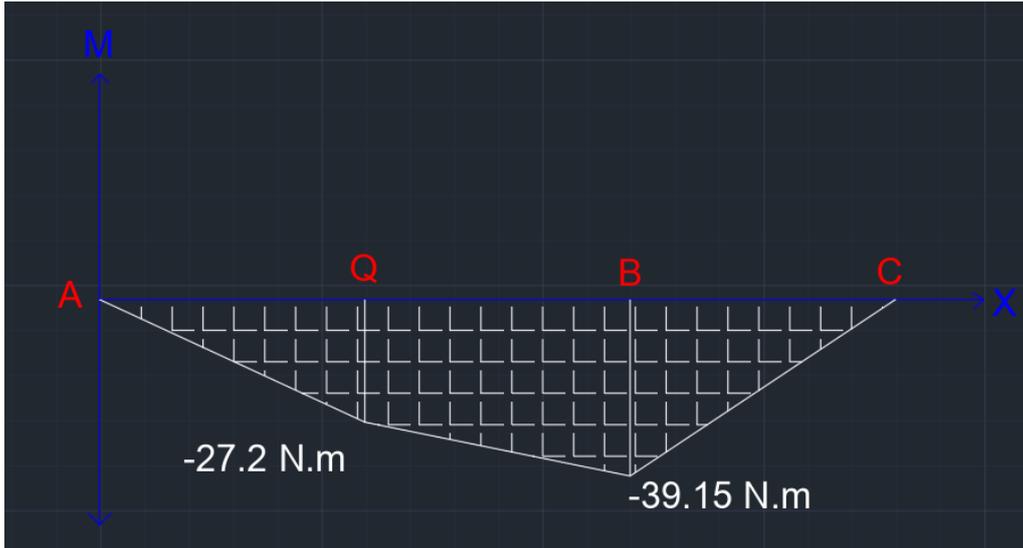


Figura 28. Diagrama de momento

8.3 Sección crítica

Según los diagramas de momentos se observa que la sección crítica se encuentra en Q o en B.

$$M_B = 39.15 \text{ N.m}$$

$$M_Q = \sqrt{27.2^2 + 39.15^2}$$

$$M_Q = 58.1 \text{ N.m}$$

La sección crítica es en el punto Q.

8.4. Cálculo del momento resultante.

$$\sigma = \frac{M \cdot 32}{\pi \cdot d^3} \quad (15)$$

$$\sigma = \frac{58.1 \text{ N.m} \cdot 32}{\pi \cdot d^3} = \frac{591.8 \text{ N.m}}{d^3}$$

8.5. Cálculo de torsión.

$$\tau = \frac{T \cdot r}{J} \quad (16)$$

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

$$\tau = \frac{16 \cdot 1094.73 \cdot 0.083}{\pi \cdot d^3} = \frac{462.76 \text{ N.m}}{d^3}$$

Aplicamos la distorsión puede determinar el diámetro del eje. El material por utilizar será AISI 1045 (CD) con $S_y = 530 \text{ MPa}$.

$$\sigma' = (\sigma^2 + 3\tau^2)^{\frac{1}{2}} \quad (17)$$

$$265 \times 10^6 \frac{N}{m^2} = \left\{ \left(\frac{591.8 N \cdot m}{d^3} \right)^2 + 3 \left(\frac{462.76 N \cdot m}{d^3} \right)^2 \right\}^{\frac{1}{2}}$$

$$d = 0.0155 \text{ m} = 15.5 \text{ mm}$$

Con un factor de seguridad de 2, el diámetro es de 15.5 mm. Varios fabricantes ofrecen un diámetro de 1 pulgada para los ejes por facilidad de mecanizado por lo cual se usa esta medida. Se puede estimar el factor de seguridad del eje de 1 pulgada, o 25.4 mm, aplicando la siguiente fórmula:

$$\frac{S_y}{n} = (\sigma^2 + 3\tau^2)^{\frac{1}{2}} \quad (18)$$

$$n = \frac{S_y}{(\sigma^2 + 3\tau^2)^{\frac{1}{2}}}$$

$$n = \frac{530 \times 10^6 \text{ Pa}}{\left(\left(\frac{58.1 \text{ N} \cdot \text{m} \cdot 32}{\pi \cdot (0.0254)^3} \right)^2 + 3 \left(\frac{16 \cdot 1094.7344 \cdot 0.083}{\pi \cdot (0.0254)^3} \right)^2 \right)^{\frac{1}{2}}}$$

$$n = 8.7$$

Se verifica que, con diámetro de 25.4 mm, el factor de seguridad es 8.7 con lo cual se asegura un buen desempeño del eje.

9. Diseño dinámico del eje

El objetivo del diseño dinámico no es analizar las partes bajo cargas estáticas; en cambio, se busca analizar cómo las partes responden a cargas variables y qué dimensiones darle para que el eje pueda soportar las condiciones de trabajo [44].

Límite de resistencia a la fatiga

$$S_e = k_a k_b k_c k_d k_e S_e' \quad (19)$$

Donde:

k_a = Factor de modificación según a la superficie estado de condición

k_b = factor de modificación basado en el tamaño

k_c = Factor de modificación en función en carga

k_d = Factor de cambio debido a la temperatura

k_e = Factor de confiabilidad

S_e = Límite de rendimiento antifatiga de piezas clave

S'_e = Límite de fatiga de una viga giratoria

Según Edwar Shigley las propiedades mecánicas del acero 1045 CD son las siguientes:

$S_u = 630 \text{ MPa}$

$S_y = 530 \text{ MPa}$

Límite de resistencia a la fatiga para la muestra de viga rotatoria

$$S'_e = 0.5 (S_{ut})$$

$$S'_e = 0.5 (630)$$

$$S'_e = 315 \text{ Mpa}$$

9.1. Factor de superficie

La condición del terminado de la superficie del componente y su resistencia a la tensión tienen un impacto en este factor.

$$k_a = aS_{ut}^b \quad (20)$$

Donde a y b se encuentran en la tabla 24 y S_{ut} es la resistencia mínima a la tensión.

Tabla 24. Factor de acabado superficial.

Acabado superficial	Factor a		Exponente
	S_{ut} kpsi	S_{ut} Mpa	b
Esmerilado	1.34	1.58	- 0085

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

El factor a y el factor b se seleccionan asumiendo que el componente es de un material que ha sido mecanizado.

$$k_a = 4.51(630)^{-0.265}$$

$$k_a = 0.8399$$

9.2. Factor de Tamaño

Se toma en cuenta el diámetro del eje y se elige la ecuación para calcular el valor de Kb.

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

$$k_b = 1,24d^{-0.107} \quad (21)$$

$$k_b = 1,24(25,4)^{-0.107}$$

$$k_b = 0,8772$$

9.3. Factor de modificación por la carga

Este factor se elige en base a las cargas que se aplican a los ejes; pueden ser cargas de torsión, axiales o de flexión rotatoria. A continuación, se enseña los valores promedio del factor de carga.

$$k_c = \begin{cases} 1 & \text{flexión} \\ 0.85 & \text{axial} \\ 0.59 & \text{torsión} \end{cases}$$

Se elige $K_c=1$ porque el eje está expuesto a cargas de flexión.

9.4. Factor de temperatura

Este factor se elige en función de la temperatura en la que el eje va a trabajar.

$$k_d = \begin{cases} 1 & T \leq 450 \text{ } ^\circ\text{C} \text{ (840 } ^\circ\text{F)} \\ 1 - 5,8(10)^{-3}(T - 450) & 450 \text{ } ^\circ\text{C} < T \leq 550^\circ\text{C} \\ 1 - 3,2(10)^{-3}(T - 840) & 840^\circ\text{F} < T \leq 1020^\circ\text{F} \end{cases}$$

La temperatura del eje es inferior a 450 °C, por lo que existe un factor:

$$K_d = 1$$

9.5. Factor de confiabilidad

Los siguientes valores de confiabilidad pertenecen a 8 respuestas estándar porcentual del límite de resistencia a la fatiga. A continuación, se exhibe la tabla donde se relaciona la confiabilidad con el factor K_e , como se evidencia en la tabla 25.

Tabla 25. Factor de confiabilidad.

Confiabilidad	Variación transformación Zn	Factor confiabilidad k_c
50	0	1
90	1.288	0.897
95	1.645	0.868
99	2.326	0.814
99.9	3.091	0.753
99.999	4.265	0.659
99.9999	4.753	0.62

Se elige un factor de confiabilidad del 99% esto según [45] se escoge para minimizar el error en el análisis a fatiga.

$$K_e = 0.814$$

Cálculo del límite de resistencia a la fatiga.

$$S_e = (0.8399)(0.8772)(1)(1)(0.814)(1)(315\text{MPa})$$

$$S_e = 188.9127 \text{ MPa}$$

Se tiene $M_{min} = 0$ y $M_{max} = 88.24 \text{ N.m}$ entonces $\sigma_{max} = 54.84 \times 10^6 \text{ N/m}^2$

$$\sigma_{fm} = \frac{\sigma_{max} + \sigma_{min}}{2} \quad (22)$$

$$\sigma_{fm} = \frac{54.84 \times 10^6 \text{ N/m}^2}{2} = 27.42 \times 10^6 \text{ N/m}^2$$

$$\sigma_{fa} = \frac{54.84 \times 10^6 \text{ N/m}^2}{2} = 27.42 \times 10^6 \text{ N/m}^2$$

Cálculo de τ_a y τ_m tomando en consideración $T_{min} = 0$ y $\tau_{max} = 28.23 \times 10^6 \text{ N/m}^2$.

$$\tau_m = \frac{28.23 \times 10^6 \text{ N/m}^2}{2} = 14.11 \times 10^6 \text{ N/m}^2$$

$$\tau_a = \frac{28.23 \times 10^6 \text{ N/m}^2}{2} = 14.11 \times 10^6 \text{ N/m}^2$$

Se utilizan las siguientes fórmulas para calcular el factor de seguridad:

9.6. Esfuerzo equivalente amplitud

$$\sigma'_a = \sqrt{(\sigma_{fa})^2 + 3(\tau_a)^2} \quad (23)$$

$$\sigma'_a = \sqrt{(27.42 \times 10^6 \text{ N/m}^2)^2 + 3(14.11 \times 10^6 \text{ N/m}^2)^2}$$

$$\sigma'_a = 36.73 \times 10^6 \text{ N/m}^2$$

9.7. Esfuerzo equivalente medio

$$\sigma'_m = \sqrt{(\sigma_{fm})^2 + 3(\tau_m)^2} \quad (24)$$

$$\sigma'_m = \sqrt{(27.42 \times 10^6 \text{ N/m}^2)^2 + 3(14.11 \times 10^6 \text{ N/m}^2)^2}$$

$$\sigma'_m = 36.73 \times 10^6 \text{ N/m}^2$$

Aplicando la teoría de Goodman se tiene:

$$\frac{\sigma'_a}{S_e} + \frac{\sigma'_m}{S_u} = \frac{1}{n} \quad (25)$$

Reemplazando se tiene:

$$n = 3,37$$

Con un diámetro de 25,4 mm y un factor de seguridad superior a 2, se puede inferir que el dimensionamiento del eje es correcto.

10. Selección de rodamientos

De acuerdo con los parámetros de fuerzas soportadas por el eje se procede a determinar el rodamiento adecuado, en la figura 29 se puede evidenciar el factor Fl.

$$\varnothing_{\text{int}} = 25.4 \text{ mm}$$

$$\text{Rpm} = 200$$

$$F_l = 3.25 \text{ (Según figura 26)}$$

$$F_r = 693.85 \text{ N}$$

Machacadoras, molinos, cribas, etc.	
Machacadoras de mandíbulas	3 ... 3,5
Trituradoras, machacadoras de rodillos	3 ... 3,5
Molinos de mandíbulas, de impacto y de martillos	4 ... 5
Molinos de tubos	4 ... 5
Molinos vibratorios	2 ... 3
Molinos de pulverizado	4 ... 5
Cribas vibratorias	2,5 ... 3
Prensas para briquetas	3,5 ... 4
Rodillos para hornos giratorios	4 ... 5

Figura 29. Factor Fl [46].

10.1. Cálculo del índice de carga estática básica C_o

$$C_o = f_s \cdot F_r \quad (26)$$

F_r = Fuerza resultante

$f_s = 1$ (factor de servicio, Anexo 2)

$$C_o = (1) \cdot 693.85 \text{ N}$$

$$C_o = 693.85 \text{ N}$$

Cálculo de la capacidad dinámica C:

$$C = P \cdot \sqrt[3]{\frac{L_{10h} \cdot \text{rpm} \cdot 60}{1000000 \cdot a_1 \cdot a_{23}}} \quad (27)$$

Donde:

$P = 3$ (rodamiento de bolas)

$L_{10h} = 25000$ horas (Anexo 2)

Rpm = 200

$a_1 = 1$ (factor de fiabilidad, Anexo 4)

$a_{23} = 1.7$ Factor combinado para material y lubricación

Se asume viscosidad $k = 1$ y factor básico = 0, tendrá una limpieza normal, en la figura 30 se examina el factor de vida amplia

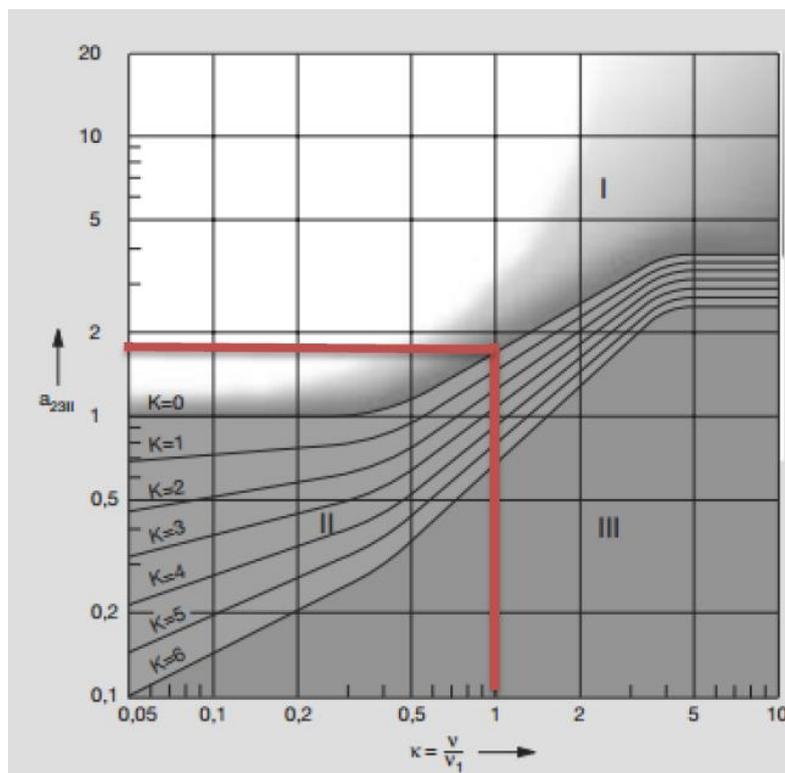


Figura 30. Factor de vida amplia [46].

$$a_{23II} = 1.7 \quad (28)$$

Entonces:

$$a_{23} = a_{23II} \cdot S$$

$S = 1$ factor de limpieza

$$a_{23} = 1.7 \cdot 1$$

$$a_{23} = 1.7$$

$$C = (693.85N) \cdot \sqrt[3]{\frac{25000 \text{ h} \cdot 200 \text{ rpm} \cdot 60}{1000000 \cdot 1 \cdot 1.7}} \quad (29)$$

$$C = 3891.85 \text{ N}$$

Con los valores de $C_o = 693.85 \text{ N}$ y $C = 3891.85 \text{ N}$ se selecciona el rodamiento rígido de bola Fag 16005, en la figura 31 se puede observar los rodamientos rígidos con respecto a las bolas.

Eje	Dimensiones							Peso kg	Capacidad de carga	
	d mm	D	B	r _s min	H mm	H ₁ mm	J mm		dyn. C kN	stat. C ₀
20	20	47	14	1	38,4	41	28,8	0,105	12,7	6,55
	20	47	14	1	38,4	41	28,8	0,105	12,7	6,55
	20	47	14	1	38,4	41	28,8	0,109	12,7	6,55
	20	47	14	1	38,4	41	28,8	0,109	12,7	6,55
	20	47	14	1	38,4	41	28,8	0,108	12,7	6,55
	20	47	18	1	38,4	41	28,8	0,139	12,7	6,55
	20	52	15	1,1	41,9	44,4	30,3	0,151	16	7,8
	20	52	15	1,1	41,9	44,4	30,3	0,153	16	7,8
	20	52	15	1,1	41,9	44,4	30,3	0,155	16	7,8
	20	52	15	1,1	41,9	44,4	30,3	0,155	16	7,8
	20	52	21	1,1	42,1	44,4	30,3	0,209	16	7,8
	20	72	19	1,1	55		37	0,415	30,5	15
25	25	47	8	0,3	39,7	41,1	32,2	0,055	7,2	4,65
	25	47	12	0,6	40,2	42,5	32	0,08	10	5,85
	25	47	12	0,6	40,2	42,5	32	0,082	10	5,85
	25	47	12	0,6	40,2	42,5	32	0,083	10	5,85
	25	47	12	0,6	40,2	42,5	32	0,084	10	5,85
	25	47	12	0,6	40,2	42,5	32	0,083	10	5,85

Figura 31. Rodamientos rígidos de bolas [46].

11. Estructura de la máquina

Para el cálculo se considera dos clases de perfiles, tubos cuadrados verticales y horizontales los cuales se calculan de acuerdo con el diseño de maquina con el fin de que soporte todas las cargas que actúan sobre ellas. El material para utilizar es acero ASTM A36 con las propiedades mecánicas que se manifiestan en el anexo 5 a continuación en la figura 32 se puede observar la estructura de la mesa.

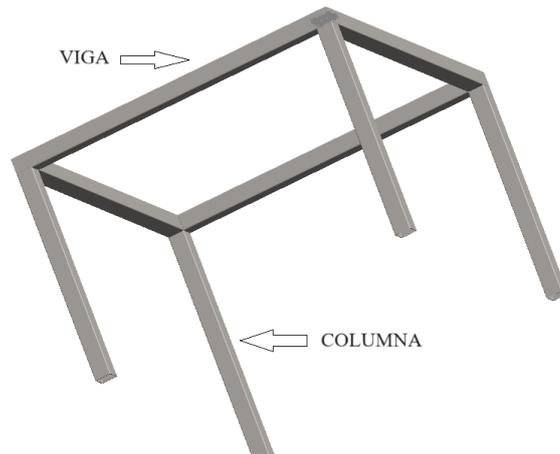


Figura 32. Estructura de la mesa.

11.1. Viga

Para calcular la viga se considera la reacción que se produce por el rodamiento con un valor de 452.31 N adicional se considera el peso del motor según la figura 10.

Longitud del perfil: 0.728 m

Carga: 991.31 N

En la figura 33 se observa los datos considerados anteriormente.

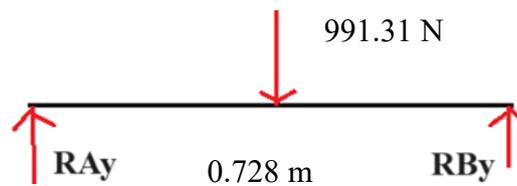


Figura 33. Diagrama de cuerpo libre perfil horizontal.

Cálculo de reacciones

$$\sum F_y = 0$$

Por simetría

$$R_{Ay} = R_{By}$$

$$R_{Ay} + R_{By} = 991.31 \text{ N}$$

$$2R_{Ay} = 991.31 \text{ N}$$

$$R_{Ay} = 495.66 \text{ N}$$

En la figura 34 se puede observar el diagrama de fuerza cortante con respecto al cálculo de las reacciones.

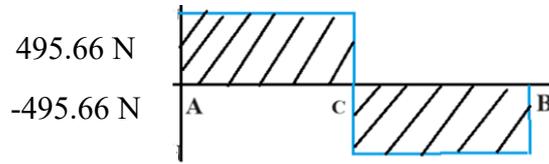


Figura 34. Diagrama de fuerza cortante.

En la figura 35 se indica el cálculo del momento máximo.

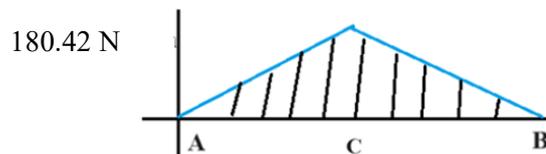


Figura 35. Momento máximo.

$$M_C = M_A + \int_{x_A}^{x_{cc}} V dx$$

$$M_{Fc} = 0 + 0.364 \text{ m} (495.66 \text{ N})$$

$$M_c(y) = 180.42 \text{ N.m}$$

Se observa que el momento máximo es 180.42 N.m.

$$\sigma_p = \frac{M.C}{I_x} = \frac{M}{S_x} \leq \sigma_{\max} = \frac{S_y}{F.S} \quad (30)$$

Donde:

σ_p = esfuerzo permisible

M = momento máximo

I = inercia respecto al eje x

C = distancia al eje x

S_y = límite de fluencia (ASTM A36)

F. S. = factor de seguridad

$$\sigma_{max} = \frac{Sy}{F.S} = \frac{250 \times 10^6 \text{ N/m}^2}{3.5} = 71.43 \times 10^6 \text{ N/m}^2$$

$$\sigma_{max} = \frac{M}{S_x} \tag{31}$$

El módulo de sección S_x es 2.53 cm^3 . Se selecciona un tubo estructural cuadrado de 40 mm de lado y 1.5 mm de espesor, según el catálogo DIPAC a continuación se presenta en la figura 36 la selección del tubo cuadrado.

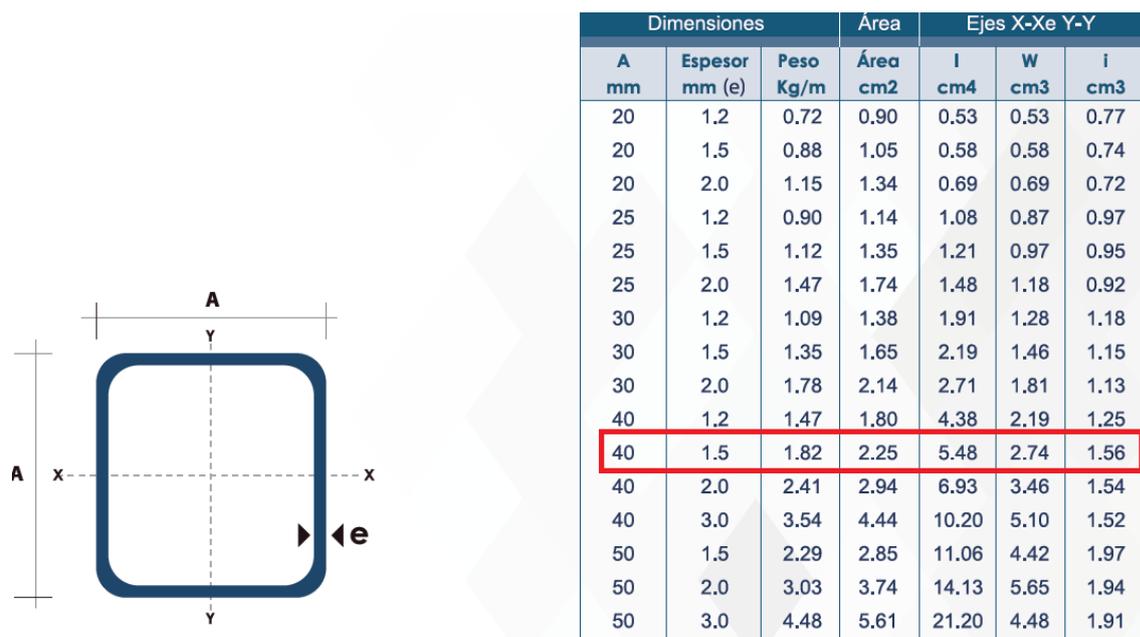


Figura 36. Tubo estructural cuadrado [47].

11.2. Columna

En la figura 37 se puede observar la columna de la estructura.

495.66 N

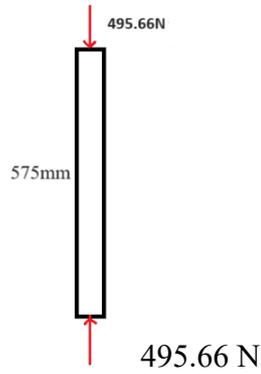


Figura 37. Columna de estructura.

Datos del tubo cuadrado

$$I = 5.48 \text{ cm}^4$$

$$A = 2.25 \text{ cm}^2$$

Análisis del pandeo

$$K = \sqrt{\frac{I}{A}} \quad (32)$$

$$K = \sqrt{\frac{5.48 \text{ cm}^4}{2.25 \text{ cm}^2}}$$

$$K = 1.56 \text{ cm}$$

$$\text{Relación de esbeltez} = \frac{l}{k} \quad (33)$$

$$\frac{l}{k} = \frac{575 \text{ mm}}{15.6 \text{ mm}} = 36.86$$

Constante C_1 (Anexo 6) = 4

Longitud efectiva l_e (Anexo 7) = $\frac{1}{2}l$

Módulo de elasticidad $E = 200 \text{ GPa}$

$S_y = 250 \text{ Mpa}$

$$\left(\frac{l}{k}\right)_1 = \sqrt{\frac{2 \cdot \pi^2 \cdot C_1 \cdot E}{S_y}} = \sqrt{\frac{2 \times \pi^2 \cdot 4 \cdot 200 \cdot 10^9 \text{ N/m}^2}{250 \cdot 10^6 \text{ N/m}^2}} = 255.68 \text{ N/m}^2$$

$$P_{cr} = \frac{A \cdot C1 \cdot \pi^2 \cdot E}{(1/k)^2} \quad (34)$$

$P_{cr} = \text{Carga crítica}$

$$P_{cr} = \frac{2.25 \cdot 10^{-4} m^2 \cdot 4 \cdot \pi^2 \cdot 200 \cdot 10^9 N/m^2}{(255.68 N/m^2)^2}$$

$$P_{cr} = 27.17 \text{ KN}$$

$$n = 3$$

$$P_{permissible} = n \cdot P$$

$$P_{permissible=3} (543.19 \text{ N})$$

$$P_{permissible=162957 \text{ N}}$$

Como $Pr > P_{permissible}$ la columna no falla por pandeo.

11.3. Análisis a compresión

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad (35)$$

$$\sigma = \frac{Sy}{n}$$

$$\frac{Sy}{n} = \frac{P}{A}$$

$$\frac{250 \cdot 10^6 N/m^2}{3} = \frac{495.66 \text{ N}}{A}$$

$$A = 5.95 \cdot 10^{-6} m^2$$

$$A = 0.059 \text{ cm}^2$$

Siendo menor el área que el volumen del perfil seleccionado, se concluye que la columna cumple con las condiciones de carga.

11.4. Componentes sobre la estructura.

En la tabla 26 se evidencia la masa de los componentes que previamente se obtuvo en el software con las propiedades físicas acorde a cada componente requerido.

Tabla 26. Masa de los componentes

Máquina trituradora con capacidad de 20 Kg/h		
Componente	gr	Kg
Caja trituradora	8599.05	8.59
Tolva	23276.93	23.27
Tolva cargada	2000	2
Motor	61881.2	61.88
Polea conducida	15029.51	15.02
Polea Motriz	841.66	0.84
Rodillo + cuchilla	2499.67	2.49
TOTAL	112128.02	112.12

12. Diseño de soldadura

Para unir los perfiles que conforman la estructura de la máquina, se debe realizar el proceso de soldadura por arco eléctrico con material de aporte E7018 (Anexo 8), en la figura 38 se identifica el diagrama de cuerpo libre de la junta soldada.

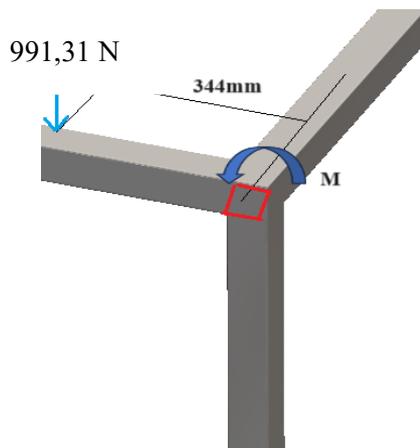


Figura 38. DCL Esquema de junta soldada.

En la figura 39 se enseña la selección del tamaño de la soldadura h.

Programa B: tamaño mínimo de soldadura de filete, h

Espesor del material de la parte unida más gruesa, pulg	Tamaño de la soldadura, pulg
*Hasta $\frac{1}{4}$ inclusive	$\frac{1}{8}$
Mayor que $\frac{1}{4}$ Hasta $\frac{1}{2}$	$\frac{3}{16}$
Mayor que $\frac{1}{2}$ Hasta $\frac{3}{4}$	$\frac{1}{4}$
†Mayor que $\frac{3}{4}$ Hasta $1\frac{1}{2}$	$\frac{5}{16}$
Mayor que $1\frac{1}{2}$ Hasta $2\frac{1}{4}$	$\frac{3}{8}$
Mayor que $2\frac{1}{4}$ Hasta 6	$\frac{1}{2}$
Mayor que 6	$\frac{5}{8}$

Figura 39. Tamaño de soldadura [45].

Se selecciona un tamaño de soldadura $h = 1/8$ plg equivalente a $h = 3,175$ mm.

12.1. Cortante directo

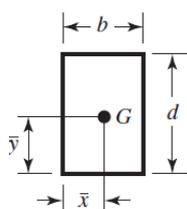
$$\tau' = \frac{V}{A} \tag{36}$$

Donde:

V = Fuerza cortante

A = área de la garganta (Figura 40)

En la figura 40 se puede contemplar las propiedades de la soldadura.



$$A = 1.414h(b + d)$$

$$\bar{x} = b/2$$

$$\bar{y} = d/2$$

$$I_u = \frac{d^2}{6}(3b + d)$$

Figura 40. Propiedades flexionantes de soldadura [45].

$$A = 1.414 \cdot h (b + d) \tag{37}$$

$$A = 1.414 \cdot 3.175 \text{ mm} (40 + 40) \text{ mm}$$

$$A = 359.16$$

$$\tau' = \frac{991.31 \text{ N}}{359.16 \text{ mm}^2}$$

$$\tau' = 2.76 \text{ MPa}$$

12.2. Cortante por flexión

$$\tau'' = \frac{M \cdot c}{I} \quad (38)$$

$$I_u = \frac{d^2}{6} (3b + d)$$

$$I_u = \frac{40^2}{6} (3 \cdot 40 + 40)$$

$$I_u = 42666.67 \text{ mm}^3$$

12.3. Momento de inercia en la garganta de soldadura

$$I = 0.707 \cdot (h) \cdot I_u \quad (39)$$

$$I = 95774.9 \text{ mm}^4$$

Reemplazando

$$\tau'' = \frac{991.31 \text{ N} \cdot 344 \text{ mm} \cdot 20 \text{ mm}}{95774.9 \text{ mm}^4}$$

$$\tau'' = 71.21 \text{ MPa}$$

$$\tau_R = (\tau'^2 + \tau''^2)^{\frac{1}{2}} \quad (40)$$

$$\tau_R = 71.26 \text{ MPa}$$

12.4. Esfuerzo permisible

La figura 41 indica el esfuerzo permisible del metal de aporte S_y .

Tipo de carga	Tipo de soldadura	Esfuerzo permisible
Tensión	A tope	$0.60S_y$
Aplastamiento	A tope	$0.90S_y$
Flexión	A tope	$0.60-0.66S_y$
Compresión simple	A tope	$0.60S_y$
Cortante	A tope o de filete	$0.30S_{ut}^{\dagger}$

Figura 41. Esfuerzo permisible del metal de aporte [45].

$$\tau_{per} = 0,30 S_{ut} \quad (41)$$

$$\tau_{per} = 157,2\text{MPa}$$

12.5 Factor de seguridad

$$n = \frac{157.2 \text{ MPa}}{71.26 \text{ MPa}} \quad (42)$$

$$n = 2.21$$

Se verificas que el diseño de soldadura tiene un factor de seguridad mayor a dos con lo que se asegura que no va a fallar el cordón de soldadura.

13. Pernos

La chumacera esta empotrada en la caja trituradora, se aplica la fuerza sobre el eje lo cual produce que los pernos de la chumacera estén sometidos a estiramiento y cortante como se evidencia en la figura 42. Para determinar el diámetro nominal de los pernos para garantizar un buen funcionamiento, es necesario realizar un análisis de fuerzas, la figura 42 expone la vista frontal de la chumacera acorde al perno que se va a utilizar.

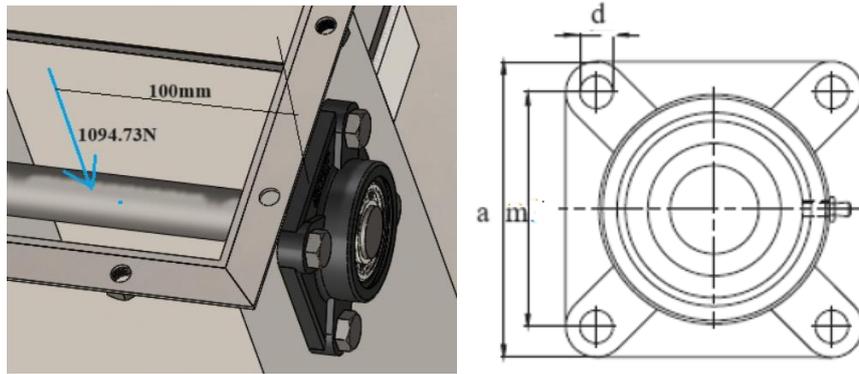


Figura 42. Vista frontal de la chumacera y Alargamiento del perno.

Datos:

$$F_{eje} = 1094.73 \text{ N}$$

$$a = 93 \text{ mm}$$

$$m = 70$$

$$l_1 = 81.5 \text{ mm}$$

$$l_2 = 11.5 \text{ mm}$$

$e = 100 \text{ mm}$, distancia desde la base de la chumacera hasta la fuerza sobre el eje.

13.1. Cálculo fuerza principal

$$P' = \frac{P}{\#\text{pernos}} = \frac{1094.73 \text{ N}}{4} \quad (43)$$

$$P' = 273.68 \text{ N}$$

13.2. Calculo fuerza secundaria P''

$$P''_1 = \frac{P \cdot e \cdot l_1}{l_1^2 + l_2^2} = \frac{1094.73 \text{ N} \cdot 0.1 \text{ m} \cdot 0.118 \text{ m}}{2((0.118 \text{ m})^2 + (0.022 \text{ m})^2)} \quad (44)$$

$$P''_1 = 448.28 \text{ N}$$

$$P''_2 = \frac{P \cdot e \cdot l_2}{l_1^2 + l_2^2} = \frac{1094.73 \text{ N} \cdot 0.1 \text{ m} \cdot 0.022 \text{ m}}{2((0.118 \text{ m})^2 + (0.022 \text{ m})^2)} \quad (45)$$

$$P''_2 = 83.57 \text{ N}$$

13.3. Esfuerzo cortante en el perno

$$\tau = \frac{P'}{A} = \frac{4 \cdot 273.68 \text{ N}}{\pi \cdot d_c^2} \quad (46)$$

$$\tau = \frac{348.4 \text{ N}}{d_c^2}$$

13.4. Esfuerzo a tensión del perno

$$\sigma = \frac{P''}{A} = \frac{4 \cdot 448.2 \text{ N}}{\pi \cdot d_c^2} \quad (47)$$

$$\sigma = \frac{570.6 \text{ N}}{d_c^2}$$

$$S_b = 380 \text{ MPa (Anexo 9)}$$

$$\tau_{\text{máx}} = \frac{0.577 \cdot S_b}{FS} = \frac{0.577 \cdot 380 \text{ MPa}}{3} \quad (48)$$

$$\tau_{\text{máx}} = 73.08 \text{ MPa}$$

13.5. Esfuerzo cortante máximo

$$\tau_{\text{máx}} = \sqrt{\left(\frac{\sigma}{2}\right)^2 + \tau^2} \quad (49)$$

$$73.08 \text{ MPa} = \sqrt{\left(\frac{570.6 \text{ N}}{2 \cdot d_c^2}\right)^2 + \left(\frac{348.4 \text{ N}}{d_c^2}\right)^2}$$

$$d_c = 0.0033 \text{ mm}$$

$$d_c = \frac{3.3 \text{ mm}}{0.8}$$

$$d_c = 4.13 \text{ mm}$$

Con los cálculos realizados se tiene un diámetro de 4.13 mm, con el que se asegura que los pernos no van a fallar. De acuerdo con el catálogo de chumacera se tiene pernos M 10 por los que se selecciona esta medida para el diseño de la máquina.

13.6 Cálculo de pernos en la cuchilla fija

La figura 43 enseña el dimensionamiento de pernos en la cuchilla fija

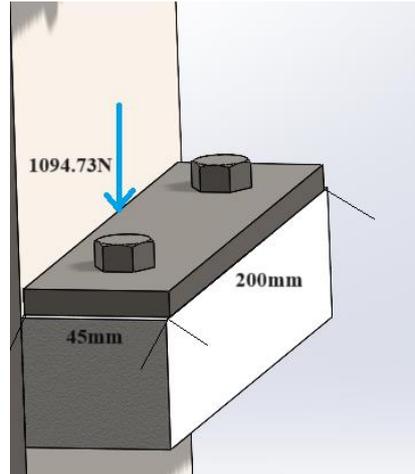


Figura 43. Dimensionamiento de pernos en la cuchilla fija

Cálculo de la fuerza secundaria

$$P'' = \frac{P \cdot e \cdot l_1}{2 \cdot l_1^2} \quad (50)$$

Como $e=l_1$:

$$P'' = \frac{P \cdot l_1 \cdot l_1}{2 \cdot l_1^2}$$

$$P'' = \frac{P}{2}$$

Esfuerzo

$$\sigma = \frac{P''}{A} = \frac{P \cdot 4}{2 \cdot \pi \cdot d_c^2}$$

Esfuerzo permisible del perno con grado 5.8

$$\sigma_{per} = \frac{420 \cdot MPa}{3} = 140 \cdot 10^6 \frac{N}{m^2} \quad (51)$$

Igualando el esfuerzo permisible con el esfuerzo resuelto se tiene:

$$140 \cdot 10^6 \frac{N}{m^2} = \frac{1094,73 \cdot 4}{2 \cdot \pi \cdot d_c^2}$$

$$d_c = \left(\frac{1094,73 \cdot 4}{2 \cdot \pi \cdot 140 \cdot 10^6} \right)^{1/2} \quad (52)$$

$$d_c = 2.23 \text{ mm}$$

$$d = 2.9 \text{ mm}$$

Se verifica que, con un diámetro de 2.9 mm la sujeción en la cuchilla fija no va a fallar por lo que se elige un par de pernos nominales de 10 mm.

14. Cálculo capacidad de la Tolva

La tolva de la máquina trituradora es de almacenamiento rectangular tipo hexaedro, para un cálculo detallado se consideró el material que se va a triturar, y la densidad del plástico como el diseño estructural a continuación en la figura 44 se establece las dimensiones de la tolva para poder diseñar.

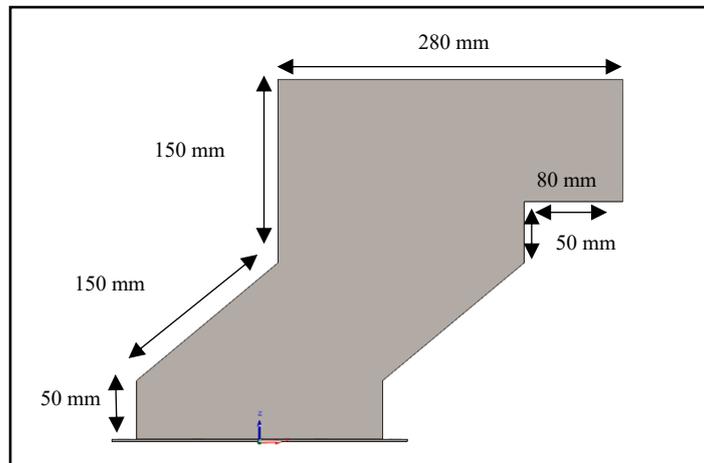


Figura 4. Diseño de tolva

Productividad de $20 \left(\frac{\text{kg}}{\text{hora}} \right)$

ρ : Densidad del plástico de $1360 \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right)$

A: Área de alimentación de 0.5 m^2

La tolva de la máquina trituradora es de almacenamiento rectangular tipo hexaedro, en la parte superior un tiene un orificio además funciona como tapa que permite ingrese el material a ser triturado, también direcciona el material a triturar, por la parte inferior se encuentran alineadas las cuchillas helicoidales, en el interior de la tolva se depositan los envases PET y caen poco a poco, las cuchillas helicoidales producen menos ruido.

14.1. Cálculo de la capacidad de la tolva

Se tiene en cuenta que la suficiencia de la máquina trituradora es de 20 kg/h, se estima la carga a la tolva 2 veces en una hora (cada 30 min), acorde a esto la suficiencia de la tolva será:

Capacidad en Peso (w):

$$W_{\text{de trabajo en una hora}} = \frac{\text{Capacidad de la máquina}}{\text{Número de veces de carga en 1 hora}} \quad (53)$$

$$W = \frac{20 \text{ kg}}{2} = 10 \text{ kg}$$

En peso lo que soporta la tolva es de 10 Kg.

Capacidad Volumen (V):

$$m_{\text{un envase}} = P_{\text{plástico}} \cdot V_{\text{un envase}} \quad (54)$$

$$m = 1360 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 0.000153 \text{ m}^3 = 0.20808 \text{ kg}$$

$$10 \text{ kg} \cdot \frac{1 \text{ botella}}{0.20808 \text{ kg}} = 48.0584 \approx 48 \text{ botellas}$$

$$\text{Área del rectángulo} = b \cdot h$$

$$A_1 = 28 \text{ cm} \cdot 10 \text{ cm}$$

$$A_1 = 280 \text{ cm}^2$$

$$\text{Área del rectángulo 2} = b \cdot h$$

$$A_2 = 5 \text{ cm} \cdot 20 \text{ cm}$$

$$A_2 = 100 \text{ cm}^2$$

$$\text{Área del romboide} = b \cdot h$$

$$A_3 = 20 \cdot 10$$

$$A_2 = 200 \text{ cm}^2$$

Área del rectángulo 3 = b · h

$$A_4 = 20 \text{ cm} \cdot 5 \text{ cm}$$

$$A_4 = 100 \text{ cm}^2$$

$$\text{Área total de depósito en la tolva} = (280 + 100 + 200 + 100) \quad (55)$$

$$\text{Área total de depósito en la tolva } AT = 680 \text{ cm}^2$$

$$\text{Volumen total} = AT \times \text{ancho} \quad (56)$$

$$\text{Volumen total} = (680 \text{ cm}^2) \cdot (40 \text{ cm})$$

$$\text{Volumen total} = 27200 \text{ cm}^3$$

Con los valores resultantes se realiza una conversión y se obtiene la capacidad de la tolva:

$$27.200 \text{ cm}^3 \cdot \frac{1 \text{ m}^3}{1000000 \text{ cm}^3} = 0.0272 \text{ m}^3$$

$$0.0272 \text{ m}^3 \cdot \frac{1000 \text{ litro}}{0.001 \text{ m}^3} = 27.20 \text{ litros}$$

La suficiencia de la tolva es de 27.20 litros, la tolva es destinada para todo tipo de tamaño de botellas, se debe considerar que el operario es el controlador del material depositado.

CAPÍTULO III

ANÁLISIS ESTRUCTURAL MEDIANTE MÉTODOS DE ELEMENTOS FINITOS

3.1. Simulación estática

Este capítulo trata sobre el análisis respecto a los elementos finitos, matriz de rigidez de la estructura, los tipos de mallado que existen, en este caso se realizan iteraciones, basado en el número de nodos luego de realiza las condiciones de borde para cada elemento tomando en

cuenta los métodos adaptativos, así como el coeficiente de aspecto, cociente jacobiano, análisis de factor de seguridad, la simulación se lleva a cabo mediante Von Mises.

3.1.1. Introducción al análisis de elementos finitos (FEA)

Tanto las piezas como las estructuras son muy comunes en la ingeniería mecánica, es usado para todo hoy en día, desde el diseño de equipos, carrocerías de autos, losas para la creación de edificios, elementos de máquinas, para obtener un análisis se debe tener un método a seguir.

El análisis de elementos finitos se le conoce como (FEA), un análisis numérico, un método comúnmente diseñado para facilitar problemas en diferentes campos para una matriz de diseño.

Al simular piezas o estructuras, se dividen según discretas o reticuladas o simplemente continuas, la principal es la que se encuentra conformado por un ensamble de piezas previamente diferenciados unos de otros, unidos en un conjunto de puntos, de tal forma se obtiene el sistema total tiene una forma de malla, las estructuras discretas tienen una característica principal en su deformación se puede predecir exacta mediante un número conocido como finito, por ejemplo se tiene el enlace de los puntos para que se unan elementos y más en la figura 45 se exponen las piezas discretas y continuas [48].

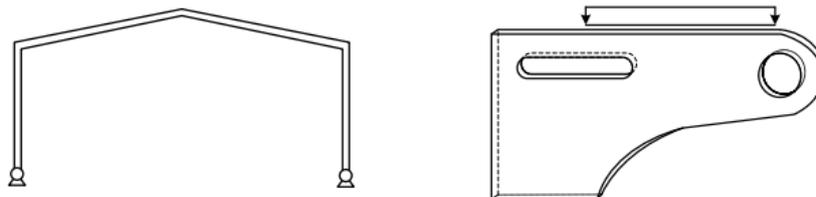


Figura 45. Piezas discretas y continuas.

3.1.2. Matriz de rigidez

La matriz de rigidez se puede comprender en varios contextos, en el diseño son los desplazamientos que sufren los puntos o nodos, también se toma en consideración los esfuerzos puntuales dados en esos puntos. Desde un punto de vista operacional se relaciona los desplazamientos que no se conocen de una estructura, esto permite hallar todas las reacciones de los esfuerzos que se aplican ya sean internos o externos y las tensiones que existen en dichos nodos que conforman la estructura.

La matriz de rigidez son las fuerzas de los nodos y desplazamientos con la siguiente ecuación.

$$\begin{Bmatrix} F_1 + R_1 \\ F_2 + R_2 \\ \dots \\ F_n + R_n \end{Bmatrix}_G = \begin{bmatrix} k_{11} & k_{12} & \dots & k_{1n} \\ k_{21} & k_{22} & \dots & k_{2n} \\ \dots & \dots & \ddots & \dots \\ k_{n1} & k_{n2} & \dots & k_{nn} \end{bmatrix}_G \begin{Bmatrix} \delta_1 \\ \delta_2 \\ \dots \\ \delta_n \end{Bmatrix}_G$$

Donde:

F_i = Fuerzas nodales

R_i = Relaciones hiperestáticas

N = número de grados de libertad

3.1.3. Viga de nodos rígidos

Un nodo donde se unen dos vigas se llama rígido, para la viga unida fijamente es sus dos extremos la matriz de rigidez viene dada por:

$$\left[K^{(e)} \right] = \begin{bmatrix} \frac{EA}{L} & 0 & 0 & -\frac{EA}{L} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{12EI}{L^3} & \frac{6EI}{L^2} & 0 & -\frac{12EI}{L^3} & \frac{6EI}{L^2} \\ 0 & \frac{6EI}{L^2} & \frac{4EI}{L} & 0 & -\frac{6EI}{L^2} & \frac{2EI}{L} \\ -\frac{EA}{L} & 0 & 0 & \frac{EA}{L} & 0 & 0 \\ 0 & -\frac{12EI}{L^3} & -\frac{6EI}{L^2} & 0 & \frac{12EI}{L^3} & -\frac{6EI}{L^2} \\ 0 & \frac{6EI}{L^2} & \frac{2EI}{L} & 0 & -\frac{6EI}{L^2} & \frac{4EI}{L} \end{bmatrix}$$

Donde:

L = longitud

A = Área

I = momento de inercia

E = constante de elasticidad [48].

3.2. Tipos de mallado

3.2.1. Malla sólida

Se subdivide en dos partes en la malla tetraédrica lineal y parabólica, la lineal se caracteriza por ser una malla tipo borrador de primer orden cada 3 grados de libertad representa un nodo, se recomienda usar cuando no se use geometrías con curvatura, la figura 46 señala el elemento sólido lineal y parabólico

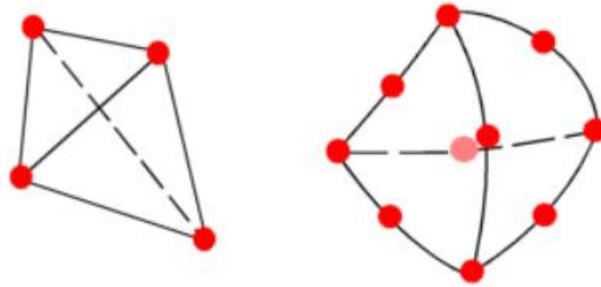


Figura 46. Elemento sólido lineal y parabólico

3.2.2. Malla de vaciado

Existen dos tipos de vaciados de igual manera el lineal y parabólico, el lineal o también conocido de primer orden es calidad borrador las estructuras se definen por 3 nodos en los ángulos y en sus tres aristas se conoce que cada nodo posee 6 grados de libertad, no se recomienda usar en estructuras curvilíneas. El vaciado parabólico es de alta calidad de mallado de las mismas características a continuación en la figura 47 se puede ver el tipo de malla de vaciado.

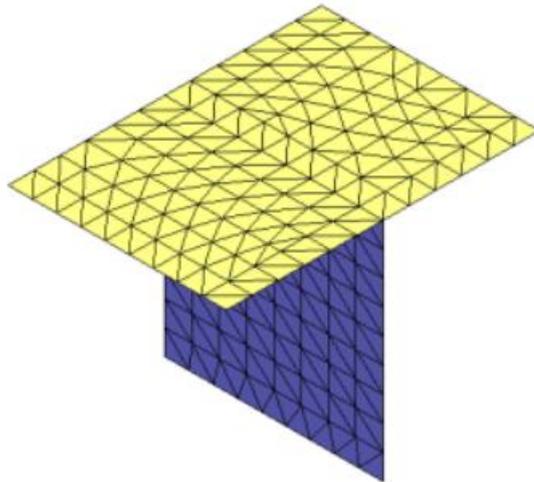


Figura 47. Malla de vaciado

3.2.3. Malla de viga

El mallado de viga se emplea para simular formaciones estructurales y soldaduras se puede tratar como elemento sólido.

3.2.4. Malla mixta

Se usa cuando en el croquizado haya varias geometrías en el mismo modelo.

3.2.5. Mallado en SolidWorks

Es un proceso que crea un bosquejo geométrico en el cual parte en secciones el bosquejo en partes reducidas llamados componentes que se encuentran conectados en puntos similares o nodos. Ha este desarrollo se denomina mallado.

3.2.6. Modelado de malla

Generalmente la malla de una pieza o bosquejo, el programa produce una combinación de componentes sólidos, despeje en vacío, de muelle y de enlace montado sobre la base de la geometría establecida.

3.3. Métodos adaptativos

La característica de la operación depende del diseñador donde se elige si se desea un mallado fino o más grueso, mediante el desplazamiento con el cursor, esto se define acorde al elemento seleccionado, se define tolerancias, en “avanzado” se definen los puntos jacobianos, SolidWorks crea automáticamente un mallado, no se garantiza la precisión por lo que se procede hacer iteraciones.

El número de bucles que permite máximo es de 5, en la figura 48 se observa la densidad que se puede modificar en el software.

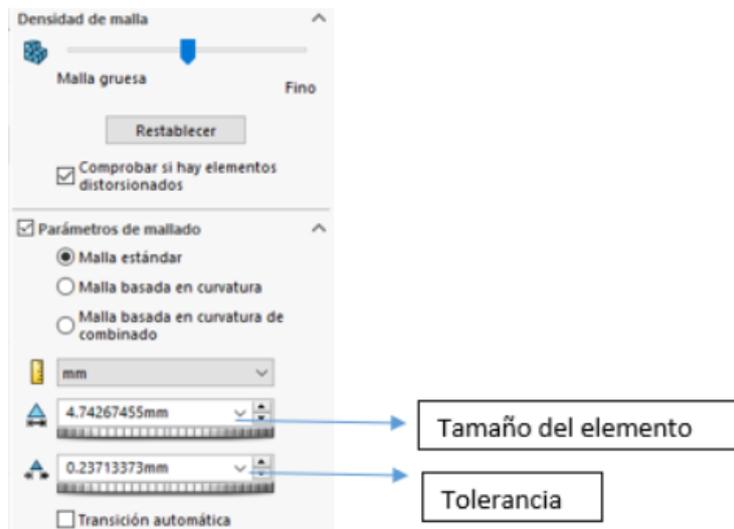


Figura 48. Densidad de malla en SolidWorks.

3.3.1. Método H

Esta malla se caracteriza por subdividirse en elementos menores en las zonas donde el error sea inminente, exactamente donde existen las zonas con fuerzas elevadas, o donde se visualice un cambio de sección donde se verifique la deformación, el análisis se detiene luego de que las iteraciones sean inferiores al porcentaje calculado indiquen un valor aproximado.

3.3.2. Método P

El método P es un método de interacciones este no define elementos adicionales, este se encarga de aumentar el orden polinomial, se asigna que base se da el error sobre la deformación también en los desplazamientos o sobre las tensiones Von Mises se debe poner el error permitido.

Orden p inicial: Define el orden que se aplica en el primer bucle respectivamente el orden de menor 2 y el máximo es 5.

Orden p máximo: Indica el valor de P más elevado a utilizar, el más alto posible es 5.

El número máximo permitido de bucles es de 4 a continuación se evidencia en la figura 49 los métodos adaptativos que existen en el software.

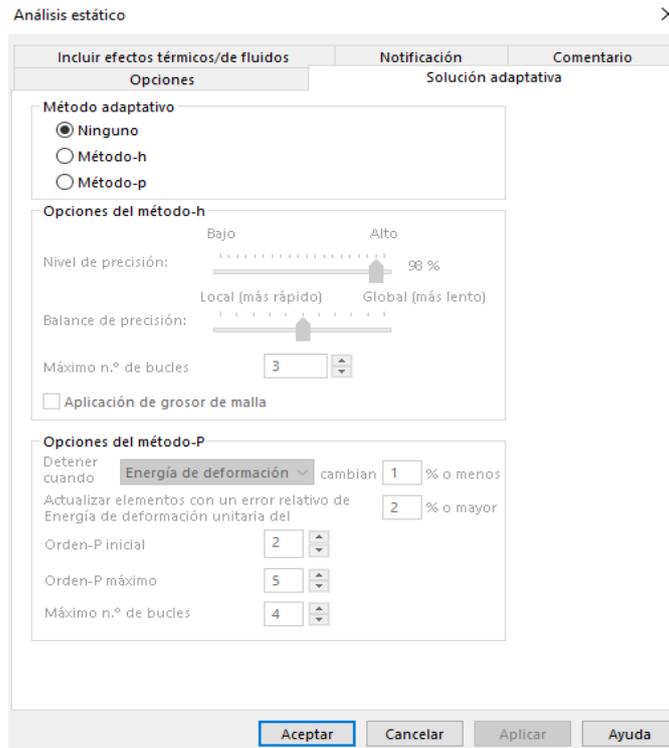


Figura 49. Métodos adaptativos SolidWorks.

3.3.3. Calidad de malla

Al realizar un análisis en SolidWorks se basa sencillamente en la teoría de elementos finitos en este caso el mallado es tipo 3D se obtiene un control en forma de cubo, tetraedros, prismas y muchos más. El tamaño es relativamente acorde a la pieza y a su geometría, en el mallado entra más mínimas sean las divisiones el resultado final será el más acertado al real.

El mallado en SolidWorks parte en forma de tetraedros el cual se puede modificar el tamaño con el cursor para mayor precisión al momento de ejecutar los resultados, para lograr un buen mallado se debe cumplir con un factor denominado Aspect Ratio, es recomendable y esencial tomar en cuenta los tamaños sean equivalentes al tamaño de la pieza en la figura 50 se puede observar la calidad de malla.

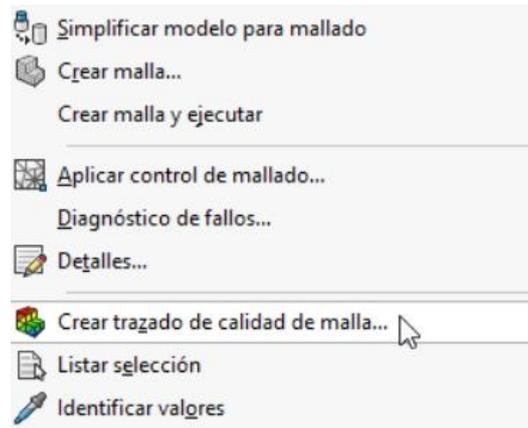


Figura 50. Calidad de malla en SolidWorks.

3.3.4. Verificación cociente de aspecto

Cuando se crea un mallado tipo sólido se logra una mayor precisión numérica con una malla que conlleve partes tetraédricas uniformes, por las aristas pequeñas, geometría curvilínea, operaciones como lámina, algunos elementos generan aristas más largas que otras, es la relación que existe entre la arista que se visualice más extensa y la conocida como normal más pequeña opuesta respectivamente a un tetraedro perfecto, en la figura 51 se exhibe Elementos con proporciones similares a 1– 0, elementos con gran relación de aspecto [49].



Figura 51. Elemento con relación de aspecto cercana a 1– 0 [49].

Un mallado de calidad aceptable debe tener relación de aspecto menor a 5 y para los elementos un 90%.

3.3.5. Cociente Jacobiano

El cociente jacobiano ilustra cómo los elementos están deformados en áreas con curvaturas, donde se deben ajustarse a geometrías complicadas, el cociente jacobiano de un elemento aumenta acorde aumenta la curvatura de las aristas, el elemento tetraédrico es perfecto con aristas lineales 1, 0.

Para que se considere que es de buena calidad se obtiene un cociente jacobiano que va entre 1 y 10 para todos los elementos que conforman la máquina trituradora. [50]

3.4. Procedimiento para realizar un proyecto en (FEA)

En la figura 52 se logra apreciar una vista isométrica de la máquina trituradora de muelas helicoidales con capacidad de 20 kg/h.

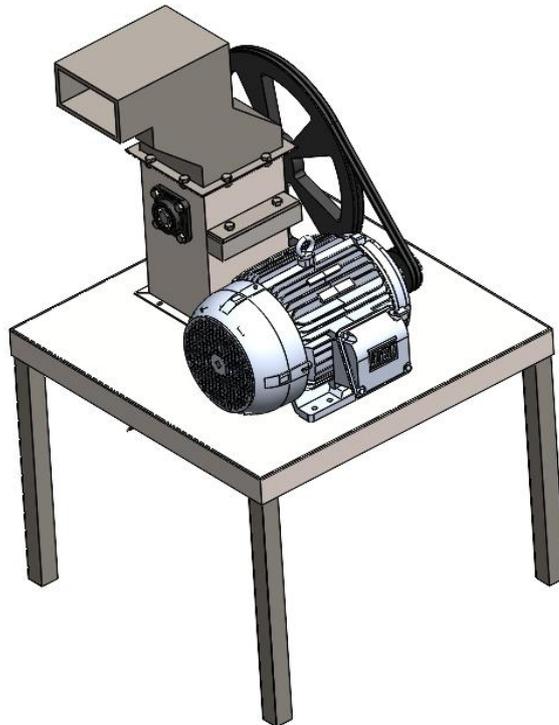


Figura 52. Modelo CAD máquina trituradora PET.

3.5. Cargas externas

Existen varias cargas que intervienen en un ensayo estático como es la fuerza, torsión, presión, gravedad, y la carga de tipo apoyo.

3.5.1. Fuerza

Se puede aplicar acorde al simulador se aplica en caras o aristas también en los puntos de referencia o varices prediseñados.

3.6. Análisis estático

3.6.1 Grados de libertad

Para un método de elementos finitos o de rigidez se debe dividir la estructura en elementos para lograr la precisión que se aspira para alcanzar los resultados previstos a partir de un estudio del

elemento, sin embargo, en el diseño computacional al analizar el armazón con 5.9 grados de libertad por cada nodo es considerablemente elevado [44], se pueden hallar varias estructuras que requieren bajos grados de libertad inclusive existen casos en que un solo grado por nudo es conveniente.

3.6.2. Restricciones

Capaces de resolver un problema físico mediante el uso de elementos finitos con la formación de un mallado es necesario definir de manera precisa las condiciones de contorno básicamente en la parte estática analizando las coartación y pesos exteriores que se aplican a la simulación.

Para sobreponer las restricciones es importante entender el grado conjuntamente de la dirección del movimiento exactamente donde se desenvuelven, permite sacar provecho a las relaciones dinámicas en donde las piezas esta construidas, a continuación, se enseña una tabla de los grupos de tal modo se usan para crear modelados ideales a continuación en la tabla 27 se expone las restricciones de diseño.

Tabla 27. Restricciones de diseño

Restricción pieza	Restricción ensamblaje
Geométricas.	Posición.
Dimensionales.	Movimiento.

3.6.5. Estructura

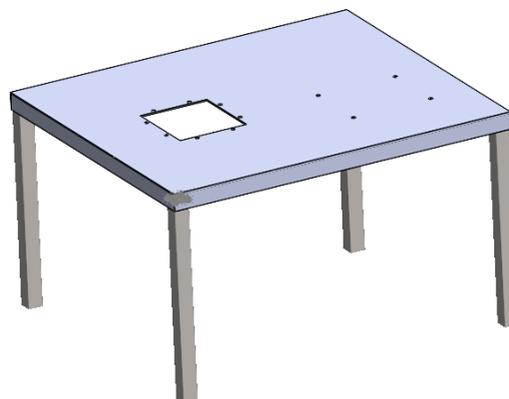


Figura 53. Simulación estructura

En la figura 53 se puede observar la mesa, la estructura donde van apoyados todos los componentes que conforman el equipo. Para la construcción de la estructura se empleó acero estructural ASTM A36, con la lámina espesor 4 mm, se usa un perfil estructural de 40 x 1.5. Se

aplico sujeciones fijas para restringir los desplazamientos en los cuatro extremos de la plancha que sujeta la estructura, luego de haber realizado unión rígida con nodos comunes, se aplicó fuerza distribuida en los agujeros donde van los pernos, luego de haber calculado el peso que va a soportar multiplicado por la gravedad, en el caso de la caja trituradora se aplica por elemento 152 N y sobre el motor se calculó una fuerza distribuida de 63.95 N. En la figura 54 se puede observar la estructura con sujeción fija.

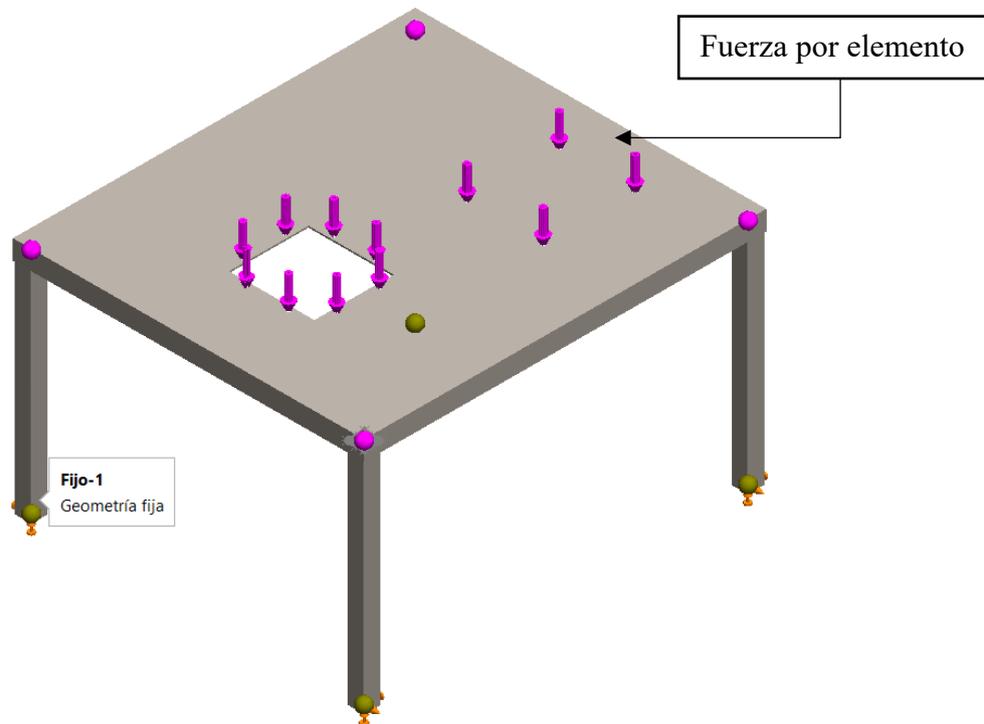


Figura 54. Estructura sujeción fija.

El factor de seguridad es de 3.5, por lo que se realiza un análisis estático para corroborar que la construcción de la estructura y lámina no falle, se calcula el error teórico con el práctico (simulación), no es representativo para que presente fallos la estructura, en la figura 54 se puede validar el factor de seguridad.

3.6.6. Análisis factor de seguridad

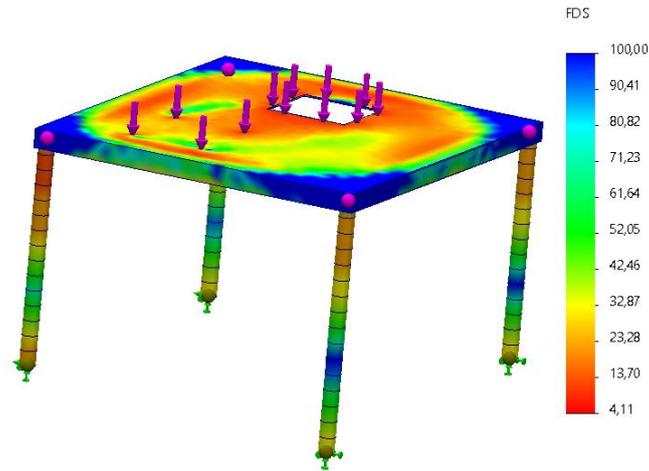


Figura 55. Factor de seguridad

En la figura 55 se observa desplazamiento producto de la masa de los elementos de la máquina. Estos valores son bajos que no representan un problema para la máquina, se observa un pandeo. Este pandeo fue evaluado mediante análisis de elementos finitos (FEA), considerando tanto la rigidez de los materiales como las condiciones de contorno aplicadas.

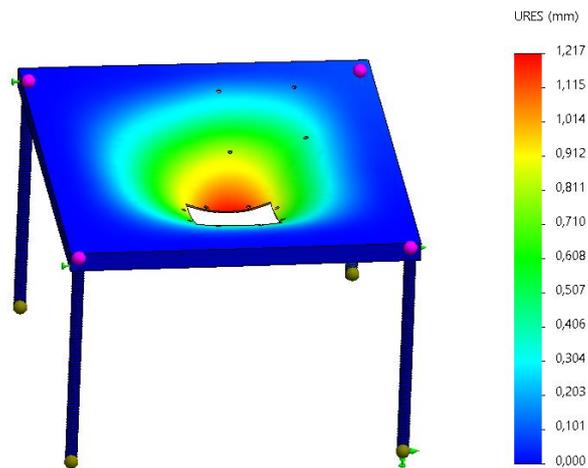


Figura 56. Desplazamientos mesa

Se observa el desplazamiento resultante de la masa de los elementos de la máquina. Los valores de desplazamiento son bajos y no representan un problema significativo para la integridad estructural de la máquina. Sin embargo, se detecta un ligero pandeo, el cual es un fenómeno crítico en ingeniería mecánica que puede comprometer la estabilidad de los componentes bajo carga.

3.6.7. Análisis mediante Von Misses

Con los datos obtenidos del SolidWorks, se dividió la estructura, acorde a los datos de la tabla 23, se obtuvo las propiedades físicas de cada componente para hallar el peso, luego multiplicar por la gravedad para alcanzar la fuerza que se ejerce sobre la caja trituradora que es igual a 45 N y en los cuatro agujeros se representa la fuerza del motor que es 152 N, se observa una tensión por Von Misses de 15.65 lo cual es menor a su límite elástico razón por la cual la estructura no tiene una deformación considerable garantizando un buen funcionamiento, a continuación en la figura 57 se puede observar Von Misses en MPa.

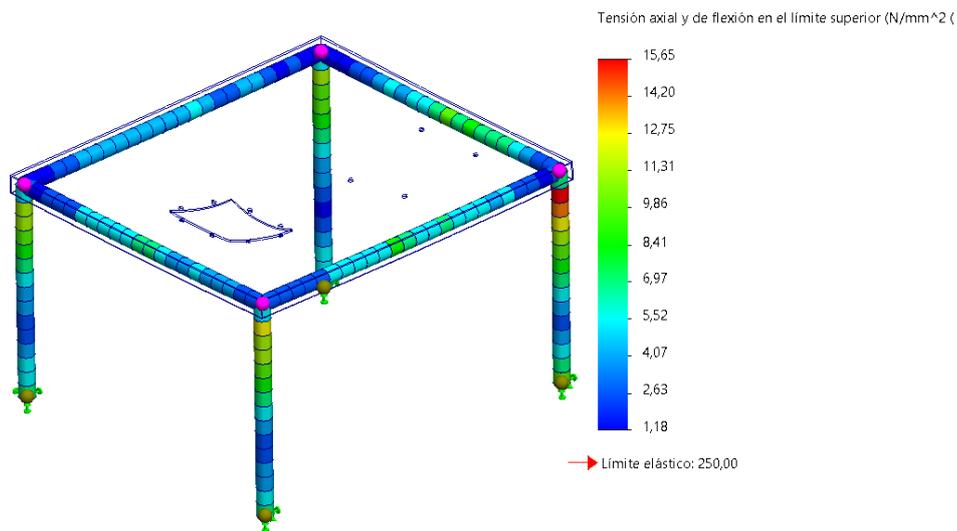


Figura 57. Esfuerzos Von Misses tensiones (N/mm^2) Mpa

La tabla 28 enseña las iteraciones que se realizaron para conocer si la estructura va a soportar el peso de los componentes sin ningún inconveniente.

Tabla 28. Iteraciones para conocer la estructura.

Número de elementos	Densidad de malla	Tamaño (m)	Factor de seguridad	σ de Von Misses Mpa
7380	GRUESA	0.026769	3.7	26.29
8180	MEDIA	0.014053	3.7	26.08
8961	FINA	0.007026	3.6	25.99
9001	FINA	0.006692	3.6	25.98

Error calculado entre el factor de seguridad teórico con el práctico.

$$e = \left| \frac{V_r - V_e}{V_e} \right| \cdot 100 \% \quad (57)$$

Donde:

E = error porcentual

V_r = Valor real

V_e = Valor esperado

$$e = \left| \frac{4.1 - 3.6}{3.6} \right| \cdot 100 \% = 14.16 \%$$

El error porcentual bajo indica una alta precisión en los resultados de la simulación, lo que sugiere que la densidad de la malla y los parámetros del modelo son adecuados. Para obtener los datos ideales se concluye que con una calidad de malla fina de tamaño 0.006692 no tiende a sufrir mayor deformación la estructura de la máquina trituradora, el coeficiente jacobiano no es mayor a 5 por lo que la estructura si cumple con lo previsto.

3.7 Eje de trituración

En la figura 58 se usa dos tipos de sujeciones, la primera de geometría fija, se la aplica para restringir el movimiento a lo largo de las dos direcciones perpendiculares al plano. La segunda sujeción que se aplica es de tipo bisagra fija que va al otro extremo del eje con lo cual se restringe la arista circular para que el eje gire solo sobre su propio eje. En la figura 58 se observa dos fuerzas ubicadas en rodamientos el valor de estas fuerzas de acuerdo con los cálculos es de 452.31 N en dirección del eje y, por otro lado, se tiene una fuerza debido a la fuerza de corte de -1094.73 N ubicada a la mitad de los dos rodamientos. Se incluye una carga externa por torsión con un valor de 91.55 N.m.

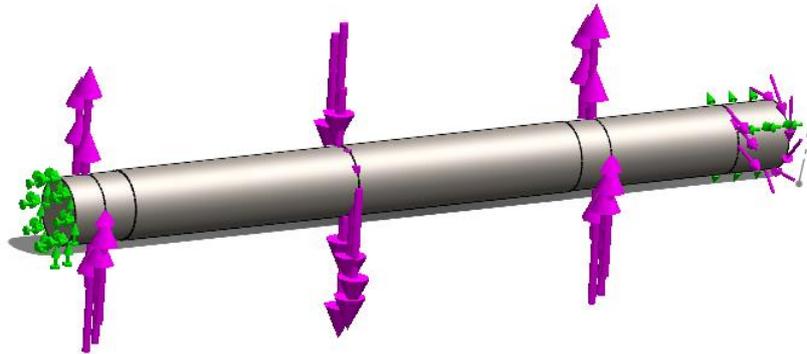


Figura 58. Simulación del eje de trituración.

En la simulación, se utilizó acero AISI 1045 debido a sus excelentes propiedades mecánicas, como alta resistencia a la tracción y buena tenacidad. Según los datos proporcionados en la figura 58, se empleó una disposición de malla sólida con un tamaño máximo de elemento de 3.53 mm.

3.7.1. Análisis factor de seguridad

A continuación, en la tabla 29 se puede observar los ítems que se tomaron en cuenta en la simulación del eje. La proximidad entre el factor de seguridad estimado y el valor calculado confirma la robustez del diseño y la capacidad del eje para soportar tanto cargas estáticas como dinámicas sin riesgo de fallo.

Tabla 29. Simulación del eje

Número de elementos	Densidad de malla	Factor de seguridad
1891	Gruesa	9.2
10079	Media	9.4
30030	Fina	9.0
31928	Fina	9.0

$$e = \left| \frac{V_r - V_e}{V_e} \right| \cdot 100 \%$$

Donde:

e = error porcentual

V_r = Valor real

V_e = Valor esperado

$$e = \left| \frac{9 - 8.7}{8.7} \right| \cdot 100 \% = 3.44 \%$$

Error porcentual proporciona una medida cuantitativa del desvío entre los valores obtenidos y los esperados, permitiendo una evaluación crítica de la exactitud de los resultados. En el contexto de la simulación de elementos finitos (FEA), el error porcentual se usa verificar la calidad de la malla y la adecuación del modelo utilizado. En la figura 59 se evidencia el factor de seguridad del eje de trituración

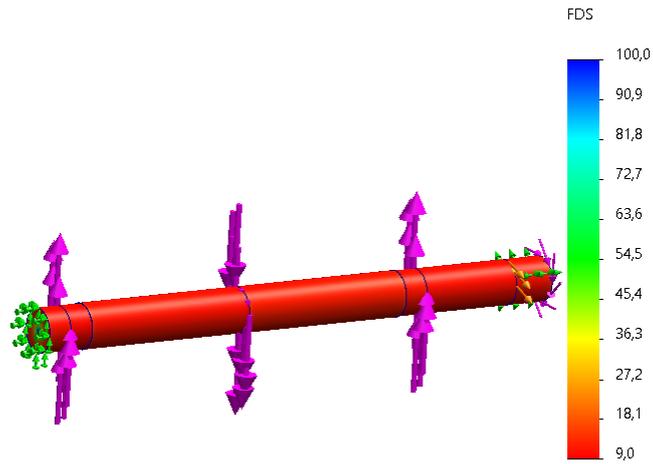


Figura 59. Factor de seguridad del eje de trituración

Con los datos obtenidos en la tabla 29, se determinó un factor de seguridad de 9.0, mientras que el valor calculado es de 8.7. Este margen de seguridad indica que el eje está adecuadamente dimensionado para resistir los esfuerzos a los que será sometido durante la operación. El factor de seguridad se calculó considerando las propiedades mecánicas del acero AISI 1045, incluidas su resistencia a la tracción y límite de elasticidad, así como las condiciones de carga esperadas.

3.7.2. Simulación de esfuerzo de Von Mises

En la figura 60 se revela el esfuerzo de Von Misses del eje.

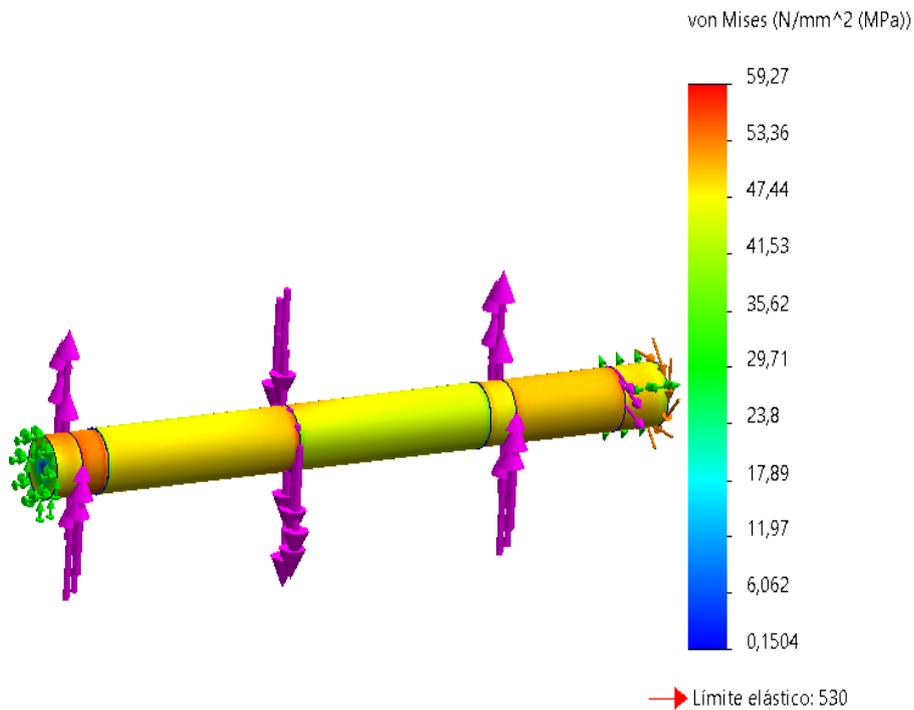


Figura 60. Esfuerzo de Von Misses del eje.

En la tabla 30 se pueden apreciar los valores ajustados en la densidad de la malla para obtener una mayor precisión en los resultados de la simulación. Estos ajustes se realizaron mediante una serie de iteraciones en las que se variaron el tamaño de los elementos de la malla y la densidad en las áreas críticas del modelo.

Tabla 30. Densidad de malla

Número de elementos	Densidad de malla	Von Mises
1673	Gruesa	58.1
6693	Media	63.74
31928	Fina	59.14
32501	Fina	59.27

$$e = \left| \frac{V_r - V_e}{V_e} \right| \cdot 100 \%$$
$$e = \left| \frac{59.27 - 60.79}{60.79} \right| \cdot 100 \% = 2.5 \%$$

Con los datos obtenidos del SolidWorks se observa una tensión máxima por Von Misses de 59.27 MPa lo cual es menor a su límite elástico razón por la cual el eje no tiene una deformación considerable garantizando un buen funcionamiento.

3.7.3. Simulación de desplazamiento del eje

En la figura 61 se observa un desplazamiento del eje de 0.11 mm, lo cual es una medida mínima que no representa un problema en el eje a continuación en la figura 61 se puede observar los desplazamientos del eje.

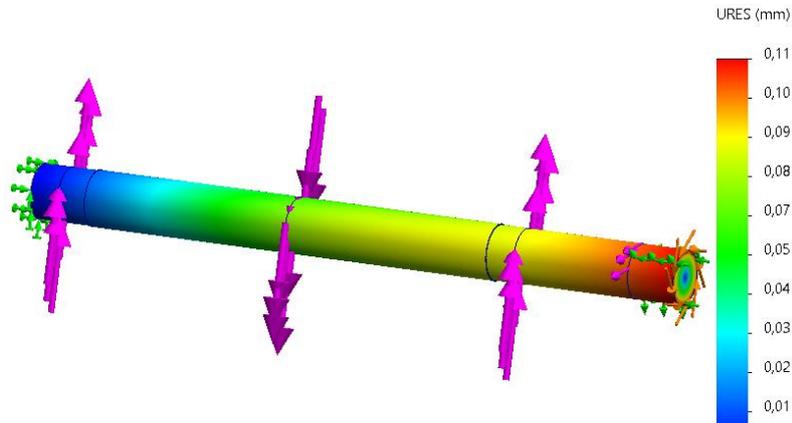


Figura 61. Desplazamiento del eje

3.7.4. Calidad – Cociente jacobiano

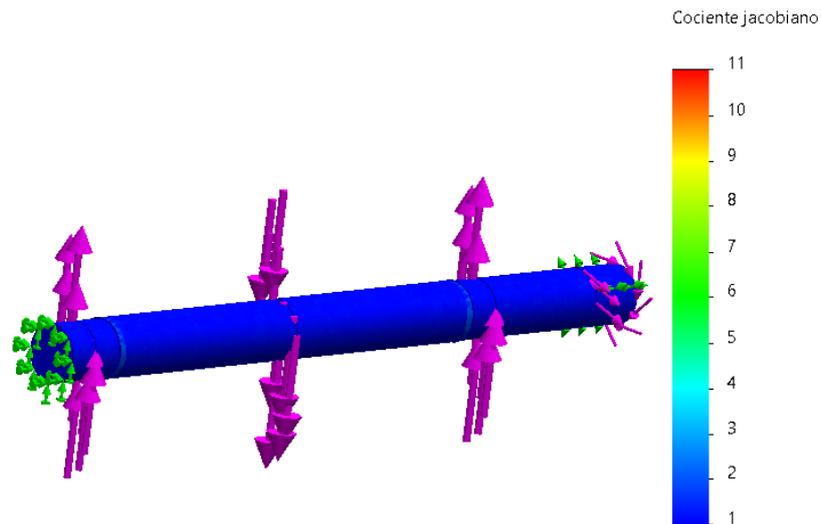


Figura 62. Calidad cociente jacobiano

De acuerdo con [49] una buena calidad de malla tiene un cociente jacobiano entre 1 y 10 con lo cual se compara con la simulación que está dentro del rango antes mencionado, se puede observar en la figura 62 la calidad cociente jacobiano. Con los cálculos realizados y verificados con SolidWorks se infiere que el dimensionamiento del eje es adecuado con lo cual garantiza un buen funcionamiento.

3.7.5. Simulación cuchilla fija

El conjunto de componentes que conforman la caja trituradora es indispensable analizar cómo se comporta la cuchilla fija ante los esfuerzos aplicados al momento de cortar el plástico PET. En la figura 63 se logra apreciar la barra de colores lo cual indica que no existe deformaciones considerables con lo cual se garantiza un trabajo eficiente, en la figura 63 se evidencia el esfuerzo de Von Misses.

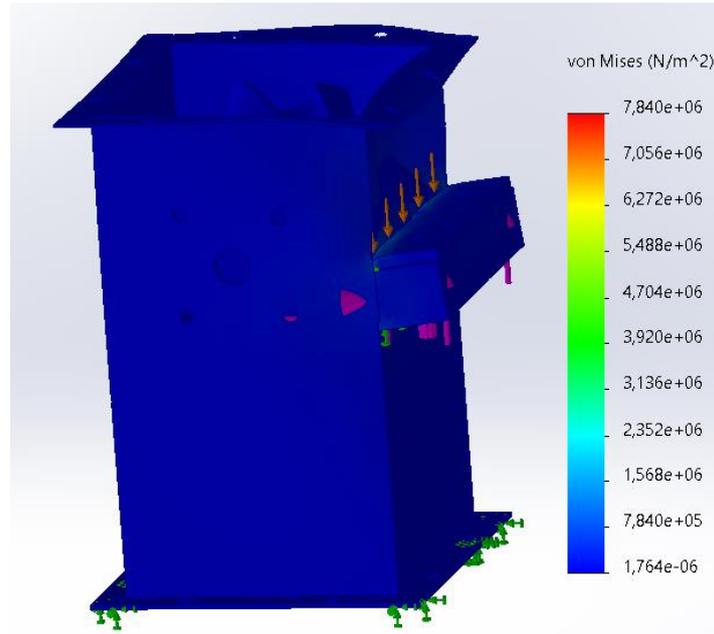


Figura 63. Esfuerzo de Von Misses

En la figura 64 se observa desplazamiento producto del trabajo en conjunto de trituración. Estos valores son bajos que no representan un problema para la máquina. Este análisis detallado es esencial para comprender la respuesta estructural de la cuchilla y su interacción con el PET durante el proceso de corte, lo que a su vez permite optimizar el diseño y la eficiencia del sistema de corte.

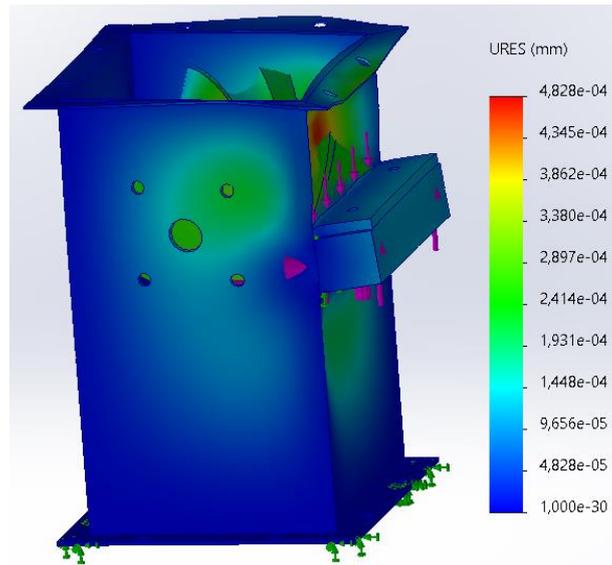


Figura 64. Desplazamientos

Se observa en la figura 65 una deformación baja en el filo de corte justo donde va la cuchilla fija debido a que en esta parte se aplica la fuerza de cote para cortar el PET. Al analizar las deformaciones unitarias en esta área crítica, podemos identificar con precisión la distribución y magnitud de las tensiones que actúan sobre la superficie de contacto entre la cuchilla y el material a cortar.

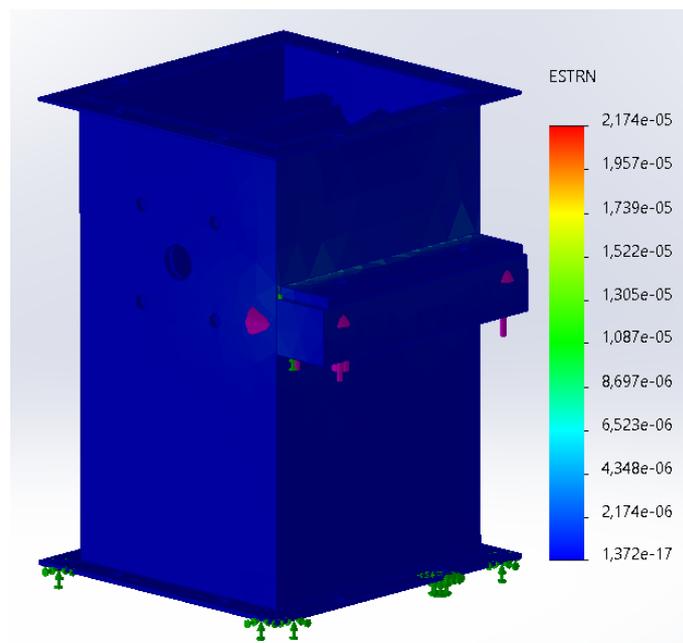


Figura 65. Deformaciones unitarias

En la zona adyacente al filo de corte, específicamente donde la cuchilla fija ejerce su acción sobre el PET, se observa una deformación mínima. Esta deformación es crucial, ya que en esta región se concentra la fuerza de corte necesaria para separar el material.

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS DE COSTOS

En este capítulo se obtiene el análisis de los componentes conociendo su precio, se conoce a detalle los materiales y equipos utilizados, de la misma manera los costos directos e indirectos, se tiene en cuenta la mano de obra, se incluye al soldador y ayudante, el costo de operario, se deduce un análisis de inversión así mismo de producción para poder así calcular la depreciación de la máquina, por último se conoce el presupuesto final del equipo y el tiempo de retorno de inversión invertida, se conoce que representa un 25 % respecto a un equipo convencional en el mercado.

Se realiza en base a los costos de la maquinaria, se toma en consideración el tiempo en funcionamiento diario de máquina que es de 5 horas diarias como se expone en la tabla 22, dada por el factor de servicio, por el costo de operario y también la depreciación [51].

4.1. Costos directos

Se registra el desembolso de dinero que se realiza con el único objetivo de fabricar el equipo triturador PET, se toma en consideración varios factores que intervienen al momento de la trituración se calcula que el precio es de \$ 1380 como se evidencia en la tabla 26.

4.2. Costo maquinaria

En el cálculo costo horario del equipo es primordial tomar en cuenta varios factores al no calcularse bien se puede generar pérdidas al momento de realizar la máquina [52]. El costo será determinado de la suma del precio de tenencia, el precio que se realiza de la máquina y horario más el costo horario de operación, también se debe tomar en cuenta la depreciación a continuación en la tabla 31 se observa el costo empleado en la máquina.

Se realizó la cotización de un equipo triturador de un solo eje de la empresa Global Sources, esta máquina consta de un eje giratorio, cuchillas o también denominados tipo martillo, giran alrededor de su propio eje.

Se usa para triturar varios tipos de polímeros o desechos sólidos [53].

Modelo: GM600S

Motor: 15 kW

Size (mm): 1800 x 1300 x 1700

Peso: 2850 Kg

Diámetro de corte: 260

Precio: \$ 5500

Qué porcentaje representa implementar la máquina comparando con una del mercado:

$$\frac{\$ 1380 \cdot 100}{\$ 5500} = 25 \%$$

Tabla 31. Costo empleado máquina

Cantidad	Detalle	Precio \$
1	Elementos normalizados	200
1	Características	300
1	Estructura	300
1	Cuchillas helicoidales	500
1	Eje fijo	80
	Total	\$ 1380

4.3. Mano de obra

En esta sección se menciona el esfuerzo, cuenta como físico o mental que se requiere para implementar la fabricación del equipo, para hallar el costo se toma en consideración el sueldo del trabajador metalmecánico y se obtienen los siguientes salarios mostrados posteriormente en la tabla 32.

Tabla 32. Costos mano de obra

Ítem	Detalle	Sueldo por hora	Costo
8	Técnico soldador	10	80
4	Ayudante	5	20
4	Maestro mecánico	8	32
		Total	132

4.4. Costo de operario

En el análisis financiero se realizó basándose al presupuesto del equipo triturador y los precios de la mano de obra y construcción final, la corriente de efectivo tomando en consideración el costo de contratar al operador como se manifiesta en la tabla 33.

Tabla 33. Precio operario

Cantidad	Descripción	Costo por hora	Hora por contratar	Costo total
1	Obrero	1.94	8	465.60

4.5. Análisis inversión

Para ejecutar el proyecto se realiza un análisis en la inversión total de la implementación de una máquina trituradora, se toma en cuenta las instalaciones un galpón que cuesta \$ 450 mensualmente, se busca determinar el gasto que genera este mecanismo, estos gastos se conocen como activos fijos los bienes palpables que participan en este proceso, con la activación del equipo se calcula el consumo eléctrico evaluado bajo la demanda con el siguiente cálculo.

Costo kWh netamente del sector industrial es \$ 1.41 [54], se usa en la máquina 3 kW de potencia se asume que la máquina trituradora cumple 5 horas de trabajo cada día para los 20 días laborables.

$$\text{Consumo diario} = 3 \text{ kW} \cdot 5 = 15 \text{ kW}$$

$$\text{Consumo mensual} = 15 \text{ kW} \cdot 20 = 300 \text{ kWh}$$

$$\text{Gasto mensual} = 300 \text{ kWh} \cdot \frac{\$ 1.41}{\text{kWh}} = \$ 424.20$$

$$\text{Gasto Anual} = \$424.20 \cdot 12 = \$ 5090.40$$

4.6. Análisis de producción

Para llevar a cabo un análisis concreto y eficiente de implementación es relevante conocer la disposición económica y situación actual de reciclado PET en el país, se pronostica que el equipo producirá 5 horas diarias el plástico triturado, material listo para la reutilización cuesta \$ 8.5 se le multiplica por los 20 días que la máquina esta prendida, da un aproximado de \$ 850

se estima un incremento en un 10 % mensual, a continuación, la tabla 34 revela la producción [55].

Tabla 34. Análisis producción

Datos	Valor (\$)
Ingresos	10200
Costos de ventas	1200
Ganancia bruta	9000
Gastos	5400

4.7. Depreciación

La pérdida de valor que sufre la máquina a través de los años, la disminución real de un valor y su vida útil existe el registro inicial activo lo que se paga por el equipo, es posible calcular la vida útil de la máquina [56], a través del tiempo va perdiendo la máquina su valor y va implicando gastos aun así genere ingresos el equipo por todo esto se considera la siguiente fórmula.

$$D = \frac{I - Vs}{TVU} \quad (58)$$

Donde

D = Depreciación anual

I = Inversión total

Vs = valor restado con costos de remoción valor monetario actual.

TVU = Tiempo vida útil

La máquina se dispone de un funcionamiento de 10 a 13 años para este análisis se llevó a cabo un promedio de 10 años estableciendo lo costos reales, se considera un valor neto de \$ 700 como se enseña en la tabla 26, considerando la pérdida que se genera al momento de parar la línea de producción PET.

$$D = \frac{1977 - 400}{10} = \$ 1877$$

4.8. Costo de producción

Se le conoce como costo de producción a la cantidad de dinero que sirve para producir la máquina esto incluye los gastos directos e indirectos [57].

4.9 Presupuesto

En la tabla de presupuesto, se exhibe los costos de construcción de la máquina que son empleados para realizar el análisis del proyecto, como se puede observar en la tabla 35.

Tabla 35. Presupuesto valor Neto.

Cantidad	Descripción	Sueldo por hora	Costo
1	Licencias y softwares	10	80
2	Curso implementación	5	20
3	Inspección técnica	8	32
4	Trabajo de investigación	150	150
		Total	700

4.10. Periodo de retorno recuperación inversión

También se le conoce como Payback se considera como el tiempo requerido para recuperar la inversión inicial utilizando la ecuación se conoce el tiempo de recuperación de la inversión inicial dada, la fórmula esencial para calcular es

$$PRI = a + \frac{I_0 - b}{Ft} \quad (59)$$

Donde:

a: Le corresponde un número para retomar el desembolso que surge inicialmente.

I_0 : Corresponde la inversión inicial asignada.

b: es el valor neto de la suma de los flujos presentados al final.

Ft: El valor correspondiente al flujo de caja año que retorna la inversión.

Para calcular el periodo de retorno, se tomaron en cuenta los datos de la tabla 36, que detalla tanto el costo del proyecto como los ingresos generados. En esta tabla se pueden observar los ingresos anuales, los cuales son fundamentales para determinar el tiempo necesario para recuperar la inversión inicial.

Tabla 36. Ingresos anuales retorno

Ítem	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Ingreso	900	2200	3500	4800	6100	7400
Gasto producción	65	78	91	104	117	130
Ganancia bruta	635	1722	2809	3896	4983	6070
12 %	76	207	337	468	598	728
Ganancia total	559	1515	2472	3428	4385	5342

$$PRI_{Retorno} = 1 + \frac{2200 - 1722}{1515} = 1.3 \text{ años}$$

Tomando en cuenta los valores totales se calcula el resultado final del período de retorno.

$$PP = 1.3$$

La inversión se calcula recuperar en 1 año aproximadamente.

CONCLUSIONES

Se llevó a cabo una evaluación de la situación actual del PET en Ecuador, mediante el análisis de los volúmenes diarios generados. Tras la pandemia, se ha registrado un considerable aumento en el uso de botellas plásticas, alcanzando en el año 2022 un total de 2.007 millones de unidades, lo que representa un incremento significativo respecto a los niveles previos. Además, se determinó que la máquina contará con una capacidad operativa de 20 kg/h, con una masa total de 114.09 kg y dimensiones de 728 mm de largo, 728 mm de ancho y 1208 mm de altura.

La alternativa seleccionada para el diseño de la máquina con muelas helicoidales, conforme al análisis mediante la matriz de Holmes, obtuvo una puntuación total de 5.33. Esta calificación corresponde a la trituradora de un solo eje, la cual supera significativamente a las opciones de trituradoras rotatorias y de tipo martillo, que no superaron los 2 puntos en la evaluación comparativa.

Los materiales seleccionados para la construcción incluyeron acero 1045 para el eje y acero A36 para la estructura, tolva y caja trituradora. Para las cuchillas, se optó por acero AISI O1, conocido por sus destacadas propiedades mecánicas como dureza, resistencia al desgaste, capacidad de revenido y recocido, lo cual garantiza un corte eficiente.

La implementación de este equipo mecánico triturador representa un 25 % respecto al equipo a un equipo convencional en el mercado una opción económica para el desarrollo de soluciones de reciclaje de plástico, considerando las necesidades actuales. El diseño de la trituradora incluye cuchillas helicoidales posicionadas a un ángulo de 25 ° lo que garantiza un corte eficiente. Además, el tamiz alineado con el rodillo helicoidal contribuye a la precisión y calidad del proceso de trituración.

La estructura de la máquina ha logrado alcanzar un factor de seguridad mínimo de 3.6, en comparación con el valor teórico calculado de 4.11. Esto ha resultado en un error porcentual del 14.16%. Es crucial destacar que los aspectos más críticos del diseño se centran en la viga que sostiene el motor trifásico a 110V, conectado en configuración tipo triángulo, la cual constituye una parte integral de la estructura fija.

RECOMENDACIONES

En el proyecto se descubrieron varios inconvenientes, por lo que se formularon las siguientes recomendaciones:

Al momento de diseñar tener en cuenta de que material va a ser conformado cada componente de la máquina, para ver si se encuentra disponible en el mercado ecuatoriano, para la fabricación de la cuchilla el material es limitado por su precio y propiedades mecánicas como térmicas, tener en cuenta cuánto cuesta importar de otro país.

Para la fabricación de la cuchilla se recomienda la hélice con el menor ángulo de inclinación posible para poder fabricar de mejor manera en una fresa de 4 ejes y el tiempo de mecanizado sea menor para que el precio con respecto a su fabricación sea bajo, garantizando la trituración puesto que el ángulo de inclinación puede ir de 25° a 80° .

Se recomienda para la construcción de la máquina trituradora con muelas helicoidales tomar en cuenta la inversión inicial ya que es viable y los réditos que se obtengan serán contribuyentes al medio ambiente además genera conciencia e incentiva a reusar todo tipo de plástico.

Controlar mediante un sensor la tolva para detectar cuándo completar y enviar un mensaje de alerta a la aplicación mediante un sensor de proximidad.

REFERENCIAS

- [1] SolidBi, «SOLIDWORKS,» 30 10 2023. [En línea]. Available: <https://solid-bi.es/solidworks/>. [Último acceso: 22 12 2023].
- [2] I. Campi, «¿Qué es el diseño?,» Barcelona España, Gustavo Gili, SL, 2023, pp. 10-15.
- [3] U. A. d. E. d. Hidalgo, «Francisco Angeles-Angeles,» *Prototipo*, pp. 2-4, 2020, 5 enero.
- [4] S. Freinkel, «Plástico,» New York, PlanetadeLibros. (s. f.), 2012-02-01, pp. 15-17.
- [5] R. C. Bu, Simulación un enfoque práctico, México: Editorial Limusa, S. A., 2003.
- [6] V. B. Aires, «Buenos Aires,» BA, 01 12 2023. [En línea]. Available: <https://buenosaires.gob.ar/inicio/>. [Último acceso: 22 12 2023].
- [7] A. Vazquez, El origen de los plásticos y su impacto en el ambiente, México: ResearchGate , 2016.
- [8] M. B. V. R. M. E. V. Alethia Vázquez Morillas, «El origen de los plásticos y su impacto en el ambiente,» *Universidad Autónoma Metropolitana*, pp. 1-5, 2021.
- [9] S. Heinrichs, «Noticias ONU,» 05 junio 2018. [En línea]. Available: <https://news.un.org/es/story/2018/06/1435111>. [Último acceso: 2023 12 06].
- [10] S. Torres, «Alianza Basura Cero Ecuador,» Alianza, Ecuador, 2022.
- [11] M. F. Solíz, A. Lema y E. D., «Boletín de Prensa,» Alianza Basura Cero Ecuador, Ecuador, 2022.
- [12] A. Botet Latre, «Estudio de los plásticos como material reciclado para la obtención de material de construcción.,» Universitat Politècnica de Valencia, Valencia, 2019.
- [13] C. Guerrero, T. Lozano, V. González y E. Arroyo, *Morfología y propiedades de politereftalato de etilen-glicol y polietileno de alta densidad*, Monterrey: Universidad Autónoma de Nuevo León, 2003.
- [14] I. E. d. Normalización, *Disposición de desechos plásticos post-consumo*, Quito, 2012.
- [15] J. C. Calderón, «Plan V,» Plan V Multimedia, 26 septiembre 2023. [En línea]. Available: <https://www.planv.com.ec/investigacion/investigacion/la-herencia-del-impuesto-botellas-pet-ecuador-mas-plastico-y-menos>.
- [16] R. Mendaña, «Exploración con polietileno tereftalato (PET) proveniente de residuos sólidos urbanos, aplicación en el diseño de productos sustentables.,» Cordova, 2014.
- [17] J. G. Hachi Quintana y J. D. Rodríguez Mejía, *Estudio de factibilidad para reciclar envases plásticos de polietileno tereftalato (PET), en la ciudad de Guayaquil*, Guayaquil: Universidad Politécnica Salesiana, 2010.
- [18] S. E. d. N. INEN, «REGLAMENTO TÉCNICO ECUATORIANO RTE INEN 291 “MATERIALES DE PLÁSTICO RECICLADO DESTINADOS A ESTAR EN CONTACTO

CON ALIMENTOS – PROCESO DE RECICLADO DEL POLI (TEREFTALATO DE ETILENO) — (PET) Y RESINA RESULTANTE — PET-PCR GRADO ALIMENTARIO”,» Quito, 2016.

- [19] C. E. d. E. d. Recursos, *Guía de fabricación de productos plásticos*, 2022.
- [20] J. L. Ribiano Fernández, M. A. Pérez Silva, O. A. Barrera Valero, W. Orozco, F. Quezada, M. Á. Díaz y L. A. Gaviria, «Manejo de los materiales plásticos reciclados y mejoramiento de sus propiedades,» *Inge@UAN*, vol. 1, n° 1, p. 9, 2011.
- [21] F. Zarate, «Diseño de una máquina trituradora para termoplasticos,» Universidad Mayor de San Andrés, La Paz, 2021.
- [22] L. Wenzhou Hongyang Machinery Co., «Análisis de las ventajas y desventajas de la máquina troqueladora de cuchilla redonda y la máquina troqueladora de cuchilla plana,» HUSONG, China, 2021.
- [23] F. p. M. d. 9. (. f.), *Molino de Martillos.*, Langley, BC, 2024.
- [24] D. C. Bermeo Martínez, «DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MOLINO DE MARTILLOS TRITURADOR DE GRANOS PARA GRANJAS AVÍCOLAS,» *ARTÍCULO CIENTÍFICO*, pp. 1-2, 2014.
- [25] AISHred., *Trituradora de un eje, trituradora de eje simple fina*, Zhengzhou: AISH, 2022.
- [26] A. E. CALIDAD, «ASOCIACION ESPAÑOLA PARA LA CALIDAD,» España, 2011.
- [27] D. Betancourt, «Cómo hacer una matriz de priorización,» *Ingenio Empresa*, 23 02 2022. [En línea]. Available: <https://www.ingenioempresa.com/matriz-de-priorizacion/>. [Último acceso: 2023 12 10].
- [28] G. A. Paredes, *Diseño de un molino para reciclar materiales plásticos*, Cali: Corporación Universitaria Autónoma de Occidente, 1989.
- [29] A. Selles Montana, *IMPLEMENTACIÓN DE CONTROL AUTOMÁTICO DE CORTE DE CHAPAS METÁLICAS EN CIZALLA INDUSTRIAL.*, Valencia: Univeridad Politecnica de Valencia, 2018.
- [30] G. A. Paredes y A. A. Santana, *Diseño de un milino para reciclar materiales plasticos*, Cali: Corporación Universitaria Autónoma de Occidente, 1989.
- [31] Kanova, *Cuchilla helicoidal para cantadora*, Merida, 2024.
- [32] Reed, «Herramientas para tubos y prensas,» de *Cortadoras y cuchillas*, Colombia, Ferrotools, 2023, pp. 10-15.
- [33] Wittmann, *Molinos Reciclaje óptimo de piezas de plástico*, 2021.
- [34] RODAVIGO, *Cálculo de transmisión*, España: Optlbelt Power Transmission.

- [35] WEG, *Catálogo comercial mercado Latinoamericano*, Jaraguá do Sul: Grupo WEG Unidad Motores, 2020.
- [36] I. S. A., Bogotá, *Productos mecánicos para transmisión de potencia*, 2013.
- [37] R. L. Norton, «Diseño de máquinas,» México, Pearson Education, 2011, p. 500.
- [38] R. FAG, «Rodamientos de bolas - rodillos - soportes Accesorios,» de *Catálogo WL 41 520/3 SB*.
- [39] DIPAC, «DIPAC productos de acero,» de *Catálogo*, Quito, p. 22.
- [40] S. R. G., «Diseño de Ingeniería mecánica,» España, McGraw-Hill, 2012, pp. 176-180.
- [41] R. A. R. Medina, «Sistema de costos un proceso para su implementación,» Manizales, Universidad Nacional de Colombia, 2007, pp. 9-11.
- [42] Filtertec, «Filtertec Los guardianes de tu maquinaria,» 28 11 2019. [En línea]. Available: <https://filtertec.mx/blog/2019/11/28/como-calculas-el-costo-horario-de-tu-maquinaria/>. [Último acceso: 02 01 2024].
- [43] S. Gasbarrino, «HubSpoyt,» 01 03 2023. [En línea]. Available: <https://blog.hubspot.es/sales/ques-depreciacion>. [Último acceso: 02 01 2024].
- [44] Ceupe, «<https://www.ceupe.com/blog/costo-de-produccion.html>,» 04 11 2023. [En línea]. Available: <https://www.ceupe.com/blog/costo-de-produccion.html>. [Último acceso: 02 02 2024].
- [45] N. E. Ltd., *RODAMIENTOS*, Japón: Catálogo.
- [46] J. Madrigal Guzmán, R. Shastri, G. Arista González y L. R. Guez Morales, «Manual de plásticos para diseñadores,» Universidad Autónoma de San Luis Potosí, México, 2013.
- [47] F. Cadena y F. Quiroz, *Manual de reciclaje de Plásticos*, Quito: OIKOS, 2000.
- [49] Lentax, *Motoreductores compactos a engranes*, 2019.
- [50] FAG, *Rodamientos FAG*.
- [51] R.-G. O. Oslet, F. Álvarez y M. Rivas, de *Impacto de la contaminación por plástico en áreas naturales*, México, Greenpeace, 2020, p. 27.
- [52] E. C. A. y V. d. P. A.C., «Plásticos y medio ambiente,» Buenos Aires, 2020, p. 8.
- [53] Rimoplásticas, «Producto plástico libre de BPA: qué es y cómo reconocerlo,» 23 07 2021. [En línea]. Available: Rimoplásticas. <https://rimoplasticas.com/blog/plastico-libre-de-bpa/>. [Último acceso: 15 01 2024].
- [54] Cymacosta, *Cortadora rotativa*, Santa Marta, 2023.

Procedimiento

Anexo 1. Cálculo de bandas y Polea [43].

1. Reuna la siguiente información:

- * Tipo de unidad motriz (Motor) y potencia en caballos de fuerza (HP).
- * Revoluciones que entrega la unidad motriz (RPM de la polea Conductora).
- * Revoluciones requeridas en la máquina o equipo (RPM de la polea Conducida).
- * Diámetros de los ejes y dimensiones de sus respectivas cuñas.
- * Distancia entre centros de los ejes en pulgadas.
- * Tipo de máquina o equipo a impulsar.
- * Tipo de servicio según las horas de trabajo: **Intermitente** (menos de 12 horas por día), **normal** (de 12 a 18 horas por día) o **continuo** (más de 18 horas).

Ejemplo:

- * Motor eléctrico de 75 HP.
- * 1750 RPM.
- * 470 RPM.
- * Eje motor: 2-3/8", cuñero de 5/8" x 5/16"
- * Eje bomba: 3", cuñero de 3/4" x 3/8"
- * 1.270 mm (50").
- * Bomba reciprocante (pistones).
- * Servicio continuo.

2. Determine la Potencia de Diseño en HP:

Remítase a la tabla de "Factores de Servicio Típicos" de la página 25 y escoja el tipo de máquina o equipo que más se asimile al de su aplicación. Según sea el servicio (intermitente, normal o continuo) encuentre el "Factor de servicio" (FS) adecuado. Multiplique la potencia de la unidad motriz (HP del Motor) por el "Factor de Servicio" (FS) para obtener la Potencia de Diseño.

Ejemplo:

Potencia de Diseño = HP del motor X FS
Potencia de Diseño = 75 HP X 1,6 = 120 HP

3. Elija el Tipo o Perfil de la correa:

En las páginas 26 y 27 están las "Tablas para selección del Tipo de Correa". En la primera columna vertical localice las RPM del Motor y abajo sobre la horizontal la "Potencia de Diseño" calculada en el punto anterior. Al cruzar estas dos variables, RPM del Motor y Potencia de Diseño, encontrará el Tipo de correa más adecuado. Consulte primero la tabla de selección para Correas de Alta Capacidad (3V,3VX,5V,5VX,8V) pues son de mayor capacidad o si lo prefiere puede emplear la tabla para correas clásicas en la misma página pero recuerde que cada vez se usan menos. También encontrará las tablas correspondientes a las correas métricas - Europeas de menor uso en nuestro medio.

Ejemplo:

Alternativa 1 (Recomendado):
Correas de Alta Capacidad: 5V o 5VX
resultante de cruzar en las tablas los 120 HP con los 1.750 RPM.

Alternativa 2:
Correas Clásicas C o CX

Alternativa 3:
Correas métricas: SPB

4. Establezca la "Relación de velocidad":

La "Relación de Velocidad" es un número que se obtiene dividiendo las revoluciones mayores (normalmente del motor) entre las revoluciones menores (usualmente las de la máquina o equipo). Este número nos permitirá más adelante encontrar el diámetro de la polea conducida.

5. Seleccione la "Polea Conductora" o polea Motriz:

Consulte las "Tablas de Capacidad De Transmisión por Canal (En HP)" según el tipo de correa seleccionado: "Alta Capacidad" (páginas 28 a 36) "Clásicas" (páginas 38 a 50) ó "Métricas" (páginas 51 a 55). Se trata de encontrar la POLEA CONDUCTORA con el menor diámetro*1 y a la vez con el menor número de canales posibles para transmitir la "Potencia de Diseño" a las RPM del Motor. Recuerde que las tablas muestran la capacidad de transmisión por UNA canal, es decir, tendrá que dividir la Potencia de Diseño entre el número que arroje la tabla para obtener la cantidad de canales de la polea. Como regla general: A mayor diámetro más capacidad de transmisión por Canal y en consecuencia la polea Conductora requiere menos canales. Al contrario, si se desea disminuir el diámetro de la polea Conductora entonces se aumenta el número de canales. Asegúrese de que el Buje de la polea aloje el eje del motor para ello consulte las tablas de dimensiones en las paginas 58 a 100.

6. Cálculo de la Polea Conducida o de la máquina:

Tome el diámetro exterior de la polea Conductora seleccionada en el punto anterior y multiplíquelo por la "Relación de Velocidad" encontrada en el punto 4. Así obtendrá el diámetro de la polea Conducida. Refiérase a las tablas de dimensiones (páginas 58 a 100) para saber cuál es la polea estándar más cercana y que Buje le corresponde.

Importante: Para calcular una Transmisión de Aumento de velocidad, siga el procedimiento anterior para seleccionar la Polea Conductora y para obtener el diámetro de la Polea Conducida "Divida" (en lugar de multiplicar) el diámetro de la Polea Conductora entre la Relación de Velocidad. Tenga en cuenta que la polea de mayor diámetro irá en el motor y no en la máquina como sucede en las transmisiones de disminución de velocidad que son las más comunes. Asegúrese de que la Polea Conducida tenga suficiente diámetro para alojar el eje.

Ejemplo:

$$\frac{\text{RPM del motor}}{\text{RPM del equipo}} = \frac{1750 \text{ RPM}}{470 \text{ RPM}} = \text{Relación: } 3,72$$

Ejemplo:

Observamos en la tabla de capacidad para correas 5V (pág. 32), que una polea de 215 mm de diámetro exterior transmite 21.15 HP a 1750 RPM por cada correa y en consecuencia se requerirán 6 correas para alcanzar la potencia de diseño.

$$21,5 \text{ HP/canal} \times 6 \text{ canales} = 127 \text{ HP}$$

Luego verificando en la sección de dimensiones (pág. 70) encontramos que a la polea **PG 6-5V215** le corresponde un **Buje GD= E** al cual le cabe un eje de hasta 73 mm ó 2-7/8" de diámetro.

*1 Refiérase a la sección "Diámetros mínimos de poleas recomendados para motores eléctricos" en la página 10.

ⓘ La distancia entre centros de los ejes puede aumentar o disminuir la capacidad de transmisión. Refiérase a la página siguiente "Cálculo de la distancia entre centros".

Ejemplo:

Polea conductora:

PG 6-5V 215 (Polea de 6 canales para perfil 5V de 215mm de diámetro)

Diámetro exterior: **215 mm**

Relación de velocidad: $\times \frac{3,72}{800 \text{ mm}}$

Polea conducida:

PG 6-5V 800 (Polea de 6 canales para perfil 5V de 800mm de diámetro)

Buje GD – J (pág 70)

Anexo 2. Valores de factor de servicio [58].

Tabla 5.8 Valores del factor f_s de carga estática permisible

Condiciones de funcionamiento	Valor mínimo de f_s	
	Rodamientos de bolas	Rodamientos de rodillos
Aplicaciones con bajo nivel de ruido	2.0	3.0
Rodamientos sujetos a vibraciones y cargas de impacto	1.5	2.0
Condiciones de funcionamiento normales	1.0	1.5

Anexo 3. L_{10h} para diferentes máquinas [46].

**GUIA DE VALORES REQUERIDOS DE VIDA NOMINAL L_{10H}
PARA DIFERENTES CLASES DE MÁQUINAS**

Clase de Máquina	L_{10h}
Electrodomésticos, Máquinas agrícolas, Instrumentos, aparatos para uso médico.	300≈3000 horas
Máquinas utilizadas en periodos cortos: Elevadores para talleres, maquinas para la construcción, máquinas-herramienta portátiles	3.000≈8000 horas
Máquinas para trabajar con alta fiabilidad de funcionamiento en periodos cortos o intermitentes: Ascensores, grúas para mercancías.	8.000≈12.000 horas
Máquinas para 8 horas de trabajo diaria no totalmente utilizadas: Máquina-herramienta, grúas para material a granel, ventiladores, cintas transportadoras, imprentas, centrifugadoras...	20.000≈30.000 horas
Máquinas para trabajo continuo, 24 horas al día: Cajas de engranajes para laminadoras, maquinaria eléctrica de tamaño medio, compresores, tornos de extracción de minas, bombas, maquinaria textil...	40.000≈50.000 horas
Máquinas para abastecimiento de agua, hornos giratorios, cableadoras, propulsión de transatlánticos	60.000≈100.000 horas
Maquinaria eléctrica de gran tamaño, centrales eléctricas, ventiladores y bombas para minas, rodamientos para líneas de eje de transatlánticos	≈100.000 horas

Anexo 4. Factor de fiabilidad.

Tabla 5.4 Factor de fiabilidad a_1

Fiabilidad (%)	90	95	96	97	98	99
a_1	1.00	0.62	0.53	0.44	0.33	0.21

Anexo 5. Ficha técnica Acero ASTM A-36.



ACERO ESTRUCTURAL
ACERO ASTM A36



1. Descripción: Acero al carbono estructural conocido como hierro negro, de calidad estructural para el uso en puentes y edificaciones remachadas, atornilladas o soldadas.

2. Normas involucradas: ASTM A 36/A 36M - 04

3. Propiedades mecánicas: Esfuerzo a la fluencia mínimo: 250 MPa (36300 PSI)
Esfuerzo a la tensión: 400 – 550 MPa (58000 – 79800 PSI)
Elongación mínima en 50 mm (2"): 23%
Módulo de elasticidad 200 GPa (29000 KSI)

4. Propiedades físicas: Densidad 7.85 g/cm³ (0.284 lb/in³)

5. Propiedades químicas: 0.25 – 0.29 % C
0.60 – 1.20 % Mn
0.15 – 0.40 % Si
0.04 % P máx
0.05 % S máx

6. Usos: Para componentes estructurales en general.

7. Tratamientos térmicos: Usualmente a este material no se le da tratamiento térmico debido a que son parte estructural. Puede ser cementado para aumentar la dureza superficial mientras mantiene su núcleo tenaz.

NOTA:
Los valores expresados en las propiedades mecánicas y físicas corresponden a los valores promedio que se espera cumpla el material. Tales valores son para orientar a aquella persona que debe diseñar o construir algún componente o estructura pero en ningún momento se deben considerar como valores estrictamente exactos para su uso en el diseño.

(506) 2591-7514 
(506) 2551-4169 
info.clientes@sumiteccr.com 



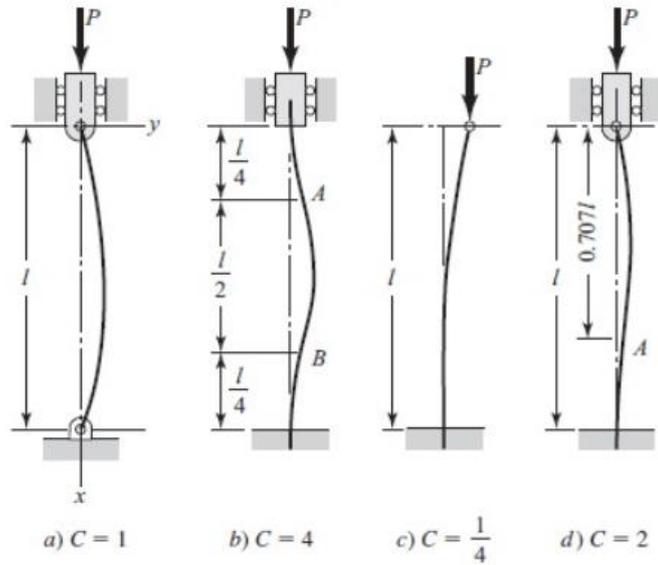
www.sumiteccr.com



Anexo 6. Análisis de pandeo [45].

Figura 4-18

a) Ambos extremos están pivoteados o articulados; b) ambos extremos están empotrados; c) un extremo libre, un extremo empotrado; d) un extremo redondo y articulado, y un extremo empotrado.



Anexo 7. Tipos de sujeciones de columna L_e [45].

CONDICIONES DE SUJECIÓN	C_1 COEFICIENTE PARA MULTIPLICAR POR P_{crit}	L_e LONGITUD EFECTIVA
Ambos extremos empotrados	4	$1/2 l$
Un extremo empotrado y el otro articulado	2	$0,7 l$
Ambos extremos articulados	1	l
Un extremo empotrado y el otro libre	$1/4$	$2 l$

Anexo 8. Electrodo básico baja aleación.

ELECTRODO BASICO BAJA ALEACION

B - 10 Norma:

AWS	E 7018
-----	--------

Color de Revestimiento: Gris Identificación: Punta Blanca

C	0.08%	Mn	1.0%	Si	0.6%
---	-------	----	------	----	------

Análisis del Metal Depositado: *Valores típicos

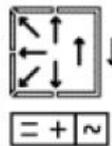
Características: Electrodo con revestimiento de bajo hidrógeno, con polvo de hierro. Indicado para la soldadura de aceros de alta resistencia a la tracción (56 kg/mm² Máx) así como para aceros de construcción. Su arco es sumamente estable, poco chisporroteo y para mejores resultados úsese arco corto. Se recomienda mantener un arco corto para garantizar buenos resultados en inspecciones radiográficas. Para trabajos de alta responsabilidad es necesario secarlos a 350°C durante una hora.

Aprobación: AMERICAN BUREAU OF SHIPPING

Propiedades Mecánicas:	Resistencia a la Tracción	Elongación	Resistencia al Impacto
	54-57 kg/mm ²	30 - 34%	CHARPY-V
	76.000		Joules
	81.000 lbs/pulg ²		70 - 90 (-29°C)

*Valores típicos

Posiciones de Soldar: Plana, horizontal, sobrecabeza, vertical ascendente, vertical descendente.

Corriente y Polaridad:	Para corriente continua o alterna			
	Electrodo al polo positivo			
	∅ mm	∅ Pulg.	Amperaje	
	3.20	1/8	100-140	
	4.00	5/32	140-190	
	5.00	3/16	190-250	

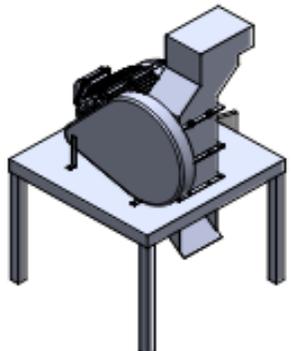
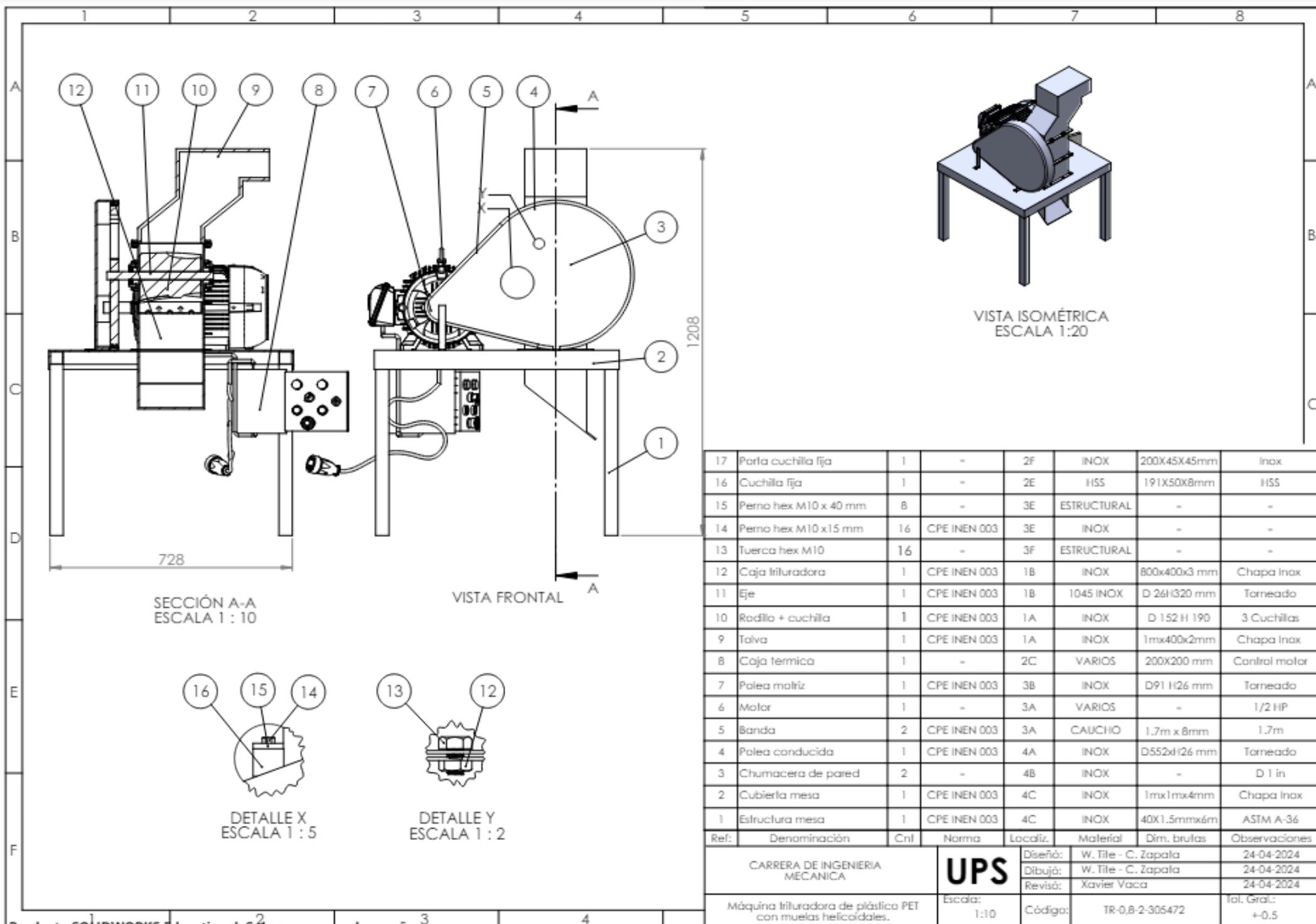
- Aplicaciones:**
- Para aceros de mediano y bajo carbono, baja aleación
 - Para aceros laminados en frío, por sus características de resistencia a la deformación a altas temperaturas, su fácil manejo y óptimo rendimiento, es especialmente adecuado.
 - Para soldadura de tuberías de vapor.
 - Calderas de alta presión, tanques.
 - Piezas para maquinaria pesada.
 - Construcciones metálicas en obra.
 - Reparaciones Navales.

IMPORTANTE: Los electrodos húmedos o con manchas de grasa, deben destruirse.

LARGO: 350 mm. **PESO POR CAJA:** 20 kg/44 lbs.

Anexo 9. Clases métricas mecánica de pernos, tornillos y birlos de acero.

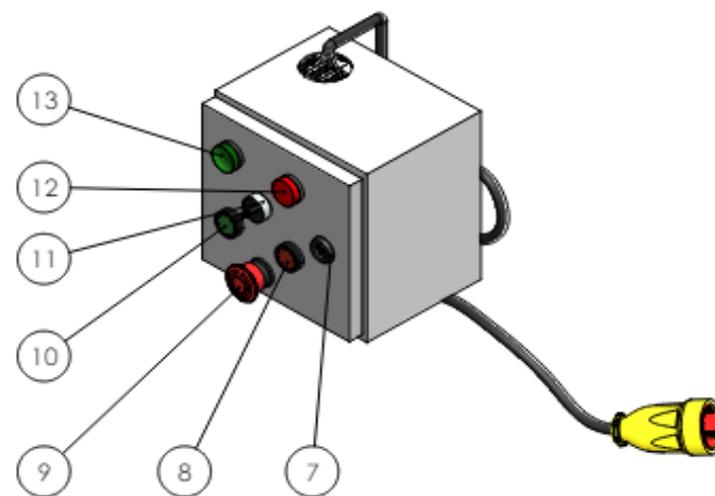
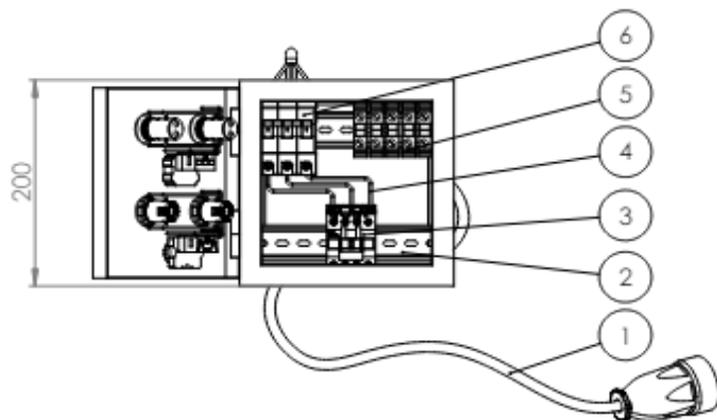
Clase de propiedad	Intervalo de tamaños, inclusive	Resistencia de prueba mínima, [†] MPa	Resistencia mínima a la tensión, [†] MPa	Resistencia mínima a la fluencia, [†] MPa	Material	Marca en la cabeza
4.6	M5-M36	225	400	240	Acero de bajo o medio carbono	
4.8	M1.6-M16	310	420	340	Acero de bajo o medio carbono	
5.8	M5-M24	380	520	420	Acero de bajo o medio carbono	
8.8	M16-M36	600	830	660	Acero de medio carbono, T y R	
9.8	M1.6-M16	650	900	720	Acero de medio carbono, T y R	
10.9	M5-M36	830	1 040	940	Acero martensítico de bajo carbono, T y R	
12.9	M1.6-M36	970	1 220	1 100	Acero aleado, T y R	



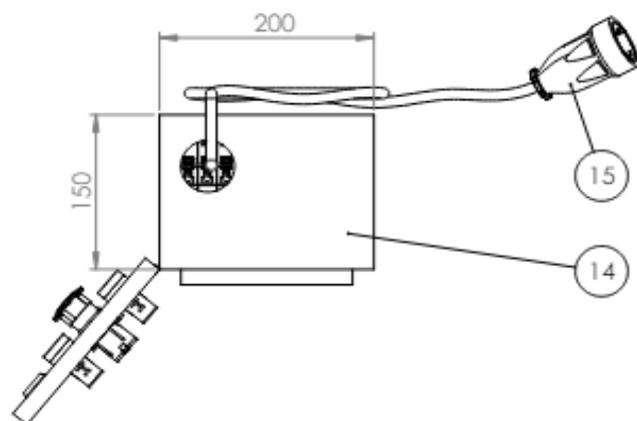
VISTA ISOMÉTRICA
ESCALA 1:20

17	Parla cuchilla fija	1	-	2F	INOX	200X45X45mm	Inox
16	Cuchilla fija	1	-	2E	HSS	191X50X8mm	HSS
15	Perno hex M10 x 40 mm	8	-	3E	ESTRUCTURAL	-	-
14	Perno hex M10 x15 mm	16	CPE INEN 003	3E	INOX	-	-
13	Tuerca hex M10	16	-	3F	ESTRUCTURAL	-	-
12	Caja trituradora	1	CPE INEN 003	1B	INOX	800x400x3 mm	Chapa Inox
11	Eje	1	CPE INEN 003	1B	1045 INOX	D 26H320 mm	Torneado
10	Rodillo + cuchilla	1	CPE INEN 003	1A	INOX	D 152 H 190	3 Cuchillas
9	Talva	1	CPE INEN 003	1A	INOX	1mx400x2mm	Chapa Inox
8	Caja termica	1	-	2C	VARIOS	200X200 mm	Control motor
7	Polea matriz	1	CPE INEN 003	3B	INOX	D91 H26 mm	Torneado
6	Motor	1	-	3A	VARIOS	-	1/2 HP
5	Banda	2	CPE INEN 003	3A	CAUCHO	1.7m x 8mm	1.7m
4	Polea conducida	1	CPE INEN 003	4A	INOX	D552H26 mm	Torneado
3	Chumacera de pared	2	-	4B	INOX	-	D 1 in
2	Cubierta mesa	1	CPE INEN 003	4C	INOX	1mx1mx4mm	Chapa Inox
1	Estructura mesa	1	CPE INEN 003	4C	INOX	40X1.5mmx6m	ASTM A-36
Ref:	Denominación	Cnt	Norma	Localiz.	Material	Dim. brutas	Observaciones

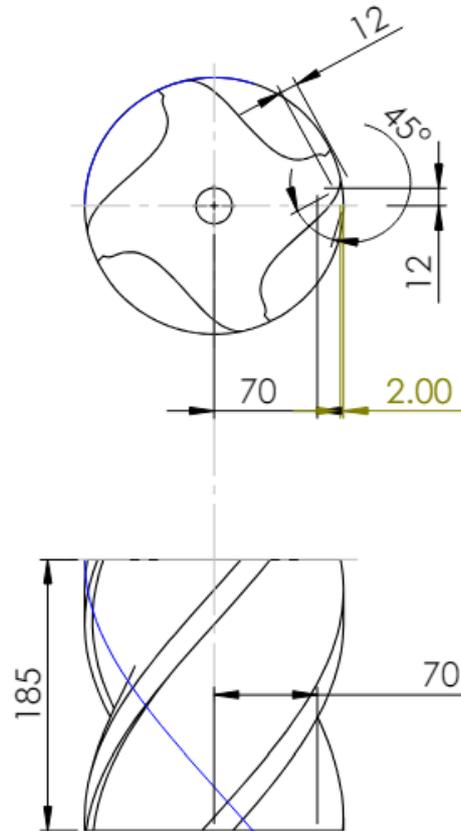
CARRERA DE INGENIERIA MECANICA		UPS	Diseño:	W. Tile - C. Zapala	24-04-2024
			Dibujó:	W. Tile - C. Zapala	24-04-2024
			Revisó:	Xavier Vaca	24-04-2024
Máquina trituradora de plástico PET con muelas helicoidales.		Escala: 1:10	Código:	TR-0,8-2-305472	Tol. Gral: +0.5



VISTA ISOMÉTRICA



15	Conector tripolar macho	8	-	4E	VARIOS	-	Industrial 10A
14	Caja termica	16	-	4E	INOX	-	-
13	Indicador funcionamiento	16	-	6B	VARIOS	110 VAC	Color verde
12	Indicador paro	1	-	6B	VARIOS	110 VAC	Color rojo
11	Selector encendido	1	-	6B	VARIOS	110 VAC	2 Posiciones
10	Boton inicio	1	-	6B	VARIOS	110 VAC	NA
9	Paro de emergencia	1	-	6B	VARIOS	110 VAC	NC Enclavado
8	Boton paro	1	-	6B	VARIOS	110 VAC	NC
7	Cerradura caja	1	-	7B	PLASTICO	-	Estandar
6	Int. termomagnetico	1	-	2B	VARIOS	-	10 A
5	Banera 10 A	2	-	3B	PLASTICO	-	10 A
4	Cable 12 AWG	1	AWG	3B	CABLE	12 AWG	1X12 AWG
3	Contactor trifasico	1	-	3B	-	-	9 A - 18 A
2	Riel DIN 35 mm	1	DIN	3B	INOX	35mm	Inox
1	Cable concentrico 3x12	1	AWG	4C	CABLE	12 AWG	3X12 AWG
Ref:	Denominación	Cnt	Norma	Localiz.	Material	Dim. brutas	Observaciones
CARRERA DE INGENIERIA MECANICA				UPS	Diseño:	W. Tite - C. Zapata	24-04-2024
					Dibujó:	W. Tite - C. Zapata	24-04-2024
					Revisó:	Xavier Vaca	24-04-2024
Máquina trituradora de plástico PET con muelas helicoidales.				Escala: 1:5	Código:	TR-0,8-2-305472	Tol. Gral.: ±0.5

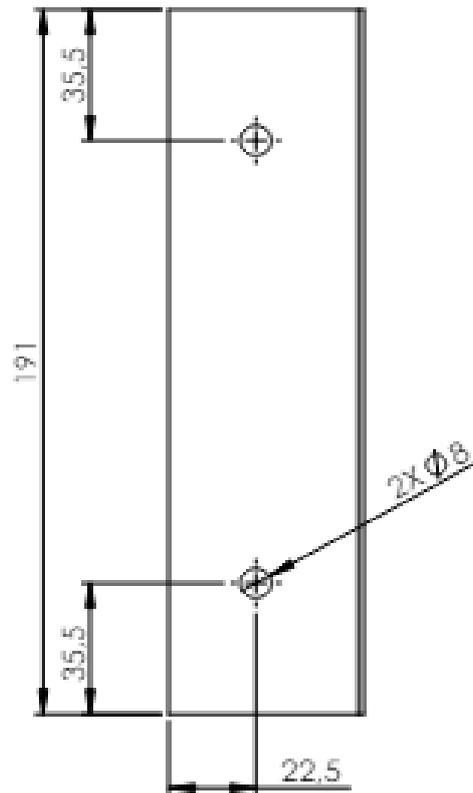
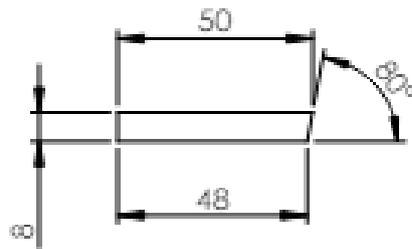


Datos

- Ángulo 45 deg
- 4 filos

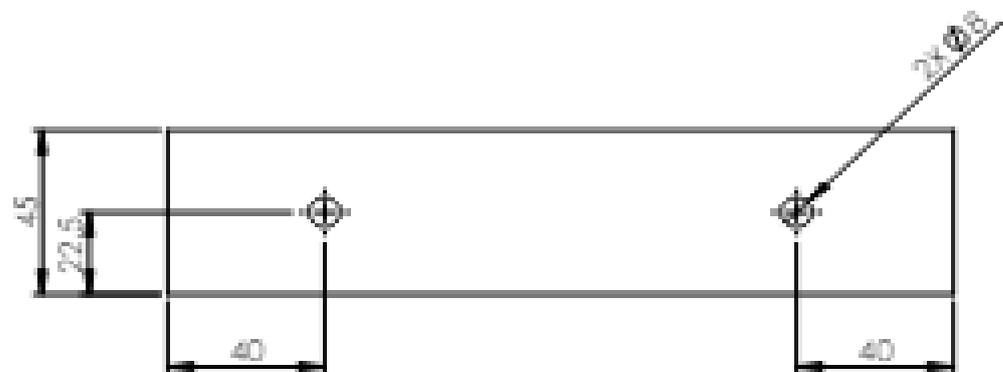
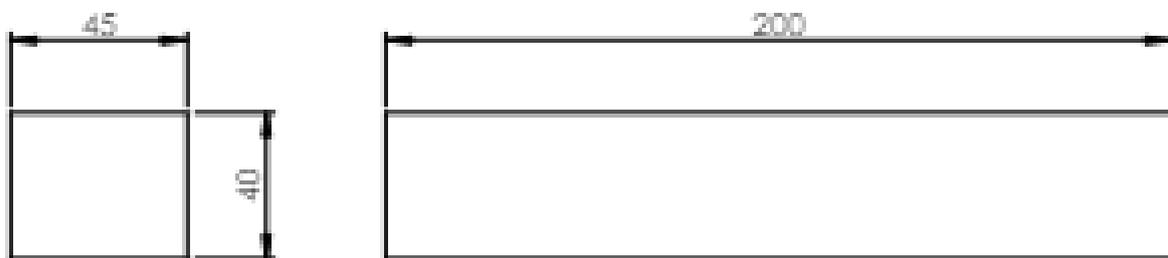
ISO E

Tratamiento térmico:	Temple y revenido	Material:	Acero K 100 D2	Dim brutas:	d 160 h 185
Recubrimiento:	NA				
CARRERA DE INGENIERIA MECANICA	UPS	Diseñó:	Cristofer Zapata	11-02-2024	
		Dibujó:	Cristofer Zapata	11-02-2024	
		Revisó:	Xavier Yaca	11-02-2024	
Rodillo eje	Escala: 1:5	Código:	TR-0,8-2-305472	Tol. Gral.:	+0.5



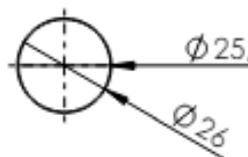
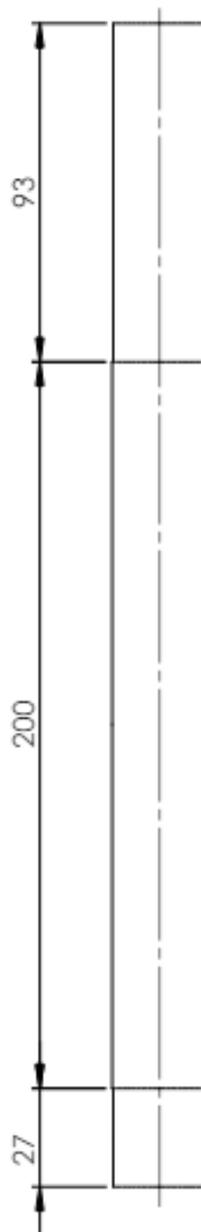
ISO E

Tratamiento térmico:	NA	Material:	HSS	Dim brutas:	191X50X8
Recubrimiento:	NA				
CARRERA DE INGENIERIA MECANICA	UPS	Diseño:	Cristofer Zapata	11-02-2024	
		Dibujó:	Cristofer Zapata	11-02-2024	
		Revisó:	Xavier Vaca	11-02-2024	
Rodillo cuchilla	Escala: 1:2	Código:	TR-0,8-2-305472	Tol. Gral.:	+0.5



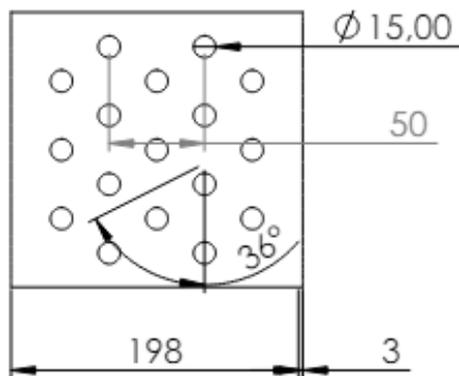
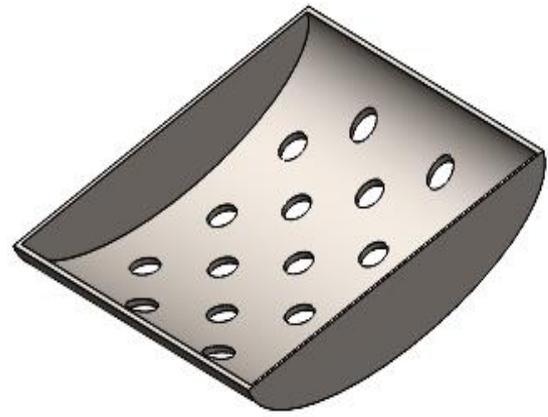
ISO E

Tratamiento térmico:	NA	Material:	1045 inox	Dim brutas:	200X45X45 mm
Recubrimiento:	NA				
CARRERA DE INGENIERIA MECANICA	UPS	Diseño:	Cristofer Zapata	11-02-2024	
		Dibujó:	Cristofer Zapata	11-02-2024	
		Revisó:	Xavier Vaca	11-02-2024	
Portacuchilla fija	Escala: 1:2	Código:	TR-0.8-2-305472	Tol. Gral.:	+0.5



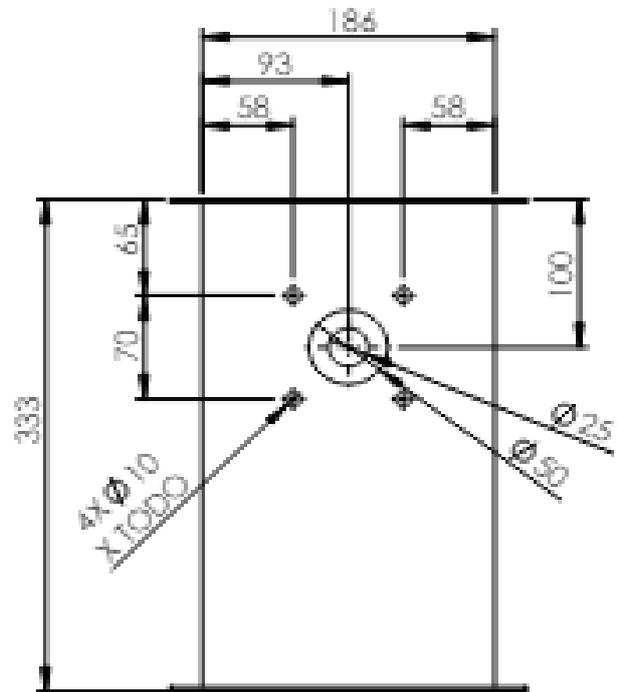
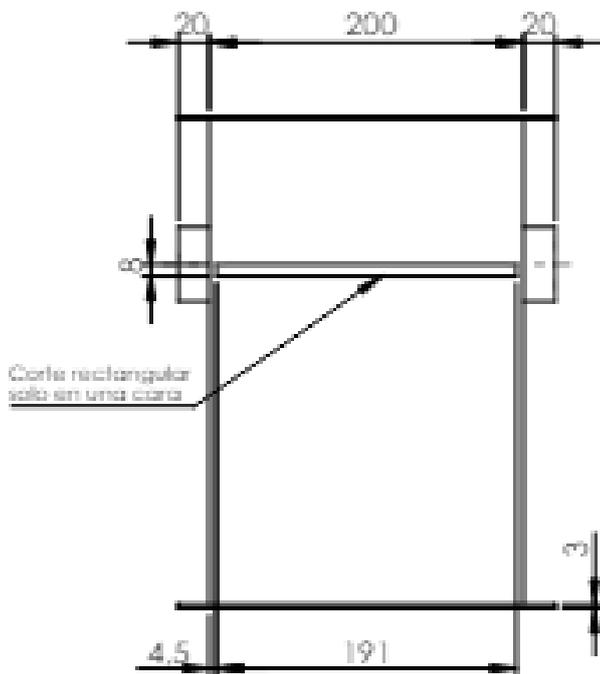
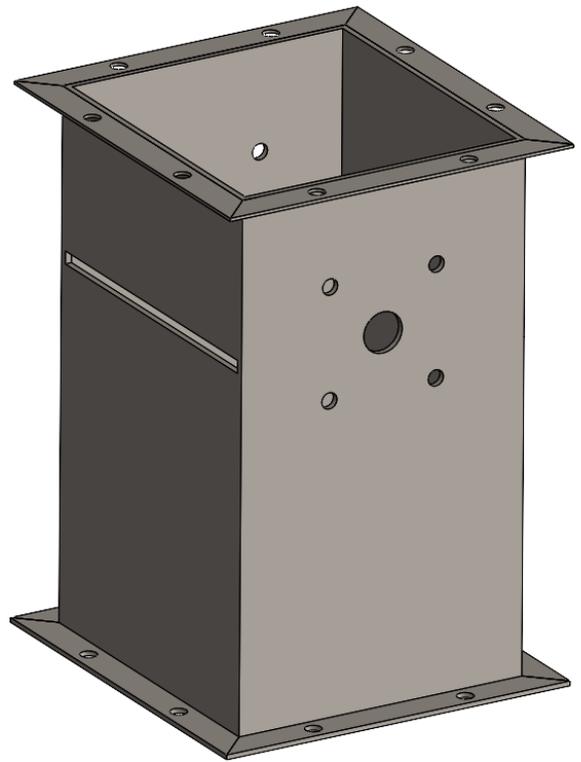
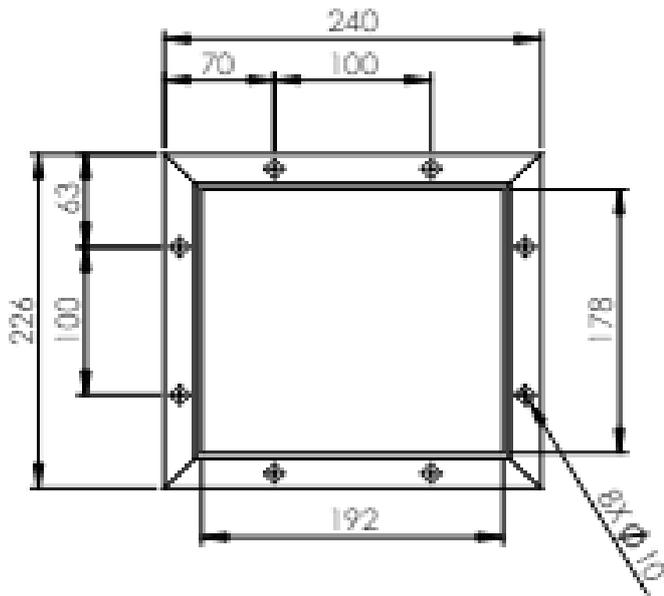
ISO E

Tratamiento térmico:	NA	Material:	1045 inox	Dim brutas:	D 26mm H320mm
Recubrimiento:	NA				
CARRERA DE INGENIERIA MECANICA	UPS	Diseño:	Cristofer Zapala	11-02-2024	
		Dibujó:	Cristofer Zapala	11-02-2024	
		Revisó:	Xavier Yaca	11-02-2024	
Eje	Escala: 1:2	Código:	TR-0,8-2-305472	Tol. Gral:	+0.5



ISO E

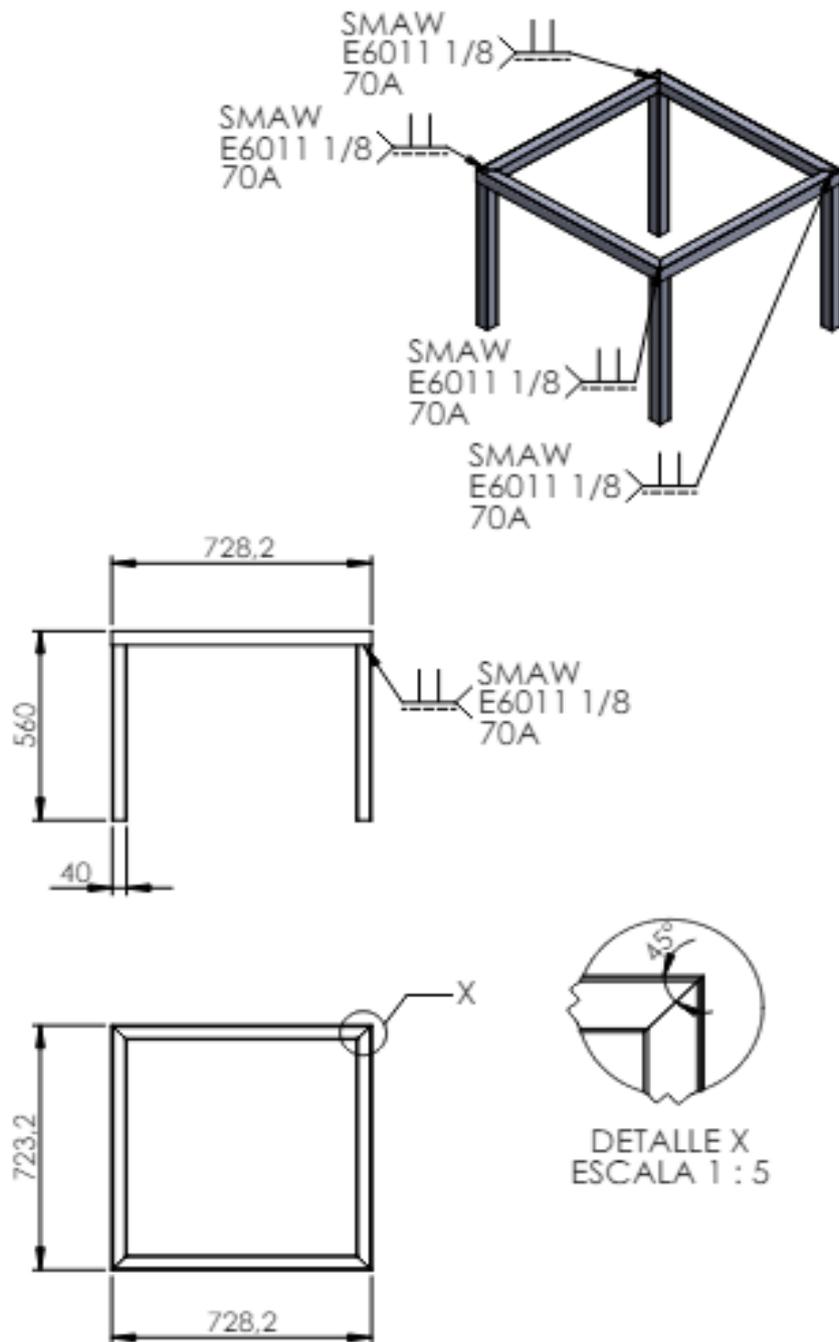
Tratamiento térmico:	NA	Material:	1045 inox	Dim brutas:	D198 mm x H182mm
Recubrimiento:	NA				
CARRERA DE INGENIERIA MECANICA	UPS	Diseño:	Cristofer Zapata	11-02-2024	
		Dibujó:	Cristofer Zapata	11-02-2024	
		Revisó:	Xavier Vaca	11-02-2024	
Tamiz	Escala: 1:5	Código:	TR-0,8-2-305472	Tol. Gral.:	+0.5



Nota
 - Chapa 3 mm Inox
 - Uniones soldadas
 proceso TIG Inox

ISO E

Tratamiento térmico:	NA	Material:	1045 inox	Dim brutas:	800x400x3 mm
Recubrimiento:	NA				
CARRERA DE INGENIERIA MECANICA	UPS	Diseño:	Cristofer Zapata	11-02-2024	
		Dibujó:	Cristofer Zapata	11-02-2024	
		Revisó:	Xavier Vaca	11-02-2024	
Caja trituradora	Escala: 1:5	Código:	TR-0,8-2-305472	Tol. Gral:	+0.5



ISO E

Nota
 - Tubo estructural cuadrado 40 x 1.5
 - Uniones soldadas a tope sin bicel
 SMAW E6011 1/8 70 A.

Tratamiento térmico:	NA	Material:	Dim brutas:
Recubrimiento:	NA	Acero estructural ASTM A-36	40X40X1.5mm x 6.4m
CARRERA DE INGENIERIA MECANICA	UPS	Diseño:	Cristofer Zapata
		Dibujó:	Cristofer Zapata
		Revisó:	Xavier Yaca
Estructura mesa	Escala: 1-20	Código:	TR 0,8 2-305472
		Tel. Gral: + 0.5	

