

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Mecánica

Tesis

**Diseño del sistema de trituración de envases PET
para una planta de reciclaje en el distrito de Alto
Selva Alegre**

Oswaldo Alonso Tinta Vilca

Para optar el Título Profesional de
Ingeniero Mecánico

Arequipa, 2025

Repositorio Institucional Continental
Tesis digital



Esta obra está bajo una Licencia "Creative Commons Atribución 4.0 Internacional" .

INFORME DE CONFORMIDAD DE ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE **INVESTIGACIÓN**

A : Decano de la Facultad de Ingeniería
DE : Mg. Jonathan Alain Sánchez Paredes
Asesor de trabajo de investigación
ASUNTO : Remito resultado de evaluación de originalidad de trabajo de investigación
FECHA : 24 de Marzo de 2025

Con sumo agrado me dirijo a vuestro despacho para informar que, en mi condición de asesor del trabajo de investigación:

Título:

Diseño del Sistema de Trituración de Envases PET para una Planta de Reciclaje en el Distrito de Alto Selva Alegre

Autores:

1. Oswaldo Alonso Tinta Vilca – EAP, Ingeniería Mecánica

Se procedió con la carga del documento a la plataforma "Turnitin" y se realizó la verificación completa de las coincidencias resaltadas por el software dando por resultado 18 % de similitud sin encontrarse hallazgos relacionados a plagio. Se utilizaron los siguientes filtros:

- | | | |
|---|-----------------------------|--|
| • Filtro de exclusión de bibliografía | SI ☐ | NO ☒ |
| • Filtro de exclusión de grupos de palabras menores | SI ☐ | NO ☒ |
| Nº de palabras excluidas (en caso de elegir "SI"): | | |
| • Exclusión de fuente por trabajo anterior del mismo estudiante | SI ☐ | NO ☒ |

En consecuencia, se determina que el trabajo de investigación constituye un documento original al presentar similitud de otros autores (citas) por debajo del porcentaje establecido por la Universidad Continental.

Recae toda responsabilidad del contenido del trabajo de investigación sobre el autor y asesor, en concordancia a los principios expresados en el Reglamento del Registro Nacional de Trabajos conducentes a Grados y Títulos – RENATI y en la normativa de la Universidad Continental.

Atentamente,

La firma del asesor obra en el archivo original

(No se muestra en este documento por estar expuesto a publicación)

ASESOR

Ing. Jonathan Alain Sanchez Paredes

AGRADECIMIENTO

Agradezco de manera especial a Dios por darme la oportunidad de estudiar una carrera universitaria, la cual me permitirá contribuir de manera positiva a la sociedad. A mi alma mater, la Universidad Continental, por brindarme conocimientos a lo largo de mi formación académica. A mi asesor, el Ing. Jonathan Alain Sánchez Paredes, por su valiosa guía y acompañamiento en este proceso de elaboración de tesis. Y, finalmente, a mi familia, por su constante apoyo y respaldo, que me han permitido continuar con mis estudios y alcanzar esta meta tan significativa de convertirme en profesional.

DEDICATORIA

A Dios por brindarme la fortaleza y la oportunidad para lograr mis metas. De igual forma, a mis queridos padres quienes con su apoyo lograron motivarme a ser mejor cada día.

ÍNDICE

ÍNDICE	vii
RESUMEN	xvi
ABSTRACT.....	xvii
INTRODUCCIÓN	xviii
CAPÍTULO I	1
PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO	1
1.1. Planteamiento y Formulación del problema	1
1.1.1. Problema General.....	2
1.1.2. Problemas Específicos	2
1.2. Objetivos	2
1.2.1. Objetivo General	2
1.2.2. Objetivos Específicos.....	3
1.3. Justificación e importancia	3
1.3.1. Justificación teórica	3
1.3.2. Justificación practica.....	3
1.3.3. Justificación Social	3
1.3.4. Justificación Técnica.....	4
1.3.5. Justificación Económica	4
1.3.6. Justificación Ambiental.....	4
CAPÍTULO II:.....	6
MARCO TEÓRICO.....	6
2.1. Antecedentes del problema	6
2.1.1. Artículos de revistas.....	6
2.1.2. Antecedentes Internacionales.....	7
2.1.3. Antecedentes Nacionales	8
2.1.4. Antecedentes Locales.....	10
2.2. Bases teóricas.....	10
2.2.1. Máquina	10

2.2.2.	Diseño	10
2.2.3.	Maquina trituradora	11
2.2.4.	Trituradora de uno o dos ejes.....	12
2.2.5.	Geometría de las cuchillas	14
2.2.6.	Numero de filos.....	15
2.2.7.	Ángulo de corte y superficie de agarre de las cuchillas	17
2.2.8.	Grosor de las cuchillas	18
2.2.9.	Rendimiento de la trituradora	21
2.2.10.	Resistencia y rigidez del material	23
2.2.11.	Efectos de la temperatura.....	24
2.2.12.	Selección de Materiales	26
2.2.13.	Comportamiento Mecánico de Plásticos.....	26
2.2.14.	Análisis mediante Elementos Finitos	28
2.2.15.	Restricciones en los Límites	29
2.2.16.	Procesos de maquinado.....	30
2.3.	Definición de términos básicos.....	32
2.3.1.	Plásticos	32
CAPÍTULO III:.....		33
METODOLOGÍA		33
3.1.	Metodología aplicada para el desarrollo de la solución.....	33
3.1.1.	Tipo de investigación.....	33
CAPÍTULO IV:		37
ANÁLISIS Y DISEÑO DE LA SOLUCIÓN		37
4.1.	Estado de la Tecnología	37
4.1.1.	Trituradora Boretech.....	37
4.1.2.	Trituradora Shuliy.....	37
4.2.	Identificación de requerimiento	38
4.2.1.	Capacidad de trabajo y consideraciones del sistema de trituración de envases PET para el distrito de Alto Selva Alegre.....	38

4.3.	Lista de exigencias:.....	43
4.4.	Caja negra	44
4.5.	Secuencia de Operaciones.....	45
4.6.	Caja gris	46
4.7.	Matriz morfológica	47
4.8.	Análisis de solución	47
4.8.1.	Descripción de las Funciones.....	47
4.8.2.	Descripción de conceptos de solución	48
4.9.	Diseño	52
4.9.1.	Diseño de Cuchilla.....	52
4.9.2.	Selección de Componentes	69
4.10.	Estimación económica	91
4.10.1.	Caja trituradora	91
4.10.2.	Contra cuchillas	92
4.10.3.	Tapa.....	92
4.10.4.	Eje SAE 4340.....	93
4.10.5.	Cuchillas de corte.....	93
	DISCUSIÓN DE RESULTADOS	95
	CONCLUSIONES	96
	TRABAJOS FUTUROS	98
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	99
	ANEXOS	103

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Partes de un torno mecánico básico.....	31
Figura 2 Etapas del Proceso de Diseño.....	34
Figura 3 Trituradora Boretech	37
Figura 4 Trituradora Shuliy	38
Figura 5 Caja negra.....	45
Figura 6 Proceso de trituración	46
Figura 7 Caja Gris.....	46
Figura 8 Matriz morfológica.....	47
Figura 10 Propiedades mecánicas Tereftalato de polietileno PET.....	53
Figura 11 Fuerza de trituración que actúa sobre el filo de la cuchilla	54
Figura 12 Geometría de cuchillas	60
Figura 13 Comparación del rendimiento entre las diferentes geometrías de cuchilla.	60
Figura 14 Geometrías de cuchillas con diferente número de filos.....	61
Figura 15 Boceto en AutoCAD: botella 3 L - cuchilla	63
Figura 16 Boceto en AutoCAD: botella 500 mL- cuchilla.	63
Figura 17 Configuración del cuchillo en forma de V	65
Figura 18 Cortes por cuña/cinzel, cizalla y arranque de viruta.....	67
Figura 19 Montaje con tres fajas.....	74
Figura 20 Configuración transmisión por fajas.....	74
Figura 21 Diagrama de cuerpo libre del Eje	79
Figura 22 Diagrama de cuerpo libre de cargas en el eje “Y”.....	81
Figura 23 Diagrama de momento flector eje “Y”	81
Figura 24 Diagrama de fuerzas cortantes eje “Y”	82
Figura 25 Diagrama de cuerpo libre en el eje “X”.....	82
Figura 26 Diagrama de momento flector eje “X”	82

Figura 27 Diagrama de fuerzas cortantes eje “X”	83
Figura 28 Momento flector (en el eje y) para el punto C.....	85
Figura 29 Duración recomendada para rodamientos	89
Figura 30 Diseño 3D de la caja trituradora.....	91
Figura 31 Diseño 3D de la contra cuchilla.....	92
Figura 32 Diseño 3D de la tapa de la trituradora	92
Figura 33 Diseño 3D del eje de la trituradoraNota. Elaboración propia.....	93
.Figura 34 Diseño 3D de la cuchilla de la trituradora	93
Figura 35 Estimación económica del precio de la trituradora.....	94
Figura 36 Selección correa estandarizada.....	108
Figura 37 Rodamientos rígidos de una hilera de bolas	112

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Botellas PET por mes	39
Tabla 2 Porcentaje de Plásticos y Botellas PET	39
Tabla 3 Porcentaje de botellas PET según su volumen.....	39
Tabla 4 Cantidad de botellas y bolsas por mes	39
Tabla 5 Calculo de la capacidad del sistema de trituración	40
Tabla 6 Dimensiones de botellas PET según capacidad	41
Tabla 7 Lista de exigencias.....	43
Tabla 8 Criterios técnicos VDI2225	49
Tabla 9 Criterios económicos VDI 2225	50
Tabla 10 Coordenadas VDI 2225	51
Tabla 11 Diagrama de selección VDI 2225.....	52
Tabla 12 Dimensión de botellas: botellas más grandes, botella más pequeña	59
Tabla 13 Resultados de evaluaciones estructurales en distintos diseños de cuchillas.	64
Tabla 14 Cálculo de cantidad de botellas.....	68
Tabla 15 Dimensiones caja trituradora	69
Tabla 16 Correas trapeciales Optibelt SUPER TX M=S	72
Tabla 17 Diámetros mínimos necesarios en el eje.....	88
Tabla 18 Matriz de consistencia	103
Tabla 19 Densidad de materiales plásticos.	105
Tabla 20 Selección motor WEG	106
Tabla 21 Factor de carga.....	107
Tabla 22 Valores de potencia por faja	109
Tabla 23 Factor Angulo de contacto.....	110
Tabla 24 Factor C3.....	111
Tabla 25 Selección de rodamiento SKF.....	113

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1: Esfuerzo de corte.....	53
Ecuación 2: Fuerza de corte.....	54
Ecuación 3: Área de corte.....	54
Ecuación 4: Energía necesaria	55
Ecuación 5: Potencia requerida.....	56
Ecuación 6: Torque de cuchilla.....	57
Ecuación 8: Velocidad angular de la cuchilla.....	57
Ecuación 9: Potencia de corte	57
Ecuación 10: Error de la potencia.....	57
Ecuación 11: Potencia de transmisión	58
Ecuación 12: Potencia del motor	58
Ecuación 13: Número de cuchillas.....	68
Ecuación 14: Número de espacios	68
Ecuación 16:Número de separadores.....	68
Ecuación 17:Número de cuchillas.....	69
Ecuación 18: Potencia a transmitir	70
Ecuación 19: Velocidad nominal	70
Ecuación 20: Relación de transmisión.....	71
Ecuación 21: Longitud de la faja	73
Ecuación 22: Cantidad de fajas requeridas	73
Ecuación 23: Torque que genera la polea sobre el eje.....	75
Ecuación 24: Fuerza flexionante.....	75

Ecuación 25: Fuerza de las cuchillas	77
Ecuación 26: Peso total del conjunto	77
Ecuación 27: Diámetro	78
Ecuación 28: Resistencia a la fatiga del material.....	80
Ecuación 29: Momento flector (M)	84
Ecuación 30: Momento flector combinado (M).....	86
Ecuación 32: Diámetro torsional mínimo	87
Ecuación 33: Carga equivalente.....	89
Ecuación 34: Carga dinámica equivalente	89
Ecuación 35: Tiempo de vida deseada (Ld).....	89
Ecuación 36: Carga que puede soportar el rodamiento.....	90

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A. Matriz de consistencia.....	103
ANEXO B. Densidad de materiales plásticos.....	105
ANEXO C. Selección motor WEG.....	106
ANEXO D. Factor de carga	107
ANEXO E. Selección correa estandarizada	108
ANEXO F. Valores de potencia por faja	109
ANEXO G. Factor Angulo de contacto	110
ANEXO H. Factor C3.....	111
ANEXO I. Rodamientos rígidos de una hilera de bolas	112
ANEXO J. Selección de rodamiento SKF	113
ANEXO K. AUTORIZACIÓN DE USO DE DATOS.....	114

RESUMEN

El presente estudio se centró en el diseño y la selección de componentes para una trituradora de botellas plásticas de material PET, con el propósito de suplir la demanda de una empresa recicladora en el distrito de Alto Selva Alegre. Para ello, se realizó una selección de cuchillas que optimicen el proceso de trituración, minimizando su desgaste y considerando factores como la resistencia estructural y la capacidad de trituración. Asimismo, se llevó a cabo una evaluación de la potencia requerida en el motor para garantizar un funcionamiento óptimo de la máquina.

La metodología empleada es de tipo tecnológico aplicativo, enfocada en la aplicación práctica del conocimiento en ingeniería mecánica para resolver un problema específico. Se siguió la norma VDI 2221 para el desarrollo del diseño, asegurando una implementación óptima y el cumplimiento de los estándares establecidos.

Como resultado, se logró identificar y dimensionar adecuadamente los componentes clave del sistema de trituración de envases PET. Desde la selección del motorreductor hasta la elección del rodamiento, cada paso fue meticulosamente calculado para garantizar un funcionamiento eficiente y seguro de la maquinaria. Se determinó un motorreductor de 5.5 kW con las especificaciones necesarias y se seleccionaron poleas, fajas y rodamientos adecuados. Este análisis exhaustivo proporciona una base sólida para el diseño e implementación del sistema, asegurando su eficiencia, seguridad y fiabilidad en la operación.

Palabras clave: Trituradora, recicladora, norma VDI 2221, motorreductor, poleas, fajas y rodamientos.

ABSTRACT

This study focused on the design and selection of components for a PET plastic bottle crusher to meet the demand of a recycling company in the Alto Selva Alegre district. Thus, a selection of blades for the crushing process was made to reduce wear on the blades, taking into consideration factors such as structural strength and crushing capacity. Likewise, an evaluation of the power required by the motor was carried out, in order to guarantee adequate operation.

The methodology proposed is of an applicative technological type, focused on the practical application of existing knowledge in mechanical engineering to solve a specific problem. Following the VDI 2221 standard for the development of the design, thus guaranteeing optimal implementation and compliance with standards.

It was possible to identify and properly size the key components of the PET container crushing system. From the selection of the gear motor to the choice of the bearing, each step has been meticulously calculated to guarantee efficient and safe operation of the machinery. A 5.5 kW gearmotor with the required specifications has been determined and suitable pulleys, belts and bearings have been selected. This thorough analysis provides a solid basis for the successful design and implementation of the system, ensuring its efficiency, safety and reliability in operation.

Keywords: Crusher, recycler, VDI 2221 standard, gear motor, pulleys, belts and bearings.

INTRODUCCIÓN

En el ámbito de la ingeniería mecánica, el diseño y la selección de componentes para una trituradora de botellas plásticas de material PET representan un desafío técnico significativo. La gestión eficiente de los residuos plásticos, especialmente el reciclaje de botellas, se ha convertido en una prioridad global debido a su impacto ambiental y económico. En este contexto, el desarrollo de una trituradora eficaz y confiable es fundamental para optimizar el proceso de reciclaje y contribuir a la sostenibilidad ambiental.

Este estudio aborda de manera integral el diseño y la selección de componentes para una trituradora de botellas plásticas. Se consideran aspectos clave como las dimensiones y geometría de la caja trituradora, la selección del motorreductor, el diseño del eje de transmisión y la elección de los rodamientos adecuados. La optimización de cada uno de estos elementos es esencial para garantizar un funcionamiento seguro y eficiente de la trituradora, así como para maximizar su rendimiento y vida útil.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO

1.1. Planteamiento y formulación del problema

En la actualidad el planeta presenta altos índices de contaminación ambiental y una de estas causas son los materiales plásticos, específicamente las botellas, ya que están presentes en una amplia gama de productos como lo son las bebidas minerales, carbonatadas, aceites, lubricantes, productos de limpieza, etc.

La contaminación ambiental por plásticos se manifiesta con mayor fuerza en los océanos. Un informe de Greenpeace destaca que, la producción total de plástico en el 2015 alcanzó los 380 millones de toneladas. Hasta la actualidad se han fabricado unos 8,3 mil millones de toneladas de plástico desde que su producción empezara en aproximadamente 1950, lo que equivale al peso de unos mil millones de elefantes. Tan solo los fabricantes de bebidas producen más de 500 mil millones de botellas de plástico de un solo uso cada año. Según la industria del plástico, en Europa la producción de plástico alcanzó los 61,8 millones de toneladas en 2018. (1)

A mediados del año 2023, Perú producía 1.2 millones de toneladas de residuos plásticos al año, y de estos solo el 10 % son reciclados de forma adecuada. (2) Es así que nuestro país afronta un grave problema ambiental debido a que el porcentaje de reciclaje es mínimo y la contaminación causada por uso de estos es una de las mayores fuentes de gases de efecto invernadero. De esta cantidad de residuos plásticos producidos existe una cantidad representativa conformada por las botellas de plástico PET puesto que son las más utilizadas en la industria de las bebidas no alcohólicas debido a su transparencia y maleabilidad, por lo cual este material es reciclado en mayor cantidad a comparación con otros tipos de plástico.

El estudio de la presencia de micro plásticos en sedimentos de las playas de Lima y Arequipa (3) encontró que, en algunas playas de estas ciudades, los micro plásticos representaban entre 30% y 60% del total de residuos en los sedimentos analizados. Sumado a ello se identificaron principalmente micro plásticos de PET, que representaban alrededor del 45% del total de estos encontrados en las muestras; los micro plásticos encontrados variaron en tamaño de 0.1 mm a 5 mm, con una media de 2 mm.

En la Región de Arequipa, sólo se recicla el 3% de los residuos que se producen; según el Ministerio del Ambiente (4), esto muestra la falta de gestión que se tiene con el tema de reciclaje.

Con respecto a la Municipalidad de Alto Selva Alegre como menciona Cuadros (5) el año 2022 se generó un total de 18,952.648 toneladas, sólo ese año; mientras que para el año 2042 la cantidad será de 32270.6804 toneladas de residuos sólidos generados en este distrito; asimismo indica que la generación per cápita de residuos sólidos es de 0.556 kg por persona por día, lo que equivale a un total de 52 toneladas diarias de residuos sólidos municipales; es así que la municipalidad de este distrito en su esfuerzo por disminuir la contaminación ambiental por plásticos implantó la ordenanza municipal n°590-MDSA con la cual establece regulaciones con respecto al uso de plásticos ,también se hace referencia a la participación de los recicladores, quienes realizan la valorización de los bienes plásticos reutilizables y reciclables, a su vez se menciona el desarrollo de infraestructura que permita la realización de esta labor. Es así que en la búsqueda de implementar mejoras que contribuyan a la disminución de la contaminación ambiental causada por la acumulación de basura e incremento de los gases de efecto invernadero, enfocándonos en los residuos plásticos conformados por botellas PET, se realiza este proyecto que busca diseñar un sistema de trituración de adecuado dimensionamiento con el cual se busca que este material sea reutilizado para otros productos y así reducir su impacto ambiental.

1.1.1. Problema General

¿Cómo se va a realizar el diseño del Sistema de trituración de envases PET para una planta de reciclaje en el distrito de Alto Selva Alegre?

1.1.2. Problemas Específicos

- ¿Como se podría determinar la capacidad de trabajo que se requiere para una planta de reciclaje en Selva Alegre?
- ¿Como se puede realizar un dimensionamiento de cuchillas de corte de mayor durabilidad según la metodología VDI 2225?
- ¿Cómo seleccionar los otros componentes determinantes para el correcto funcionamiento del sistema de trituración de envases PET tales como motorreductores, poleas y rodamientos según la selección de cuchillas y la capacidad de la planta?

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo General

Realizar el diseño del Sistema de trituración de envases PET para una planta de reciclaje en el distrito de Alto Selva Alegre.

1.2.2. Objetivos Específicos

- Determinar la capacidad de trabajo del sistema de trituración de envases PET aplicado para el distrito de Alto Selva Alegre.
- Desarrollar un análisis de diseño según la metodología VDI 2225 para dimensionamiento de cuchillas de corte para así preservar la durabilidad de estas mismas.
- Seleccionar elementos y mecanismos necesarios para el sistema de trituración de envases PET tales como motorreductores, poleas, ejes y rodamientos mediante cálculos de diseño según la selección de cuchillas y la capacidad de la planta.

1.3. Justificación e importancia

1.3.1. Justificación teórica

El presente trabajo está dirigido a contribuir a la sociedad con base en la teoría del diseño de máquinas, ya que se tendrá en consideración parámetros, características, así como su funcionamiento; para este fin se aplicarán los principios de la resistencia y el diseño de elementos de máquinas. El diseño de esta máquina implica que pueda usarse para reducir el tamaño de los productos PET para poder ser reutilizados y además contempla lograr transferir una fuerza amplificada por una ventaja mecánica a través de un material hecho de moléculas que se unen más fuertemente y resisten más la deformación que las del material que se tritura.

1.3.2. Justificación práctica

Con la presente tesis se fortalecerán los conocimientos que se han adquirido durante la formación académica, adicionando la experiencia laboral desarrollada en campo lo cual contribuirá al correcto desarrollo de la implementación del proyecto. Sumado a ello, se evaluarán los principios del diseño de las máquinas y como estos van a mejorar la calidad de trabajo en la planta de reciclaje, además de facilitar la reutilización de plásticos PET para otros productos.

1.3.3. Justificación social

El presente trabajo de investigación responde a la necesidad social presente en el distrito de Alto Selva Alegre donde se busca establecer concientización con respecto a la generación de residuos plásticos, siendo los plásticos PET una parte considerable de los residuos generados, los cuales llegan a afectar la calidad de vida de los habitantes en el distrito. Al diseñar un sistema de trituración que facilite la reutilización de plásticos PET se puede contribuir a la creación de un entorno más limpio y saludable para quienes viven en él, y esto es de suma importancia para la ciudad de Arequipa donde aproximadamente por cada persona se genera medio kilo de residuos sólidos diarios. Por lo tanto, con un millón de habitantes, se pueden reciclar 500 toneladas diariamente. (6) Es así, que el diseño del sistema de trituración será de gran aporte para favorecer a la reutilización de plásticos PET y con ello contribuir a la reducción de materiales que contaminan el ambiente.

1.3.4. Justificación técnica

La Asociación Alemana de Ingenieros propone un modelo de diseño de productos, el cual menciona los requerimientos, los modelos conceptuales y una fase de alistamiento para la producción (7). La elección de la norma VDI como metodología para el diseño nos permite asegurar un enfoque técnico robusto y probado. La aplicación de los principios de resistencia de materiales y del diseño de elementos de máquinas nos garantiza la eficiencia y la durabilidad del sistema de trituración, esta justificación técnica respalda la solidez del diseño propuesto, asegurando que el sistema sea capaz de cumplir la lista de exigencias.

1.3.5. Justificación económica

Económicamente la implementación de un sistema de trituración de envases PET que sea eficiente representa una inversión con beneficios ambientales que a la larga se pueden traducir en ganancias monetarias, ya que se puede rentabilizar los materiales reciclados de plásticos PET que son reutilizados como materia prima para empaques de detergentes, fibras para la industria textil y automotriz, entre otros. En el presente año, se ha registrado un aumento histórico en los costos del PET reciclado en comparación a años anteriores (8) lo que beneficia a aquellas empresas que opten por implementar un sistema de trituración que les permitirá reciclar grandes volúmenes de residuos plásticos PET.

1.3.6. Justificación ambiental

La propuesta de diseño del sistema de trituración PET tiene impacto en la salud del medio ambiente en la región Arequipa y a su vez en el distrito Alto Selva Alegre, ya que al reducir la cantidad de envases PET no reciclado se contribuye a mitigar los efectos negativos que el plástico PET trae consigo a la flora y fauna local. En el Perú de 191,000

toneladas de residuos de envases de plástico PET, el 62.5% de estos se pierde en rellenos y botaderos y se recicla el 17.5%. Sin embargo, solo el 9.8% de estos residuos regresa a la industria de fabricación de envases PET (9), por lo que se espera que reciclaje efectivo de este material contribuya a la conservación de recursos naturales que disminuya la dependencia actual en materias primas vírgenes, en este enfoque se alinea con los objetivos globales de conservación ambiental y la lucha contra la contaminación plástica.

CAPÍTULO II:

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes del problema

2.1.1. Artículos de revistas

En su investigación Oyebade (10) evaluó y desarrollo una máquina de trituración y lavadora de botellas de plástico para realizar la gestión y reciclaje de los residuos. La metodología se basó en la realización del diseño de una maquina teniendo en cuenta la fácil operación, la seguridad, costo y eficiencia, cuya capacidad consta de 50 a 75kg de botellas por hora. El tamaño de trituración fue de un área entre 10mm*10mm, mediante cuchillas giratorias dispuestas en forma de sin fin. Otras características de la maquina fueron la tolva, la criba ajustable, la cámara de lavado y la bomba centrífuga. La eficiencia del reciclaje y el porcentaje de retención permitieron evaluar el rendimiento de la máquina, las cuales se operaron a velocidades de 350.2rpm, 187.5rpm, 273.8rpm; con una alimentación de 2.4kg/h, 1kg/h y 1.8kg/h. La máquina diseñada se podrá utilizar conjuntamente con la maquina lavadora y la maquina peletizadora de plástico dentro de la planta de reciclaje de plástico.

En su investigación Putra (11) diseño una maquina cuya función fue de trituración de PET, con el apoyo de un software de computadora CAD y fabricación asistida por computadora CA. La metodología se basó en diseñar esta máquina teniendo en cuenta el tiempo y la capacidad de trituración en diferentes velocidades de rotación de 1100, 1200 y 1000 cuchillas de revoluciones por minuto. Los resultados indicaron que el tiempo óptimo de trituración de plásticos de tipo HDPE de 2kg fue de 37seg. En 1200 revoluciones/min. Por lo que se concluye que los plásticos se HDPE se trituran rápido con un menor tiempo, este método ha sido evaluado y validado para cualquier operación de variación de reglaje que presente la velocidad de trituración, este tipo de plástico HDPE es más eficaz de triturar que el plástico PET. Se está dando un mejor uso de los residuos plásticos, que permiten reducir el uso general en la gestión de residuos plásticos.

En su investigación Igua (12) propuso una planta piloto para cubrir la necesidad de utilizar plásticos producto de los desperdicios, aquí se procesó el plástico para elaborar un ladrillo para viviendas autosostenibles. La metodología consistió en recolectar plástico, clasificarlo, triturarlo y finalmente fundirlo para obtener las características de un ladrillo. Para ello se diseñó máquinas para triturar el plástico, el cual consistía de un motor trifásico con controlador lógico para poder recibir las señales por los sensores, otro maquina se

encarga de extruir el plástico y luego compactarlo cuando se funde el mismo. Finalmente se forma el ladrillo que se somete a pruebas de resistencia, controles de temperatura y resistencia al calentamiento, convirtiéndolo en un ladrillo convencional. Se concluyo que el diseño de una extrusora tipo sin-fin para la elaboración de ladrillos es apropiada para satisfacer dichas condiciones de trabajo, además que cumple la normativa para las máquinas y su propósito.

2.1.2. Antecedentes Internacionales

En su estudio de Caviades (13) se enfoca en el proceso de trituración de las botellas de plástico, él realizo la búsqueda de información acerca de empresas dedicadas al recojo de botellas pequeñas y medianas. Así mismo, busco tecnologías para realizar la trituración del plástico, seleccionando subsistemas de máquinas para utilizar parámetros; Una vez elegida la tecnología para el subsistema de corte, se realizó el diseño de la máquina para cada una de las fases, analizando la estructura de la maquina por elementos finitos para saber si la maquina soporta la carga generada, sumado a ello se realizó el plano para la ubicación, componentes y finalmente el ensamblaje. Una vez realizado ello, se elaboraron los manuales y se determinó financiera del prototipo.

En su investigación Monroy (14) desarrollo un prototipo para una maquina trituradora de plástico destinada a elaborar hojuelas, tuvo como fin reducir la cantidad residuos que son desechados en grandes volúmenes y consideró que para la producción de este material es indispensable plantear la reutilización de estos desechos para reducir la basura desechable y promover esta práctica para propiciar fuentes de trabajo. La metodología consistió en realizar el proceso de trituración de los componentes del plástico con capacidades de 1.5 a 500 ml. Obtuvieron como resultados un material homogéneo de tamaño inferior a 1.5cm, empleando acero para el corte, todo fue considerando bajo las normas técnicas de la maquinaria, las cuchillas presentaron un grosor de 4.76 mm, obteniendo un prototipo que cumplía con el fin de elaborar hojuelas a partir de plásticos.

En su investigación Sandoval (15) se planteó realizar el diseño de elementos para la trituración del plástico teniendo el enfoque de la problemática en el mercado. La metodología consistió en recolectar plástico de tamaño pequeño, mediano y grande, luego se obtuvo un modelo para que la trituración sea la más adecuada el cual consistió en una trituradora a base de rodillos dobles con ajuste de camisa de acero uno en cada extremo, que a su vez se conectó a un elemento para el movimiento. El motor fue de potencia de 3 hp, con revolución de 870 rpm eléctrico, se calculó el torque de la trituradora, la fuerza

debido al torque y la fuerza por el factor de servicio. Se concluyo que este diseño mecánico es una propuesta para la minimización de este material y ejecuta su labor sin fallas.

En su investigación Bravo (16) brinda una alternativa frente a la problemática de los residuos de envases que no son reutilizados. Para ello elaboro un prototipo que pudiera insertarse en la cadena de reciclaje de este material y minimizar su impacto. Obteniendo como resultado un prototipo que presento una capacidad de trituración de 0.36 kg, además que podría ser adaptado a diferentes ambientes, agregando una técnica para el reciclaje de este material. Se concluyo que este prototipo ayuda a aplastar los envases, evitando el uso de elementos cilíndricos para esta labor lo cual dificulta la velocidad de arranque de las cuchillas en el proceso, aumentando su velocidad hasta 3 segundos en comparación con la maquinaria de cilindros proceso que es fundamental para elaborar pellets.

2.1.3. Antecedentes Nacionales

En el estudio Luque (17) realizo el proceso de transformación de plástico PET mediante el proceso de trituración para obtener partículas de menor tamaño en función a lo requerido. La metodología consistió en diseñar un prototipo de maquinaria destinada a triturar este material, así mismo se realizó la determinación de parámetros de la velocidad y la fuerza, se dimensiono los elementos que iba a constar la máquina, se elaboró los planos para su posterior fabricación. Así mismo se seleccionó el espesor de corte de 0.6mm. Una vez obtenido el producto fue sometido a fuerza de corte, dichos cálculos se realizaron con el apoyo de un programa en el que se simulo los elementos y posteriormente se hizo la comparación de los resultados obtenidos. Como resultado de obtuvo una fuerza de 3990N, con una velocidad de 75RPM y una potencia de 5 Hp.

En su investigación Monteza (18) comparo métodos para el diseño adecuado de una maquina extractora de material plástico, tomando como parámetros a los cálculos que obtuvieron los investigadores frente a la construcción de las piezas de la maquina y sus diferentes componentes. Concluyó que una empresa destinada a la trituración de los plásticos presento como problema el almacenamiento y el transporte, este tipo de prototipo es viable en lo económico por análisis que se realizó, generando una inversión de 605.9 soles para implementar este tipo de máquina. Además, se estableció la cantidad adecuada de botellas que ingresarían a la maquina por minuto siendo 60 botellas/min, con una velocidad de 300 rpm por 0.2 botellas y 100.8 kg/h.

En su investigación Monteza Chavez (19) diseño una maquina trituradora de botellas, con morfología adecuada y el software que empleo fue SolidWorks para poder

ser accesible el reciclaje con el eficiente manejo de estos residuos generados. Se adecuó un sistema fotovoltaico para reducir costos en la electricidad, siendo una energía renovable y amigable con el ambiente. Se realizó encuestas para conocer el consumo de plástico, teniendo una cantidad de 1674 botellas/día o 30kg/día. En el trabajo se realizó la fuerza de corte como cálculo, las poleas, bandas en forma V, la estructura y los ejes. Se determinó que los elementos esenciales son las cuchillas, el motor, engranajes, poleas, ejes. Además de ello se obtuvo como resultado que el sistema fotovoltaico permitió generar energía constando de 9 paneles, 3 reguladores y 6 baterías, con cables conductores.

En su investigación Lara (20) diseñó un molino para la trituración de polipropileno y polietileno, con una cantidad de 800 kg/h. La metodología se basó en el diseño de un molino con cuchillas de corte para el reciclado de plásticos, que a través de los cálculos ingenieriles de estructura portable, motor adecuado y de elementos se pudo tener en cuenta la técnica para el informe y la posterior elaboración de planos para la construcción. Los resultados mostraron que el precio de los elementos triturados fue de S/.5 por cada kilogramo sumado a ello se calculó la fuerza de cizalladura de 432.6N, el ángulo de corte que resultó 45°C con una velocidad de 1000 rpm a una potencia de 20HP y se determinó las medidas de la tolva que resultaron 50cm*1.25m*90cm así también el proceso de transmisión de fajas que fue de 3 tipo C80 y con eje principal de 100mm*1m.

En su investigación Baldera (21) diseñó un equipo para triturar botellas, en cual presentó una capacidad de trituración de 25kg por hora. El método se basó en recopilar los requerimientos técnicos por parte de la empresa mediante las entrevistas que se realizaron al personal de reciclaje, en ellos se mostró el interés que contar con una máquina que desempeñe las funciones mencionadas. Seguidamente, se ordenó los criterios como parámetros de ingeniería para la construcción, así mismo, se recolectó datos y las normativas correspondientes de la máquina, encontrándose que no existe normas específicas por lo que se basó en trabajos similares. Es así que se diseñaron 3 configuraciones, las cuales se seleccionaron en función a criterios de evaluación. Los resultados mostraron que los parámetros críticos para la porta cuchillas presentaron un diámetro en relación a un análisis paramétrico que se realizó, llegando a tener 1 ¼ según el acero AISI 1045, consiguiendo un factor de 3.2 de seguridad.

En su investigación Vera (22) diseñó una máquina que cumple las funciones de trituración. El método se basó en recolectar datos de diseños parecidos, posterior a ello se evaluó su selección a través de una matriz de ponderación. Luego se seleccionó las dimensiones adecuadas para la máquina, evaluándose por un análisis paramétrico en función a los engranajes, la bobina y la base, los componentes que se seleccionaron fueron

estándares. Los resultados mostraron que la inversión para el equipo fue de 1991.38 soles, el funcionamiento del equipo fue optimo llegando a tener un tamaño de partícula de 6 a 8mm a una temperatura entre 220 a 230°C, con 6 a 8 rpm de la revolución de la bovina y para la leva cilíndrica de 3 a 4 rpm, siendo viable para la posterior implementación.

2.1.4. Antecedentes Locales

En su investigación Cutipa (23) presento un diseño de una maquina destinada a la extrusión de polímeros termoplásticos, para materiales de merma de una universidad. Se generó un filamento de PLA (ácido poliláctico) para impresoras 3D. La metodología se basó en el uso de VDI 2221 y 2225, donde se estableció la estructura, elementos eléctricos y mecánicos. Se obtuvo una máquina con 111 Watts de trabajo del motor, con una velocidad de cuchillas de 13 rpm, con producción máxima de procesamiento de 2kg/h de PLA. El producto final fue la obtención de pellets resultado del triturado de piezas de impresoras.

En su investigación Prada (24) determino la factibilidad de la implementación de una planta de PET reciclado producto de la construcción. El método se basó en entrevistas, obteniendo como resultado que existe una intencionalidad de compra del producto de un 50% de los dueños de empresas ladrilleras y de asfalto, basados en este dato se determinó una posible demanda de 2002.49 toneladas de PET sumado a ello se determinó que se requieren 5,322 m2 para la implementación de la planta. Se concluyo que, la inversión fue de S/ 15,527,667.88 soles, siendo un indicador favorable para su implementación, cuyo VAN fue de S/12,617,527.87, con una tasa de retorno que llego a 41.56%, un tiempo de recuperación de 2 años y medio.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Máquina

Una máquina es un conjunto de componentes interconectados, conocidos como elementos de máquina, diseñados para convertir movimientos y fuerzas con un propósito determinado. (25)

2.2.2. Diseño

Es una tendencia que denota sofisticación, artificialidad y un costo elevado; es el estilo adoptado por aquellos que están obsesionados con proyectar una imagen ultramoderna en su hogar, vehículo y vestimenta. (26)

2.2.3. Maquina trituradora

Es un dispositivo mecánico concebido para disminuir el tamaño de una sustancia mediante la aplicación de fuerza. Este tipo de equipos se utilizan frecuentemente en la industria para procesar diversos tipos de materiales, desde rocas y minerales hasta desechos industriales y productos reciclables. A continuación, se desplegarán algunas bases teóricas vinculadas con las máquinas trituradoras (27).

2.2.3.1. Principio de operatividad

Las máquinas trituradoras operan conforme al principio elemental de aplicar fuerza para fracturar o comprimir el material. La fuerza puede generarse mediante distintos mecanismos, como el uso de mandíbulas, rodillos, conos o martillos, dependiendo del diseño particular de la trituradora (27).

2.2.3.2. Diversidad de trituradoras

Existen varios tipos de máquinas trituradoras, cada una diseñada con un propósito específico. Algunos ejemplos comprenden:

- *Trituradoras de mandíbula:* Utilizan dos placas metálicas para comprimir el material.
- *Trituradoras de impacto:* Utilizan la fuerza del impacto para quebrantar el material.
- *Trituradoras de cono:* Trituran el material entre un cono giratorio y una superficie estática.
- *Trituradoras de rodillos:* Compresión entre dos cilindros rotatorios.
- *Trituradoras de martillos:* Martillos oscilantes golpean el material para triturarlo.

2.2.3.3. Aplicaciones en la industria

Las máquinas trituradoras se emplean en diversas industrias, incluyendo la minería, la construcción, la demolición y el reciclaje. Pueden procesar materiales como piedra, concreto, madera, plástico, metal y otros. La elección de la trituradora adecuada depende del tipo de material y del tamaño de partícula deseado. (27)

2.2.3.4. Eficiencia y capacidad

La eficiencia de una máquina trituradora se mide por su capacidad para reducir el tamaño del material de manera efectiva. Factores como la velocidad de operación, la geometría de las piezas trituradoras y la potencia del motor influyen en la eficiencia y capacidad de la trituradora. (27)

2.2.3.5. Seguridad y mantenimiento

Dado que las máquinas trituradoras trabajan con fuerzas considerables, es imperativo garantizar la seguridad del personal. Dispositivos de seguridad, como sensores y sistemas de parada de emergencia, son cruciales. Además, un plan de mantenimiento preventivo es esencial para asegurar un funcionamiento óptimo y prolongar la vida útil de la máquina. (27)

2.2.3.6. Consideraciones medioambientales

En el contexto actual de la sostenibilidad, es crucial abordar las consideraciones medioambientales asociadas con el uso de máquinas trituradoras. Esto incluye la gestión adecuada de los residuos generados durante el proceso de trituración y la adopción de prácticas que minimicen el impacto ambiental. (27)

2.2.4. Trituradora de uno o dos ejes

es un artefacto mecánico creado con la finalidad de disminuir las dimensiones de un componente mediante la aplicación de fuerza. Este tipo de dispositivos son empleados con frecuencia en la industria para procesar una diversidad de elementos, desde rocas y minerales hasta residuos industriales y artículos reciclables. A continuación, se expondrán algunas bases conceptuales vinculadas con las máquinas desmenuzadoras:

2.2.4.1. Principio de operación

Las máquinas desmenuzadoras funcionan conforme al principio fundamental de aplicar fuerza para fracturar o comprimir el material. La fuerza puede generarse a través de distintos mecanismos, como el uso de mandíbulas, rodillos, conos o martillos, dependiendo del diseño particular de la desmenuzadora (27).

2.2.4.2. Variedades de desmenuzadoras

Existen múltiples clases de máquinas desmenuzadoras, cada una diseñada con un propósito específico. Algunos ejemplos comprenden:

- *Desmenuzadoras de mandíbula:* Utilizan dos láminas metálicas para comprimir el material.
- *Desmenuzadoras de impacto:* Emplean la fuerza del impacto para quebrantar el material.
- *Desmenuzadoras de cono:* Trituran el material entre un cono giratorio y una superficie estática.
- *Desmenuzadoras de cilindros:* Compresión entre dos cilindros rotatorios.
- *Desmenuzadoras de martillos:* Martillos oscilantes impactan el material para desmenuzarlo.

2.2.4.3. Aplicaciones en la industria

Las máquinas desmenuzadoras son utilizadas en diversas ramas industriales, incluyendo la minería, la construcción, la demolición y el reciclaje. Pueden procesar materiales como piedra, concreto, madera, plástico, metal y otros. La elección de la desmenuzadora adecuada depende del tipo de material y del tamaño de partícula deseado (27).

2.2.4.4. Eficiencia y capacidad

La eficiencia de una máquina desmenuzadora se mide por su capacidad para reducir el tamaño del material de manera efectiva. Factores como la velocidad de operación, la geometría de las piezas desmenuzadoras y la potencia del motor influyen en la eficiencia y capacidad de la desmenuzadora (27).

2.2.4.5. Seguridad y mantenimiento

Dado que las máquinas desmenuzadoras trabajan con fuerzas considerables, es fundamental garantizar la seguridad del personal. Dispositivos de seguridad, como sensores y sistemas de parada de emergencia, son esenciales. Además, un plan de mantenimiento preventivo es crucial para asegurar un funcionamiento óptimo y prolongar la vida útil del artefacto (27).

2.2.4.6. Consideraciones medioambientales

En el contexto actual de la sostenibilidad, es imperativo abordar las consideraciones medioambientales asociadas con el uso de máquinas desmenuzadoras. Esto incluye la gestión adecuada de los residuos generados durante el proceso de desmenuzado y la adopción de prácticas que minimicen el impacto ambiental (27).

2.2.5. Geometría de las cuchillas

La disposición morfológica de las cuchillas en una máquina desintegradora o fragmentadora es un aspecto crucial que afecta su eficacia y capacidad para procesar materiales. A continuación, se exploran aspectos vinculados con la morfología de las hojas cortantes:

2.2.5.1. Ángulo de corte

2.2.5.1.1. Ángulo de filo

La agudeza de las cuchillas, determinada por el ángulo de filo, incide en la capacidad de corte. Un ángulo más agudo puede ser eficaz para ciertos materiales, mientras que para otros puede ser más apropiado un ángulo menos pronunciado (27).

2.2.5.2. Forma de la hoja cortante

- *Cuchillas rectilíneas:* Proporcionan un corte directo y son eficaces para materiales más blandos.
- *Cuchillas curvas o dentadas:* Pueden ser más eficientes para la trituración de materiales más resistentes, ya que distribuyen mejor la fuerza a lo largo del filo (27).

2.2.5.3. Espaciado entre cuchillas

2.2.5.3.1. Distribución uniforme

Un espaciado constante puede brindar un procesamiento equitativo del material, evitando acumulaciones y asegurando una desintegración eficaz (27).

2.2.5.4. Número de cuchillas

2.2.5.4.1. Mayor cantidad de cuchillas

Puede incrementar la eficacia del proceso de desintegración al distribuir la carga de trabajo entre varias cuchillas (27).

2.2.5.5. *Material de las hojas cortantes*

La elección del material para las cuchillas influye en su durabilidad y capacidad para resistir el desgaste causado por la fricción y la abrasión con los materiales procesados (27).

2.2.5.6. *Orientación de las hojas cortantes*

- *Cuchillas estáticas:* Permanecen en una posición constante durante la operación. (27)
- *Cuchillas ajustables:* Permiten modificar la separación entre ellas para adaptarse a diferentes tamaños de material y optimizar la eficacia del proceso (27).

2.2.5.7. *Diseño de borde de corte*

2.2.5.7.1. *Borde aserrado*

Puede ser eficaz para la trituración de materiales más fibrosos o resistentes, brindando un agarre adicional al material (27).

2.2.5.8. *Simetría de las hojas cortantes*

2.2.5.8.1. *Simetría bilateral*

Cuchillas idénticas a ambos lados del eje, lo que puede contribuir a un desgaste más equitativo y facilitar el mantenimiento (27).

2.2.5.9. *Alineación y ajuste*

2.2.5.9.1. *Alineación precisa*

Asegura un rendimiento óptimo y evita problemas como la vibración excesiva o el desgaste desigual de las cuchillas (27).

2.2.6. *Numero de filos*

La cantidad de bordes en una hoja cortante es un aspecto esencial que afecta su capacidad para realizar cortes o desgarrar materiales. Aquí se exploran aspectos relacionados con el número de bordes en una hoja cortante:

2.2.6.1. *Número de bordes*

- *Cantidad de aristas: La multiplicidad de aristas en una hoja cortante incide directamente en su capacidad para realizar cortes precisos y eficientes. (27)*

2.2.6.2. Disposición de los bordes

- *Configuración de las aristas: La distribución y disposición de las aristas en una hoja cortante pueden variar, afectando la forma en que interactúan con el material durante el proceso de corte o desgarrado. (27)*

2.2.6.3. Bordes dobles o simples

2.2.6.3.1. Aristas dobles o individuales

Dependiendo de la aplicación, una hoja cortante puede tener bordes dobles en ambos lados o bordes individuales en un solo lado. (27)

2.2.6.4. Número de cortes por revolución

2.2.6.4.1. Cortes por giro

En el caso de hojas cortantes rotativas, el número de bordes puede influir en la cantidad de cortes realizados por cada revolución, afectando la eficiencia del proceso. (27)

2.2.6.5. Distribución espacial de los bordes

2.2.6.5.1. Espaciado entre aristas

La distancia entre los bordes en una hoja cortante puede tener implicaciones en la capacidad para manejar diferentes tipos de materiales y facilitar un corte más uniforme. (27)

2.2.6.6. Orientación de los bordes

2.2.6.6.1. Inclinación de las aristas

La inclinación de los bordes puede afectar la manera en que la hoja cortante penetra en el material y la resistencia que encuentra durante el proceso. (27)

2.2.6.7. Afilado de los bordes

2.2.6.7.1. Agudeza de las aristas

El grado de agudeza de los bordes es fundamental para la eficacia del corte, influenciando la capacidad de la hoja para dividir y desgarrar el material. (27)

2.2.6.8. Durabilidad de los bordes

2.2.6.8.1. Resistencia de las aristas

La capacidad de los bordes para mantener su nitidez y resistir el desgaste durante el uso prolongado es esencial para la vida útil de la hoja cortante. (27)

2.2.7. Ángulo de corte y superficie de agarre de las cuchillas

El grado de inclinación y el área de sujeción son elementos fundamentales en el diseño y operatividad eficaz de las láminas empleadas en variados dispositivos, tales como máquinas trituradoras o utensilios de corte. A continuación, se expande la base teórica relacionada con estos componentes:

2.2.7.1. Ángulo de Corte

El grado de corte se refiere a la inclinación o disposición geométrica de las hojas afiladas con respecto a la superficie del material a procesar. Este grado tiene un impacto significativo en la eficacia del procedimiento de corte y en la calidad del resultado obtenido. Algunos aspectos clave incluyen:

- *Ángulo de Inclinación:* Es el ángulo formado entre la hoja afilada y la superficie del material. Un ángulo más bajo, o afilado, generalmente facilita el corte en materiales blandos, mientras que un ángulo más alto, o amplio, es más efectivo para materiales más duros. (27)
- *Ángulo de Separación:* Se refiere al ángulo formado entre la hoja afilada y la dirección del movimiento de la cuchilla. Este ángulo influye en la facilidad con que la hoja puede penetrar y desprender el material. (27)
- *Ángulo de Filo:* Un ángulo más agudo en el filo de la hoja suele resultar en un corte más afilado y preciso. Sin embargo, este ángulo también afecta la resistencia de la hoja y su durabilidad. (27)

2.2.7.2. Superficie de Sujeción

La superficie de sujeción se refiere a la parte de la hoja afilada que entra en contacto con el material durante el procedimiento de corte. La forma y características de esta superficie son cruciales para garantizar una sujeción adecuada y una eficiente manipulación del material. Aspectos importantes incluyen:

- *Superficie Aserrada:* En ciertos casos, las hojas afiladas presentan una superficie aserrada para mejorar la sujeción, especialmente en materiales fibrosos o resistentes. (27)
- *Recubrimientos Antiadherentes:* Algunas hojas afiladas están recubiertas con materiales antiadherentes para prevenir la acumulación de residuos y facilitar el deslizamiento a través del material. (27)
- *Textura o Aspereza:* La textura de la superficie de sujeción puede variar para adaptarse a diferentes tipos de materiales, proporcionando una mejor tracción y evitando deslizamientos no deseados. (27)

2.2.7.3. Aplicaciones Prácticas

En el ámbito de las máquinas trituradoras, por ejemplo, un ángulo de corte adecuado y una superficie de sujeción bien diseñada son esenciales para garantizar la eficiencia del procedimiento de reducción de tamaño. Se deben tener consideraciones específicas, como el tipo de material a procesar, la velocidad de la cuchilla y la potencia del equipo, también influyen en la determinación óptima de estos parámetros. (27)

2.2.8. Grosor de las cuchillas

La amplitud de las hojas cortantes es un aspecto fundamental en el diseño y funcionamiento de herramientas y dispositivos que utilizan estas cuchillas cortantes. Este parámetro tiene un impacto directo en la fortaleza, durabilidad y eficacia de las hojas. A continuación, se desarrolla la base teórica relacionada con la amplitud de las hojas cortantes

2.2.8.1. Definición y Medición de la Amplitud

La amplitud de una hoja cortante se define como la separación entre las superficies opuestas de la hoja afilada. Se mide comúnmente en unidades de

longitud, como milímetros o pulgadas, y puede variar significativamente según la aplicación y el tipo de hoja. (16)

2.2.8.2. *Influencia en la Resistencia y Durabilidad*

La amplitud de las hojas tiene un impacto directo en su resistencia y durabilidad. Hojas más anchas tienden a ser más fuertes y resistentes, lo que es beneficioso para enfrentar materiales duros o para aplicaciones que implican cargas repetitivas. Sin embargo, este aumento en la resistencia a menudo se traduce en un mayor peso y consumo de energía durante el uso. (16)

2.2.8.3. *Efecto en la Precisión del Corte*

En algunas aplicaciones, la precisión del corte es un factor crítico. En estos casos, hojas más delgadas pueden ser preferidas, ya que permiten cortes más finos y precisos. La elección de la amplitud adecuada dependerá del equilibrio entre la necesidad de resistencia y la necesidad de precisión. (16)

2.2.8.4. *Tipos de Hojas según Amplitud*

- *Hojas Delgadas:* Utilizadas para cortes precisos en materiales más suaves. Son comunes en herramientas como cúteres y hojas de precisión. (16)
- *Hojas Medianas:* Son versátiles y se encuentran en diversas aplicaciones. Ofrecen un equilibrio entre resistencia y precisión, adecuadas para cortes generales. (16)
- *Hojas Gruesas:* Se emplean en situaciones que requieren una mayor resistencia y durabilidad, como en máquinas industriales para el procesamiento de materiales resistentes. (16)

2.2.8.5. *Materiales y Procesos de Fabricación*

La amplitud de las hojas está relacionada con los materiales utilizados en su fabricación. Materiales como aceros de alta resistencia permiten hojas más delgadas sin sacrificar la resistencia. Los procesos de tratamiento térmico y endurecimiento también influyen en la capacidad de las hojas para mantener su integridad estructural. (16)

2.2.8.6. *Mantenimiento y Afilado*

El mantenimiento adecuado de las hojas, que incluye el afilado regular, es esencial para preservar su rendimiento independientemente de la amplitud. El afilado de hojas más gruesas puede requerir técnicas específicas y equipos especializados. (16)

2.2.8.7. *Orientación de las cuchillas*

La posición de las láminas cortantes en una herramienta o máquina es un factor crucial que influye en el rendimiento y la eficacia del proceso de corte. A continuación, se desarrolla la base teórica vinculada con la posición de las láminas cortantes:

2.2.8.8. *Definición de la Posición*

La posición de las láminas cortantes se refiere a la dirección o disposición de los elementos con filo respecto al material que se va a cortar. Esta configuración es un aspecto esencial del diseño de herramientas y máquinas destinadas a llevar a cabo operaciones de corte. (16)

2.2.8.9. *Posición de las Hojas en Herramientas Manuales*

En herramientas manuales, como navajas o tijeras, la posición de las láminas cortantes puede variar según la finalidad de la herramienta. Por ejemplo, las tijeras de cocina tienen hojas que se cruzan entre sí, mientras que una navaja para tallar puede tener una disposición recta para permitir cortes precisos. (16)

2.2.8.10. *Posición en Equipos Industriales*

En equipos industriales, como desmenuzadoras o cortadoras automáticas, la posición de las láminas cortantes se proyecta para maximizar la eficiencia del proceso. Puede haber configuraciones donde las hojas giran en un solo eje, se desplazan en línea recta o adoptan patrones más complejos según el tipo de material que se está procesando. (16)

2.2.8.11. *Impacto en la Eficiencia del Corte*

La correcta posición de las láminas cortantes es esencial para lograr cortes nítidos y eficientes. Una disposición inapropiada puede resultar en desgarrones, resbalones o esfuerzos innecesarios, afectando negativamente la calidad del corte y la vida útil de las cuchillas. (16)

2.2.8.12. Posición para Materiales Específicos

La elección de la posición de las láminas cortantes puede depender del tipo de material que se está cortando. Por ejemplo, en materiales fibrosos, como textiles o papel, una disposición dentada o en forma de sierra puede ser más efectiva, mientras que, para materiales más duros, una posición recta podría ser preferible. (16)

2.2.8.13. Ajuste de la Posición

En algunas máquinas, especialmente aquellas diseñadas para una amplia gama de materiales, la posibilidad de ajustar la posición de las láminas cortantes puede ser una característica importante. Esto permite adaptarse a diferentes tipos de materiales y optimizar el rendimiento del corte. (16)

2.2.8.14. Mantenimiento y Alineación

La posición de las láminas cortantes también se relaciona con el mantenimiento y la alineación adecuada de las cuchillas. Un buen mantenimiento asegura que las láminas sigan la posición diseñada, evitando problemas como el desgaste desigual o la vibración excesiva. (16)

2.2.9. Rendimiento de la trituradora

El rendimiento de una trituradora es un componente crítico que evalúa la eficacia y la capacidad de este equipo para procesar y reducir el tamaño de diversos materiales. A continuación, se presenta la base teórica relacionada con el rendimiento de la trituradora:

2.2.9.1. Definición del Rendimiento

El rendimiento de una trituradora se refiere a la medida de su eficacia en la ejecución de la tarea para la cual fue diseñada. En el contexto de una trituradora, esto implica la capacidad de procesar una cantidad específica de material en un período determinado y con un resultado de reducción de tamaño deseado. (16)

2.2.9.2. Factores que Influyen en el Rendimiento

- **Potencia del Motor:** La potencia del motor de la trituradora juega un papel crucial en su rendimiento. Un motor más potente puede manejar materiales más duros y procesar grandes volúmenes de manera más eficiente. (16)

- *Diseño de las Cuchillas:* La eficacia de las cuchillas en la trituración afecta directamente el rendimiento. Un diseño adecuado, con cuchillas afiladas y bien posicionadas, contribuye a una trituración eficiente. (16)
- *Tipo de Material:* El tipo de material que se está triturando impacta significativamente en el rendimiento. Materiales más duros o resistentes pueden requerir más potencia y un diseño específico para optimizar la eficacia. (16)
- *Velocidad de Operación:* La velocidad a la que opera la trituradora es un factor clave. Un equilibrio adecuado entre la velocidad y la capacidad de procesamiento asegura un rendimiento óptimo sin comprometer la calidad del proceso. (16)

2.2.9.3. Capacidad de Producción

La capacidad de producción de una trituradora se relaciona con la cantidad de material que puede procesar en un período de tiempo determinado. Se mide comúnmente en términos de toneladas por hora o volumen específico, dependiendo de la aplicación. (16)

2.2.9.4. Eficiencia de Reducción de Tamaño

La capacidad de la trituradora para lograr la reducción de tamaño deseada en el material es esencial para evaluar su rendimiento. Una trituración eficiente significa que el material se reduce al tamaño requerido de manera efectiva y consistente. (16)

2.2.9.5. Mantenimiento y Durabilidad

La durabilidad de la trituradora y la frecuencia de mantenimiento también afectan su rendimiento a largo plazo. Un equipo bien mantenido tiende a mantener su eficacia y capacidad de rendimiento a lo largo del tiempo. (16)

2.2.9.6. Tecnologías Innovadoras

La incorporación de tecnologías innovadoras, como sistemas de control avanzados o diseños mejorados, puede contribuir significativamente a mejorar el rendimiento de la trituradora, optimizando la eficiencia y reduciendo posibles problemas operativos. (16)

2.2.10. Resistencia y rigidez del material

La tenacidad y robustez de un material son características mecánicas fundamentales que describen cómo un material contrarresta fuerzas y deformaciones. A continuación, se presenta la base teórica relacionada con la tenacidad y firmeza de los materiales:

2.2.10.1. Firmeza

La firmeza de un material alude a su capacidad para oponerse a cargas externas o fuerzas aplicadas sin sufrir deformaciones exageradas o fallos estructurales. Diversos tipos de firmeza destacan en este contexto:

- *Firmeza a la Extensión:* La capacidad de un material para enfrentar fuerzas que buscan alargarlo o estirarlo.
- *Firmeza a la Compresión:* La capacidad de un material para resistir fuerzas que tienden a comprimirlo o disminuir su volumen.
- *Firmeza al Corte:* La capacidad de un material para resistir fuerzas que buscan deslizar o cortar sus partes.
- *Firmeza a la Flexión:* La capacidad de un material para resistir fuerzas que pretenden doblarlo.
- *Firmeza a la Fatiga:* La capacidad de un material para enfrentar ciclos repetitivos de carga y descarga sin fallar. (28)

2.2.10.2. Rigidez

La solidez de un material refiere a su capacidad para resistir deformaciones elásticas bajo la aplicación de fuerzas externas. A medida que aumenta la solidez, disminuye la deformación experimentada por el material. La solidez está directamente vinculada con el módulo de elasticidad del material. (28)

2.2.10.3. Módulo de Elasticidad

El módulo de elasticidad, también llamado módulo de Young, constituye una medida de la solidez de un material. Indica la magnitud de la deformación elástica que experimentará un material en respuesta a una carga aplicada y se define como la relación entre el esfuerzo y la deformación. (28)

2.2.10.4. *Propiedades Anisotrópicas*

Algunos materiales presentan propiedades mecánicas que varían según la dirección en la que se aplican las fuerzas. Estos materiales son conocidos como anisotrópicos. La firmeza y solidez pueden diferir en diversas direcciones. (28)

2.2.10.5. *Influencia de la Temperatura y Humedad*

Las características mecánicas de un material, incluida su firmeza y solidez, pueden cambiar con la temperatura y la humedad. Algunos materiales exhiben un comportamiento más quebradizo a bajas temperaturas, mientras que otros pueden volverse más flexibles. (28)

2.2.10.6. *Elección de Materiales para Aplicaciones Específicas*

La elección de materiales para una aplicación particular se fundamenta en las propiedades de firmeza y solidez requeridas. Por ejemplo, materiales como el acero son seleccionados por su elevada firmeza, mientras que materiales compuestos pueden ser elegidos para combinar resistencia y ligereza. (28)

2.2.10.7. *Evaluaciones y Ensayos de Materiales*

Para determinar las propiedades de firmeza y solidez, se llevan a cabo evaluaciones y ensayos de materiales. Estos incluyen pruebas de extensión, compresión, flexión, entre otros, que suministran datos cuantitativos sobre el comportamiento mecánico de los materiales. (28)

2.2.11. *Efectos de la temperatura*

El impacto de la temperatura en los materiales y sistemas es un aspecto crucial que afecta diversas propiedades y comportamientos. A continuación, se presenta la base teórica relacionada con la influencia de la temperatura

2.2.11.1. *Expansión Térmica*

La expansión térmica es la ampliación de un material cuando se expone a temperaturas elevadas y su contracción cuando se enfría. Este fenómeno se debe al aumento de la energía cinética de las partículas, que generan una mayor separación entre ellas. (28)

2.2.11.2. *Alteraciones en la Estructura Cristalina*

Las altas temperaturas pueden ocasionar cambios en la estructura cristalina de los materiales. Por ejemplo, algunos materiales pueden experimentar transiciones de fase, pasando de una estructura cristalina a otra, lo que influye en sus propiedades mecánicas y eléctricas. (28)

2.2.11.3. Conductividad Térmica

La conductividad térmica de un material indica su capacidad para conducir el calor. A temperaturas elevadas, algunos materiales pueden volverse más conductivos, mientras que otros pueden experimentar alteraciones en su capacidad para transferir calor. (28)

2.2.11.4. Modificaciones en las Propiedades Mecánicas

Las propiedades mecánicas de los materiales, como la fortaleza y la elasticidad, pueden cambiar significativamente con la temperatura. Algunos materiales pueden volverse más quebradizos a bajas temperaturas, mientras que otros pueden volverse más flexibles. (28)

2.2.11.5. Extensión y Contracción

Los materiales se expanden con el aumento de la temperatura y se contraen al enfriarse. Este comportamiento puede tener implicaciones importantes en aplicaciones donde la precisión dimensional es crucial, como en la industria de la construcción y la manufactura de dispositivos. (28)

2.2.11.6. Cambios en la Conductividad Eléctrica

En algunos materiales, la temperatura puede afectar la conductividad eléctrica. Algunos conductores pueden experimentar un aumento en su resistencia eléctrica con el aumento de la temperatura, un fenómeno conocido como efecto Joule. (28)

2.2.11.7. Cambios en la Viscosidad

En líquidos y algunos polímeros, la temperatura puede afectar la viscosidad, que es la resistencia del material a fluir. A temperaturas más altas, muchos líquidos tienden a volverse menos viscosos, facilitando su flujo. (28)

2.2.11.8. Deformación Térmica

La expansión térmica puede dar lugar a deformaciones en estructuras y componentes. En ingeniería, se deben considerar los efectos de la temperatura en el diseño para evitar problemas como la tensión térmica y la distorsión. (28)

2.2.11.9. Estabilidad Química

Algunos materiales son sensibles a cambios de temperatura que pueden afectar su estabilidad química. Pueden experimentar reacciones químicas indeseadas o cambios en su composición a temperaturas extremas. (28)

2.2.11.10. Impacto en la Vida Útil

Las variaciones extremas de temperatura pueden afectar la vida útil de materiales y dispositivos. Las fluctuaciones térmicas repetidas pueden contribuir al agotamiento de materiales y a la degradación de componentes. (28)

2.2.12. Selección de Materiales

La elección adecuada de materiales es crucial en el diseño de cualquier sistema mecánico. Factores como resistencia, rigidez, peso, durabilidad y costo deben considerarse. Para seleccionar plásticos, es esencial evaluar sus propiedades mecánicas, térmicas, químicas y eléctricas, así como su comportamiento bajo condiciones específicas de servicio. (28)

2.2.12.1. Configuración de Eje

La configuración del eje en un sistema mecánico se refiere a su forma y dimensiones. Para diseñar un eje eficiente, es necesario considerar la carga que debe soportar, la velocidad de rotación, la transmisión de potencia y otros factores ambientales. La correcta selección del material del eje y su geometría son cruciales para garantizar su resistencia y durabilidad. (28)

2.2.12.2. Diseño de Ejes para el Esfuerzo

El diseño de ejes implica analizar y calcular las cargas y esfuerzos a los que estarán sometidos. Se deben considerar factores como la flexión, torsión, fatiga y otros tipos de cargas. El material del eje, su diámetro y longitud se determinan para garantizar que el eje cumpla con las especificaciones de resistencia y seguridad bajo las condiciones de carga previstas. (28)

2.2.13. Comportamiento Mecánico de Plásticos

Los plásticos exhiben un comportamiento mecánico único en comparación con materiales metálicos. Tienen una deformación plástica considerable antes de la rotura y pueden presentar comportamiento viscoelástico. La resistencia a la tracción, la compresión, la flexión y otros modos de carga deben considerarse al analizar el comportamiento mecánico de los plásticos. Además, factores como la temperatura y la velocidad de carga pueden afectar significativamente sus propiedades mecánicas. (28)

2.2.13.1. Comportamiento Físico de Polímeros

La conducta física de los polímeros abarca diversas características, y una de ellas es el comportamiento viscoelástico, que se refiere a la combinación de propiedades viscosas y elásticas de estos materiales. (29)

2.2.13.2. Conducta Viscoelástica de los Polímeros

La conducta viscoelástica de los polímeros describe su capacidad para mostrar tanto características viscosas como elásticas en respuesta a esfuerzos aplicados. Esta propiedad es fundamental en el análisis del comportamiento físico de los plásticos, ya que afecta su respuesta a cargas y deformaciones a lo largo del tiempo. (29)

2.2.13.3. Polímero Termoplástico

El polímero termoplástico es un tipo de polímero ampliamente utilizado, conocido por sus propiedades termoplásticas y termoestables. Puede encontrarse en diversas formas, como fibras textiles, películas plásticas y resinas, y es conocido por su resistencia al desgaste y durabilidad. (29)

2.2.13.4. Tereftalato de Polietileno (PET)

El tereftalato de polietileno (PET) es un polímero termoplástico comúnmente utilizado en la fabricación de envases, textiles y películas. Su versatilidad, transparencia y resistencia química lo hacen popular en diversas aplicaciones. (29)

2.2.13.5. Oscilación

La oscilación es un fenómeno físico que involucra el movimiento oscilatorio de un objeto alrededor de una posición de equilibrio. Este fenómeno puede estudiarse a través de varios conceptos clave:

2.2.13.6. Frecuencia y Periodo

- La frecuencia se refiere al número de oscilaciones por unidad de tiempo. (29)
- El periodo es la duración de un ciclo completo de oscilación. (29)

2.2.13.7. Vibración Libre

- La oscilación libre ocurre cuando un sistema oscila sin ninguna fuerza externa aplicada después de una perturbación inicial. (29)
- La frecuencia natural del sistema influye en la oscilación libre. (28)

2.2.13.8. Oscilación Forzada

- La oscilación forzada implica la aplicación de una fuerza externa periódica al sistema.
- La frecuencia de la fuerza externa puede coincidir o no con la frecuencia natural del sistema. (28)

2.2.13.9. Resonancia

La resonancia ocurre cuando la frecuencia de la fuerza externa coincide con la frecuencia natural del sistema, lo que resulta en una amplificación significativa de la amplitud de oscilación. Controlar la resonancia es crucial en el diseño de estructuras para evitar daños o fallas. (28)

2.2.14. Análisis mediante Elementos Finitos

La evaluación a través de elementos finitos (AEF) constituye una técnica numérica utilizada para resolver problemas complejos en ingeniería y ciencias aplicadas mediante la subdivisión de un dominio en elementos más pequeños conocidos como elementos finitos. Estos elementos representan áreas discretas del dominio y se conectan entre sí en puntos de conexión. El propósito fundamental del análisis mediante elementos finitos es aproximar la solución de ecuaciones diferenciales parciales (EDP) que describen el comportamiento físico del sistema bajo estudio (28). Las bases teóricas del AEF se apoyan en conceptos matemáticos y físicos. Aquí se resaltan algunos elementos clave

2.2.14.1. Descomposición del Dominio

El dominio del problema se fragmenta en elementos finitos que pueden adoptar diferentes formas, como triángulos o cuadriláteros en problemas bidimensionales, y tetraedros o hexaedros en problemas tridimensionales. (28)

2.2.14.2. Funciones de Configuración

Se utilizan funciones de configuración para describir las variaciones dentro de cada elemento finito. Estas funciones son polinomios que se definen en términos de coordenadas locales y se fusionan para representar las deformaciones y desplazamientos en todo el dominio. (28)

2.2.14.3. Matriz de Rigidez

Cada elemento finito contribuye a una matriz de rigidez global, que representa la relación entre las fuerzas y los desplazamientos en el sistema. La combinación de estas matrices de rigidez de todos los elementos finitos conforma el sistema global de ecuaciones. (28)

2.2.14.4. Condiciones de Bordes

Las condiciones de bordes se aplican para representar el comportamiento del sistema en los límites. Estas condiciones pueden ser restricciones en desplazamientos o fuerzas aplicadas en ciertos puntos. (28)

2.2.14.5. Método de Resolución

Se emplean métodos numéricos para resolver el sistema de ecuaciones resultante, como el método de eliminación gaussiana, el método de la matriz inversa, o métodos iterativos como el método de Newton-Raphson. (28)

El AEF se implementa en diversos campos, como ingeniería estructural, mecánica de fluidos, transferencia de calor, electromagnetismo, entre otros, proporcionando soluciones aproximadas a problemas complejos que a menudo carecen de solución analítica. (28)

2.2.15. Restricciones en los Límites

Las restricciones en los límites son limitaciones que se imponen en el análisis de sistemas físicos para representar de manera realista el entorno en el que se encuentra el sistema. Estas limitaciones son esenciales para asegurar la solución única y adecuada del problema.

2.2.15.1. Tipos de Restricciones en los Límites

- *Dirichlet*: Se especifican valores de variables en ciertos puntos o límites del dominio.
- *Neumann*: Se especifican gradientes o tasas de cambio en ciertos puntos o límites.
- *Robin*: Combinación lineal de condiciones Dirichlet y Neumann. (28)

2.2.15.2. Implicaciones Físicas

Las restricciones en los límites reflejan la interacción del sistema con su entorno pueden representar restricciones geométricas, térmicas, mecánicas u otras dependiendo del tipo de problema. (28)

2.2.15.3. Consistencia con el Problema Físico

Las restricciones en los límites deben ser coherentes con la realidad física del problema, la elección inadecuada de restricciones en los límites puede conducir a soluciones no físicas. (28)

2.2.15.4. Incorporación en el Análisis Numérico

Las restricciones en los límites se integran en el análisis mediante elementos finitos mediante la aplicación de restricciones en los nodos correspondientes. (28)

2.2.15.5. Validación y Verificación

La elección correcta y la aplicación precisa de restricciones en los límites son cruciales para obtener resultados confiables y realistas.

La validación de los resultados mediante comparación con soluciones analíticas o experimentales ayuda a garantizar la precisión del análisis. (28)

2.2.16. Procesos de maquinado

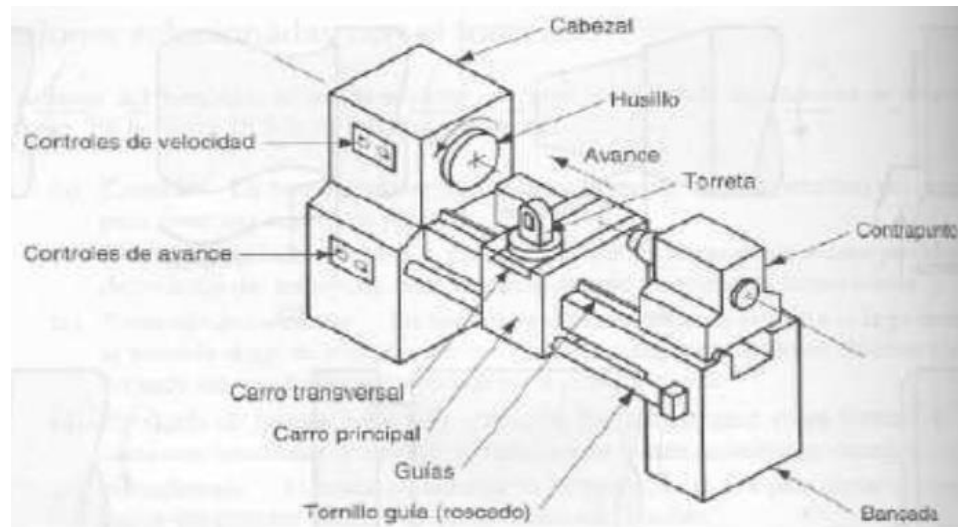
2.2.16.1. Torneado

Es un proceso de mecanizado en el que se genera material mediante la eliminación de virutas, para crear componentes con formas cilíndricas, cónicas o esféricas, utilizando un movimiento rotativo constante alrededor del eje fijo de la

pieza. Utiliza un instrumento de corte con un filo único que se utiliza para eliminar material de una pieza mientras se gira para crear un objeto cilíndrico. En la Figura 1, se muestran las partes de un torno básico. (30)

Figura 1

Partes de un torno mecánico básico



Nota. El gráfico representa las partes de un torno mecánico básico. Tomado de (30)

2.2.16.2. Fresado

El fresado es un método de mecanizado en el que una pieza de trabajo se desplaza frente a una herramienta cilíndrica con múltiples filos cortantes. El eje de rotación de la herramienta cortante es perpendicular a la dirección de avance. La principal diferencia entre el fresado y el taladrado radica en esta disposición entre el eje de la herramienta y la dirección del movimiento.

En el fresado, los dientes de la fresa entran y salen del material en cada giro, lo que evita un corte continuo y somete a los dientes a ciclos de impacto y cambios térmicos constantes. Por ello, tanto la forma del cortador como el material de la herramienta deben estar diseñados para resistir estas condiciones.

Este proceso permite principalmente la creación de superficies planas, aunque la forma de la herramienta de corte o su trayectoria pueden generar diversas geometrías. Gracias a su flexibilidad y eficiencia en términos de velocidad de producción, el fresado se destaca como una de las técnicas de mecanizado más versátiles y ampliamente utilizadas en la industria. (30)

2.2.16.3. Esmerilado

Se trata de un método de eliminación en el cual una rueda compuesta por partículas abrasivas, llamadas granos, gira a una velocidad elevada para eliminar material de una pieza en pequeñas cantidades a la vez, lo que permite obtener acabados de calidad y tolerancias precisas en la pieza trabajada. (31)

2.2.16.4. Soldadura

Es un proceso típico para unir dos materiales, generalmente metales o termoplásticos. Este proceso consiste en fundir las dos piezas y luego agregar material fundido, ya sea metal o plástico, para formar un punto de soldadura. Este punto de soldadura une las piezas una vez que se enfrían. Los rayos láser, el arco eléctrico, los rayos de electrones, las técnicas de fricción o las tecnologías de ultrasonido pueden usarse para soldar.

La soldadura se lleva a cabo tanto dentro como fuera de las instalaciones industriales, bajo el agua e incluso en el espacio. Sin embargo, debido a los riesgos asociados, como quemaduras, exposición a gases tóxicos y otros peligros derivados de la radiación ultravioleta, es fundamental seguir estrictas normas de seguridad. (30)

2.3. Definición de términos básicos

2.3.1. Plásticos

Los plásticos son materiales poliméricos que pueden ser moldeados y conformados mediante procesos térmicos o químicos. Se caracterizan por su capacidad de deformarse plásticamente, es decir, de adquirir una forma específica al aplicar calor o presión. Existen diferentes tipos de plásticos, clasificados en termoplásticos y termoestables, y sus propiedades varían según la estructura molecular y la forma de procesamiento. (28)

CAPÍTULO III:

METODOLOGÍA

3.1. Metodología aplicada para el desarrollo de la solución

3.1.1. Tipo de investigación

Según Espinoza (32) existen dos tipos de investigación, la primera es la investigación básica cuyo propósito es ampliar el conocimiento científico, tiene niveles que van desde exploración, descripción y explicación, por otro lado la investigación tecnológica tiene como propósito aplicar el conocimiento de la ciencia ya existente para solucionar diferentes problemáticas que beneficien a la sociedad, sus niveles son la experimentación y la aplicación, por un lado la investigación experimental se refiere a la manipulación de la variables de investigación cuya relación es causal y tiene como finalidad crear conocimientos nuevos, por otro lado la investigación aplicada tiene como propósito aplicar los resultados de las investigaciones experimentales anteriores, para diseñar tecnologías que ayuden a la solución de problemas en la sociedad.

Por ello, el tipo de investigación es tecnológico-aplicativo, ya que este estudio se centra en la aplicación práctica del conocimiento existente en ingeniería mecánica para abordar un problema y generar soluciones concretas. En este caso, el objetivo es diseñar un sistema de trituración de envases PET para una planta de reciclaje en el distrito de Alto Selva Alegre. La investigación aplicada se distingue por aprovechar conocimientos previos y validados, basándose en teorías, principios y metodologías previamente desarrolladas. En este estudio, se emplean conceptos de diseño de máquinas y mecanismos, tecnologías de reciclaje y resistencia de materiales. Además, la investigación aplicada se caracteriza por su enfoque práctico y orientado a la búsqueda de soluciones tangibles, en lugar de centrarse únicamente en la generación de teorías o la comprensión abstracta de fenómenos. En este contexto, se busca diseñar un sistema de trituración funcional y viable para su implementación en la planta de reciclaje. La finalidad principal de esta investigación aplicada es contribuir al avance tecnológico y mejorar los procesos de reciclaje en el sector.

3.1.1.1. Desarrollo de la metodología

Para el diseño, es fundamental considerar diversos criterios que garanticen un resultado confiable, teniendo en cuenta las condiciones, exigencias y prioridades del

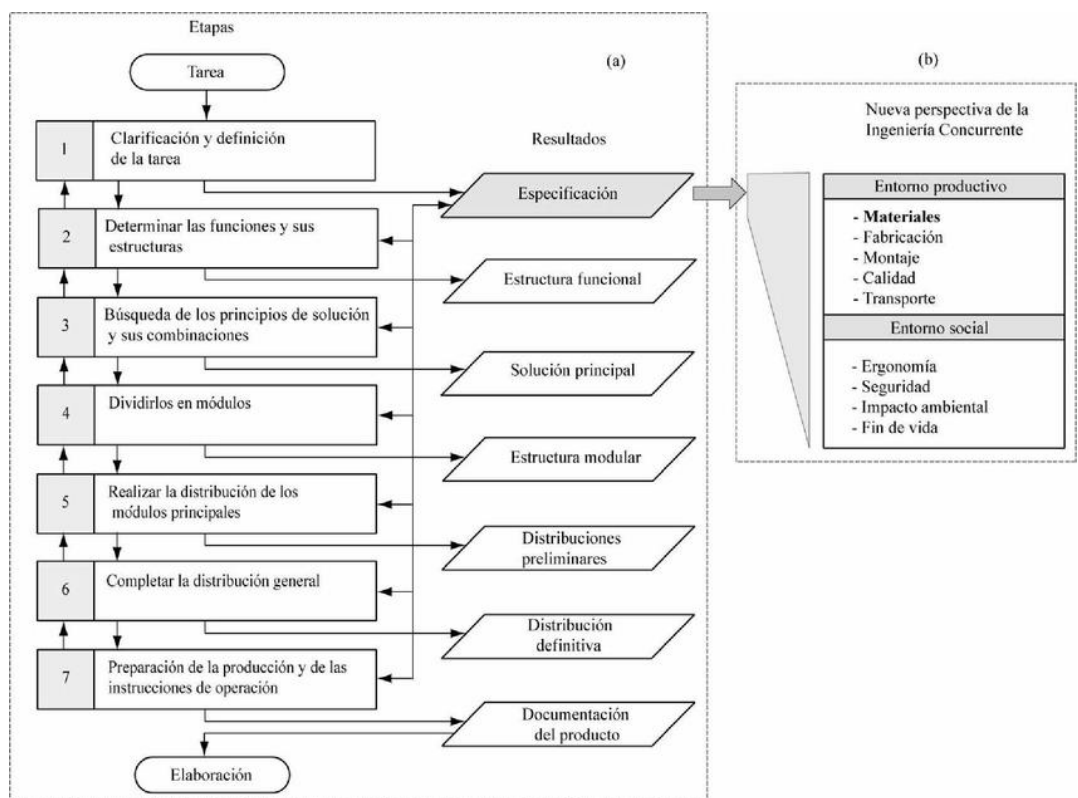
proyecto. El desarrollo de estos elementos se basa en la aplicación del método VDI 2221, lo que permite una implementación óptima y el cumplimiento de los estándares exigidos en el diseño.

Se optó por la aplicación del método VDI 2221 debido a su enfoque sistemático y estructurado para el desarrollo eficiente de productos. A diferencia del enfoque TRIZ, que se centra en la resolución de problemas técnicos mediante la innovación y la aplicación de principios inventivos para encontrar soluciones disruptivas, el método VDI 2221 prioriza la eficiencia en el diseño. Dado que el objetivo de este estudio no es una innovación radical, sino la optimización del diseño, se considera que el enfoque VDI 2221 es el más adecuado para este proyecto.

La siguiente figura ilustra el proceso de desarrollo conforme al enfoque VDI 2221.

Figura 2

Etapas del Proceso de Diseño



Nota. Etapas del proceso de diseño según la norma VDI 2221. Tomado de (33)

3.1.1.2. Lista de exigencias

- Analizar la situación del problema
- Comprobar las posibilidades de realización
- Completar las exigencias y colocar prioridades
- Detallar la lista de exigencias
- Planear el desarrollo del problema

3.1.1.3. Determinación de la estructura de funciones

- Idealizar Black – box
- Identificar los principios tecnológicos
- Identificar la secuencia de las operaciones
- Fijar el proceso optimo
- Identificar la aplicación de los sistemas técnicos y sus limitaciones
- Identificar la agrupación de las funciones
- Identificar la estructura de función óptima, mejorar y verificar

3.1.1.4. Identificar el concepto de soluciones

- Identificar los inputs
- Matriz morfológica
- Combinar los portadores de funciones
- Identificar el concepto óptimo

3.1.1.5. Determinación de proyecto preliminar

- Identificar los puntos de orientación para elaborar la forma
- Identificar el tipo de material, procesos de fabricación, tolerancia y acabado superficial en cada uno de los casos

- Presentar el proyecto preliminar
- Identificar el proyecto de preliminar a óptimo, mejorar, evaluar y verificar

3.1.1.6. Determinación del proyecto

- Fundamentar prioridades del diseño
- Dimensionar
- Definir material y los procesos de fabricación
- Optimizar zonas de configuración
- Proyecto óptimo del diseño

3.1.1.7. Elaboración de detalles

- Elaboración de las formas, dimensionar definitivamente y completamente
- Definir montaje
- Representar las piezas, dimensionadas, tolerancias, acabado superficial y material
- Planos de conjunto lista de piezas (de despiece) y otros documentos

CAPÍTULO IV:

ANÁLISIS Y DISEÑO DE LA SOLUCIÓN

Para la realización del diseño se procede a analizar algunas opciones que se encuentran comercialmente o a pedido especializado, por lo cual los costos varían y son considerablemente altos.

4.1. Estado de la Tecnología

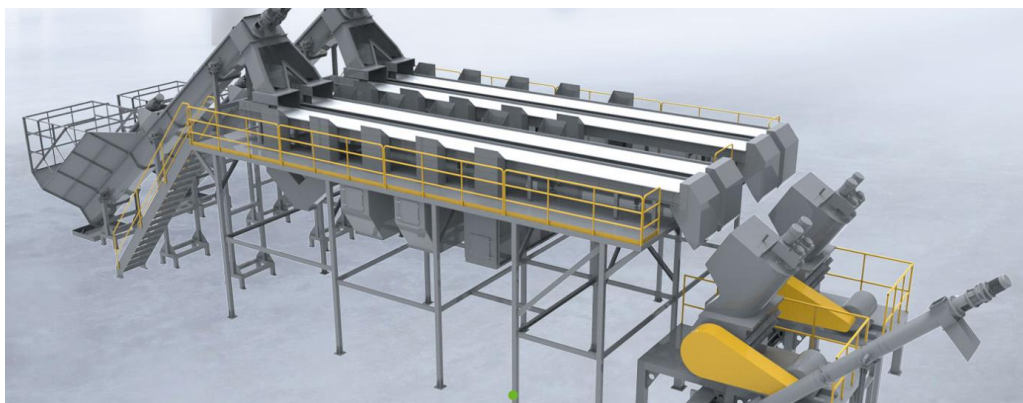
4.1.1. Trituradora Boretech

De acuerdo a la página web de la empresa Boretech muestra una trituradora con capacidad de trabajo desde 500 a 4000 kg/h, también describe algunas características de materiales y fabricación para cumplir con las exigencias del trabajo. Dentro de las principales características se menciona el uso de cuchillas rotativas y la cámara de trituración de alta resistencia.

Al ser una empresa de china, los costos de importación y los tiempos son considerables y son un factor importante en la toma de decisiones.

Figura 3

Trituradora Boretech



Nota. Línea de trabajo de plástico PET. Tomado de (34)

4.1.2. Trituradora Shuliy

Esta pertenece al grupo Shuliygroup y cuenta con líneas de trabajo para reciclaje de plástico, la capacidad de trabajo desde 500 a 3000 kg/h. Muestra algunos parámetros de resultados en los PETS obtenidos como por ejemplo Impurezas totales menores a 320 ppm entre otras. También especifica que los PETS obtenidos deben pasar a otra etapa de lavado. La trituradora se muestra en la figura siguiente.

Figura 4

Trituradora Shuliy



Nota. Trituradora de plástico PET. Tomado de (35)

Al ser una empresa asiática, los costos de importación y los tiempos son considerables y son un factor importante en la toma de decisiones.

4.2. Identificación de requerimiento

4.2.1. Capacidad de trabajo y consideraciones del sistema de trituración de envases PET para el distrito de Alto Selva Alegre

Se debe realizar una entrevista con el cliente, quien proporcionará información clave para dimensionar correctamente el sistema de trituración de envases PET. Los datos incluyen la cantidad de botellas PET que se desea triturar mensualmente, así como el porcentaje de bolsas plásticas y botellas PET estimadas en la planta de reciclaje.

Asimismo, se facilitará el porcentaje de botellas recolectadas clasificadas según su volumen, lo que implica variaciones en tamaño y geometría que deben considerarse en el diseño del sistema de trituración. Finalmente, también se proporcionará información sobre las marcas de botellas más comunes en la recolección y su respectivo porcentaje de presencia.

Tabla 1*Botellas PET por mes*

CANTIDAD DE BOTELLAS PET POR MES		
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD
P.E.T	TONELAJE	3

Nota. Se puede apreciar la cantidad de botellas PET que se desea triturar al mes. Elaboración propia.

Tabla 2*Porcentaje de Plásticos y Botellas PET*

PORCENTAJE DE PLASTICOS Y BOTELLAS PET		
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD (TONELADAS)	PORCENTAJE
BOLSAS	0.45	15%
BOTELLAS	2.55	85%
TOTAL	3.00	100%

Nota. Se puede apreciar el porcentaje de plásticos y botellas PET. Elaboración propia.

Tabla 3*Porcentaje de botellas PET según su volumen*

PORCENTAJE DE BOTELLAS PET SEGÚN SU VOLUMEN		
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD (TONELADAS)	PORCENTAJE
BOTELLAS 3L	1.20	40%
BOTELLAS 2L - 2.5L	0.75	25%
BOTELLAS 1.5L	0.45	15%
BOTELLAS 0.5 L	0.60	20%
TOTAL	3.00	100%

Nota. Elaboración propia.

Cuando nos referimos a capacidad de trabajo de la maquina trituradora, consideramos que es el rango de capacidad que se puede procesar por día, es decir el flujo masico que la maquina procesara en un día.

Tabla 4*Cantidad de botellas y bolsas por mes*

CANTIDAD DE BOTELLAS Y BOLSAS POR MES			
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PORCENTAJE
BOLSAS	Toneladas	0.45	15%

BOTELLAS	Toneladas	2.55	85%
TOTAL	Toneladas	3	100%

Nota: Se puede observar la cantidad de botellas y bolsas .Elaboración propia

Tabla 5

Calculo de la capacidad del sistema de trituración

CAPACIDAD DEL SISTEMA DE TRITURACIÓN				
VOLUMEN	PORCENTAJE	PESO/MES (TN/MES)	PESO/DÍA (TN/DÍA)	PESO/DÍA (KG/DÍA)
Botellas 3L	40	1.02	0.051	51
Botellas 2L -2.5L	25	0.6375	0.031875	31.875
Botellas 1.5 L	15	0.3825	0.019125	19.125
Botellas 0.5 L	20	0.51	0.0255	25.5
TOTAL				127.5

Nota: Se observa el cálculo de la capacidad del sistema de trituración. Elaboración propia

El flujo másico que la maquina procesara en un día en una planta de reciclaje en el distrito de Alto Selva Alegre suma un total de 127.5 kg/día. Considerando que al día se dispone para realizar la actividad de triturado durante 4 horas, la capacidad de la maquina deberá ser de 31.875 kg/h, redondeando nos quedaría 32 kg/h.

Según la entrevista con el cliente esta capacidad es suficiente para la demanda proyectada en el distrito.

4.2.1.1. Calidad del producto triturado

Esto se refiere al diámetro de grano (hojuelas PET) que se obtendrán del proceso de trituración, según Cuaical (36) se prefiere un diámetro de 15.5 mm, así como para obtener una buena calidad de material antes de triturar se debe retirar la tapa cuyo material de fabricación es el polipropileno, y también retirar la etiqueta, para asegurar un buen resultado de producto se debe realizar un lavado previo a la botella.

4.2.1.2. Dimensionamiento

El rango de las botellas que serán trituradas va desde 500ml a 3L, el tamaño máximo permitirá obtener un dimensionado del eje, su longitud y diámetro.

Consideraciones adicionales para el diseño de la máquina:

Tabla 6*Dimensiones de botellas PET según capacidad*

DIMENSIONES DE BOTELLAS PET SEGÚN CAPACIDAD			
CAPACIDAD	LONGITUD (MM)	DIÁMETRO (MM)	DIÁMETRO TAPA (MM)
BOTELLAS 3L	360	120	28
BOTELLAS 2L -2.5L	270	118	28
BOTELLAS 1.5 L	250	110	28
BOTELLAS 0.5 L	200	70	28

Nota: Se observa las Dimensiones de botellas PET según capacidad. Elaboración propia

4.2.1.3. Selección de materiales

La máquina de trituración debe ser diseñada con materiales con buena resistencia a la corrosión, esto permitirá no afectar la calidad del producto triturado.

4.2.1.4. Acumulación de material

La tolva de salida debe tener un ángulo de inclinación adecuado para evitar atascos y permitir un almacenamiento eficiente del material procesado.

4.2.1.5. Velocidad de los sistemas

Al seleccionar el motor, es crucial considerar las velocidades críticas de los ejes para garantizar un funcionamiento seguro y eficiente de la máquina.

4.2.1.6. Anclaje

La estructura de soporte debe estar correctamente anclada al suelo para evitar problemas de estabilidad debido a las vibraciones de la máquina.

4.2.1.7. Nivel de ruido

Se debe tener en cuenta el nivel de ruido emitido por el dispositivo al seleccionar la banda del sistema de transmisión de potencia, con el objetivo de garantizar un ambiente de trabajo seguro y cómodo para los operarios.

4.2.1.8. Consumo de energía

Se busca minimizar el consumo de energía del motor para reducir costos operativos y maximizar la eficiencia energética.

4.2.1.9. Mantenimiento y seguridad

El diseño deberá permitir una fácil inspección por parte de los operarios, también se debe realizar el diseño considerando el tamaño promedio de una persona para evitar posibles accidentes con las cuchillas y la proximidad a la tolva.

4.2.1.10. Potencia nominal

Se busca una potencia nominal relativamente baja que permita cumplir eficazmente con las tareas requeridas, en línea con el objetivo de minimizar el consumo energético.

4.2.1.11. Costo

Es fundamental que la máquina sea eficiente en su desempeño, pero también debe mantener un costo accesible para su adquisición y operación.

4.2.1.12. Sistema de enfriamiento

Es necesario seleccionar un sistema de enfriamiento eficaz para prevenir el sobrecalentamiento de las cuchillas y prolongar su vida útil.

4.2.1.13. Otras consideraciones específicas

4.2.1.13.1. Selección de poleas

Es necesario realizar procesos iterativos para encontrar las dimensiones adecuadas de las poleas de acuerdo con la potencia del motor.

4.2.1.13.2. Diseño del eje:

Es importante considerar las fuerzas de trabajo y las condiciones a las que estará sometido el eje, siendo flexible en las dimensiones del espesor debido a las deformaciones que puedan ocurrir por las soldaduras.

4.2.1.13.3. Cámara de corte:

Debe diseñarse sin sujeciones internas para evitar choques y contar con una lámina guía para asegurar que la botella gire en la dirección correcta durante el proceso de corte.

4.2.1.13.4. *Perfiles para la estructura de soporte:*

Deben ser fabricados con un material rígido y fácil de soldar para garantizar la estabilidad y durabilidad de la máquina.

4.2.1.13.5. *Selección de chumaceras:*

Se debe tomar en cuenta la carga máxima que soportarán para garantizar su eficacia y durabilidad.

4.3. Lista de exigencias:

Tabla 7

Lista de exigencias

LISTA DE EXIGENCIAS				
PROYECTO:	DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRITURACIÓN DE ENVASES PET			FECHA:
CLIENTE:				12/02/2024
FECHA (CAMBIOS)	DESEO O EXIGENCIA	DESCRIPCIÓN	RESPONSABLE	
12/02/2024	E	Función principal: Triturar envases PET	Alonso Tinta	
12/02/2024	D	Función secundaria: reducir el volumen de envases PET	Alonso Tinta	
12/02/2024	E	Geometría: los envases de mayor tamaño a triturar son las botellas PET de 3 litros, las dimensiones de la máquina no deben superar el largo de 5m por ancho de 3 metros y altura de 2.2 metros	Alonso Tinta	
12/02/2024	E	Frecuencia de uso: La máquina trituradora debe operar entre 4 a 8 horas por día de manera intermitente.	Alonso Tinta	
12/02/2024	E	Condiciones atmosféricas: El sistema deberá estar en reposo, en un ambiente cerrado, aislado de las condiciones atmosféricas presentes en el distrito de Alto Selva Alegre	Alonso Tinta	

12/02/2024	E	Energía: se requiere energía eléctrica trifásica de 380 Voltios por la potencia del motor y el peso de las cuchillas. Se puede evaluar alimentación monofásica.	Alonso Tinta
12/02/2024	D	Señales Información: se contará con un protocolo de utilización.	Alonso Tinta
12/02/2024	D	Electrónica: Contara con PLC, sensores y actuadores.	Alonso Tinta
12/02/2024	E	Seguridad: El sistema debe ser diseñado con las condiciones de seguridad previstas en las normas y leyes 29783 y NTP	Alonso Tinta
12/02/2024	D	Ergonomía: La posición del mecanismo debe ser la más adecuada para el uso humano considerando una interfaz simple e intuitiva.	Alonso Tinta
12/02/2024	E	Fabricación: el mecanismo deberá ser fabricado con materiales que se encuentren en el mercado local.	Alonso Tinta
12/02/2024	D	Transporte: La máquina tendrá una forma compacta para su fácil traslado.	Alonso Tinta
12/02/2024	D	Mantenimiento: Fácil acceso a las piezas que requieran reemplazo o reparación.	Alonso Tinta
12/02/2024	D	Uso: el sistema será diseñado para uso en el sector industrial de reciclaje.	Alonso Tinta
12/02/2024	D	Costos: el costo de fabricación no deberá sobrepasar la cifra de S/20 000	Alonso Tinta
12/02/2024	E	Plazos: se debe entregar el proyecto antes del 10 de diciembre del 2024	Alonso Tinta

Nota: Se tiene la Lista de exigencias Elaboración propia

4.4. Caja negra

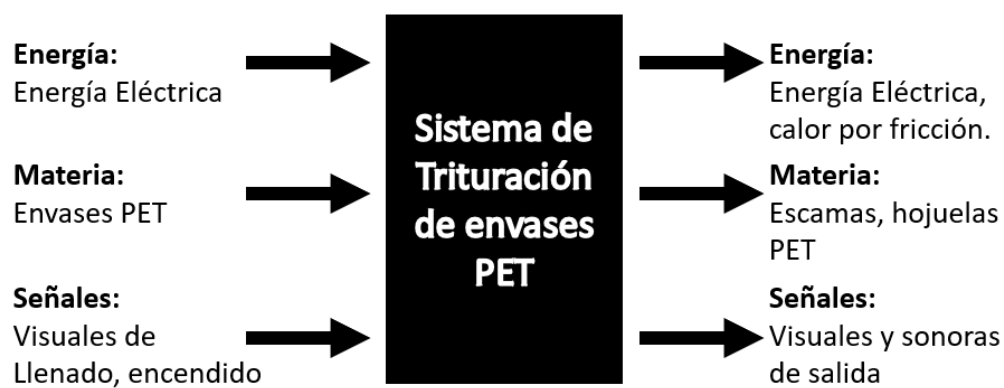
De manera general, el concepto de "caja negra" se puede entender como una herramienta metodológica utilizada para analizar y representar un sistema o componente de

manera abstracta, enfocándose únicamente en sus entradas, salidas y funciones principales, sin detallar cómo se lleva a cabo el proceso interno.

- **Entrada:** Envases PET de diferentes tamaños
- **Procesamiento Interno (Caja Negra):** se ejecuta un proceso mecánico de trituración
- **Salida:** Hojuelas PET (plástico reciclado triturado)

Figura 5

Caja negra



Nota. Elaboración propia

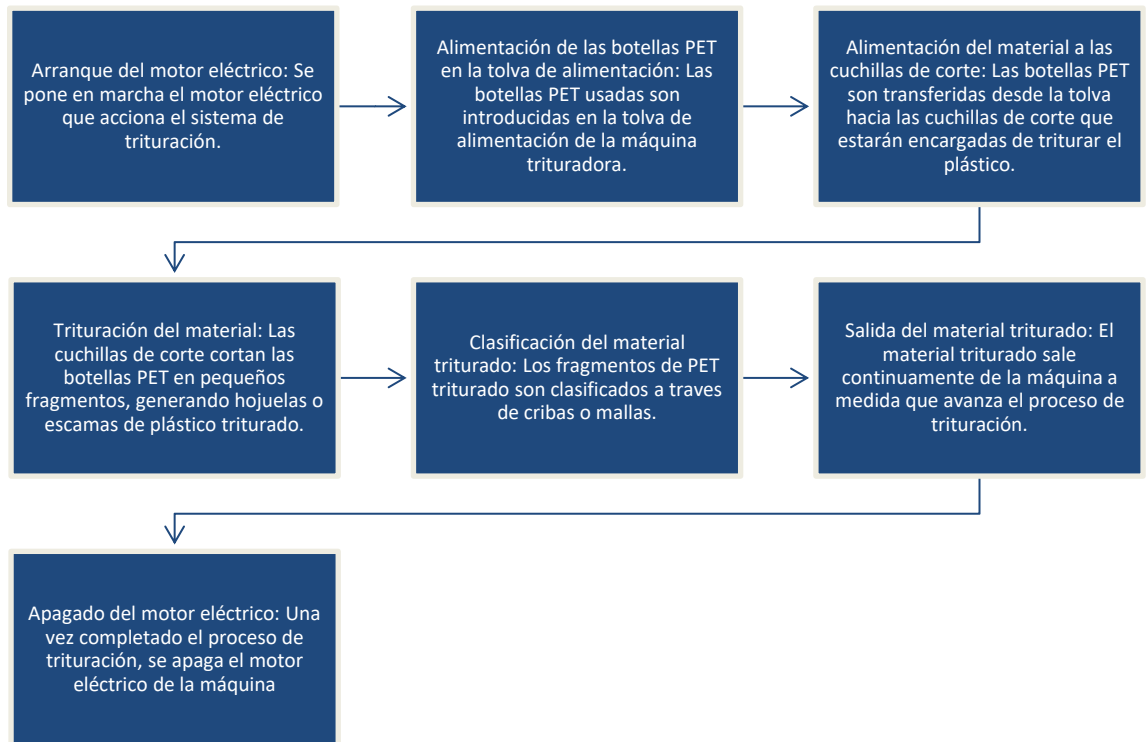
4.5. Secuencia de Operaciones

La secuencia de operaciones es el orden lógico y cronológico en que ocurren las acciones, las funciones específicas asociadas a cada etapa del proceso, las interacciones entre componentes, máquinas y operadores que participan en el sistema.

De igual manera se puede afirmar que, es el "paso a paso" que define cómo se realiza una tarea o función, garantizando que el diseño cumpla con las especificaciones.

Figura 6

Proceso de trituración



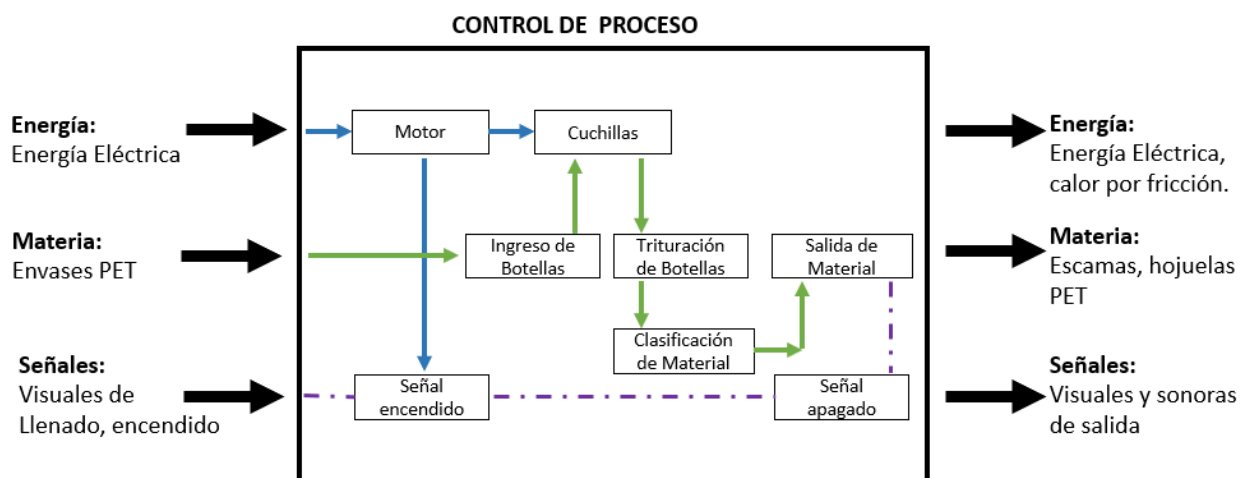
Nota. Elaboración propia

4.6. Caja gris

Se detalla la secuencia de operaciones en la caja negra, para entender la organización de trabajos en el diseño planteado, para tener una idea más clara del proceso.

Figura 7

Caja Gris

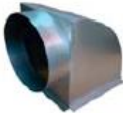


Nota. Elaboración propia

4.7. Matriz morfológica

Figura 8

Matriz morfológica

Nro	Función	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
1	Motor	 Monofasico	 Trifasico	 Funcional
2	Movimiento de cuchillas	 Filos multiples	 3 filos	 Rodillo con filos
3	Ingreso de botellas	 Manual	 Tolva	
4	Trituración	 Gravedad	 Rodillo	 Faja
5	Clasificación	 Zaranda / tamaño	 Centrifuga / Peso	
6	Salida de material	 Gravedad	 Tolva	
7	Encendido / Apagado	 Manual	 Programado	 Inalambrico / Sensor
		Solucion 1	Solucion 2	Solucion 3

Nota. Elaboración propia

4.8. Análisis de solución

4.8.1. Descripción de las Funciones

- *Encender Motor:* Se pone en marcha el motor eléctrico presionando el botón de encendido que acciona el sistema de trituración.

- *Movimiento de Cuchillas:* Depende principalmente del tipo de cuchillas utilizadas para el material a trabajar. Cuchillas de discos fijos tipo fresas, Rodillos de trituración tipo fresas, Cuchillas de discos removibles, Cuchillas planas con acople a paletas.
- *Ingreso de Botellas:* Es importante la forma que se alimentara la máquina, está dependiendo de su forma de triturar puede requerir una fuerza externa como la ayuda de una faja transportadora o rodillos que arrastren la botella, también se puede alimentar simplemente de forma manual o adicionalmente dejarlo caer por gravedad.
- *Triturar:* Se tiene diferentes formas de triturar botellas PET, las que se consideran en este trabajo de investigación, en función del tipo de cuchillas.
- *Clasificar:* En esta función se clasifica las hojuelas PET de acuerdo a un tamaño mínimo requerido, para ello se utiliza cribas.
- *Salida de material:* La forma de evacuar depende de la capacidad de triturado si esta es alta, se debe usar fajas transportadoras o succión para retirar las hojuelas PET que saldrán de la trituradora, si se tiene una capacidad baja o moderada, se puede usar una recolección manual o por caída libre. Por otro lado, el uso de fajas trasportadoras o de otros mecanismos de transporte puede servir para llevar la materia procesada más alejada de la máquina que produce ruidos altos, y así cuidar la salud de los trabajadores.
- *Apagar:* Una vez completado el proceso de trituración, se apaga el motor eléctrico de la máquina
- *Preparar:* Inicialmente se debe preparar la botella, es decir se le debe retirar la tapa, debido a que esta está hecha normalmente de Polipropileno, un material diferente al que se requiere, también se le debe retirar la etiqueta, y finalmente asegurarnos de que la botella este vacía (Etapa fuera de la máquina).

4.8.2. Descripción de conceptos de solución

4.8.2.1. Solución 1

El primer concepto de solución considera el uso de un motor monofásico para accionar las cuchillas. Inicialmente, se lleva a cabo la preparación de las botellas PET, seguida de una alimentación manual, en la cual el operador coloca las botellas en la tolva, asegurando el cumplimiento de las medidas de seguridad correspondientes. Las botellas caen por gravedad hacia la etapa de trituración, donde son procesadas. Posteriormente, las hojuelas resultantes se clasifican mediante cribas o zarandas y, finalmente, caen por una tolva donde se acumulan.

4.8.2.2. Solución 2

En el segundo concepto de solución, se utiliza un motor funcional paso a paso, el cual facilita la automatización del sistema. Tras la preparación de las botellas PET, se emplea una faja transportadora para alimentar la máquina de manera continua. La trituración se lleva a cabo mediante cuchillas planas con acople a paletas, asegurando una reducción eficiente del material. Luego, las hojuelas se clasifican con cribas y son evacuadas por caída libre.

4.8.2.3. Solución 3

El tercer concepto de solución inicia con el encendido de un motor trifásico de mayor potencia. Posteriormente, las botellas PET se preparan y alimentan a la máquina mediante fajas transportadoras, las cuales arrastran el material, garantizando medidas de seguridad adecuadas. La trituración se realiza con cuchillas de tres filos, optimizando la reducción del material. Luego, las hojuelas se clasifican mediante cribas y, finalmente, son evacuadas a través de fajas transportadoras, facilitando su traslado eficiente.

Tabla 8

Criterios técnicos VDI2225

EVALUACION DE PROYECTOS Valor Técnico (Xi)			Universidad Continental EAP de Ing. Mecánica	
Proyecto: DISEÑO DEL SISTEMA DE TRITURACIÓN DE ENVASES PET PARA UNA PLANTA DE RECICLAJE EN EL DISTRITO DE ALTO SELVA ALEGRE				
p: puntaje de 0 a 4 (Escala de valores según VDI 2225) 0 = No satisface, 1 = Aceptable a las justas, 2 = Suficiente, 3 = Bien, 4 = Muy bien (ideal). g: Es el peso ponderado y se da en función de la importancia de los criterios de evaluación.				
Criterios de evaluación para diseños en fase de conceptos o proyectos.				
Variantes de Concepto / Proyecto	Solución 1	Solución 2	Solución 3	Solución Ideal

			S1		S2		S3		S4	
Nro.	Criterios de Evaluación	G	p	gp	p	gp	p	gp	p	gp
1	Función	4	3	12	4	16	4	16	4	16
2	Geometría	4	3	12	2	8	3	12	4	16
3	Eficiencia	4	2	8	3	12	2	8	4	16
4	Ergonomía	3	4	12	3	9	3	9	3	9
5	Rapidez	4	3	12	3	12	3	12	4	16
6	Fabricación	4	4	16	3	12	3	12	4	16
7	Montaje	4	4	16	3	12	2	8	4	16
8	Mantenimiento	4	3	12	3	12	3	12	4	16
9	Transportabilidad	3	3	9	2	6	2	6	3	9
10	Seguridad	4	3	12	3	12	3	12	4	16
11	Estabilidad	2	1	2	1	2	1	2	2	4
12	Facilidad de Manejo	3	2	6	2	6	2	6	3	9
13	Complejidad	3	3	9	3	9	3	9	3	9
14	Automatización	3	2	6	3	9	2	6	3	9
15	Efecto en medio ambiente	4	3	12	3	12	3	12	4	16
Puntaje Máximo Σp ó Σgp		53	43	156	41	149	39	142	53	193
Valor Técnico Xi		3.64151		0.80829		0.77202		0.73575		1

$$xi = \frac{g_1 \cdot p_1 + g_2 \cdot p_2 + \dots + g_n \cdot p_n}{(g_1 + g_2 + \dots + g_n) \cdot p_{max}} \leq 1$$

Nota: Elaboración propia

Tabla 9

Criterios económicos VDI 2225

EVALUACION DE PROYECTOS Valor Económico (Yi)	Universidad Continental EAP de Ing. Mecánica
---	---

Proyecto: DISEÑO DEL SISTEMA DE TRITURACIÓN DE ENVASES PET PARA UNA PLANTA DE RECICLAJE EN EL DISTRITO DE ALTO SELVA ALEGRE										
p: puntaje de 0 a 4 (Escala de valores según VDI 2225) 0 = No satisface, 1 = Aceptable a las justas, 2 = Suficiente, 3 = Bien, 4 = Muy bien (ideal). g: Es el peso ponderado y se da en función de la importancia de los criterios de evaluación.										
Criterios de evaluación para diseños en fase de conceptos o proyectos.										
Variantes de Concepto / Proyecto			Solución 1		Solución 2		Solución 3		Solución Ideal	
			S1		S2		S3		S4	
Nro.	Criterios de Evaluación	g	p	gp	p	gp	p	gp	p	gp
1	Número de Piezas	4	4	16	3	12	4	16	4	16
2	Fácil adquisición de materiales de fabricación	4	4	16	4	16	4	16	4	16
3	Productividad	4	3	12	4	16	2	8	4	16
4	Costos diversos	3	3	9	3	9	3	9	3	9
5	Nro. de operarios	3	3	9	3	9	4	12	4	12
6	Costo de Tecnología	4	3	12	3	12	3	12	4	16
7	Facilidad de Montaje	3	3	9	3	9	3	9	3	9
8	Fácil Mantenimiento	4	4	16	3	12	2	8	4	16
9	Costo de operación	4	3	12	2	8	2	8	4	16
10	Transporte	2	2	4	2	4	2	4	2	4
Puntaje Máximo Σp ó Σgp		35	32	115	30	107	29	102	36	130
Valor Técnico Xi		3.71429		0.88462		0.82308		0.78462		1

$$y_i = \frac{g_1 \cdot p_1 + g_2 \cdot p_2 + \dots + g_n \cdot p_n}{(g_1 + g_2 + \dots + g_n) \cdot p_{max}} \leq 1$$

Nota: Elaboración propia

En las tablas anteriores se muestran los diferentes criterios tomados en cuenta desde el punto de vista técnico y económico.

Tabla 10

Coordenadas VDI 2225

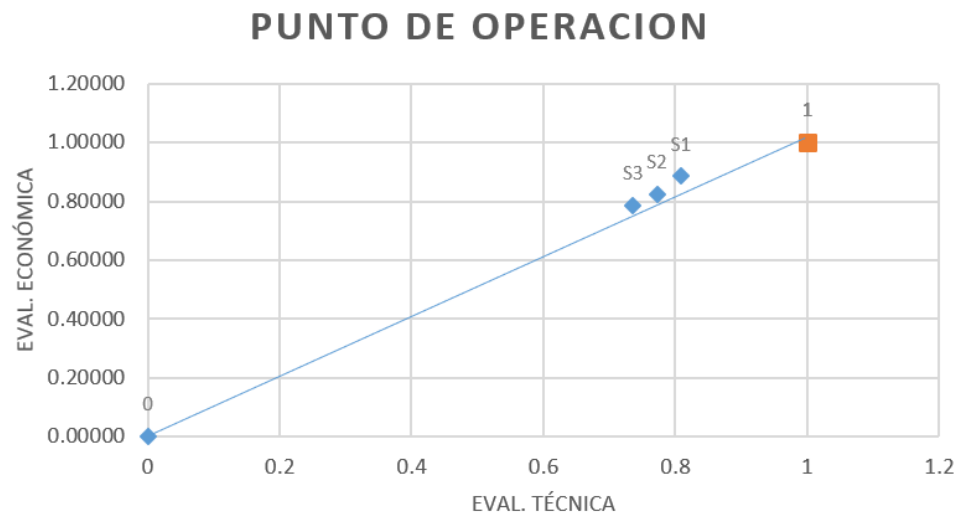
COORDENADAS		
	EV. TÉCNICA	EV. ECONÓMICO
	xi	yi
SOLUCIÓN 1	0.80829	0.88462
SOLUCIÓN 2	0.77202	0.82308
SOLUCIÓN 3	0.73575	0.78462
SOLUCIÓN IDEAL	1	1

Nota: Elaboración propia

Con la aplicación de la metodología VDI 2225, se llevó a cabo una evaluación de los tres conceptos de solución propuestos, los cuales presentan diferentes alternativas de trituración. Como resultado de esta evaluación, se determinó que la mejor opción es el concepto número 1, que emplea cuchillas de discos removibles. Una vez realizada esta selección, es necesario determinar el tipo específico de cuchilla de disco que resulte más adecuado para la trituración eficiente de botellas PET, considerando factores como resistencia, durabilidad y efectividad en el proceso de corte.

Tabla 11

Diagrama de selección VDI 2225



Nota: Elaboración propia

4.9. Diseño

4.9.1. Diseño de Cuchilla

4.9.1.1. Fuerza de corte

Para determinar la fuerza necesaria para cortar el PET, se emplea un método estándar de pruebas en polímeros, específicamente los ensayos IZOD y CHARPY, conforme a la norma ASTM D-256-88. Esta normativa establece un esfuerzo de cizallamiento de 55 kg/cm², utilizando una cuchilla de 1,5 mm de espesor y una muestra de 2 cm de ancho por 10 cm de largo, con un espesor de 2 mm.

Con base en este parámetro, se procede al cálculo de la fuerza de corte mediante la ecuación del esfuerzo de corte, despejando la fuerza para obtener su valor correspondiente. Este procedimiento permite determinar con precisión la cantidad de fuerza requerida para cortar el PET bajo las condiciones especificadas en la norma ASTM D-256-88.

Figura 9

Propiedades mecánicas Tereftalato de polietileno PET

POLIETILENTEREFTALATO				PET
PROPIEDADES MECANICAS A 23°C	UNIDAD	ASTM	DIN	VALORES
PESO ESPECIFICO	gr/cm ³	D-792	53479	1.39
RESIST. A LA TRACC.(FLUENCIA / ROTURA)	Kg/cm ²	D-638	53455	900 / --
RES. A LA COMPRESION (1 Y 2 % DEF)	Kg/cm ²	D-695	53454	260 / 480
RESISTENCIA A LA FLEXION	Kg/cm ²	D-790	53452	1450
RE. AL CIZALLAMIENTO	K/cm ²	D-256	53453	55
ALARGAMIENTO A LA ROTURA	%	D-638	53455	15
MODULO DE ELASTICIDAD (TRACCION)	Kg/cm ²	D-638	53457	37000
DUREZA	Shore D	D-2240	53505	85 - 87
COEF. DE ROCE ESTATICO S/ACERO		D-1894		--
COEF. DE ROCE DINAMICO S/ACERO		D-1894		0.20
RES. AL DESGASTE POR ROCE	KPa			10

Nota. Tomado de (19)

La Ecuación 1 se describe el esfuerzo de corte, muestra la relación entre la fuerza de corte (F_c) el esfuerzo de corte (τ_c) y el área de corte (A_c)

Ecuación 1: Esfuerzo de corte

$$\tau_c = \frac{F_c}{A_c} \quad (1)$$

La variable que nos interesa conocer es la fuerza de corte para ello de la Ecuación 1 despejamos F_c y obtenemos lo siguiente:

Ecuación 2: Fuerza de corte

$$F_c = \tau_c * A_c \quad (2)$$

La longitud de corte (*logitudc*) equivale a una zona aproximada en el extremo de la cuchilla que se encarga de realizar el corte, por otro lado, el ancho viene a ser el espesor más grueso de botella, que se considera igual a 1.9mm.

$$logitudc = 3 \text{ cm}$$

$$ancho = 0.3 \text{ cm}$$

$$\tau_c = 55 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

Ecuación 3: Área de corte

$$A_c = logitudc * ancho \quad (3)$$

$$A_c = 3 \text{ cm} * 0.19 \text{ cm} = 0.57 \text{ cm}^2$$

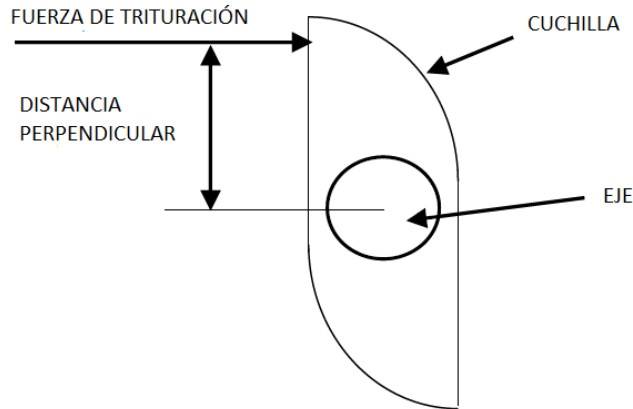
$$F_c = \tau_c * A_c$$

$$F_c = 55 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} * 0.57 \text{ cm}^2 = 31.350 \text{ kgf}$$

$$F_c = F_c * 9.81 \text{ N} = 31.350 \text{ kgf} * 9.81 = 307.54 \text{ N}$$

Figura 10

Fuerza de trituración que actúa sobre el filo de la cuchilla



Nota. Tomado de (37)

4.9.1.2. Energía de trituración

La energía necesaria para triturar botellas PET se calcula con la siguiente ecuación:

Ecuación 4: Energía necesaria

$$E = Kr * \left(\frac{1}{D_{pp}} - \frac{1}{D_{pa}} \right) \quad (4)$$

La constante de Rittinger (Kr) se utiliza en la teoría de la trituración para caracterizar la energía necesaria en la reducción de tamaño de partículas. Se define en función del diámetro medio de partículas del producto (D_{pp}) y del diámetro medio de partículas de alimentación (D_{pa}). Kr se relaciona directamente con el proceso de trituración y es fundamental para comprender y optimizar las operaciones de trituración y pulverización en diversas industrias.

Para el caso de botellas hechas con material PET. Según Chavez (19) la constante de Rittinger es igual a:

$$Kr = 130.9 \text{ Hp.h.pulg./ton}$$

Se especifico anteriormente que se desea obtener un diámetro medio de hojuelas PET de 15.5mm (D_{pp}), por otro lado, se toma Diámetro medio de partículas de alimentación (D_{pa}) es el promedio del diámetro de las botellas de 3L, 2L, 1.5L, 0.5L el cual es de 104.5mm.

$$D_{pp} = 1.55 \text{ cm}$$

$$D_{pa} = 10.45 \text{ cm}$$

$$D_{pp} = \frac{D_{pp}}{2.54} = 0.6102 \text{ pulg}$$

$$D_{pa} = \frac{D_{pa}}{2.54} = 4.1142 \text{ pulg}$$

Reemplazando en la formula Ecuación 4:

$$E = 130.9 \frac{\text{Hp. h. pulg}}{\text{ton}} * \left(\frac{1}{0.6102 \text{ pulg}} - \frac{1}{4.1142 \text{ pulg}} \right)$$

$$= 182.69 \frac{\text{Hp. h}}{\text{ton}}$$

$$E_2 = \frac{E}{1000} = \frac{234.09}{1000} = 0.1827 \frac{\text{Hp. h}}{\text{kg}}$$

f_m es el flujo masico en cual se calculo anteriormente como 32 kg/h.

Ecuación 5: Potencia requerida

$$P_{req} = E_2 * f_m = 0.2341 \frac{\text{Hp. h}}{\text{kg}} * 32 \frac{\text{kg}}{\text{h}} = 5.8461 \text{ HP} \quad (5)$$

$$= 4.3594 \text{ kW}$$

4.9.1.3. Velocidad de rotación de las cuchillas

Es importante tener un enfoque que mejore la acción de corte de la máquina trituradora, si no se tiene una acción de corte eficiente, el proceso de trituración durara más de lo conveniente, Para mejorar la acción de corte. las opciones son aumentar la velocidad o potencia de la fuente de alimentación, también se puede agregar más cuchillas y contra cuchillas, sin embargo el aumento de velocidad puede no ser lo más adecuado, debido a que una velocidad demasiado alta evita un correcto agarre de la botella a ser triturada, Durante las pruebas realizadas experimentalmente por Rasmus (38) se descubrió que una velocidad de rotación de 70 RPM podría ser demasiado alta, ya que los residuos de botellas con gran espesor crearon fuerzas considerables cuando eran triturados, los trozos eran lanzados con fuerza hasta 2 metros de distancia. Por lo tanto, Rasmus (38) sugiere una velocidad ligeramente más baja, alrededor de 50 RPM, el cual usaremos en este trabajo de investigación.

4.9.1.4. Potencia de corte

El torque que aplica la cuchilla de corte se expresa en la siguiente ecuación:

Ecuación 6: Torque de cuchilla

$$T_c = N_c * R * F_c \quad (6)$$

N_c es el número de cuchillas, su valor es calculado y se detalla más adelante en el apartado “Dimensiones de la caja trituradora”, esta variable es agregada para expresar mejor la fuerza que generaran las cuchillas, ya que la fuerza F_c es calculada únicamente para una sola cuchilla.

R es el radio de la cuchilla, el cual se detalla su selección en el apartado “Diámetro de cuchilla”

$$T_c = N_c * R * F_c = 21 * 0.1250\text{m} * 307.54 \text{ N} = 807.30 \text{ N} - \text{m}$$

La potencia de corte se calcula como sigue:

Ecuación 7: Velocidad angular de la cuchilla

$$w_c = N * \frac{2 * \pi}{60} = 50 \text{ RPM} * \frac{2 * \pi}{60} = 5.236 \text{ rad/s} \quad (8)$$

Ecuación 8: Potencia de corte

$$P_c = T_c * w_c \quad (9)$$

$$P_c = 807.30 \text{ N} - \text{m} * 5.236 \frac{\text{rad}}{\text{s}} = 4227.0 \text{ W}$$

$$P'_c = \frac{P_c}{745.7} = \frac{4227.0 \text{ W}}{745.7} = 5.67 \text{ HP}$$

Esta potencia calculada es muy similar a la calculada anteriormente con la ecuación de Rittinger, a continuación, se calcula el error.

Ecuación 9: Error de la potencia

$$\text{error}P = \frac{P'_c - P_{req}}{P_{req}} * 100 = \frac{5.67 \text{ HP} - 5.8461 \text{ HP}}{5.8461 \text{ HP}} * 100 \quad (10)$$

$$= 3.04\%$$

Se observa que existe un error de 3.04% entre los dos métodos de cálculo, lo cual resulta aceptable.

4.9.1.5. Potencia a transmitir por elemento

La potencia que se debe transmitir, teniendo en cuenta a los rodamientos,

$i = 0.99$: eficiencia en el rodamiento

$n = 2$: numero de rodamientos

Ecuación 10: Potencia de transmisión

$$P_{a1} = \frac{P_c'}{i^n} = \frac{5.67 \text{ HP}}{0.99^2} = 5.9011 \text{ HP} \quad (11)$$

Eficiencia caja de engranajes,

$n_{eng} = 0.98$

$$P_{pol} = \frac{P_{a1}}{n_{eng}} = \frac{5.9011 \text{ HP}}{0.98} = 6.0215 \text{ HP}$$

Considerando las fajas,

$n_{fajas} = 0.96$

$$P_{mot} = \frac{P_{pol}}{n_{fajas}} = \frac{6.0215 \text{ HP}}{0.96} = 6.2724 \text{ HP}$$

Cálculo de potencia del motor

$F_{sm} = 1.1$: factor de servicio del motor

Ecuación 11: Potencia del motor

$$P_{mm} = P_{mot} * F_{sm} [\text{HP}] \quad (12)$$

$$P_{mm} = 6.2724 \text{ HP} * 1.1 = 6.8996 \text{ HP}$$

$$P_{mmW} = P_{mm} * \frac{745.7}{1000} = 6.8996 \text{ HP} * \frac{745.7}{1000} = 5.145 \text{ kW}$$

4.9.1.6. Selección de cuchillas

4.9.1.7. Consideraciones:

Tabla 12*Dimensión de botellas: botellas más grandes, botella más pequeña*

CAPACIDAD D	ALTURA A (mm)	DIAMETRO O (mm)	D TAPA A (mm)
BOTELLAS 3L	360	120	2 8
BOTELLAS 0.5 L	200	70	2 8

Nota. Elaboración propia

- Capacidad de la maquina: 32 kg/día
- Según Luque (39) el espesor de la botella más grande (3L) es de 0.3mm en la pared de la botella, 1.9 mm en el pico de la botella

4.9.1.8. Geometría de cuchilla

Existen diferentes geometrías para triturar materiales, estas se diferencian principalmente por el número de dientes o uñas, el Angulo de corte, espesor de cuchillas, superficie de agarre, si estas cuchillas no resultan ser correctas para el material y geometría del objeto a triturar es posible que la maquina no pueda triturar eficientemente y presente atascamientos.

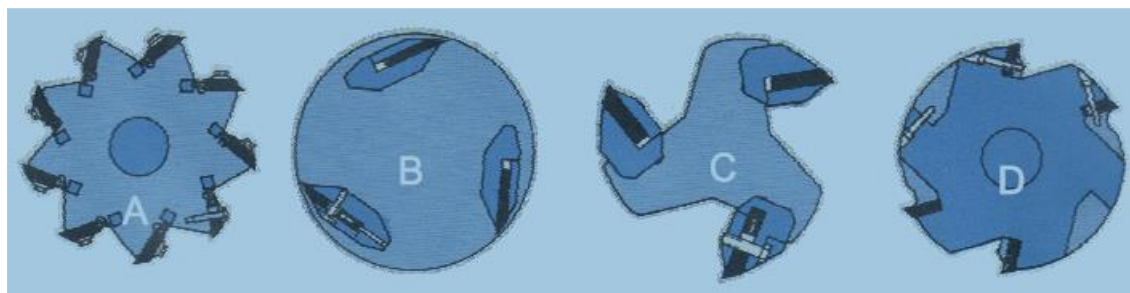
4.9.1.9. Numero de filos

El número de filos o dientes en las cuchillas de trituradoras de PET juega un papel crucial en su rendimiento general, afectando directamente la eficiencia de trituración, la calidad del material triturado y el consumo de energía.

Para la selección de la geometría de cuchilla, se tomó como referencia el trabajo de Gamarra et al., (40). (Diseño de un prototipo de trituradora para mejorar el rendimiento de trituración de botellas tipo PET) el cual hizo una comparación del rendimiento de las siguientes geometrías de cuchilla, la A tiene 8 cuchillas, la B tres que se encuentra incrustadas en un disco, la C tiene tres cuchillas y la D tiene 6 cuchillas.

Figura 11

Geometría de cuchillas

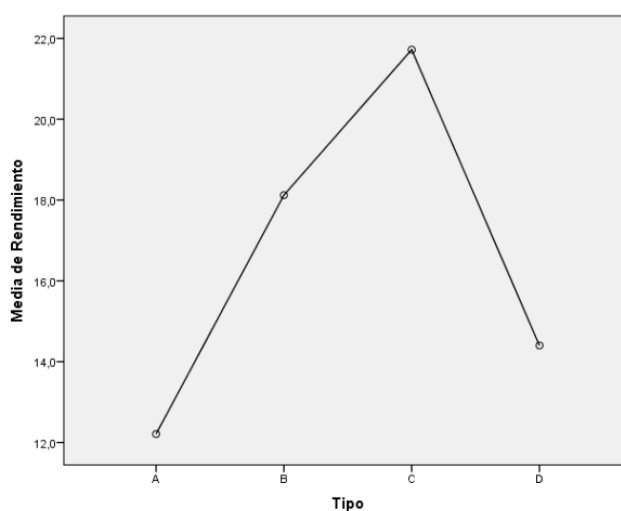


Nota. Tomado de (41)

En el trabajo realizado por Gamarra et al., (40). realizaron mediciones del rendimiento de trituración (kg/h) para cada geometría A, B, C, D controlando una velocidad de 86 rpm.

Figura 12

Comparación del rendimiento entre las diferentes geometrías de cuchilla.



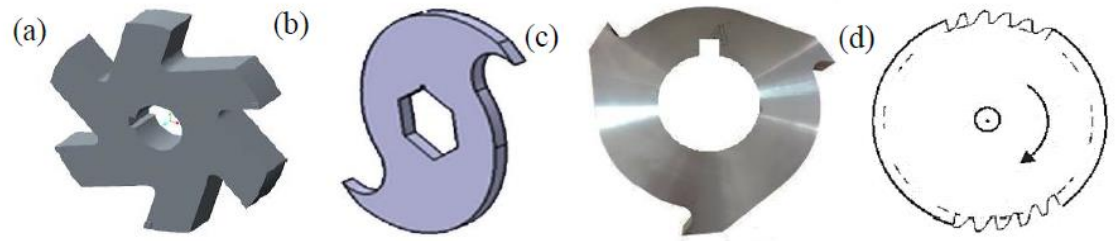
Nota. Tomado de Tomado de (40)

La prueba post hoc indica que la geometría de la cuchilla de corte "C" de tres uñas supera en rendimiento a los otros tres tipos de geometría ("A", "B", y "D") considerados en el estudio.

Como se revisó en el trabajo de Gamarra et al., (40), la geometría con menor número de dientes resulto la más eficiente sin embargo una de las limitaciones de su trabajo fue en no realizar pruebas con cuchillas de dos dientes, por lo que se revisó el trabajo de otros autores,

Figura 13

Geometrías de cuchillas con diferente número de filos.



Nota. Tomado de (27)

4.9.1.10. Impacto del número de filos

- **Mayor número de filos (multifilos)**

- Ventajas:
 - Aumento potencial de la capacidad de corte, como lo indica el estudio de Rasmus (38).
- Inconvenientes:
 - Mayor riesgo de que el material salte sobre la cuchilla, incrementando el desgaste y reduciendo la eficiencia, como señalan Rasmus (38). Con Rathman & Babu, (42) y se confirma en las pruebas de Vijay et al., (43)
 - Menor eficiencia en materiales duros, ya que la cuchilla puede invertirse antes de volver a cortar, como observó Ravi (44).

- **Menor número de filos (bifilos)**

- Ventajas:
 - Reducción del tiempo de trituración, como lo demuestra el estudio de Ravi (44).
 - Mayor eficiencia en materiales duros, como indica Ravi (44).
- Inconvenientes:
 - Menor capacidad de corte en comparación con los filos múltiples, como señala Rasmus (38).

De acuerdo a los autores mencionados y debido a que se requiere cuchillas que reduzcan el tiempo de trituración y tenga menor riesgo de un mal agarre de las

botellas PET, también se trabajara con botellas de gran tamaño como la de 3L por lo que será necesario que la cuchilla de un gran espacio para que la botella entre lo más posible a la zona de trituración y sea agarrada por uno de los dientes, una cuchilla de tres dientes o más tiene mayor riesgo de provocar que la botella salte sobre la cuchilla y no sea triturada, por lo que se selecciona cuchillas de dos dientes:

4.9.1.11. Dimensiones

Las dimensiones de cuchilla, como su diámetro y espesor son seleccionados dependiendo de ciertos factores a considerar, estos se mencionan a continuación:

- *Tamaño de las botellas:* El diámetro de las cuchillas debe ser mayor que el diámetro de las botellas para un corte eficiente.
- *Espesor de las paredes de las botellas:* Cuanto mayor sea el grosor, se necesitarán cuchillas más gruesas y robustas.
- *Capacidad de producción deseada:* Cuanto mayor sea la capacidad deseada, se necesitarán cuchillas más grandes y potentes.
- *Material de las cuchillas:* El material debe ser resistente al desgaste y a la abrasión, como acero al cromo, acero inoxidable o carburo de tungsteno.

4.9.1.12. Directrices generales

- *Para botellas PET de hasta 500 ml, un diámetro de cuchillas de 100 mm a 200 mm suele ser suficiente.*
- *Para botellas PET de 1 litro o más, se recomienda un diámetro de cuchillas de 200 mm a 300 mm.*
- *Las cuchillas de 4 mm a 6 mm de grosor son comunes para la mayoría de las aplicaciones.*

4.9.1.13. Diámetro de cuchilla

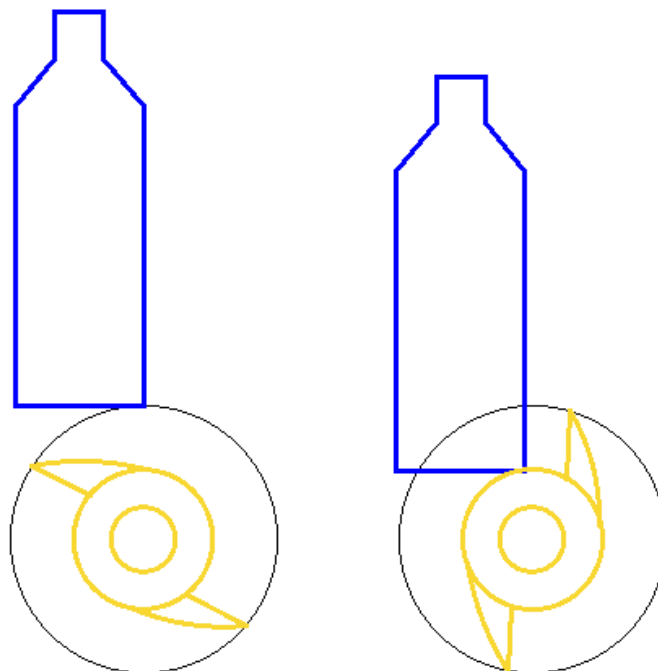
Se dimensionó el diámetro de las cuchillas asegurando un buen agarre de las botellas durante el proceso de trituración. Para establecer el diámetro adecuado, se tomó como referencia la botella más grande que se pretende triturar, la cual tiene una capacidad de 3 litros y un diámetro de 120 mm.

Para garantizar que la botella encaje correctamente y sea atrapada eficientemente por las cuchillas, se determinó que el diámetro de la cuchilla debe ser mayor al doble del diámetro de la botella más grande, por lo que se estableció en 250 mm.

En las siguientes figuras, se presenta un boceto realizado en el software Autodesk AutoCAD, donde se visualiza la disposición de las cuchillas con respecto a las dimensiones de la botella más grande y la más pequeña que serán introducidas en la máquina trituradora. Se observa que no habría problemas de agarre en la botella grande, ya que la cuchilla la atrapa de manera eficiente. Esto es posible debido a que la zona de contacto se encuentra encapsulada, lo que permite que la cuchilla empuje la botella contra la pared de la máquina, facilitando así el proceso de trituración. Este mismo principio se verifica también para la botella más pequeña.

Figura 14

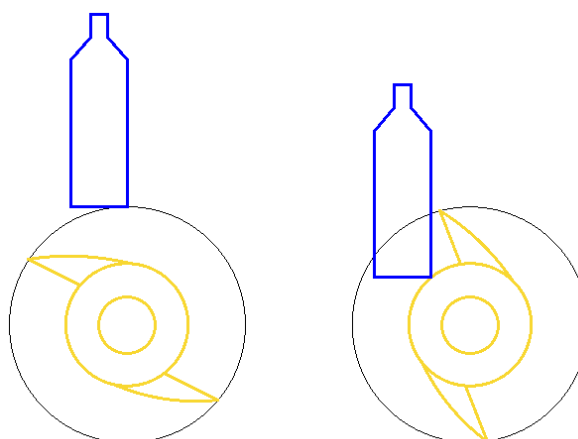
Boceto en AutoCAD: botella 3 L - cuchilla



Nota. Elaboración propia.

Figura 15

Boceto en AutoCAD: botella 500 mL- cuchilla.



Nota. Elaboración propia

4.9.1.14. *Espesor*

En el diseño de cuchillas para máquinas trituradoras, el grosor es un factor crítico que afecta la fuerza de trituración, la concentración de esfuerzos y la seguridad de las cuchillas. Según Dave (45), una figura destacada en el comité de “Precious Plastic” cuchillas más gruesas ofrecen mayor resistencia y producen mayor salida de virutas. Diversas Investigaciones han examinado los efectos del espesor de las cuchillas en varios aspectos, como la deformación y los esfuerzos que se generan en esta. Aunque comparar el rendimiento entre diferentes cuchillas puede ser complicado debido a la diversidad de parámetros, los datos obtenidos y recopilados por Wong (27) nos sirven como referencia para esta investigación.

Tabla 13

Resultados de evaluaciones estructurales en distintos diseños de cuchillas.

Properties	Ravi (2018) [22]	Akash <i>et al.</i> (2019) [25]	Nasr and Yehia (2019) [27]	Kumaran <i>et al.</i> (2020) [26]
Building material of blade	Tool Steel with Chromium or Nickel coating	Mild steel	Mild steel	Cast iron blade with the nickel coating.
Blade Thickness (mm)	5	7	10	20
Diameter (mm)	100	184	120	150
Cutting-Edge	2	4	3	3
Shaft Number	Single	Double	Double	Single
No. of blade/shaft	14	8	-	9
Maximum Von Mises Stress (Pa)	2.4734×10^6	360.05×10^6	201×10^6	164×10^6
Elastic Shear strain	1.24×10^{-5}	4.68×10^{-3}	1.40×10^{-3}	1.02×10^{-5}
Deformation (mm)	4.0321×10^{-6}	3.0727×10^{-4}	0.97×10^{-5}	3.78×10^{-5}

Nota. Tomado de (27)

El espesor que se selecciona es de 10mm el cual es una medida normalizada fácil de encontrar en el mercado y se encuentra en el rango que normalmente se usa para estas aplicaciones.

4.9.1.15. Configuración de las cuchillas

En una máquina trituradora, las cuchillas se disponen en ejes rotatorios único o doble, con espacios entre ellas. Durante la operación, el material es dirigido entre dos juegos de cuchillas dispuestas en ejes paralelos, donde se realiza el corte. La orientación de las cuchillas puede afectar el proceso, como se discutió en el Comité de Dave (45) Se encontraron problemas con cuchillas en espiral que causaban saltos de material y fusión de plástico. Cambiar la orientación de las cuchillas puede resolver estos problemas. Además, el tamaño de las partículas trituradas depende del espacio entre cuchillas, el cual debe ser ajustado correctamente para evitar atascos y fricción. Esto destaca la importancia de ajustar los parámetros de la máquina para lograr un proceso eficiente (46)

Para la elección de la configuración de las cuchillas se tomó como referencia el trabajo de Rasmus (38) el cual recomienda la siguiente configuración:

Figura 16

Configuración del cuchillo en forma de V



Nota. Tomado de (38)

La elección de utilizar la configuración de cuchillas recomendada por Rasmus (38) se fundamenta en la consideración de optimizar el flujo de los bordes de corte para dirigir los restos de plástico hacia el centro de la subparte trituradora. Esta configuración, que consiste en girar ligeramente cada cuchilla hacia atrás y luego hacia adelante, creando una forma de V, se ideó con el propósito de evitar una acumulación excesiva de material a lo largo de la pared exterior de la subparte trituradora. Al limitar la acción de corte a una sola vez por diente en las cuchillas exteriores, se busca mejorar la eficiencia del proceso de trituración al fomentar un movimiento más centrado del material a lo largo de la máquina. Este enfoque se considera más eficaz en comparación con otras configuraciones disponibles, lo que respalda su elección para el trabajo de investigación.

4.9.1.16. Numero de ejes

El número de ejes destaca en la selección de diferentes trituradoras, la mayoría de trabajos de investigación de trituradoras estudiadas eran de uno o dos ejes, se encontró otras incluso más potentes de 4 ejes, la principal ventaja de utilizar varios ejes viene a ser la cantidad de acciones de corte que se pueden realizar a la vez esto llega a incrementar en gran medida el procesamiento del material, sin embargo materiales de gran tamaño son difíciles de agarrar con las cuchillas en trituradoras de dos ejes, esto debido al limitado espacio que se tienen, las botellas grandes de plástico tendrían que cortarse previamente, antes de introducirlo a la trituradora, a parte se consideró que la complejidad y el costo extra añadido de otro eje no compensaría las ventajas que proporciona.

4.9.1.17. Selección del material

En el mercado actual, hay una variedad de materiales disponibles para fabricar cuchillas cada uno tiene diferentes propiedades que afectan su resistencia y durabilidad durante el uso. Para abordar el problema que significaría un desgaste prematuro este trabajo de investigación propone realizar un análisis comparativo de tres diferentes diseños de cuchillas fabricadas con diferentes materiales disponibles en el mercado: acero ASTM A36, SAE1045, y SAE S1.

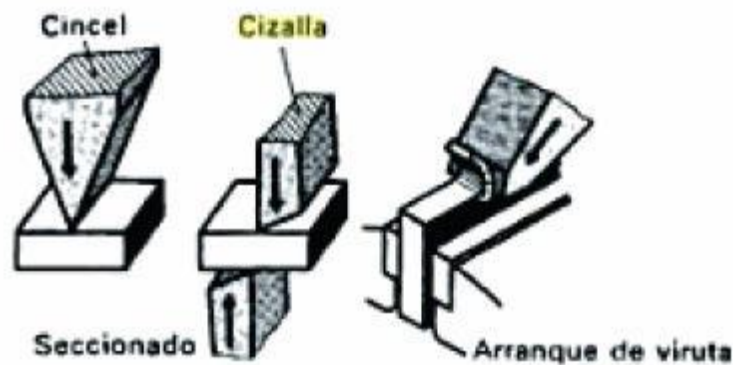
El cizallado se ha establecido como el método preferido para el corte en frío de metales debido a su similitud con el funcionamiento de una cizalla, que opera perpendicularmente a la superficie del material. En contraste, el corte por cincel no

implica el arranque de virutas, mientras que el corte por arranque de viruta implica el uso de una cuña y el cizallado representa una acción similar a unas tijeras.

El corte por arranque de viruta en metales implica una deformación elástica inicial del material antes de su separación, causada por tensiones considerables que exceden la tensión de fluencia, resultando en la formación de virutas debido a la deformación plástica. Se especula que este proceso es análogo cuando se trabaja con caucho.

Figura 17

Cortes por cuña/cinzel, cizalla y arranque de viruta



Nota. Tomado de (47)

En cuanto a la geometría de la herramienta de corte por cizalla, se destacan los ángulos de incidencia, filo y ataque, cuya suma debe ser de 90 grados para garantizar una eficiente operación de corte.

Para la selección óptima de la cuchilla y el material, se elabora una tabla que identifica las propiedades principales e influyentes, simplificando así el proceso de selección para adaptarse a las necesidades específicas de la aplicación.

4.9.1.18. Tiempo estimado de procesamiento

Para calcular la cantidad de botellas de Coca-Cola de 3 litros que se deben triturar, primero consideramos que un envase vacío de 3 litros pesa 3176 gramos (48). Dado que la densidad de la Coca-Cola a temperatura ambiente es similar a la del agua, estimamos que el líquido dentro del envase pesa aproximadamente 3000 gramos, dejando una botella vacía con un peso de 176 gramos.

Cantidad de botellas al día = $127.5 \text{ kg/día} / 0.176 \text{ kg} = 724 \text{ botellas al día}$.

Tabla 14*Cálculo de cantidad de botellas*

CAPACIDAD	ALTURA (MM)	DIAMETRO (MM)	D TAPA (MM)	PESO INDIVIDUAL (KG)	CANTIDAD DE BOTELLAS
BOTELLAS 3L	360	120	28	0.176	724.431818
BOTELLAS 0.5 L	200	70	28	0.047	2712.76596

Nota: Elaboración propia

Suponiendo que solo trituraremos botellas de 3 litros, las cuales son más difíciles de triturar, calculamos que necesitamos triturar 724 botellas al día en total.

Si cada ciclo de trituración procesa 3 botellas, esto equivale a 0.528 kg por ciclo. Considerando que la máquina operará durante 4 horas, lo que equivale a 240 minutos, cada ciclo de trituración demorará aproximadamente 0.994 minutos, esto significa que esto es factible dado que 1 minuto es un tiempo considerable para triturar completamente las botellas.

4.9.1.19. Dimensiones de la caja trituradora

Para llegar a obtener las dimensiones de la caja trituradora se aproxima tomando en cuenta que por cada ciclo se introduce 3 botellas de 3L, la longitud es la suma de esas tres botellas juntas (cada una tiene un diámetro de 120mm), a esto se le agrega un mayoreo de 10%, luego se redondea una longitud apropiada.

Seguidamente se procede a realizar el cálculo del número de espacios que se tendrá, esto se obtiene de la división de la longitud redondeada y el espesor.

Sin embargo, para obtener el número de separadores y el número de cuchillas se formula de la siguiente manera:

Ecuación 12: Número de cuchillas

$$N_{cuchillas} = N_{separadores} + 1 \quad (13)$$

Ecuación 13: Número de espacios

$$N_{espacios} = N_{separadores} * N_{cuchillas} \quad (14)$$

Ecuación 14: Número de separadores

$$N_{separadores} = N_{espacios} - N_{cuchillas} = N_{espacios} - N_{separadores} + 1 \quad (15)$$

Ecuación 15: Número de cuchillas

$$N_{cuchillas} = \frac{N_{espacios} + 1}{2} \quad (16)$$

Tabla 15

Dimensiones caja trituradora

DIMENSIONES CAJA TRITURADORA	
GEOMETRÍA	RECTANGULAR
MAYOREO (SOBREDIMENSIONADO)	1.1
LONGITUD(MM)	396
LONGITUD REDONDEADA(MM)	410
ESPESOR CUCHILLAS(MM)	10
NUMERO ESPACIOS	41
NUMERO SEPARADORES	20
NUMERO CUCHILLAS	21

Nota: Elaboración propia

4.9.2. Selección de Componentes

4.9.2.1. Selección motorreductor

El motorreductor consta de un motor eléctrico que brinde la potencia necesaria para cumplir con el trabajo correctamente, normalmente estos motores trabajan a una altas velocidades, por eso se requiere dependiendo de la aplicación, reducir la velocidad y aumentar el par, esta es la función de la caja reductora, en este caso se revisó los catálogos del fabricante de motores WEG, y se seleccionó de acuerdo a la potencia requerida un motorreductor de 5.5kW que cuenta con las siguientes especificaciones:

- Motor WEG Coaxial WCG20 V05 trifásico 60 Hz
- Potencia: 5.5kW
- Velocidad motora: 1750 RPM

- Velocidad salida: 112.38
- Relación de reducción $i_{ex} = 15.57$
- Peso 56 Kg

4.9.2.2. *Cálculo y selección de poleas y fajas*

Las poleas deben operar para transmitir potencia bajo ciertas condiciones específicas las cuales se mencionan a continuación:

Potencia a transmitir

Ecuación 16: Potencia a transmitir

$$P_{tp} = P_d * n_{eng} * n_{mot} = 5.5 * 0.98 * 0.82 = 4.42 \text{ kW} \quad (17)$$

Factor de servicio fajas: este factor se selección de acuerdo al manual de OPTIBELT (49) -Tabla 25,

$$C_2 = 1.2$$

Potencia de diseño fajas,

$$P_d = 5.5 \text{ HP}$$

Velocidad motriz,

$$N1 = 112 \text{ rpm}$$

Velocidad conducida,

$$N2 = 50 \text{ rpm}$$

De acuerdo con el procedimiento de cálculo recomendado por Optibelt, primero se determina la relación de velocidad nominal utilizando la ecuación:

Ecuación 17: Velocidad nominal

$$r = N1/N2 \quad (18)$$

$$r = \frac{112}{50} = 2.24$$

Donde r representa la relación de velocidades nominal, N1 es la velocidad de la polea motriz y N2 es la velocidad de la polea conducida.

4.9.2.3. Selección de poleas estándar

Para llevar a cabo la selección de poleas estándar, se sigue el procedimiento establecido por la Norma ISO 4183, con el objetivo de elegir diámetros de poleas que permitan una relación de velocidades lo más cercana posible al valor obtenido previamente.

Diámetro de polea motriz.

$$d_{dk} = 250 \text{ mm}$$

Diámetro de polea conducida.

$$d_{dg} = 500 \text{ mm}$$

Se recalcula la relación de transmisión con los diámetros seleccionados de acuerdo a la normativa:

Ecuación 18: Relación de transmisión

$$r_2 = \frac{d_{dg}}{d_{dk}} = \frac{500}{250} = 2 \quad (19)$$

Posteriormente, se determina la velocidad de la polea conducida (Nc) utilizando la relación de velocidades obtenida y la velocidad del motor.

$$N_{2_2} = \frac{N_1}{r_2} = \frac{112 \text{ rpm}}{2} = 56 \text{ rpm}$$

$$\text{error}N = \frac{N_{2_2} - N_2}{N_2} * 100 = \frac{56 - 50}{50} * 100 = 12\%$$

Con la velocidad que obtendríamos con esta configuración de diámetros es de 56 rpm, esto respecto los 50 rpm que se quería obtener nos dan un 12% de error el cual se considera aceptable.

Del catálogo del fabricante Optibelt, se procede a la selección del tipo de faja según la relación de velocidad nominal obtenida, lo cual se lleva a cabo consultando una figura específica que proporciona las recomendaciones adecuadas para esta selección.

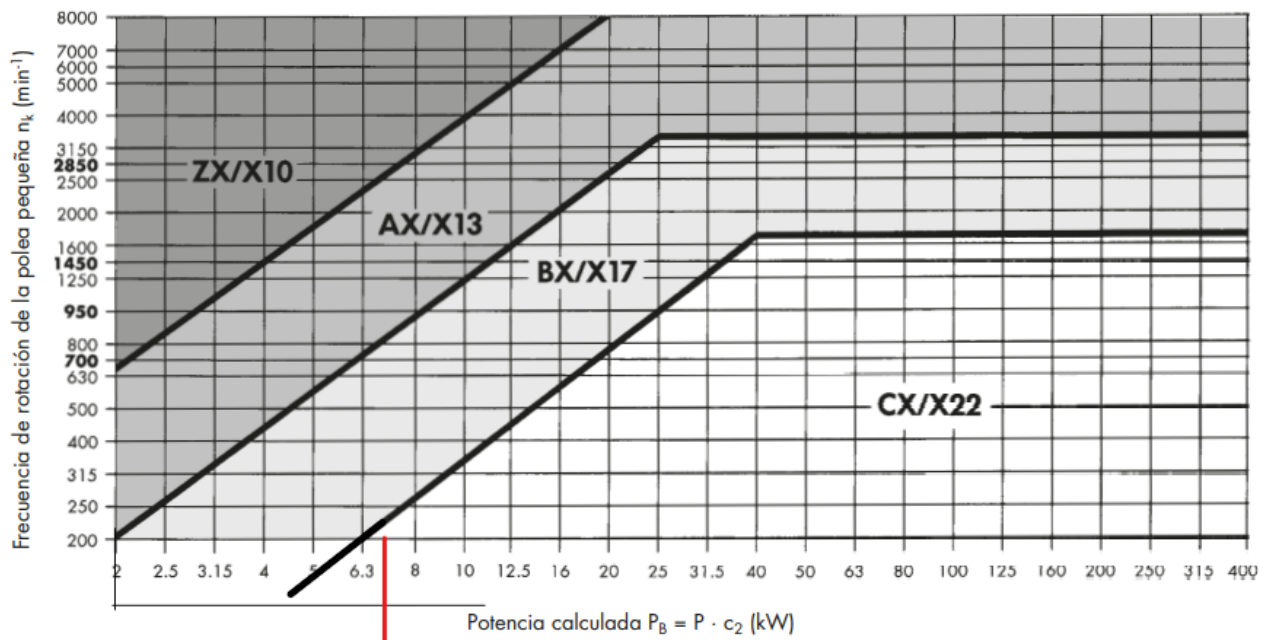
Potencia calculada:

$$P_b = P * C_2 = 5.5kW * 1.2 = 6.6kW$$

En el siguiente gráfico para 6.6kW y 112 rpm corresponde una faja tipo SUPER TX M=S CX/X22.

Tabla 16

Correas trapeciales Optibelt SUPER TX M=S



Nota. Tomado de (49)

4.9.2.4. Selección de faja y distancia entre centros

La distancia entre centros debe estar comprendidas en el rango siguiente:

$$C_{imin} = 0.7 * (d_{dk} + d_{dg}) = 0.7 * (250 + 500) = 525mm$$

$$C_{imax} = 2 * (d_{dk} + d_{dg}) = 2 * (250 + 500) = 1500mm$$

Se selecciona una distancia entre centros normalizada

$$C_{sel} = 379 \text{ mm}$$

(distancia entre centros) extraído del catálogo optibelt, longitud de faja calculada:

Ecuación 19: Longitud de la faja

$$L_c = 2 * C_{sel} + 1.57 * (d_{dk} + d_{dg}) + \frac{(d_{dk} - d_{dg})^2}{4 * C_{sel}} \quad (20)$$

$$L_c = 2 * 379 \text{ mm} + 1.57 * (250 + 500) + \frac{(250 - 500)^2}{4 * 379 \text{ mm}} = 2403.5 \text{ mm}$$

A continuación, se debe seleccionar una longitud de faja ESTANDAR. Ls=2558 mm catalogo optibelt, la faja seleccionada es CX 98 2558 (ver Anexos)

Se recalcula la distancia de centros (real)

$$a_{nom} = C_{sel} - \frac{L_c - L_s}{2}$$

$$a_{nom} = 600 - \frac{2403.5 - 2558}{2} = 677.23 \text{ mm}$$

Distancia mínima de ajuste

$$x_a = 45 \text{ mm según el manual de optibelt (49)}$$

Potencia transmitida según catalogo:

$$P_n = 2.65 \text{ kW/faja}$$

luego se debe calcular el arco de abrazo y factor de Angulo de contacto C1:

$$\frac{d_{dg} - d_{dk}}{a_{nom}} = 0.3692$$

$$C1 = 0.99 \text{ Catalogo}$$

$$C3 = 0.92 \text{ Catalogo}$$

Ecuación 20: Cantidad de fajas requeridas

$$Z_{req} = P_{tp} * \frac{C2}{P_n * C1 * C3} \quad (21)$$

$$Z_{req} = 4.4198 * \frac{1.2}{1.94 * 0.99 * 0.92}$$

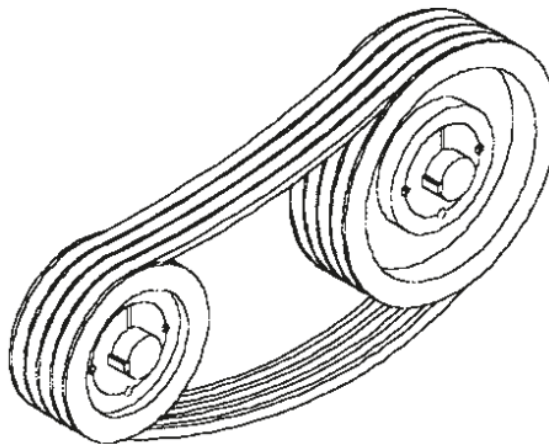
$$Z_{req} = 3 \text{ fajas}$$

Se seleccionan 3 fajas.

Para ello se utilizan poleas estandarizadas de 3 canales

Figura 18

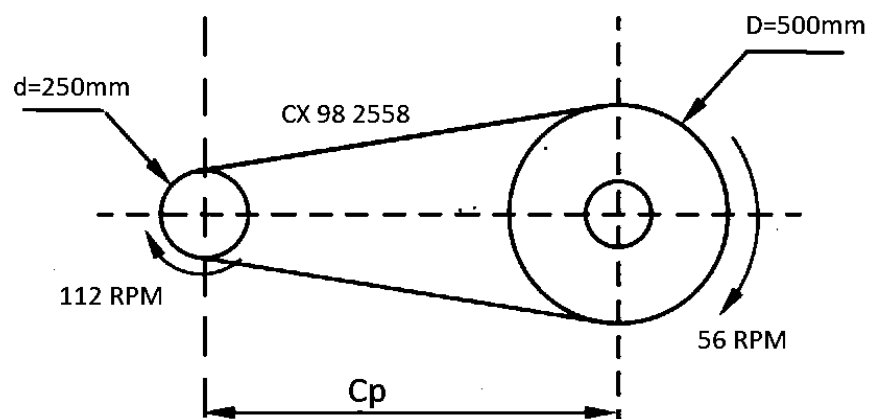
Montaje con tres fajas



Nota. Tomado de (49)

Figura 19

Configuración transmisión por fajas



Nota. Tomado de (49)

4.9.2.5. Diseño del Eje

En esta sección del documento se analizan las fuerzas que inciden sobre el eje de transmisión, considerando las fuerzas de corte y empuje previamente calculadas para el diseño de las cuchillas. El propósito es validar la factibilidad del diseño preliminar. Se sugiere emplear una polea para transmitir la potencia del motor al eje.

4.9.2.6. Fuerzas de la polea

- Se quiere calcular en este punto las fuerzas flexionante de la polea
- Fuerza flexionante en la polea (punto A)
 - El torque que genera la polea sobre el eje se calcula con la siguiente ecuación:

Ecuación 21: Torque que genera la polea sobre el eje

$$T_e = \frac{P_{tp}}{N2} [N * m] \quad (22)$$

T_e : Torque sobre el eje [N.m]

P_{tp} : Potencia [W]

$N2$: Velocidad de la polea conducida [rad/s]

$$P_{tp} = 4.42 * 745.7 = 3296W$$

$$Nc = 50rpm * 2 * \frac{\pi}{60} = \frac{5.24rad}{s}$$

$$d_{dg} = 0.500m$$

$$T_e = \frac{3296}{5.24} = 629.49 Nm$$

$$F_t = 2 * \frac{T_e}{d_{dg}} = 2 * \frac{629.49}{0.5m} = 2518.0 N$$

La fuerza flexionante para bandas trapezoidales que actúa sobre el eje se calcula con la ecuación:

Ecuación 22: Fuerza flexionante

$$F_f = 1.5 * F_t = 1.5 * 2518.0 N = 3776.9N \quad (24)$$

4.9.2.7. Plano vertical

Para el plano “vertical”, actúa el peso de la polea:

$$F_{1y} = 30 * 9.81 = 294.30 \text{ N}$$

Para determinar la fuerza actuante en la polea es esencial descomponer esta fuerza flexionaste en componentes paralelas y perpendiculares a la línea entre los centros, utilizando ecuaciones específicas.

$$d_{dg} = 0.500m : \text{Diámetro de polea conducida}$$

$$d_{dk} = 0.250 \text{ m} : \text{Diametro de la polea motriz}$$

$$a_{nom} = 0.67723 \text{ m}$$

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{a_{nom}}{d_{dg} - d_{dk}} \right) = \tan^{-1} \left(\frac{0.67723m}{0.500m - 0.250 \text{ m}} \right) = 69.738^\circ$$

$$F_{fx} = F_f * \cos(\theta) = 3776.9N * \cos(69.738^\circ)$$

$$F_{fx} = 1308.0N$$

$$F_{fy} = F_f * \sin(\theta) = 3776.9N * \sin(69.738^\circ)$$

$$F_{fy} = 3543.2N$$

Donde la dirección en el eje “y” se toma paralela a la línea entre centros, la dirección “x” es perpendicular a esta y el ángulo θ es la inclinación del lado tenso de la faja con respecto a la dirección “x”.

Por lo tanto, las fuerzas que actúan en el punto A debido a la transmisión por polea-faja vienen a ser:

$$F_{Ax} = F_{fx}$$

$$F_{Ay} = F_{fy} + F_{1y}$$

$$F_{Ax} = 1308.0 \text{ N}$$

$$F_{Ay} = 3543.2 + 294.30 = 3837.5 \text{ N}$$

4.9.2.8. Fuerza aplicada al eje debido a las cuchillas y contra cuchillas

Se realiza el cálculo de la fuerza aplicada al eje debido a las cuchillas y contra cuchillas de acuerdo con los siguientes parámetros:

- **Datos de entrada**

- Momento torsor aplicado al sistema (T_c): 807.30 Nm
- Radio de la cuchilla (R): 0.125 m

- **Cálculo de la fuerza en las cuchillas (F_c):**

Ecuación 23: Fuerza de las cuchillas

$$F_c = T_c / R \quad (25)$$

donde T_c es el momento torsor y R es el radio de la cuchilla.

$$F_c = 807.30 \text{ Nm} / 0.125 \text{ m}$$

$$F_c = 6458.4 \text{ N}$$

- **Descomposición de la fuerza aplicada (F_c) en componentes horizontal (F_{cx1}) y vertical (F_{cy1}):**

Dado que el corte se realiza a un ángulo de 45° respecto a la vertical:

Ángulo de corte (α): 45°

$$F_{cx1} = F_c * \cos(45^\circ)$$

$$F_{cx1} = 6458.4 \text{ N} * \cos(45^\circ)$$

$$F_{cx1} = 4566.8 \text{ N}$$

$$F_{cy1} = F_c * \sin(45^\circ)$$

$$F_{cy1} = 6458.4 \text{ N} * \sin(45^\circ)$$

$$F_{cy1} = 4566.8 \text{ N}$$

- **Cálculo del peso total del conjunto: Se consideran los siguientes datos:**

- Número de separadores (N_s): 20
- Número de cuchillas (N_c): 21
- Peso aproximado de cada cuchilla (W_c): 0.9 kg
- Peso de cada separador (W_s): 0.6 kg
- Aceleración debido a la gravedad (g): 9.81 m/s^2

Ecuación 24: Peso total del conjunto

$$(W_{total}) = (W_c * N_c + W_s * N_s) * g \quad (26)$$

$$W_{total} = (0.9 \text{ kg} * 21 + 0.6 \text{ kg} * 20) * 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$W_{total} = (18.9 \text{ kg} + 12 \text{ kg}) * 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$W_{total} = 30.9 \text{ kg} * 9.81 \frac{m}{s^2}$$

$$W_{total} = 303.13 \text{ N}$$

- **Cálculo de la fuerza vertical final (Fcy): Se ajusta la componente vertical previamente calculada (Fcy1) sumando el peso total:**

$$F_{cy} = F_{cy1} + W_{total}$$

$$F_{cy} = 4566.8 \text{ N} + 303.13 \text{ N}$$

$$F_{cy} = 4869.9 \text{ N}$$

$$F_{cx} = F_{cx1}$$

$$F_{cx} = 4566.8 \text{ N}$$

Posteriormente, se propone analizar el eje como un componente horizontal en el que actúan las fuerzas de las cuchillas, la fuerza de la polea y las reacciones de dos apoyos en el eje, con el objetivo de calcular los diámetros requeridos para cada sección del mismo.

La determinación del diámetro se lleva a cabo con la siguiente ecuación:

Ecuación 25: Diámetro

$$D = \left(32 * \frac{N}{\pi} * \sqrt{\left(\left(K * \frac{M}{Sn} \right)^2 + \left(\frac{3}{4} * \left(\frac{T}{Sy} \right)^2 \right) \right)} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (27)$$

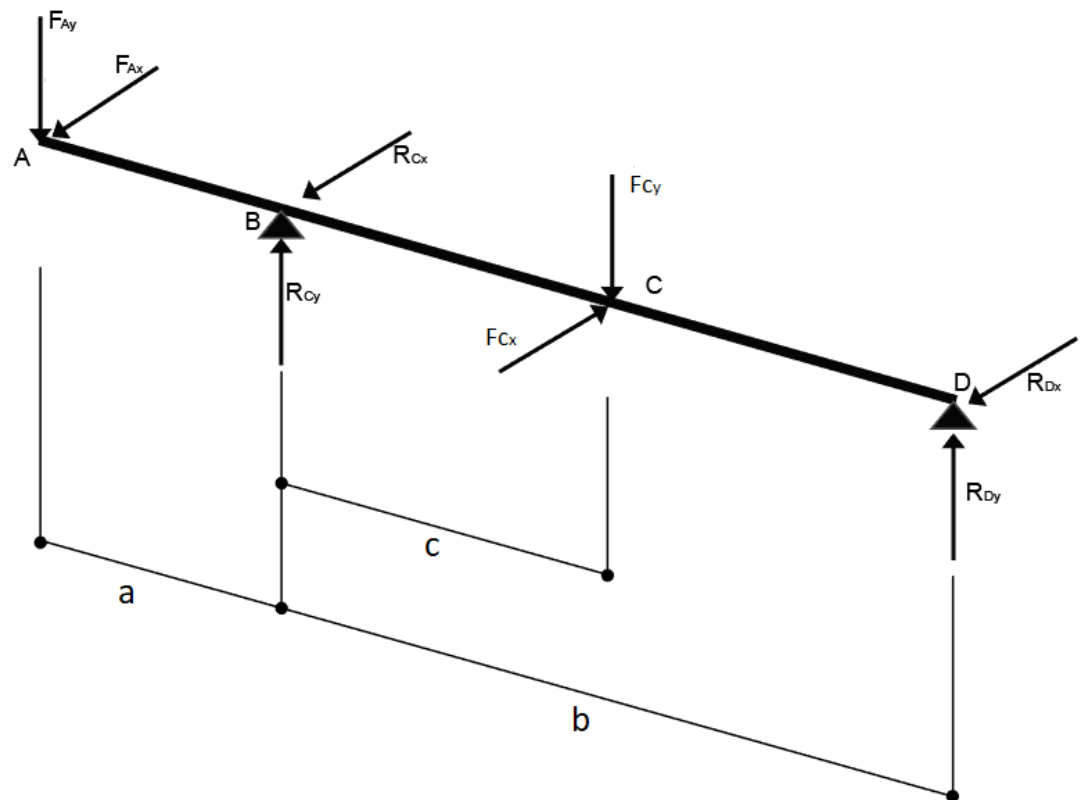
En donde:

- Kt representa la concentración de esfuerzos generados por cambios geométricos, con un valor de Kt = 2.5 para un chaflán agudo y Kt = 1.5 para un chaflán redondeado.
- N denota el factor de diseño, con un valor de 2 utilizado en este caso, ya que valores de 2 a 2.5 son recomendados para el diseño de componentes de máquinas bajo cargas dinámicas.
- Sn indica el valor de resistencia a la fatiga del material.
- M se refiere a los momentos flexionaste.
- T representa el torque al que el eje está sujeto.
- Sy corresponde al esfuerzo de fluencia.

El análisis se realiza considerando diversos parámetros como la concentración de esfuerzos, el factor de diseño, la resistencia a la fatiga del material, los momentos flexionaste, el torque aplicado y el esfuerzo de fluencia. Para el primer análisis, se toman en cuenta las fuerzas de corte y empuje previamente calculadas para las cuchillas, las cuales se consideran como fuerzas componentes aplicadas en el eje, tratándolo como un engrane, y se ilustran en el diagrama de la siguiente figura:

Figura 20

Diagrama de cuerpo libre del Eje



Nota. Elaboración propia.

- ***Diseño del eje de transmisión***

- El árbol de transmisión estará sometido a un torque de 807.30 Nm y a fuerzas axiales de 1308 N y 3837.5 N en las direcciones X e Y, respectivamente.
- El objetivo es determinar el diámetro mínimo necesario del árbol de transmisión para garantizar su resistencia bajo las condiciones de carga especificadas.

- ***Cálculo de las variables:***

- Factor de diseño (N)

- Se utiliza un valor de 2, ya que este rango (2 a 2.5) es el recomendado para el diseño de elementos de máquinas bajo cargas dinámicas.
- Factor de concentración de esfuerzos (K_t)
- Se considera un valor de 2.5 para un chaflán agudo.
- Momento flector (M)
- En el punto A del árbol de transmisión no se considera el momento flexionante, debido a que es cero, esto porque es un extremo libre del eje.

$$M = 0$$

- Resistencia a la fatiga del material (S_n)

Para el acero SAE 4340, se tiene una resistencia a la fatiga inicial (S_{n1}) de 18927.42 psi. Sin embargo, es necesario considerar los factores de tamaño (C_s) y de confiabilidad (C_r): esto se asigna mediante factores de confiabilidad aproximados, en donde para una confiabilidad de 0.999 el valor de C_r y C_s es de 0.75

Ecuación 26: Resistencia a la fatiga del material

$$S_n = S_{n1} * C_s * C_r \quad (28)$$

C_s : Factor de tamaño (0.75)

C_r : Factor de confiabilidad (0.75)

- Esfuerzo de fluencia del material (S_y): Para el acero SAE 4340, se tiene un esfuerzo de fluencia de 101526 psi.
- Torque (T) : Se utiliza el valor proporcionado de 807.30 Nm, convertido a lb-pulg:

$$T = 807.30 \text{ Nm} * 8.8507 \frac{\text{lb-pulg}}{\text{Nm}} = 7145.2 \text{ lb-pulg}$$

- **Cálculo del diámetro mínimo**

Sustituyendo los valores conocidos en la fórmula principal Ecuación 25, se obtiene:

$$D = \left(32 * \frac{2}{\pi} * \sqrt{\left(\left(2.5 * \frac{0}{10647} \right)^2 + \left(\left(\frac{3}{4} \right) * \left(\frac{7145.2}{101526} \right)^2 \right) \right)} \right)^{\frac{1}{3}}$$

$$D = 1.0748 \text{ pulgadas}$$

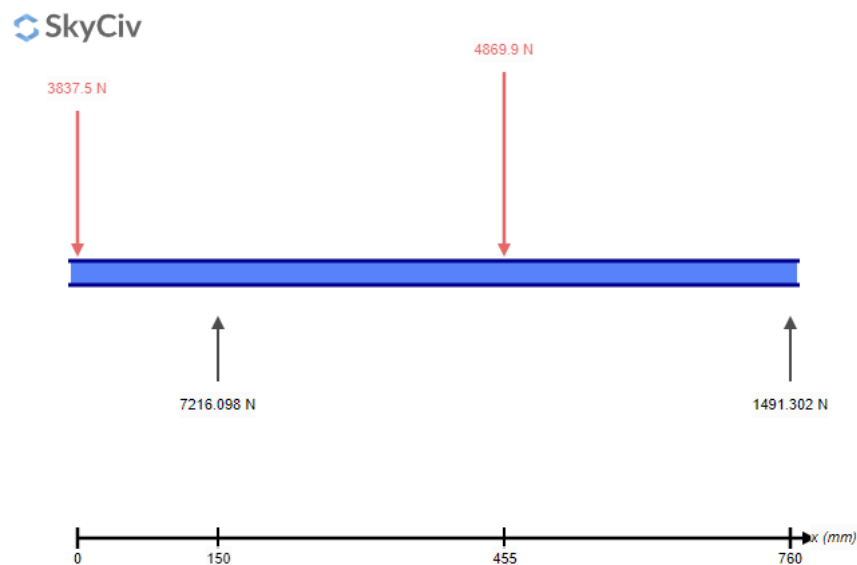
Después, se llevaron a cabo análisis adicionales para examinar la situación en el punto B del eje. Esto implicó la elaboración de diagramas de cortante y momento

flector en un plano horizontal (eje "x") y un plano vertical (eje "y"), los cuales están representados en las figuras siguientes.

- *Eje "Y"*

Figura 21

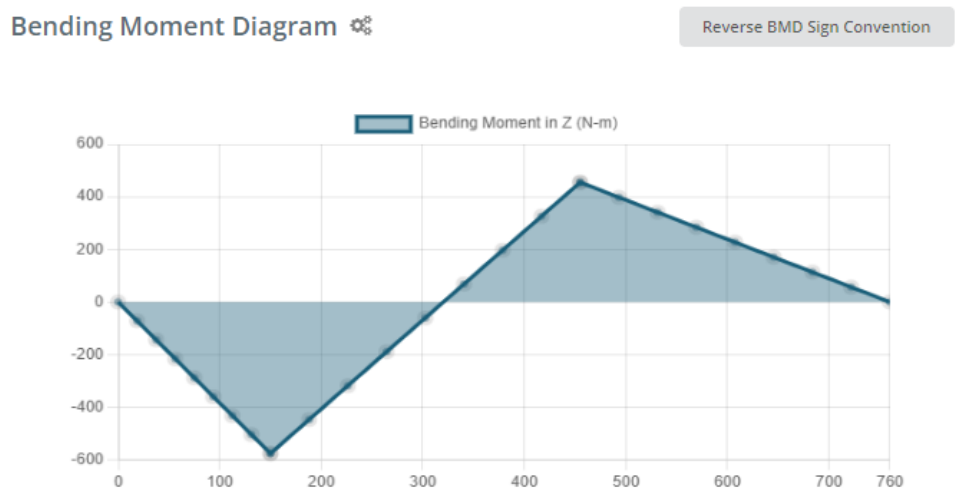
Diagrama de cuerpo libre de cargas en el eje "Y".



*Nota.*Elaboración propia.

Figura 22

Diagrama de momento flector eje "Y"

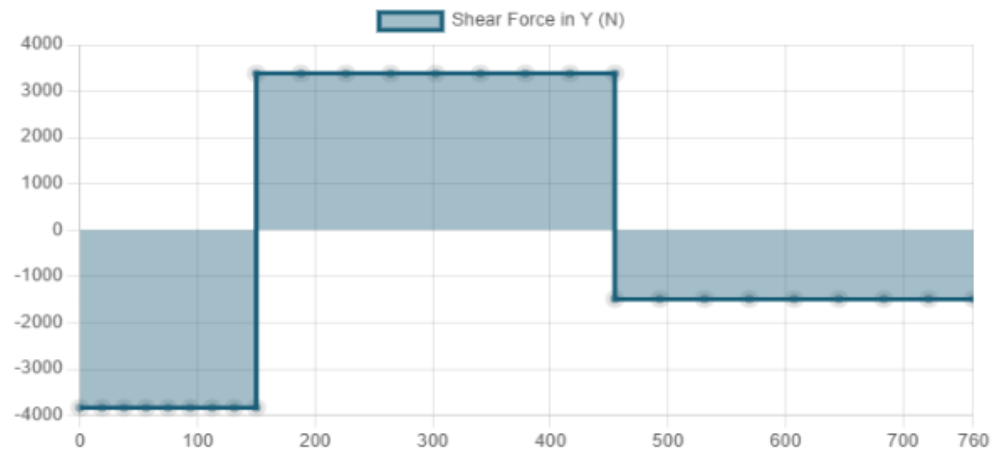


*Nota.*Elaboración propia.

Figura 23

Diagrama de fuerzas cortantes eje "Y"

Shear Force Diagram ⚙

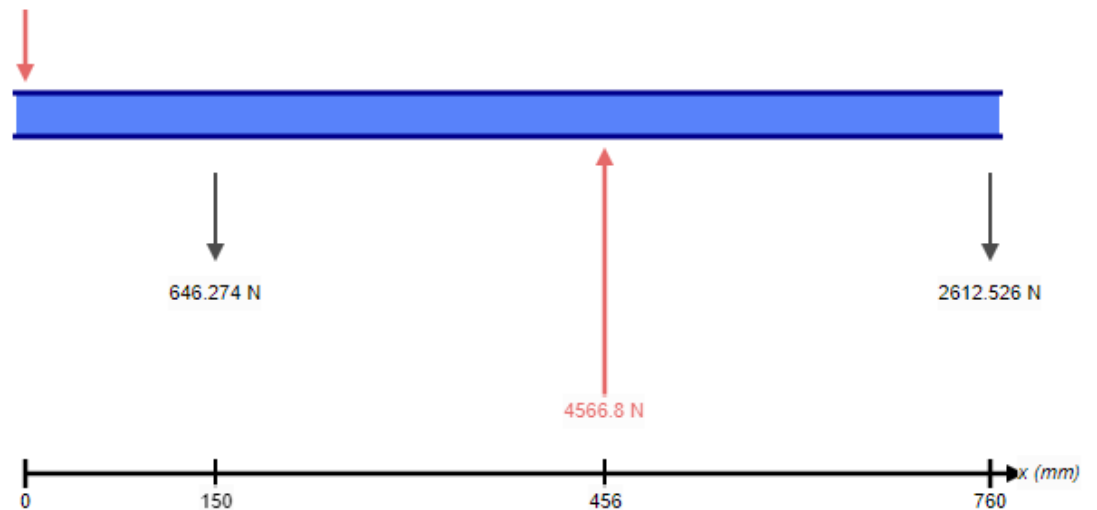


Nota. Elaboración propia.

- *Eje "X"*

Figura 24

Diagrama de cuerpo libre en el eje "X".



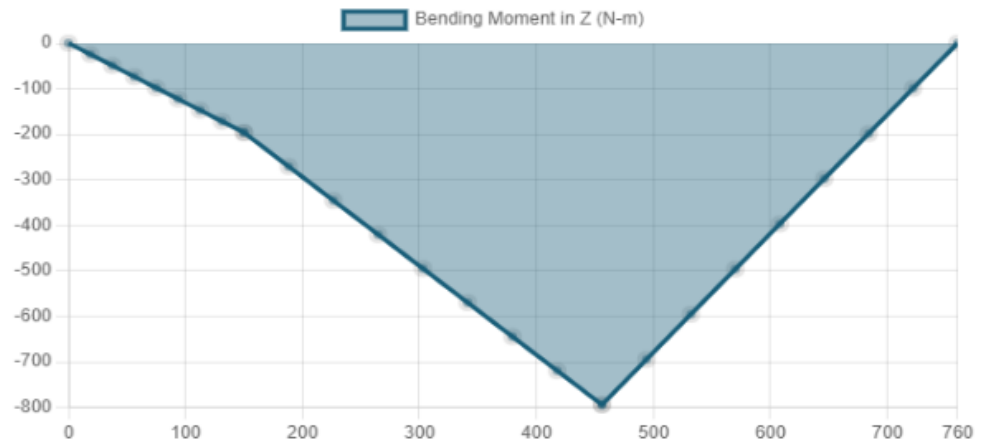
Nota. Elaboración propia.

Figura 25

Diagrama de momento flector eje "X"

Bending Moment Diagram

Reverse BMD Sign Convention

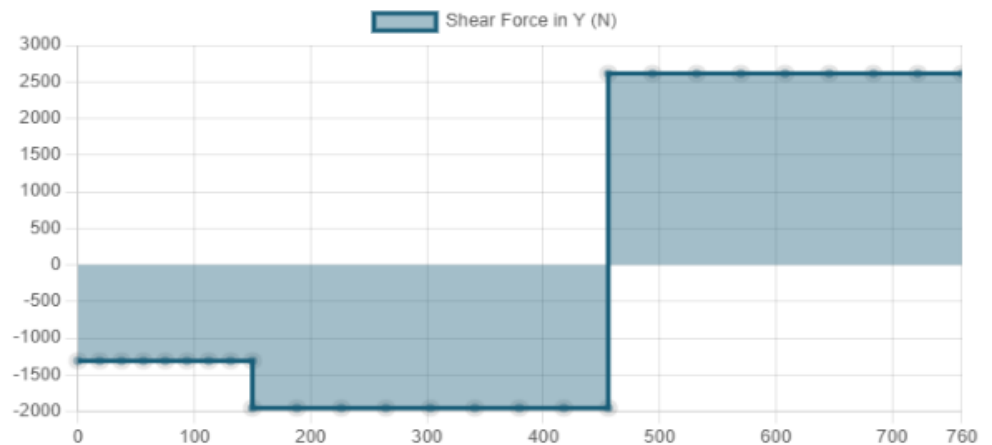


Nota.Elaboración propia.

Figura 26

Diagrama de fuerzas cortantes eje "X".

Shear Force Diagram



Nota.Elaboración propia.

4.9.2.9. Punto B

El eje estará sometido a un torque de 807.30 Nm y a fuerzas axiales de 1308 N y 3837.5 N en las direcciones X e Y, respectivamente. Además, se consideran momentos flectores en el punto B de 200 N-m y 600 N-m en los ejes X e Y, respectivamente, esto se obtiene de los diagramas anteriores.

- **Factor de diseño (N)**

Se utiliza un valor de 2, ya que este rango (2 a 2.5) es el recomendado para el diseño de elementos de máquinas bajo cargas dinámicas.

- **Factor de concentración de esfuerzos (Kt)**

Se considera un valor de 1.5

- **Momento flector (M)**

Punto B:

Ecuación 27: Momento flector (M)

$$M = \sqrt{(mx^2 + my^2)} \quad (29)$$

$$mx = 200 \text{ N} - m * 8.8507 \text{ lb} - \frac{\text{pulg}}{\text{N}} - m = 1770.1 \text{ lb} - \text{pulg}$$

$$my = 600 \text{ N} - m * 8.8507 \text{ lb} - \frac{\text{pulg}}{\text{N}} - m = 5310.4 \text{ lb} - \text{pulg}$$

$$M = \sqrt{(1770.1^2 + 5310.4^2)} = 5597.7 \text{ N} - m$$

- **Resistencia a la fatiga del material (Sn)**

Para el acero SAE 4340, se tiene una resistencia a la fatiga inicial (Sn1) de 18927.42 psi. Sin embargo, es necesario considerar los factores de tamaño (Cs) y de confiabilidad (Cr):

$$Sn = Sn1 * Cs * Cr$$

Cs: Factor de tamaño (0.75)

Cr: Factor de confiabilidad (0.75)

$$Sn = 18927.42 \text{ psi} * 0.75 * 0.75 = 10647 \text{ psi}$$

- **Esfuerzo de fluencia del material (Sy)**

Para el acero SAE 4340, se tiene un esfuerzo de fluencia de 101526 psi.

- **Cálculo del diámetro mínimo**

Punto B:

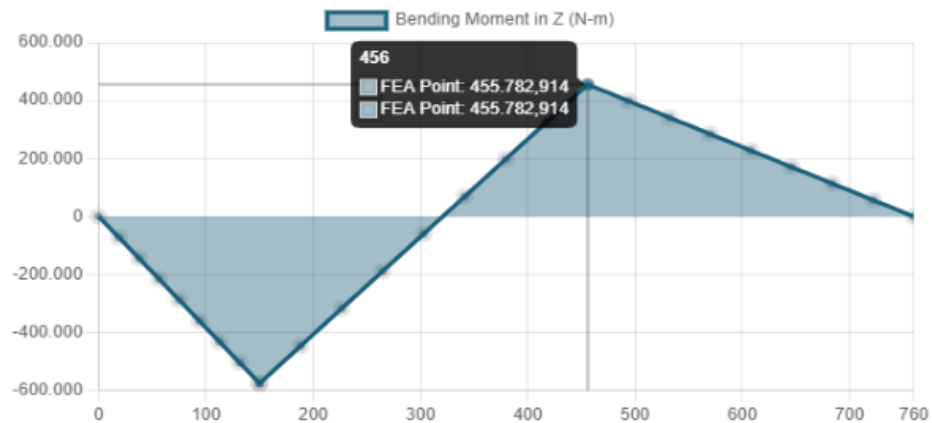
$$D = \left(32 * \frac{2}{\pi} * \sqrt{\left(\left(1.5 * \frac{5597.7}{10647} \right)^2 + \left(\frac{3}{4} * \frac{7145.2}{101526} \right)^2 \right)} \right)^{\frac{1}{3}}$$

D = 2.5258 pulgadas

4.9.2.10. Punto C

Figura 27

Momento flector (en el eje y) para el punto C



*Nota.*Elaboración propia.

El cálculo se basa en las propiedades del material SAE 4340 y las cargas a las que estará sometido el eje.

- **Datos del problema**

- Torque (T): 807.30 Nm (convertido a lb-pulg: 7145.2 lb-pulg)
- Esfuerzo de fluencia (Sy): 101526 psi
- Resistencia a la fatiga sin factores de reducción (Sn1): 18927.42 psi
- Factor de tamaño (Cs): 0.75
- Factor de confiabilidad (Cr): 0.75
- Factor de diseño (N): 2
- Concentración de esfuerzos (Kt): 1.5

- Fuerza axial en X (Fax): 1308 N (convertido a lb: 294.05 lb)
- Fuerza axial en Y (Fay): 3837.5 N (convertido a lb: 862.70 lb)
- Momento flector en X (mx): 800 Nm (convertido a lb-pulg: 7080.6 lb-pulg)
- Momento flector en Y (my): 455.78 Nm (convertido a lb-pulg: 4034.0 lb-pulg)

- **Cálculos**

- Resistencia a la fatiga del material (Sn)

$$S_n = S_{n1} * C_s * C_r \quad S_n = 18927.42 \text{ psi} * 0.75 * 0.75 \quad S_n = 10646.99 \text{ psi}$$

- Momento flector combinado (M)

Ecuación 28: Momento flector combinado (M)

$$M = \sqrt{m_x^2 + m_y^2} \quad M = \sqrt{7080.6^2 + 4034.0^2} \quad M = 8149.1 \text{ lb-pulg} \quad (30)$$

- Diámetro mínimo necesario (D)

$$D = \left(32 * \frac{N}{\pi} * \sqrt{\left(\left(K_t * \frac{M}{S_n} \right)^2 + \left(\left(\frac{3}{4} \right) * \left(\frac{T}{S_y} \right)^2 \right) \right)} \right)^{\frac{1}{3}}$$

$$D = \left(32 * \frac{2}{\pi} * \sqrt{\left(\left(1.5 * \frac{8149.1}{10646.99} \right)^2 + \left(\left(\frac{3}{4} \right) * \left(\frac{7145.2}{101526} \right)^2 \right) \right)} \right)^{\frac{1}{3}}$$

$$D = 2.8612 \text{ pulgadas.}$$

El diámetro mínimo necesario para el eje en el punto c es de 2.8612 pulgadas.

4.9.2.11. Punto D

Datos:

Las fuerzas cortantes son obtenidas de los diagramas de fuerza cortante:

- Fuerza cortante en X (vx): 2600 N (convertida a lb: 584.50 lb)
- Fuerza cortante en Y (vy): 1500 N (convertida a lb: 337.21 lb)
- Resistencia a la fatiga sin factores de reducción (Sn1): 18927.42 psi
- Factor de tamaño (Cs): 0.75
- Factor de confiabilidad (Cr): 0.75
- Factor de diseño (N): 2
- Concentración de esfuerzos (Kt): 2.5

• **Cálculos:**

- Fuerza resultante (V)

$$V = \sqrt{(vx^2 + vy^2)}$$

$$V = \sqrt{(584.50^2 + 337.21^2)}$$

$$V = 674.80 \text{ lb}$$

- Resistencia a la fatiga del material (Sn)

$$Sn = Sn1 * Cs * Cr$$

$$Sn = 18927.42 \text{ psi} * 0.75 * 0.75$$

$$Sn = 10646.99 \text{ psi}$$

- Diámetro torsional mínimo (Dt)

Ecuación 29: Diámetro torsional mínimo

$$Dt = \sqrt{\left(2.94 * Kt * V * \frac{N}{Sn}\right)} \quad (32)$$

$$Dt = \sqrt{\left(2.94 * 2.5 * 674.80 * \frac{2}{10646.99}\right)}$$

$$Dt = 0.9652 \text{ pulgadas}$$

El diámetro mínimo necesario para el eje en el punto D es de 0.9652 pulgadas.

Tabla 17*Diámetros mínimos necesarios en el eje*

PUNTO	DIÁMETRO
A	D = 1.0748 pulgadas
B	D = 2.5258 pulgadas
C	D = 2.8612 pulgadas
D	D = 0.9652 pulgadas

Nota. Elaboración propia

El diámetro más crítico está en el punto C el cual es de 2.8612 pulgadas (72.67 mm) por lo que se selecciona un diámetro normalizado de 75mm según la norma DIN 323.

4.9.2.12. Selección de rodamientos

Se tiene como objetivo realizar la selección de un rodamiento adecuado para una aplicación específica, considerando las condiciones de operación y la vida útil deseada

4.9.2.13. Datos de entrada

Condiciones de operación del rodamiento:

(Rbx): 646.27 N

(Rby): 7216 N

- Exponente de vida (a): 3
 - Un valor que depende del tipo de rodamiento. Para rodamientos de bolas, a = 3.
- Tiempo de vida útil deseado ($tiempo_a$): 15 años
 - El tiempo durante el cual se espera que el rodamiento funcione correctamente.

- Horas de uso al día (Tu): 4 horas
 - El número de horas por día que el rodamiento estará en funcionamiento al día.
- Velocidad de giro (nd): 50 rpm
 - La velocidad de rotación del rodamiento en revoluciones por minuto.

4.9.2.14. Carga equivalente

La carga equivalente (Rb) se calcula como la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados de las cargas radial y axial:

Ecuación 30: Carga equivalente

$$Rb = \sqrt{(Rbx^2 + Rby^2)} = \sqrt{(646.27^2 + 7216^2)} = 7244.9 \text{ N} \quad (33)$$

4.9.2.15. Carga dinámica equivalente

La carga dinámica equivalente (Fd) se calcula dividiendo la carga equivalente por 1000:

Ecuación 31: Carga dinámica equivalente

$$Fd = Rb / 1000 = 7244.9 \text{ N} / 1000 = 7.2449 \text{ kN} \quad (34)$$

Tiempo de vida deseada (Ld):

Ecuación 32: Tiempo de vida deseada (Ld)

$$Ld = 365 * tiempo_a * Tu \quad (35)$$

$$Ld = 365 * 15 * 4 = 21900 \text{ horas}$$

La vida útil estimada del rodamiento es de 21900 horas, esta se encuentra en el rango recomendado por Mott (50) para este tipo de máquinas, como se ve en la siguiente figura:

Figura 28

Duración recomendada para rodamientos

TABLA 14-4 Duración recomendada para rodamientos

Aplicación	Duración de diseño L_{10} , h
Electrodomésticos	1000-2000
Motores de aviación	1000-4000
Automotores	1500-5000
Equipo agrícola	3000-6000
Elevadores, ventiladores industriales, transmisiones de usos múltiples	8000-15 000
Motores eléctricos, sopladores industriales, máquinas industriales en general	20 000-30 000
Bombas y compresores	40 000-60 000
Equipo crítico en funcionamiento durante 24 h	100 000-200 000

Nota. Tomado de (50)

La carga que puede soportar el rodamiento se expresa como:

Ecuación 33: Carga que puede soportar el rodamiento

$$C_{10} = Fd * \left(\frac{Ld * nd * 60}{Lr * nr * 60} \right)^{\frac{1}{a}} \quad (36)$$

Donde:

C_{10} : Carga de rodamiento [kN].

Ld : Tiempo de vida deseada [h].

nd : Velocidad de giro [rpm].

a : exponente, para rodamiento de bolas un valor de 3.

Fd : Fuerza aplicada al rodamiento [kN]

Considerando que el fabricante SKF clasifica sus rodamientos para una vida de 10^6 ciclo, entonces se tiene:

$$Lr * nr * 60 = 10^6$$

$$C_{10} = 7.2449 * \left(\frac{21900 * 50 * 60}{10^6} \right)^{\frac{1}{3}} = 29.234 \text{ kN}$$

4.9.2.16. Rodamiento seleccionado

Con base en los cálculos realizados, se ha seleccionado un rodamiento con una capacidad de carga (C10) mayor a 29.234 kN.

Se selecciona el rodamiento rígido de bolas SKF 6010 con diámetro de 75mm

$C=41,6$ kN: carga dinámica

$C_o=33,5$ kN: carga estática

Estos valores del rodamiento seleccionad son superiores a los requerimientos por lo que se considera adecuado.

4.10. Estimación económica

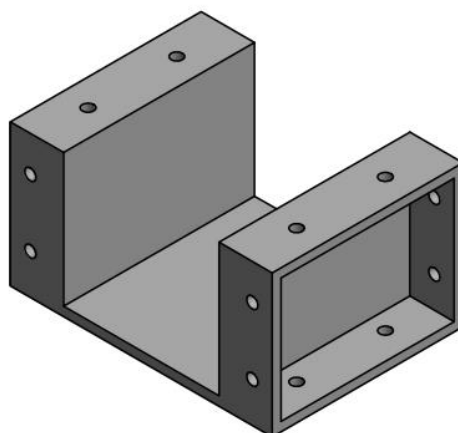
Para la estimación económica hay que tener en cuenta el proceso de fabricación de algunos elementos que componen el sistema triturador como son los siguientes:

4.10.1. Caja trituradora

Para la fabricación de la caja trituradora el material a usar será acero A-36. Se procederá a comprar una plancha para luego, según las medidas, proceder a su respectivo corte con sierra. Una vez que se tiene los elementos se procederá a hacerle sus respectivos hoyos según corresponda en la fresadora. Finalmente unimos todos los elementos con un proceso de soldadura SMAW consiguiendo así el resultado final.

Figura 29

Diseño 3D de la caja trituradora



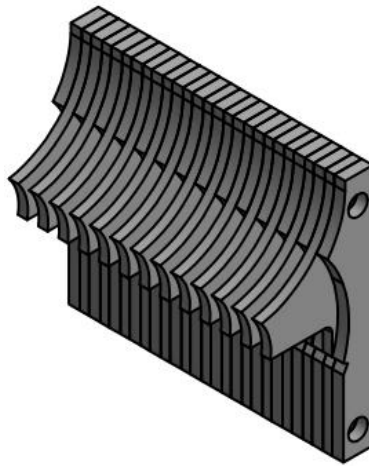
Nota. Elaboración propia.

4.10.2. Contra cuchillas

Para las contra cuchillas igualmente se considerará material A-36. Se procederá a comprar la plancha para luego hacer los cortes de las piezas pequeñas según la medida. Luego a todas estas piezas procederemos a hacerles un hoyo en la fresadora según corresponda. Finalmente, con una sierra y esmeril se procederá a tomar la forma que estas contra cuchillas poseen.

Figura 30

Diseño 3D de la contra cuchilla



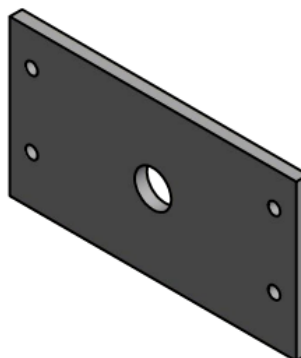
Nota. Elaboración propia.

4.10.3. Tapa

Para el caso de la tapa el proceso es más sencillo, se procederá a hacer el corte con sierra a una plancha hasta llegar a las medidas deseadas, finalmente se procederá a hacerle los hoyos según corresponda en una fresadora.

Figura 31

Diseño 3D de la tapa de la trituradora



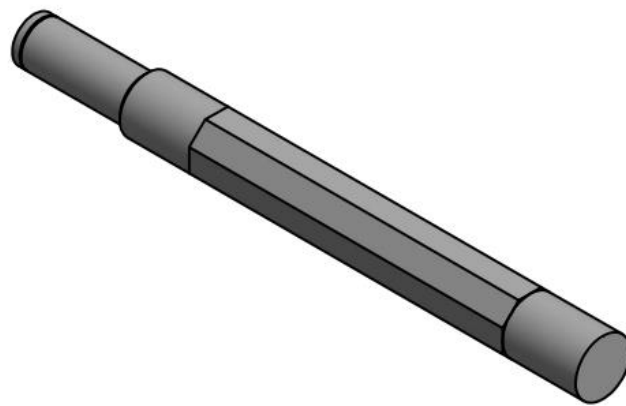
Nota. Elaboración propia.

4.10.4. Eje SAE 4340

A comparación de los otros este eje se fabricará con un acero SAE 4340 el cual necesariamente debe ser más resistente por todas las cargas a las cuales está sometida en la trituradora. Se procederá a comprar un eje SAE 4340 con las medidas deseadas para luego llevarlo a un torno y proceder con su torneado hasta llegar a la forma deseada. Al ser el material resistente el proceso de fabricación demora por lo que el costo será un poco más elevado.

Figura 32

Diseño 3D del eje de la trituradora
Nota. Elaboración propia.

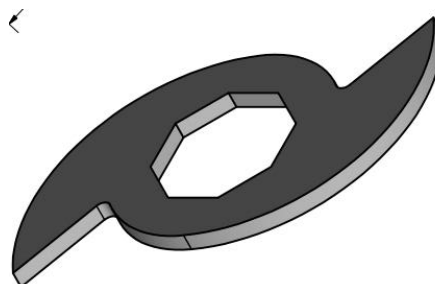


4.10.5. Cuchillas de corte

Para las cuchillas de corte procederemos a adquirir la plancha con el material seleccionado (acero ASTM A36, SAE1045, o SAE S1). Luego procederemos a cortar planchas pequeñas según el tamaño de la cuchilla para así proceder a moldear su forma exterior deseada mediante sierra de corte y esmeriles. Finalmente, para el diseño del hoyo interior con forma rectangular se llevará a la fresadora

Figura 33

Diseño 3D de la cuchilla de la trituradora



Nota. Elaboración propia.

Para los demás componentes como son los espárragos, tuercas, rodamientos, correas, motor y poleas, se pueden adquirir ya fabricados en tiendas.

Dicho esto, se mostrará la estimación económica la cual se mostrará en la Tabla 12. Este presupuesto es la inversión inicial que la planta debe pagar para adquirir el equipo.

Figura 34

Estimación económica del precio de la trituradora

ESTIMACIÓN ECONÓMICA DEL PRECIO DE LA TRITURADORA				
N°	DESCRIPCIÓN	CANT.	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
1	Caja de la trituradora A 36	1	S/ 668.00	S/ 668.00
2	Contra cuchillas A 36	1	S/ 268.00	S/ 268.00
3	Cuchillas A 36	21	S/ 16.60	S/ 348.60
4	Eje SAE 4340	1	S/ 195.00	S/ 195.00
5	Tapa A 36	1	S/ 160.00	S/ 160.00
6	Motor WEG Coaxial	1	S/ 950.00	S/ 950.00
7	Polea grande	1	S/ 350.00	S/ 350.00
8	Polea pequeña	1	S/ 250.00	S/ 250.00
9	Fajas de 3 canales	3	S/ 250.00	S/ 750.00
10	Rodamiento rígido de bolas SKF 6010	2	S/ 80.00	S/ 160.00
11	Espárrago M10x200_AM	2	S/ 5.00	S/ 10.00
12	Tuerca hexagonal M10 ISO 4034	8	S/ 3.90	S/ 31.20
13	Mano de obra	3	S/ 200.00	S/ 600.00
SUB-TOTAL				S/ 4,740.80
IGV (18%)				S/ 853.34
TOTAL				S/ 5,594.14

Nota. Elaboración propia

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Para la selección de las alternativas del sistema, el autor Caviades, Juan (4) realizó un análisis de la configuración y cantidad de ejes para las cuchillas, determinando que la mejor opción era la fabricación de un solo eje con cuchillas dobles. En la presente investigación, se ha considerado esta alternativa, con la diferencia de que nuestra selección de solución también incluye el modo de preparación, alimentación, trituración, clasificación y evacuación, resultando como mejor opción la solución 3.

El autor Monroy, Germán (5) empleó la metodología VDI 221 para diseñar una máquina destinada a la generación de filamento PLA, de mayor tamaño que la trituradora analizada en este estudio. Sin embargo, en ambos casos se seleccionó la misma configuración de cuchillas dobles en disposición en "V", lo que permitió, en su investigación, obtener partículas adecuadas para la trituración.

Por su parte, en su estudio, el autor Baldera, Cajusol (12) estimó una inversión económica de S/ 5,079.00 para la fabricación de su trituradora, lo que resultó más económico en comparación con nuestra inversión de S/ 5,594.14. Esta diferencia se debe a que en nuestro diseño se han considerado procesos de maquinado adicionales para la fabricación de elementos como las carcasas, las cuchillas, las contracuchillas y el eje.

CONCLUSIONES

La selección de cuchillas con materiales y geometrías adecuadas es un proceso crucial para reducir el desgaste durante la trituración y garantizar la integridad y durabilidad de los elementos cortantes. Según la metodología VDI 2225, se seleccionó el concepto número 1, que implica el uso de cuchillas de discos removibles para la trituración de botellas PET. Esta elección se basa en una evaluación técnica y económica de los diferentes conceptos de solución propuestos.

Se realizó un análisis detallado para determinar la fuerza de corte necesaria y la energía requerida para triturar las botellas PET. Estos cálculos son fundamentales para dimensionar adecuadamente las cuchillas y garantizar un rendimiento eficiente del proceso. Se optó por cuchillas de dos dientes, siguiendo investigaciones previas que sugieren que esta configuración ofrece un buen equilibrio entre rendimiento de trituración y riesgo de mal agarre de las botellas. Además, se consideraron dimensiones específicas, como el diámetro y el espesor de las cuchillas, para asegurar un corte eficiente.

La evaluación de la capacidad de trabajo del sistema de trituración de envases PET en el distrito de Alto Selva Alegre revela aspectos fundamentales para su diseño y funcionamiento eficiente. En primer lugar, se establece que la capacidad de trabajo de la máquina trituradora está determinada por el flujo masivo que puede procesar en un día. Con base en los datos proporcionados por el cliente, se estima una capacidad requerida de 32 kg/h en un período de trabajo de 4 horas diarias, lo que da como resultado una capacidad total de 127.5 kg/día.

El análisis detallado para la selección y cálculo de los elementos y mecanismos necesarios para el sistema de trituración de envases PET ha permitido identificar y dimensionar adecuadamente los componentes clave. Desde la selección del motorreductor hasta la elección del rodamiento, cada aspecto ha sido meticulosamente calculado para garantizar un funcionamiento eficiente y seguro de la maquinaria.

Se ha determinado un motorreductor de 5.5 kW con las especificaciones necesarias para cumplir con los requisitos de velocidad y par. Asimismo, se ha realizado la selección de poleas y fajas, calculando sus dimensiones y la cantidad necesaria para transmitir la potencia de manera eficiente. El diseño del eje de transmisión ha sido cuidadosamente analizado, considerando las fuerzas actuantes y calculando los diámetros mínimos

requeridos en distintos puntos para garantizar su resistencia bajo las condiciones de carga establecidas.

Finalmente, se ha seleccionado un rodamiento rígido de bolas SKF 6010 con un diámetro de 75 mm, que cumple con los requisitos de carga dinámica y estática de la aplicación, asegurando un funcionamiento confiable y duradero del sistema de trituración de envases PET. Este análisis exhaustivo proporciona una base sólida para el diseño e implementación del sistema, garantizando su eficiencia, seguridad y fiabilidad en la operación.

TRABAJOS FUTUROS

1. Implementación de un Programa de Capacitación Continua: Se recomienda establecer un programa de capacitación continua para el personal encargado del mantenimiento y operación del sistema de trituración. Este programa debe abarcar aspectos técnicos, de seguridad y buenas prácticas laborales, con el objetivo de garantizar un manejo adecuado de la maquinaria y prevenir accidentes laborales.
2. Monitoreo y Evaluación Periódica del Desempeño del Sistema: Es fundamental establecer un sistema de monitoreo y evaluación periódica del desempeño del sistema de trituración. Esto permitirá identificar posibles fallos o deficiencias en el funcionamiento de la maquinaria y aplicar medidas correctivas de manera oportuna para garantizar su eficiencia y durabilidad a lo largo del tiempo.
3. Promoción de Prácticas de Reciclaje Responsable: Se sugiere promover prácticas de reciclaje responsable entre la comunidad de Alto Selva Alegre, con el objetivo de aumentar la cantidad de envases PET recolectados y procesados en la planta de reciclaje. Esto podría incluir campañas de sensibilización, incentivos para la recolección de residuos y colaboraciones con organizaciones locales para fomentar la cultura del reciclaje.
4. Investigación Continua para la Mejora del Sistema: Se recomienda continuar con la investigación y el desarrollo en el campo del diseño de sistemas de trituración de envases PET. Esto podría incluir la exploración de nuevas tecnologías y materiales que permitan mejorar la eficiencia y sostenibilidad del proceso de reciclaje, así como la adaptación del sistema a futuras necesidades y desafíos.
5. Colaboración Interinstitucional y Cooperación Internacional: Se recomienda fomentar la colaboración interinstitucional y la cooperación internacional en el ámbito del reciclaje de envases PET. Esto podría facilitar el intercambio de conocimientos, experiencias y recursos, así como el acceso a financiamiento y tecnologías innovadoras que impulsen el desarrollo sostenible del sector.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. **Green Peace.** *La producción global de plásticos se ha disparado en los últimos 50 años, y en especial en las últimas décadas. De hecho, en los últimos diez años hemos producido más plástico que en toda la historia de la humanidad.* 2015.
2. **Ministerio del Ambiente - Plataforma del Estado Peruano.** Problemática. [En línea] 21 de marzo de 2024. <https://www.gob.pe/58443-problematica>.
3. **Jhon, Joset Abed Malqui Pérez y Alcalde, Mao Vasquez.** "ESTUDIO DE LA PRESENCIA DE MICROPLÁSTICOS EN SEDIMENTOS DE LAS PLAYAS DE LIMA Y AREQUIPA ENTRE LOS AÑOS 2016-2021. Cajamarca : s.n., 2021.
4. **El pueblo.** En Arequipa sólo se recicla el 3% de los residuos que se producen. 18 de mayo de 2023.
5. **CUADROS TORREBLANCA, RENATO FABIAN.** *ANÁLISIS DEL MANEJO DE RESIDUOS SÓLIDOS EN EL DISTRITO DE ALTO SELVA ALEGRE, AREQUIPA, 2022.* Arequipa : s.n., 2022.
6. **Campos, Liz.** Arequipa: "Trueque ambiental" busca apoyo para recicladoras formalizadas. *El Búho.* 2022.
7. **Jänsch, J y Birkhofer, H.** *The development of the guideline VDI 2221 - The Change of Direction.* Dubrovnik, Croacia : 2006.
8. **Rojas, Tatiana.** Precios del PET reciclado en alza: desafíos de la industria plástica en 2024. *Tecnología del Plástico.* 02 de febrero de 2024.
9. **Lozano, Victor.** Reciclaje: armonía productiva con el medio ambiente. *El Peruano.* 2021.
10. *Development of Shredding and Washing Machine for Polyethylene Terephthalate (PET) Bottles Pelletizer.* **Oyebade, Damilola.** 2, 2019, International Journal of Engineering, Vol. 3.
11. *The Design of a Plastic Shredder Machine with The Crusher Cutting Knife Model for Environmentally Sustainable.* **Putra, Suwignyo, y otros.** 2, 2022, UBP Karawang, Vol. 3, págs. 58-66.
12. **Igua, Byron y Gil, Issac.** *Planta piloto para la trituración del plástico PET, integrado al sistema de transformación del plástico.* 2019.
13. **Caviedes, Juan.** *Diseño de una máquina trituradora para plástico pet.* 2020.
14. **Monroy, German.** *Prototipo de máquina trituradora para envases plásticos pos consumo par la fabricación de hojuelas.* 2021.
15. **Sandoval, Cesar.** *Diseño de los elementos de una trituradora de PET.* 2013.
16. **Bravo, Juan.** *Diseño y construcción de un prototipo industrial de una maquina trituradora de plástico.* 2017.
17. **Mendoza, Luque.** *Diseño de un prototipo de máquina.* 2019.

18. **Monteza, Willian.** *Diseño de una máquina trituradora de botellas plásticas de 100kg/h para optimizar su transporte y almacenamiento en la empresa recicladora planeta verde EIRL - Chiclayo.* 2019.
19. **Chavez, Jeisson.** 1) *Diseño de una trituradora actuada por sistema fotovoltaico para eliminar botellas plásticas en la Universidad Católica Santo Toribio De Mogrovejo.* 2021.
20. **Lara, Giancarlo.** *Diseño y fabricación de un molino para el reciclado de polietileno y polipropileno con capacidad de 800 kg/h.* Universidad Tecnológica del Perú. 2021.
21. **Baldera, Cajusol.** *Diseño de una máquina trituradora de botellas de plástico de 25 kg/h para la empresa recicladora “Bravo”- Tucume, Lambayeque.* Pimentel : s.n., 2020.
22. **Vera, Edwin.** *Diseño y construcción de una máquina para obtener filamento 3D de bajo costo reciclando botellas PET.* 2023.
23. **Cutipa, Olger y Rodríguez, Edgar.** 1) *Diseño de extrusora para la fabricación de filamento a base de polímeros termoplásticos utilizados en el Fab Lab de la Universidad Continental Arequipa.* 2020.
24. **Prada, Majusvic.** *Estudio de pre-factibilidad para una planta de pet reciclado como agregado para materiales de construcción en la ciudad de Arequipa.* 2021.
25. **Díaz, Felipe.** *Diseño de Elementos de Máquinas.* Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, Cuautitlán : 2011.
26. **Campi, Isabel.** *¿Qué es el diseño?* s.l. : GG, 2020.
27. **Wong.** *Shredder machine for plastic recycling: A review.* 2022.
28. **Budynas, Richard G.** *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley, 9na Edición .* 2012.
29. **Seto.** *Vibraciones mecánicas.* 1970.
30. **Eraso, Omar.** *Procesos de Manufactura.* Universidad Nacional Abierta y a Distancia, s.l. : 2008.
31. **Rodriguez, Diego.** *Implementación de Controladores Fuerza Posición en un Proceso de Esmerilado.* Universidad de los Andes, Bogotá, Colombia : 2007.
32. **Espinoza, Ciro.** *Metodología de Investigación Tecnológica. Pensando en sistemas.* 2010. ISBN: 978-612-00-0222-3.
33. **Pérez, Roberto.** *Experiencias en la selección de aceros asistida por computadoras en la carrera de ingeniería mecánica.* [En línea] 2010. [Citado el: 18 de Diciembre de 2023.] <https://www.researchgate.net/>.
34. **Boretech.** Boretech. [En línea] <https://www.bo-re-tech.com/es/solution/Rigid-Plastics-and-PE-Film-Recycling-System.html>.
35. **Shuliy Global.** [En línea] https://www.shuliyglobal.com/product/?b&campaignid=20928580559&adgroupid=156823885879&feeditemid=&targetid=kwd-908214265637&device=c&creative=692238447504&gad_source=1&gclid=CjwKCAiAgoq7

BhBxEiwAVcW0LH3WCdbNY5eVg8czCQWwFmLVoegV2jBXoUdWlSebB0p9nyfcbG_Z
HxoCF.

36. *Diseño conceptual de una máquina trituradora.* **Cauical, A, y otros.** Chía, Colombia. : Universidad de La Sabana., 2020.
37. *Development and performance evaluation of a plastic shredding machine.* . **Oluwatoyin, Solanke.** Nigeria : FEDERAL UNIVERSITY OF TECHNOLOGY, MINNA.
<http://repository.futminna.edu.ng:8080/jspui/handle/123456789/19844>, 2023.
38. *Development of a Plastic Shredder.* **Rasmus, Ekman.** s.l. : LUND UNIVERSITY. Department of Design Sciences, 2018.
39. *Diseño de un prototipo de máquina trituradora de botellas PET.* **Luque Mendoza, Eder.** Lima, Perú : Universidad Tecnológica del Perú. <https://hdl.handle.net/20.500.12867/2492>, 2019.
40. *Diseño de un prototipo de trituradora para mejorar el rendimiento de trituración de botellas tipo PET.* **Gamarra, Arturo, Lozano, Yovany y Serpa, Christian.** 14, s.l. : respectiva niversitaria, 14(1), 41–46., 2020, Vol. 1.
41. **Gamarra, Arturo, y otros.** *Diseño de un prototipo de trituradora para mejorar el rendimiento de trituración de botellas tipo PET.* Universidad Nacional del Centro del Perú, s.l. : 2017.
42. *Optimal Design AND Analysis OF TWIN Shaft Shredder.* **Rathnam, Venkata y Babu, Hari.** s.l. : Research Scholar, Department of Mechanical Engineering,, 2020.
43. *Design and Fabrication of Plastic Shredder Machine for Clean Environment.* **Vijay, S, y otros.** 7, Chennai, India : International Journal of Management, Technology And Engineering, 2018, Vol. 8. ISSN NO : 2249-7455Page No: 4602.
44. *Utilization of Upgraded Shredder Blade and Recycling the Waste Plastic and Rubber Tyre.* **Ravi, Sekar.** <https://www.ieomsociety.org/paris2018/papers/327.pdf>, Paris, Francia : Proceedings of the International Conference on Industrial Engineering and Operations Management, 2018.
45. **Dave, Dakken.** The alternative plastic recycling system run by (brilliant) people around the planet. [En línea] 2023. <https://www.preciousplastic.com/>.
46. *Development of Dual Shaft Multi Blade Waste Plastic Shredder for Recycling Purpose.* **Tegegne, Asmamaw T, y otros.** 1, Ethiopia : International Journal of Research and Scientific Innovation (IJRSI) , 2019, Vol. VI. ISSN 2321–2705.
47. *Avances de diseños de prototipo de equipo de trozado de neumáticos fuera de uso provenientes de la explotación minera.* **Pelizzoni, J, y otros.** s.l. : Universidad Nacional de Lomas de Zamora Camino de Cintura y Juan XXIII - Lomas de Zamora, 2014.
<https://host170.sedici.unlp.edu.ar/server/api/core/bitstreams/61219198-fde0-4bfb-8d9d-ae329559a50b/content>.

48. **DIMERC.** Bebida desechable normal 3LT. [En línea] 2024.
<https://www.dimerc.cl/bebida-coca-cola-desechable-3-lt.html>.
49. **Optibelt.** *Manual técnico para transmisiones por correas trapeciales.* Madrid, España. : SERCOIN suministros - transmisión, 2019.
50. **Mott, Robert.** *Diseño de Elementos de Máquinas 4ta.* México : Pearson Educación Mexicana S.A., 2006.
51. **Richardson, Terry y Lokensgard, Erik.** *Industria del PLastico.* Madrid, España. : Paraninfo, D.L., 1999. ISBN: 84-283-2569-3.
52. **WEG-CESTARI.** *Diagnóstico Confiável no Monitoramento de Redutores.* s.l. : WEG-CESTARI Redutores, 2020.
53. **SKF, Manual.** *Catálogo general.* Suecia : Papel Ecológico, 2006.
54. **Infiniitia Industrias Consulting.** *Materiales plásticos: Tipos, composición y usos.* 2021.
55. **Ketelhohn, Werner, Marín, J y Eduardo, Montiel.** *INVERSIONES: Análisis de inversiones estratégicas.* 2004. pág. 4.
56. **El comercio.** *Estos son los lugares del mundo que más contaminan con plástico los océanos.* s.l. : El comercio, 2018.
57. **El Comercio.** La "isla de basura" en el Caribe de Honduras. *El Comercio.* 27 de 11 de 2017.

ANEXOS

ANEXO A. Matriz de consistencia

Tabla 18

Matriz de consistencia

PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPÓTESIS GENERAL
¿Cómo se va a realizar el diseño del Sistema de trituración de envases PET para una planta de reciclaje en el distrito de Alto Selva Alegre?	Realizar el diseño del Sistema de trituración de envases PET para una planta de reciclaje en el distrito de Alto Selva Alegre.	Se puede realizar el diseño del Sistema de trituración de envases PET para una planta de reciclaje en el distrito de Alto Selva Alegre.
PROBLEMA ESPECIFICO	OBJETIVO ESPECIFICO	HIPÓTESIS ESPECIFICA
¿Como se podría determinar la capacidad de trabajo que se requiere para una planta de reciclaje en Selva Alegre?	Determinar la capacidad de trabajo del sistema de trituración de envases PET aplicado para el distrito de Alto Selva Alegre.	Se puede determinar la capacidad de trabajo del sistema de trituración de envases PET aplicado para el distrito de Alto Selva Alegre
¿Como se puede realizar un dimensionamiento de cuchillas de corte de mayor durabilidad según la metodología VDI 225?	Desarrollar un análisis de diseño según la metodología VDI 2225 para dimensionamiento de cuchillas de corte para así preservar la durabilidad de estas mismas.	La elección de cuchillas con materiales y geometrías adecuadas reducirá el desgaste durante el proceso de trituración, garantizando

		la integridad y durabilidad de los elementos cortantes.
• ¿Cómo seleccionar los otros componentes determinantes para el correcto funcionamiento del sistema de trituración de envases PET tales como motorreductores, poleas y rodamientos según la selección de cuchillas y la capacidad de la planta?	• Seleccionar elementos y mecanismos necesarios para el sistema de trituración de envases PET tales como motorreductores, poleas, ejes y rodamientos mediante cálculos de diseño según la selección de cuchillas y la capacidad de la planta.	La selección y cálculo de los elementos y mecanismos para el sistema de trituración asegurarán su funcionamiento óptimo, contribuyendo a la eficiencia general del proceso de reciclaje de envases PET.
<i>Nota:</i> Elaboración propia		

ANEXO B. Densidad de materiales plásticos

Tabla 19

Densidad de materiales plásticos

No.	MATERIAL	DENSIDAD
1	ABS	1,04 – 1,06
2	ACETATO DE CELULOSA	1,25 – 1,35
3	COPÍLOMEROS ESTIRENO ACRILONITRITO SAN	1,06 – 1,10
4	PA 6	1,12 – 1,15
5	PA 66	1,13 – 1,16
6	PAN	1,14 – 1,17
7	PEBD	0,89 – 0,93
8	PEMD	0,93 – 0,94
9	PEAD	0,94- 0,98
10	PET	1,38 – 1,41
11	PP	0,85 – 0,92
12	PS	1,04 – 1,08
13	PTFE	2,10 – 2,30
14	PVD RÍGIDO	1,38 – 1,41
15	PVC (40% PLASTIFICANTE)	1,19 – 1,35
16	PMMA	1,16 – 1,20
17	POLICARBONATO DE BISFENOL A	1,20 – 1,22

Nota. Tomado de (51)

ANEXO C. Selección motor WEG

Tabla 20

Selección motor WEG

P _N =5,50kW												
60Hz n ₂ rpm	n1=1750			50 Hz n ₁ rpm	n1=1450			i _{sc}	Tamaño	Estágios	kg	
M ₂ Nm	f _s	Fr kN		M ₂ Nm	f _s	Fr kN						
338,71	155	2,32	8,4	280,65	187	1,92	9,1	5,17	V05	2	56	180
274,51	191	1,88	9,2	227,45	231	1,56	9,1	6,38	V05	2	56	
229,80	229	1,58	9,1	190,40	276	1,31	8,8	7,62	V05	2	56	
204,27	257	2,14	8,9	169,26	310	1,77	8,5	8,57	V05	2	56	
186,64	281	1,99	8,7	154,64	340	1,65	8,2	9,38	V05	2	56	
165,55	317	1,83	8,4	137,17	383	1,51	7,7	10,57	V05	2	56	
151,26	347	1,73	8,1	125,33	419	1,43	7,3	11,57	V05	2	56	
138,59	379	1,58	7,8	114,83	457	1,31	6,7	12,63	V05	2	56	
126,62	415	1,45	7,3	104,92	501	1,20	5,9	13,82	V05	2	56	
112,38	467	1,28	6,5	93,12	564	1,06	**	15,57	V05	2	56	
91,97	571	1,05	**	76,21	689	0,87	**	19,03	V05	2	56	
84,03	625	0,96	**	69,63	754	0,80	**	20,83	V05	2	56	
326,56	161	3,54	13,9	270,57	194	2,94	13,9	5,36	V06	2	76	182
275,76	190	2,99	13,0	228,48	230	2,48	13,8	6,35	V06	2	76	
238,99	220	2,59	12,1	198,02	265	2,15	13,7	7,32	V06	2	76	
203,28	258	2,21	12,0	168,43	312	1,83	13,6	8,61	V06	2	76	
178,32	295	2,78	11,8	147,75	355	2,31	13,2	9,81	V06	2	76	
163,52	321	2,55	11,7	135,48	388	2,12	13,1	10,70	V06	2	76	
146,90	358	2,29	11,5	121,72	432	1,90	13,1	11,91	V06	2	76	
134,70	390	2,10	11,3	111,61	471	1,74	12,9	12,99	V06	2	76	
124,05	423	1,94	11,1	102,78	511	1,60	12,7	14,11	V06	2	76	
113,75	462	1,78	10,8	94,25	557	1,47	12,4	15,38	V06	2	76	
107,51	489	1,68	10,6	89,08	590	1,39	12,2	16,28	V06	2	76	
91,45	574	1,43	9,7	75,77	693	1,18	11,3	19,14	V06	2	76	
75,64	694	1,18	8,2	62,67	838	0,98	**	23,14	V06	2	76	
69,36	757	1,08	8,0	57,47	914	0,90	**	25,23	V06	2	76	
172,51	304	3,65	18,6	142,94	367	3,02	18,6	10,14	V07	2	99	184
150,60	349	3,13	18,6	124,78	421	2,59	18,6	11,62	V07	2	99	
129,77	405	3,71	13,0	107,52	489	3,07	17,0	13,49	V07	2	99	
108,86	483	3,11	18,0	90,20	582	2,58	18,6	16,08	V07	2	99	
92,65	567	2,65	19,5	76,76	684	2,19	18,6	18,89	V07	2	99	
79,38	662	2,27	19,2	65,77	799	1,88	18,6	22,05	V07	2	99	
69,29	758	1,98	18,7	57,41	915	1,64	17,9	25,25	V07	2	99	
59,56	882	1,70	18,1	49,35	1064	1,41	16,9	29,38	V07	2	99	
50,37	1043	1,44	17,1	41,73	1259	1,19	16,0	34,74	V07	2	99	
32,31	1626	0,92	**	26,77	1962	0,76	**	54,16	V07	3	100	
147,95	355	4,00	20,0	122,59	428	3,31	20,0	11,83	V08	2	136	
109,30	481	3,43	20,0	90,57	580	2,84	20,0	16,01	V08	2	136	
69,93	751	3,20	20,0	57,94	907	2,65	20,0	25,03	V08	2	136	
67,43	779	3,85	20,0	55,87	940	3,19	20,0	25,95	V08	2	136	
58,33	900	3,33	20,0	48,33	1087	2,76	20,0	30,00	V08	2	136	
51,66	1017	2,74	20,0	42,81	1227	2,27	20,0	33,87	V08	2	136	
34,35	1529	1,96	20,0	28,46	1846	1,63	20,0	50,95	V08	3	146	

Nota. Tomado de (52)

ANEXO D. Factor de carga

Tabla 21

Factor de carga

Ejemplo de máquinas accionadas	Ejemplo de máquinas motrices					
	Los motores CA y trifásicos con un momento de arranque normal (de hasta 1,8 veces el momento nominal), por ejemplo, motores sincrónicos y monofásicos con fase auxiliar de arranque, motores trifásicos con arranque directo, arranque estrella/triángulo, con anillo colector; de corriente continua, de combustión interna y turbinas de $n > 600$ r.p.m			Los motores CA y trifásicos con un momento de arranque alto (más de 1,8 veces el momento nominal), por ejemplo, motores monofásicos con alto momento de arranque, motores con conexión principal CC conectados en serie y combinación, motores de combustión interna y turbinas de $n \leq 600$ r.p.m		
	Factor de carga c_2 para servicio diario (horas)			Factor de carga c_2 para servicio diario (horas)		
	hasta 10	más de 10 hasta 16	a partir de 16	up to 10	más de 10 hasta 16	a partir de 16
Transmisiones ligeras Bombas centrífugas y compresores, byas transportadoras (cargas ligeras) ventiladores y bombas de hasta 7,5 kW	1,1	1,1	1,2	1,1	1,2	1,3
Transmisiones medias Guillotinas, prensas, transportadores de cadena y bya (cargas pesadas), tamices vibradores, generadores y excitadores, amasadoras, máquinas herramienta (tornos, esmeriladoras), lavadoras, impresoras, ventiladores y bombas de más de 7,5 kW	1,1	1,2	1,3	1,2	1,3	1,4
Transmisiones pesadas Molinos, compresores de pistón, transportadores de carga pesada, expulsos (transportadores helicoidales, cintas de placas, cangilones y pala), ascensores, prensas de ladrillos, maquinaria textil, maquinaria del papel, bombas de pistón, bombas draga, aserraderos, molinos de machacado	1,2	1,3	1,4	1,4	1,5	1,6

Nota. Selección Factor de carga C2. Tomado de (49)

ANEXO E. Selección correa estandarizada

Figura 35

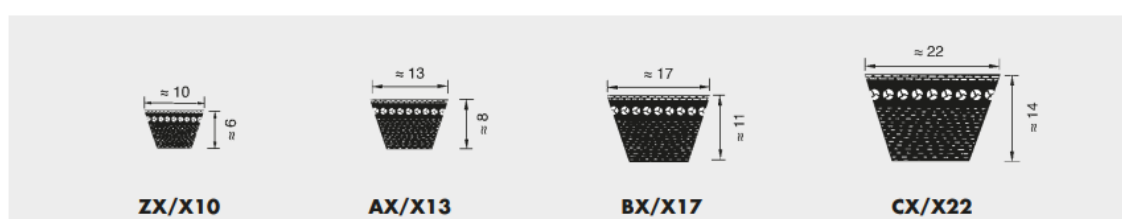
Selección correa estandarizada

Manual técnico para correas trapeciales

Surtido estándar

optibelt SUPER TX M=S Correas trapeciales

- de flancos abiertos, dentadas - DIN 2215/ISO 4184



Perfil ZX/X10		Perfil AX/X13		Perfil BX/X17		Perfil CX/X22	
Nº correa	Desarrollo de referencia ISO L _d (mm)	Nº correa	Desarrollo de referencia ISO L _d (mm)	Nº correa	Desarrollo de referencia ISO L _d (mm)	Nº correa	Desarrollo de referencia ISO L _d (mm)
ZX 23	597	AX 23	605	BX 23	610	CX 39	1058*
ZX 24	622	AX 23½	630	BX 25	670	CX 43	1148*
ZX 25	652	AX 24	640	BX 26	690	CX 49	1308*
ZX 26	672	AX 25	660	BX 28	750	CX 52	1378*
ZX 27	692	AX 26½	700	BX 29	765	CX 55	1458*
ZX 28	732	AX 27	716	BX 30	790	CX 59	1558*
ZX 29	752	AX 28	740	BX 31	815	CX 62	1632*
ZX 29½	772	AX 29	760	BX 32	840	CX 67	1758*
ZX 31½	822	AX 30	797	BX 33	876	CX 68	1785*
ZX 32	842	AX 31	805	BX 34	890	CX 71	1858*
ZX 33	847	AX 32	843	BX 34½	915	CX 75	1958*
ZX 33½	872	AX 33	871	BX 35	929	CX 79	2058*
ZX 35	897	AX 34	880	BX 36	940	CX 81	2118*
ZX 36	922	AX 35	919	BX 37	965	CX 85	2217*
ZX 37	947	AX 35½	930	BX 38	1005	CX 88	2298*
ZX 38	972	AX 36	944	BX 39	1040	CX 90	2344*
ZX 40	1038*	AX 37	955	BX 40	1056	CX 93	2418*
ZX 42	1082*	AX 37½	980	BX 41	1080	CX 96	2496*
ZX 46½	1202*	AX 38	995	BX 42	1100	CX 98	2558*
ZX 52	1342*	AX 39	1030	BX 43	1130	CX 110	2858*
ZX 55	1422*	AX 40	1046	BX 44	1160	CX 118	3058*
ZX 59	1522*	AX 41½	1080	BX 45	1190	CX 124	3208*
		AX 42	1090	BX 45½	1203	CX 132	3408*
		AX 43	1130	BX 46	1215		
		AX 44	1150	BX 46½	1220		
		AX 45½	1180	BX 47	1240		
		AX 46	1198	BX 48	1255		
		AX 47	1230	BX 49	1290		
		AX 48	1250	BX 50	1315		
		AX 49	1280	BX 51	1340		
		AX 50	1300	BX 52	1360		
		AX 51	1330	BX 53	1390		
		AX 52	1350	BX 54	1412		
		AX 53	1380	BX 55	1440		
		AX 54	1405	BX 57	1490		

Nota. Tomado de (49)

ANEXO F. Valores de potencia por faja

Tabla 22

Valores de potencia por faja

Valores de potencia

optibelt **SUPER TX M=5** Perfiles CX/X22

Potencia nominal PN (kW) para $\beta = 180^\circ$ y $L_d = 3808$ mm



Tabla 44

Poleas v (m/s)	n_k (min ⁻¹)	Diámetro de referencia de la polea pequeña d_A (mm)														Incremento por multiplicación (kW) por correa para				
		140	150	160	180	200	224	250	280	315	335	355	400	450	500	630	1.01 hasta 1.05	1.06 hasta 1.26	1.27 hasta 1.57	> 1.57
5	700	4.81	5.29	5.76	6.69	7.59	8.65	9.77	11.03	12.45	13.24	14.02	15.70	17.48	19.17	23.07	0.06	0.23	0.33	0.52
	950	6.07	6.68	7.28	8.46	9.61	10.94	12.34	13.89	15.62	16.58	17.50	19.46	21.47	23.28	26.99	0.08	0.32	0.45	0.70
	1450	8.23	9.07	9.89	11.49	13.01	14.76	16.54	18.44	20.47	21.52	22.50	24.39	25.99	27.00	26.57	0.13	0.48	0.69	1.07
	2850	12.16	13.34	14.45	16.45	18.14	19.73	20.88	21.39	20.80							0.25	0.95	1.36	2.11
	50	0.54	0.59	0.64	0.74	0.83	0.94	1.06	1.20	1.35	1.44	1.53	1.72	1.94	2.15	2.69	0.00	0.02	0.02	0.04
	100	0.98	1.07	1.16	1.34	1.51	1.72	1.94	2.19	2.47	2.63	2.79	3.15	3.54	3.93	4.90	0.01	0.03	0.05	0.07
	150	1.38	1.51	1.64	1.89	2.14	2.43	2.74	3.09	3.50	3.73	3.96	4.46	5.01	5.56	6.93	0.01	0.05	0.07	0.11
	200	1.76	1.92	2.08	2.41	2.72	3.10	3.50	3.95	4.47	4.76	5.06	5.70	6.40	7.09	8.83	0.02	0.07	0.10	0.15
	250	2.11	2.31	2.51	2.90	3.28	3.74	4.22	4.77	5.40	5.75	6.10	6.88	7.72	8.55	10.62	0.02	0.08	0.12	0.19
	300	2.45	2.69	2.92	3.37	3.82	4.35	4.91	5.55	6.29	6.70	7.10	8.00	8.98	9.94	12.33	0.03	0.10	0.14	0.22
	350	2.78	3.05	3.31	3.83	4.34	4.94	5.59	6.31	7.14	7.61	8.07	9.09	10.19	11.27	13.95	0.03	0.12	0.17	0.26
	400	3.10	3.39	3.69	4.27	4.84	5.52	6.23	7.05	7.97	8.49	9.00	10.14	11.36	12.55	15.49	0.04	0.13	0.19	0.30
	450	3.40	3.73	4.06	4.70	5.33	6.08	6.86	7.76	8.77	9.34	9.91	11.15	12.48	13.78	16.96	0.04	0.15	0.22	0.33
	500	3.70	4.06	4.42	5.12	5.81	6.62	7.48	8.45	9.55	10.17	10.78	12.12	13.56	14.95	18.34	0.04	0.17	0.24	0.37
	550	3.99	4.38	4.76	5.52	6.27	7.15	8.07	9.12	10.31	10.97	11.63	13.07	14.60	16.08	19.45	0.05	0.18	0.26	0.41
600	4.27	4.69	5.10	5.92	6.72	7.66	8.65	9.77	11.04	11.75	12.45	13.98	15.60	17.16	20.87	0.05	0.20	0.29	0.44	
650	4.55	4.99	5.44	6.31	7.16	8.16	9.22	10.41	11.76	12.51	13.25	14.86	16.56	18.19	22.02	0.06	0.22	0.31	0.48	
700	4.81	5.29	5.76	6.69	7.59	8.65	9.77	11.03	12.45	13.24	14.02	15.70	17.48	19.17	23.07	0.06	0.23	0.33	0.52	
750	5.08	5.58	6.08	7.06	8.01	9.13	10.31	11.64	13.13	13.95	14.76	16.52	18.36	20.10	24.04	0.07	0.25	0.36	0.56	
800	5.33	5.86	6.39	7.42	8.42	9.60	10.84	12.22	13.78	14.64	15.48	17.30	19.20	20.97	24.93	0.07	0.27	0.38	0.59	
850	5.58	6.14	6.69	7.77	8.83	10.06	11.35	12.80	14.41	15.31	16.18	18.06	20.00	21.80	25.71	0.07	0.28	0.41	0.63	
900	5.83	6.42	6.99	8.12	9.22	10.50	11.85	13.35	15.03	15.95	16.85	18.78	20.76	22.57	26.40	0.08	0.30	0.43	0.67	
950	6.07	6.68	7.28	8.46	9.61	10.94	12.34	13.89	15.62	16.58	17.50	19.46	21.47	23.28	26.99	0.08	0.32	0.45	0.70	
1000	6.31	6.94	7.57	8.79	9.98	11.37	12.82	14.42	16.20	17.17	18.12	20.12	22.14	23.94	27.48	0.09	0.33	0.48	0.74	
1050	6.54	7.20	7.85	9.12	10.35	11.78	13.28	14.93	16.76	17.75	18.71	20.74	22.76	24.53	27.86	0.09	0.35	0.50	0.78	
1100	6.77	7.45	8.12	9.44	10.71	12.19	13.73	15.42	17.29	18.31	19.28	21.32	23.34	25.07	28.13	0.10	0.36	0.53	0.82	
1150	6.99	7.70	8.39	9.75	11.06	12.59	14.17	15.90	17.81	18.84	19.82	21.87	23.87	25.55	28.28	0.10	0.38	0.55	0.85	
1200	7.21	7.94	8.66	10.06	11.41	12.97	14.59	16.37	18.30	19.35	20.34	22.39	24.35	25.96	28.31	0.11	0.40	0.57	0.89	
1250	7.42	8.17	8.91	10.35	11.75	13.35	15.01	16.81	18.78	19.83	20.83	22.87	24.78	26.31	28.23	0.11	0.41	0.60	0.93	
1300	7.63	8.40	9.17	10.65	12.07	13.72	15.41	17.25	19.23	20.29	21.29	23.31	25.16			0.11	0.43	0.62	0.96	
1350	7.83	8.63	9.41	10.93	12.39	14.07	15.80	17.66	19.67	20.73	21.72	23.71	25.49			0.12	0.45	0.65	1.00	
1400	8.04	8.85	9.66	11.21	12.71	14.42	16.17	18.06	20.08	21.14	22.12	24.07	25.77			0.12	0.46	0.67	1.04	
1450	8.23	9.07	9.89	11.49	13.01	14.76	16.54	18.44	20.47	21.52	22.50	24.39	25.99			0.13	0.48	0.69	1.07	
1500	8.43	9.28	10.12	11.75	13.31	15.08	16.89	18.81	20.83	21.88	22.84	24.67	26.15			0.13	0.50	0.72	1.11	
1550	8.61	9.49	10.35	12.01	13.60	15.40	17.22	19.16	21.18	22.21	23.15	24.91				0.14	0.51	0.74	1.15	
1600	8.80	9.70	10.57	12.27	13.88	15.71	17.55	19.49	21.50	22.52	23.45	25.11				0.14	0.53	0.77	1.19	
1650	8.98	9.90	10.79	12.51	14.15	16.00	17.86	19.81	21.80	22.80	23.68	25.27				0.15	0.55	0.79	1.22	
1700	9.16	10.09	11.00	12.76	14.42	16.29	18.16	20.11	22.07	23.05	23.90	25.37				0.15	0.56	0.81	1.26	
1750	9.33	10.28	11.21	12.99	14.68	16.56	18.44	20.38	22.33	23.27	24.09	25.44				0.15	0.58	0.84	1.30	
1800	9.50	10.47	11.41	13.22	14.92	16.83	18.71	20.65	22.55	23.46						0.16	0.60	0.86	1.33	
1850	9.67	10.65	11.61	13.44	15.16	17.08	18.97	20.89	22.75	23.63						0.16	0.61	0.88	1.37	
1900	9.83	10.83	11.80	13.66	15.40	17.33	19.21	21.11	22.93	23.76						0.17	0.63	0.91	1.41	
1950	9.99	11.00	11.99	13.87	15.62	17.56	19.44	21.32	23.08	23.86						0.17	0.65	0.93	1.45	
2000	10.14	11.17	12.17	14.07	15.84	17.78	19.66	21.50	23.20	23.93						0.18	0.66	0.96	1.48	
2050	10.29	11.33	12.34	14.26	16.04	17.99	19.86	21.67	23.30							0.18	0.68	0.98	1.52	
2100	10.44	11.49	12.52	14.45	16.24	18.19	20.04	21.81	23.37							0.18	0.70	1.00	1.56	
2150	10.58	11.65	12.68	14.64	16.43	18.38	20.21	21.94	23.41							0.19	0.71	1.03	1.59	
2200	10.72	11.80	12.84	14.81	16.62	18.56	20.36	22.05	23.42							0.19	0.73	1.05	1.63	
2250	10.85	11.95	13.00	14.98	16.79	18.72	20.50	22.13	23.40							0.20	0.75	1.08	1.67	
2300	10.98	12.09	13.15	15.14	16.95	18.87	20.63	22.19								0.20	0.76	1.10	1.70	
2350	11.11	12.22	13.29	15.30	17.11	19.01	20.73	22.23								0.21	0.78	1.12	1.74	
2400	11.23	12.36	13.43	15.44	17.25	19.14	20.82	22.25								0.21	0.80	1.15	1.78	
2450	11.35	12.48	13.57	15.58	17.39	19.26	20.90	22.25								0.22	0.81	1.17	1.82	
2500	11.47	12.61	13.70	15.72	17.52	19.36	20.96	22.23								0.22	0.83	1.20	1.85	
2550	11.58	12.73	13.82	15.84	17.63	19.45	21.00									0.22	0.85	1.22	1.89	
2600	11.68	12.84	13.94	15.96	17.74	19.53	21.02									0.23	0.86	1.24	1.93	
2650	11.79	12.95	14.05	16.08	17.84	19.60	21.03									0.23	0.88	1.27	1.96	
2700	11.89	13.05	14.16	16.18	17.93	19.65	21.02									0.24	0.90	1.29	2.00	
2750	11.98	13.15	14.26	16.28	18.01	19.69	20.99									0.24	0.91	1.32	2.04	

Nota. Tomado de (49)

ANEXO G. Factor Ángulo de contacto

Tabla 23

Factor Ángulo de contacto

$\frac{d_{dg} - d_{dk}}{a_{nom}}$	$\beta =$	c_1
0	180°	1,00
0,05	177°	1,00
0,10	174°	1,00
0,15	171°	1,00
0,20	168°	0,99
0,25	165°	0,99
0,30	162°	0,99
0,35	160°	0,99
0,40	156°	0,99
0,45	153°	0,98
0,50	150°	0,98
0,55	147°	0,98
0,60	144°	0,98
0,65	141°	0,97
0,70	139°	0,97
0,75	136°	0,97
0,80	133°	0,96
0,85	130°	0,96
0,90	126°	0,96
0,95	123°	0,95
1,00	119°	0,94
1,05	115°	0,94
1,10	112°	0,93
1,15	109°	0,93
1,20	106°	0,92
1,25	103°	0,91
1,30	100°	0,91
1,35	96°	0,90
1,40	92°	0,88
1,45	88°	0,87
1,50	84°	0,86
1,55	80°	0,84
1,60	77°	0,83

Nota. Tomado de (49)

ANEXO H. Factor C3

Tabla 24

Factor C3

Manual técnico para correas trapeciales

Cálculo de la transmisión

Factor de desarrollo c_3 para correas trapeciales
y correas múltiples



Tabla 21

Perfil 5*		Perfil Y/6*		Perfil 8		Perfil Z/10, ZX/X10		Perfil A/13, AX/X13		Perfil B/17, BX/X17		Perfil 20	
Desarrollo de referencia (mm)	c_3	Desarrollo de referencia (mm)	c_3	Desarrollo de referencia (mm)	c_3	Desarrollo de referencia (mm)	c_3	Desarrollo de referencia (mm)	c_3	Desarrollo de referencia (mm)	c_3	Desarrollo de referencia (mm)	c_3
172	0,87	280	0,97	299*	0,86	422*	0,86	660	0,80	900	0,81	948	0,75
202	0,91	295	0,99	334*	0,88	447*	0,87	740	0,82	990	0,83	998	0,76
248	0,95	315	1,00	374*	0,91	472*	0,88	780	0,83	1040	0,84	1048	0,77
277	0,97	330	1,01	419*	0,93	497*	0,89	830	0,85	1100	0,85	1168	0,79
292	0,99	350	1,02	444*	0,94	522*	0,90	880	0,86	1140	0,85	1228	0,80
312	1,00	370	1,04	469*	0,95	552*	0,92	930	0,87	1220	0,87	1298	0,81
327	1,01	390	1,05	494*	0,97	582*	0,93	980	0,88	1290	0,88	1368	0,82
334	1,01	415	1,06	549*	0,99	622	0,94	1030	0,89	1360	0,89	1448	0,83
347	1,02	440	1,07	579*	1,00	652	0,95	1090	0,90	1440	0,90	1548	0,85
364	1,03	465	1,09	594*	1,01	692	0,96	1150	0,91	1540	0,92	1648	0,86
387	1,05	490	1,10	619*	1,01	732	0,98	1210	0,92	1640	0,93	1848	0,88
418	1,06	515	1,11	649*	1,02	822	1,00	1280	0,94	1740	0,94	2048	0,91
437	1,07	555	1,13	689*	1,04	847	1,01	1350	0,95	1840	0,95	2168	0,92
487	1,10	615	1,15	729*	1,05	887	1,02	1430	0,96	1940	0,97	2298	0,93
512	1,11	725	1,19	769*	1,06	922	1,02	1530	0,97	2040	0,98	2408	0,94
524	1,11	765	1,20	819*	1,08	947	1,03	1630	0,99	2160	0,99	2548	0,95
542	1,12	865	1,23	869	1,09	997	1,04	1730	1,00	2280	1,00	2698	0,96
566	1,13			894	1,10	1022	1,05	1830	1,01	2400	1,01	2848	0,98
612	1,15			919	1,10	1082	1,06	1930	1,02	2590	1,03	3048	0,99
				969	1,11	1142	1,07	2030	1,03	2690	1,04	3198	1,00
				1019	1,13	1172	1,08	2150	1,05	2840	1,05	3398	1,01
				1139	1,15	1202	1,08	2270	1,06	3040	1,06	3598	1,03
				1269	1,18	1272	1,10	2390	1,07	3190	1,07	3798	1,04
				1339	1,19	1342	1,11	2530	1,08	3390	1,09	4048	1,05
				1419	1,20	1422	1,12	2680	1,10	3590	1,10	4298	1,06
				1519	1,22	1522	1,14	2830	1,11	3790	1,11	4548	1,08
						1622	1,15	3030	1,12	4040	1,13	4798	1,09

Perfil C/22, CX/X22				Perfil 25				Perfil D/32				Perfil E/40	
1458	0,80	5058	1,06	1311	0,75	4311	0,99	3225	0,86	10075	1,10	4830	0,92
1558	0,81	5358	1,07	1461	0,77	4561	1,00	3425	0,87	10675	1,11	5080	0,93
1658	0,83	5658	1,09	1561	0,78	4811	1,01	3625	0,88	11275	1,13	5380	0,94
1858	0,85	6058	1,10	1661	0,79	5061	1,02	3825	0,89	11875	1,14	5680	0,95
1958	0,86	6358	1,11	1761	0,80	5361	1,04	4075	0,91	12575	1,15	6080	0,96
2058	0,87	6758	1,13	1861	0,81	5661	1,05	4325	0,92	13275	1,16	6380	0,97
2178	0,88	7158	1,14	1961	0,82	6061	1,06	4575	0,93	14075	1,18	6780	0,99
2298	0,89	7558	1,15	2061	0,83	6361	1,07	4825	0,94	15075	1,19	7180	1,00
2418	0,90	8058	1,17	2181	0,85	6761	1,09	5075	0,95	16075	1,21	7580	1,01
2558	0,92	9058	1,19	2301	0,86	7161	1,10	5375	0,96			8080	1,03
2708	0,93	10058	1,22	2421	0,87	7561	1,11	5675	0,98			8580	1,04
2858	0,94			2561	0,88	8061	1,13	6075	0,99			9080	1,05
3058	0,95			2711	0,89	9061	1,15	6375	1,00			9580	1,06
3208	0,96			2861	0,90	10061	1,18	6775	1,01			10080	1,07
3608	0,99			3061	0,92	11261	1,20	7175	1,03			10680	1,09
3808	1,00			3211	0,93	12561	1,23	7575	1,04			11280	1,10
4058	1,01			3411	0,94			8075	1,05			11880	1,11
4308	1,03			3611	0,95			8575	1,06			12580	1,12
4558	1,04			3811	0,96			9075	1,08			13280	1,14
4808	1,05			4061	0,98			9575	1,09			14080	1,15
												15080	1,17
												16080	1,18

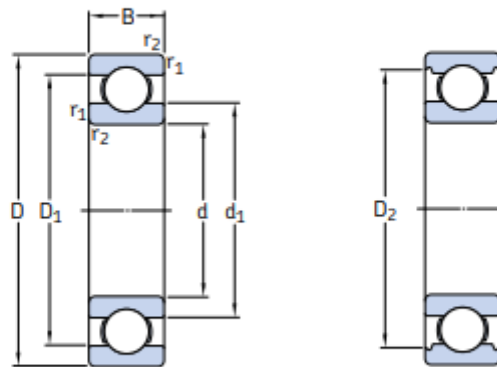
Nota. Tomado de (49)

ANEXO I. Rodamientos rígidos de una hilera de bolas

Figura 36

Rodamientos rígidos de una hilera de bolas

Rodamientos rígidos de una hilera de bolas
d 65 – 85 mm



Nota. Tomado de (53)

ANEXO J. Selección de rodamiento SKF

Tabla 25

Selección de rodamiento SKF

Dimensiones principales			Capacidad de carga básica		Carga límite de fatiga	Velocidades		Masa	Designación
d	D	B	dinámica C	estática C ₀	P _u	Velocidad de referencia	Velocidad límite		
mm			kN		kN	rpm		kg	—
65	85	10	12,4	12,7	0,54	16 000	10 000	0,13	61813
	90	13	17,4	16	0,68	15 000	9 500	0,22	61913
	100	11	22,5	16,6	0,83	14 000	9 000	0,30	*16013
	100	18	31,9	25	1,06	14 000	9 000	0,44	*6013
	120	23	58,5	40,5	1,73	12 000	7 500	0,99	*6213
	140	33	97,5	60	2,5	10 000	6 700	2,10	*6313
	160	37	119	78	3,15	9 500	6 000	3,30	6413
70	90	10	12,4	13,2	0,56	15 000	9 000	0,14	61814
	100	16	23,8	21,2	0,9	14 000	8 500	0,35	61914
	110	13	29,1	25	1,06	13 000	8 000	0,43	*16014
	110	20	39,7	31	1,32	13 000	8 000	0,60	*6014
	125	24	63,7	45	1,9	11 000	7 000	1,05	*6214
	150	35	111	68	2,75	9 500	6 300	2,50	*6314
	180	42	143	104	3,9	8 500	5 300	4,85	6414
75	95	10	12,7	14,3	0,61	14 000	8 500	0,15	61815
	105	16	24,2	19,3	0,965	13 000	8 000	0,37	61915
	110	12	28,6	27	1,14	13 000	8 000	0,38	16115
	115	13	30,2	27	1,14	12 000	7 500	0,46	*16015
	115	20	41,6	33,5	1,43	12 000	7 500	0,64	*6015
	130	25	68,9	49	2,04	10 000	6 700	1,20	*6215
	160	37	119	76,5	3	9 000	5 600	3,00	*6315
80	190	45	153	114	4,15	8 000	5 000	6,80	6415
	100	10	13	15	0,64	13 000	8 000	0,15	61816
	110	16	25,1	20,4	1,02	12 000	7 500	0,40	61916
	125	14	35,1	31,5	1,32	11 000	7 000	0,60	*16016
	125	22	49,4	40	1,66	11 000	7 000	0,85	*6016
	140	26	72,8	55	2,2	9 500	6 000	1,40	*6216
	170	39	130	86,5	3,25	8 500	5 300	3,60	*6316
	200	48	163	125	4,5	7 500	4 800	8,00	6416

Nota. Tomado de (53)

ANEXO K. Autorización de uso de datos



**MUNICIPALIDAD DISTRITAL
DE ALTO SELVA ALEGRE**

"AÑO DEL BICENTENARIO, DE LA CONSOLIDACIÓN DE NUESTRA INDEPENDENCIA, Y DE LA CONMEMORACIÓN DE LAS HEROICAS BATALLAS DE JUNÍN
Y AYACUCHO"

Alto Selva Alegre, 06 de febrero del 2025

CARTA N° 004 -2025-GSCGA/MDASA

Señor:
OSWALDO ALONSO TINTA VILCA
Villa El Mirador Mz. A, Lte. 13 Pampas de Polanco, Alto Selva Alegre.

Presente.-

Asunto : INFORMACIÓN ENTREGADA
Referencia : Expediente N° 1943-2025-MP/MDASA
Expediente N° 1857-2025-MP/MDASA

De mi mayor consideración:

Tengo el agrado de dirigirme a usted, para hacerle llegar un cordial saludo a nombre del señor Alcalde de la Municipalidad Distrital de Alto Selva Alegre y el mío en particular.

Mediante el presente y en atención a los documentos de la referencia, se hace constar que se autorizó el acceso a la información requerida, respecto a la recolección de residuos orgánicos (PET) en el distrito (cantidades recolectadas y valorizadas).

Sin otro en particular, quedo de usted.

Atentamente,

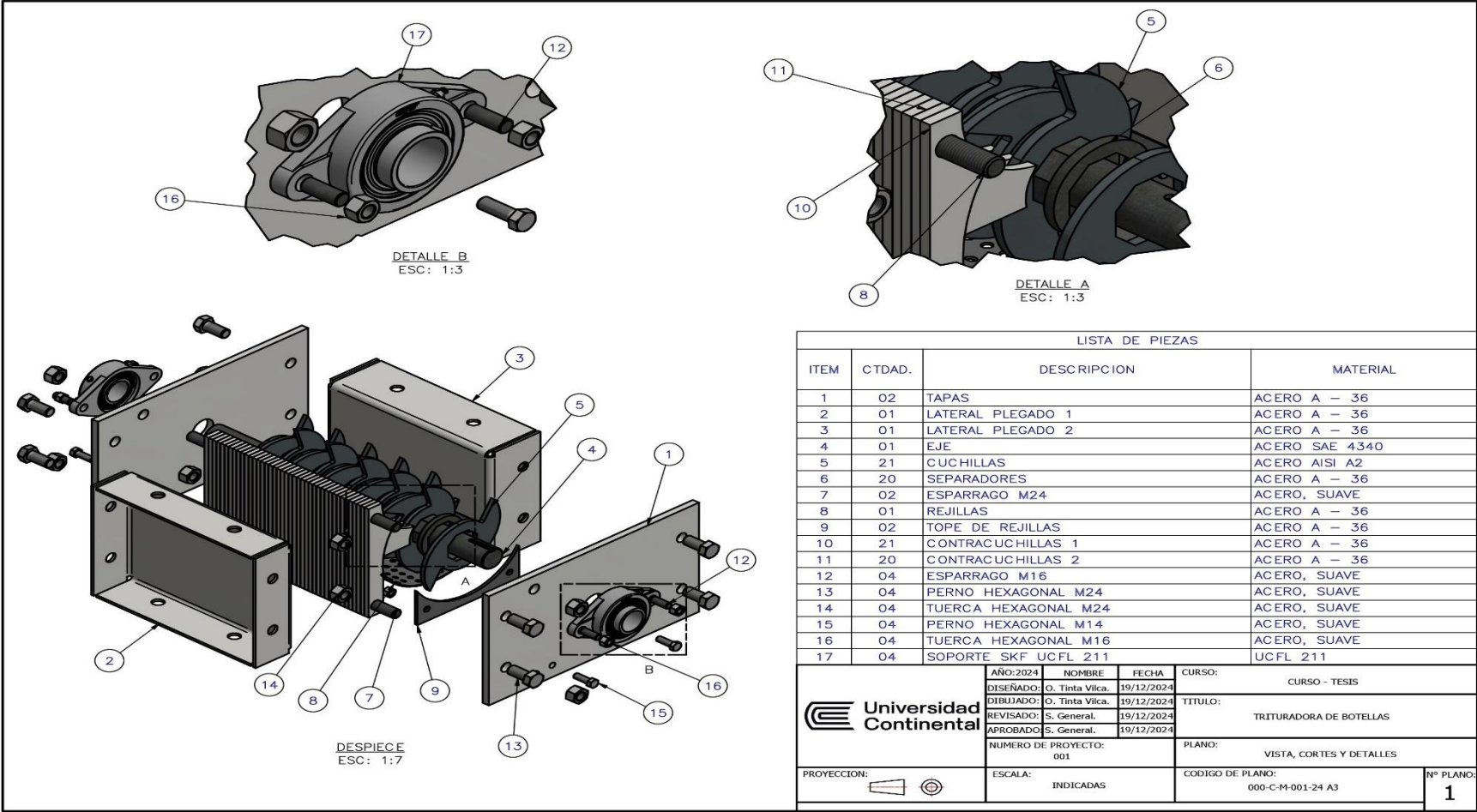


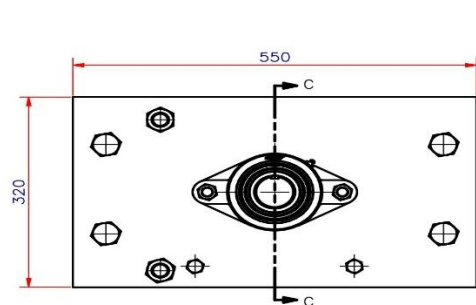
BLGO. ANIBAL USUALS FLORES
GERENTE DEL SERVICIO DE ALCANTARILLADO Y GESTIÓN AMBIENTAL

ASF/mvc
c.c. Archivo

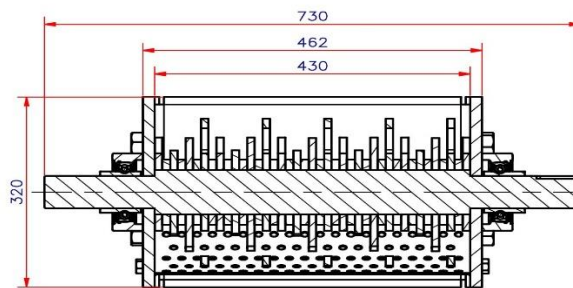


ANEXO L: PLANOS DE TRITURADORA

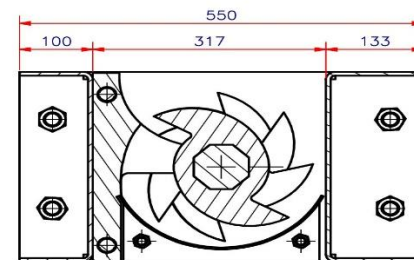




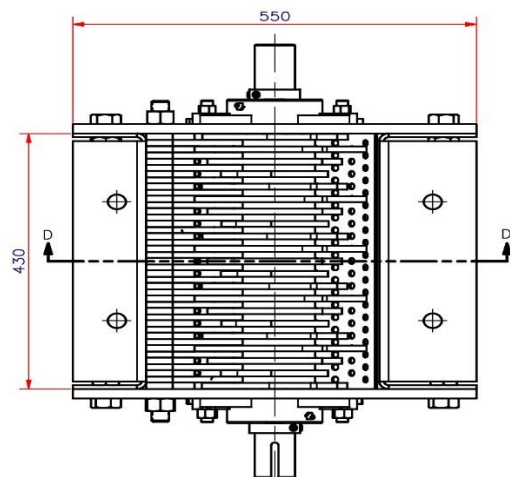
VISTA FRONTAL
ESC: 1:6



CORTE C-C
ESC: 1:6



CORTE D-D
ESC: 1:6



VISTA SUPERIOR
ESC: 1:6

ESPECIFICACIONES TECNICAS

1. ACERO ESTRUCTURAL:

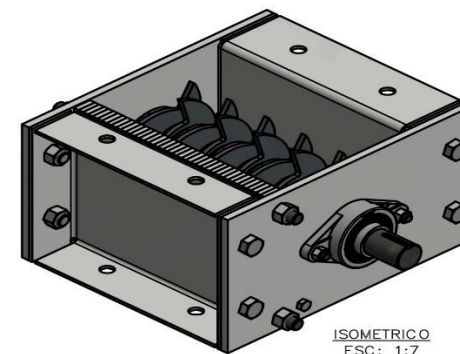
PLANCHAS: ASTM A36 fy: 2530 kg/cm²
AISI A2

2. SOLDADURA Y CONECTORES:

PERNOS DE ALTA RESISTENCIA: ASTM A325
SOLDADURA: SMAW

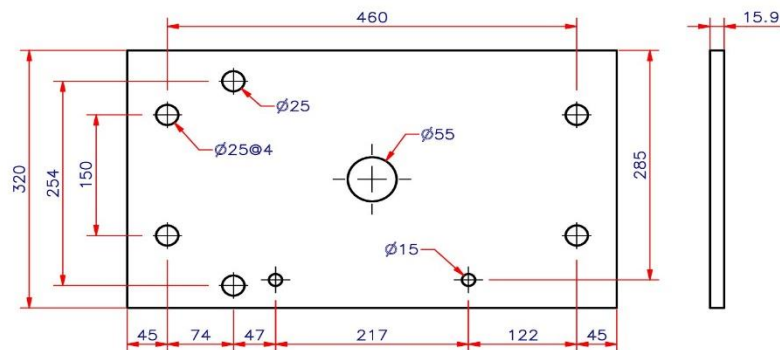
3. TRATAMIENTO SUPERFICIAL:

- . LIMPIEZA MECANICA.
- . PINTURA CON BASE ANTICORROSIVA
- . PINTURA CON ESMALTE SINTETICO

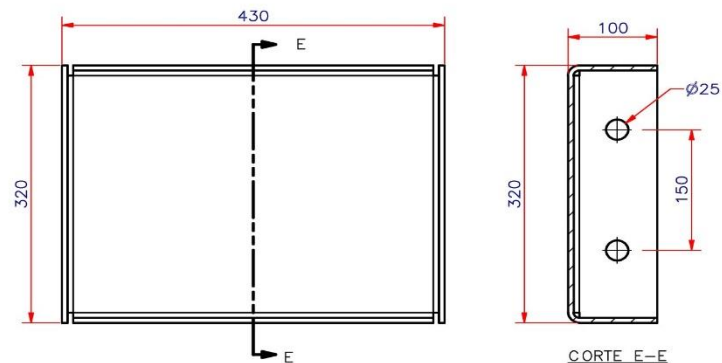


ISOMETRICO
ESC: 1:7

 Universidad Continental	AÑO: 2024	NOMBRE	FECHA	CURSO:	CURSO - TESIS
	DISEÑADO:	O. Tinta Vilca.	19/12/2024		
	DIBUJADO:	O. Tinta Vilca.	19/12/2024	TITULO:	TRITURADORA DE BOTELLAS
	REVISADO:	S. General.	19/12/2024		
	APROBADO:	S. General.	19/12/2024		
	NUMERO DE PROYECTO: 001	PLANO:	VISTA, CORTES Y DETALLES		
PROYECCION:  	ESCALA:	CODIGO DE PLANO:	Nº PLANO:		
	INDICADAS	000-C-M-001-24 A3	2		

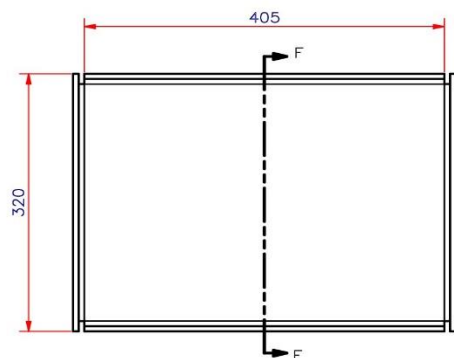


ELEM - 01
MAT: PL DE 5/8"
CANT: 02 UND.
ESC: 1:5

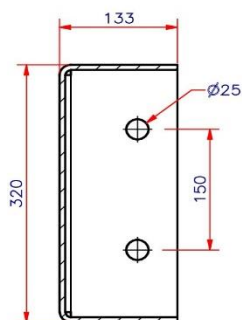


ELEM - 02
MAT: PL DE 1/4"
CANT: 01 UND.
ESC: 1:5

CORTE E-E
ESC: 1:5

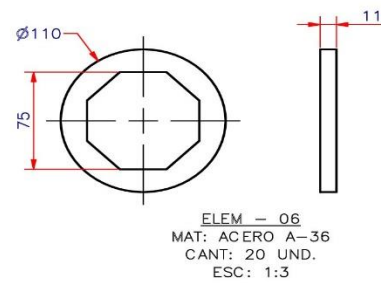
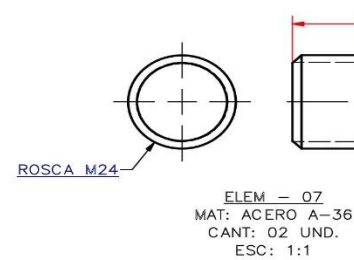
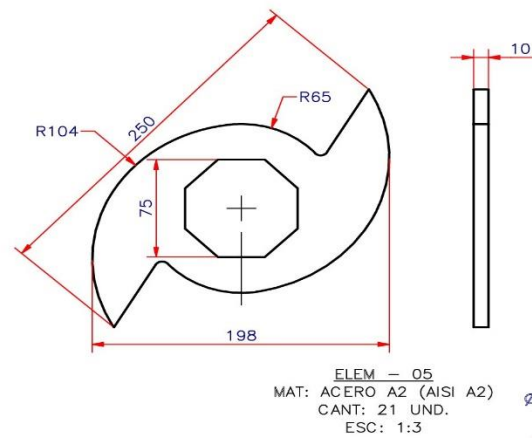
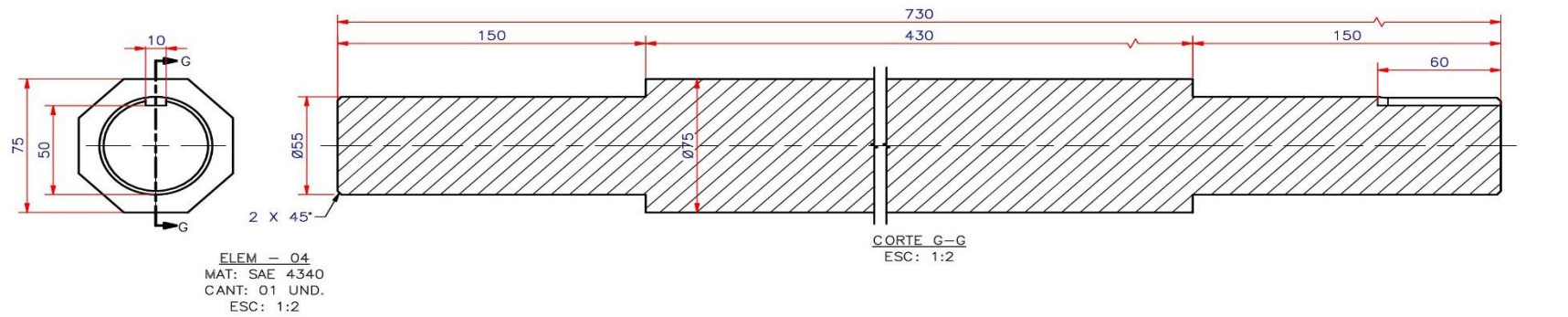


ELEM - 03
MAT: PL DE 1/4"
CANT: 01 UND.
ESC: 1:5

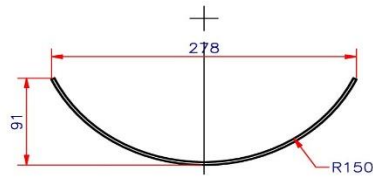


CORTE F-F
ESC: 1:5

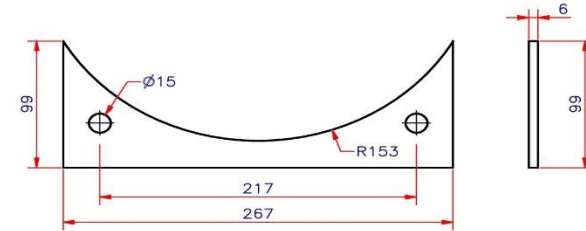
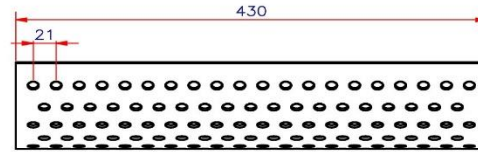
 Universidad Continental	AÑO: 2024	NOMBRE	FECHA	CURSO: CURSO - TESIS	
	DISEÑADO: O. Tinta Vilca.		19/12/2024	TITULO: TRITURADORA DE BOTELLAS	
	DIBUJADO: O. Tinta Vilca.		19/12/2024		
	REVISADO: S. General.		19/12/2024		
	APROBADO: S. General.		19/12/2024	PLANO: VISTA, CORTES Y DETALLES	
	NUMERO DE PROYECTO: 001				
PROYECCION: 	ESCALA: INDICADAS	CODIGO DE PLANO: 000-C-M-001-24 A3			Nº PLANO: 3



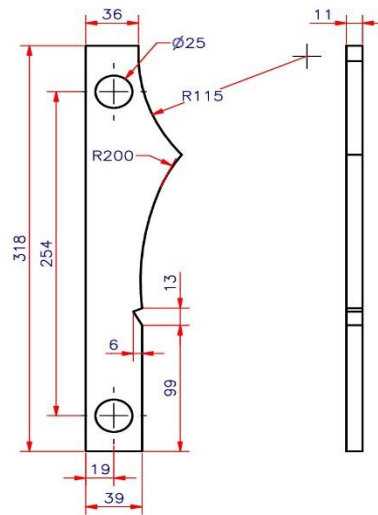
 Universidad Continental	AÑO: 2024	NOMBRE	FECHA	CURSO:	
	DISEÑADO:	O. Tinta Vilca.	19/12/2024	CURSO - TESIS	
	DIBUJADO:	O. Tinta Vilca.	19/12/2024	TÍTULO:	
	REVISADO:	S. General.	19/12/2024	TRITURADORA DE BOTELLAS	
	APROBADO:	S. General.	19/12/2024		
	NUMERO DE PROYECTO: 001			PLANO: VISTA, CORTES Y DETALLES	
PROYECCION:	ESCALA:		CODIGO DE PLANO:		Nº PLANO:
	INDICADAS		000-C-M-001-24 A3		4



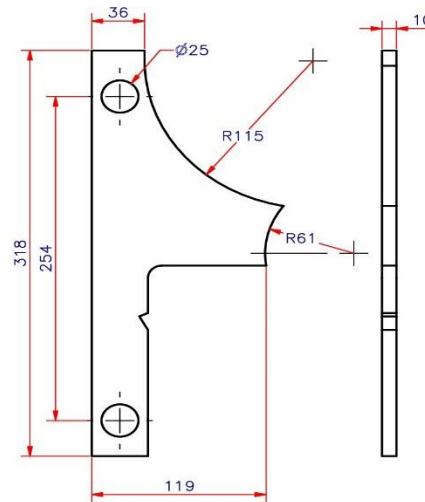
ELEM - 08
MAT: PL DE 1/8"
CANT: 01 UND.
ESC: 1:4



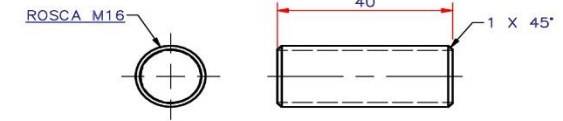
ELEM - 09
MAT: PL DE 1/4"
CANT: 01 UND.
ESC: 1:3



ELEM - 10
MAT: ACERO A-36
CANT: 21 UND.
ESC: 1:3



ELEM - 11
MAT: ACERO A-36
CANT: 20 UND.
ESC: 1:3



ELEM - 12
MAT: ACERO A-36
CANT: 02 UND.
ESC: 1:1

 Universidad Continental	AÑO: 2024	NOMBRE	FECHA	CURSO:
	DISEÑADO:	O. Tinta Vilca.	19/12/2024	CURSO - TESIS
	DIBUJADO:	O. Tinta Vilca.	19/12/2024	TÍTULO:
	REVISADO:	S. General.	19/12/2024	TRITURADORA DE BOTELLAS
	APROBADO:	S. General.	19/12/2024	
	NUMERO DE PROYECTO: 001			PLANO:
PROYECCION:	ESCALA:		CODIGO DE PLANO:	Nº PLANO:
	INDICADAS		000-C-M-001-24 A3	5

