



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA,
ELECTRÓNICA Y SISTEMAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA
ELÉCTRICA



DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE UNA MAQUINA
RECICLADORA TRITURADORA DE PLÁSTICOS PARA USO
INDUSTRIAL EN LA CIUDAD DE PUNO

TESIS

PRESENTADA POR:

EDUARDO MONTURA LLANQUE

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

PUNO – PERÚ

2023



Reporte de similitud

NOMBRE DEL TRABAJO

DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE UNA MAQUINA RECICLADORA TRITURADORA DE PLÁSTICOS PARA USO INDUSTRIAL EN LA CIUDAD DE PUNO

AUTOR

EDUARDO MONTURA LLANQUE

RECuento de palabras

14252 Words

RECuento de caracteres

79008 Characters

RECuento de páginas

104 Pages

Tamaño del archivo

3.2MB

Fecha de entrega

Dec 26, 2023 12:05 PM GMT-5

Fecha del informe

Dec 26, 2023 12:06 PM GMT-5

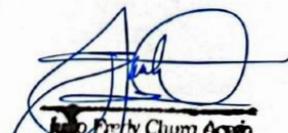
● **10% de similitud general**

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de datos

- 9% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 6% Base de datos de trabajos entregados
- 1% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

● **Excluir del Reporte de Similitud**

- Material bibliográfico
- Material citado
- Coincidencia baja (menos de 12 palabras)



Julio Freddy Churo Acuña
ING. MECÁNICO ELECTRICISTA
C.I.P. 135145
V.º B.º
Sub. Director
de Investigación EPIME



Marcos José Villanueva Carnejo
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA
C.I.P. 00130

Resumen



DEDICATORIA

Dedico esta tesis a mis padres, a mi padre, y a mi difunta madre. Ellos me dieron la base para poder llegar a ser quien soy ahora.

Queridos papá y mamá, no hay palabras suficientes para agradecerles todo lo que han hecho por mí. Gracias por su amor incondicional, paciencia, apoyo y sacrificio para hacer posible mi educación. Ustedes son los pilares de mi vida y esta tesis es su logro tanto como el mío.

Eduardo Montura Llanque



AGRADECIMIENTOS

Primeramente, doy gracias a Dios por permitirme tener tan buena experiencia dentro de la universidad, gracias a la universidad por permitirme convertirme en ser un profesional en lo que tanto me apasiona. Gracias a cada docente que hizo parte de este proceso integral de formación, que deja como producto terminado este grupo de graduados. y como recuerdo y prueba viviente en la historia: esta tesis. que perdurará dentro de los conocimientos y desarrollo de las demás generaciones que están por llegar. Finalmente agradezco a quien lee este apartado y más de mi tesis, por permitir a mis experiencias, investigaciones y conocimiento, incurrir dentro de su repertorio de información mental.

Eduardo Montura Llanque



ÍNDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA	
AGRADECIMIENTOS	
ÍNDICE GENERAL	
ÍNDICE DE FIGURAS	
ÍNDICE DE TABLAS	
ÍNDICE DE ANEXOS	
ACRÓNIMOS	
RESUMEN	15
ABSTRACT.....	16
CAPÍTULO I	
INTRODUCCIÓN	
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	19
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	21
1.2.1. Pregunta general	21
1.2.2. Preguntas específicas	21
1.3. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN	21
1.3.1. Hipótesis general.....	21
1.3.2. Hipótesis específicas.....	21
1.4. JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO	22
1.5. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	23
1.5.1. Objetivo general.....	23
1.5.2. Objetivos específicos	23



CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. ANTECEDENTES	24
2.1.1. Antecedentes internacionales.....	24
2.1.2. Antecedentes nacionales	27
2.2. MARCO TEÓRICO	30
2.2.1. Reciclado de materiales	30
2.2.2. Metales.....	32
2.2.3. Vidrio	33
2.2.4. Plásticos y caucho.....	35
2.2.5. Plásticos	36
2.2.6. Reciclaje mecánico	39
2.2.7. Diseño y fabricación de máquinas	41
2.2.8. Tolerancia	42
2.2.9. Sistema de ajuste.....	43

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL ESTUDIO	44
3.1.1. Ubicación.....	44
3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA DE ESTUDIO	45
3.2.1. Población	45
3.2.2. Muestra	45
3.3. TIPO DE INVESTIGACIÓN	45
3.4. MÉTODO DE INVESTIGACIÓN	45
3.4.1. Sistema de inserción de alimentación de material	45



3.4.1.1. Volumen de la tolva de recepción.....	46
3.4.1.2. Fuerza de corte	47
3.4.1.3. Energía de trituración.....	47
3.4.1.4. Potencia requerida.....	48
3.4.1.5. Potencia de corte	48
3.4.1.6. La potencia de corte	48
3.4.1.7. Potencia a transmitir.....	49
3.4.1.8. Potencia entregada por la faja	49
3.4.1.9. Potencia de accionamiento.....	49
3.4.1.10. Potencia mínima del motor	50
3.4.1.11. Dimensionamiento de poleas y fajas.....	50
3.4.1.12. Selección de poleas	50
3.4.1.13. Selección de faja y distancia entre centros.....	51
3.4.1.14. Transmisión por engranajes	52
3.4.1.15. Cálculo del eje.....	52
3.4.1.16. Fuerza de las cuchillas y separadores	53
3.4.1.17. Momentos resultantes	54
3.4.1.18. Diámetro por carga estática.....	54
3.4.1.19. Límite de resistencia a la fatiga.....	55
3.4.1.20. Momento alternante y medio	56
3.4.1.21. Torque alternante y medio	56
3.4.1.22. Dimensionamiento de diámetro por criterio de Goodman.....	57
3.4.1.23. Factor de seguridad por criterio de Goodman.....	57
3.4.1.24. Selección de rodamientos.....	57



CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. RESULTADOS.....	59
4.1.1. Sistema de inserción de alimentación de material	59
4.1.1.1. Volumen de la tolva de recepción.....	60
4.1.1.2. Fuerza de corte	61
4.1.1.3. Energía de trituración.....	62
4.1.1.4. Potencia requerida.....	63
4.1.1.5. Torque de la cuchilla.....	63
4.1.1.6. La potencia de corte	64
4.1.1.7. Potencia a transmitir.....	64
4.1.1.8. Potencia entregada por la faja	65
4.1.1.9. Potencia de accionamiento.....	65
4.1.1.10. Potencia mínima del motor	65
4.1.1.11. Dimensionamiento de poleas y fajas.....	66
4.1.1.12. Selección de poleas	68
4.1.1.13. Selección de faja y distancia entre centros.....	69
4.1.1.14. Transmisión por engranajes	72
4.1.1.15. Cálculo del eje.....	74
4.1.1.16. Fuerza de las cuchillas y separadores	79
4.1.1.17. Momentos resultantes	87
4.1.1.18. Diámetro por carga estática.....	87
4.1.1.19. Límite de resistencia a la fatiga.....	88
4.1.1.20. Momento alternante y medio	90
4.1.1.21. Torque alternante y medio	91



4.1.1.22. Dimensionamiento de diámetro por criterio de Goodman.....	91
4.1.1.23. Selección de rodamientos.....	93
V. CONCLUSIONES.....	95
VI. RECOMENDACIONES	96
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	97
ANEXOS.....	100

Área : Mecánica

Tema : Diseño de maquinas

FECHA DE SUSTENTACIÓN: 29 de diciembre de 2023



ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1 Metales	33
Figura 2 Vidrio.....	34
Figura 3 Cable de transmisión de energía de media tensión.....	39
Figura 4 Amoladora rotativa que muestra la colocación de las cuchillas.....	40
Figura 5 Máquina de reciclado	42
Figura 6 Tipos de tolerancia	42
Figura 7 Ubicación geográfica de Puno.....	44
Figura 8 Conformación de la máquina.....	46
Figura 9 Geometría de la cuchilla.....	54
Figura 10 Componentes de la máquina.....	59
Figura 11 Maquina construida	60
Figura 12 Tareas de mantenimiento sub sistema de frenos	67
Figura 13 Correas trapeciales.....	67
Figura 14 Diámetros de poleas	68
Figura 15 Faja estándar	70
Figura 16 factor de ángulo de contacto C1	71
Figura 17 factor de ángulo de contacto C3	71
Figura 18 factor de ángulo de contacto C3	73
Figura 19 Disposición de los ejes	74
Figura 20 Diagrama de cuerpo libre	75
Figura 21 Peso de la polea seleccionada.....	77
Figura 22 Peso del engranaje	78
Figura 23 Diseño de la cuchilla	79



Figura 24	fuerzas en el plano “XZ”	80
Figura 25	fuerzas en el plano “YZ”	83
Figura 26	Peso del engranaje	86
Figura 27	Parámetros en el factor de la condición superficial de Marín	89
Figura 28	Factores de confiabilidad k_e	90
Figura 29	Factores K_{ts} y q_{cort}	92
Figura 30	Rodamientos SKF.....	94



ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1 Propiedades mecánicas PET	62
Tabla 2 Características del motor.....	66



ÍNDICE DE ANEXOS

	Pág.
ANEXO 1: Manual utilización aceros	100
ANEXO 2: Panel fotográfico.....	102
ANEXO 3: Declaración jurada de autenticidad de tesis.....	103
ANEXO 4: Autorización para el depósito de tesis en el Repositorio Institucional....	104



ACRÓNIMOS

a :	Distancia entre ejes
b_1 :	Ancho superior (mm)
c_1 :	Factor de ángulo de contacto
c_2 :	Factor de carga
c_3 :	Factor de desarrollo
d_{dg} :	Diámetro de referencia de la polea grande
d_{dk} :	Diámetro de referencia de la polea pequeña
d_{d1} :	Diámetro de referencia de la polea motriz (mm)
d_{d2} :	Diámetro de referencia de la polea accionada (mm)



RESUMEN

Una de las principales preocupaciones de nuestro entorno ha sido la gestión de los residuos sólidos, que además de alterar el equilibrio del medio ambiente tiene efectos adversos en la salud de la sociedad. La detección, el control y la gestión de los residuos es uno de los principales problemas de la época actual. La forma tradicional de controlar manualmente los residuos en los contenedores de basura es un proceso complejo y engorroso y utiliza más esfuerzo humano, tiempo y coste que no es compatible con las tecnologías actuales de ninguna manera. En ese sentido el presente proyecto de tesis propone como objetivo principal, realizar el diseño de un prototipo de una maquina recicladora trituradora de plásticos para uso industrial en la ciudad de Puno, para lo que se realiza la mejora del sistema de inserción en la alimentación de material teniendo una capacidad de 20 kilogramos por hora; para lo que se diseñó las cuchillas de 300 milímetros teniendo nueve cuchillas cada una están montadas en dos ejes que funciona en contraposición para triturar la dureza más alta presentada en el plástico. El desarrollo de la tesis se realizó en el distrito y región de Puno ubicada a 3825 m.s.n.m.

Palabras Clave: Cuchillas, medio ambiente, reciclaje, plástico, prototipo, trituración.



ABSTRACT

One of the main concerns of our environment has been the management of solid waste, which in addition to altering the balance of the environment has adverse effects on the health of society. The detection, control and management of waste is one of the main problems of the present time. The traditional way of manually checking waste in waste bins is a complex and cumbersome process and uses more human effort, time and cost which is not compatible with current technologies in any way. In that sense the present project of thesis proposes like main objective, to carry out the design of a prototype of a machine recycler crusher of plastics for industrial use in the city of Puno, for what the improvement of the system of insertion in the feeding of material is realised having a capacity of 20 kilograms per hour; for what the blades of 300 millimetres were designed having nine blades each one are mounted in two axes that works in contraposition to crush the highest hardness presented in the plastic. The development of the thesis was carried out in the district and region of Puno located at 3825 metres above sea level.

Keywords: Blades, environment, recycling, plastic, prototype, shredding.



CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

En una sociedad sostenible y de residuo cero, lo que hoy se considera un residuo o subproductos de procesos podría ser una materia prima alternativa para la futura industria química; lo mismo ocurre con los residuos plásticos, una gran parte de la producción de plástico se destina a productos de un solo uso, como los envases plásticos y envoltorios alimentarios, que causan preocupación medioambiental debido a la persistencia de los polímeros en la naturaleza y los problemas de manipulación y gestión de grandes cantidades de residuos (Bäckström et al., 2021).

Las fracciones de residuos ricas en polímeros son de interés para la industria química como sustitutos de materias primas vírgenes, la recogida de materiales de desecho poliméricos en los sistemas de reciclado actuales se basa en el reciclado mecánico (refundición) y requieren fracciones homogéneas en cuanto al tipo de polímero para presentar una cadena de valor clara (Forero-Franco et al., 2023).

La preocupación pública por el impacto ambiental de la contaminación los plásticos no han dejado de aumentar, esto ha llevado a investigación sobre las distintas fuentes de contaminación plástica, su amplia distribución en casi todos los entornos para la salud de la fauna y la flora (Stapleton et al., 2023).

Los plásticos forman parte integrante de la vida moderna y son materiales excepcionalmente útiles para un sinnúmero de aplicaciones prácticas, pero los residuos plásticos mal gestionados agravan el impacto medioambiental adverso en todos los ecosistemas cuando llegan al final de la fase de uso. El poli tereftalato de etileno - PET, el cuarto polímero más producido en el mundo, es un importante polímero industrial



ampliamente utilizado en envases alimentarios, fibras textiles, botellas de refrescos, bandejas termoformadas, películas, etc. (Kasmi et al., 2023). Desde el inicio de la producción industrial de polímeros sintéticos a principios de la década de 1940, la fabricación, el consumo y la han aumentado considerablemente. las botellas de tereftalato de polietileno (PET) han experimentado un rápido crecimiento desde la década de 1970, cuando se introdujo la técnica del moldeo por soplado, en 2007, el consumo mundial de botellas de PET fue de 15 millones de toneladas métricas, lo que representa el 8% de la demanda total de plásticos estándar. Las botellas de PET se caracterizan por su alta resistencia, bajo peso y baja permeabilidad a los gases (principalmente CO₂), así como por su buena transmisión de la luz y superficie lisa (Reis et al., 2011).

El presente estudio comprende diferentes capítulos para su desarrollo:

El capítulo I; comprende, la introducción del estudio describiendo la problemática, justificación y los objetivos.

El capítulo II; comprende, la revisión de los antecedentes relacionados con el Reciclaje y transformación.

El capítulo III; comprende, el planteamiento de la metodología de investigación, los materiales para cumplir con los objetivos planteados.

El capítulo IV; comprende, los resultados de acuerdo a los objetivos planteados y la discusión de acuerdo al procedimiento.

El capítulo V; comprende, el listado de conclusiones en relación con los objetivos propuestos.

El capítulo VI; comprende, las recomendaciones relacionadas con el tema en estudio.



El capítulo VII, comprende, las referencias bibliográficas del estudio.

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Uno de los mayores problemas del mundo actual es que la basura que se origina es de tal volumen y capacidad que no hay tiempo suficiente para tratarla; sin embargo, se encuentran muchas empresas que están haciendo la diferencia al emplear en su producción un material que se desecha todos los días, botellas PET (Tereftalato de polietileno) (Moreno et al., 2020). Los residuos generados por los envases de PET no solo trae problemas medioambientales, sino también de eliminación; además, los residuos de PET obstruyen los desagües, provocando su desbordamiento y, en ocasiones a veces inundaciones (Choudhary et al., 2019).

Los envases de plástico se utilizan abundantemente en la actualidad y han demostrado su utilidad para muchas aplicaciones. Sin embargo, el reciclado de plástico se enfrenta a muchos retos y progreso en términos de diseño de envases, clasificación, pretratamiento y tecnologías de reciclado para lograr un circuito cerrado de reciclado, y tecnologías de reciclaje para lograr un reciclaje de circuito cerrado (Roosen et al., 2022). El PET no supone un peligro directo para el medio ambiente, pero a su importante fracción en volumen en el flujo de residuos y a su alta resistencia a los agentes atmosféricos y biológicos, se considera como un material nocivo. Consideraciones ecológicas y económicas abogan por la introducción del reciclado de PET a gran escala, similar de materiales tradicionales como el vidrio, el papel o los metales (Reis et al., 2011).

La eliminación de los residuos de materiales compuestos se produce en un vertedero sanitario, construido mediante el revestimiento de una excavación con grava, hormigón bituminoso y lámina de polietileno para crear una barrera entre los residuos y



el medio ambiente circundante; esto, desde el punto de vista medioambiental, ésta es sin duda la peor opción, ya que no se realiza ninguna recuperación en términos de energía y materias primas, además, el vertido introduce otras cargas negativas sobre el medio ambiente ya que el gas de vertedero contiene metano y dióxido de carbono (ambos gases de efecto invernadero, puede producirse la contaminación del suelo y del agua por sustancias tóxicas en el lixiviado, se desvía tierra de otros posibles usos (como la agricultura) para las generaciones futuras (Pegoretti, 2021).

El reciclaje de residuos de envases de plástico es un hito de la Economía Circular de la UE y el Pacto Verde para reducir la dependencia de los combustibles fósiles, las emisiones de gases de efecto invernadero y el impacto en la biodiversidad debido al vertido de basura en rutas de eliminación incontroladas (Antonopoulos et al., 2021).

La trituración desempeña un papel esencial en el procesamiento industrial de diversos materiales. La mayoría de residuos (metales, plásticos, caucho, madera, papel y otra biomasa), pertenecen a los materiales no quebradizos preferentemente sometidos a esfuerzos de cizallamiento, corte, tracción y flexión. Las máquinas para la reducción de tamaño grueso e intermedio de materiales no quebradizos pueden clasificarse según los tipos de carga dominantes. De acuerdo con esta clasificación, las cizallas rotativas, trituradoras rotativas y cizallas de traslación. La trituración de residuos tiene diferentes propósitos, como la liberación de los componentes para mejorar la reciclabilidad, la obtención de las propiedades deseadas del producto, como la densidad aparente adecuada, o la producción del tamaño de partícula requerido para el procesamiento posterior (Rácz & Csóke, 2021).



1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1. Pregunta general

¿Qué propuesta de diseño de un prototipo de una maquina recicladora trituradora de plásticos para uso industrial en la ciudad de Puno, se logra tener materia prima para la reutilización del plástico?

1.2.2. Preguntas específicas

- ¿De qué manera se mejorará un sistema de inserción que no presente atascos en la alimentación de material se logra una mejor producción?
- ¿Cómo se diseñará las cuchillas para triturar la dureza más alta presentada en el plástico se evita el atasco de material en la entrada?

1.3. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

1.3.1. Hipótesis general

Con el Diseño de un prototipo de una maquina recicladora trituradora de plásticos para uso industrial en la ciudad de Puno, se logra tener materia prima para la reutilización del plástico.

1.3.2. Hipótesis específicas

- Al mejorar un sistema de inserción que no presente atascos en la alimentación de material se logra una mejor producción.
- Con el diseño de cuchillas para triturar la dureza más alta presentada en el plástico se evita el atasco de material en la entrada.



1.4. JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO

El estudio planteado, se justifica: Teniendo en cuenta el hecho de que el problema de la gestión eficiente de los residuos es uno de los principales problemas de los tiempos modernos, hay una gran necesidad de abordar este problema. Un sistema adecuado de gestión de residuos es imprescindible para la higiene de la sociedad en general y del mundo en general. Los residuos sólidos, que son una de las fuentes y causas de la contaminación ambiental, han sido definidos por la Ley de Conservación y Recuperación de Recursos como cualquier material sólido, líquido semisólido o gaseoso desechado de operaciones industriales, comerciales, mineras o agrícolas y de actividades comunitarias. Los residuos sólidos también incluyen la basura, la construcción, escombros, residuos comerciales y lodos procedentes de plantas de tratamiento de aguas o residuos o de instalaciones de control de la contaminación atmosférica y otros materiales desechados. Para proteger la salud humana y el medio ambiente de los peligros potenciales de la eliminación tardía de los residuos y de la contaminación ambiental es necesario un manejo sistemáticamente supervisado y controlado de estos residuos. El tipo de residuos que constituye la contaminación ambiental y en el que se centra este trabajo es la basura doméstica, compuesta por residuos plásticos.

La conveniencia del diseño de una máquina trituradora de plásticos reside en obtener un adecuado proceso de molienda. El beneficio del diseño de la máquina es garantizar el máximo aprovechamiento de la hoja para no generar desperdicios y obtener un grado de molienda adecuado.

La máquina por sus características nos dará la posibilidad de incursionar en el campo del área industrial, así mismo nos brinda nuevas oportunidades en el ámbito de



reciclaje y a la vez promover la cultura de reciclaje y aprovechamiento de los residuos sólidos.

Se contribuye el medio ambiente, dando una solución para compensar el efecto nocivo de estos desperdicios, como son en este caso el plástico; ya que son los que más contaminan el medio ambiente por lo mismo que tarda mucho tiempo en degradarse, sin embargo, son arrojados en las calles de la ciudad y causan grandes problemas.

Los beneficios que se lograra con una máquina trituradora son la reutilización de la materia prima y la realización de nuevos productos que a su vez permite la integración de un nuevo ciclo económico.

Almacenar y transportar residuos tiene mucha importancia en términos de ahorro económico ya que con eso se obtiene comprimir el volumen de los residuos y de esta manera se reduce la cantidad de viajes en transporte como también disminuir el consumo de combustibles. Esta necesidad motiva el trabajo propuesto.

1.5. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.5.1. Objetivo general

Realizar el diseño de un prototipo de una maquina recicladora trituradora de plásticos para uso industrial en la ciudad de Puno.

1.5.2. Objetivos específicos

- Mejorar un sistema de inserción en la alimentación de material.
- Diseño de cuchillas para triturar la dureza más alta presentada en el plástico.



CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. ANTECEDENTES

2.1.1. Antecedentes internacionales

Antonopoulos et al., (2021) En su artículo menciona que aumentar el reciclado de residuos plásticos es un hito de la política medioambiental europea para reducir el impacto ambiental y la dependencia de recursos ajenos. Esto es especialmente difícil en el caso de los residuos de envases de plástico, que constan de fracciones muy heterogéneas y suelen estar bastante contaminados. En este estudio, recopila datos primarios de plantas de clasificación y reciclaje de residuos de envases de plástico para ilustrar la eficiencia de los procesos, los flujos de materiales y las barreras. Observa que se producían pérdidas significativas de los materiales objetivo tanto en las fases de clasificación como de reciclado. Éstas eran mayores en el caso de polímeros como las películas, el polipropileno y el poliestireno, y menores en el caso del tereftalato de polietileno y el polietileno de alta densidad. Aplicando el análisis del flujo de materiales, estima una tasa global de reciclado al final de la vida útil de los residuos de envases de plástico posconsumo en la UE en 2017 del 14 % (sin tener en cuenta los residuos exportados como reciclados; 25 % en caso contrario). Un escenario mejorado para 2030 mostró que era posible alcanzar una tasa global de reciclado al final de la vida útil de alrededor del 49 % si se aplicaban las mejores prácticas y tecnologías disponibles. Para cumplir los ambiciosos objetivos de reciclado fijados a nivel de la UE (tasa global de reciclado del 55%), son necesarias mejoras sustanciales en



las plantas del diseño de los productos, el sistema de recogida y el mercado. Los resultados indican además que las películas y otros contaminantes problemáticos en los residuos de entrada dificultan considerablemente las tasas de recuperación, por lo que es necesario mejorar la eficiencia de los sistemas de recogida. Paralelamente, el desarrollo de mercados para fracciones de menor valor, como el polipropileno, podría ser una forma de aumentar el reciclado, mientras que las mejoras en el diseño de los productos reducirán considerablemente las tasas de recuperación. en el diseño de los productos reducirá considerablemente la presencia de impurezas y contaminantes en los residuos de entrada.

Rácz & Csőke, (2021) En su artículo menciona que la trituración desempeña un papel esencial en la preparación de los residuos. La mayoría de los residuos pueden clasificarse como materiales no quebradizos y heterogéneos. El comportamiento de rotura de los componentes y las partículas individuales influye mucho en la trituración de estos materiales, por lo que es necesario comprender el comportamiento de rotura de cada componente bajo diferentes tensiones para desarrollar un proceso de trituración heterogéneo. Por lo tanto, las pruebas de trituración de una sola partícula de residuos reales -botellas de PET, cartón, textiles, botellas de detergente (HDPE)- en una trituradora de martillos oscilantes y una cizalla rotatoria de separación axial. La probabilidad de rotura se utilizó para describir el efecto del tipo de tensión y la velocidad de tensión en los diferentes tipos de residuos y la velocidad de la tensión en los distintos tipos de material. Se presentó la aplicabilidad de los resultados en el funcionamiento y diseño de las trituradoras. En la trituradora de martillo oscilante, el PET, el HDPE y el textil son complicados, mientras que el cartón es fácil de romper. La velocidad del rotor influye mucho en la probabilidad de rotura de los tres materiales en la trituradora



de martillos; cuanto mayor sea la velocidad, menor será el número de tensiones para una determinada probabilidad de rotura, mientras que en la cizalla rotatoria de hueco axial no se observó una correlación clara.

Pegoretti, (2021) nos menciona; que, en los últimos años, los materiales compuestos termoplásticos reforzados con fibra continua (CFRTC) han suscitado un interés creciente por sus ventajas potenciales frente a los materiales compuestos con resina termo endurecible, principalmente en términos de i) ciclos de fabricación más cortos, mayor resistencia al impacto y tenacidad, y reciclabilidad al final del proceso, ciclos de fabricación más cortos, mayor resistencia al impacto y tenacidad y reciclabilidad al final de su primera vida útil. A continuación, se revisan las principales estrategias de reciclado de los CFRTC a partir de la información disponible en la literatura científica. Las principales opciones de reciclado actualmente disponibles para los CFRTC pueden dividirse a grandes rasgos en metodologías mecánicas, térmicas y químicas. Además, el concepto de compuestos totalmente poliméricos; es decir, compuestos en los que tanto la matriz como los componentes de refuerzo están fabricados con polímeros termoplásticos, a la vista de su importancia en la tecnología del reciclado.

Bäckström et al., (2021) nos menciona lo siguiente, se produjo con éxito una serie de tereftalamidas mediante aminólisis rápida sin catalizador y asistida por microondas de tereftalato de polietileno (PET). Las tereftalamidas producidas a partir del reciclado químico de PET se utilizaron como reactivos para la fabricación de tereftalato de polietileno. tereftalamidas producidas a partir del reciclado químico del PET se utilizaron como reactivos para la fabricación de películas plásticas mediante una reacción radical tioleno o se evaluaron como plastificantes para el polilacrilato. El reciclado químico por aminólisis se realizó



con cuatro aminas diferentes: amilamina, etanolamina, furfurilamina o hexilamina. El proceso asistido por microondas produjo selectivamente tereftalamidas bien definidas con diferentes grupos funcionales terminales en función de la amina utilizada. El tiempo de reacción osciló entre 10 y 60 minutos. El producto final obtenido tras la aminólisis con alilamina con un tiol mediante una reacción radical tioleno, produciendo películas de buena calidad con una temperatura de transición vítrea superior a la temperatura ambiente. Las otras tres tereftalamidas se mezclaron con PLA al 10 % en peso y se evaluaron como plastificantes. La tereftalamida producida por aminólisis con furfurilamina aumentó la deformación de rotura 20 veces en comparación con la deformación de rotura del PLA puro. Los resultados demuestran que el reciclado químico del PET mediante aminólisis es una opción viable y versátil, que produce una biblioteca de valiosos compuestos químicos listos para su uso en materiales.

2.1.2. Antecedentes nacionales

Para, (Monteza, 2019) en su tesis “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, menciona que permitirá además de preservar el medio ambiente, optimizar el transcurso del procedimiento de plástico PET (Polietileno de Tereftalato) optimizando en almacenaje y transporte como también beneficiar a la empresa de reciclaje Planeta Verde EIRL – Chiclayo; se realizó una investigación cuantitativa mediante métodos estadísticos y análisis de datos de las encuestas ejecutadas, esto ayudo a determinar la aprobación del proyecto y así lograr obtener el diseño más apropiado para la fabricación de una máquina trituradora de botellas plásticas PET, la fabricación de la máquina parte del diseño y el cálculo obtenido para la



construcción de las piezas y partes que conformaran la máquina, concluye principalmente lo siguiente: Se realizó dichos cálculos de diferentes elementos seleccionados para la elaboración de la máquina trituradora de botellas de plástico tipo PET como fuerza sobre la cuchilla, potencia del motor, revoluciones del eje. En el cuarto objetivo concluyo que el proyecto es viable económicamente, el análisis realizado determino un valor actual neto de 605.9 soles, una tasa interna de retorno de 15% en un periodo de 6 meses recuperando la inversión inicial, además de solucionar el problema planteado.

Orteja & Tirado, (2005) en su tesis, “diseño y construcción de una trituradora de mandíbulas de excéntrica elevada”, en resumen dice lo siguiente: La finalidad de este trabajo de grado es diseñar y construir una trituradora de mandíbulas de excéntrica elevada con el objeto de que esta cumpla a cabalidad con la segunda fase correspondiente a la primera etapa de la conminución de los minerales auríferos, proporcionando así el tamaño adecuado de roca para que se ejecute una posterior molienda de manera eficiente, la trituradora de mandíbulas de excéntrica elevada presenta mejores características de diseño que la hace sobresalir ante otras; debido a que se adapta a los parámetros establecidos de diseño, por ejemplo; la trituradora construida presenta un fácil montaje y mantenimiento, ya que todo su diseño es modular. Así mismo la máquina facilita la alimentación y la descarga del material debido al movimiento excéntrico que la leva transmite a la placa de trituración, el cual produce un efecto de empuje del mineral hacia la cavidad de trituración, obteniéndose mayores velocidades de triturado y por ende mayor capacidad con menor consumo de energía.

Olano, (2018), en su tesis, Diseño de una máquina trituradora de concreto de capacidad 500 kg/h, dirigido a la ciudad de Chiclayo, en el resumen manifiesta



lo siguiente: La cantidad de desechos de escombros, en las últimas décadas, ha ido aumentando considerablemente y su inadecuada manipulación constituye actualmente uno de los problemas ambientales más serios, frente a este acontecimiento se propuso crear conciencia del cuidado y respeto al medio ambiente en la comunidad y contribuir con la disminución del impacto negativo del desecho de escombros al ambiente, para lograr lo mencionado anteriormente, se vio en la necesidad de ejecutar un proyecto con el objeto de reducir la contaminación por parte de estos desechos, reutilizando el concreto como materia prima en agregados de nuevas edificaciones, buscando extender el proyecto a lo largo del país.

Solorzano, (2018), en su tesis, Diseño de una máquina recicladora orientada a la producción de filamentos de plástico ABS para la impresión 3d en la PUCP; en resumen, dice lo siguiente: La presente tesis es planteada con el objetivo de diseñar una máquina automática compacta que permita reciclar plástico ABS, proveniente de las piezas funcionales en desuso de los laboratorios de la PUCP, y convertirlo en filamentos para impresión 3D, se determinó que el diseño del sistema mecatrónico contará con tres estaciones interconectadas que realizan un proceso específico: triturar, extruir y enrollar el filamento de ABS. Este diseño permite que la maquina pueda realizar cada proceso independiente, con lo cual se obtiene mínimamente 0.5 kg de filamento ABS para impresión 3D de distintos diámetros comerciales de forma continua, además, el diseño contempla la posibilidad del reciclaje de otros tipos de plástico con propiedades mecánicas y físicas similares al ABS.

Tantarico, (2021), menciona, en el presente trabajo de investigación se diseñó una máquina trituradora de botellas de plástico PET con ayuda de las



herramientas matriz morfológica, seguido de una matriz de decisión y luego con el software Solidworks, con el único fin de facilitar el reciclaje y hacer más eficiente el manejo de residuos sólidos plásticos en la Universidad; Además, la máquina será actuada por un sistema fotovoltaico, que aprovecha la energía solar para generar energía eléctrica, este sistema utiliza energía renovable y produce poca o ninguna emisión de carbono, es silenciosa y de bajo costo a largo plazo, con ayuda de la estadística se realizó 378 encuestas dentro del campus universitario para cuantificar el consumo de bebidas, siendo así un consumo aproximado de 1 674 botellas por día o 30 kg de PET por día, el diseño de la máquina se inicia con el cálculo de la fuerza de corte, luego la potencia de accionamiento (3 HP), las transmisiones flexibles, transmisión por engranajes, ejes y finalmente los rodamientos.

2.2. MARCO TEÓRICO

2.2.1. Reciclado de materiales

Como en cualquier campo técnico, cuando se habla de la tecnología del reciclado de plásticos es importante utilizar una terminología y unas definiciones comunes. La terminología inicial (anterior a 1970) para el reciclado comercial, industrial y posconsumo de materiales se desarrolló en torno a las necesidades de las industrias de reciclado de papel y textil (fibra) y de reciclado de metal y vidrio. Tras la primera crisis de los precios del petróleo en la década de 1970, el reciclado de plásticos ganó atención y pronto se hizo evidente que las definiciones y la nomenclatura de reciclado para los otros productos no se aplicaban adecuadamente a la recogida y el reciclado de plásticos (ANDRADY, 2003).



Las etapas importantes del ciclo de los materiales en las que la ciencia y la ingeniería de materiales desempeñan un papel significativo son el reciclado y la eliminación. Las cuestiones de reciclabilidad y desechabilidad son importantes a la hora de diseñar y sintetizar nuevos materiales (Callister, 2001)

Muchos plásticos también pueden despolimerizarse térmica o químicamente para obtener monómeros, materias primas petroquímicas y combustibles. El resultado final es que pueden definirse varias formas de reciclado de plásticos. D5033-00 describe lo siguiente:

- El reciclado primario es la "transformación de la chatarra de plástico en un producto de características similares a las del producto original".
- El reciclado secundario es la "transformación de la chatarra de plástico en un producto de características diferentes a las del producto original".
- El reciclado terciario es la "producción de productos químicos básicos o combustibles a partir de chatarra de plástico segregada o material plástico que forma parte de un flujo de residuos municipales o de otra fuente".
- El reciclado cuaternario es la "recuperación útil del contenido energético del plástico de desecho mediante su uso como combustible para producir productos como vapor, electricidad, etc." (ANDRADY, 2003)

Desde una perspectiva medioambiental, el material ideal debería ser totalmente reciclable o completamente biodegradable. Reciclable significa que un material, tras haber completado su ciclo de vida en un componente, podría reprocesarse, volver a entrar en el ciclo de los materiales y reutilizarse en otro componente, un proceso que podría repetirse un número indefinido de veces. Por completamente biodegradable entendemos que, por interacciones con el medio



ambiente (productos químicos naturales, microorganismos, oxígeno, calor, luz solar, etc.), el material se deteriora y vuelve prácticamente al mismo estado en el que se encontraba antes del procesamiento inicial. Los materiales de ingeniería presentan diversos grados de reciclabilidad y biodegradabilidad (Callister, 2001).

El reciclado primario y secundario suelen denominarse reciclado mecánico, ya que los principales procesos de reciclado implican la limpieza y separación del plástico por medios mecánicos en lugar de químicos o térmicos (ANDRADY, 2003).

2.2.2. Metales

La mayoría de las aleaciones metálicas (por ejemplo, Fe, Cu), en un grado u otro experimentan corrosión y también son biodegradables. Sin embargo, algunos metales (por ejemplo, Hg, Pb) son tóxicos y, cuando se depositan en vertederos, pueden presentar riesgos para la salud. Además, las aleaciones de la mayoría de los metales son reciclables; en cambio, no es factible reciclar todas las aleaciones de todos los metales. Además, la calidad de las aleaciones que se reciclan tiende a disminuir con cada ciclo. (Callister, 2001)

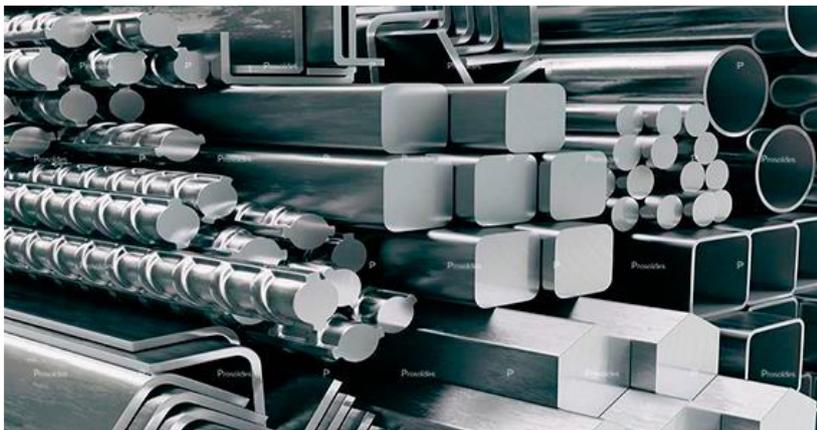
Los diseños de los productos deben permitir el desmontaje de componentes compuestos de aleaciones diferentes. Otro de los problemas del reciclado consiste en la separación de los distintos tipos de aleaciones (por ejemplo, el aluminio de las aleaciones ferrosas) tras el desmontaje y la trituración; a este respecto, se han ideado algunas técnicas de separación bastante ingeniosas (por ejemplo, magnéticas y por gravedad). La unión de aleaciones distintas presenta problemas de contaminación; por ejemplo, si hay que unir dos aleaciones similares, se prefiere la soldadura al atornillado o remachado. Los recubrimientos

(pinturas, capas anodizadas, revestimientos, etc.) también pueden actuar como contaminantes y hacer que el material no sea reciclable. (Callister, 2001)

Las aleaciones de aluminio son muy resistentes a la corrosión y, por tanto, no son biodegradables. Afortunadamente, sin embargo, pueden reciclarse; de hecho, el aluminio es el metal no ferroso reciclable más importante. Como el aluminio no se corroe fácilmente, puede ser totalmente recuperado. Se requiere una baja proporción de energía para refinar el aluminio reciclado en relación con su producción primaria. Además, hay un gran número de aleaciones disponibles comercialmente que han sido diseñadas para adaptarse a la contaminación por impurezas. Las principales fuentes de aluminio reciclado son las latas de bebidas usadas y los automóviles desguazados (Callister, 2001).

Figura 1

Metales



Nota: Prosoldes.

2.2.3. Vidrio

El material cerámico que consume el público en general en mayores cantidades es el vidrio, en forma de envases. El vidrio es un material relativamente inerte y, como tal, no se descompone; por tanto, no es biodegradable. Una parte

importante de los vertederos municipales está formada por residuos de vidrio, al igual que los residuos de las incineradoras. (Callister, 2001)

Además, no existe una fuerza económica significativa que impulse el reciclado de vidrio. Sus materias primas básicas (arena, ceniza de sosa y piedra caliza) son baratas y fáciles de conseguir. Además, el vidrio recuperado (también llamado "cascote") debe clasificarse por color (transparente, ámbar y verde), por tipo (placa frente a contenedor) y por composición (cal, plomo y borosilicato [o Pyrex]); estos procedimientos de clasificación llevan mucho tiempo y son caros. Por lo tanto, la chatarra de vidrio tiene un bajo valor de mercado, lo que disminuye su reciclabilidad. Entre las ventajas de la utilización de vidrio reciclado figuran la mayor rapidez y el aumento de los índices de producción, así como la reducción de las emisiones contaminantes (Callister, 2001).

Figura 2

Vidrio



Nota: Stop basura.



2.2.4. Plásticos y caucho

Una de las razones por las que los polímeros sintéticos (incluido el caucho) son tan populares como materiales de ingeniería reside en su inercia química y biológica. En el lado negativo, esta característica es realmente un lastre cuando se trata de la eliminación de residuos. Los polímeros no son biodegradables y, como tales, constituyen un componente importante de los vertederos; las principales fuentes de residuos proceden de los envases, los automóviles chatarra, los neumáticos de automóvil y los bienes duraderos de uso doméstico. Se han sintetizado polímeros biodegradables, pero su producción es relativamente cara. Por otra parte, dado que algunos polímeros son combustibles y no producen emisiones tóxicas o contaminantes apreciables, pueden eliminarse mediante incineración. (Callister, 2001)

Los polímeros termoplásticos, concretamente el tereftalato de polietileno, el polietileno y el polipropileno, son los más aptos para la recuperación y el reciclado, ya que pueden reformarse al calentarse. Es necesario clasificarlos por tipo y color. En los Estados Unidos, la clasificación por tipo de materiales de envase se facilita usando un código de identificación numérico; por ejemplo, un "1" denota polietileno de alta densidad (HDPE). El reciclado de plásticos se complica por la presencia de rellenos que se agregaron para modificar las propiedades originales. El plástico reciclado es menos costoso que el material original, y la calidad y apariencia generalmente se degradan con cada reciclaje. Las aplicaciones típicas de los plásticos reciclados incluyen suelas de zapatos, mangos de herramientas y productos industriales como paletas (Callister, 2001).



El reciclado de resinas termoestables es mucho más difícil, ya que estos materiales no se pueden volver a moldear o moldear fácilmente debido a sus estructuras reticuladas o de red. Algunos termoestables se trituran y se añaden al material de moldeo virgen antes de su procesamiento; como tales, se reciclan como materiales de relleno. Los materiales de caucho presentan algunos problemas de eliminación y reciclado. Cuando están vulcanizados, son materiales termoestables, lo que dificulta su reciclado químico. Además, pueden contener diversos materiales de relleno. Los neumáticos de desecho se han utilizado como combustible para algunas aplicaciones industriales (por ejemplo, plantas de cemento), pero producen emisiones sucias. Los neumáticos de caucho reciclados que se han partido y remodelado se utilizan en diversas aplicaciones, como parachoques de automóviles, guardabarros, alfombrillas de puertas y rodillos transportadores; y, por supuesto, los neumáticos usados también pueden recauchutarse. Además, los neumáticos de caucho pueden triturarse en pequeños trozos que luego se recombinan en la forma deseada utilizando algún tipo de adhesivo; el material resultante puede utilizarse en una serie de aplicaciones no exigentes como manteles individuales y juguetes de caucho. (Callister, 2001).

2.2.5. Plásticos

Los plásticos son materiales de construcción y diseño que compiten con otros materiales como la madera, el acero, el vidrio, etc. Se utilizan principalmente en envases, construcción, transporte, electrónica, electrodomésticos y muebles, entre otros. Más allá de estos mercados primarios, los plásticos se emplean en numerosas aplicaciones del mercado en los que su equilibrio de propiedades físicas son atributos clave para un rendimiento óptimo del producto (Columbian, 2019).



La gran mayoría de los plásticos se obtienen a partir de productos petroquímicos mediante una serie de reacciones químicas. Las materias primas típicas necesarias para la producción de plásticos son el metano, el etileno, el propileno, el acetileno, el benceno, el tolueno, el xileno y el naftaleno (Columbian, 2019).

La materia prima en forma de monómero se polimeriza para formar el polímero. Una vez formado, pueden emplearse diversos aditivos para mejorar determinadas propiedades del polímero, como la resistencia a la inflamabilidad, la fluidez, la resistencia al impacto y la resistencia a la degradación ultravioleta. Por último, el polímero puede envasarse en forma de gránulos, polvos o pellets de diversas dimensiones (Columbian, 2019).

Los polímeros pueden dividirse en dos subgrupos: termoplásticos y termoestables. Los termoplásticos son materiales que pueden fundirse y reformarse; los termoestables, en cambio, no pueden fundirse una vez formados. Por supuesto, hay ejemplos de plásticos que se sitúan en la región "gris" entre los termoplásticos y los termoestables. Hay termoplásticos que pueden reticularse, como los XLPE, y plásticos específicos que existen en ambos subgrupos, como los poliuretanos (Columbian, 2019).

Los termoplásticos se clasifican en productos básicos o de ingeniería. Esta clasificación se basa en los requisitos de propiedades para la aplicación final. Los plásticos básicos son el polietileno, el poliestireno, el polipropileno, el poli (tereftalato de etileno) y el poli (cloruro de vinilo). Algunos ejemplos de plásticos técnicos son los policarbonatos, los nilones y los acetales. Algunos plásticos, como el ABS, pueden pertenecer a ambas categorías. Los requisitos de las



propiedades de los plásticos técnicos son más estrictos que los de los plásticos comerciales, y se centran en factores como la resistencia al impacto, la deformabilidad, la variabilidad del producto (tolerancias) y otras propiedades físicas. Los plásticos básicos se utilizan en productos como envases (bolsas, contenedores) y materiales de construcción (suelos, aislantes). Los plásticos técnicos se utilizan en automóviles (aplicaciones prácticas y estéticas), carcasas de electrodomésticos, ordenadores y otros ensamblajes electrónicos, y óptica (gafas, lentes de cámaras) (Columbian, 2019).

Los termoestables son populares para diversas aplicaciones, como espumas, revestimientos, sellantes y adhesivos. Ofrecen una serie de propiedades de rendimiento, como una excelente durabilidad, resistencia a la temperatura y a los productos químicos, y propiedades mecánicas. Algunos ejemplos de termoestables son los poliuretanos, los fenólicos, las siliconas, los epoxis y los poliésteres (Columbian, 2019).

Aplicaciones importantes:

Alambres y cables

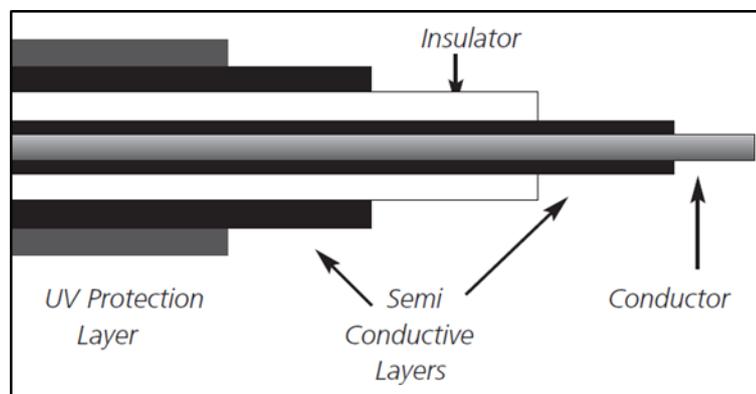
Las aplicaciones de los alambres y cables abarcan una amplia gama de propiedades. El cable de transmisión de energía de media tensión suele estar formado por varias capas de compuestos. El conductor eléctrico se recubre con un compuesto semiconductor diseñado para aliviar las tensiones eléctricas en el cable dirigiendo los electrones que de otro modo podrían escapar de vuelta a lo largo del conductor. Esta capa suele estar hecha con un negro (Columbian, 2019).

La pantalla conductora debe ser muy lisa para conseguir una interfaz perfecta entre el aislamiento y el conductor. Si no es lisa, se producirán fallos

prematuramente. La capa aislante sirve para aislar eléctricamente el conductor de su entorno. Una segunda capa semiconductor aumenta aún más la eficacia del cable. La capa exterior puede utilizarse para proporcionar protección UV contra los elementos o para mejorar la protección contra la permeación de humedad en el caso del cable de enterramiento directo (Columbian, 2019).

Figura 3

Cable de transmisión de energía de media tensión



Nota: (Columbian, 2019).

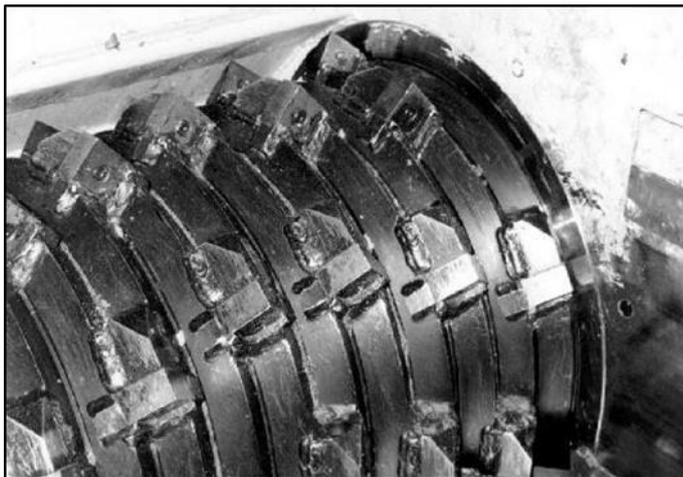
2.2.6. Reciclaje mecánico

Reducción de tamaño Una vez que los envases, piezas o productos de plástico se han recogido, se han sometido al control de calidad de entrada y se han preclasificado, la reducción de tamaño es el siguiente paso crítico en la operación de reciclado de plásticos. Este es el primer paso crítico en una planta de reciclaje de plásticos y es especialmente importante en una planta diseñada para manejar plásticos de bienes durables al final de su vida útil. La Figura 14.13 muestra los pasos clave del procesamiento en una planta de reciclado de plásticos capaz de manejar flujos de alimentación de plásticos complejos, contaminados y mezclados (ANDRADY, 2003).

En el caso de vapores de material complejo, puede ser necesaria más de una etapa de reducción de tamaño. Dependiendo del grado de contaminación, puede ser necesaria una operación de trituración más gruesa y robusta, seguida de la eliminación de contaminantes, la limpieza final y, por último, la granulación. En el caso de los plásticos procedentes de bienes duraderos al final de su vida útil, debido a la gran contaminación multimaterial que suele producirse, la reducción de tamaño se convierte quizás en el paso más crítico de toda la operación de reciclado de plásticos (ANDRADY, 2003).

Figura 4

Amoladora rotativa que muestra la colocación de las cuchillas



Nota: (ANDRADY, 2003).

En el caso del reciclado de botellas de plástico, a menudo se puede recurrir directamente a la granulación para producir una escama de tamaño reducido. La reducción de tamaño se usa para aumentar la densidad a granel, disminuyendo los requerimientos de almacenamiento y los costos de embarque/transporte, facilitar el manejo y transporte del material y liberar materiales extraños. Existen muchos retos específicos asociados al reciclado de materiales duraderos: piezas grandes y muy variadas, a menudo cantidades y tamaños significativos de metal, secciones de paredes gruesas, plásticos técnicos resistentes, plásticos de alto módulo pero



quebradizos, a veces con alto contenido de caucho, a veces con presencia de plásticos film, amplia gama de comportamientos de corte y fractura, amplísima gama de materiales extraños, materiales extraños bien adheridos (etiquetas, espumas, tejidos, laminados, láminas metálicas, etc.), metales endurecidos, altas cargas de polvo/polvo y numerosos tipos de materiales diferentes utilizados en muchas aplicaciones distintas, lo que da lugar a más limpiezas de equipos (ANDRADY, 2003).

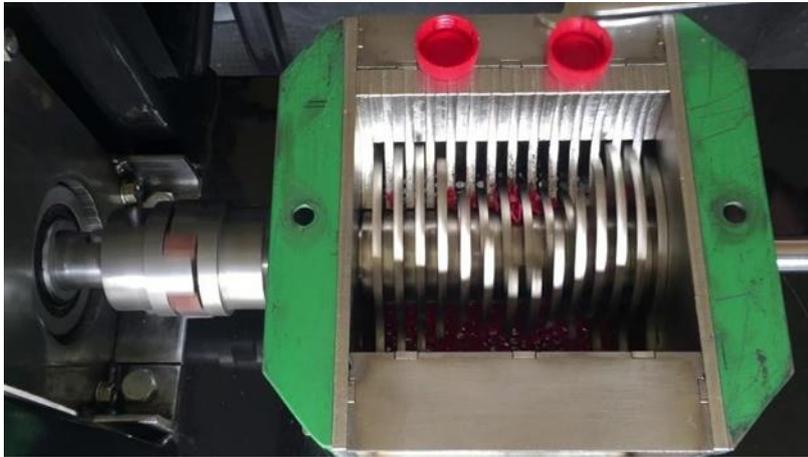
2.2.7. Diseño y fabricación de máquinas

Un elemento de máquina, tras su diseño, requiere ser fabricado para darle forma de un producto. Por lo tanto, además de las prácticas de diseño estándar como, la selección de material adecuado, garantizar la resistencia y las dimensiones adecuadas para evitar fallos, un diseñador debe conocer los aspectos básicos de la fabricación (Kharagpur, 2000).

Lo primero y más importante es asignar el tamaño adecuado a un elemento de la máquina desde el punto de vista de la fabricación. Por ejemplo, un eje puede diseñarse con un diámetro de, digamos, 40 mm. Esto significa que el diámetro nominal del eje es de 40 mm, pero el tamaño real será ligeramente diferente, ya que es imposible fabricar un eje con un diámetro exacto de 40 mm, independientemente de la máquina que se utilice. En caso de que el elemento de la máquina se acople a otro, las dimensiones de ambas piezas son importantes, ya que determinan la naturaleza del ensamblaje. La variación admisible del tamaño de las piezas de acoplamiento se denomina límite y la naturaleza del montaje debida a dicha variación debido a dicha variación de tamaño se conoce como ajuste (Kharagpur, 2000).

Figura 5

Máquina de reciclado



Nota: Sociedad Colombiana de ingenieros.

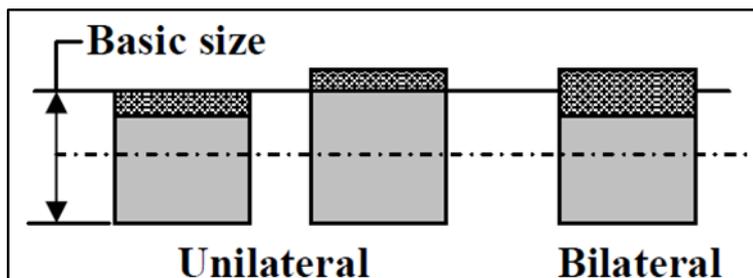
2.2.8. Tolerancia

La tolerancia es la diferencia entre las dimensiones máxima y mínima de un componente, es decir, entre el límite superior y el límite inferior. En función del tipo de aplicación, la variación admisible de la dimensión se establece según las disponibles (Kharagpur, 2000).

La tolerancia es de dos tipos, bilateral y unilateral. Cuando la tolerancia está presente en ambos lados del tamaño nominal, se denomina bilateral; unilateral tiene tolerancia sólo en un lado (Kharagpur, 2000).

Figura 6

Tipos de tolerancia



Nota: (Kharagpur, 2000).



Algunas definiciones relacionadas son las siguientes:

- **Sobremedida:** Es la diferencia de dimensión entre dos piezas que se acoplan.
- **Desviación máxima:** Es la diferencia de dimensión entre el tamaño máximo posible del componente y su tamaño nominal.
- **Desviación mínima:** Del mismo modo, es la diferencia de dimensión entre el tamaño mínimo posible de componente y su tamaño nominal.
- **Desviación básica:** Define la localización de la zona de tolerancia con respecto a la dimensión nominal. Para ello, puede considerarse cualquiera de las dos desviaciones.

2.2.9. Sistema de ajuste

Hemos visto que una pieza de máquina cuando se fabrica tiene una tolerancia especificada. Por lo tanto, cuando dos piezas de acoplamiento encajan entre sí, la naturaleza del ajuste depende de los límites de tolerancia y las desviaciones fundamentales de la pieza de acoplamiento. La naturaleza del ensamblaje de dos piezas acopladas se define mediante tres tipos de ajuste, ajuste de seguridad, el ajuste de transición y el ajuste de interferencia (Kharagpur, 2000).

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL ESTUDIO

La ubicación geográfica, del presente estudio es en el distrito de Puno, provincia de Puno, departamento de Puno, Perú.

3.1.1. Ubicación

El área donde se aplicará la presente investigación está ubicada en el distrito de Puno, provincia de Puno, departamento de Puno- Perú, en las coordenadas: Longitud: $070^{\circ}1'11.64''$ · Latitud: $S15^{\circ}50'31.92''$, altitud: entre 3 820 m.s.n.m.

Figura 7

Ubicación geográfica de Puno



Nota: Google earth.



3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA DE ESTUDIO

3.2.1. Población

La población para la presente investigación está compuesta por la cantidad de botellas plásticas recicladas.

3.2.2. Muestra

Está compuesta por la cantidad de botellas plásticas recicladas para el diseño de la máquina recicladora trituradora de plásticos.

3.3. TIPO DE INVESTIGACIÓN

El presente trabajo de investigación es de tipo no experimental, en su forma aplicada.

3.4. MÉTODO DE INVESTIGACIÓN

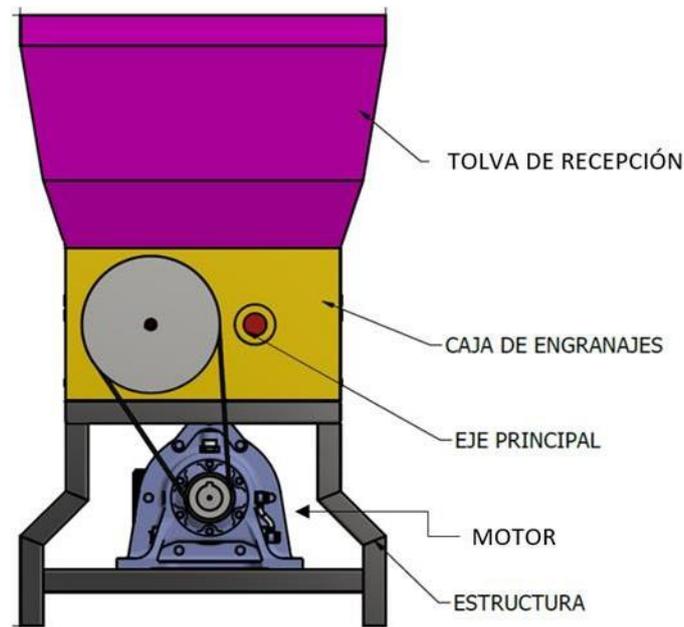
El método de investigación en cada objetivo específico es del tipo no experimental, aplicada. La toma de datos es del tipo longitudinal, Correlacional, causal (Sampieri et al., 2010); por lo que, para el cumplimiento de cada objetivo específico planteado en la presente investigación es la siguiente:

3.4.1. Sistema de inserción de alimentación de material

Se identifica los componentes principales que conforman la máquina recicladora trituradora de plásticos como observamos en la figura siguiente:

Figura 8

Conformación de la máquina



Elaboración propia.

3.4.1.1. Volumen de la tolva de recepción

De acuerdo con (Baldera, 2020), se calcula con la expresión siguiente:

$$Volumen_{Tolva} = Volumen_1 + Volumen_2$$

Para el volumen 1 tenemos:

$$Volumen_1 = l * a * h$$

Para el volumen 2 tenemos:

$$Volumen_2 = \frac{l * a * h}{3}$$

Donde:

l : Longitud



a : Ancho

h : Alto

3.4.1.2. Fuerza de corte

De acuerdo con (Tantarico, 2021), para encontrar la fuerza de corte F_c para el PET se recurre al estudio estandarizado de ensayos en polímeros conocido como IZOD y CHARPY bajo norma ASTM D-256-88

$$F_c = \tau_c * A_c$$

Donde:

F_c : Fuerza de corte (kgf)

A_c : Área de corte (cm^2)

τ_c : Esfuerzo de corte (kgf/cm^2)

3.4.1.3. Energía de trituración

La energía necesaria para triturar las botellas PET se calcula con la ecuación (Tantarico, 2021):

$$E = \frac{p}{\dot{m}} = K_r * \left(\frac{1}{D_{pp}} - \frac{1}{D_{pa}} \right)$$

Donde:

K_r : Constante de Rittinger

D_{pp} : Diámetro medio de partículas del producto (mm)

D_{pa} : Diámetro medio de partículas de alimentación (mm)



3.4.1.4. Potencia requerida

La potencia requerida para procesar un flujo másico:

$$P_{req} = E * \dot{m}$$

Donde:

P_{req} : Potencia requerida (HP)

\dot{m} : Flujo másico (kg/h)

3.4.1.5. Potencia de corte

El torque que aplica la cuchilla de corte se expresa como
(Tantarico, 2021):

$$T_c = R * F_c$$

Donde:

T_c : Torque de cuchilla (N-m)

R : Radio de cuchilla (mm)

3.4.1.6. La potencia de corte

Se expresa como:

$$P_c = T_c * \omega_c$$

Donde:

P_c : Potencia en el eje de corte (W)

ω_c : Velocidad angular (rad/s)



3.4.1.7. Potencia a transmitir

La potencia que se debe transmitir, teniendo en cuenta a los rodamientos se expresa como (Tantarico, 2021):

$$P_{a1} = \frac{P_c}{i^n}$$

Donde:

P_{a1} : Potencia en el eje de accionamiento

P_c : Potencia de corte (HP)

i : Eficiencia de rodamiento

n : Número de rodamientos

3.4.1.8. Potencia entregada por la faja

La potencia entregada por la faja es de (Tantarico, 2021):

$$P_{pol} = \frac{P_{a1}}{\eta_{eng}}$$

Donde:

P_{pol} : Potencia entregada por fajas (HP)

η_{eng} : Eficiencia de engranajes

3.4.1.9. Potencia de accionamiento

La potencia del motor de accionamiento es (Tantarico, 2021):

$$P_{mot} = \frac{P_{pol}}{\eta_{fajas}}$$



Donde:

P_{mot} : Potencia del motor (HP)

η_{fajas} : Eficiencia de fajas

3.4.1.10. Potencia mínima del motor

La potencia mínima del motor eléctrico será (Tantarico, 2021):

$$P_{min} = F_{sm} * P_{mot}$$

3.4.1.11. Dimensionamiento de poleas y fajas

Se calcula la relación de velocidad nominal con la ecuación (Tantarico, 2021):

$$r_{vn} = \frac{N_m}{N_c}$$

Donde:

r_{vn} : Relación de velocidades nominal

N_m : Velocidad de polea motriz

N_c : Velocidad de polea conducida

3.4.1.12. Selección de poleas

Se seleccionan los diámetros de poleas estándar, según la Norma ISO 4183 (Tantarico, 2021).

Relación de velocidades:



$$r_v = \frac{d_{dg}}{d_{dk}}$$

Donde:

d_{dg} : diámetro de polea motriz

d_{dk} : diámetro de polea conducida

3.4.1.13. Selección de faja y distancia entre centros

La distancia entre centros debe estar comprendidas en el rango de distancias siguiente (Tantarico, 2021):

$$C_{imin} = 0.7 * (d_{dg} + d_{dk})$$

$$C_{imin} = 2 * (d_{dg} + d_{dk})$$

Longitud de la faja:

$$L_{sel} = 2 * C_{sel} + 1.57 * (d_{dg} + d_{dk}) + \frac{(d_{dg} + d_{dk})^2}{4 * C_{sel}}$$

Distancia real entre centros:

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

Donde:

a_{nom} : distancia real entre centros (mm)

L_c : longitud de la faja calculada (mm)

L_s : longitud de la faja estándar (mm)



El arco de abrazo y factor de ángulo de contacto C_1 , está dado por:

$$C_1 = \frac{(d_{dg} + d_{dk})}{a_{nom}}$$

Número de fajas:

$$Z_{req} = \frac{P_{tp} * C_2}{P_N * C_1 * C_3}$$

3.4.1.14. Transmisión por engranajes

Cálculo del módulo máximo:

$$m = \frac{2 * C}{Z_p * (1 + m_g)}$$

Número de dientes del piñón y engranaje:

$$Z_p + Z_g = \frac{2 * C}{m}$$

Donde:

m : módulo

Z_p : número de dientes del piñón

Z_g : número de dientes del engranaje

3.4.1.15. Cálculo del eje

El torque sobre el eje se calcula mediante la expresión (Budynas & Nisbett, 2015):

$$T_e = \frac{63\,000 * P}{N_C}$$



Donde:

T_e : torque sobre el eje (lbf-pulg)

P : potencia (HP)

N_c : velocidad de la polea conducida (rpm)

Fuerza tangencial sobre la polea conducida:

$$F_{tp} = \frac{2 * T_e}{d_{dg}}$$

La fuerza radial

$$F_{re} = F_{te} * \tan \phi$$

3.4.1.16. Fuerza de las cuchillas y separadores

Para el diseño de la cuchilla, se determina el volumen calculando el área de la cuchilla teniendo en cuenta la geometría que se muestra en la figura (Tantarico, 2021).

Figura 9

Geometría de la cuchilla



Elaboración propia.

3.4.1.17. Momentos resultantes

El momento flector resultante en un punto P se obtiene con los momentos flectores en el plano X y el plano Y (Budynas & Nisbett, 2015).

$$M_p = \sqrt{M_{px}^2 * M_{py}^2}$$

3.4.1.18. Diámetro por carga estática

Para el cálculo previo del diámetro previo del eje se emplea la teoría de esfuerzo cortante de Von Mises (Budynas & Nisbett, 2015):

$$d = \left[\frac{16N}{\pi S_y} (4M^2 + 3T^2)^{1/2} \right]^{1/3}$$

Donde:

d : diámetro (in)



N : factor de seguridad.

S_y : resistencia a la fluencia (psi)

T : torque máximo del eje (lbf-in)

M : momento flector resultante (lbf-in)

3.4.1.19. Límite de resistencia a la fatiga

Mediante la ecuación de Marín, se realiza el cálculo (Budynas & Nisbett, 2015).

$$S_e = K_a * K_b * K_c * K_d * K_e * K_f * S_{\bar{e}}$$

Donde:

S_e : Límite de resistencia a la fatiga modificado (psi)

$S_{\bar{e}}$: Límite de resistencia a la fatiga (psi)

K_a : Factor que modificación superficie.

K_b : Factor que modifica tamaño.

K_c : Factor que modifica carga.

K_d : Factor que modifica temperatura.

K_e : Factor de confiabilidad.

K_f : Factor de efectos varios

se calcula el factor K_a :

$$K_a = a * S_{ut}^b$$



Donde:

S_{ut} : resistencia mínima a la tensión(kPsi)

El factor K_b :

$$K_b = \frac{d^{-0.107}}{0.3}$$

El límite de resistencia a la fatiga

$$S_{\bar{e}} = 0.5 * S_{ut}$$

S_{ut} : resistencia mínima a la tensión de material seleccionado

3.4.1.20.Momento alternante y medio

El momento alternante

$$M_a = \frac{M_{max} - M_{min}}{2}$$

El momento medio

$$M_m = \frac{M_{max} + M_{min}}{2}$$

3.4.1.21.Torque alternante y medio

El torque alternante

$$T_a = 0$$

El torque medio

$$T_m = \frac{T_{max} + T_{min}}{2}$$

3.4.1.22. Dimensionamiento de diámetro por criterio de Goodman

El criterio por fatiga de Goodman se usa para esfuerzos alternantes y medios (Budynas & Nisbett, 2015).

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

d : diámetro del eje (pulg)

n : factor de seguridad

K_f : factor de concentración de esfuerzos de fatiga por flexión

K_{fs} : factor de concentración de esfuerzos de fatiga por torsión

M_a : momento alternante (lbf-pulg)

T_a : torque alternante

M_m : momento medio

T_m : Torque máximo (lbf-pulg)

3.4.1.23. Factor de seguridad por criterio de Goodman

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

3.4.1.24. Selección de rodamientos

La carga que puede soportar el rodamiento se expresa como (Tantarico, 2021):

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



Donde:

C_{10} : carga de rodamiento (kN)

L_D : tiempo de vida deseada(h)

n_D : velocidad de giro (rpm)

a : exponente, para rodamiento de bolas

F_D : fuerza aplicada al rodamiento (kN)

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. RESULTADOS

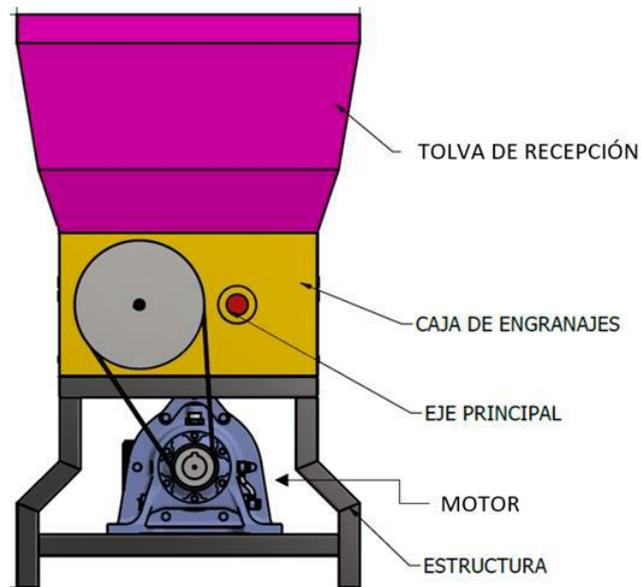
Tenemos los siguientes resultados de acuerdo a los objetivos y metodología planteada:

4.1.1. Sistema de inserción de alimentación de material

Los componentes principales que conforman la máquina recicladora trituradora de plásticos son los siguientes:

Figura 10

Componentes de la máquina



Elaboración propia.

Figura 11

Maquina construida



Elaboración propia.

4.1.1.1. Volumen de la tolva de recepción

La carga que puede soportar el rodamiento se expresa como
(Tantarico, 2021):

El volumen es determinado mediante:

$$Volumen_{Tolva} = Volumen_1 + Volumen_2$$

Para el volumen 1 tenemos:

$$l = 0.8 \text{ m.}$$

$$a = 0.7 \text{ m.}$$



$$h = 0.5.$$

$$Volumen_1 = l * a * h = 0.8 * 0.7 * 0.5 = 0.28 \text{ m}^3$$

Para el volumen 2 tenemos:

$$Volumen_2 = \frac{l * a * h}{3} = \frac{0.8 * 0.7 * 0.5}{3} = 0.09 \text{ m}^3$$

$$Volumen_{Tolva} = Volumen_1 + Volumen_2 = 0.28 \text{ m}^3 + 0.09 \text{ m}^3$$

$$Volumen_{Tolva} = 0.37 \text{ m}^3$$

El volumen que tendrá la tolva de ingreso de material es 0.37 m^3 , con la finalidad de tener un mejor funcionamiento.

4.1.1.2. Fuerza de corte

Determinamos el área de corte de la cuchilla.

$$A_c = \textit{longitud de corte} * \textit{ancho de corte}$$

De acuerdo a la dimensión del diseño tenemos los valores siguientes que detallo a continuación:

- longitud de corte: 3,0 cm
- ancho de corte: 0,1

El área de corte es:

$$A_c = 3.0 * 0.1 = 0.30 \text{ cm}^2$$

La fuerza de corte se calcula con la ecuación:

$$F_C = \tau_c * A_c$$



Donde:

F_C : Fuerza de corte (kgf)

τ_c : Esfuerzo de corte = 55 kgf/cm^2 , tomado de la tabla 1.

A_c : Área de corte = 0.30 cm^2

Teniendo en consideración la norma ASTM D-256-88, que establece un esfuerzo de cizallamiento de 55 kgf/cm^2 .

$$F_C = \tau_c * A_c = 55 * 0.30 = 16.5 \text{ kgf} = 161.81 \text{ N}$$

Tabla 1

Propiedades mecánicas PET

POLIETILENTEREFTALATO			PET	
Propiedades mecánicas a 23 °C	Unidad	ASTM	DIN	Valores
Peso específico	gr/cm ³	D-792	53479	1.39
Resistencia a la tracción	Kg/cm ²	D-638	53455	900
Resistencia a la compresión (1 y 2%)	Kg/cm ²	D-695	53454	260/480
Resistencia a la flexión	Kg/cm ²	D-790	53452	1450
Resistencia al cizallamiento	Kg/cm ²	D-257	53453	55
Alargamiento a la rotura	%	D-638	53455	15
Módulo de elasticidad	Kg/cm ²	D-638	53457	37000
Dureza	Shore D	D-2240	53505	85-87
Coefficiente de roce estático		D-1894		
Coefficiente de roce dinámico		D-1894		0.2
Resistencia al desgaste	Kpa			10

Nota: ensayos IZOD Y CHARPY.

4.1.1.3. Energía de trituración

Se debe reducir las botellas PET de las siguientes características:

- Capacidad: 3000 cc



- Altura: 29.3 cm
- Diámetro: 12.3 cm

A hojuelas, que tengan como mayor dimensión de 2.5 cm.

La energía necesaria para triturar las botellas PET está dado por:

$$E = \frac{p}{\dot{m}} = K_r * \left(\frac{1}{D_{pp}} - \frac{1}{D_{pa}} \right) = K_r * \left(\frac{1}{D_{pp}} - \frac{1}{D_{pa}} \right) = 49.7 \text{ HP} \frac{h}{t}$$
$$= 0.048 \text{ HP} \frac{h}{t}$$

Donde:

K_r : Constante de Rittinger = 130,9 Hp h/ton

D_{pp} : Diámetro medio de partículas del producto = 2.5 (cm)

D_{pa} : Diámetro medio de partículas de alimentación = 29.3(cm)

4.1.1.4. Potencia requerida

La potencia requerida para procesar un flujo másico:

$$P_{req} = E * \dot{m}$$

Donde:

P_{req} : Potencia requerida (HP)

\dot{m} : Flujo másico (kg/h)

4.1.1.5. Torque de la cuchilla

De acuerdo al diseño de la cuchilla tenemos un radio de 0.15 m, calculamos el torque de la cuchilla mediante:



$$T_c = R * F_c = 0.15 * 161.81 = 24.27 \text{ Nm}$$

Donde:

R : Radio de cuchilla = 150 mm

F_c : Fuerza de corte = 161.81 N

4.1.1.6. La potencia de corte

Por la característica del material plástico podemos considerar una velocidad de giro de 500 rpm.

500 rpm = 52.36 rad/s, entonces tenemos:

$$P_c = T_c * \omega_c = 24.27 * 52.36 = 1270.86 \text{ Watts} = 1.70 \text{ HP}$$

Donde:

ω_c : Velocidad angular = 52.36 rad/s

4.1.1.7. Potencia a transmitir

La potencia que se debe transmitir, debido a que los ejes de corte se apoyan en cuatro rodamientos, es:

$$P_{a1} = \frac{P_c}{i^n} = \frac{1.7}{0.99^4} = 1.77 \text{ HP}$$

Donde:

P_c : Potencia de corte = 1.7 HP

i : Eficiencia de rodamiento = 0.99

n : Número de rodamientos = 4

4.1.1.8. Potencia entregada por la faja

La transmisión por engranajes tiene una eficiencia de 0,98 (Tantarico, 2021).

$$P_{pol} = \frac{P_{a1}}{\eta_{eng}} = \frac{1.77}{0.98} = 1.81 \text{ HP}$$

Donde:

η_{eng} : Eficiencia de engranajes = 0.98

4.1.1.9. Potencia de accionamiento

Como la eficiencia de la transmisión por fajas se considera 0,96 (Tantarico, 2021).

$$P_{mot} = \frac{P_{pol}}{\eta_{fajas}} = \frac{1.81}{0.96} = 1.88 \text{ HP}$$

Donde:

η_{fajas} : Eficiencia de fajas = 0.96

4.1.1.10. Potencia mínima del motor

Para el motor asumimos de acuerdo al Código Nacional de Electricidad Utilización un factor de servicio del motor igual a 1 entonces:

$$P_{min} = F_{sm} * P_{mot} = 1 * 1.88 = 1.88 \text{ HP}$$

Entonces el motor seleccionado es un motor monofásico con las siguientes características.

Tabla 2*Características del motor*

Motor monofásico	
Potencia	2 HP
Polos	4
Aislamiento	Clase F
Factor de servicio	1.15
Diámetro de flecha	5/8"
Velocidad	1725 rpm
Frecuencia	60 Hz
Voltaje	115 V / 230 V
Consumo	20.6 A / 10.3 A

Nota: Delcrosa.

4.1.1.11. Dimensionamiento de poleas y fajas

La relación de velocidad nominal es:

$$r_{vn} = \frac{N_m}{N_c} = \frac{1725}{500} = 3.45$$

Donde:

N_m : Velocidad de polea motriz = 1725 rpm

N_c : Velocidad de polea conducida = 500 rpm

Las poleas deben transmitir potencia en las siguientes condiciones:

Potencia a transmitir P_{tp} : 1,88 HP = 1.4 kW

De la tabla tenemos el factor de carga de la faja igual a 1,2; por lo que, la maquina funcionara en un solo turno no mayor a 10 horas.

Figura 12

Tareas de mantenimiento sub sistema de frenos

Ejemplos de máquinas de trabajo	Factor de carga c_2 para funcionamiento diario (horas)			Factor de carga c_2 para funcionamiento diario (horas)		
	hasta 10	más de 10 hasta 16	más de 16	hasta 10	más de 10 hasta 16	más de 16
Transmisiones ligeras Bombas centrífugas y compresores, cintas transportadoras (para material ligero), ventiladores y bombas hasta 7,5 kW	1,1	1,1	1,2	1,1	1,2	1,3
Transmisiones medias Cizallas, prensas, transportadoras de cadenas y de cinta (para material pesado), tamices vibratorios, generadores y dinamos, amasadoras, máquinas herramienta (tornos y 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, transportadoras de carga pesada, expulsores (transportadoras helicoidales, de placas, de cangilones, de palas), ascensores, prensas de ladrillos, maquinaria textil, maquinaria de elaboración de papel, bombas de pistones, bombas draga, sierras alternativas, molinos de martillos.	1,2	1,3	1,4	1,4	1,5	1,6
Transmisiones muy pesadas Molinos de carga pesada, trituradoras de piedra, calandrias, mezcladoras, tornos, grúas, dragas, maquinaria pesada para la madera.	1,3	1,4	1,5	1,5	1,6	1,8

Nota: (Optibelt, 2001).

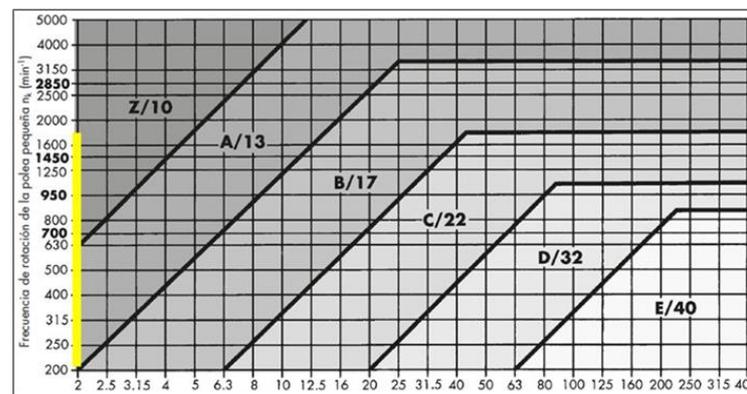
Entonces la potencia de diseño de la faja es:

$$P_{df} = P_{tp} * f_c = 1.88 * 1.2 = 2.26 \text{ HP} = 1.7 \text{ kW}$$

Con la potencia seleccionamos el tipo de faja, para una potencia de 1,7 kW y 1725 rpm tenemos la faja Z/10 VB DIN 2215:

Figura 13

Correas trapeciales



Nota: (Optibelt, 2001).

De la tabla tenemos el factor de carga de la faja igual a 1,2; por lo que, la maquina funcionara en un solo turno no mayor a 10 horas.

4.1.1.12. Selección de poleas

Se seleccionan los diámetros de poleas estándar, según la Norma ISO 4183, de la Figura 14.

Figura 14

Diámetros de poleas

Correas trapezoidales Perfil	Denominación ISO	-											Datum diameter d_d		Tolerancia de concentricidad y planitud
		Y	Z	A	B	C	D	E	min.	máx.					
Correas trapezoidales estrechas Perfil	DIN 2215	5	6	8	10	13	17	20	22	25	32	40			
Correas trapezoidales Perfil	DIN 7753 parte 1 e ISO 4184	-	-	-	SPZ	SPA	SPB	-	SPC	-	-	-	min.	máx.	
Diámetro de referencia d_d	20,0												20,0	20,4	0,2
	22,0												22,0	22,4	
	25,0												25,0	25,4	
	28,0	28,0											28,0	28,4	
	31,5	31,5											31,5	32,0	
	35,5	35,5											35,5	36,1	
	40,0	40,0	40	40*									40,0	40,6	
	45,0	45,0	45	45*									45,0	45,7	
	50,0	50,0	50	50*									50,0	50,8	
	56,0	56,0	56	56*									56,0	56,9	
	63,0	63,0	63	63*	63*								63,0	64,0	
				67	67*	67*							67,0	68,0	
	71,0	71,0	71	71*	71*								71,0	72,1	
	80,0	80,0	80	80*	80*									80,0	81,3
			90,0	90	90*	90*								90,0	91,4
				95	95*	95*	90*							95,0	96,4
			100,0	100	100*	100*	100*							100,0	101,6
				106	106*	106*	100*						106,0	107,6	
	112,0	112	112	112*	112*	112*							112,0	113,8	
	125,0		118	118	118*	118*								118,0	119,9
		125,0	125	125*	125*	125*							125,0	127,0	
			140	140*	140*	140*							140,0	142,2	
			150	150*	150*	150*	140*						150,0	152,4	
		160	160*	160*	160*	160	160*					160,0	162,6		
170		170	170*	170*	170*							170,0	172,7		
180	180	180	180*	180*	180*								180,0	182,9	
		190	190	190*	190*	180*							190,0	193,0	
		200	200	200*	200*	200*							200,0	203,2	
		212	212	212*	212*	212*							212,0	215,4	
		224	224	224*	224*	224*	224						224,0	227,6	
			225	225*	225*	225*							225,0	228,6	
			236	236*	236*	236*							236,0	239,8	
			250	250*	250*	250*	250			250			250,0	254,0	
				265	265*	265*	265						265,0	269,0	

Nota: (Optibelt, 2001).

Relación de velocidades:

d_{dg} : diámetro de polea motriz = 40 mm

d_{dk} : diámetro de polea conducida = 140

Entonces la relación de velocidades es:



$$r_v = \frac{d_{dg}}{d_{dk}} = \frac{140}{40} = 3.5$$

La velocidad de la polea conducida es:

$$N_c = \frac{1725}{3.5} = 492 \text{ rpm}$$

La diferencia respecto a la velocidad nominal es de 8 rpm que es aceptable.

4.1.1.13. Selección de faja y distancia entre centros

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

Con los datos:

d_{dk} : diámetro de polea conducida = 40 mm

d_{dg} : diámetro de polea motriz = 140 mm

Tenemos:

$$C_{imin} = 0.7 * (d_{dg} + d_{dk}) = 0.7 * (140 + 40) = 126 \text{ mm}$$

$$C_{imin} = 2 * (d_{dg} + d_{dk}) = 2 * (140 + 40) = 360 \text{ mm}$$

Seleccionamos una distancia entre centros = 322 mm.

Con este dato calculamos la longitud de la faja:

$$L_{sel} = 2 * C_{sel} + 1.57 * (d_{dg} + d_{dk}) + \frac{(d_{dg} + d_{dk})^2}{4 * C_{sel}}$$

$$L_{sel} = 2 * 322 + 1.57 * (140 + 40) + \frac{(140 + 40)^2}{4 * 322} = 951.76 \text{ mm}$$

Con este dato seleccionamos la faja estándar de la Figura 15:

Figura 15

Faja estándar



3V/9N

Perfil 3V/9N

Denominación de la correa	Denominación de la correa (desarrollo exterior mm) L_o
3V 250	9N 635
3V 265	9N 673
3V 280	9N 711
3V 300	9N 762
3V 315	9N 800
3V 335	9N 851
3V 355	9N 902
3V 375	9N 952
3V 400	9N 1016
3V 425	9N 1079
3V 450	9N 1143
3V 475	9N 1206
3V 500	9N 1270
3V 530	9N 1346
3V 560	9N 1422

Nota: (Optibelt, 2001).

La faja estándar seleccionada es 9N 952, cuya longitud es 952 mm

Entonces la distancia corregida entre centros es:

$$a_{nom} = C_{sel} - \frac{L_c - L_s}{2} = 322 - \frac{951.76 - 952}{2} = 322.1 \text{ mm}$$

Donde:

L_c : longitud de la faja calculada = 951.76 mm

L_s : longitud de la faja estándar = 952 mm

El arco de abrazo y factor de ángulo de contacto $C1$, está dado por:

$$C_1 = \frac{(d_{dg} + d_{dk})}{a_{nom}} = \frac{(140 - 40)}{322.1} = 0.31$$

Con este dato de la tabla tenemos:

El arco de abrazo es de 162°

factor de ángulo de contacto $C_1 = 0,99$

Figura 16

factor de ángulo de contacto C_1

$\frac{d_{dg} - d_{dk}}{a_{nom}}$	$\beta \approx$	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

Nota: (Optibelt, 2001).

Para la faja 9N 952, el factor C_3 es =0.91

Figura 17

factor de ángulo de contacto C_3

3V/9J, 3VX/9JX		
Denominación de la correa	Desarrollo exterior (mm)	c_3
3V 265	673	0,84
3V 280	711	0,85
3V 300	762	0,86
3V 315	800	0,87
3V 335	851	0,88
3V 355	902	0,90
3V 375	952	0,91
3V 400	1016	0,92
3V 425	1079	0,93
3V 450	1143	0,94

Nota: (Optibelt, 2001).

Con estos datos calculamos el número de fajas:



$$Z_{req} = \frac{P_{tp} * C_2}{P_N * C_1 * C_3} = \frac{1.4 * 1.2}{1.7 * 0.99 * 0.91} = 1.10$$

Entonces tendremos 2 fajas y se tendrá poleas de dos canales.

4.1.1.14. Transmisión por engranajes

Tenemos 2 engranajes que es accionado por la polera conducida que tiene las características siguientes:

$$N_c = 492 \text{ rpm}$$

$$P = 2 \text{ HP}$$

Teniendo en cuenta que el engranaje y el piñón son iguales y deben transmitir potencia en las siguientes condiciones:

$$Pt \quad : \text{ potencia transmitida } = 2 \text{ HP}$$

$$FSe \quad : \text{ factor de servicio } = 1,0$$

$$Ne \quad : \text{ velocidad del engranaje 1 } = 492 \text{ rpm}$$

$$Np \quad : \text{ velocidad del engranaje 2 } = 492 \text{ rpm}$$

$$mg \quad : \text{ relación de transmisión } = 1$$

$$C \quad : \text{ distancia entre centros } = 300 \text{ mm}$$

$$Zp \quad : \text{ número mínimo de dientes } = 13 \text{ dientes}$$

Figura 18

factor de ángulo de contacto C_3

Para Servicio Clase I (Factor de Servicio = 1.0)												
Paso Diametral 12						Ángulo de Presión 20°						
Número de Dientes	25 RPM		50 RPM		100 RPM		200 RPM		300 RPM		500 RPM	
	S	CI	S	CI	S	CI	S	CI	S	CI	S	CI
11	0.08		0.17		0.33		0.63		0.92		1.43	
12	0.10		0.20		0.39		0.75		1.09		1.69	
13	0.12		0.23		0.45		0.88		1.27		1.97	
14	0.13		0.26		0.51		0.99		1.43		2.22	
15	0.15		0.29		0.57		1.11		1.60		2.49	
16	0.16		0.32		0.63		1.20		1.74		2.71	
17	0.18		0.35		0.68		1.31		1.90		2.95	
18	0.19		0.37		0.73		1.42		2.05		3.18	
19	0.20		0.40		0.79		1.52		2.20		3.43	
20	0.22		0.43		0.85		1.63		2.36		3.68	

Nota: Manual Martin.

Se seleccionan engranajes rectos con un ángulo de presión de 20°.

Cálculo del módulo máximo:

$$m = \frac{2 * C}{Z_p * (1 + m_g)} = \frac{2 * 300}{13 * (1 + 1)} = 23.08$$

Número de dientes del piñón y engranaje:

$$Z_p + Z_g = \frac{2 * C}{m}$$

Donde:

m : módulo = 6

Z_p : número de dientes del piñón = 50

Z_g : número de dientes del engranaje = 50

Número de dientes del piñón y engranaje:

De : diámetro del engranaje = 300 mm

DP : diámetro de piñón = 300 mm

Ancho del piñón:

De acuerdo a la expresión siguiente seleccionamos el ancho del piñón:

$$6.2 * m < (\text{ancho}) < 19 * m$$

$$6.2 * 6 < (\text{ancho}) < 19 * 6$$

$$37.2 < (\text{ancho}) < 114$$

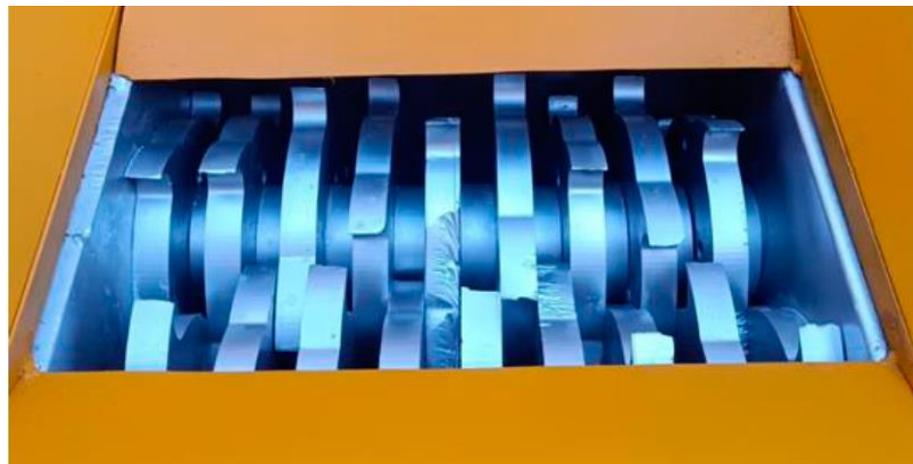
Se toma el ancho mínimo de 38.1 mm equivalente a 1.5 pulgadas.

4.1.1.15. Cálculo del eje

Se tienen dos ejes operando en paralelo, como se ve en la figura 19.

Figura 19

Disposición de los ejes



Elaboración propia

Donde:

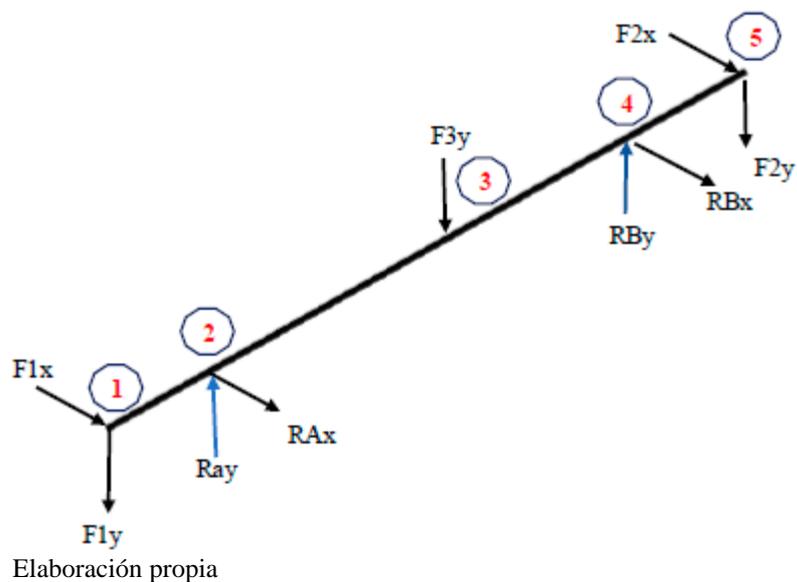
- 1) Elemento flexible
- 2) Rodamiento
- 3) Cuchilla y separador
- 4) Rodamiento
- 5) Engranaje

Para el diseño se toma el de mayor carga que soporta las 9 cuchillas, 8 separadores, engranaje, rodamientos y elemento flexible

Las cargas que actúan en el eje se verifican en el diagrama de cuerpo libre, donde:

Figura 20

Diagrama de cuerpo libre



$F1x$ y $F1y$ son las fuerzas del elemento flexible.

RAx , RAy , RBx y RBy son las reacciones de los rodamientos.



F_{3y} es la fuerza que actúa por el peso de cuchillas, separadores, eje y.

F_{2x} y F_{2y} son las fuerzas del engranaje.

fuerza de corte.

Fuerzas de polea

En este punto actúan la fuerza flexionante de la polea en el plano ZX y el peso de la polea en el plano ZY.

El torque sobre el eje se calcula mediante la expresión:

$$T_e = \frac{63\,000 * P}{N_c} = \frac{63\,000 * 2}{492} = 256.10 \text{ lbf/pulg} = 2951 \text{ kgf/mm}$$

Donde:

T_e : torque sobre el eje (lbf-pulg)

P : potencia = 2 HP

N_c : velocidad de la polea conducida = 492 rpm

Fuerza tangencial sobre la polea conducida:

$$F_{tp} = \frac{2 * T_e}{d_{dg}} = \frac{2 * 2951.1}{d_{dg}} = 42.16 \text{ kgf}$$

La fuerza flexionante para bandas trapezoidales que actúa en el eje X

$$F_f = 1.5 * F_{tp} = 1.5 * 42.16 = 63.24 \text{ kgf}$$

En el plano “ZY”, actúa el peso de la polea:

Figura 21

Peso de la polea seleccionada

dw	Grooves Gorges Canales	Fig.	 N°	D		L (1)	b2	H	J	N	m kg (2)
				min	max						
112	1	1	32	12	32	29	24	47	-	61	1,55
	2	1	40	14	40	36	43	57	-	76	2,3
	3	2	40	14	40	36	62	57	72	-	2,7
	4	2	40	14	40	36	81	57	72	-	3,4
118	1	1	32	12	32	29	24	47	-	61	1,7
	2	1	40	14	40	36	43	57	-	76	2,5
	3	2	40	14	40	36	62	57	78	-	3,1
	4	2	50	19	50	45	81	72	78	-	3,9
	5	2	50	19	50	45	100	72	78	-	5
125	1	1	32	12	32	29	24	47	-	61	1,9
	2	1	40	14	40	36	43	57	-	76	2,9
	3	1	50	19	50	45	62	72	-	97	3,6
	4	2	50	19	50	45	81	72	82	-	4,1
	5	2	50	19	50	45	100	72	82	-	4,8
	6	2	50	19	50	45	119	72	82	-	5,5
132	1	1	32	12	32	29	24	47	-	61	2,1
	2	1	40	14	40	36	43	57	-	76	3,3
	3	1	50	19	50	45	62	72	-	97	4,2
	4	2	50	19	50	45	81	72	89	-	4,7
	5	2	50	19	50	45	100	72	89	-	5,5
	6	2	50	19	50	45	119	72	89	-	6,5
140	1	1	32	12	32	29	24	47	-	61	2,1
	2	1	50	19	50	45	43	72	-	97	4,2
	3	1	50	19	50	45	62	72	-	97	4,9
	4	2	50	19	50	45	81	72	97	-	5,5
	5	2	50	19	50	45	100	72	97	-	6,5
	6	2	63	24	63	57	119	91	97	-	7

Nota: Manual Martin.

De la tabla tenemos que:

En este punto actúan:

$$F_{1y} = 4.2 \text{ kgf} \downarrow$$

- La fuerza radial en el eje X
- El peso con la fuerza tangencial del engranaje en el eje Y.

Torque sobre el eje:

$$T_e = \frac{63\,000 * P}{n_p} = \frac{63\,000 * 2}{492} = 256.10 \text{ lbf/pulg} = 2951 \text{ kgf/mm}$$

La fuerza tangencial es:

$$F_{te} = \frac{2 * T_e}{D_p} = \frac{2 * 2951}{300} = 19.67 \text{ kgf}$$

La fuerza radial, considerando que el ángulo de presión es de 20° se tiene:

$$F_{re} = F_{te} * \tan \phi = 19.67 * \tan(20^\circ) = 19.67 * 0.3639 = 7.16 \text{ kgf}$$

$$F_{re} = F_{2x} \rightarrow$$

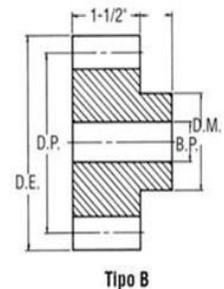
Actúan el peso del engranaje y la fuerza tangencial:

Figura 22

Peso del engranaje

Acero

Número de Dientes	Número de Parte	Ángulo de Presión	Diámetro		Tipo	Barreno (Pulg.)		Maza (Pulg.)		Peso Aprox. (lb)
			Paso	Exterior		Piloto	Máx. *	Diámetro	Proy.	
12	TS812	20	1.500	1.750	B	3/4	3/4	1-1/8	3/4	0.7
14	TS814	20	1.750	2.000	B	3/4	13/16	1-5/16	3/4	1.0
15	TS815	20	1.875	2.125	B	3/4	7/8	1-7/16	3/4	1.2
16	TS816	20	2.000	2.250	B	7/8	15/16	1-9/16	7/8	1.4
18	TS818	20	2.250	2.500	B	7/8	1-1/8	1-13/16	7/8	1.9
19	TS819	20	2.375	2.625	B	7/8	1-1/4	2	7/8	2.3
20	TS820	20	2.500	2.750	B	7/8	1-5/16	2-1/16	7/8	2.5
22	TS822	20	2.750	3.000	B	7/8	1-1/2	2-5/16	7/8	3.2
24	TS824	20	3.000	3.250	B	7/8	1-5/8	2-9/16	7/8	3.9
26	TS826	20	3.250	3.500	B	7/8	1-3/4	2-3/4	7/8	4.6
28	TS828	20	3.500	3.750	B	7/8	1-3/4	2-3/4	7/8	5.2
30	TS830	20	3.750	4.000	B	1	1-3/4	2-3/4	7/8	5.6
32	TS832	20	4.000	4.250	B	1	1-7/8	3-1/4	7/8	6.6
36	TS836	20	4.500	4.750	B	1	2-1/8	3-1/2	7/8	8.6
40	TS840	20	5.000	5.250	B	1	2-1/8	3-1/2	7/8	10.2
42	TS842	20	5.250	5.500	B	1	2-1/8	3-1/2	1	11.4
44	TS844	20	5.500	5.750	B	1	2-1/8	3-1/2	1	12.3
48	TS848	20	6.000	6.250	B	1	2-1/8	3-1/2	1	14.2



Nota: Manual Martin.

De la tabla el peso del engranaje es 14.2 lb = 6.44 kg

Entonces se tiene que la fuerza F_{2y} es:

$$F_{2x} = F_{pe} + F_{te} = 6.44 + 19.67 = 26.11 \text{ kgf} \downarrow$$

4.1.1.16. Fuerza de las cuchillas y separadores

Calculamos el peso de acuerdo a la geometría que se muestra en la figura.

Figura 23

Diseño de la cuchilla



Elaboración propia.



De acuerdo a la geometría de la cuchilla considerando un espesor de 24.5 mm tenemos el peso aproximado de la cuchilla de 8.39.kg.

Entonces el peso total es 75.5 kg, por tener 9 unidades.

Los espaciadores son cilindros huecos con las siguientes dimensiones:

- Diámetro interior: 50 mm
- Diámetro exterior: 100 mm
- Espesor: 24.5 mm
- Material: ACERO INOX AISI 304

Entonces, se tiene:

1.13 kgf.

Como se tiene 8 separadores, el peso total de separadores es de 10,17 kgf.

El peso del eje, se calcula con un diámetro de 50 mm y una longitud de 700 mm, para el acero se tiene un peso de 10,78 kgf.

La fuerza F_{3y} viene dada por:

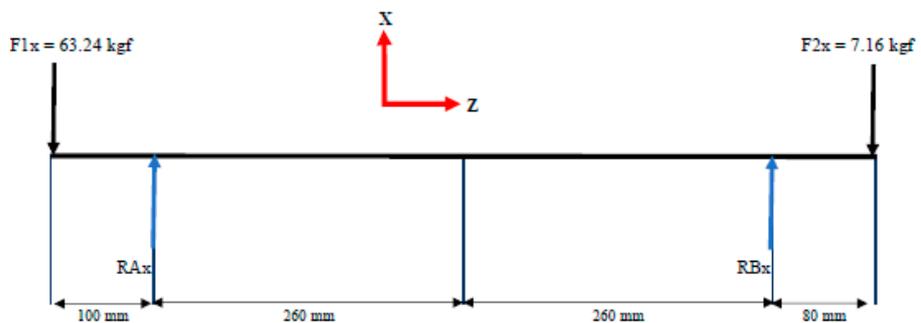
$$F_{3y} = \sum F_{pcu} + F_{psep} + F_{peje} + F_{corte}$$
$$= 75.5 + 10.17 + 10.78 + \frac{16.52}{2} = 104.7 \text{ kgf}$$

Calculo de fuerzas cortantes y momentos flectores en cada punto

Las fuerzas en el plano “XZ”

Figura 24

fuerzas en el plano “XZ”



Elaboración propia.

A continuación, los cálculos de las reacciones en los rodamientos con las ecuaciones de equilibrio de Newton:

$$\sum F_{pcu} = 0 \uparrow$$

$$-F_{1x} - F_{2x} + R_{Ax} - R_{Bx} = 0$$



$$-63.24 - 7.16 - R_{Ax} - R_{Bx} = 0$$

$$-R_{Ax} - R_{Bx} = 70.24$$

$$\sum M_3 = 0 \curvearrowright +$$

$$F_{1x} * d_{1-3} + F_{2x} * d_{2-3} + R_{Bx} * d_{3-5} = 0$$

$$(-63.24 * 100) + (-7.16 * 80) + (R_{Bx} * 520) = 0$$

$$-6324 - 572,8 + (R_{Bx} * 520) = 0$$

$$R_{Bx} = 13.26 \text{ kgf } \uparrow$$

Entonces tenemos:

$$R_{Ax} = 70.24 + R_{Bx}$$

$$R_{Ax} = 70.24 + 13.26 = 83,25 \text{ kgf } \uparrow$$

Calculamos las fuerzas cortantes y momentos flectores:

Tramo 1-2:

$$\sum F_{x1-2} = 0 \uparrow$$

$$-F_{1x} - V = 0$$

$$-63.24 - V = 0$$

$$V = -63.24$$

$$\sum M_{1-2} = 0 \curvearrowright +$$

$$F_{1x} * d_{1-2} + M_{1-2} = 0$$



$$(63.24 * 100) + (M_{1-2}) = 0$$

$$M_{1-2} = - 6 3.24 \text{ kgf/mm}$$

Tramo 2-4:

$$\sum F_{x2-4} = 0 \uparrow$$

$$-F_{1x} - F_{2x} - V = 0$$

$$-63.24 - 7.16 - V = 0$$

$$V = -70.4 \text{ kgf}$$

$$\sum M_{2-4} = 0 \curvearrow +$$

$$F_{1x} * d_{1-4} - R_{Ax} * d_{2-4} + M_{2-4} = 0$$

$$(63.24 * 620) - (83.25 * 520) + (M_{2-4}) = 0$$

$$M_{2-4} = 4 081 \text{ kgf/mm}$$

Tramo 4-5

$$\sum F_{x4-5} = 0 \uparrow$$

$$-F_{1x} - F_{2x} + R_{Ax} - V = 0$$

$$-63.24 - 7.16 + 83.25 - V = 0$$

$$V = 12.85 \text{ kgf}$$

$$\sum M_{4-5} = 0 \curvearrow +$$

$$F_{1x} * d_{1-5} - F_{Rax} * d_{2-5} - F_{Rax} * d_{4-5} + M_{4-5} = 0$$

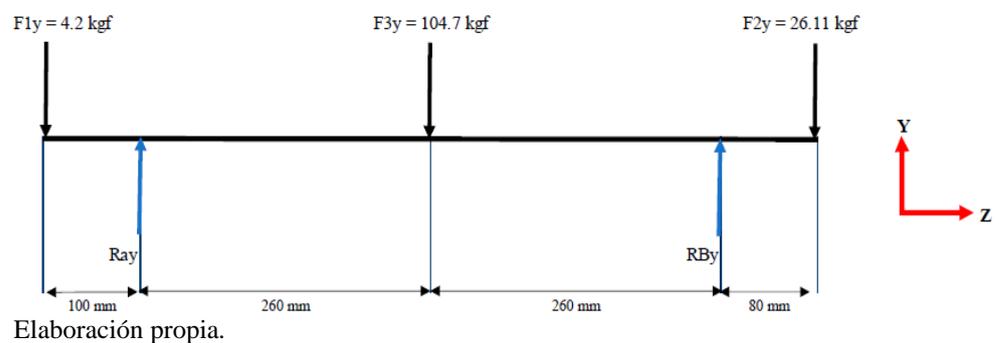
$$(63.24 * 700) - (83.25 * 600) - (13.26 * 80) + (M_{4-5}) = 0$$

$$M_{4-5} = 6\,742 \text{ kgf/mm}$$

Las fuerzas en el plano “YZ”

Figura 25

fuerzas en el plano “YZ”



Las reacciones en los rodamientos son:

$$\sum F_y = 0 \uparrow$$

$$-F_{1y} - F_{2y} - F_{3y} + R_{Ay} + R_{By} = 0$$

$$-4.2 - 26.11 - 104.7 + R_{Ay} - R_{By} = 0$$

$$R_{Ay} + R_{By} = 135.01$$

$$\sum M_2 = 0 \curvearrow +$$

$$F_{1y} * d_{1-3} - R_{Ay} * d_{2-3} + F_{3y} * d_{3-4} - F_{2y} * d_{4-5} = 0$$

$$(4.2 * 360) - (R_{Ay} * 260) + (104.7 * 260) - (26.11 * 80) = 0$$

$$-27\,798.8 + (R_{By} * 520) = 0$$



$$R_{By} = 53.46 \text{ kgf } \uparrow$$

Entonces tenemos:

$$R_{Ay} + R_{By} = 135.01$$

$$R_{Ay} = 135.01 - 53.46$$

$$R_{Ay} = 81.55 \text{ kgf } \uparrow$$

las fuerzas cortantes y momentos flectores:

Tramo 1-2:

$$\sum F_{y1-2} = 0 \uparrow$$

$$-F_{1y} - V = 0$$

$$-4.2 - V = 0$$

$$V = -4.2$$

$$\sum M_{1-2} = 0 \curvearrow +$$

$$F_{1y} * d_{1-2} + M_{1-2} = 0$$

$$(4.2 * 100) + (M_{1-2}) = 0$$

$$M_{1-2} = -420 \text{ kgf/mm}$$

Tramo 2-3:

$$\sum F_{y2-3} = 0 \uparrow$$



$$-F_{1y} - R_{Ay} - V = 0$$

$$-4.2 + 81.55 - V = 0$$

$$V = 77.35 \text{ kgf}$$

$$\sum M_{2-3} = 0 \curvearrowright +$$

$$F_{1y} * d_{1-3} - R_{Ay} * d_{2-3} + M_{2-3} = 0$$

$$(4.2 * 360) - (81.55 * 260) + (M_{2-3}) = 0$$

$$M_{2-3} = 19\,691 \text{ kgf/mm}$$

Tramo 3-4

$$\sum F_{y3-4} = 0 \uparrow$$

$$-F_{1y} - F_{2y} + R_{Ay} - V = 0$$

$$-4.2 - 26.11 + 86.69 - V = 0$$

$$V = 56.38 \text{ kgf}$$

$$\sum M_{3-4} = 0 \curvearrowright +$$

$$F_{1y} * d_{1-4} - F_{RAy} * d_{2-4} + F_{3Y} * d_{3-4} + M_{3-4} = 0$$

$$(4.2 * 620) - (26.11 * 520) + (104.7 * 260) + (M_{3-4}) = 0$$

$$M_{3-4} = -16\,248 \text{ kgf/mm}$$

Tramo 4-5

$$\sum F_{y4-5} = 0 \uparrow$$

$$-F_{1y} - F_{2y} + R_{Ay} + R_{By} - V = 0$$

$$-4.2 - 26.11 + 86.69 - 48.33 - V = 0$$

$$V = 8.05 \text{ kgf}$$

$$\sum M_{4-5} = 0 \curvearrow +$$

$$F_{1Y} * d_{1-5} - R_{Ay} * d_{2-5} + F_{3Y} * d_{3-5} - R_{By} * d_{4-5} + M_{4-5} = 0$$

$$(4.2 * 700) + (26.11 * 600) - (104.7 * 340) - (53.46 * 80) + (M_{4-5}) = 0$$

$$M_{4-5} = 21\,268 \text{ kgf/mm}$$

De acuerdo a la recomendación del manual técnico SIPESA acero seleccionado para ejes es el AISI 1045 de la tabla tenemos:

Figura 26

Peso del engranaje

1	2	3	4	5	6	7	8
UNS núm.	SAE y/o AISI núm.	Procesamiento	Resistencia a la tensión, MPa (kpsi)	Resistencia a la fluencia, MPa (kpsi)	Elongación en 2 pulg, %	Reducción en área, %	Dureza Brinell
G10060	1006	HR	300 (43)	170 (24)	30	55	86
		CD	330 (48)	280 (41)	20	45	95
G10100	1010	HR	320 (47)	180 (26)	28	50	95
		CD	370 (53)	300 (44)	20	40	105
G10150	1015	HR	340 (50)	190 (27.5)	28	50	101
		CD	390 (56)	320 (47)	18	40	111
G10180	1018	HR	400 (58)	220 (32)	25	50	116
		CD	440 (64)	370 (54)	15	40	126
G10200	1020	HR	380 (55)	210 (30)	25	50	111
		CD	470 (68)	390 (57)	15	40	131
G10300	1030	HR	470 (68)	260 (37.5)	20	42	137
		CD	520 (76)	440 (64)	12	35	149
G10350	1035	HR	500 (72)	270 (39.5)	18	40	143
		CD	550 (80)	460 (67)	12	35	163
G10400	1040	HR	520 (76)	290 (42)	18	40	149
		CD	590 (85)	490 (71)	12	35	170
G10450	1045	HR	570 (82)	310 (45)	16	40	163
		CD	630 (91)	530 (77)	12	35	179
G10500	1050	HR	620 (90)	340 (49.5)	15	35	179
		CD	690 (100)	580 (84)	10	30	197
G10600	1060	HR	680 (98)	370 (54)	12	30	201
G10800	1080	HR	770 (112)	420 (61.5)	10	25	229
G10950	1095	HR	830 (120)	460 (66)	10	25	248

Nota: (Budynas & Nisbett, 2015).



$$S_y = 77\,000 \text{ Psi}$$

$$S_{ut} = 91\,000 \text{ Psi}$$

4.1.1.17. Momentos resultantes

El momento flector resultante es.

$$M_p = \sqrt{M_{px}^2 + M_{py}^2}$$

$$M_{px} = 6\,742 \text{ kgf/mm}$$

$$M_{py} = 21\,268 \text{ kgf/mm}$$

Con estos datos tenemos:

$$M_p = \sqrt{(6742)^2 + (21\,268)^2} = 22\,311 \text{ kgf/mm}$$

$$M_p = 1458.8 \text{ lbf/pulg}$$

Torque máximo que transmite el eje:

$$T_e = 256.10 \text{ lbf/pulg.} = 2951 \text{ kgf/mm}$$

4.1.1.18. Diámetro por carga estática

Para el cálculo del diámetro previo del eje se emplea la teoría de esfuerzo cortante de Von Mises por estar sometido a un torque y momento, entonces se tiene:

$$d = \left[\frac{16N}{\pi S_y} (4M^2 + 3T^2)^{1/2} \right]^{1/3}$$

Donde:



d : diámetro pulg.

N : 2.5.

S_y : 77 000 psi

T : 256.10 lbf-pulg.

M : 1458.8 lbf-pulg.

$$d = \left[\frac{16N}{\pi S_y} (4M^2 + 3T^2)^{1/2} \right]^{1/3}$$

$$d = \left[\frac{16 * 2.5}{\pi * 77000} (4 * 1458.8^2 + 3 * 256.10^2)^{1/2} \right]^{1/3} = 0.787 \text{ pulg.}$$

$$d = 19.98 \text{ mm.}$$

4.1.1.19. Límite de resistencia a la fatiga

Mediante la ecuación de Marín tenemos:

$$S_e = K_a * K_b * K_c * K_d * K_e * K_f * S_{\bar{e}}$$

Donde:

S_e : Límite de resistencia a la fatiga modificado (psi)

$S_{\bar{e}}$: Límite de resistencia a la fatiga (psi)

K_a : Factor que modificación superficie.

K_b : Factor que modifica tamaño.

K_c : Factor que modifica carga.

K_d : Factor que modifica temperatura.

K_e : Factor de confiabilidad.

K_f : Factor de efectos varios

se calcula el factor K_a :

$$K_a = a * S_{ut}^b$$

Donde:

S_{ut} : 91 kPsi

Figura 27

Parámetros en el factor de la condición superficial de Marin

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

Nota: (Budynas & Nisbett, 2015).

$$K_a = 2.7 * 91^{-0.265} = 0.817$$

El factor K_b :

$$K_b = \frac{d^{-0.107}}{0.3} = \left(\frac{0.787}{0.3}\right)^{-0.107} = 0.902$$

El factor de carga para la flexión $K_c = 1$

El factor de temperatura $K_d = 1$

Figura 28

Factores de confiabilidad k_e

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

Nota: (Budynas & Nisbett, 2015).

El factor de confiabilidad $K_e = 0.62$

factor de efectos varios $K_f = 1$.

El límite de resistencia a la fatiga

$$S_{\dot{\epsilon}} = 0.5 * S_{ut} = 45\,500 \text{ Psi}$$

$$S_{ut} : 90\,000 \text{ Psi}$$

$$\begin{aligned} S_e &= K_a * K_b * K_c * K_d * K_e * K_f * S_{\dot{\epsilon}} \\ &= 0.817 * 0.902 * 1 * 1 * 0.62 * 1 * 45\,500 \\ &= 20\,787.6 \text{ Psi} \end{aligned}$$

4.1.1.20. Momento alternante y medio

El momento alternante

$$M_a = \frac{M_{max} - M_{min}}{2} = \frac{(1\,458.8) - (-1\,458.8)}{2} = 1\,458.8 \text{ libf} - \text{pulg}$$

El momento medio



$$M_m = \frac{M_{max} + M_{min}}{2} = \frac{(1\ 458.8) + (-1\ 458.8)}{2} = 0\ \text{libf} - \text{pulg}$$

4.1.1.21. Torque alternante y medio

El torque alternante

$$T_a = 0$$

El torque medio

$$T_m = \frac{T_{max} + T_{min}}{2} = \frac{256.10 + 256.10}{2} = 256.10\ \text{libf} - \text{pulg}.$$

4.1.1.22. Dimensionamiento de diámetro por criterio de Goodman

Mediante el criterio por fatiga de Goodman tenemos:

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

n : 2.5 por el tipo de trabajo.

K_f : 2.5 para chaflán agudo

d : diámetro del eje (pulg)

Para el factor K_{fs}

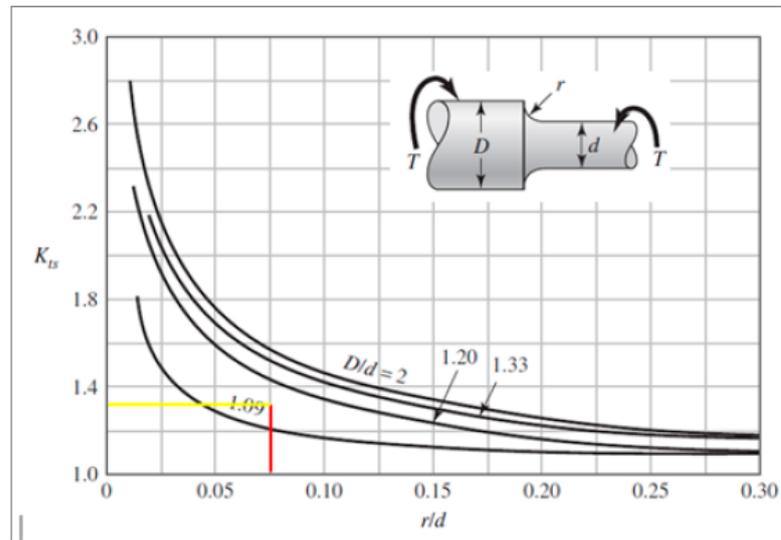
Para este factor tenemos en cuenta los diámetros de $D = 50\ \text{mm}$ y

$d = 45\ \text{mm}$.

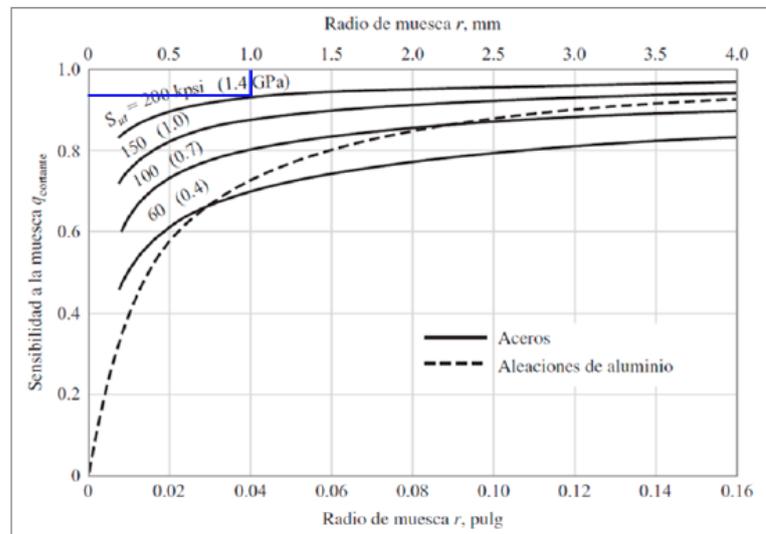
$$r/d = 25/45 = 0.55$$

Figura 29

Factores K_{ts} y q_{cort}



$$K_{ts} = 1.35$$



Nota: (Budynas & Nisbett, 2015).

$$K_{fs} : 1 + q_{cort} \cdot (K_{ts} - 1) = 1 + 0.95 \cdot (1.35 - 1) = 1.3325$$

$$K_{fs} : 1.33$$

$$M_a : 1458.8 \text{ lbf-pulg.}$$

$$T_a : 0$$



$$M_m : 0$$

$$T_m : 256.10 \text{ lbf-pulg.}$$

Reemplazando valores

$$\begin{aligned} d &= \left\{ \frac{16n}{\pi} \left[\frac{1}{S_e} (4(K_f M_a)^2 + 3(K_{fs} T_a)^2)^{\frac{1}{2}} + \frac{1}{S_{sut}} (4(K_f M_m)^2 + 3(K_{fs} T_m)^2)^{\frac{1}{2}} \right] \right\}^{\frac{1}{3}} \\ &= \left\{ \frac{16 * 2.5}{\pi} \left[\frac{1}{45\,500} (4(2.5 * 1\,458.8)^2 + 3(.33 * 0)^2)^{\frac{1}{2}} \right. \right. \\ &\quad \left. \left. + \frac{1}{91\,000} (4(2.5 * 0)^2 + 3(1.33 * 256.1)^2)^{\frac{1}{2}} \right] \right\}^{\frac{1}{3}} = 1.66 \text{ pulg.} \end{aligned}$$

El diámetro es de 1.66 pulg. = 42.16 mm.

Entonces seleccionamos un eje de 50 mm y para el montaje de los rodamientos 45 mm.

4.1.1.23. Selección de rodamientos

De los cálculos previos tenemos que la carga en los rodamientos es:

$$R_{Ax} = 83.25 \text{ kgf}$$

$$R_{Ay} = 81.55 \text{ kgf}$$

Entonces la fuerza aplicada en el punto es:

$$R_{punto} = \sqrt{R_{Ax}^2 + R_{Ay}^2} = \sqrt{83.25^2 + 81.55^2} = 116.5 \text{ kgf}$$

$$R_{punto} = 1.16 \text{ kN}$$

La carga que puede soportar el rodamiento

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

Donde:

C_{10} : carga de rodamiento

L_D : 20 000 h.

n_D : 492 (rpm)

a : 3

F_D : 1.16 kN

Reemplazando valores tenemos:

$$C = 1.27 * \left(\frac{20\,000 * 492 * 60}{1\,000\,000} \right)^{\frac{1}{3}} = 10.07 \text{ kN}$$

Figura 30

Rodamientos SKF

Dimensiones principales			Capacidad de carga básica		Carga límite de fatiga	Velocidades nominales		Masa	Designaciones	
d	D	B	dinámica C	estática C ₀	P _u	Velocidad de referencia	Velocidad límite ¹⁾		Rodamiento abierto o tapado en ambos lados	tapado en un lado ²⁾
mm			kN		kN	r. p. m.		kg	-	
45	58	7	6,63	6,1	0,26	-	6 700	0,04	▶ 61809-2RS1	-
	58	7	6,63	6,1	0,26	22 000	11 000	0,04	▶ 61809-2RZ	-
	58	7	6,63	6,1	0,26	22 000	14 000	0,04	▶ 61809	-
	68	12	14	10,8	0,465	-	6 000	0,14	▶ 61909-2RS1	-
	68	12	14	10,8	0,465	20 000	10 000	0,14	▶ 61909-2RZ	-
	68	12	14	10,8	0,465	20 000	13 000	0,14	▶ 61909	-
	75	10	16,5	10,8	0,52	20 000	12 000	0,17	▶ 16009	-
	75	16	22,1	14,6	0,64	20 000	12 000	0,24	▶ 6009	-
	75	16	22,1	14,6	0,64	-	5 600	0,25	▶ 6009-2RS1	6009-RS1

Nota: Manual SKF.

Con este dato del catálogo de rodamientos SKF, para 45 mm de diámetro interior tenemos el rodamiento rígido de una hilera de bolas 61909-2RS1



V. CONCLUSIONES

PRIMERA: En cumplimiento al primer objetivo específico, se ha realizado el diseño del sistema de inserción en la alimentación de material del prototipo de una maquina recicladora trituradora de plásticos para uso industrial, esta máquina está compuesta por la estructura, la tolva, los engranajes (dos unidades), las cuchillas (nueve unidades), los ejes y rodamientos (dos unidades); para los que se ha seleccionado aceros de acuerdo a la necesidad.

SEGUNDA: En cumplimiento al segundo objetivo específico, se diseñó la geometría particular de las cuchillas para triturar la dureza más alta presentada en el plástico, estas tienen la forma geométrica más adecuada y están instaladas en dos ejes de nueve unidades cada una, son de material acero inoxidable AISI 304.



VI. RECOMENDACIONES

PRIMERA: Se recomienda a los graduados de la Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica Eléctrica, realizar investigaciones orientadas al diseño de maquinarias para la industria de modo que se contribuya con el desarrollo de la región.

SEGUNDA: Se recomienda a los usuarios, poder realizar el manual de utilización de la maquina teniendo en cuenta los aspectos de seguridad y mantenimiento más adecuados para la conservación del equipo.



VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Andrady, A. L. (2003). *Plastics and the Environment*. In A. L. Andrady (Ed.), *Nucl. Phys.* (Vol. 13, Issue 1). A JOHN WILEY & SONS PUBLICATION.
- Antonopoulos, I., Faraca, G., & Tonini, D. (2021). *Recycling of post-consumer plastic packaging waste in EU: Process efficiencies, material flows, and barriers*. *Waste Management*, 126, 694–705.
<https://doi.org/10.1016/j.wasman.2021.04.002>
- Bäckström, E., Odelius, K., & Hakkarainen, M. (2021). *Ultrafast microwave assisted recycling of PET to a family of functional precursors and materials*. *European Polymer Journal*, 151(March). <https://doi.org/10.1016/j.eurpolymj.2021.110441>
- Baldera, H. (2020). *Diseño de una máquina trituradora de botellas de plástico de 25 kg/h para la empresa recicladora “Bravo” - Tucume, Lambayeque*. In Repositorio Institucional - USS (p. 140). <http://servicios.uss.edu.pe/handle/uss/6677>
- Budynas, R., & Nisbett, K. (2015). *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley (Mc Graw Hill (ed.); Décima edi)*. Printed by Edamsa Impresiones, S.A. de C.V.
- Choudhary, K., Sangwan, K. S., & Goyal, D. (2019). *Environment and economic impacts assessment of PET waste recycling with conventional and renewable sources of energy*. *Procedia CIRP*, 80(March), 422–427.
<https://doi.org/10.1016/j.procir.2019.01.096>
- Columbian, C. (2019). *Using Raven ® Blacks In Plastics Applications*. Phelps Dodge Corporation.
- Forero-Franco, R., Cañete-Vela, I., Berdugo-Vilches, T., González-Arias, J., Maric, J., Thunman, H., & Seemann, M. (2023). *Correlations between product distribution and feedstock composition in thermal cracking processes for mixed plastic waste*. *Fuel*, 341(November 2022). <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2023.127660>
- Gamarra Moreno, A. H., Lozano Paulino, Y. D., Serpa Enríquez, C. A., & Lozano Paulino, Y. D. (2020). *Diseño de un prototipo de trituradora para mejorar el rendimiento de trituración de botellas tipo PET*. *Prospectiva Universitaria*, 14(1), 41–46.



<https://doi.org/10.26490/uncp.prospectivauniversitaria.2017.14.698>

- Kasmi, N., Bäckström, E., & Hakkarainen, M. (2023). *Open-loop recycling of post-consumer PET to closed-loop chemically recyclable high-performance polyimines*. *Resources, Conservation and Recycling*, 193(November 2022).
<https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2023.106974>
- Kharagpur, R. (2000). *Fundamentals of machine design. Handbook of Machinery Dynamics*, I, 495. <https://doi.org/10.1038/042171a0>
- Monteza, W. (2019). *Diseño de una máquina trituradora de botellas plásticas de planeta verde EIRL - Chiclayo (UCV (ed.); Primera)*. UCV.
- Olano, C. (2018). *Diseño de una máquina trituradora de Concreto de capacidad 500 Kg/H, dirigido a la ciudad de Chiclayo*.
[https://repositorio.uss.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12802/4649/Ballesteros-Arrasco - Rojas Alvites .pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.uss.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12802/4649/Ballesteros-Arrasco-Rojas-Alvites.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Optibelt. (2001). *Manual técnico para transmisiones por correas trapeciales* (p. 164). optibelt.
- Ortiz Orteja, E. J., & Tirado Abril, R. J. (2005). *Diseño y construcción de una trituradora de mandíbulas de excéntrica elevada*. 1–147.
<http://tangara.uis.edu.co/biblioweb/tesis/2005/116924.pdf>
- Pegoretti, A. (2021). *Towards sustainable structural composites: A review on the recycling of continuous-fiber-reinforced thermoplastics*. *Advanced Industrial and Engineering Polymer Research*, 4(2), 105–115.
<https://doi.org/10.1016/j.aiepr.2021.03.001>
- Rácz, Á., & Csöke, B. (2021). *Comminution of single real waste particles in a swing-hammer shredder and axial gap rotary shear*. *Powder Technology*, 390, 182–189. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2021.05.064>
- Reis, J. M. L., Chianelli-Junior, R., Cardoso, J. L., & Marinho, F. J. V. (2011). *Effect of recycled PET in the fracture mechanics of polymer mortar*. *Construction and Building Materials*, 25(6), 2799–2804.
<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2010.12.056>



- Roosen, M., Harinck, L., Ügdüler, S., De Somer, T., Hucks, A. G., Belé, T. G. A., Buettner, A., Ragaert, K., Van Geem, K. M., Dumoulin, A., & De Meester, S. (2022). *Deodorization of post-consumer plastic waste fractions: A comparison of different washing media*. *Science of the Total Environment*, 812, 152467. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.152467>
- Sampieri, R. H., Collado, C. F., & Baptista, L. M. del P. (2010). *Metodología de la Investigación* (S. A. D. C. . McGRAW-HILL / INTERAMERICANA EDITORES (ed.); Quinta edi). McGRAW-HILL / INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V.
- Solorzano, J. (2018). *Diseño de una Máquina Recicladora orientada a la producción de Filamentos de Plástico ABS para la impresión 3D en la PUCP*. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9), 1689–1699.
- Stapleton, M. J., Ansari, A. J., Ahmed, A., & Hai, F. I. (2023). *Evaluating the generation of microplastics from an unlikely source: The unintentional consequence of the current plastic recycling process*. *Science of the Total Environment*, 902(July), 166090. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.166090>
- Tantarico, J. (2021). *Diseño de una Trituradora Actuada por sistema fotovoltaico para eliminar botellas plásticas en la Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo*. (Vol. 10, p. 195). Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo.

ANEXOS

ANEXO 1: Manual utilización aceros



COLOR	GRADO	Norma AISI	Norma Din	Norma W.Nº	APLICACIONES
ACEROS PARA TRABAJO EN FRIO					
	ARNE	01	105MnCr4	1.2510	Acero versátil y fácil de maquinarse. Se utiliza en la fabricación de cizallas, punzones, troqueles y cuchillas para papel.
	CALMAX	UDDEHOLM		1.2358	Acero de excelente tenacidad, para matrices de corte de chapa gruesa, cizallas, estampado, embutición profunda y acuñado, cuchilla de chapa gruesa.
	RIGOR	A2	X100CrMoV51	1.2633	Acero de excelente combinación de tenacidad y resistencia al desgaste para series medianas y grandes de producción.
	SLEIPNER	UDDEHOLM			Acero de alta tenacidad y resistencia al desgaste adhesivo. Muy versátil para corte, cizallado, laminado, conformado, acuñado, forja en frío, embutición mediana y profunda, roscado.
	D3 (2080)	D3	X210Cr12	1.2080	Acero de gran resistencia al desgaste, muy buena capacidad de corte y aplicaciones abrasivas. Moldes de ladrillo y cerámica.
	SVERKER 3	D6	X210CrW12	1.2436	Acero de máxima resistencia al desgaste para corte y cizallado, conformado, doblado. Para series largas de producción. Excelente para corte de papel y cartón.
	SVERKER 21	D2 Supreme	165CrMoV12	1.2379	Acero de resistencia al desgaste y tenacidad moderada para corte de materiales gruesos y duros, troqueles, cuchillas para reciclar plástico.
ACEROS PULVIMETALURGICOS					
	ELMAX	UDDEHOLM			Acero pulvimetalúrgico para insertos en moldes que requieren alta pulibilidad y resistencia al desgaste y corrosión. Ideal para fabricar cuchillas para alimentos.
	VANADIS 4 EXTRA	UDDEHOLM			Acero pulvimetalúrgico de extrema tenacidad y buena resistencia al desgaste para largas series donde existe desgaste adhesivo.
	VANADIS 6	UDDEHOLM			Alta resistencia al desgaste, buena tenacidad y buena resistencia a la compresión. Se utiliza en materiales duros y semiduros.
	VANADIS 10/SUPERCLEAN	UDDEHOLM			Acero pulvimetalúrgico ideal para largas series de producción donde el factor dominante es el desgaste combinado de abrasión y tenacidad (melladuras). Para herramientas de corte, cuchillas para papel y compactación de polvo.
	VANADIS 23	M3:2	S6-5-3	1.3344	Acero de muy buena tenacidad y resistencia al desgaste abrasivo. Ideal para troqueles y cuchillas de corte.
ACEROS PARA TRABAJO EN CALIENTE					
	ALVAR 14		56NiCrMoV7	1.2714	Acero para herramientas de soporte, piezas de apoyo y soporte de matrices.
	DIEVAR	UDDEHOLM			Acero Premium con buena resistencia a altas temperaturas, excelente templado, tenacidad y ductilidad.
	HOTVAR	UDDEHOLM			Acero Premium de excelente resistencia al desgaste en altas temperaturas, puede templarse y revenirse a 58 HRC.
	ORVAR 2M	H13	40CrMoV51	1.2344	Acero para matrices de extrusión de aluminio, cizallado en caliente, piezas resistentes al desgaste. Excelente en utillaje para aluminio.
	ORVAR SUPREME (ESR)	H13 Premium	40CrMoV51	1.2344	Acero para matrices de fundición inyectada y extrusión, utillajes de forja sometidos a altas tensiones mecánicas y térmicas. Alta tenacidad, ideal cuchillas chatara.
	QRO90 SUPREME				Acero superior para trabajos en caliente, para moldes de fundición inyectada, de extrusión y herramientas de forja. Alta resistencia a la fatiga térmica. Ideal para cobre y sus aleaciones.
ACEROS PARA MOLDES DE PLASTICO					
	CORRAX	UDDEHOLM			Acero inoxidable para moldes de inyección y matrices de extrusión. Excelente resistencia a la corrosión. Superior a un AISI 420 mejorado. Ideal para cuchillas para alimentos.
	P20	P20	30CrMo4	1.2311	Acero pretemplado para moldes y portamoldes, placas de soporte y fijación, utillajes de soporte a presión. Componentes estructurales.
	IMPAX SUPREME (ESR)	UDDEHOLM		1.2738	Acero para moldes de inyección, extrusión de termoplásticos, moldes de soplado, componentes estructurales, ejes y piñones. Excelente pulido y resultados con nitruración por plasma.
	ORVAR SUPREME (ESR)	H13 Premium	40CrMoV51	1.2344	Acero para moldes y matrices. Posee buena capacidad de temple y buena pulibilidad. Excelente para aplicaciones de alta exigencia y elementos estructurales.
	RAMAX HH	420 F			Acero inoxidable pretemplado para moldes de inyección y extrusión, portamoldes, buena resistencia a la corrosión.
	STAVAX (ESR)	420 Modificado	Z40Cr13	1.2083	Acero inoxidable para moldes de PVC, excelente acabado y pulido, resistente a la corrosión, manchas y desgaste. Fabricación de cuchillas.
	MIRRAX 40 (ESR)	420 Modificado			Acero inoxidable pretemplado a 40 HRC para moldes medianos y grandes de excelente acabado y pulido. Resistente a la corrosión, manchas y desgaste. Muy buena tenacidad y resistencia al desgaste.
	COOLMOULD (COBRE BERILIO)				Aleación de Cobre-Berilio de alta dureza y excelente conductividad térmica. Para núcleos e insertos en partes críticas de moldes de inyección.
	ALUMEC (PRODAX)	ALUMINIO DE ALTA DUREZA			Aleación de aluminio de dureza alta y uniforme. Ideal para moldes expuestos a presiones altas y plásticos abrasivos. Muy buena pulibilidad.
	7075 (ALUMINIO)	7075			Aleación de aluminio para piezas, accesorios y moldes de series cortas expuestos a presiones altas.
	UNIMAX	UDDEHOLM			Acero universal con alta tenacidad y dureza. Para aplicaciones severas donde se requiere gran resistencia contra melladuras.



COLOR	GRADO	Norma AISI	Norma Din	Norma W.Nº	APLICACIONES
ACEROS PARA MAQUINARIAS					
	4340	4340	34CrNiMo6	1.6582	Acero para ejes, flechas, piñones, cigüeñales, rodillos, elementos estructurales de alta resistencia mecánica. Buena resistencia a la torsión.
	4140	4140	42CrMo4	1.7225	Acero para ejes, flechas, piñones, cigüeñales, rodillos, elementos estructurales.
	1045	1045	CK 45	1.1730	Acero para ejes, placa guía, porta dados, porta punzones, porta matrices, ejes, pernos, tuercas y demás elementos estructurales.
	3215	3215	15CrNi6	1.5919	Acero de cementación, excelente tenacidad en el núcleo, con mayor porcentaje de Níquel. Ideal para fabricación de piñones y cigüeñales.
	7210	7210	16/20MnCr5	1.7131	Acero de cementación de excelente templabilidad. Ideal para fabricación de piñones y cigüeñales.
	BARRA PERFORADA	E470 E355	20MnV6		Acero fácil de cementar, ideal para anillos, piñones, engranajes, bocinas y ejes en la industria petrolera.
ACEROS INOXIDABLES					
	420	420		1.4021	Acero para flechas, ejes, componentes de bombas, válvulas, pistones. Resistente a los ácidos diluidos.
	431	431		1.4057	Acero bonificado con 300 HB de dureza. Para flechas, ejes, bombas, válvulas, pistones en la industria alimentaria.
	304	304		1.4301	Acero austenítico resistente a la corrosión. Aplicaciones en la industria química y alimentaria.
	316	316		1.4401	Acero inoxidable para aplicaciones en la industria alimentaria y química. Resistente a los ácidos.
	440 B	440 B	7527/6	1.4112	Acero templable. Ideal para la fabricación de herramientas. Dados de cierre para envase de hojalata.

ESR → refundición eléctrica de escoria, es un método de fabricación especial para la obtención de aceros aleados de alta calidad.

SUPREME → técnicas especiales y un control riguroso del proceso permiten que el acero adquiera una gran pureza y estructura muy fina. Incluye **ESR**.

Consultar con nuestro departamento técnico aplicaciones de Nitruración por Plasma.

TOLERANCIAS RECOMENDABLES PARA ACEROS LAMINADOS EN CALIENTE

* Las superficies descarburadas (producto de la laminación en caliente) pueden tener grietas. Es necesario eliminarlas antes del tratamiento térmico.

* Sobre medida para el mecanizado antes del tratamiento térmico.

Medida acabada en mm. \square \varnothing	0 a 16	16 a 25	25 a 40	40 a 63	63 a 80	80 a 100	100 a 125	125 a 160	160 a 200	200 a 250
Sobre medida en mm.	2.0	2.5	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	10	12

La composición de los aceros no es exacta. Existe un rango de tolerancia aceptable en referencia a los valores indicados en normas y catálogos, al igual que en las escalas de dureza.



ANEXO 2: Panel fotográfico





ANEXO 3: Declaración jurada de autenticidad de tesis



Universidad Nacional
del Altiplano Puno



Vicerrectorado
de Investigación



Repositorio
Institucional

DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD DE TESIS

Por el presente documento, Yo: **Eduardo Montura Llanque**
, identificado con DNI: **01862447** en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional, Programa de Segunda Especialidad, Programa de Maestría o Doctorado
INGENIERA MECANICA ELECTRICA

informo que he elaborado el/la Tesis o Trabajo de Investigación denominada:

**“DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE UNA MAQUINA RECICLADORA TRITURADORA DE
PLÁSTICOS PARA USO INDUSTRIAL EN LA CIUDAD DE PUNO”**

Es un tema original.

Declaro que el presente trabajo de tesis es elaborado por mi persona y **no existe plagio/copia** de ninguna naturaleza, en especial de otro documento de investigación (tesis, revista, texto, congreso, o similar) presentado por persona natural o jurídica alguna ante instituciones académicas, profesionales, de investigación o similares, en el país o en el extranjero.

Dejo constancia que las citas de otros autores han sido debidamente identificadas en el trabajo de investigación, por lo que no asumiré como tuyas las opiniones vertidas por terceros, ya sea de fuentes encontradas en medios escritos, digitales o Internet.

Asimismo, ratifico que soy plenamente consciente de todo el contenido de la tesis y asumo la responsabilidad de cualquier error u omisión en el documento, así como de las connotaciones éticas y legales involucradas.

En caso de incumplimiento de esta declaración, me someto a las disposiciones legales vigentes y a las sanciones correspondientes de igual forma me someto a las sanciones establecidas en las Directivas y otras normas internas, así como las que me alcancen del Código Civil y Normas Legales conexas por el incumplimiento del presente compromiso

Puno 23 de diciembre del 2023


FIRMA (obligatoria)



Huella



ANEXO 4: Autorización para el depósito de tesis en el Repositorio Institucional



Universidad Nacional
del Altiplano Puno



Vicerrectorado
de Investigación



Repositorio
Institucional

AUTORIZACIÓN PARA EL DEPÓSITO DE TESIS O TRABAJO DE INVESTIGACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Por el presente documento, Yo **Eduardo Montura Llanque**
identificado con DNI: **01862447** en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional, **Programa de Segunda Especialidad**, **Programa de Maestría o Doctorado**

INGENIERA MECANICA ELECTRICA

, informo que he elaborado el/la **Tesis** o **Trabajo de Investigación** denominada:

**“DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE UNA MAQUINA RECICLADORA TRITURADORA DE
PLÁSTICOS PARA USO INDUSTRIAL EN LA CIUDAD DE PUNO”**

para la obtención de **Grado**, **Título Profesional** o **Segunda Especialidad**.

Por medio del presente documento, afirmo y garantizo ser el legítimo, único y exclusivo titular de todos los derechos de propiedad intelectual sobre los documentos arriba mencionados, las obras, los contenidos, los productos y/o las creaciones en general (en adelante, los “Contenidos”) que serán incluidos en el repositorio institucional de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno.

También, doy seguridad de que los contenidos entregados se encuentran libres de toda contraseña, restricción o medida tecnológica de protección, con la finalidad de permitir que se puedan leer, descargar, reproducir, distribuir, imprimir, buscar y enlazar los textos completos, sin limitación alguna.

Autorizo a la Universidad Nacional del Altiplano de Puno a publicar los Contenidos en el Repositorio Institucional y, en consecuencia, en el Repositorio Nacional Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto, sobre la base de lo establecido en la Ley N° 30035, sus normas reglamentarias, modificatorias, sustitutorias y conexas, y de acuerdo con las políticas de acceso abierto que la Universidad aplique en relación con sus Repositorios Institucionales. Autorizo expresamente toda consulta y uso de los Contenidos, por parte de cualquier persona, por el tiempo de duración de los derechos patrimoniales de autor y derechos conexos, a título gratuito y a nivel mundial.

En consecuencia, la Universidad tendrá la posibilidad de divulgar y difundir los Contenidos, de manera total o parcial, sin limitación alguna y sin derecho a pago de contraprestación, remuneración ni regalía alguna a favor mío; en los medios, canales y plataformas que la Universidad y/o el Estado de la República del Perú determinen, a nivel mundial, sin restricción geográfica alguna y de manera indefinida, pudiendo crear y/o extraer los metadatos sobre los Contenidos, e incluir los Contenidos en los índices y buscadores que estimen necesarios para promover su difusión.

Autorizo que los Contenidos sean puestos a disposición del público a través de la siguiente licencia:

Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional. Para ver una copia de esta licencia, visita: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

En señal de conformidad, suscribo el presente documento.

Puno 23 de diciembre del 2023


FIRMA (obligatoria)



Huella