



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

**SEDE QUITO**

**CARRERA DE MECATRÓNICA**

**DISEÑO DE UNA MÁQUINA TRITURADORA DE HOJAS PARA LA  
ELABORACIÓN DE TÉ ARTESANAL PARA LA EMPRESA SALINERITO**

**Trabajo de titulación previo a la obtención del  
Título de Ingeniero en Mecatrónica**

**AUTORES:**

**CAMILA NICOLE CÓRDOVA GONZÁLEZ**

**ALBERT EMILIO JIMÉNEZ PATIÑO**

**TUTOR:**

**RENÉ PATRICIO QUITIAQUEZ SARSOZA**

**Quito - Ecuador**

**2024**

## CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, Camila Nicole Córdova González con documento de identificación No. 1725694200 y Albert Emilio Jiménez Patiño con documento de identificación No. 1720661170; manifestamos que:

Somos los autores y responsables del presente trabajo; y, autorizamos a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Quito, 29 de febrero del año 2024

Atentamente,



---

Camila Nicole Córdova González  
1725694200



---

Albert Emilio Jiménez Patiño  
1720661170

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

Nosotros, Camila Nicole Córdova González con documento de identificación No. 1725694200 y Albert Emilio Jiménez Patiño con documento de identificación No. 1720661170, expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores de la Propuesta Tecnológica: “Diseño de una máquina trituradora de hojas para la elaboración de té artesanal para la empresa Salinerito” , la cual ha sido desarrollada para optar por el título de Ingeniero Mecatrónico, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

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

Quito, 29 de febrero del año 2024

Atentamente,



---

Camila Nicole Córdova González  
1725694200



---

Albert Emilio Jiménez Patiño  
1720661170

## CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, René Patricio Quitiaquez Sarsoza con documento de identificación N° 1710597269, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: DISEÑO DE UNA MÁQUINA TRITURADORA DE HOJAS PARA LA ELABORACIÓN DE TÉ ARTESANAL PARA LA EMPRESA SALINERITO , realizado por Camila Nicole Córdova González con documento de identificación No. 1725694200 y por Albert Emilio Jiménez Patiño con documento de identificación No. 1720661170 obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción de Propuesta Tecnológica que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 29 de febrero del año 2024

Atentamente,



---

Ing. René Patricio Quitiaquez Sarsoza, M.Sc.

1710597269

## AGRADECIMIENTO

A mis padres, Carlos Alberto y Adriana, por su amor, apoyo y confianza. A mi hermana Karen alias (Pepita Jiménez) y mi perro Kike, por su paciencia e incondicionalidad. Agradezco especialmente a mi compañera de tesis, Camila Córdova, por su dedicación, colaboración y amistad, que han enriquecido significativamente este proceso académico. A mi mejor amigo, Andrés Paz, por su constante apoyo moral, aliento y amistad incondicional a lo largo de esta travesía académica. A mi tío Marco mi prima Sara y mi primo Harold, por su compañía, ánimo y colaboración. A mi asesor de tesis, Ing. Patricio Quitiaquez, por su orientación y sabiduría. A mi Universidad, por brindarme la oportunidad de formarme como profesional. Quiero expresar mi profundo agradecimiento a todos mis amigos y compañeros que formaron parte de este proceso. Su apoyo y camaradería han sido invaluable.

Gracias a todos por ser parte fundamental de este logro en mi vida.

Albert Emilio Jiménez Patiño

Agradezco a mi padre Alejandro Córdova y a mi madre Janeth González, no hay palabras suficientes para expresar mi gratitud por el apoyo incondicional y la motivación que me han brindado durante mi carrera universitaria. Su amor, aliento y sacrificios han sido la fuerza que me impulsó a alcanzar mis metas, gracias por ser mi fuente constante de inspiración. A mis hermanos, Andrés y Daniel, gracias por ser mi respaldo constante y por inspirarme a alcanzar mis metas con determinación.

A mi compañero Albert Jiménez, por estar a mi lado y colaborar intensamente en el progreso de este proyecto que hemos emprendido juntos. Valoro tu dedicación y la efectiva sinergia que hemos construido para alcanzar nuestras metas comunes.

Al Ing. Patricio Quitiaquez, mi más sincero agradecimiento por su invaluable guía y el generoso compartir de sus conocimientos durante el desarrollo de este proyecto. Su orientación ha sido fundamental para mi crecimiento profesional. También agradezco a la Universidad Politécnica Salesiana por proporcionarme el ambiente propicio para mi formación académica y profesional.

Camila Nicole Córdova González

## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo a mis padres, fuente inagotable de amor, apoyo y sacrificio. Su constante aliento y ejemplo de perseverancia han sido la luz que guió cada paso de este arduo camino académico. A mis abuelas, Nancy y Esperanza, cuya sabiduría, amor incondicional y palabras de aliento han sido el sostén en los momentos más difíciles. Este logro es también suyo. A mis amigos y seres queridos, quienes han compartido conmigo las alegrías y desafíos de esta travesía. Este éxito es un tributo a cada uno de ustedes, quienes han dejado una huella imborrable en mi corazón. ¡Gracias por ser mi inspiración y mi mayor razón para alcanzar el éxito!

Albert Emilio Jiménez Patiño

Con gratitud y amor, dedico este proyecto de titulación a mi querida familia. No solo representa un logro académico, sino también un testimonio sincero de agradecimiento por su apoyo constante. Cada página y esfuerzo invertido en este trabajo reflejan las sabias enseñanzas y consejos que han compartido conmigo. Este proyecto no solo contribuye a mi crecimiento académico, sino que también establece las bases para un futuro lleno de éxitos, gracias a la positiva influencia que han tenido en mi vida. Su apoyo incondicional ha sido la fuerza motriz que me impulsa a alcanzar nuevas metas, y cada logro obtenido refleja el amor y la dedicación que ustedes me han brindado a lo largo de mi trayectoria académica.

Camila Nicole Córdova González

## ÍNDICE DE CONTENIDO

CERTIFICADO DE DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN .....	ii
CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA.....	iii
CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN .....	iv
AGRADECIMIENTO .....	v
DEDICATORIA .....	vi
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	vii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xi
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xiv
RESUMEN.....	xv
ABSTRACT .....	xvi
INTRODUCCIÓN .....	1
Planteamiento del Problema.....	1
Formulación del Problema .....	1
Objeto de Estudio.....	1
Justificación del Proyecto .....	2
OBJETIVOS .....	2
Objetivo General .....	2
Objetivos Específicos.....	2
Hipótesis del proyecto.....	3
Alcance del proyecto.....	3
Descripción de la estructura de los capítulos del proyecto .....	3
CAPÍTULO 1 .....	4
MARCO TEÓRICO REFERENCIAL.....	4
1.1 Marco Teórico.....	4
1.1.1 Té Artesanal .....	4
1.1.2 Trituración del té.....	4
1.2 Tipos de hojas utilizadas en la elaboración del té artesanal.....	5
1.2.1 Guaviduca (Piper Carpunya).....	5
1.2.2 Mashua (Tropaeolum tuberosum).....	5
1.2.3 Linaza (Linum usitatissimum) .....	6
1.2.4 Arquitecta (Lasiocephalus ovatus Schltld) .....	6
1.2.5 Manzanilla (Matricaria recutita L.).....	7
1.2.6 Menta (Mentha pulegium) .....	7

1.2.7	Ataco ( <i>Amaranthus hybridus</i> ).....	8
1.2.8	Orégano ( <i>Origanum vulgare</i> ).....	8
1.2.9	Hierba Luisa ( <i>Cymbopogon citratus</i> ).....	9
1.2.10	Cola de Caballo ( <i>Esquisetum arvense</i> ) .....	9
1.2.11	Ñachag ( <i>Bidens andicola</i> ).....	10
1.2.12	Chuquiragua ( <i>Chuquiraga jussieui</i> I.F. Gmel).....	10
1.3	Normativa del té – NTE INEN 2392 .....	12
1.4	Reglamento Técnico Ecuatoriano – RTE INEN 068(1R) “Café, té, hierbas aromáticas y bebidas energéticas .....	12
1.5	Acero Inoxidable.....	12
1.5.1	Clasificación del acero inoxidable.....	13
1.6	Motor de corriente alterna.....	15
1.7	Elementos de Señalización .....	15
1.7.1	Luces piloto.....	15
1.7.2	Paro de emergencia.....	16
1.8	Tipos de soldadura más comunes .....	16
1.8.1	GMAW .....	16
1.8.2	Soldadura TIG.....	17
1.9	Tipos de uniones soldadas .....	17
1.9.1	Soldadura a tope o empalmada .....	17
1.9.2	Soldadura con filete .....	18
1.10	Tipos de Molinos .....	18
1.10.1	Molino de rodillos.....	18
1.10.2	Molino de martillos.....	18
1.10.3	Molino de discos .....	19
1.11	Fundamentos teóricos .....	19
1.12	Descripción de la situación actual.....	21
1.13	Densidad de hojas secas y capacidad en volumen de trituración.....	21
1.14	Estado actual del mecanismo .....	22
	<b>CAPÍTULO 2</b> .....	<b>25</b>
	<b>ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS</b> .....	<b>25</b>
2.1	Análisis de alternativas .....	25
2.1.1	Molino de rodillos .....	25
2.1.2	Molino de martillos .....	26
2.1.3	Molino de discos.....	27
2.1.4	Transmisión por Bandas .....	27
2.1.5	Transmisión por Engranajes .....	28
2.1.6	Transmisión por Banda Dentada .....	29



2.2 Cuadros comparativos de Selección de alternativas .....	30
2.2.1 Comparación entre tipos de molinos .....	30
2.2.2 Comparación entre tipos de transmisión de potencia .....	31
CAPÍTULO 3 .....	33
DISEÑO Y SIMULACIÓN .....	33
3.1 Capacidad requerida de trituración .....	33
3.2 Obtención de datos con método experimental .....	33
3.2.1 Ecuación de movimiento .....	34
3.3 Cálculo para el diseño de los martillos .....	35
3.3.1 Energía cinética .....	35
3.3.2 Energía potencial .....	36
3.3.3 Velocidad tangencial al extremo del martillo.....	36
3.3.4 Velocidad tangencial y coeficiente de fluctuación .....	36
3.3.5 Radio de giro .....	39
3.3.6 Velocidad sin carga .....	39
3.3.7 Velocidad con carga .....	40
3.3.8 Aceleración angular .....	40
3.3.9 Análisis de parámetros para dimensionar los martillos .....	41
3.3.10 Área de desgarre .....	42
3.3.11 Fuerza centrífuga .....	43
3.3.12 Esfuerzo de corte .....	43
3.3.13 Falla por cizalladura .....	44
3.3.14 Factor de seguridad.....	44
3.3.15 Área transversal .....	45
3.3.16 Falla por tracción y factor de seguridad .....	46
3.4 Diseño del disco porta martillos.....	47
3.5 Cálculo del eje secundario .....	48
3.5.1 Diseño mediante modelado y simulación en 3D del eje secundario .....	48
3.6 Diseño del eje principal.....	50
3.6.1 Criterio de resistencia de Von Mises .....	53
3.7 Velocidad del motor .....	55
3.8 Potencia del molino.....	55
3.9 Selección de bandas y poleas .....	56
3.9.1 Potencia de diseño .....	56
3.9.2 Tipo de correa.....	57
3.9.3 Selección de la polea motriz.....	58
3.9.4 Cálculo de la distancia entre centros .....	59

3.9.5 Longitud de las correas .....	60
3.10 Selección de la chaveta .....	60
3.11 Diseño de la tolva.....	61
3.11.1 Cálculo del coeficiente de fricción .....	62
3.12 Selección del tamiz .....	62
3.13 Selección de chumacera .....	63
3.14 Cálculo de soldadura GTAW (TIG).....	65
3.14.1 Soldadura de filete .....	65
3.14.2 Factor de seguridad para la soldadura .....	66
3.15 Cálculo de juntas empernadas .....	67
3.15.1 Longitud de agarre.....	68
3.15.2 Longitud del perno.....	68
3.16 Elementos eléctricos.....	69
3.16.1 Selección del motor .....	69
3.16.2 Interruptor .....	69
3.16.3 Disyuntores .....	69
3.16.4 Contactor .....	69
3.17 Simulaciones del proceso .....	70
3.17.1 Bastidor.....	70
3.17.2 Base .....	70
3.17.3 Ensamble final de la máquina.....	71
3.17.4 Arranque del motor.....	72
CAPÍTULO 4 .....	73
ANÁLISIS DE RESULTADOS Y COSTOS .....	73
4.1 Comprobación de la hipótesis .....	73
4.2 Comprobación de Resultados.....	73
4.3 Análisis de costos del proyecto .....	74
4.3.1 Costos Directos.....	74
4.3.2 Costos indirectos.....	76
4.4 Justificación de costos.....	76
4.5 Análisis económico .....	77
4.5.1 Flujo de caja.....	78
4.5.2 Valor actual neto (VAN) y Tasa interna de retorno (TIR) .....	81
4.5.3 Tiempo de retorno de la inversión .....	81
CONCLUSIONES .....	82
RECOMENDACIONES .....	83
REFERENCIAS .....	84
ANEXOS .....	89

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Degustación de té artesanal [1].....	4
Figura 2. Hojas de té trituradas [1]. .....	5
Figura 3. Hoja de Guaviduca [4].....	5
Figura 4. Planta Mashua [5].....	6
Figura 5. Planta de Linaza [8].....	6
Figura 6. Planta Arquitecta [9].....	7
Figura 7. Planta de Manzanilla [10].....	7
Figura 8. Planta de Menta [11]. .....	8
Figura 9. Planta de Ataco [12]. .....	8
Figura 10. Planta de Orégano [14].....	9
Figura 11. Planta de Hierba Luisa [15].....	9
Figura 12. Planta Cola de Caballo [17].....	10
Figura 13. Planta de Ñachag [9]. .....	10
Figura 14. Planta de Chuquiragua [9]. .....	11
Figura 15. Tuberías hechas de acero inoxidable [21]. .....	13
Figura 16. Partes de un motor AC [23].....	15
Figura 17. Luz piloto [24]. .....	15
Figura 18. Paro de emergencia [24].....	16
Figura 19. Soldadura GMAW [25]. .....	16
Figura 20. Soldadura TIG [27].....	17
Figura 21. Soldaduras a tope más típicas [28] . .....	17
Figura 22. Soldadura con filete [29]. .....	18
Figura 23. Probetas de ensayo [4].....	22
Figura 24. Dinamómetro Portable Electronic Scale. ....	23
Figura 25. Molino artesanal. ....	23
Figura 26. Molino para triturar hojas disecadas de plantas medicinales [4].....	24
Figura 27. Proceso de triturado por rodillos [4].....	25
Figura 28. Proceso de triturado por martillos [4].....	26
Figura 29. Proceso de triturado por discos [4].....	27
Figura 30. Bandas planas [36]. .....	28
Figura 31. Engranajes rectos [36]. .....	29
Figura 32. Bandas dentadas [36].....	30
Figura 33. Método experimental para obtención de la fuerza. ....	34
Figura 34. Antes vs. después de soltar la carga. ....	34
Figura 35. Dimensiones del martillo diseñado. ....	42
Figura 36. Factor de seguridad a carga cortante. ....	45
Figura 37. Distancia de desplazamiento del martillo en milímetros.....	45
Figura 38. Factor de seguridad a tensión. ....	47
Figura 39. Disco porta martillos. ....	48
Figura 40. Dimensiones del perno. ....	48
Figura 41. Tensión axial y de flexión en el límite superior. ....	49
Figura 42. Desplazamiento estático. ....	49
Figura 43. Factor de seguridad del eje secundario.....	50

Figura 44. Diagrama de cuerpo libre del eje principal.....	51
Figura 45. Diagrama de momentos cortantes. ....	52
Figura 46. Momentos flectores. ....	52
Figura 47. Tensión axial y de flexión en el límite superior del eje principal. ....	54
Figura 48. Desplazamiento estático. ....	54
Figura 49. Factor de seguridad.....	55
Figura 50. Factor de servicio [49].....	57
Figura 51. Selección de correas [49].....	58
Figura 52. Capacidad de transmisión por canal para correas tipo A [49].....	59
Figura 53. Cuñeros y cuñas estándar milimétricos de sección rectangular [50].....	61
Figura 54. Tolva modelada en el software Solidworks.....	62
Figura 55. Tamiz en una cámara de molienda [53]. ....	63
Figura 56. Catálogo de chumaceras [54]. ....	63
Figura 57. Catálogo de chumaceras [54]. ....	64
Figura 58. Plano de la vista lateral de la chumacera [54]. ....	64
Figura 59. Plano de la vista frontal de la chumacera [54]. ....	65
Figura 60. Soldadura TIG simulada en el software SolidWorks. ....	66
Figura 61. Propiedades mecánicas del electrodo ER308L [55].....	66
Figura 62. Diámetros y áreas de roscas de paso grueso y fino [40].....	67
Figura 63. Dimensiones de tuercas [37]. ....	68
Figura 64. Análisis de tensión en el bastidor. ....	70
Figura 65. Análisis de tensión en la base.....	71
Figura 66. Ensamble total del molino de martillos.....	71
Figura 67. Arranque del motor monofásico simulado en el software CadeSimu. ....	72

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Porcentaje de humedad de los doce tipos de hojas. ....	11
Tabla 2. Tipos de aceros inoxidable y sus características. ....	14
Tabla 3. Registro de fuerzas con y sin carga. ....	24
Tabla 4. Cuadro comparativo de los tipos de molinos. ....	31
Tabla 5. Cuadro comparativo de los tipos de transmisión de potencia. ....	32
Tabla 6. Datos tiempo de caída. ....	35
Tabla 7. Coeficientes de fluctuación [41]. ....	38
Tabla 8. Costos de materiales. ....	74
Tabla 9. Costos de maquinado. ....	76
Tabla 10. Costo total de la máquina. ....	77
Tabla 11. Producción mínima mensual de la máquina [4]. ....	77
Tabla 12. Flujo de caja estimado a 10 años [4]. ....	79
Tabla 13. Resultados del VAN y el TIR. ....	81

## ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Plano Tolva. ....	89
Anexo 2. Plano Caja. ....	90
Anexo 3. Plano Martillo.....	91
Anexo 4. Plano Disco. ....	92
Anexo 5. Plano Eje Principal.....	93
Anexo 6. Plano Base. ....	94
Anexo 7. Plano de despiece del molino de martillos. ....	95
Anexo 8. Plano de subconjunto del molino. ....	96
Anexo 9. Plan de mantenimiento para el molino de martillos. ....	99
Anexo 10. Obtención de la fuerza de manera experimental. ....	100
Anexo 11. Toma de datos sin carga. ....	100
Anexo 12. Toma de datos con carga.....	101
Anexo 13. Toma de datos para la trituración. ....	101
Anexo 14. Autores del proyecto de tesis. ....	102

## RESUMEN

El presente proyecto se centra en el diseño y simulación de un molino de martillos dedicado a la trituración de hojas de té, con un enfoque específico en prevenir la formación de masas durante el proceso. El proyecto aborda esta problemática a través de un análisis detallado de factores influyentes, la incorporación de datos provenientes de estudios previos y la presentación de un modelo propuesto para alcanzar los objetivos establecidos. La experimentación incluye pruebas destinadas a calcular la fuerza necesaria en la trituración de hojas, con la optimización del diseño de los martillos y la definición de parámetros esenciales como resultados.

En el ámbito económico, se lleva a cabo un análisis exhaustivo que evalúa la rentabilidad del molino de martillos. Este análisis comprende una exploración meticulosa de costos y beneficios, proporcionando una visión completa del proyecto, que abarca elementos como el retorno de inversión y el periodo de recuperación. La esencia de este enfoque integral es alcanzar un rendimiento económico sostenible, destacando la innovación en la prevención de la formación de masas como un componente distintivo y esencial del proyecto.

**Palabras claves:** AISI 304, Molino de martillos, Simulación, Trituración de hojas.

## ABSTRACT

The current project focuses on the design and simulation of a hammer mill dedicated to crushing tea leaves, with a specific emphasis on preventing clumping during the process. The research addresses this issue through a detailed analysis of influencing factors, the incorporation of data from previous studies, and the presentation of a proposed model to achieve the established objectives. The experimentation includes tests aimed at calculating the necessary force in leaf crushing, optimizing the design of the hammers, and defining essential parameters as outcomes.

In the economic sphere, a comprehensive analysis is conducted to assess the profitability of the hammer mill. This analysis involves a meticulous exploration of costs and benefits, providing a complete overview of the project, encompassing elements such as return on investment and payback period. The essence of this comprehensive approach is to achieve sustainable economic performance, highlighting the innovation in preventing clumping as a distinctive and essential component of the research.

**Keywords:** AISI 304, Hammer mill, Leaf crushing, Simulation.



## **INTRODUCCIÓN**

La producción artesanal de té es un complejo procedimiento que demanda una considerable cantidad de tiempo y esfuerzo cuando se realiza de forma manual. Esta labor implica la colaboración de varios operarios debido a las limitaciones físicas y ergonómicas humanas, quienes, con habilidad y dedicación, contribuyen al proceso de elaboración para obtener un producto de calidad excepcional.

### **Planteamiento del Problema**

En la empresa Salinerito, existe una máquina que se empleaba para modernizar el proceso de triturado de los distintos tipos de hojas para la elaboración de té. Lamentablemente, al introducir una variedad nueva de hojas, la máquina comenzó a enfrentar inconvenientes significativos, lo que llevó a la decisión de dar de baja su uso.

### **Formulación del Problema**

La ausencia de esta máquina conlleva a un aumento en el número de trabajadores y a una prolongación del tiempo de producción, lo que resulta en una pérdida económica para la empresa y la obtención de un producto de inferior calidad. Además, se incrementa el riesgo para la salud del operario debido a los esfuerzos repetitivos y constantes requeridos en esta actividad. Por lo tanto, es fundamental considerar la incorporación de un equipo adecuado que pueda manejar los diferentes tipos de hojas y su velocidad de triturado para asegurar un correcto funcionamiento del proceso de elaboración de té artesanal, mejorando así las condiciones laborales y la calidad del producto final.

### **Objeto de Estudio**

Este estudio se enfoca en investigar y analizar los factores que han llevado a los inconvenientes en la máquina de triturado al introducir un nuevo tipo de hoja y al mezclar distintos tipos de hojas en la empresa Salinerito. El proceso de triturado ha presentado dificultades que han afectado la eficiencia y calidad del producto final. Se busca identificar las causas de los problemas actuales y proponer recomendaciones o soluciones para garantizar una correcta elaboración de té.

## **Justificación del Proyecto**

La justificación para llevar a cabo este estudio radica en la necesidad de abordar las limitaciones físicas y ergonómicas que enfrentan los trabajadores durante el proceso de triturado de hojas en la empresa Salinerito. Actualmente, estos inconvenientes incrementan el riesgo de accidentes y lesiones, lo que afecta negativamente la salud y bienestar del personal. Es necesario buscar mejoras en la maquinaria y el proceso para mitigar estos riesgos y garantizar un ambiente laboral más seguro y saludable. La importancia de este proyecto radica en el compromiso con la seguridad y el bienestar de los empleados, lo que impactará positivamente al crear un entorno de trabajo más seguro y saludable, además, se contribuirá al aumento de la productividad mostrando su compromiso con el bienestar de su equipo de trabajadores y el cumplimiento de estándares de seguridad.

## **OBJETIVOS**

### **Objetivo General**

Diseñar una máquina trituradora de hojas a través del análisis de los elementos mecánicos y electrónicos para la elaboración de té artesanal con el fin de satisfacer las necesidades de la empresa Salinerito.

### **Objetivos Específicos**

- Analizar los elementos mecánicos y electrónicos de la máquina existente mediante una inspección visual para detectar posibles daños o problemas de funcionamiento a mejorar en el nuevo equipo.
- Diseñar los elementos mecatrónicos que cumplan los nuevos requerimientos, mediante cálculos y/o simulación para mejorar el funcionamiento del equipo.
- Realizar un análisis de costos de fabricación e instalación de la máquina trituradora, proporcionando estimaciones de costo - beneficio para respaldar la toma de decisiones en una posible implementación del proyecto.

## **Hipótesis del proyecto**

¿Cómo afectan las variaciones en los parámetros de simulación, como la velocidad de rotación y el diseño de los martillos, junto con la elección adecuada del tamiz, en relación con la obtención de una reducción de tamaño óptima y la distribución de partículas deseada en el producto final?

## **Alcance del proyecto**

En este proyecto, se propone utilizar el método científico como enfoque principal para abordar este proyecto. Se llevará a cabo un enfoque estructurado que se dividirá en varias fases distintas, con el propósito de abordar interrogantes particulares de manera específica. El método científico es una herramienta fundamental para obtener resultados confiables y verificables, con esto se espera realizar análisis de las relaciones entre el proceso de triturado, la calidad del producto final y el tiempo de producción en la empresa Salinerito.

## **Descripción de la estructura de los capítulos del proyecto**

En este proyecto se adoptará un enfoque organizado que comprende desde el análisis de los componentes de la máquina existente, una fase teórica en la que se recopilan datos, una etapa cuantitativa en la que se identifican las variables que afectan el proceso, un período experimental en el que se determina el método óptimo de triturado para la producción del té y finalmente, una fase de diseño y simulación de los elementos y de la máquina en su conjunto.

# CAPÍTULO 1

## MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

En este capítulo, se abordará la materia prima a utilizar y los elementos de mayor influencia en el diseño de la máquina. Se considerarán los aspectos que componen el proyecto, necesario para desarrollar esta máquina, junto con la incorporación de datos recopilados de diversos estudios sobre máquinas trituradoras similares, lo que permitirá una evaluación del enfoque del mismo.

### 1.1 Marco Teórico

#### 1.1.1 Té Artesanal

A lo largo de los años, el té ha trascendido fronteras y culturas por todos los rincones del planeta. En cada país se ha adoptado al té de distintas maneras agregándole un toque singular a esta milenaria infusión, donde dependiendo del método de elaboración puede tener distintas clasificaciones, cada una con sus características propias como puede ser el color que posea, en la Figura 1 se muestra té blanco [1].



*Figura 1. Degustación de té artesanal [1].*

#### 1.1.2 Trituración del té

La trituración es una etapa inicial y esencial en la producción industrial. Es un proceso clave que consiste en reducir el tamaño de la materia prima mediante una fuerza mecánica. La calidad de la trituración tiene una influencia directa en la calidad del proceso de producción posterior, así como en el consumo y costo de las materias primas utilizadas. Por lo tanto, una trituración adecuada es crucial para garantizar un producto final de alta calidad y una eficiencia óptima en la producción. En el caso del presente trabajo de titulación, se obtendría las hojas tal como se nota en la Figura 2, la influencia en la trituración varía según el proceso utilizado.[2].



*Figura 2. Hojas de té trituradas [1].*

## **1.2 Tipos de hojas utilizadas en la elaboración del té artesanal**

### **1.2.1 Guaviduca (Piper Carpunya)**

La Guaviduca tiene un color verde oscuro como se visualiza en la Figura 3, la planta no posee flores. Se encuentra en las regiones de los Andes y la Amazonía, a altitudes que oscilan entre 1000 y 2000 metros sobre el nivel del mar, en bosques húmedos. Al poseer propiedades carminativas y antiinflamatorias, se utiliza principalmente para tratar problemas digestivos. Además, son aromáticas y al ser disecadas adquieren más fragancia [3].



*Figura 3. Hoja de Guaviduca [4].*

### **1.2.2 Mashua (Tropaeolum tuberosum)**

La Mashua se encuentra en la región andina, abarcando desde Colombia hasta la parte septentrional de Argentina. Además, se emplea con propósitos antibióticos para personas con problemas renales y de próstata, además de ser considerada un anafrodisíaco. En la Figura 4 se observa la Mashua, donde a la izquierda se encuentra sus hojas color verde oscuro y sus

flores de distintos colores como anaranjado y rojo, a la derecha se muestran los tubérculos que posee esta planta [5].



*Figura 4. Planta Mashua [5].*

### **1.2.3 Linaza (*Linum usitatissimum*)**

La Linaza habita en regiones templadas y subtropicales de países pertenecientes al hemisferio norte. Esta planta posee hojas verde claro con flores azul y blanco, albergan semillas color pardo o rojizo como se visualiza en la Figura 5 [6].

Se utiliza para reducir el riesgo de enfermedades cardiovasculares y evitar la formación de cáncer, especialmente en las glándulas mamarias y la próstata. Además de actuar como un antiinflamatorio y también poseer un efecto laxante antioxidante [7].



*Figura 5. Planta de Linaza [8].*

### **1.2.4 Arquitecta (*Lasiocephalus ovatus* Schldl)**

La arquitecta habita en medio de pajonales y en lugares húmedos. En la Figura 6 se muestra como esta planta posee hojas verdes claro con pelos blancos y grandes flores amarillas, se utiliza para aliviar dolor de riñones, para desinfectar el hígado y la vesícula. También, actúa como un purificante que limpia el organismo en general [9].



*Figura 6. Planta Arquitecta [9].*

### **1.2.5 Manzanilla (*Matricaria recutita* L.)**

La manzanilla habita alrededor de prados, en terrenos secos elevados entre 1200 a 2000 msnm, además se adapta a lugares arenosos o secos como en montañas. Esta planta tiene hojas verdes claro y flores amarillas con pétalos blancos como se indica en la Figura 7.

Sirve como remedio natural, actúa como calmante, alivia enfermedades como la gripe y el catarro. Además, como uso externo actúa como antiinflamatorio, cicatrizante de piel, antiséptico y antineurálgica [10].



*Figura 7. Planta de Manzanilla [10].*

### **1.2.6 Menta (*Mentha pulegium*)**

La menta tiene un tallo fino, hojas verdes brillante y flores violetas como se observa en la Figura 8. Esta planta habita en pradera y herbazales en lugares húmedos por lo general, se utiliza para favorecer la circulación sanguínea, tratar dolencias digestivas y afecciones renales. Además, como uso externo puede utilizarse para lavar las heridas [11].





*Figura 8. Planta de Menta [11].*

### **1.2.7 Ataco (*Amaranthus hybridus*)**

El ataco posee un tallo color morado con flores del mismo color, sus hojas son verdes claro que conforme maduran se tornan del mismo color que las flores, esto se muestra en la Figura 9. Esta planta habita entre 2000 y 3000 msnm, sirve para aliviar molestias de riñones y dolores menstruales. Además, puede actuar como coloide protector al reducir o prevenir la desnaturalización de proteínas [12].



*Figura 9. Planta de Ataco [12].*

### **1.2.8 Orégano (*Origanum vulgare*)**

El orégano habita en todo tipo de terreno que sea rico en materia orgánica, especialmente en zonas cálidas. Proporciona bienestar digestivo y actúa como antiinflamatorio, antiséptico y antiespasmódico. Además, alivia el reumatismo, dolores menstruales, amigdalitis y es ideal



en la asepsia de heridas externas. Esta planta posee un tallo color rojizo con hojas verde claro y flores color rosado, blanco y violeta, esto se visualiza a continuación en la Figura 10 [13].



*Figura 10. Planta de Orégano [14].*

### **1.2.9 Hierba Luisa (*Cymbopogon citratus*)**

La hierba luisa habita en suelo arcilloso o arenoso, necesita de abundante lluvia por lo que se adapta mejor a climas tropicales o subtropicales, sus hojas son alargadas con bordes cortantes como se indica en la Figura 11. Posee propiedades como tranquilizante, analgésico y antiinflamatorio, además también actúa bien como un digestivo, estimulante y antiespasmódico [15].



*Figura 11. Planta de Hierba Luisa [15].*

### **1.2.10 Cola de Caballo (*Esquisetum arvense*)**

La cola de caballo tiene un tallo largo áspero al tacto, con hojas verde claro muy pequeñas que forman una vaina dentada que lo rodean en cada nudo, esto se aprecia en la Figura 12. Habita en suelos húmedos, bordes de ríos y riachuelos, campos de cultivo, etc.

Se puede emplear para bajar la presión sanguínea, combatir la inflamación del vientre o el intestino y dolor de barriga. Además, se le da uso como antihemorrágico, anticatarral y adelgazante [16].



*Figura 12. Planta Cola de Caballo [17].*

### **1.2.11 Ñachag (*Bidens andicola*)**

Por lo general, la ñachag habita en sitios de pastoreo y en los bordes de ríos. Como uso medicinal, se emplea para lavar los ojos que presentan infecciones, además, sirve para aliviar dolores estomacales y combatir problemas de acné. Esta planta posee flores amarillas y pequeñas hojas verdes oscuro como se observa en la Figura 13 [9].



*Figura 13. Planta de Ñachag [9].*

### **1.2.12 Chuquiragua (*Chuquiraga jussieui* I.F. Gmel)**

Habita entre 2500 a 5000 msnm, en laderas de volcanes. Como uso medicinal, sirve para aliviar los riñones y pulmones, también se utiliza para combatir la gripe y la tos [9]. En la Figura 14, se observa la planta de Chuquiragua, esta es un arbusto, que tiene flores de pétalos

anaranjados en forma de espinas puntiagudas, además tiene pequeñas hojas color verde que también son puntiagudas.



Figura 14. Planta de Chuquiragua [9].

En la Tabla 1 se presenta una recopilación de información fundamental sobre las hojas de té destinadas a ser trituradas. Esta información incluye los nombres de cada tipo de hoja y el porcentaje de humedad correspondiente.

Tabla 1. Porcentaje de humedad de los doce tipos de hojas.

<b>Nombre Científico</b>	<b>Nombre Común</b>	<b>Humedad (%)</b>
Piper Carpunya	Guaviduca	11,2+0,54
Tropaeolum tuberosum	Mashua	80,3±0,09
Linum usitatissimum	Linaza	1,95± 0,08
Lasiocephalus ovatus Schltld	Arquitectura	79,46%± 0,08
Matricaria recutita L.	Manzanilla	78,42%± 0,07
Mentha pulegium	Menta	80,56%± 0,05
Amaranthus hybridus	Ataco	74,38%± 0,04
Origanum vulgare	Orégano	85,74%± 0,05
Cymbopogon citratus	Hierba luisa	7,1± 0,06
Equisetum arvense	Cola de Caballo	55± 0,05
Bidens andicola	Ñachag	10,8± 0,04
Chuquiraga jussieui I.F. Gmel	Chuquiragua	7,79± 0,03

La recopilación de estos datos resulta esencial para una comprensión más profunda del proceso de trituración, ya que permite determinar si es necesario llevar a cabo un proceso de secado previo. Por ejemplo, se encontró que el orégano tiene el mayor contenido de humedad, con un máximo del 86%, mientras que su contraparte la linaza tiene un máximo del 2%. Esta variabilidad en su contenido permite tomar decisiones informadas sobre cómo abordar el proceso de trituración y evita que las hojas se conviertan en una masa inmanejable en lugar de ser trituradas de manera efectiva.

Después de analizar la tabla mencionada anteriormente, se concluye que es necesario llevar a cabo un proceso previo de secado antes de la trituración para evitar la formación de conglomerados. Esto se basa en el caso específico de la Chuquiragua, que, a pesar de someterse a dicho proceso, mantiene un índice de humedad superior.

### **1.3 Normativa del té – NTE INEN 2392**

La Norma Técnica Ecuatoriana (NTE INEN) 2392, que regula las Hierbas Aromáticas destinadas a Infusiones para Consumo Humano, establece requisitos para plantas con sustancias aromáticas destinadas a infusiones. Excluye hierbas con aplicaciones terapéuticas o sustancias estupefacientes/psicotrópicas. Define hierbas aromáticas y establece que deben prepararse según buenas prácticas y taxonomía. No deben superar el 20% de partes vegetales sin propiedades aromáticas, mantener principios activos, sin sabor u olor desagradable, pueden venderse enteras o molidas, sin insectos o contaminación visible [18].

### **1.4 Normativa Técnica de Ecuador – NTE INEN 068(1R): "Regulación sobre café, té, hierbas aromáticas y bebidas energéticas".**

Este reglamento técnico de Ecuador establece parámetros para el café, té, hierbas aromáticas y bebidas energéticas con la finalidad de asegurar la seguridad del consumidor y evitar prácticas engañosas. Se aplica a todas las personas y organizaciones que producen, fabrican, importan, distribuyen, alquilan, venden productos o prestan servicios por un precio. La conformidad con estos estándares se verifica mediante pruebas definidas en la norma NTE INEN 2381 vigente [19].

### **1.5 Acero Inoxidable**

El acero inoxidable es una aleación de elementos químicos como el hierro, cromo, carbono, entre otros. En su superficie se forma una película de óxido de cromo que sirve como protección permanente del acero. Este tipo de acero tiene una resistencia particular a la corrosión y es usado en gran cantidad de aplicaciones industriales debido a sus propiedades

mecánicas, por lo que es considerado imprescindible para productos alimenticios en la vida moderna [20].



*Figura 15. Tuberías hechas de acero inoxidable [21].*

En la Figura 15, se puede observar uno de los elementos que se fabrican a base del acero inoxidable, en este caso se trata de tuberías que a diferencia de las que se producen con otro tipo de materiales, estas presentan una apariencia más reluciente y cuentan con una notable resistencia tanto a la oxidación como a la acumulación de suciedad.

### **1.5.1 Clasificación del acero inoxidable**

El acero inoxidable pertenece a la categoría de aceros con bajo contenido de carbono y al menos un 10.5% de cromo en peso, lo que le otorga resistencia a la corrosión. El acero inoxidable se divide en cinco categorías, que se relacionan con las estructuras cristalinas específicas que surgen en la aleación incluyen la austenita, ferrita, martensita y dúplex son cuatro de ellas. La Tabla 2 destaca estos tipos de aceros inoxidables con sus propiedades y composiciones típicas [22].

Tabla 2. Tipos de aceros inoxidable y sus características.

Tipo de Acero Inoxidable	Características Principales	Composición Típica
<b>Martensíticos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Resistencia moderada a la corrosión.</li> <li>- Se pueden endurecer mediante tratamientos térmicos.</li> <li>- Magnéticos.</li> <li>- Complicadas de unir mediante soldadura debido a la elevada concentración de carbono.</li> <li>- Capacidad resistiva a la corrosión variable, mejorada con más cromo.</li> <li>- Pueden endurecerse mediante trabajo en frío.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Cromo: 10.5% - 18%</li> <li>- Carbono: Hasta 1.2%</li> <li>- Cromo: 10.5% - 30%</li> <li>- Carbono: Alrededor del 0.08%</li> </ul>
<b>Ferríticos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Magnéticos.</li> <li>- Problemas en la soldadura.</li> <li>- Notable capacidad de resistencia ante procesos corrosivos.</li> <li>- Aumento de dureza a través de la deformación en frío sin tratamiento térmico.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Aleaciones con molibdeno en algunos grados.</li> <li>- Cromo: 16% - 26%</li> <li>- Níquel, manganeso, y nitrógeno.</li> </ul>
<b>Austeníticos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Fácilmente soldables.</li> <li>- No magnéticos.</li> <li>- Magnéticos.</li> <li>- No se endurecen con tratamientos térmicos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Carbono: 0.03% hasta 0.08%</li> <li>- Cromo: 18% hasta 26%</li> <li>- Níquel: 4.5% hasta 6.5%</li> </ul>
<b>Dúplex</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Buenos para la soldadura.</li> <li>- Mejora la resistencia a la corrosión bajo tensión.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Incorporación de nitrógeno, molibdeno, etc.</li> </ul>

## 1.6 Motor de corriente alterna

En la industria la mayoría de las máquinas están movidas por motores asíncronos que se alimentan de corriente alterna trifásica. Este tipo de motores consta de dos partes fundamentales, el estator, que constituye la porción inmóvil, y el rotor, que representa la porción móvil del motor como se presenta en la Figura 16. Operan mediante la interacción de campos magnéticos generados por corrientes eléctricas [23].

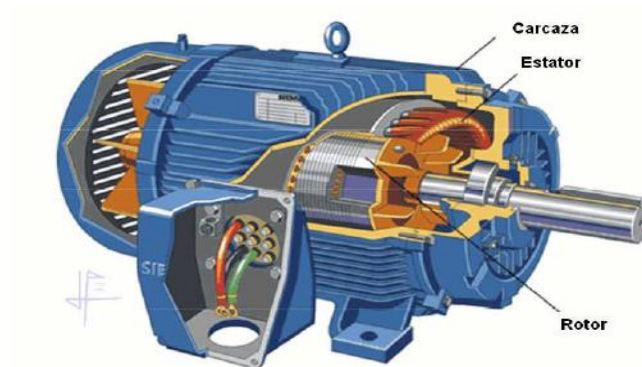


Figura 16. Partes de un motor AC [23].

## 1.7 Elementos de Señalización

Los componentes de señalización desempeñan un papel fundamental en la seguridad, la comunicación y la operación eficiente de las máquinas en diversas aplicaciones industriales y comerciales. Estos elementos, son los dispositivos que se encargan de indicar si los equipos están funcionando correctamente, aumentando de esta manera la seguridad de los operarios y alertando sobre posibles mantenimientos de las máquinas [24].

### 1.7.1 Luces piloto

En las máquinas, es esencial el uso de luces piloto como la mostrada en la Figura 17, debido a que ofrecen indicaciones visuales acerca del estado operativo, la detección de fallos y la promoción de la seguridad, todo lo cual contribuye a una operación más segura y efectiva de la máquina [24].



Figura 17. Luz piloto [24].



### 1.7.2 Paro de emergencia

Este se muestra en la Figura 18, su función principal es detener la máquina de manera inmediata en situaciones de peligro o de emergencia, con el fin de asegurar la seguridad de los operadores, previniendo accidentes y preservando la integridad de la máquina [24].



Figura 18. Paro de emergencia [24].

## 1.8 Tipos de soldadura más comunes

### 1.8.1 GMAW

En este procedimiento, se forma un arco entre un electrodo de hilo continuo y el material a soldar. Se crea una atmósfera protectora utilizando un gas inerte en el proceso MIG o un gas activo en el caso del proceso MAG [25]. La representación gráfica de este procedimiento se muestra en la Figura 19, detallando los componentes involucrados. Este método de soldadura es especialmente aconsejado para el acero inoxidable.

Seis gases inertes pueden emplearse en la soldadura MIG, siendo estos el argón, helio, neón, criptón, xenón y radón. En Europa, el argón es más comúnmente utilizado, mientras que en Estados Unidos prevalece el helio [26].

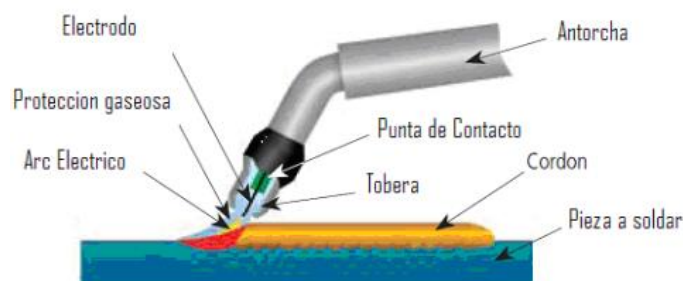


Figura 19. Soldadura GMAW [25].



## 1.8.2 Técnica TIG de Soldadura

En este método de soldadura, se emplea un electrodo de tungsteno que no se consume y un gas inerte, como se observa en la Figura 20. La cantidad de calor aplicado al metal se controla mediante la regulación de la corriente eléctrica y la distancia entre el electrodo y el material, este método se aplica en aluminio, acero inoxidable entre otros metales no ferrosos, produciendo uniones soldadas de excelente calidad con mínima formación de escoria [27].

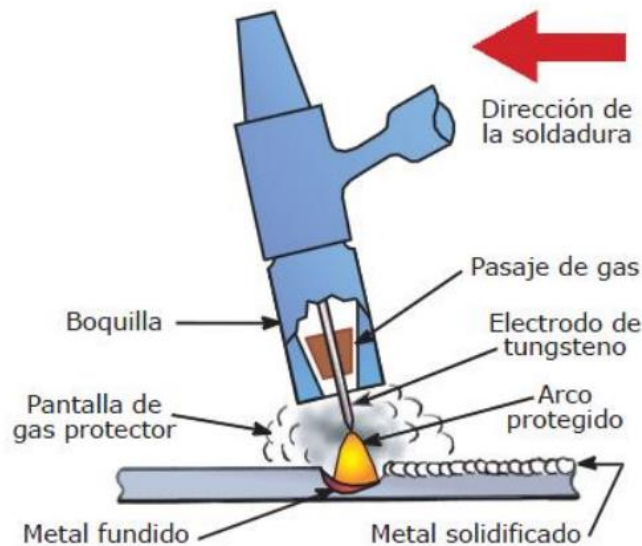


Figura 20. Soldadura TIG [27].

## 1.9 Tipos de uniones soldadas

### 1.9.1 Soldadura a tope o empalmada

Este tipo de unión es la más utilizada, consiste en juntar dos chapas ubicadas en el mismo plano. Se puede soldar un lado o ambos lados, preparando los bordes, con este tipo de soldadura se consigue la penetración completa [28].

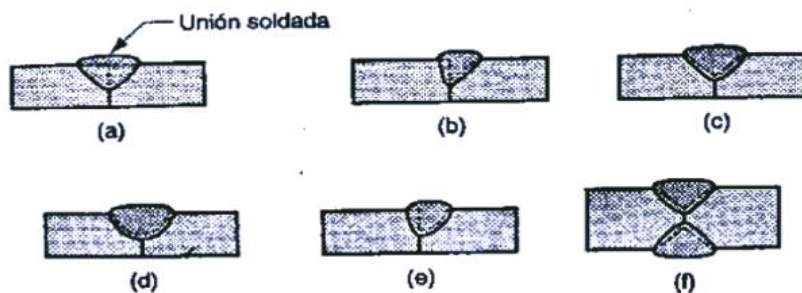


Figura 21. Soldaduras a tope más típicas [28].

En la Figura 21, se observa algunos ejemplos de la soldadura a tope: (a) soldadura cuadrada de un solo lado, (b) soldadura de bisel, (c) soldadura en V, (d) soldadura en U, (e) soldadura con tope único, (f) soldadura en V doble que se utiliza en secciones más gruesas [28].

### 1.9.2 Soldadura con filete

Este tipo de técnica de soldadura es preferido por su mínima necesidad de preparación y su mayor resistencia tanto a la tracción como a la compresión en comparación con las fuerzas cortantes. Se fundamenta en la suposición de que la sección transversal de la soldadura adopta la forma de un triángulo rectángulo de  $45^\circ$ , como se muestra en detalle en la Figura 22 [29].

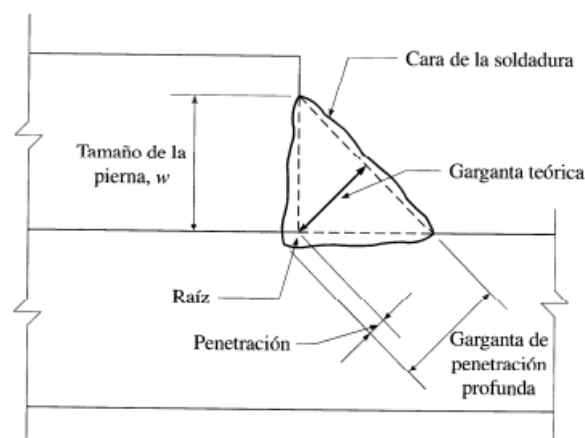


Figura 22. Soldadura con filete [29].

## 1.10 Tipos de Molinos

### 1.10.1 Molino de rodillos

Esta máquina trituradora está equipada con dos o más rodillos de considerable peso que giran en sentido opuesto. Las partículas presentes permanecen atrapadas y desplazándose entre los rodillos, experimentan una fuerza de compresión que las disminuye en tamaño. En ciertos equipos, los rodillos rotan a diferentes velocidades, generando fuerzas adicionales de corte [30].

### 1.10.2 Molino de martillos

Un molino de martillos se caracteriza por tener un eje giratorio de alta velocidad que porta martillos en su periferia. Cuando el eje gira, los martillos siguen una ruta circular dentro de una estructura que incorpora un disco resistente al desgaste de dimensiones muy similares a la trayectoria de los martillos. Estos molinos de martillos son versátiles y aptos para diversas

aplicaciones, ya que pueden triturar sólidos cristalinos resistentes, materiales fibrosos, sustancias vegetales y compuestos pegajosos, entre otros [30].

### **1.10.3 Molino de discos**

Los molinos de discos aplican la fricción o el corte para disminuir el tamaño de las partículas son esenciales en el proceso de molienda fina. Dado que la mayoría de la molienda en la industria alimentaria busca obtener partículas de tamaño extremadamente pequeño, este tipo de molinos es ampliamente utilizado en esta área [30].

### **1.11 Fundamentos teóricos**

El Ghobashy et al. [31] en su artículo “Desarrollo y evaluación de una máquina de doble propósito para picar y triturar cultivos forrajeros” desarrollaron y evaluaron una máquina de doble propósito para picar y triturar cultivos forrajeros. Los autores evaluaron la función de picado utilizando tallos de maíz con velocidades de rotación entre 1200 – 1800 rpm y contenidos de humedad entre 22.7 – 74.6 % wb, por otra parte, evaluaron la función de triturado utilizando mazorcas de maíz con velocidades de rotación entre 1200 – 1800 rpm y tamices de diámetros entre 6 -10 mm. Los mejores resultados de eficiencia se obtuvieron a 1800 rpm y 22,7% de contenido de humedad para la picadora, y a 1200 rpm y 10 mm de diámetro de orificio de tamiz para la trituradora.

Chikuku et al. [32] en su investigación “Diseño de una trituradora de piedra de granito a pequeña escala” diseñaron una máquina trituradora de piedra de tipo granito a pequeña escala operada manualmente. Los autores utilizaron un método experimental para determinar las fuerzas de trituración mínimas requeridas para varias piedras y diseñarla en base a estos parámetros. Los resultados obtenidos en el diseño permiten triturar piedras de 25 – 135 mm a 24 -20.2 mm de tamaño de longitud, y puede proporcionar hasta 60 veces la ventaja mecánica con relación al torque de entrada y salida.

Armatmontree et al. [33] en su artículo titulado "Diseño y análisis de una máquina molino de martillos en proceso de reciclaje de alta eficacia" proponen un enfoque para abordar la gestión eficiente de diversos tipos de residuos a nivel mundial. El artículo presenta un modelo tridimensional del molino de martillos diseñado para un proceso de reciclaje efectivo, evitando la necesidad de pruebas con una máquina real mediante la importación a Simulink. El diseño se centra especialmente en las palas del molino, utilizando software de modelado como SolidWorks. La investigación incluye el cálculo de la fuerza aplicada a estas palas y la evaluación de los materiales utilizados, como el acero inoxidable y el titanio. La

simulación del modelo se realiza para diferentes tipos de residuos, como maíz y alimentos ligeros. Los resultados experimentales indican que las cuchillas de titanio aplican la fuerza de manera más eficiente en términos de tensiones normales, desplazamiento estático y factor de seguridad, en comparación con las cuchillas de acero inoxidable.

Silva et al. [34] en su investigación titulada "Eficiencia energética en el proceso de molienda de productos deshidratados, mediante molino de martillos," abordan la importancia de la eficiencia energética en procesos industriales, específicamente en la molienda. Su enfoque se centra en determinar experimentalmente la velocidad de alimentación óptima para maximizar la eficiencia energética de un molino de martillos. A través de múltiples moliendas con diferentes productos, los autores evalúan variables clave como la corriente del motor y el tiempo de molienda, los cuales están directamente vinculados a la velocidad de alimentación. La metodología propuesta es versátil y puede ser aplicada a cualquier proceso de molienda para identificar su punto óptimo de operación y mejorar la eficiencia energética. Los resultados indican que existe un punto intermedio de velocidad que minimiza el consumo de energía, coincidiendo con la obtención máxima de producto de calidad deseada. En el caso específico de la molienda de papaya, se logra un ahorro energético del 4.76%. Los autores subrayan la importancia de la velocidad de alimentación al seleccionar el punto de trabajo para reducir el consumo de energía eléctrica.

Pordesimo et al. [35] en su investigación titulada "Molienda de martillo de pasto varilla de fardos degradados", se centran en la molienda de pastos para bioenergía mediante un molino de martillos. Realizaron pruebas de molienda con pasto varilla almacenado en diversas condiciones, observando tasas de molienda que aumentaron con el tamaño de las aberturas de la criba, siendo ligeramente mayor para el material no degradado (USG) en comparación con el pasto varilla degradado (WSG). La evaluación de la interacción entre la condición del pasto y el molino de martillos se llevó a cabo mediante la distribución de volumen de partículas molidas utilizando visión artificial. Aunque la condición del pasto no afectó significativamente la distribución del tamaño de las partículas, se observaron cambios en la longitud media geométrica, especialmente para WSG. La elección de la criba, sin criba o con criba de 31,75 mm, influyó en la variabilidad del tamaño de las partículas, resaltando la importancia del tamaño de la criba en el proceso de molienda. El estudio destaca la configuración específica del molino de martillos, equipado con 64 martillos distribuidos en 4 juegos de 4 en cada una de las 4 barras, operando a 3600 rpm. Esta configuración influye

en la eficiencia de molienda, resaltando la relevancia de ajustar los parámetros operativos para obtener tamaños de partículas deseados en una tasa de producción determinada.

### **1.12 Descripción de la situación actual**

En la actualidad, la Fundación El Salinerito, junto con el Grupo de Empresas Salinas y su proyecto de Aceites Esenciales, produce una amplia variedad de productos, incluyendo infusiones aromáticas presentadas en cajas con 25 bolsitas de té individuales. La etapa inicial consiste en la recolección y cuidadosa selección de hojas de 12 plantas medicinales y aromáticas provenientes de los huertos de la Fundación. Posteriormente, se ejecuta un proceso detallado de limpieza con el fin de eliminar cualquier impureza. Las hojas deshidratadas son sometidas a un control preciso de temperatura y tiempo en hornos de secado para determinar la humedad y conservar su aroma. Posteriormente, las hojas molidas se envasan en bolsitas individuales de 1.4 gramos, con 25 unidades por caja, y se ofrecen como "té de 12 hierbas". No obstante, la ausencia de una maquinaria especializada para la fase de trituración se traduce en un aumento de la carga laboral, prolongando el tiempo de producción y dando como resultado la obtención de un producto de calidad inferior. Esta falta también aumenta el riesgo para la salud del personal debido a los esfuerzos repetitivos y constantes necesarios en esta actividad [4].

### **1.13 Densidad de hojas secas y capacidad en volumen de trituración**

Los autores del proyecto de tesis “Diseño y construcción de un molino para triturar hojas disecadas de plantas medicinales para ingrediente del té sachet, con capacidad de 25 Kg/h para “La Fundación Familia Salesiana Salinas” emplearon un método experimental para determinar la densidad de las hojas secas. Este método consistió en:

- i. Verter 40  $cm^3$  de agua en una probeta.
- ii. Triturar 1,5 g de hojas secas.
- iii. Colocar los fragmentos de hojas secas trituradas sobre la probeta que contiene agua, tal como se muestra en la Figura 23.



Figura 23. Probetas de ensayo [4].

Mediante este proceso, obtuvieron una densidad de:  $\rho = 0,11 \left[ \frac{g}{cm^3} \right]$

Para lograrlo, utilizaron la relación entre el volumen desplazado por las hojas y el volumen inicial del agua en la probeta como una medida experimental.

Considerando la capacidad necesaria y sustituyendo la medida de capacidad en peso por una

medida en volumen, calcularon:  $Q = 0,22 \left[ \frac{m^3}{h} \right]$

Esta información obtenida se empleará más adelante en el proceso de cálculo y diseño del molino de martillos [4].

#### 1.14 Estado actual del mecanismo

Se realizaron pruebas experimentales para calcular la fuerza requerida en la trituración de hojas secas de la siguiente manera:

- i. Se utilizó el dinamómetro representado en la Figura 24 para registrar la fuerza necesaria para girar el tornillo de trituración.



*Figura 24. Portable Electronic Scale: Dinamómetro.*

- ii. Se eligió el molino de fabricación artesanal representada en la Figura 25, por su capacidad de lograr una molienda fina similar a la requerida, coincidiendo con el nivel de trituración deseado.



*Figura 25. Molino artesanal.*

- iii. El dinamómetro se utilizó al girar la palanca, recopilando datos cada media vuelta, tanto en ascenso como en descenso, hasta completar una revolución, generando los resultados que se presentan en la Tabla 3.

Tabla 3. Registro de fuerzas con y sin carga.

	Sin Carga	Con Carga
No. Muestra	1 vuelta [Kgf]	
Muestra 1	1,234	6,312
Muestra 2	1,157	5,923
Muestra 3	0,920	5,862
Muestra 4	1,002	6,328
Muestra 5	1,080	5,968
Promedio	1,079	6,079

- iv. Se obtuvo un promedio de 1,079 [Kgf] necesarios para rotar el tornillo en vacío y 6,079 [Kgf] con hojas secas, indicando esta última cantidad como la fuerza necesaria para triturar las hojas en cada vuelta.

Al agregar numerosas hojas a la vez o al incluir la Chuquiragua, la máquina exigía una fuerza sustancialmente mayor para realizar la trituration. Esto indica que la máquina anterior experimentaba bloqueos debido a esta carga adicional, agravados por el hecho de utilizar un sistema de transmisión de potencia por bandas, como se muestra en la Figura 26, lo que generaba un bajo torque. Además, el hecho de operar a bajas revoluciones de 70 rpm contribuía al bloqueo o problemas de empastamiento.

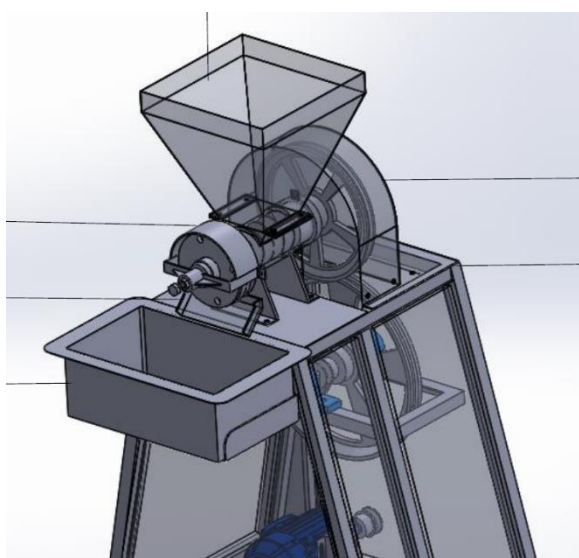


Figura 26. Molino para triturar hojas disecadas de plantas medicinales [4].



## CAPÍTULO 2

### ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS

Dentro de este capítulo, se explora detalladamente la selección entre distintos tipos de molinos, así como las opciones de transmisión de potencia más comunes. Se examinan en profundidad las ventajas y desventajas de cada alternativa, ofreciendo una perspectiva integral para facilitar la toma de decisiones según las necesidades y objetivos específicos del proyecto.

#### 2.1 Análisis de alternativas

Se llevará a cabo una evaluación de diversos tipos de molinos con el objetivo de seleccionar el más apropiado que se ajuste a los costos y necesidades, y permita evitar problemas de atascamiento, garantizando al mismo tiempo una alta calidad en el proceso de triturado.

##### 2.1.1 Molino de rodillos

En la Figura 27, se observa el funcionamiento interno del molino de rodillos, donde la trituración se lleva a cabo mediante la acción de los rodillos. Estos, al girar en direcciones opuestas, aplican una fuerza de compresión sobre el material.

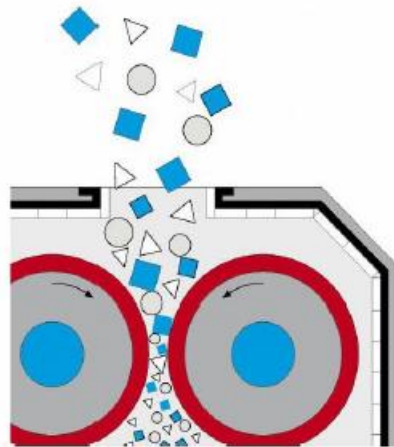


Figura 27. Proceso de triturado por rodillos [4].

Ventajas:

- Proporciona una trituración uniforme debido a la compresión.
- Capaz de manejar eficazmente materiales frágiles y duros.
- Permite un control preciso del tamaño de las partículas mediante el ajuste de la distancia entre los rodillos [30].

Desventajas:

- Puede enfrentar dificultades con materiales fibrosos o pegajosos.
- Requiere un mantenimiento más frecuente debido al desgaste de los rodillos [30].

### 2.1.2 Molino de martillos

En la Figura 28 se presenta el mecanismo interno del molino de martillos que, al girar a alta velocidad, los martillos impactan repetidamente sobre los materiales introducidos, llevando a cabo una acción de golpe y trituración.

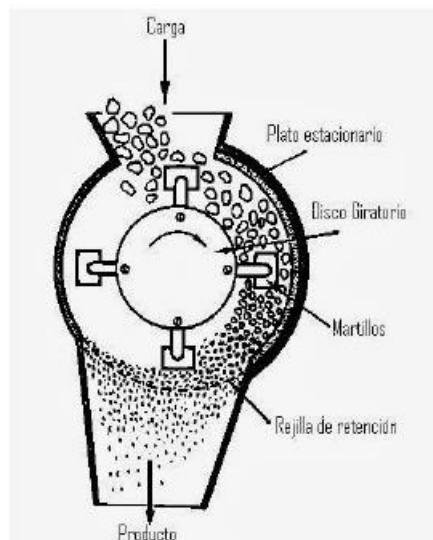


Figura 28. Proceso de triturado por martillos [4].

Ventajas:

- Exhibe versatilidad al triturar una amplia gama de materiales, incluidos sólidos cristalinos duros, fibras y sustancias pegajosas.
- Opera a alta velocidad de trituración.
- Sufre menos desgaste en comparación con los molinos de rodillos [30].

Desventajas:

- Puede generar niveles considerables de ruido y vibraciones.
- Requiere un mayor consumo de energía en comparación con otros tipos de molinos [30].

### 2.1.3 Molino de discos

En la Figura 29, se muestra el mecanismo que tiene un molino de discos el cual ofrece una molienda eficiente gracias a la acción de fricción y corte entre los discos.:

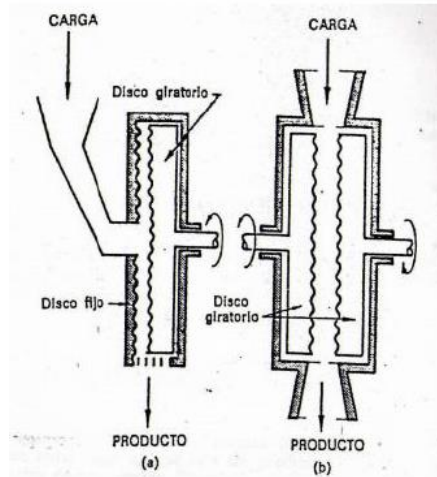


Figura 29. Proceso de triturado por discos [4].

Ventajas:

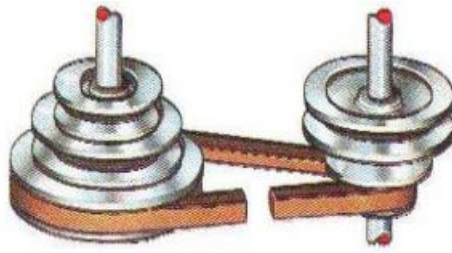
- Adecuado para la molienda fina, siendo especialmente útil en la industria alimentaria.
- Produce partículas de tamaño extremadamente pequeño.
- Es eficiente en la reducción de tamaño mediante fricción y corte [30].

Desventajas:

- Limitado en términos de aplicaciones, carece de versatilidad.
- Puede necesitar mantenimiento más frecuente debido al desgaste de los discos [30].

### 2.1.4 Transmisión por Bandas

En la Figura 30, se presenta un ejemplo ilustrativo de bandas planas. Estos elementos, que reciben la denominación de correas planas, facilitan la transmisión de energía entre dos poleas a través del mecanismo de fricción.



*Figura 30. Bandas planas [36].*

Ventajas:

- Absorben vibraciones, lo que contribuye a reducir el ruido y la vibración en el sistema.
- Son más asequibles en comparación con cadenas o engranajes.
- La instalación y sustitución son procesos sencillos, facilitando la operación y el mantenimiento.
- La suavidad de las bandas ayuda a reducir el desgaste en los componentes, prolongando la vida útil del sistema [37].

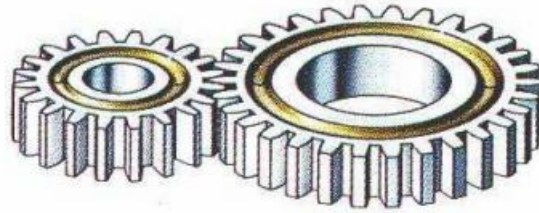
Desventajas:

- Pueden experimentar deslizamiento en aplicaciones de alta potencia, afectando la eficiencia.
- Requieren ajustes regulares, lo que implica un mantenimiento más frecuente.
- En aplicaciones de alta potencia, pueden ser menos eficientes para transmitir grandes cantidades de potencia.
- Son sensibles a cambios de temperatura, lo que puede afectar su rendimiento en diferentes condiciones [37].

### **2.1.5 Transmisión por Engranajes**

A continuación, se presenta un tipo diferente de transmisión en la Figura 31, la cual es mediante engranajes rectos. En este sistema, cuando uno de los engranajes gira, transmite su

movimiento al engranaje conectado, dando lugar a una transmisión de potencia eficiente y directa.



*Figura 31. Engranajes rectos [36].*

Ventajas:

- Transmiten potencia eficientemente con pérdidas mínimas.
- Permiten una transmisión precisa y constante de la velocidad entre ejes.
- Son capaces de manejar cargas pesadas y transmitir altas cantidades de potencia.
- Los engranajes bien fabricados y lubricados tienden a tener una larga vida útil, requiriendo menos mantenimiento [37].

Desventajas:

- Pueden generar ruido, especialmente a altas velocidades, afectando el confort acústico.
- La fabricación precisa puede resultar costosa y los sistemas de transmisión de engranajes pueden ser complejos.
- Son sensibles al desalineamiento, lo que puede causar desgaste prematuro y reducción de la eficiencia.
- En comparación con otros tipos de transmisión, los engranajes pueden ser más pesados, afectando la relación peso-potencia [37].

### **2.1.6 Transmisión por Banda Dentada**

Existe otro tipo de bandas utilizadas para la transmisión, estas son dentadas que funcionan a través del contacto entre los dientes de la banda y las muescas en la polea correspondiente, se muestran en la Figura 32:



*Figura 32. Bandas dentadas [36].*

Ventajas:

- Ofrecen una transmisión eficiente de potencia, similar a los engranajes.
- Generalmente son más silenciosas, siendo una opción adecuada en aplicaciones sensibles al ruido.
- Requieren menos mantenimiento que las cadenas, reduciendo los costos operativos.
- Permiten un diseño más compacto y versátil, adaptándose a diversas configuraciones [37].

Desventajas:

- Aunque son duraderas, pueden experimentar desgaste, especialmente en aplicaciones de alta potencia.
- El costo inicial puede ser más alto en comparación con otras opciones de transmisión.
- Pueden tener limitaciones en aplicaciones de alta potencia en comparación con sistemas de engranajes.
- Son sensibles a cambios de temperatura, lo que podría afectar su rendimiento en ciertos entornos [37].

## **2.2 Cuadros comparativos de Selección de alternativas**

### **2.2.1 Comparación entre tipos de molinos**

La Tabla 4 proporciona un análisis detallado de varios aspectos cruciales relacionados con los tipos de molinos. Cada uno de estos factores es de gran importancia para seleccionar la trituradora más adecuada para procesar las hojas de té.

Además, es relevante destacar que el molino de martillos destaca debido a su versatilidad al triturar una amplia variedad de materiales, incluidas las hojas de té, y su capacidad para prevenir que las hojas se vuelvan pegajosas durante el proceso de trituración, lo que añade un valor significativo a su rendimiento.

Tabla 4. Cuadro comparativo de los tipos de molinos.

Tipo de Molino	Molino de Rodillos	Molino de Martillos	Molino de Discos	Gráfica Comparativa
Costo	6	7	8	
Facilidad de Operación	7	6	7	
Eficiencia	8	9	6	
Tiempo de Corte	7	9	8	
Mantenimiento	6	7	8	
Ergonomía	6	7	8	
Calidad de Molienda	7	8	7	
<b>Total</b>	47	53	52	

### 2.2.2 Comparación entre tipos de transmisión de potencia

En lo que respecta al sistema de transmisión de potencia, se ha elegido usar bandas como la opción preferida. Esta decisión se basa en sus ventajas significativas que se presentan en la Tabla 5. En primer lugar, las bandas contribuyen a un funcionamiento más silencioso, lo que es esencial en entornos donde se busca reducir el ruido y mantener un ambiente tranquilo.

Además, la construcción y el mantenimiento de este sistema resultan más sencillos en comparación con otras alternativas, lo que conlleva una reducción en los costos operativos. Esta combinación de beneficios convierte a las bandas en la elección óptima para el sistema de transmisión de potencia, asegurando un rendimiento eficiente y económico.

Tabla 5. Cuadro comparativo de los tipos de transmisión de potencia.

<b>Criterios de Evaluación</b>	<b>Transmisión por Bandas</b>	<b>Transmisión por Engranés</b>	<b>Transmisión por Banda Dentada</b>	<b>Gráfica Comparativa</b>
Costo	9	6	5	
Mantenimiento	7	8	9	
Eficiencia en Potencia	6	8	7	
Nivel de Ruido	9	7	8	
Flexibilidad en Diseño	8	5	9	
Vibraciones y Amortiguación	8	6	7	
<b>Total</b>	47	40	45	



## CAPÍTULO 3

### DISEÑO Y SIMULACIÓN

En este capítulo, se presentan las pruebas experimentales cruciales para calcular la fuerza necesaria en la trituración de hojas secas en el molino. Los resultados simplifican el diseño de los martillos y establecen parámetros esenciales para el rendimiento óptimo del molino. Se enfoca en dimensiones críticas de los martillos, pernos, discos porta martillos y ejes, destacando la elección del acero AISI 304 para garantizar resistencia y durabilidad. Este análisis incluye detalles sobre el diámetro y grosor de componentes, así como la evaluación de la capacidad del eje principal. Además, se aborda el cálculo de soldadura, la selección del motor y el dimensionamiento de los componentes eléctricos.

#### 3.1 Capacidad requerida de trituración

La Fundación Salesiana El Salinerito, según sus requisitos tiene proyectada una capacidad de trituración de:  $25 \left[ \frac{kg}{h} \right]$

La capacidad de trituración del molino se convierte en un componente esencial para su funcionamiento efectivo, se busca no solo medir esta capacidad proyectada, sino también evaluar su eficiencia, identificar los factores que pueden influir en ella y asegurar así un rendimiento óptimo y relevante para el cumplimiento de los objetivos de la fundación.

#### 3.2 Obtención de datos con método experimental

Se realizaron pruebas experimentales para calcular la fuerza requerida en la trituración de hojas secas. Se utilizó una pesa de 500 gramos para dejarla caer y así medir el tiempo de caída con el cronómetro del celular, como se observa en la Figura 33. De esta manera determinar la fuerza en  $[N]$  requerida para la trituración.

Se molió la infusión andina de 12 hierbas con el fin de obtener una molienda fina que se asemeje a la necesaria, coincidiendo con el nivel de trituración deseado. Después de experimentar con diversas distancias de caída, se estimó que la distancia de 0,50 m era la más eficiente, ya que exigía un menor número de liberaciones para alcanzar una trituración similar a la deseada.



*Figura 33. Método experimental para obtención de la fuerza.*

A continuación, se presenta en la Figura 34 el antes y después de soltar la carga sobre las hojas de té:



*Figura 34. Antes vs. después de soltar la carga.*

### **3.2.1 Ecuación de movimiento**

La ecuación de movimiento con respecto al tiempo con la cual obtendremos el principio de impulso y momento lineal es la siguiente [38]:

$$F(t_2 - t_1) = m(v_2 - v_1) \quad (1)$$

Donde:

$F$  = Fuerza aplicada en (N).

$t$  = Tiempo en (s).

$m$  = masa del objeto en (Kg).

$v$  = Velocidad en  $\left(\frac{m}{s}\right)$ .

Se emplea en el cálculo de la fuerza, considerando una velocidad constante de 3,13 m/s

En la Tabla 6 se exponen los datos relativos al tiempo de caída.

Tabla 6. Datos tiempo de caída.

Tiempo de Caída [s]	Fuerza [N]
0,31	5,052
0,32	4,894
0,3	5,220
0,35	4,474
0,33	4,746
0,32	4,894
0,31	5,052
<b>Promedio</b>	<b>4,904</b>

Se ha calculado un promedio de 4,904 [N] con el fin de garantizar un funcionamiento confiable de la máquina, se ha integrado un factor de seguridad de 4 en los cálculos. Este factor adicional proporciona un margen de seguridad, resultando en una fuerza final de 19,61 [N], para mitigar posibles variaciones o condiciones imprevistas.

### 3.3 Cálculo para el diseño de los martillos

#### 3.3.1 Energía cinética

La siguiente ecuación encapsula la energía cinética que surge como resultado del movimiento rotacional inducido por la rotación de los martillos [39].

$$E_c = \frac{1}{2} m_h * V_m^2 \quad (2)$$

Donde:

$E_c$  = Energía Cinética en (J).

$m_h$  = Masa de la hoja en (g).

$V_m$  = Velocidad del martillo en  $\left(\frac{m}{s}\right)$ .

### 3.3.2 Energía potencial

La ecuación empleada para calcular este valor es la siguiente [39]:

$$E_p = m_o * g * h \quad (3)$$

Donde:

$m_o$  = Masa de objeto en (g).

$g$  = Gravedad en  $\left(\frac{m}{s^2}\right)$ .

$h$  = altura en (m).

### 3.3.3 Velocidad tangencial en el extremo del martillo

Se calcula al igualar la ecuación 2 y 3, como se indica a continuación:

$$m * g * h = \frac{1}{2} m_h * V_t^2$$
$$V_t = \sqrt{\frac{500g * 9,81 \frac{m}{s^2} * 0,5m}{\frac{1}{2} * 9,1g}} \quad (4)$$
$$V_t = 23,21 \frac{m}{s}$$

### 3.3.4 Velocidad tangencial y coeficiente de fluctuación

La velocidad tangencial se encuentra a través de la ecuación 5, en la cual la velocidad del martillo puede ser representada de la forma siguiente [40]:

$$V_c = -V_v \frac{C_s - 2}{C_s + 2} \quad (5)$$

Donde:

$V_c$  = Velocidad del molino con carga aplicada  $\left(\frac{m}{s}\right)$ .

$V_v$  = Velocidad tangencial del molino en condiciones sin carga  $\left(\frac{m}{s}\right)$ .

$C_s$  = Coeficiente de fluctuación.

Cuando los martillos impactan con distintos tipos de hojas, se genera una pequeña reducción en la velocidad del sistema, siendo así denominado como velocidad con carga ( $V_c$ ). Para determinar esta velocidad, se aplica la ecuación 5, la cual incluye la velocidad media ( $v$ ) y el coeficiente de fluctuación ( $C_s$ ).

El valor no dimensional de  $C_s$  para máquinas de martillos es de 0,2, como se muestra en la siguiente Tabla 7:

Tabla 7. Coeficientes de fluctuación [41].

Tipo de máquina	C <sub>s</sub>
Maquinaria de machaqueo	0,200
Maquinaria eléctrica	0,003
Maquinaria eléctrica, transmisión directa	0,002
Motores con transmisión por correas	0,030
Maquinaria para molinos harineros	0,020
Transmisión rueda dentada	0,020
Martillos	0,200
Máquinas herramientas	0,030
Maquinaria para fabricación de papel	0,025
Bombas	0,030 – 0,050
Maquinaria de corte	0,030 – 0,050
Maquinaria de hilanderías	0,010 – 0,020
Maquinaria textil	0,025

La ecuación empleada para la velocidad tangencial [39]. La velocidad de los martillos ( $V_t$ ) se iguala con la velocidad en vacío ( $V_v$ ) dando a entender que son la misma, según la ecuación 6. Al sustituir los resultados anteriormente se obtiene lo siguiente:

$$V_t = \sqrt{\frac{m_o * g * h}{\frac{1}{2} m_h}}$$

$$V_c = -23,21 \frac{m}{s} * \left( \frac{0,2 - 2}{0,2 + 2} \right) \quad (6)$$

$$V_c = 18,99 \frac{m}{s}$$

Donde:

$$V_t = \text{Velocidad tangencial en } \left( \frac{m}{s} \right).$$

### 3.3.5 Radio de giro

Para calcular la velocidad angular, es esencial conocer la dimensión del radio de giro, la cual se obtiene a partir de la relación entre la velocidad de giro de los martillos ( $V_c$ ) y las revoluciones del motor ( $rpm$ ), como se describe a continuación [42]:

$$\begin{aligned} r_g &= \frac{V_c * 60}{2 * \pi * \omega} \\ r_g &= \frac{V_c * 60}{2 * \pi * 1500rpm} \\ r_g &= \frac{18,99 \frac{m}{s} * 60}{2 * \pi * 1500rpm} \\ r_g &= 0,12m \end{aligned} \tag{7}$$

Donde:

$r_g$  = Radio de giro en ( $m$ ).

$\omega$  = Velocidad angular del motor en ( $rpm$ ).

### 3.3.6 Velocidad sin carga

A partir del radio de giro que se obtuvo, este se toma en cuenta en la ecuación 8 para determinar la velocidad angular sin carga [43]:

$$\begin{aligned} \omega_t &= \frac{V_v}{r_g} \\ \omega_t &= \frac{23,21 \frac{m}{s}}{0,12m} \\ \omega_t &= 193,41 \frac{rad}{s} = 1846rpm \end{aligned} \tag{8}$$

Donde:

$\omega_i$  = Velocidad angular sin carga en (*rpm*).

### 3.3.7 Velocidad con carga

Se sustituye el valor del radio de giro en la ecuación 9 cuando si se tiene carga [43]:

$$\begin{aligned}\omega_c &= \frac{V_c}{r_g} \\ \omega_c &= \frac{18,99 \frac{m}{s}}{0,12m} \\ \omega_c &= 158,25 \frac{rad}{s} = 1511rpm\end{aligned}\tag{9}$$

Donde:

$\omega_c$  = Velocidad angular con carga (*rpm*).

Con los valores calculados se simplifica el dimensionamiento de los martillos y el resto de los componentes del molino.

### 3.3.8 Aceleración angular

Se requiere obtener la aceleración angular por medio de la ecuación 10 [43]. Donde la separación entre martillos que se ocupará tiene un valor de  $\theta = 120^\circ$  equivalente a 2,09 rad.

$$\begin{aligned}\alpha &= \frac{\omega_i^2 - \omega_c^2}{2 * \theta} \\ \alpha &= \frac{\left(193,41 \frac{rad}{s}\right)^2 - \left(158,25 \frac{rad}{s}\right)^2}{2 * (2,09rad)} \\ \alpha &= 2957,98 \frac{rad}{s^2}\end{aligned}\tag{10}$$



Donde:

$\alpha$  = Aceleración angular en  $\left(\frac{rad}{s^2}\right)$ .

$\theta$  = Espacio angular recorrido en ( $^\circ$ ).

Un factor crucial para considerar en el diseño de los martillos son las distintas fuerzas a las que están sometidos, al momento de cortar las hojas. Esta fuerza es necesaria para provocar la fractura de la porción de hojas, y se determina experimentalmente, obteniendo un valor de  $F_c$  máximo de 59,6349 N, que se utilizara para determinar el factor de seguridad de este componente.

### 3.3.9 Análisis de parámetros para dimensionar los martillos

El diseño de los martillos comienza definiendo su tamaño, basándonos en la masa requerida ( $m_m$ ). Para cumplir con el propósito deseado, calculamos esta masa despejando la ecuación 11 de la siguiente manera [40]:

$$a = \frac{m_m}{\rho * e * L} \quad (11)$$

Donde:

$a$  = Ancho del martillo en ( $m$ ).

$m_m$  = Masa del martillo en ( $g$ ).

$L$  = Largo del martillo en ( $m$ ).

$e$  = Espesor del martillo en ( $m$ ).

$\rho$  = La densidad del material en  $\left(\frac{kg}{m^3}\right)$ .

Reemplazando estos valores se obtiene lo siguiente:

$$m_m = a * L * e * \rho$$
$$m_m = 0,035m * 0,1m * 0,01m * 8000 \frac{kg}{m^3} \quad (12)$$

$$m_m = 0,280\text{kg} = 280\text{g}$$

A continuación, en la Figura 35 se muestran todos los parámetros que dimensionan al martillo:

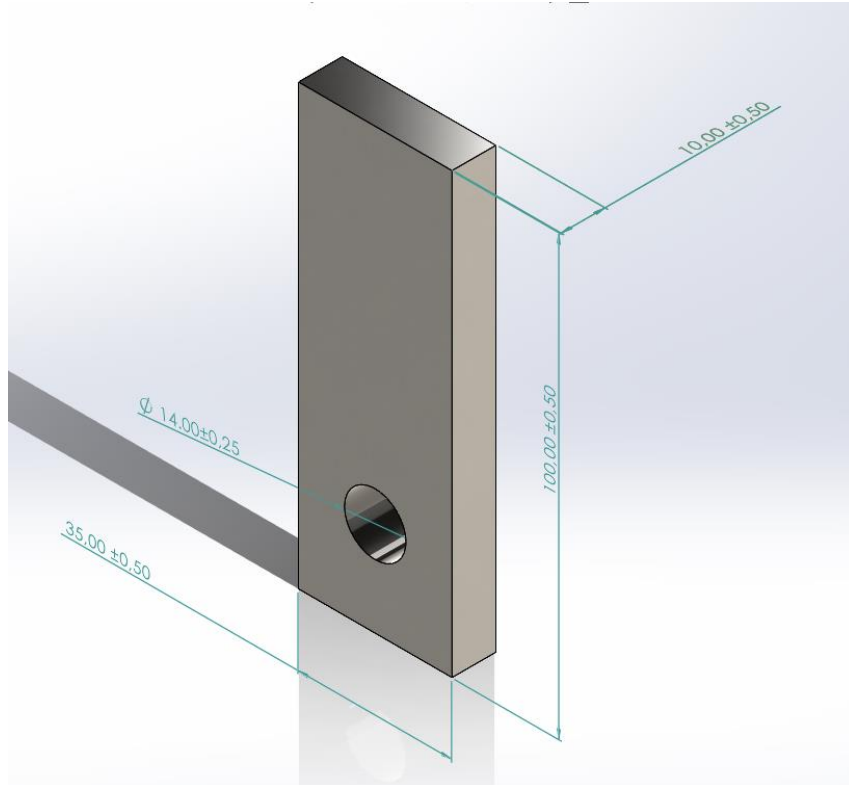


Figura 35. Dimensiones del martillo diseñado.

### 3.3.10 Área de desgarre

Se refiere a la región que se encuentra expuesta a la acción de desgaste durante el funcionamiento del molino. Para determinar el área de desgarre se emplea la siguiente ecuación [40]:

$$\begin{aligned}
 A_d &= e * b_1 * 2 \\
 A_d &= 0,01\text{m} * 0,0215\text{m} * 2 \\
 A_d &= 0,00043\text{m}^2
 \end{aligned}
 \tag{13}$$

Donde:

$A_d$  = Área de desgarre en ( $\text{m}^2$ ).

$b_1$  = La distancia del orificio al borde del martillo en ( $\text{m}$ ).

Se establece un valor para  $b_1$  de 0,0215 m el cual se reemplaza en la ecuación 13:

### 3.3.11 Fuerza centrífuga

Es la fuerza aparente que empuja un objeto hacia afuera desde el centro de su trayectoria curva, por lo que es resultado de la inercia en movimiento. Se encuentra dada por la siguiente ecuación [39]:

$$\begin{aligned}F_{cf} &= \omega_c^2 * m_m * r_g \\F_{cf} &= \left(158,25 \frac{rad}{s}\right)^2 * 0,280kg * 0,12m \\F_{cf} &= 841,44N\end{aligned}\tag{14}$$

Donde:

$F_{cf}$  = Fuerza centrífuga en (N).

### 3.3.12 Esfuerzo de corte

El esfuerzo de corte o esfuerzo cortante actúa en un área paralela a la dirección de la fuerza aplicada, que se presenta cuando las fuerzas aplicadas causan que una parte del material se desplace o resbale sobre la sección adyacente [45].

$$\begin{aligned}\tau &= \frac{P}{A} \\ \tau &= \frac{841,44N}{0,00043m^2} \\ \tau &= 1956837,20Pa \\ \tau &= 1,9568MPa\end{aligned}\tag{15}$$

Donde:

$\tau$  = Esfuerzo cortante en  $\left(\frac{N}{m^2}\right)$ .

$P$  = Fuerza aplicada cortante en (N).

$A$  = Área sobre la cual actúa la carga en ( $m^2$ ).

### 3.3.13 Falla por cizalladura

Las zonas de conexión entre los martillos y el eje porta martillos pueden experimentar fallas por cizallamiento debido a las fuerzas a las que se encuentran sometidas. Es por esto que se debe calcular el factor de seguridad para corroborar si los parámetros seleccionados son los adecuados [44].

### 3.3.14 Factor de seguridad

A la hora de realizar un diseño, se tiene que evitar las fallas estructurales, por lo que la carga que una estructura es capaz de soportar tiene que ser mucho mayor que la carga a la que se va a someter cuando este en uso. El factor de seguridad varía entre 1 y 10, por lo que debe ser específicamente mayor a 1 para evitar fallas.

La relación entre el factor de seguridad y la probabilidad de falla es inversamente proporcional, por lo que, mientras menor sea el factor calculado existirán muchas más posibilidades de haber fallas. Para calcular esto, se hace uso de la siguiente ecuación [46]:

$$\eta = \frac{S_y}{\sigma}$$
$$\eta = \frac{206,807MPa}{2*1,95Mpa}$$
$$\eta = 53,02$$
(16)

Donde:

$\eta$  = Factor de seguridad.

$S_y$  = Resistencia máxima a la fluencia en (MPa).

$\sigma$  = Esfuerzo por tracción en (MPa).

Se considera el esfuerzo cortante previamente determinado, así como la resistencia máxima a la fluencia para el acero que en este caso será de  $S_y = 206,807$  MPa, por lo que los martillos serán fabricados con acero AISI 304. Con este dato se puede saber si se presenta o no fallas por cizalladura en el componente.

En la Figura 36, se nota que el factor de seguridad calculado y simulado son consistentes.

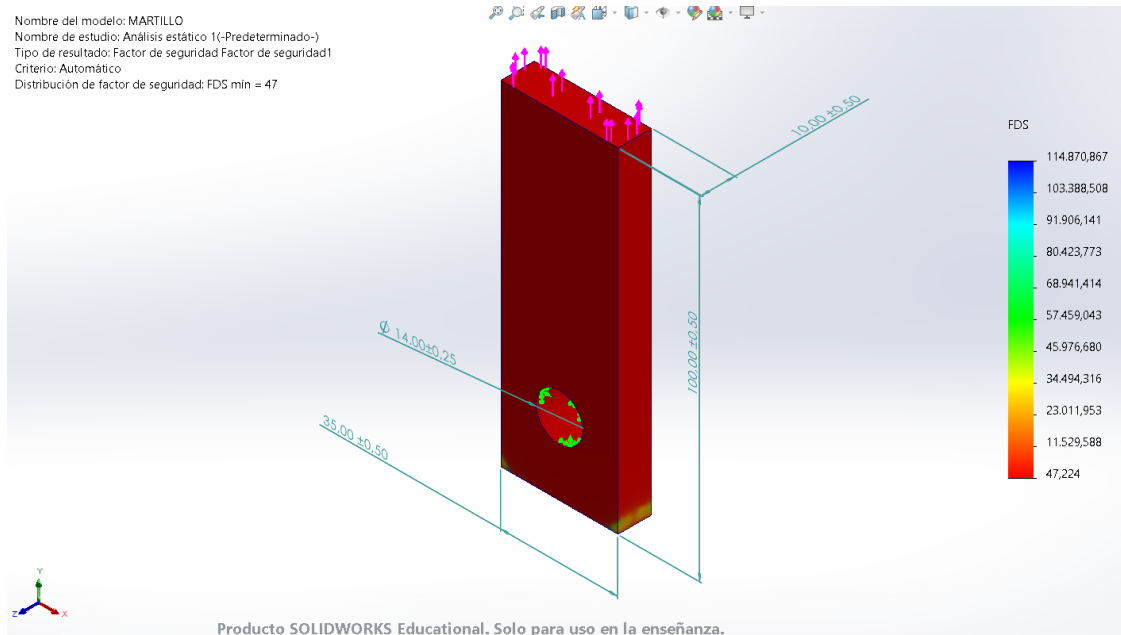


Figura 36. Factor de seguridad a carga cortante.

En la siguiente Figura se demuestra que el desplazamiento del martillo sería mínimo, por lo que corrobora un buen diseño de los martillos.

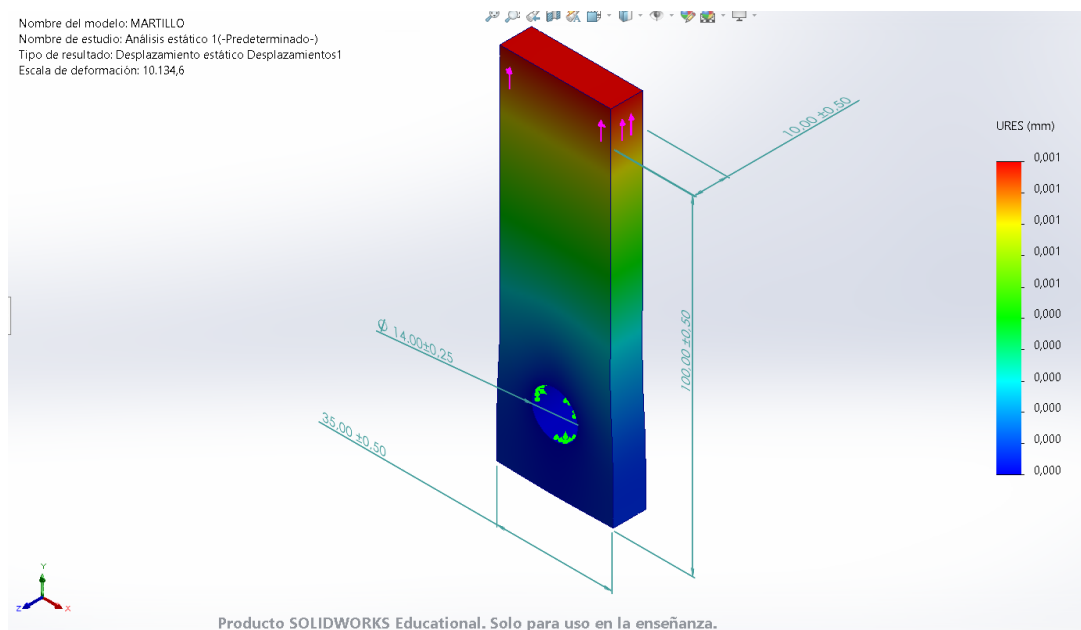


Figura 37. Distancia de desplazamiento del martillo en milímetros.

### 3.3.15 Área transversal

El área de sección transversal se refiere a la medida del área expuesta al cortar un objeto perpendicular a su eje principal, esta se determina a partir de [39]:

$$A_{st} = a * e$$

$$A_{st} = 0,035m * 0,01m \tag{17}$$

$$A_{st} = 0,00035m^2$$

Donde:

$$A_{st} = \text{Área de sección transversal en } (m^2)$$

### 3.3.16 Falla por tracción y factor de seguridad

Posteriormente, se calcula el esfuerzo normal debido a la tracción ( $\sigma$ ) provocada por la fuerza centrífuga, la cual es 841,44 N reemplazando en la ecuación 18 que se especifica a continuación [40]:

$$\begin{aligned}\sigma &= \frac{F_{cf}}{A_{st}} \\ \sigma &= \frac{841,44N}{0,00035m^2} \\ \sigma &= 2404114,2Pa \\ \sigma &= 2,40MPa\end{aligned}\tag{18}$$

Finalmente, se realiza el cálculo del factor de seguridad correspondiente, teniendo como  $S_y = 206,807 MPa$  que es el mismo utilizado en el esfuerzo por cizalladura. De igual forma, se emplea la ecuación 4:

$$\begin{aligned}\eta &= \frac{206,807MPa}{2,40Mpa} \\ \eta &= 86,16\end{aligned}\tag{19}$$

En la Figura 38, se aprecia que el factor de seguridad calculado y simulado son consistentes..

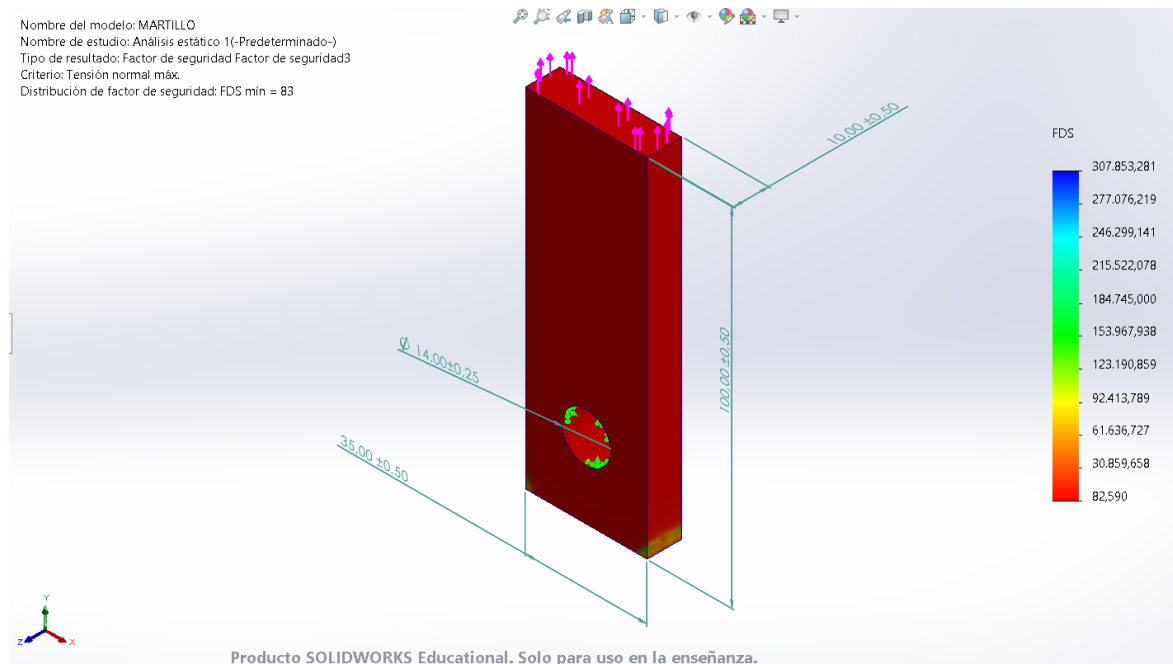


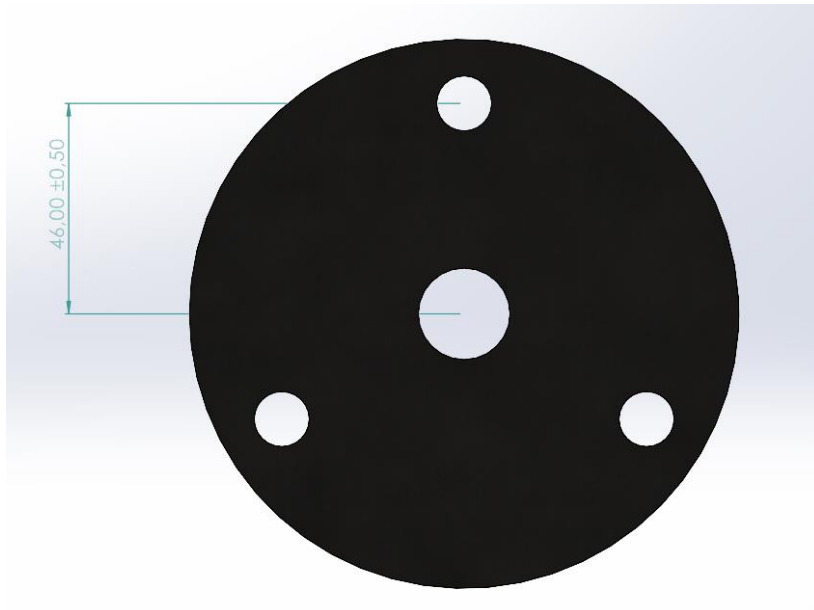
Figura 38. Factor de seguridad a tensión.

Se tiene elevados factores de seguridad, debido a que el molino produce una cantidad de masa de  $25 \text{ kg} / \text{h}$ . Esta tasa de producción se considera baja en comparación con otras máquinas trituradoras, lo que indica que los elementos de corte de esta máquina cumplen con requisitos menos exigentes.

No obstante, esto no implica la recomendación de emplear materiales de resistencia o calidad inferior en su construcción, ya que podrían verse afectados por los efectos de fatiga por corte y procesos de corrosión.

### 3.4 Diseño del disco porta martillos

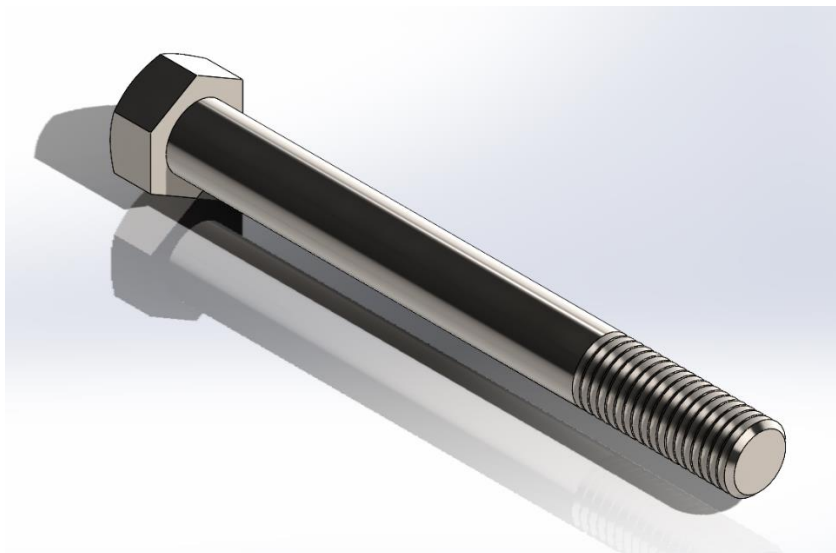
En la Figura 39 se muestra la elaboración de esta pieza para la máquina, se tienen en cuenta ciertos aspectos, como el tamaño externo del disco que es de 120 mm, su grosor de 10 mm, la presencia de 3 perforaciones distribuidas a intervalos de  $120^\circ$ , y los ejes que sostienen los martillos con un diámetro de 14 mm.



*Figura 39. Disco porta martillos.*

### **3.5 Cálculo del eje secundario**

Este componente presenta las siguientes especificaciones previamente establecidas: un diámetro de 14 mm, una cabeza hexagonal, un largo de 120 mm y una tuerca M14, todo esto construido con AISI 304. En cada perno se disponen 2 martillos, cada uno con una longitud de 100 mm, distribuidos de manera uniforme y respaldados por dos discos porta martillos. Este dimensionamiento del eje se observa en la Figura 40:



*Figura 40. Dimensiones del perno.*

#### **3.5.1 Diseño mediante modelado y simulación en 3D del eje secundario**

El diseño del eje secundario se lleva a cabo a través de modelado y simulación 3D, prescindiendo de ecuaciones y cálculos convencionales. En primera instancia, se definen las



dimensiones del eje, seguido por la creación de un modelo virtual detallado mediante herramientas de modelado 3D.

Mediante simulaciones se obtienen valores clave como las tensiones, estas indican las fuerzas internas que experimenta el elemento, tal como se ilustra en la Figura 41:

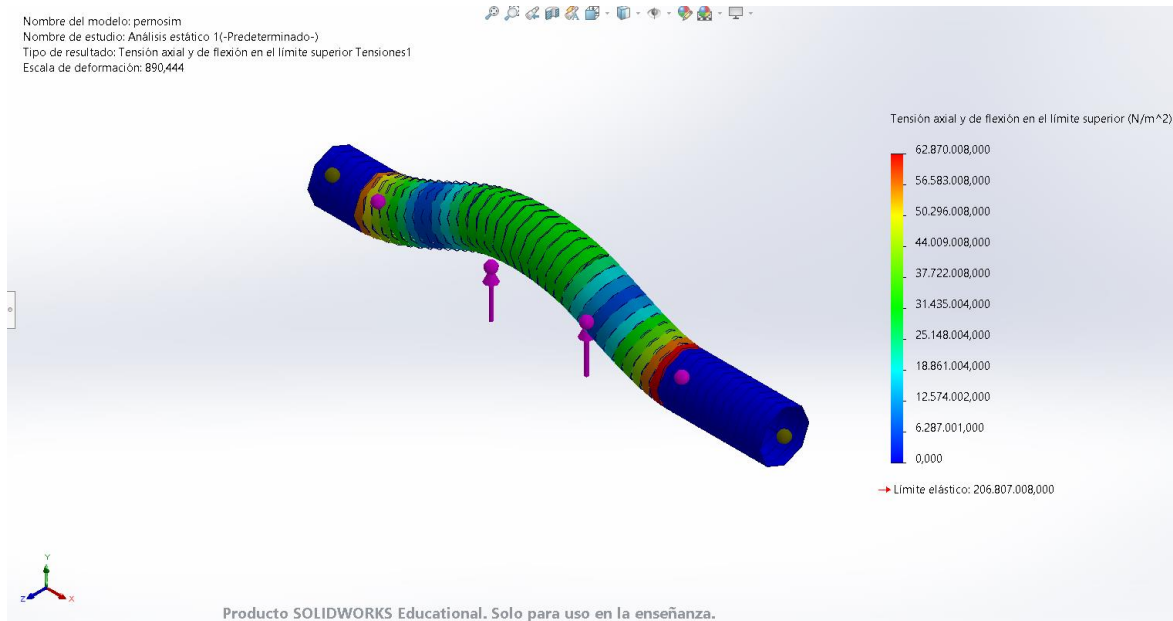


Figura 41. Tensión en dirección axial y esfuerzo de flexión en el umbral superior.

También se presenta como se desplaza el elemento bajo una carga constante, de la siguiente manera:

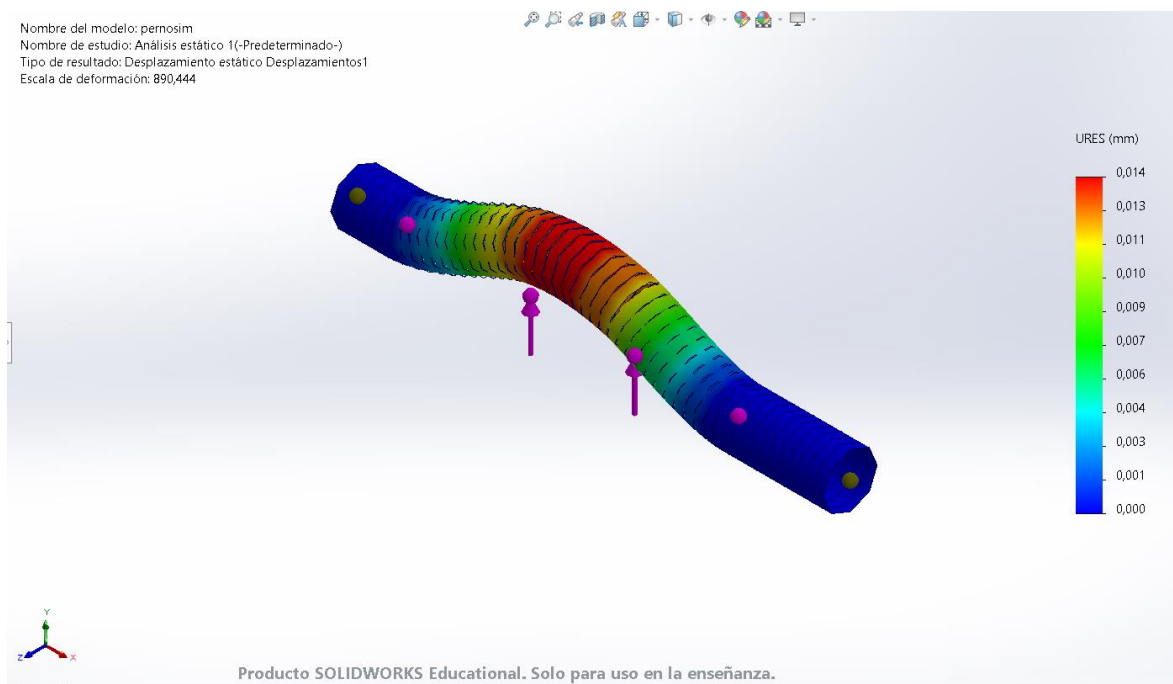


Figura 42. Desplazamiento estático.

Además, se calcula el factor de seguridad que es la relación entre la carga máxima que un elemento puede soportar y la carga que realmente experimenta, como se muestra a continuación:

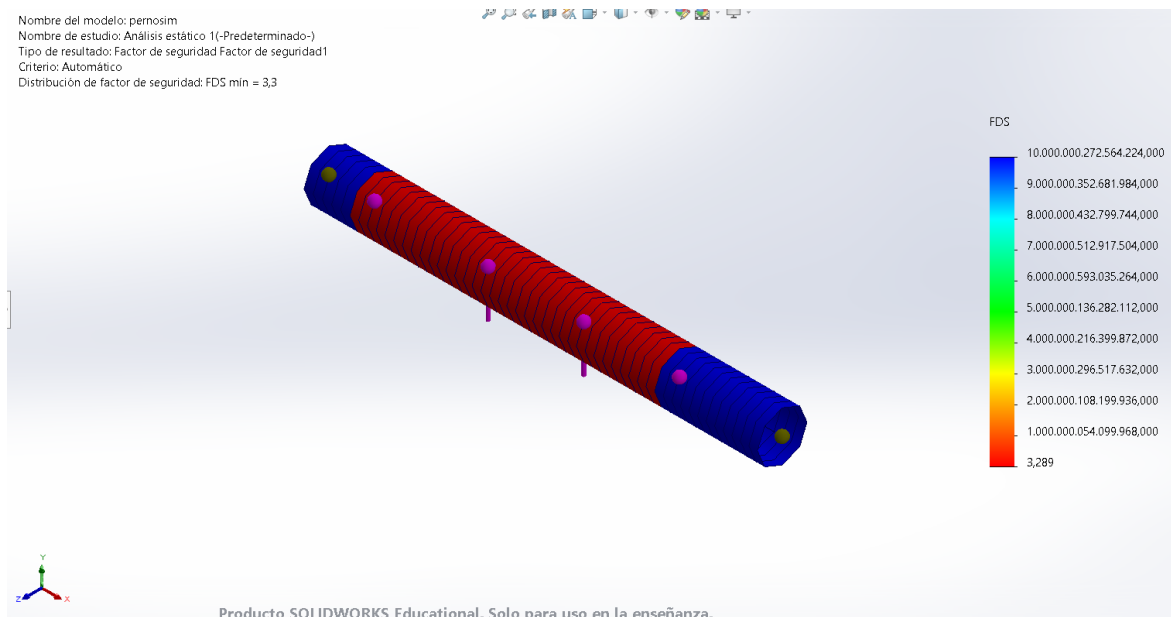


Figura 43. Factor de seguridad del eje secundario.

El diseño a través de simulaciones en el software SolidWorks permite una adaptación rápida para cumplir con estándares de seguridad y rendimiento. Este enfoque proporciona un proceso más eficiente y una comprensión detallada del comportamiento del eje bajo distintas condiciones de carga. La flexibilidad y precisión demostradas hacen de este método una herramienta valiosa en el desarrollo de componentes mecánicos.

### 3.6 Diseño del eje principal

Después de determinar las dimensiones del martillo, se llevará a cabo la verificación utilizando los criterios de resistencia. Para llevar a cabo este proceso, se comienza con un análisis de las fuerzas que impactan en el martillo, las cuales se determinarán mediante la aplicación de la Segunda Ley de Newton, representada por la siguiente ecuación [40]:

$$\sum F = m * a \quad (20)$$

Donde:

$F$  = Fuerzas presentes en el elemento en (N).

$m$  = Masa en (g).

$a = \text{Aceleración en } \left( \frac{m}{s^2} \right).$

Debido a que este análisis de fuerza es estático, la aceleración se anula, ocasionando una modificación en la ecuación de la siguiente forma [40]:

$$\sum F = 0 \quad (21)$$

Las reacciones indicadas en P1 y P2, cada una con una fuerza de 841,44 N generada por los dos discos, constituyen valores fundamentales para evaluar la capacidad del eje ante un momento flector. Esto asegura que el diámetro calculado sea apropiado para soportar las cargas aplicadas. Asimismo, se avanza en el diseño del eje a través del software Solidworks para verificar su resistencia y comportamiento frente a las cargas especificadas.

En la Figura 44, se muestra el diagrama de cuerpo libre que representa todas las fuerzas externas que inciden en el eje principal, ofreciendo un análisis más claro y preciso.

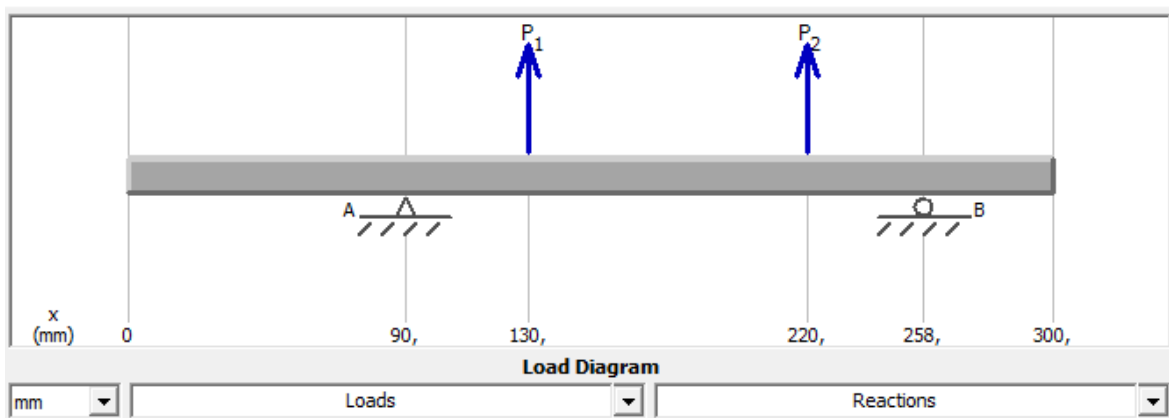


Figura 44. Diagrama fuerzas externas actuantes sobre el eje principal

Se obtiene los valores correspondientes de las reacciones en el punto A y B:

$$\begin{aligned} \sum M_A &= 0 \\ -R_{By}(168mm) + P2(40mm) + P3(130mm) &= 0 \\ -R_{By}(168mm) + 841,44N(40mm) + 841,44N(130mm) &= 0 \\ R_{By} &= \frac{841,44N(40mm) + 841,44N(130mm)}{168mm} \end{aligned} \quad (22)$$

$$R_{By} = 851,46N$$

$$\sum F_y = 0$$

$$-R_{Ay} - R_{By} + P1 + P2 = 0$$

$$R_{Ay} = -R_{By} + P1 + P2$$

$$R_{Ay} = -851,46N + 841,44N + 841,44N$$

$$R_{Ay} = 831,42N$$

A continuación, se observa como varían los momentos cortantes a lo largo del eje principal en la Figura 45:

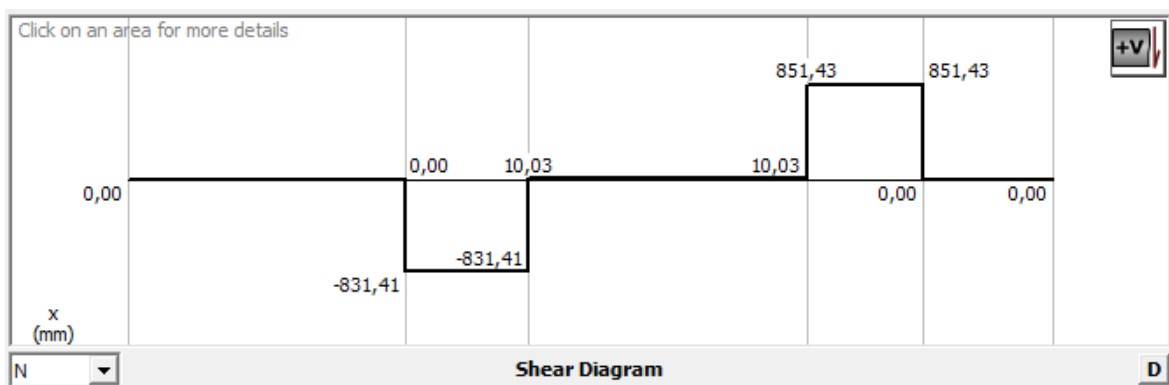


Figura 45. Diagrama de momentos cortantes.

Otro dato esencial que se debe obtener es el momento torsor, el cual se evalúa en relación con los discos. En este contexto, solo se considera la fuerza en uno de los pasadores, ya que es en este punto donde ocurre el impacto del martillo con el material a moler.

En la Figura siguiente, se ilustra la variación de los momentos flectores en el eje:

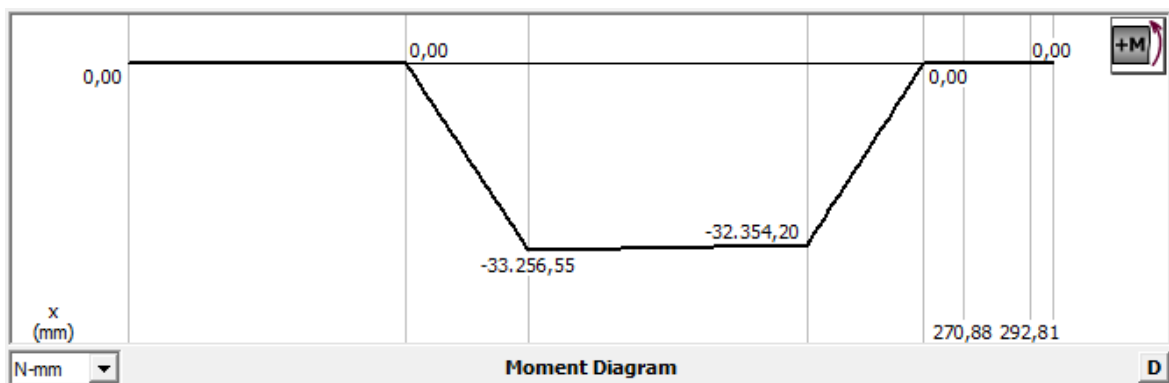


Figura 46. Momentos flectores.

El momento flector surge al aplicar una carga a una viga, generando la fuerza que provoca su flexión, el cual es se muestra en la ecuación 23:

$$\begin{aligned} Mf &= 38mm * 851,43N \\ Mf &= 32354Nmm \end{aligned} \quad (23)$$

Teniendo en cuenta la distancia de la Figura 39, se determina el momento torsor de la siguiente manera:

$$\begin{aligned} Mt &= 19,61N * 46mm \\ Mt &= 902,42Nmm \end{aligned} \quad (24)$$

### 3.6.1 Criterio de resistencia de Von Mises

Con la información de los momentos que hemos obtenido anteriormente, se calcula el momento flector equivalente. Este cálculo es esencial para el dimensionamiento del eje. Este criterio se determina a partir de la ecuación 25 [47]:

$$Mfe = \sqrt{Mf^2 + Mt^2} \quad (25)$$

Sustituyendo los valores necesarios, se puede llevar al dimensionado previo de un eje utilizando la ecuación siguiente [47]:

$$\begin{aligned} d &= \sqrt[3]{\frac{32 * \eta * \sqrt{(Mf)^2 + (Mt)^2}}{\pi * S_y}} \\ d &= \sqrt[3]{\frac{32 * 10 * \sqrt{(32354)^2 + (902,42)^2}}{\pi * 206,807}} \\ d &= 25,16mm \end{aligned} \quad (26)$$

Por lo tanto, el diámetro será de 1 pulgada o de 25,4 mm teniendo en cuenta el valor obtenido.

A continuación, se muestran las fuerzas internas que experimenta el elemento en la Figura 47:

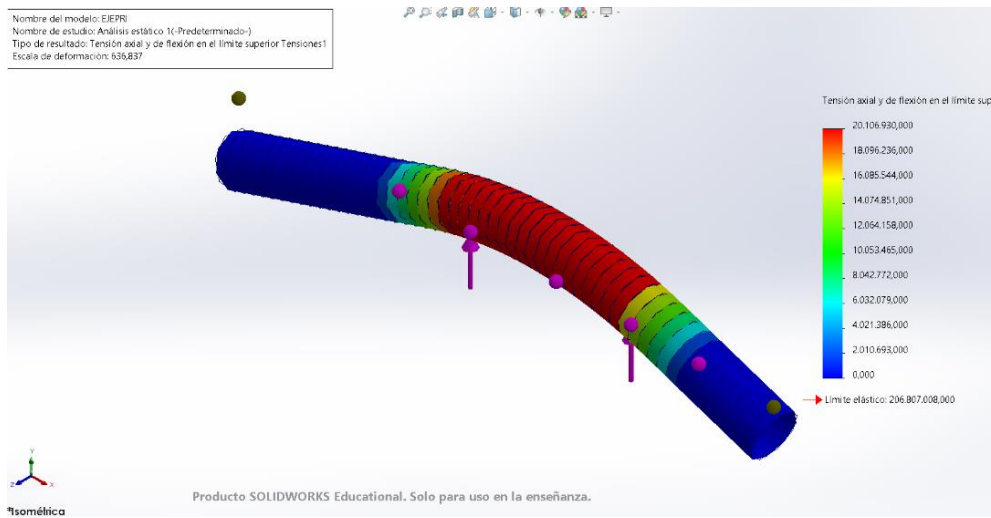


Figura 47. Tensión axial y de flexión en el límite superior del eje principal.

En la siguiente Figura se presenta como se desplaza el elemento bajo una carga constante:

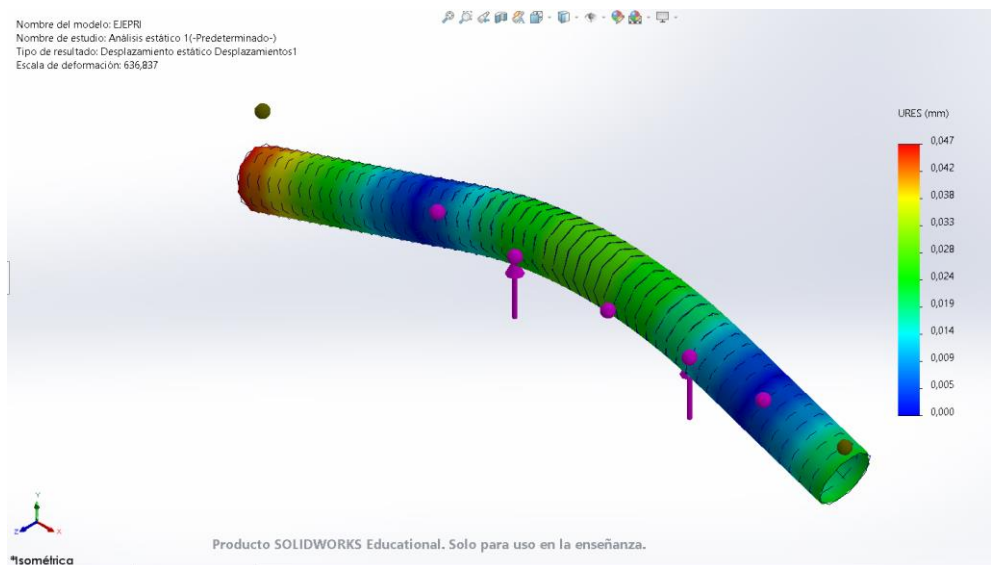


Figura 48. Desplazamiento estático.

Finalmente, se observa el factor de seguridad correspondiente al eje principal en la Figura 49:

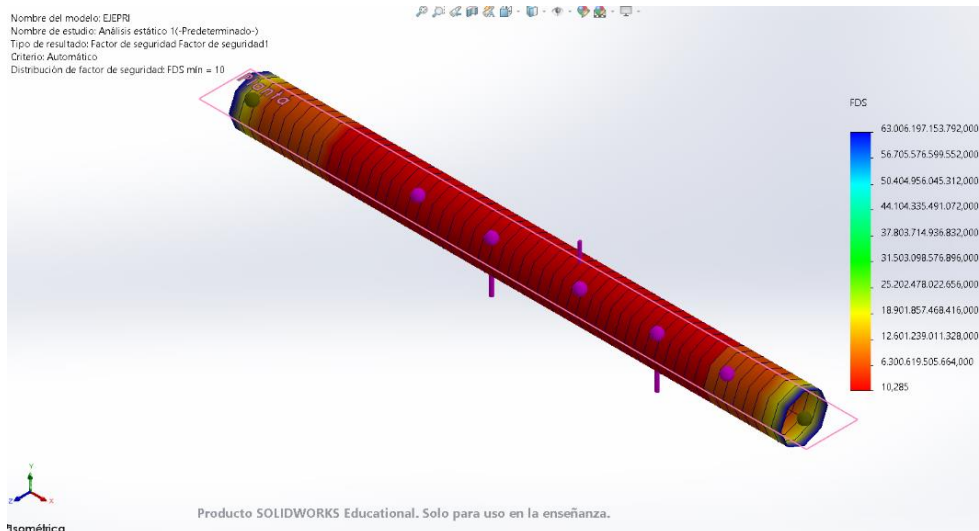


Figura 49. Factor de seguridad.

### 3.7 Velocidad del motor

La velocidad angular del eje principal alcanza una velocidad máxima de 1800 rpm, determinada por el cálculo sin carga. Sin embargo, para cumplir con una velocidad de 1500 rpm bajo carga, se puede seleccionar un motor de 1750 rpm. Se usa poleas preestablecidas de 100 mm cada una, utilizando la relación descrita en la ecuación 27, de la siguiente manera [48]:

$$\frac{D_1}{D_2} = \frac{N_2}{N_1}$$

$$N_2 = \frac{N_1 * D_1}{D_2}$$

$$N_2 = \frac{1800rpm * 100mm}{100mm} \tag{27}$$

$$N_2 = 1800rpm$$

Donde:

$D$  = Diámetro en (mm).

$N$  = Revoluciones en (rpm).

### 3.8 Potencia del molino

La potencia requerida por el molino es crucial para superar la inercia de sus componentes[48]. Esta se determina de la siguiente manera:

$$\begin{aligned}
 P &= T * \omega \\
 P &= 19,61N * 0,046m * 158,25 \frac{rad}{s} \\
 P &= 142,75W = 0,14KW \\
 P &= \frac{0,14}{0,7456} = 0,18HP
 \end{aligned}
 \tag{28}$$

Donde:

$P$  = Potencia del molino en ( $HP$ ).

$T$  = Torque en ( $Nm$ ).

$\omega$  = Velocidad angular en  $\left(\frac{rad}{s}\right)$ .

### 3.9 Selección de bandas y poleas

#### 3.9.1 Potencia de diseño

Teniendo en cuenta que la máquina funcione de 12 a 18 horas por día, se toma como servicio normal que, al cruzar con el tipo de equipo, es decir un molino de martillos, se obtiene el factor de servicio, tal como se puede apreciar a continuación:



TIPOS DE MÁQUINAS O EQUIPOS	SERVICIO INTERMITENTE	SERVICIO NORMAL	SERVICIO CONTINUO
Agitadores para líquidos Sopladores y aspiradoras Transportadores de trabajo ligero Ventiladores de hasta 10 caballos de fuerza	1.1	1.2	1.3
Transportadores de banda para arena, grano, etc Bombas rotativas de desplazamiento positivo Máquinas herramientas Maquinaria de lavandería Mezcladores de masa Ejes de línea Generadores Maquinaria de imprenta Taladros-prensas-cortadores Cribas giratorias y vibratorias Ventiladores de mas de 10 caballos de fuerza	1.2	1.3	1.4
Maquinaria para aserríos y trabajos en madera Transportadores (arrastre o tornillo) Compresores de pistón Molinos de martillo Pulverizadores Excitadores Maquinaria textil Bombas de pistón Elevadores cangilones Maquinaria para ladrillos Sopladores de desplazamiento positivo	1.4	1.5	1.6
Trituradoras (giratorias-mandibula-rodillo) Extrusoras-molinos de caucho Molinos de bolas Malacates	1.5	1.6	1.8

Figura 50. Selección del factor de servicio [49].

Para la cantidad de energía estimada para un sistema [49], esta se obtiene con la siguiente ecuación:

$$\begin{aligned}
 Pd &= \text{HP del motor} * \text{Factor de servicio} \\
 Pd &= 0,18\text{HP} * 1,5 \\
 Pd &= 0,27\text{HP}
 \end{aligned}
 \tag{29}$$

Se opta por trabajar con 1HP en lugar de 0,27 HP para mayor seguridad y rendimiento. Un factor de diseño más alto ofrece margen adicional frente a condiciones variables y sobrecargas posibles. Al trabajar en volumen, una potencia superior asegura que la máquina pueda enfrentar desafíos sin problemas, reduciendo el riesgo de fallos y garantizando un correcto funcionamiento.

### 3.9.2 Tipo de correa

Se selecciona el tipo de correa en “V” al cruzar la potencia de diseño y velocidad del motor calculadas, de la siguiente manera:

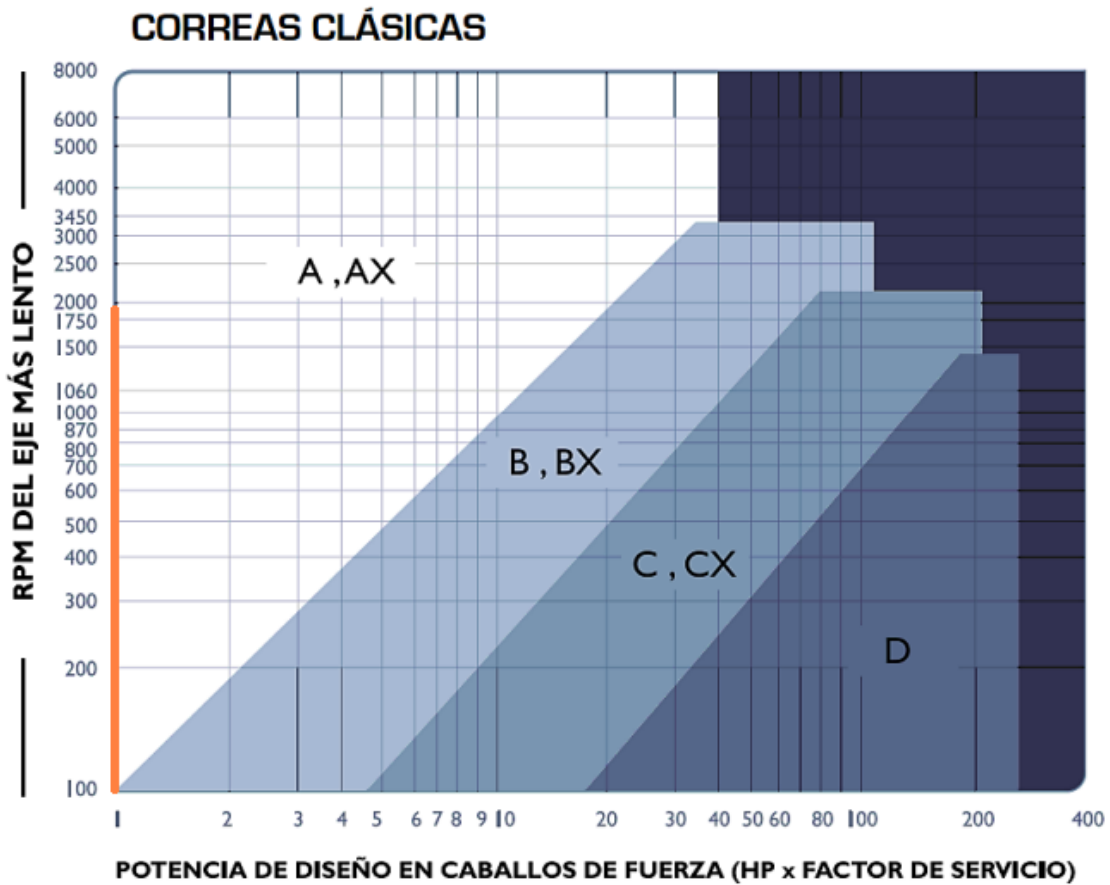


Figura 51. Selección de correas [49].

Se obtiene que la correa más adecuada para utilizar es un tipo A.

### 3.9.3 Selección de la polea motriz

Después de elegir el tipo de correa, considerando un diámetro de la polea motriz  $D_1 = 100mm$  y las revoluciones calculadas previamente, se determina el número de canales de la polea motriz, como se muestra a continuación:

RPM del Eje más Rápido	Diámetro exterior de la Polea Motriz (en milímetros)								
	85	90	100	105	110	115	120	125	130
50	0,11	0,13	0,16	0,17	0,19	0,20	0,21	0,23	0,24
100	0,20	0,23	0,28	0,31	0,34	0,37	0,39	0,42	0,45
500	0,71	0,83	1,07	1,20	1,30	1,43	1,55	1,67	1,80
600	0,81	0,96	1,24	1,38	1,52	1,66	1,80	1,94	2,08
700	0,91	1,08	1,40	1,57	1,73	1,90	2,05	2,20	2,36
800	1,00	1,20	1,56	1,74	1,92	2,10	2,28	2,46	2,64
900	1,10	1,30	1,70	1,90	2,10	2,30	2,50	2,70	2,90
1000	1,17	1,40	1,85	2,07	2,30	2,50	2,73	2,94	3,16
1100	1,25	1,50	1,98	2,23	2,47	2,70	2,94	3,17	3,40
1160	1,30	1,55	2,06	2,32	2,57	2,82	3,06	3,30	3,55
1200	1,32	1,60	2,12	2,38	2,63	2,90	3,15	3,40	3,65
1300	1,40	1,68	2,24	2,52	2,80	3,07	3,35	3,62	3,90
1400	1,46	1,77	2,37	2,66	2,96	3,25	3,54	3,83	4,10
1500	1,53	1,85	2,50	2,80	3,20	3,42	3,73	4,03	4,34
1600	1,60	1,93	2,60	2,93	3,26	3,60	3,90	4,23	4,55
1700	1,65	2,00	2,70	3,06	3,40	3,75	4,10	4,43	4,76
1750	1,67	2,04	2,77	3,13	3,48	3,83	4,18	4,52	4,86
1800	1,70	2,08	2,82	3,20	3,55	3,90	4,26	4,60	4,96
1900	1,75	2,15	2,93	3,30	3,70	4,06	4,43	4,80	5,16
2000	1,80	2,22	3,03	3,42	3,82	4,20	4,60	4,97	5,34
2100	1,85	2,28	3,12	3,53	3,94	4,35	4,74	5,14	5,53
2200	1,90	2,34	3,20	3,64	4,07	4,48	4,90	5,30	5,70
2300	1,94	2,40	3,30	3,75	4,18	4,60	5,04	5,46	5,87
2400	1,98	2,45	3,40	3,85	4,30	4,74	5,18	5,60	6,03
2600	2,05	2,56	3,55	4,03	4,50	4,98	5,44	5,90	6,33
2800	2,10	2,65	3,70	4,20	4,70	5,20	5,67	6,14	6,60
3000	2,16	2,72	3,82	4,35	4,87	5,40	5,88	6,37	6,85
3200	2,20	2,80	3,93	4,50	5,03	5,56	6,07	6,57	7,06
3400	2,23	2,84	4,03	4,60	5,16	5,70	6,23	6,75	7,24
3500	2,24	2,87	4,08	4,66	5,22	5,77	6,30	6,82	7,32
3600	2,25	2,90	4,11	4,70	5,28	5,83	6,37	6,90	7,40
3800	2,26	2,92	4,18	4,78	5,37	5,93	6,48	7,00	7,50
4000	2,25	2,93	4,23	4,84	5,44	6,00	6,56	7,08	7,58
4200	2,24	2,94	4,26	4,89	5,49	6,06	6,60	7,13	7,63
4400	2,22	2,93	4,27	4,91	5,51	6,10	6,63	7,15	7,63
4600	2,18	2,90	4,27	4,91	5,51	6,08	6,62	7,13	7,60
4800	2,13	2,87	4,25	4,88	5,49	6,05	6,58	7,07	7,52
5000	2,07	2,82	4,20	4,84	5,44	6,00	6,50	6,98	7,40

Figura 52. Capacidad de transmisión por canal para correas tipo A [49].

Así, se logrará una potencia de 2,82 HP por canal, la cual es adecuada para la potencia necesaria.

### 3.9.4 Cálculo de la distancia entre centros

Se toma el mismo diámetro tanto para la polea conductora como para la conducida, con esto se calcula la distancia máxima, mínima y recomendada entre sus centros utilizando las ecuaciones 30, 31 y 32, de la siguiente forma:

Para la distancia recomendada [49], se emplea la ecuación 28:

$$C_{recom.} = 1,5 * (D + d) \tag{30}$$

$$C_{recom.} = 1,5 * (100 + 100) = 300mm$$

Donde:

$D$  = Diámetro de la polea mayor en (mm).

$d$  = Diámetro de la polea menor en ( $mm$ ).

Para el cálculo de la distancia máxima [49], se ocupa la ecuación 29:

$$\begin{aligned} C_{m\acute{a}x.} &= 2*(D+d) \\ C_{m\acute{a}x.} &= 2*(100+100) = 400mm \end{aligned} \quad (31)$$

Para calcular la distancia mínima [49], se emplea la ecuación 30:

$$\begin{aligned} C_{m\acute{i}n.} &= 0,7(D+d) \\ C_{m\acute{i}n.} &= 0,7*(100+100) = 140mm \end{aligned} \quad (32)$$

### 3.9.5 Longitud de las correas

Para calcular el valor de la longitud de las correas se emplea la siguiente ecuación [49]:

$$\begin{aligned} L_p &= 2C + 1,57*(D+d) + \frac{(D+d)^2}{4C} \\ L_p &= 2*300 + 1,57*(100+100) + \frac{(100+100)^2}{4*300} \\ L_p &= 600 + 314 + 33,33 \\ L_p &= 947,33mm \end{aligned} \quad (33)$$

Donde:

$L_p$  = Largo de la correa en ( $mm$ ).

$C$  = Distancia entre centros en ( $mm$ ).

Por lo tanto, reemplazando los valores correspondientes se obtiene:

### 3.10 Selección de la chaveta

Se elige la chaveta y chavetero a partir de los cálculos efectuados para el diseño del eje principal, donde se determinó que tendrá un diámetro de 25,4 mm (1"). La selección se hace con chavetas de sección cuadrada como se indica a continuación en la Figura 53:

Diámetro del eje (mm)		Cuñero (mm)		Cuña (mm)		Diámetro del prisionero (mm)
Desde	Hasta	Ancho (A)	Profundidad (Ph)	Ancho	Profundidad (H)	
6	8	2	1.0	2	2	3
9	10	3	1.4	3	3	3
11	12	4	1.8	4	4	4
13	17	5	2.3	5	5	5
18	22	6	2.8	6	6	6
23	30	8	3.3	8	7	8
31	38	10	3.3	10	8	10
39	44	12	3.3	12	8	12
45	50	14	3.8	14	9	12
51	58	16	4.3	16	10	14
59	65	18	4.4	18	11	14
66	75	20	4.9	20	12	16
76	86	22	5.4	22	14	16
86	96	25	5.4	25	14	18
96	110	28	6.4	28	16	18
111	130	32	7.4	32	18	18
131	150	36	8.4	36	20	18
151	170	40	9.4	40	22	18
171	200	45	10.4	45	25	20
201	230	50	11.4	50	28	20

Estandar Metric

Figura 53. Cuñeros y cuñas estándar milimétricos de sección rectangular [50].

### 3.11 Diseño de la tolva

Se trata de un componente diseñado para el almacenamiento y conducción de materiales, ya sean granulares o pulverizados. Adopta una forma cónica con paredes inclinadas, como se visualiza en la Figura 54. La carga se introduce desde la parte superior, mientras que la descarga se realiza desde la parte inferior. La determinación del ángulo mínimo de inclinación en este componente se basa en la granulometría del material, el porcentaje de finos o la humedad, según se especifica. [52].

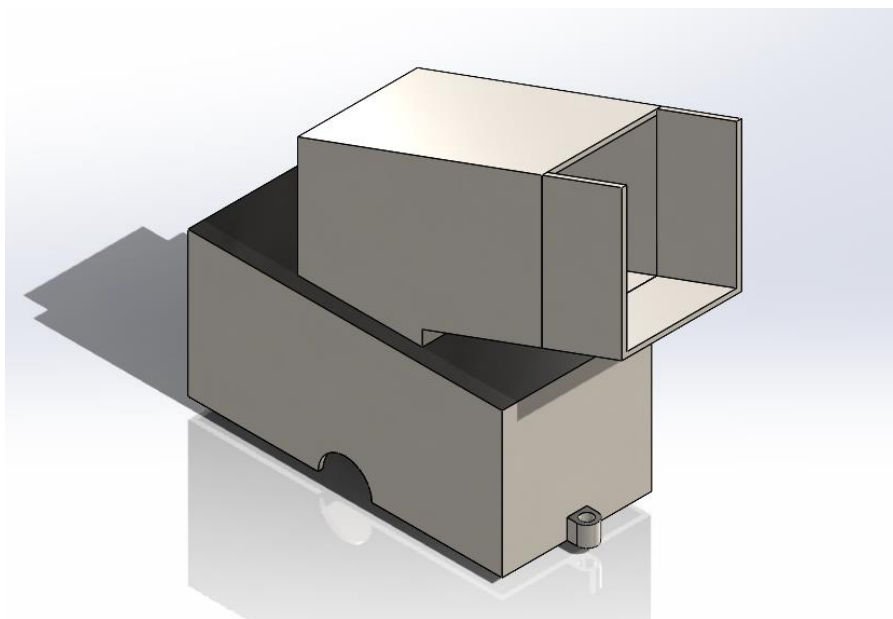


Figura 54. Tolva modelada en el software Solidworks.

### 3.11.1 Cálculo del coeficiente de fricción

Se examina el coeficiente de fricción entre la tolva y las hojas, con el objetivo de prevenir la acumulación de material a moler en la superficie de la tolva. En este escenario, se evalúa dicho coeficiente al incorporar un ángulo de inclinación de  $20^\circ$  en el diseño de la tolva, el cual puede ser insertado en la ecuación 34, como se detalla a continuación [51]:

$$\theta = \tan^{-1}(ff) \quad (34)$$

Donde:

$\theta$  = Ángulo de inclinación en ( $^\circ$ ).

$ff$  = Factor de fricción.

$$\begin{aligned} ff &= \tan(\theta) \\ ff &= \tan(20^\circ) \\ ff &= 0,36 \end{aligned} \quad (35)$$

### 3.12 Selección del tamiz

Se elige el tamiz de 1000 micras en función de las dimensiones de las hojas que se encuentran en una bolsita de té. Debido a que estas medidas son menores a 1 milímetro y se pretende lograr una molienda fina mediante el uso del molino de martillos, la elección de este tamiz en particular es esencial para garantizar el éxito del proceso.

En la Figura 55, se muestra un tamiz presente en el interior de la cámara de molienda.

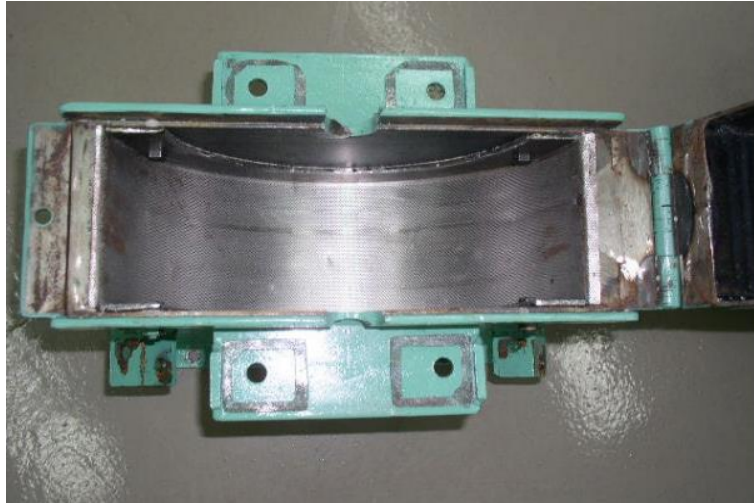


Figura 55. Tamiz en una cámara de molienda [53].

### 3.13 Selección de chumacera

Las chumaceras se destinarán al eje principal encargado de transmitir el movimiento proveniente del motor. En la elección de la chumacera más apropiada, se tiene en cuenta el diámetro del eje en el que será montada, siendo este de 1 pulgada.

Por lo tanto, se seleccionará una chumacera con un diámetro apropiado, escogiéndola de entre las opciones disponibles en el catálogo, según se muestra en la Figura 56.

Bearing Unit / Soporte	Shaft / Eje Dia. d inch	d mm	h	a	l	b	s	s
UCP 204 UCP 204-12	3/4"	20	33.3	127	96	38	19	13
UCP 205 UCP 205-16	1"	25	36.5	140	105	38	19	13
UCP 206 UCP 206-18	1.1/8"	30	42.9	165	121	48	21	17
UCP 207 UCP 207-20 UCP 207-22	1.1/4" 1.3/8"	35	47.6	167	126	48	21	17
UCP 208 UCP 208-24	1.1/2"	40	49.2	184	136	54	21	17
UCP 209 UCP 209-28	1.3/4"	45	54.0	190	146	54	21	17
UCP 210 UCP 210-32	2"	50	57.2	206	159	60	25	20
UCP 211 UCP 211-32	2"	55	63.5	219	171	60	25	20
UCP 212 UCP 212-36	2.1/4"	60	69.8	241	184	70	25	20
UCP 213 UCP 213-40	2.1/2"	65	76.2	265	203	70	29	25
UCP 214 UCP 214-44	2.3/4"	70	79.4	266	210	72	31	25
UCP 215 UCP 215-48	3"	75	82.6	275	217	74	31	25
UCP 216		80	88.9	292	232	78	31	25

Figura 56. Catálogo de chumaceras [54].

En las Figuras 57 se detallan las dimensiones adicionales de las chumaceras.

g	w	Bi	n	Bolt Size / Tamaño del tornillo		Insert / Inserción No.	Housing / Cubierta No.	Weight / Peso kg
				inch	mm			
15	65	31.0	12.7	3/8	M10	UC 204 UC 204-12	P204	0.65
16	70	34.0	14.3	3/8	M10	UC 205 UC 205-16	P205	0.79
18	83	38.1	15.9	1/2	M14	UC 206 UC 206-18	P206	0.79
19	92	42.9	17.5	1/2	M14	UC 207 UC 207-20 UC 207-22	P207	1.60
19	98	49.2	19.0	1/2	M14	UC 208 UC 208-24	P208	2.00
20	106	49.2	19.0	1/2	M14	UC 209 UC 209-28	P209	2.20
22	112	51.6	19.0	5/8	M16	UC 210 UC 210-32	P210	2.80
22	126	55.6	22.2	5/8	M16	UC 211 UC 211-32	P211	3.40
25	137	65.1	25.4	5/8	M16	UC 212 UC 212-36	P212	4.80
27	150	65.1	25.4	3/4	M20	UC 213 UC 213-40	P213	5.70
27	156	74.6	30.2	3/4	M20	UC 214 UC 214-44	P214	7.00
28	163	77.8	33.3	3/4	M20	UC 215 UC 215-48	P215	7.60
30	175	82.6	33.3		M20	UC 216	P216	9.00

Figura 57. Catálogo de selección de chumaceras [54].

En las Figuras 58, se presenta el diseño que tiene la chumacera que se seleccionó.

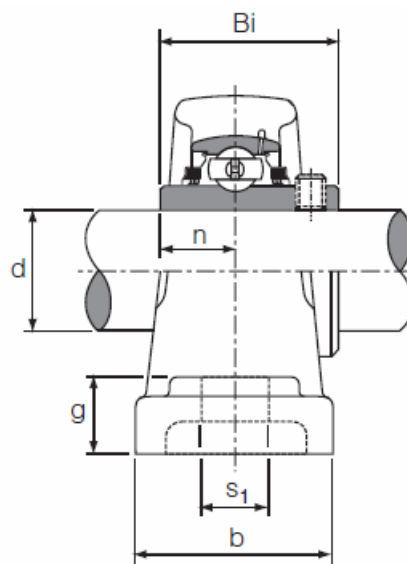


Figura 58. Plano de la vista lateral de la chumacera [54].



En la Figura 59, se presenta el plano detallado que representa la vista frontal de la chumacera.

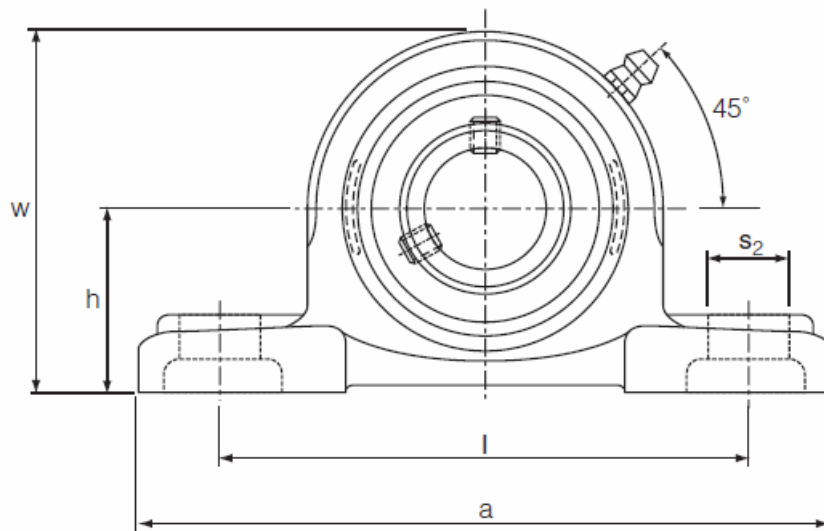


Figura 59. Plano de la vista frontal de la chumacera [54].

### 3.14 Cálculo de soldadura GTAW (TIG)

#### 3.14.1 Soldadura de filete

La ecuación utilizada para calcular este tipo de soldadura se realizó el análisis de la que se presenta en el modelo de la Figura 60, se utiliza la ecuación 36:

$$\tau = \frac{1.414F}{h * l}$$

$$\tau = \frac{1,414 * 826,46N}{7mm * 52mm}$$

$$\tau = 3,21MPa \quad (36)$$

Donde:

$\tau$  = Esfuerzo promedio en  $\left(\frac{N}{m^2}\right)$ .

$F$  = Carga sometida en (N).

$h$  = Garganta de soldadura en (m).

$l$  = Longitud de soldadura ( $m$ ).

A continuación, se observa una representación de la soldadura TIG realizada en el software Solidworks:

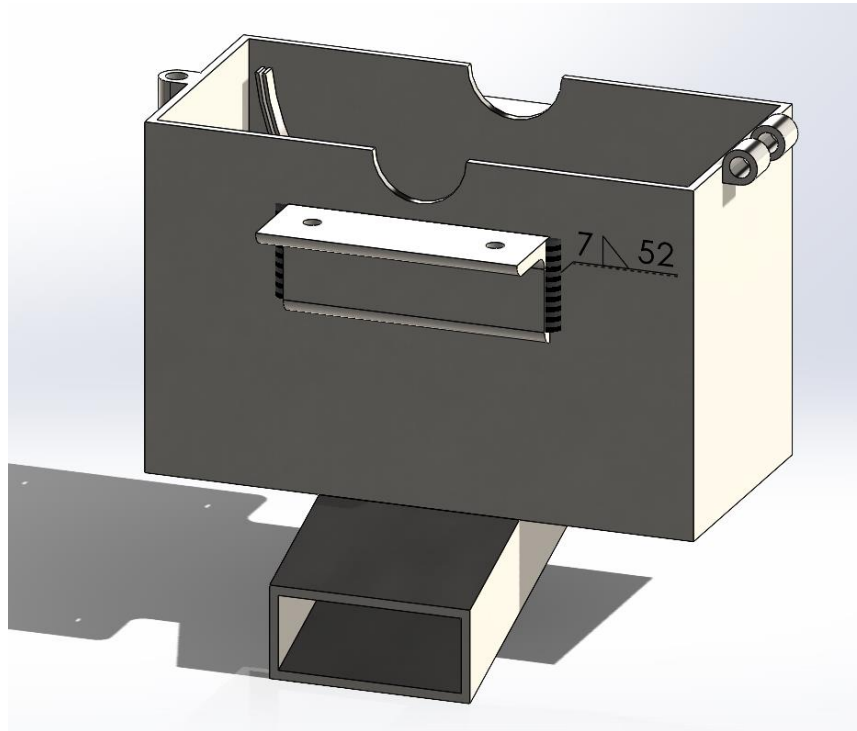


Figura 60. Soldadura TIG simulada en el software SolidWorks.

### 3.14.2 Factor de seguridad para la soldadura

Para determinar esto, se verifica la resistencia a la fluencia que tiene el electrodo que se va a emplear, en este caso se ocupará el ER308L que tiene un valor establecido  $S_y$  que se presenta en la Figura 61:

Mechanical properties of all-weld metal					
Heat-treatment	Yield strength $R_{p0.2}$	Tensile strength $R_m$	Elongation A ( $L_0=5d_0$ )	Impact work ISO-V CVN J	
	MPa	MPa	%	+20 °C	-196 °C
aw	400	570	35	100	35

Figura 61. Propiedades mecánicas del electrodo ER308L [55].

Posteriormente, se emplea la ecuación 37 para obtener el factor de seguridad por un esfuerzo cortante [40]:

$$\eta = \frac{0,5 * S_y}{\tau}$$

$$\eta = \frac{0,5 * 400MPa}{3,21MPa}$$

$$\eta = 62,30$$
(37)

### 3.15 Cálculo de juntas empernadas

De acuerdo con el criterio de diseño, se establece un tamaño nominal M10 para los pernos, y basándose en esto se realiza la elección del paso de la rosca, como se ilustra en la Figura 62:

Diámetro nominal $d$ , mm	Serie de paso grueso			Serie de paso fino		
	Paso $p$ , mm	Área de esfuerzo de tensión $A_t$ , mm <sup>2</sup>	Área del diámetro menor $A_r$ , mm <sup>2</sup>	Paso $p$ , mm	Área de esfuerzo de tensión $A_t$ , mm <sup>2</sup>	Área del diámetro menor $A_r$ , mm <sup>2</sup>
1.6	0.35	1.27	1.07			
2	0.40	2.07	1.79			
2.5	0.45	3.39	2.98			
3	0.5	5.03	4.47			
3.5	0.6	6.78	6.00			
4	0.7	8.78	7.75			
5	0.8	14.2	12.7			
6	1	20.1	17.9			
8	1.25	36.6	32.8	1	39.2	36.0
10	1.5	58.0	52.3	1.25	61.2	56.3
12	1.75	84.3	76.3	1.25	92.1	86.0
14	2	115	104	1.5	125	116
16	2	157	144	1.5	167	157
20	2.5	245	225	1.5	272	259
24	3	353	324	2	384	365
30	3.5	561	519	2	621	596
36	4	817	759	2	915	884
42	4.5	1 120	1 050	2	1 260	1 230
48	5	1 470	1 380	2	1 670	1 630
56	5.5	2 030	1 910	2	2 300	2 250
64	6	2 680	2 520	2	3 030	2 980
72	6	3 460	3 280	2	3 860	3 800
80	6	4 340	4 140	1.5	4 850	4 800
90	6	5 590	5 360	2	6 100	6 020
100	6	6 990	6 740	2	7 560	7 470
110				2	9 180	9 080

\* Las ecuaciones y los datos utilizados para elaborar esta tabla se obtuvieron de la norma ANSI B1.1-1974 y B18.3.1-1978. El diámetro menor se determinó mediante la ecuación  $d_r = d - 1.226869p$ , y el diámetro de paso a partir de  $d_p = d - 0.649519p$ . La media del diámetro de paso y el diámetro menor se usaron para calcular el área de esfuerzo de tensión.

Figura 62. Diámetros y áreas de roscas de paso grueso y fino [40].

Como se indica el paso que tendrá la rosca es de 1,5 mm.

Se busca establecer una junta emperrada entre una chumacera de espesor de 13 mm con una placa de 8 mm, para esto es necesario calcular la longitud de agarre y posteriormente la longitud total que tendrá el perno.

### 3.15.1 Longitud de agarre

La longitud total se obtiene al sumar los espesores mencionados previamente, junto con el espesor específico de la arandela, que, al tratarse de un tamaño M10, sería de 2 mm. Este conjunto proporciona una longitud total de agarre de 23 mm.

### 3.15.2 Longitud del perno

Para determinar esta longitud primero se debe establecer el espesor de la tuerca de la siguiente manera:

Tamaño nominal, pulg	Ancho W	Altura H		
		Hexagonal regular	Gruesa o ranurada	Contra-tuerca
1/4	7/16	7/32	9/32	5/32
5/16	1/2	17/64	21/64	3/16
3/8	9/16	21/64	13/32	7/32
7/16	11/16	3/8	29/64	1/4
1/2	3/4	7/16	9/16	5/16
9/16	7/8	31/64	39/64	5/16
5/8	15/16	35/64	23/32	3/8
3/4	1 1/8	41/64	13/16	27/64
7/8	1 5/16	3/4	29/32	31/64
1	1 1/2	55/64	1	35/64
1 1/8	1 11/16	31/32	1 5/32	39/64
1 1/4	1 7/8	1 1/16	1 1/4	23/32
1 3/8	2 1/16	1 11/64	1 3/8	25/32
1 1/2	2 1/4	1 9/32	1 1/2	27/32

Tamaño nominal, mm				
M5	8	4.7	5.1	2.7
M6	10	5.2	5.7	3.2
M8	13	6.8	7.5	4.0
M10	16	8.4	9.3	5.0
M12	18	10.8	12.0	6.0
M14	21	12.8	14.1	7.0
M16	24	14.8	16.4	8.0
M20	30	18.0	20.3	10.0
M24	36	21.5	23.9	12.0
M30	46	25.6	28.6	15.0
M36	55	31.0	34.7	18.0

Figura 63. Dimensiones de tuercas [37].

Como se puede observar el espesor que tendrá la tuerca es 8,4 mm. La longitud total del perno se calcula sumando este espesor, la longitud de agarre y, por precaución, se añaden 3 hilos adicionales después de la tuerca, que equivalen a 4,5 mm, resultando en una longitud total de 35,9 mm.

Este valor se aproxima a 40 mm por su disponibilidad comercial.

### **3.16 Elementos eléctricos**

Considerando que la corriente nominal del motor seleccionado es de 6,25 A, se elegirán todos los elementos eléctricos con una corriente de arranque del 125%, lo cual equivale a aproximadamente 8,4375 A (redondeado a 10 A).

#### **3.16.1 Selección del motor**

Según los requisitos de la empresa El Salinerito, se elige un motor de 1 HP de la marca WEG con una velocidad de 1800 rpm, monofásico a 60 Hz y con un condensador de arranque..

#### **3.16.2 Interruptor**

Se opta por un interruptor termomagnético Schneider Acti9 iC60N para proteger el sistema eléctrico contra sobrecargas y cortocircuitos. Este dispositivo responde tanto a incrementos sostenidos de corriente como a corrientes elevadas instantáneas.

#### **3.16.3 Disyuntores**

Se selecciona un disyuntor Schneider P13019 para garantizar la seguridad, resguardar los equipos y prevenir posibles daños en condiciones anormales. La capacidad del disyuntor para desconectar automáticamente la corriente frente a sobrecargas, cortocircuitos o fallas a tierra desempeña un papel crucial en la preservación de un entorno eléctrico seguro y eficaz.

#### **3.16.4 Contactor**

La selección de un contactor Schneider LC1D25M7 con capacidad superior a la corriente nominal es crucial para asegurar un control efectivo del sistema eléctrico. Optar por un contactor que pueda manejar corrientes más elevadas permite gestionar de manera eficiente cualquier aumento repentino e inesperado de corriente. Esta elección no solo mejora el rendimiento del sistema, sino que también contribuye a la protección integral del mismo. Al proporcionar una respuesta robusta ante variaciones imprevistas en la corriente eléctrica, se mantiene la estabilidad y la seguridad del sistema en su totalidad.

### 3.17 Simulaciones del proceso

#### 3.17.1 Bastidor

La Figura 64 muestra que la tensión de Von Mises se encuentra dentro de los límites aceptables, lo que significa que no alcanza valores críticos. En consecuencia, no se anticipa ninguna deformación permanente en el bastidor.

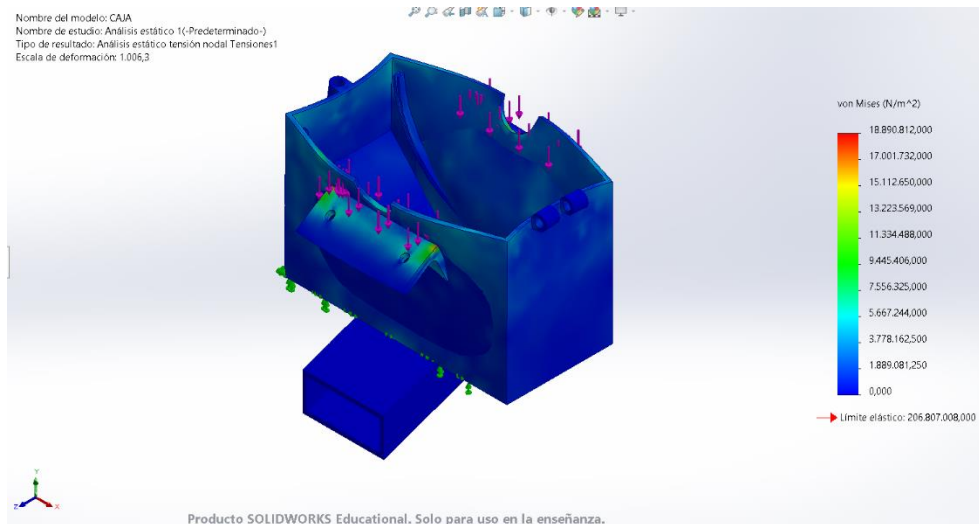
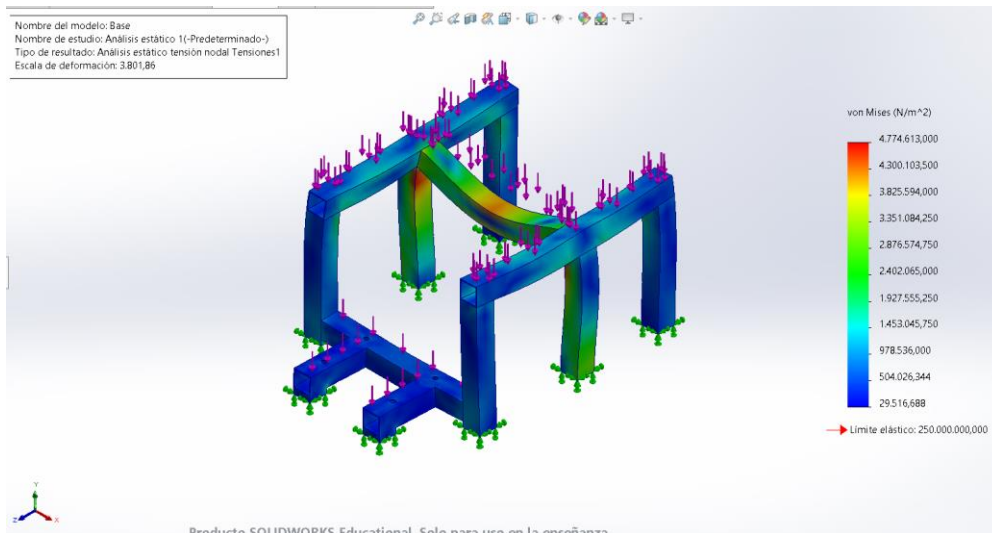


Figura 64. Análisis de tensión en el bastidor.

#### 3.17.2 Base

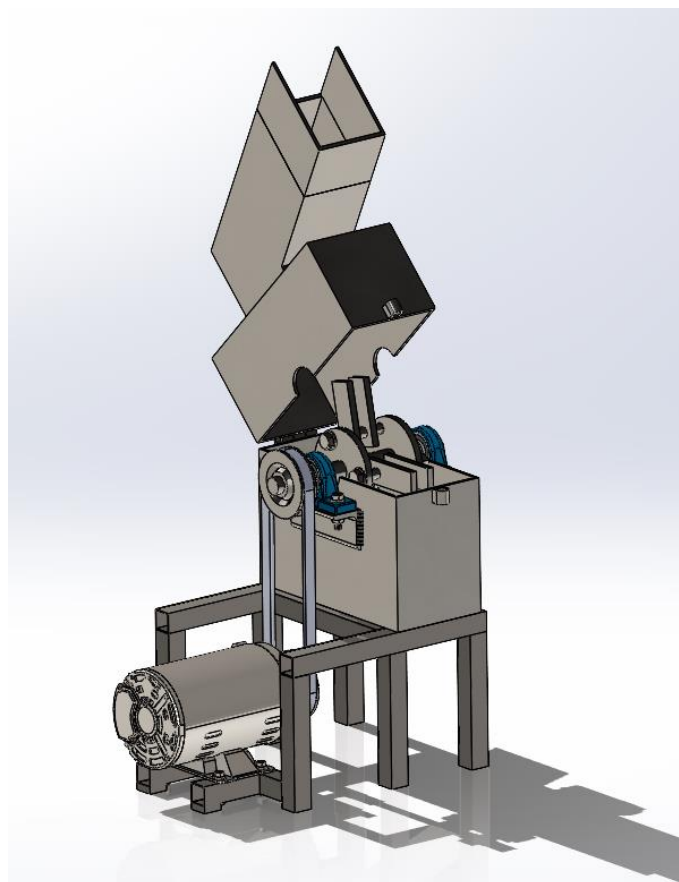
La base del molino representa el componente esencial que debe soportar todas las cargas que inciden sobre él. En este contexto, se optarán por tubos cuadrados de acero ASTM A36 con dimensiones de 30 mm x 1.5 mm para conformar la cimentación. Este material destaca por su resistencia y capacidad para soportar cargas variables, estáticas y amortiguar las vibraciones generadas por el motor. En la Figura 65, se representa la base simulada en Solidworks.



*Figura 65. Análisis de tensión en la base.*

### 3.17.3 Ensamble final del molino de martillos

La Figura 66 muestra el diseño final del ensamblaje de la máquina. Se evidencia la integración cuidadosa de cada componente de las partes mecánicas. Cada elemento se encuentra posicionado de manera precisa, siguiendo las especificaciones de diseño para asegurar un funcionamiento óptimo.



*Figura 66. Ensamble total del molino de martillos.*

### 3.17.4 Arranque del motor

En la Figura a continuación se muestra cómo sería la implementación del sistema eléctrico para el funcionamiento del molino de martillos:

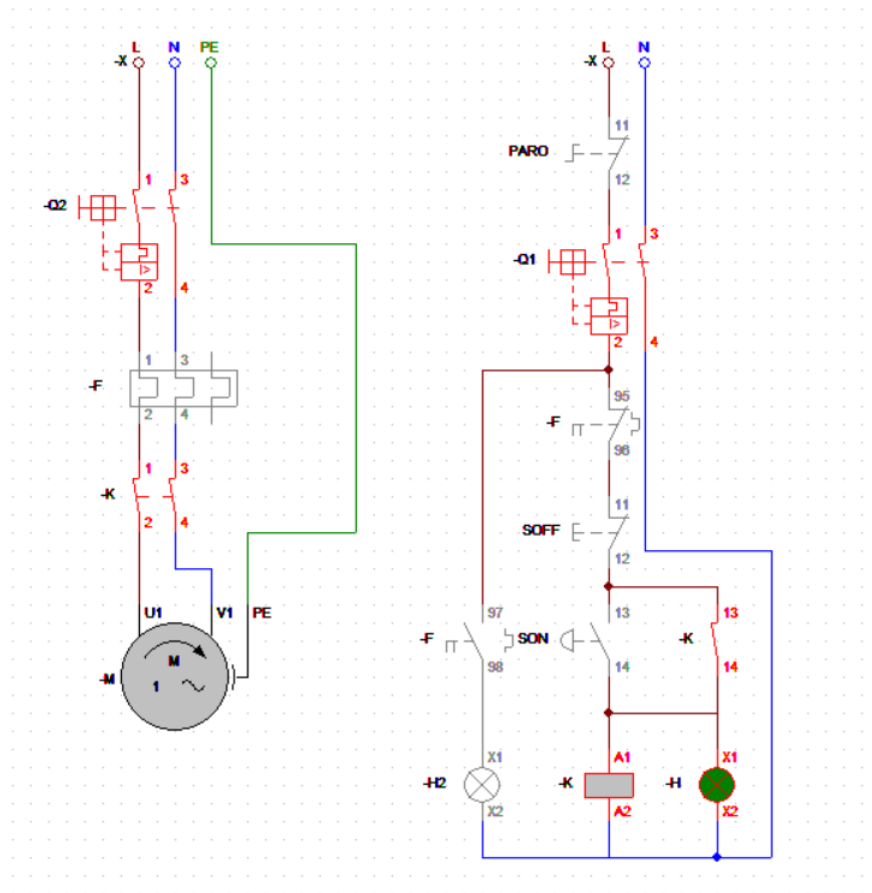


Figura 67. Arranque del motor monofásico simulado en el software CadeSimu.



## CAPÍTULO 4

### ANÁLISIS DE RESULTADOS Y COSTOS

Este capítulo se centra en analizar los resultados del diseño del molino de martillos y realizar un análisis económico que abarca costos de inversión, ingresos y gastos operativos. Se exploran aspectos como el retorno de inversión y periodo de recuperación, identificando áreas de mejora para lograr un rendimiento económico sostenible.

#### 4.1 Comprobación de la hipótesis

Se puede afirmar que la elección adecuada de la velocidad de rotación, el diseño de los martillos y la selección del tamiz son esenciales en la consecución de una reducción de tamaño eficiente.

La velocidad de rotación se ajusta para proporcionar la energía cinética necesaria sin poner en riesgo la calidad del producto final a causa de un incremento desmedido de temperatura. El diseño preciso de los martillos, considerando factores como su forma, peso y número, se adapta para generar fuerzas de impacto efectivas sin provocar desgaste excesivo o la generación partículas de tamaños no deseadas.

La selección meticulosa del tamiz desempeña una función fundamental en el manejo de la distribución del tamaño de la partícula. Esto garantiza que las partículas alcancen la dimensión deseada y evita la presencia de partículas indeseadas en el producto final.

Por lo tanto, el enfoque integral que combina cálculos detallados, simulaciones en Solidworks y la consideración de los parámetros previstos se traduce en una operación de trituración optimizada que logra una reducción de tamaño eficiente sin generar empastado en el producto final.

#### 4.2 Comprobación de Resultados

Para el análisis de resultados, se compara los cálculos manuales y las simulaciones en SolidWorks de los elementos clave de un molino de martillos.

En la evaluación de los martillos y ejes, los cálculos manuales determinaron la fuerza necesaria para la trituración y seleccionaron los materiales pertinentes, mientras que la simulación proporcionó un análisis detallado de tensiones y deformaciones bajo diversas condiciones operativas.

En cuanto a la estructura del molino, los cálculos guiaron el diseño estructural en función de la carga total y distribución de fuerzas, mientras que la simulación permitió una evaluación precisa de la resistencia estructural y el comportamiento bajo cargas variables.

Esta comparación confirmó que las simulaciones en SolidWorks son confiables y coherentes, coincidiendo con los métodos de cálculo convencionales.

### 4.3 Análisis de costos del proyecto

#### 4.3.1 Costos Directos

Hacen referencia a aquellos vinculados directamente con la fase de producción, incluyendo elementos como el gasto en materiales, mecanizado y la mano de obra. En las Tablas 8 y 9, se detalla una enumeración de los materiales utilizados en la creación del equipo, permitiendo su identificación cuantitativa en este proceso.

Tabla 8. Gastos relacionados con materiales.

Ítem	Detalle de materiales	Unidades	Costo por unidad [\$]	Suma Total [\$]
1	Lámina de acero AISI 304 de 330x300 mm, 10 mm de espesor	1	37,00	37,00
2	Pernos AISI 304 M14x120 mm	3	2,63	7,89
3	Tuercas AISI 304 M14	3	0,44	1,32
4	Arandela AISI 304 M14	6	0,20	1,20
5	Eje AISI 304 25,4mmx1m	1	26,00	26,00
6	Lámina de acero AISI 304 de 1220x2000 mm, 5 mm de espesor	1	360,00	360,00
7	Lámina de acero AISI 304 de 210x300 mm, 8 mm de espesor	1	30,00	30,00
8	Chumaceras UCP 205-16	2	36,47	72,94
9	Pernos M10x45mm	4	0,94	3,76
10	Tuercas M10	4	0,12	0,48

11	Arandela M10	6	0,10	0,60
12	Polea de 100x25,4mm	1	10,12	10,12
13	Polea de 100x16mm	1	9,80	9,80
14	Banda clásica en V tipo A de 1m	1	6,20	6,20
15	Tubo ASTM A36 cuadrado de 30mm, 1,5mm de espesor, 2,8 m de largo	1	11,45	11,45
16	Pernos M8x45mm	4	0,56	2,24
17	Arandelas M8	4	0,80	3,20
18	Tuercas M8	4	0,10	0,40
19	Motor Eléctrico Abierto WEG 1 HP Monofásico 1800rpm	1	180,00	180,00
20	Interruptor termomagnético Schneider Acti9 iC60N	1	67,30	67,30
21	Disyuntor Schneider P13019	2	77,82	155,64
22	Contactador Schneider LC1D25M7	1	119,84	119,84
23	Alambre gemelo 2x14 AWG, 1m	5	0,85	4,25
24	Pulsador	2	5,00	10,00
25	Paro de emergencia	1	5,00	5,00
26	Luz piloto	2	7,00	14,00
27	Tamiz curvo de 1000 micras	1	10,00	10,00
<b>Total</b>				<b>\$1.150,63</b>

En la tabla siguiente, se detallan los gastos relacionados con distintos métodos de mecanizado, abarcando los gastos en máquinas, herramientas y costos de mano de obra. Se proporciona una cotización detallada para cada tipo de mecanizado involucrado en el proceso.

Tabla 9. Costos de maquinado.

Ítem	Descripción	Tiempo [hora]	Costo [USD*hora]	Total
1	Torno	6	\$ 9,00	\$ 54,00
2	Fresadora	7	\$ 10,00	\$ 70,00
3	Taladro	5	\$ 3,50	\$ 17,50
4	Amoladora	7	\$ 5,00	\$ 35,00
5	Soldadora GTAW	9	\$ 24,00	\$ 216,00
6	Herramientas	8	\$ 2,00	\$ 16,00
<b>Total</b>				<b>\$ 408,50</b>

#### 4.3.2 Costos indirectos

##### a. Costos de diseño

Corresponden a los gastos requeridos para realizar la planificación de cálculos y la elaboración de planos. Estos costos integrales representan aproximadamente el 25% del gasto total.

##### b. Costos imprevistos

Estos gastos no tienen impacto en el desarrollo del proceso de construcción de la máquina, ya que no fueron planificados previamente. Engloban suministros de oficina, transporte y ajustes en la maquinaria para garantizar su adecuado funcionamiento. Conforman aproximadamente el 20% de los gastos totales.

#### 4.4 Justificación de costos

Análisis detallado de la suma total de gastos asociados al molino, con una distinción entre costos directos e indirectos, presentado en la Tabla 10 para facilitar la comprensión de la distribución financiera del proyecto.

Tabla 10. Costo total de la máquina.

Ítem	Costos	Valor total
Directos		
1	Costo de materiales	\$ 1.150,63
2	Costo de mecanizado con mano de obra	\$ 408,50
Indirectos		
1	Costo de diseño	\$ 389,78
2	Costos imprevistos	\$ 311,83
<b>Total</b>		<b>\$ 2.260,74</b>

#### 4.5 Análisis económico

En la Tabla 11 se detalla el cálculo para estimar el ingreso anual. Esta perspectiva integral se obtiene mediante la consideración de los niveles proyectados de producción mínima de la máquina y la estimación de los ingresos anuales asociados, fundamentada en un análisis económico previo [4].

Tabla 11. Producción mínima mensual de la máquina [4].

<b>Producción mínima mensual del molino</b>		
Descripción	Tiempo	Unidades
Tiempo de trabajo de la máquina (h/día)	1	hora
Producción	25	Kg/h
Días laborables (mes)	12	días
Producción mensual (Kg/mes)	300	Kg/mes
<b>Ingreso anual de la fundación El Salinerito</b>		
Descripción	Valor	Unidades
Costo por kilo de hojas secas molidas	2	USD
Ingreso mensual	600	USD
<b>Ingreso anual</b>	<b>7200</b>	<b>USD</b>

#### **4.5.1 Flujo de caja**

La gestión del flujo de efectivo juega un papel fundamental en el cálculo tanto del Valor Actual Neto (VAN) como de la Tasa Interna de Retorno (TIR). Este mismo, detallado en la Tabla a continuación, se basa en datos de un estudio económico previo realizado a la empresa El Salinerito, adaptándose a las necesidades específicas de la máquina y actualizando la información con datos del año 2023, esto proporciona información crucial para una posible implementación de la máquina [4].



Seguro del IESS	53,22		638,64	638,64	638,64	638,64	638,64	638,64	638,64	638,64	638,64	638,64
Insumo	150,00		1.800,00	1.800,00	1.800,00	1.800,00	1.800,00	1.800,00	1.800,00	1.800,00	1.800,00	1.800,00
Consumibles	30,00		360,00	360,00	360,00	360,00	360,00	360,00	360,00	360,00	360,00	360,00
Salvamento (10 años)		S	226,07									
Depreciación anual	16,96	D anual	203,47	203,47	203,47	203,47	203,47	203,47	203,47	203,47	203,47	203,47
Evaluación del proyecto		E						10 años				
<b>Ingreso total</b>			7.200,00	7.920,00	8.712,00	9.583,20	10.541,52	11.595,67	12.755,24	14.030,76	15.433,84	16.977,22
<b>Egreso total</b>			10.519,22	10.293,15	10.293,15	10.293,15	10.293,15	10.293,15	10.293,15	10.293,15	10.293,15	10.293,15
<b>Total</b>			-3.319,22	-2.373,15	-1.581,15	-709,95	248,37	1.302,53	2.462,09	3.737,62	5.140,69	6.684,08



#### 4.5.2 Valor actual neto (VAN) y Tasa interna de retorno (TIR)

La información presentada en la Tabla 13 muestra una Tasa Interna de Retorno del 14%, señalando un rendimiento positivo para el proyecto. Este porcentaje señala la eficiencia financiera y el potencial de generación de beneficios a lo largo del tiempo, consolidando aún más la viabilidad económica de la iniciativa.

Tabla 13. Resultados del VAN y el TIR.

Años	Flujo de caja
Año 0	\$ -2.260,74
Año 1	\$ -3.319,22
Año 2	\$ -2.373,15
Año 3	\$ -1.581,15
Año 4	\$ -709,95
Año 5	\$ 248,37
Año 6	\$ 1.302,53
Año 7	\$ 2.462,09
Año 8	\$ 3.737,62
Año 9	\$ 5.140,69
Año 10	\$ 6.684,08
VAN	\$ 1.938,14
TIR	14%

#### 4.5.3 Tiempo de retorno de la inversión

Se utiliza el método del Payback para calcular el tiempo de recuperación de la inversión, empleando una ecuación simple que toma en cuenta el flujo de caja y sus valores negativos. Este enfoque evalúa el periodo necesario para que los flujos de efectivo positivos iguallen las inversiones iniciales.

$$\text{Payback} = \left[ \begin{array}{l} \text{Último período con} \\ \text{flujo acumulado negativo} \end{array} \right] + \left[ \begin{array}{l} \text{Valor absoluto del último} \\ \text{flujo acumulado negativo} \\ \text{Valor del flujo de caja} \\ \text{en el siguiente período} \end{array} \right] \quad (38)$$
$$\text{Payback} = [4] + \left[ \frac{-709,95}{248,37} \right]$$
$$\text{Payback} = 6,85 \text{ años}$$

## CONCLUSIONES

Se exploraron diversas variables que afectan la producción de té, centrándose en el impacto del proceso de trituración de las hojas. Este análisis proporciona información para mejorar la calidad del té. La comparación de molinos y la elección de la transmisión de energía destacan la importancia de seleccionar la máquina adecuada.

Los experimentos proporcionaron información esencial para la elaboración del diseño del molino de martillos. La fuerza requerida para triturar hojas secas se determinó como 19,61 [N], simplificando el dimensionamiento de los martillos. El diseño resistente de los martillos y el uso del acero AISI 304 aseguran la durabilidad del sistema de corte.

El análisis del eje principal y la elección de la correa en "V" garantizan la solidez y eficacia del molino al poder suministrar la potencia necesaria para la carga a la que va a estar expuesta, debido a que opera a 1800 rpm durante 12 a 18 horas diarias. La elección del tamiz de 1000 micras asegura una molienda fina para el éxito del proceso.

La evaluación económica destaca la rentabilidad del molino de martillos, considerando costos de inversión y operativos. Tras analizar alternativas, se seleccionó este molino por su valoración positiva en diseño, el mantenimiento, los gastos y la flexibilidad son consideraciones clave, siendo adecuado para moler hojas secas. En lo que respecta a resultados, la máquina tiene la capacidad de producir 25 [Kg/h], trabajando 12 horas al mes para cubrir la necesidad mensual de 300 [Kg].

## **RECOMENDACIONES**

Es crucial tener en cuenta que la humedad de las hojas a triturar no debe superar el 12%, para garantizar un proceso eficiente. Además, se debe priorizar la seguridad utilizando equipos adecuados como gafas, mascarilla, orejeras y guantes.

Al operar el molino, es esencial comenzar el proceso antes de cargar la materia prima para permitir que el motor supere la inercia del mecanismo. Además, la persona a cargo debe revisar detenidamente el manual de operación y mantenimiento para un funcionamiento seguro y adecuado.

Se debe realizar una inspección minuciosa de la materia prima en busca de cuerpos extraños, como objetos metálicos o piedras, que podrían dañar el molino de martillos. Asimismo, la limpieza del molino al final de cada jornada laboral es fundamental, considerando que el polvo generado podría afectar tanto al motor como a las chumaceras. Estos pasos son esenciales para garantizar un proceso eficaz y seguro en la operación del molino.

## REFERENCIAS

- [1] M. Naula, “Aplicación de la técnica de deshidratación en hierbas, flores y frutas, para la elaboración de blends con té negro, té verde y té blanco,” 2016.
- [2] L. Ma, Y. Zhang, H. Ren, J. Duan, and T. Lu, “Study on optimization control of fuzzy PID in milling and crushing system,” *Proc. 31st Chinese Control Decis. Conf. CCDC 2019*, 2019, doi: 10.1109/CCDC.2019.8833061.
- [3] M. Vélez and B. Carriel, “Estudio de la planta Guaviduca (*Piper Carpunya*) y su introducción en la Gastronomía,” 2018. [Online]. Available: [http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/35905/1/Mishel Vélez y Bryan Carriel.pdf](http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/35905/1/Mishel_Vélez_y_Bryan_Carriel.pdf)
- [4] L. Pallasco and A. Jami, “Diseño y construcción de un molino para triturar hojas disecadas de plantas medicinales para ingrediente del té sachet, con capacidad de 25 kg/h para ‘La fundación familia salesiana Salinas,’” 2018. [Online]. Available: <http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/5081/1/UPS-CYT00109.pdf>
- [5] L. Samaniego, “Caracterización de la Mashua (*Tropaeolum tuberosum* C.) en el Ecuador,” 2010.
- [6] Cuadernos de la fundación Dr. Antonio Esteve, “Lino,” *Guía plantas Med. del MAGREB*, no. 18, 2003.
- [7] K. Quezada, “Elaboración de una bebida funcional tipo ‘refrescante’ a base de linaza saborizada con piña: estudio de vida útil y aporte nutricional de la formulación,” 2014.
- [8] J. Adolphe and K. Fitzpatrick, “Linaza: Un estudio nutricional,” *Healthyflax*, 2015, [Online]. Available: [https://www.healthyflax.org/quadrant/media/files/pdf/HEAL.factsheet\\_NUTRIENT\\_SP.pdf](https://www.healthyflax.org/quadrant/media/files/pdf/HEAL.factsheet_NUTRIENT_SP.pdf)
- [9] L. Calisto, “Guía de Plantas Alto Pita,” *Fondo para la protección del agua*, 2018, [Online]. Available: <http://www.fonag.org.ec/web/wp-content/uploads/2019/11/Guía-de-Plantas-de-Alto-Pita-Web.pdf>
- [10] J. Molero, M. Casares, G. Benítez, and R. González, “Manzanilla,” *Inventar. Español los Conoc. Tradic. relativos a la Biodivers.*, 2015.
- [11] J. Molero, M. Casares, G. Benítez, and R. González, “*Mentha pulegium* L.,” *Inventar.*

- Español los Conoc. Tradic. relativos a la Biodivers.*, 2015, doi: 10.1201/b10413-89.
- [12] E. Peralta, E. Villacrés, N. Mazón, M. Rivera, and C. Subía, “El Ataco, Sangorache o Amaranto negro (*Amaranthus hybridus* L.) en Ecuador,” *Estac. Exp. St. Catalina*, 2008, [Online]. Available: <http://181.112.143.123/bitstream/41000/2827/1/iniapsc322est.pdf>
- [13] R. Arcos and A. García, “Extracto natural de orégano (*Origanum vulgare*) para el tratamiento del síndrome dispéptico en adultos,” *Rev. Científica RECIMAS*, no. 1, 2022, [Online]. Available: <https://dspace.istmas.edu.ec/items/555a4b33-418d-417c-9621-aa678de9d6b2>
- [14] Cuadernos de la fundación Dr. Antonio Esteve, “Orégano,” *Guía plantas Med. del MAGREB*, no. 18, 2003.
- [15] J. E. Cárdenas, “Control biológico de *Fusarium* en hortalizas de la parroquia de San Joaquín,” 2014.
- [16] J. L. Berdonces, “La cola de caballo en fitoterapia,” vol. 1985, pp. 25–28, 1985.
- [17] M. Rigat, E. Carrió, T. Garnatje, M. Parada, and J. Vallès, “Equisetum,” *Inventar. Español los Conoc. Tradic. relativos a la Biodivers.*.
- [18] INEN, “HIERBAS AROMÁTICAS REQUISITOS,” 2016. [Online]. Available: <https://docplayer.es/231596772-Nte-inen-259-segunda-revision.html>
- [19] A. Cox, “Reglamento técnico ecuatoriano RTE INEN 068 (1R) "Café, té, hierbas aromáticas y bebidas energéticas,” no. 13044, 2014.
- [20] R. Aguilar, “Descripción de los aceros inoxidable desde un punto de vista técnico,” 2000.
- [21] IMINOX, “Conozca el Inoxidable,” *Inst. Mex. del Inox. AC*, 2012.
- [22] Bonnet, “Clasificación de los Aceros Inoxidables,” *Aceros Inox.*, p. 3, 2010, [Online]. Available: <http://www.bonnet.es/clasificacionacerinox.pdf>
- [23] A. De Vandelvira, “Motores de Corriente Alterna,” *Dep. SAP*, 2011, [Online]. Available: [http://platea.pntic.mec.es/~jgarrigo/SAP/archivos/1eva/introduccion\\_motores\\_ca.pdf](http://platea.pntic.mec.es/~jgarrigo/SAP/archivos/1eva/introduccion_motores_ca.pdf)

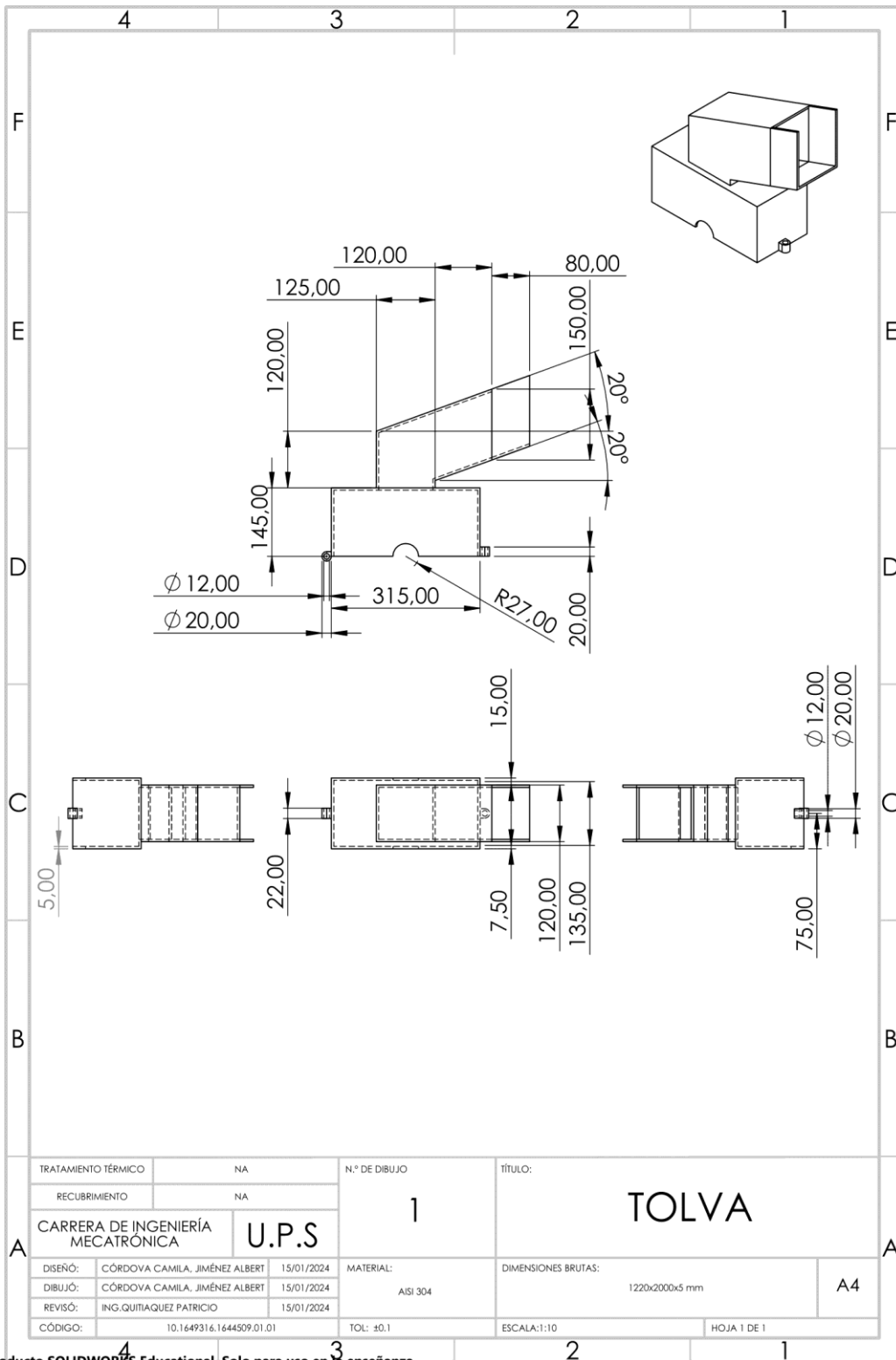
- [24] P. Compactos, “Tecnología en Electrónica y Control SRL Ficha Técnica Relé de propósito general MY”, [Online]. Available: [www.tecsc.com.ar](http://www.tecsc.com.ar)
- [25] Oerlikon, “Proceso de soldadura GMAW,” *Oerlikon*, 2013.
- [26] SUNARC, “Soldadura Mig/Mag,” *Sunarc*, 2007, [Online]. Available: [http://www.ridssso.com/documentos/muro/207\\_1414440280\\_544ea55888703.pdf](http://www.ridssso.com/documentos/muro/207_1414440280_544ea55888703.pdf)
- [27] CNFI, “Proceso de Soldadura TIG,” *Cent. autonómico Form. e innovación*, 2012.
- [28] Federación de enseñanza de CC.OO. de Andalucía, “Tipo de Uniones Soldadas,” *Rev. Digit. para Prof. la enseñanza*, 2010, [Online]. Available: <https://www.feandalucia.ccoo.es/docu/p5sd6731.pdf>
- [29] V. Capa, “Diseño de conexiones soldadas,” 2009. [Online]. Available: <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/8497/3/CD-2066.pdf>
- [30] C. Salas, “Diseño de un molino de rodillos para molienda de granos, destinado al área de alimentos del CESTTA-ESPOCH,” 2012.
- [31] H. El Ghobashy *et al.*, “Development and evaluation of a dual-purpose machine for chopping and crushing forage crops,” *Heliyon*, vol. 9, no. 4, 2023, doi: 10.1016/j.heliyon.2023.e15460.
- [32] T. Chikuku, R. N. Mushonga, T. Sakala, W. R. Nyemba, and S. Chinguwa, “Design of a small-scale granite stone crusher,” *Procedia CIRP*, vol. 91, no. March, 2020, doi: 10.1016/j.procir.2020.03.119.
- [33] A. Armatmontree, W. San-Um, and C. Keatmanee, “Design and Analysis of a Hammer Mill Machine in High-Efficacy Recycle Process,” *Proc. Conf. Ind. Commer. Use Energy, ICUE*, vol. 2018-October, no. October, pp. 1–6, 2018, doi: 10.23919/ICUE-GESD.2018.8635728.
- [34] F. Silva, W. Freire, and M. Pilatasig, “Eficiencia energética en el proceso de molienda de productos deshidratados, con molino de martillos,” *2016 IEEE Int. Conf. Autom. ICA-ACCA 2016*, pp. 1–8, 2016, doi: 10.1109/ICA-ACCA.2016.7778492.
- [35] L. O. Pordesimo, C. Igathinathane, and G. A. Holt, “Hammer milling switchgrass from weathered bales,” *Ind. Crops Prod.*, vol. 197, no. January, p. 116647, 2023, doi: 10.1016/j.indcrop.2023.116647.

- [36] B. L. Iverson and P. B. Dervan, “TIPOS DE MECANISMOS,” 2009.
- [37] R. Budynas and K. Nisbett, *Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley*, 8th ed. 2008.
- [38] R.C. Hibeller, *Mechanical Engineering: Dynamics*. 2016.
- [39] J. Gere, *Mecánica de Materiales*. 2002.
- [40] R. Budynas and K. Nisbett, *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley*, 10th ed. Mc Graw Hill, 2012.
- [41] R. S. Khurmi and J. K. Gupta, *A Textbook of Machine Design*. 2005.
- [42] J. Pavón, “Diseño y construcción de un molino artesanal para la molienda de granos secos de capacidad 250 kg/h,” 2013. [Online]. Available: <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/6940/1/CD-5195.pdf>
- [43] F. Beer, R. Johnston, and P. Cornwell, *Mecánica Vectorial para Ingenieros: Dinámica*. Mc Graw Hill, 2010.
- [44] C. Churo and S. Guamushig, “Diseño y construcción de molino eléctrico triturador para la reutilización de resina poliéster en esculturas religiosas con capacidad de 25 kg/h,” 2020. [Online]. Available: <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/18503%0Ahttp://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/5081/1/UPS-CYT00109.pdf>
- [45] V. Días de León, L. González, J. Rosete, and N. Díaz de León, *Mecánica de materiales: Teoría y aplicaciones*. 2018.
- [46] N. E. Helwig, S. Hong, and E. T. Hsiao-wecksler, “Factor de seguridad y esfuerzo de diseño permisible”.
- [47] Robert L. Mott, *Diseño de Elementos de Máquinas*, vol. 4. 2006. [Online]. Available: <http://libreria-universitaria.blogspot.comwww.freelibros.com>
- [48] L. Guayllas and J. Montero, “Diseño y construcción de un molino de martillos con tamiz intercambiable, para pulverizar yeso crudo,” 2012.
- [49] Intermec, “Poleas en V,” *Intermec*, 2015, [Online]. Available: <https://fdocuments.ec/document/manual-poleas-en-v-intermec.html>
- [50] Intermec, “CUÑAS Y CUÑEROS ESTÁNDAR”.

- [51] E. Miranda and L. E. Medina, “Caracterización Del Producto Molido De Hueso De Res Calcinado Para Su Utilización Como Abono Orgánico,” *Tesis*, pp. 1–100, 2015, [Online]. Available: <http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/5081/1/UPS-CYT00109.pdf>
- [52] R. D. E. Materiales and M. Teorico, “Diseño de tolva minera”.
- [53] J. Vargas, “Obtención por molienda mecánica de polvos poliméricos,” 2004.
- [54] BULNES MBA, “Catálogo De Soportes Bearing Units Catalog,” 2014.
- [55] Böhler Welding, “Böhler AWS ER308L,” no. 12939, p. 14343, 2015.

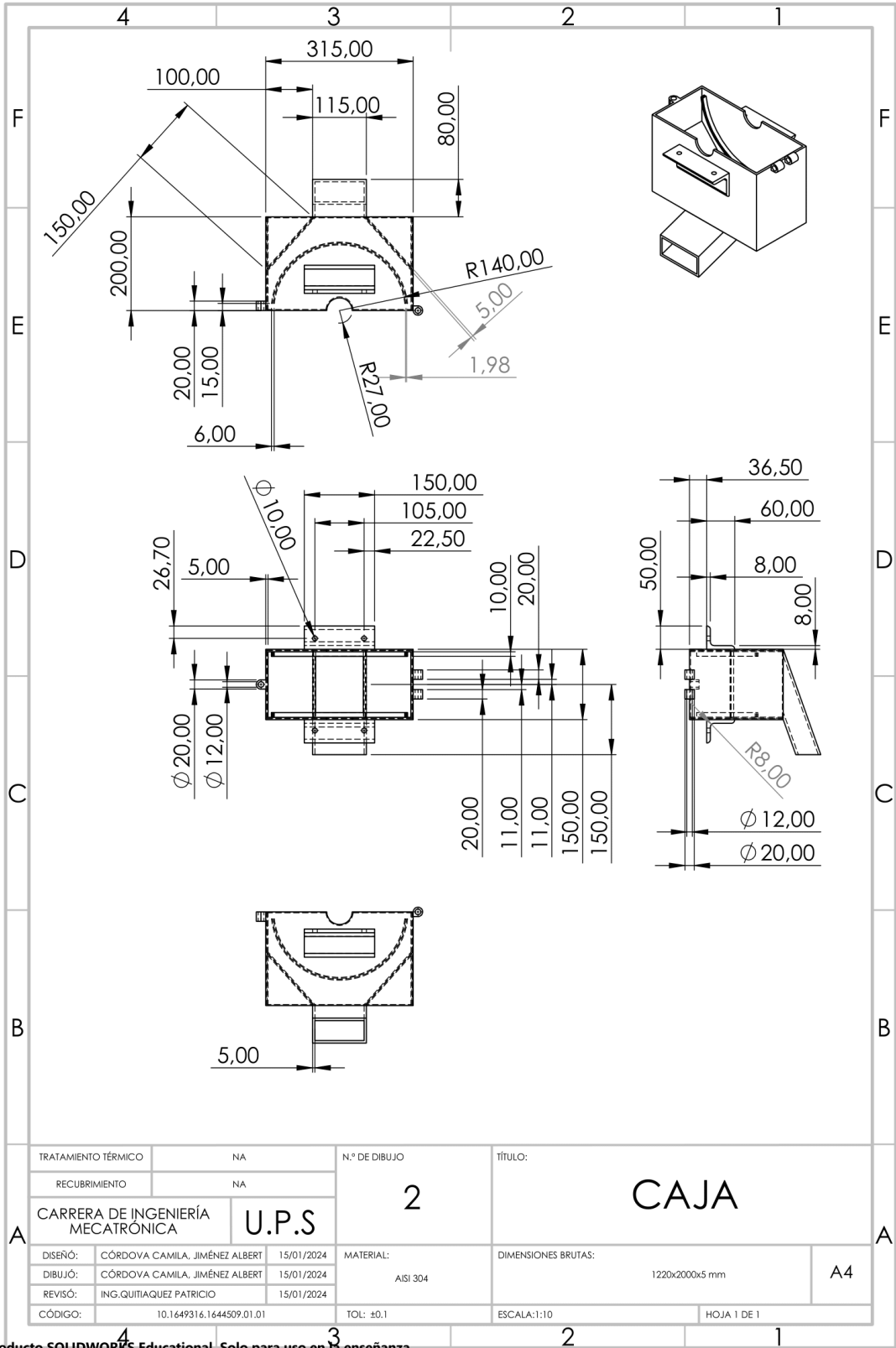


# ANEXOS



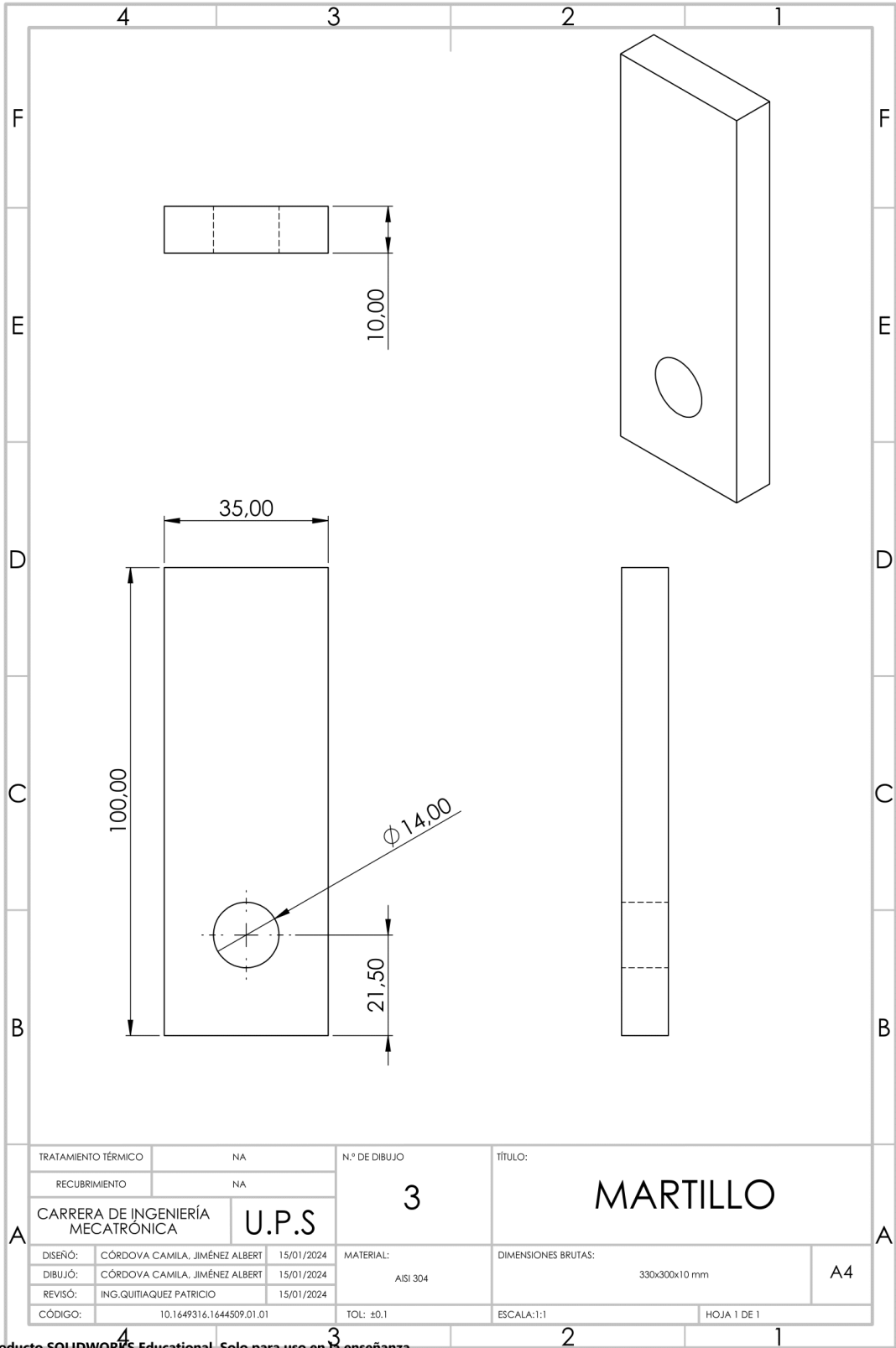
Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.

Anexo 1. Plano Tolva.



Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.

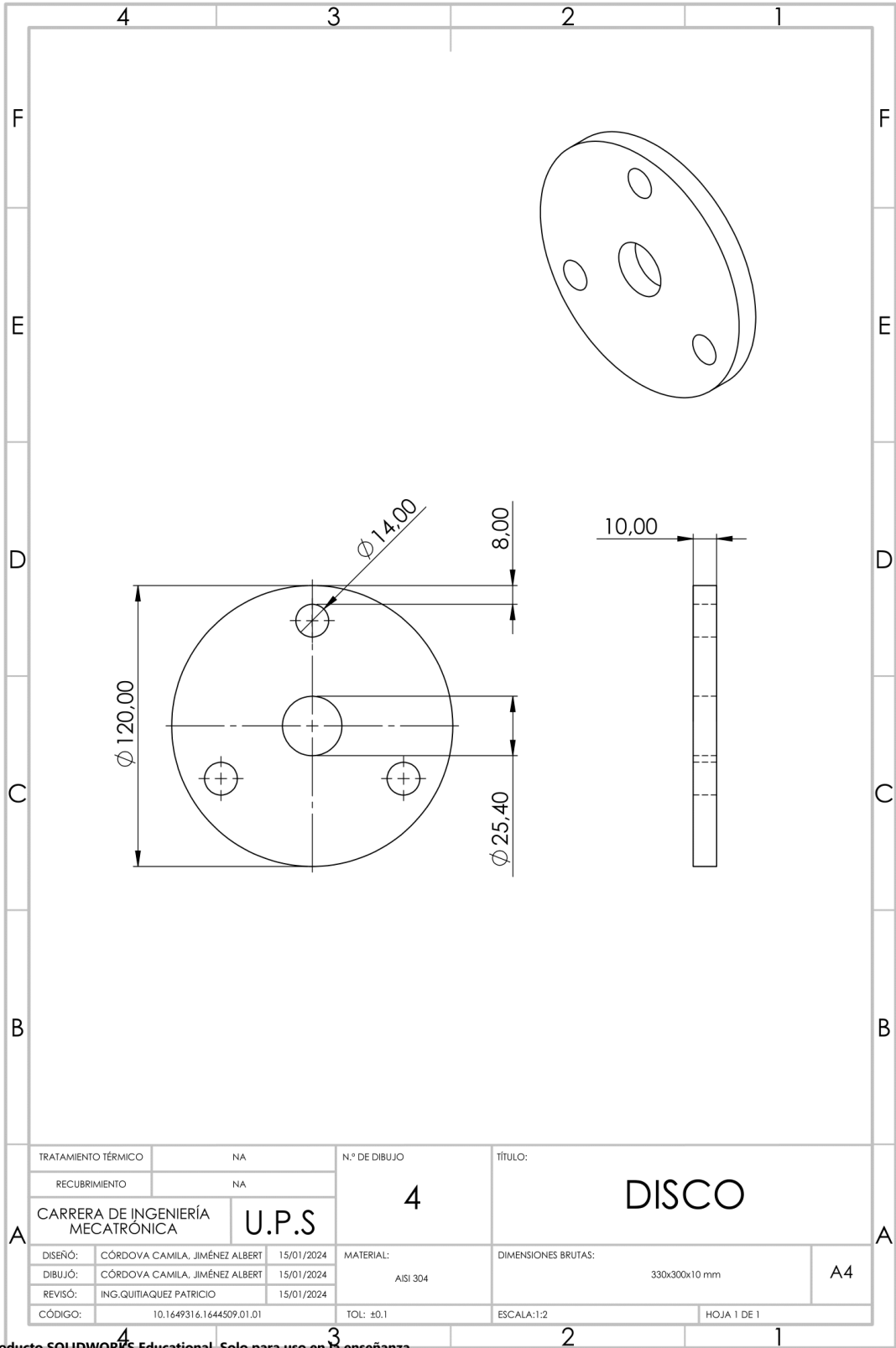
Anexo 2. Plano Caja.



TRATAMIENTO TÉRMICO	NA	N.º DE DIBUJO	TÍTULO:
RECUBRIMIENTO	NA	3	MARTILLO
CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA	U.P.S		
DISEÑO:	CÓRDOVA CAMILA, JIMÉNEZ ALBERT	15/01/2024	MATERIAL:
DIBUJO:	CÓRDOVA CAMILA, JIMÉNEZ ALBERT	15/01/2024	AISI 304
REVISÓ:	ING.QUITIAQUEZ PATRICIO	15/01/2024	DIMENSIONES BRUTAS:
CÓDIGO:	10.1649316.1644509.01.01	TOL: $\pm 0.1$	330x300x10 mm
		ESCALA: 1:1	A4
			HOJA 1 DE 1

Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.

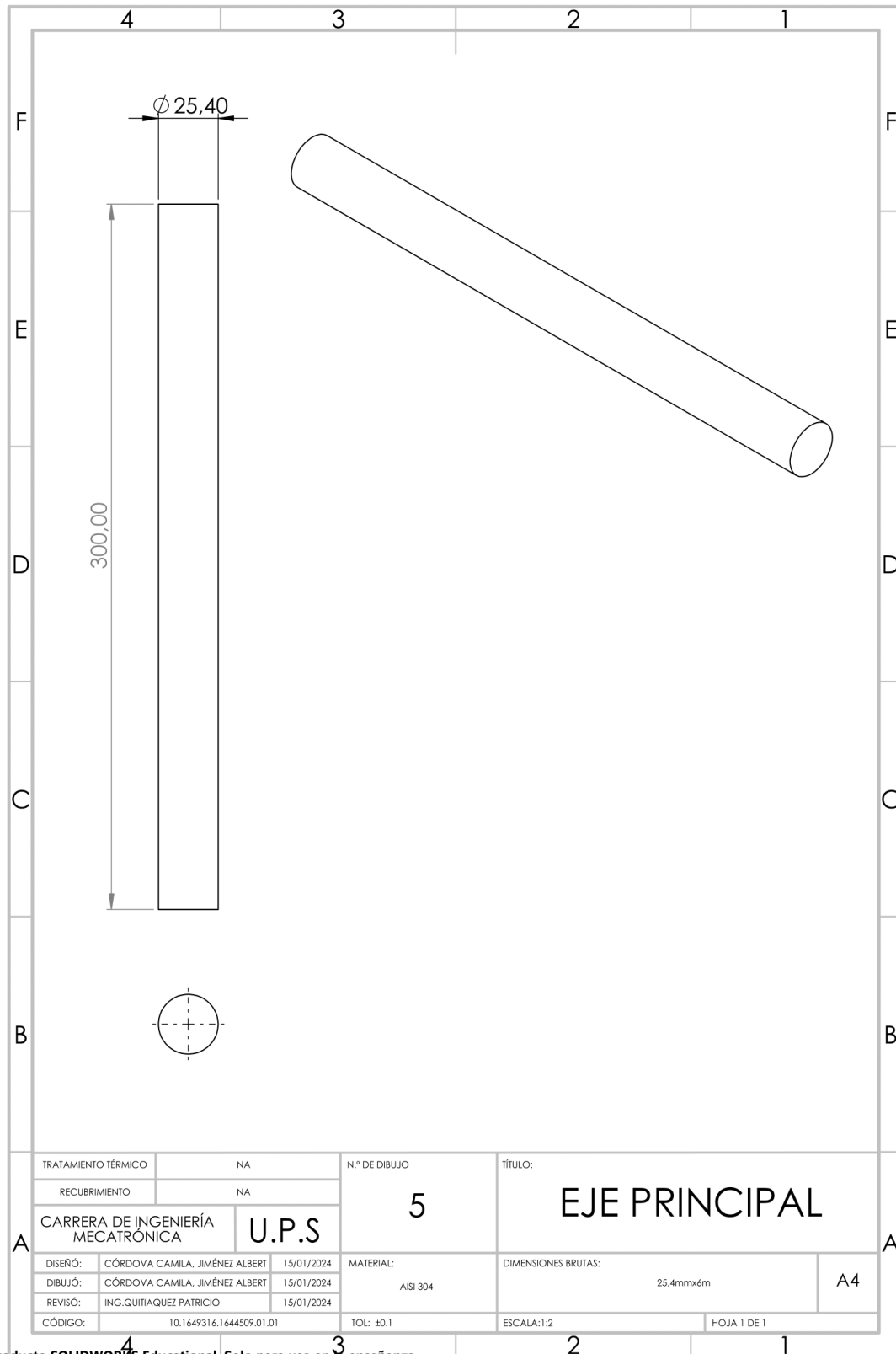
Anexo 3. Plano Martillo.



TRATAMIENTO TÉRMICO	NA	N.º DE DIBUJO	TÍTULO:
RECUBRIMIENTO	NA	4	DISCO
CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA		U.P.S	
DISEÑO:	CÓRDOVA CAMILA, JIMÉNEZ ALBERT	15/01/2024	MATERIAL:
DIBUJO:	CÓRDOVA CAMILA, JIMÉNEZ ALBERT	15/01/2024	AISI 304
REVISÓ:	ING.QUITIAQUEZ PATRICIO	15/01/2024	DIMENSIONES BRUTAS:
CÓDIGO:	10.1649316.1644509.01.01	TOL: ±0.1	330x300x10 mm
		ESCALA:1:2	A4
			HOJA 1 DE 1

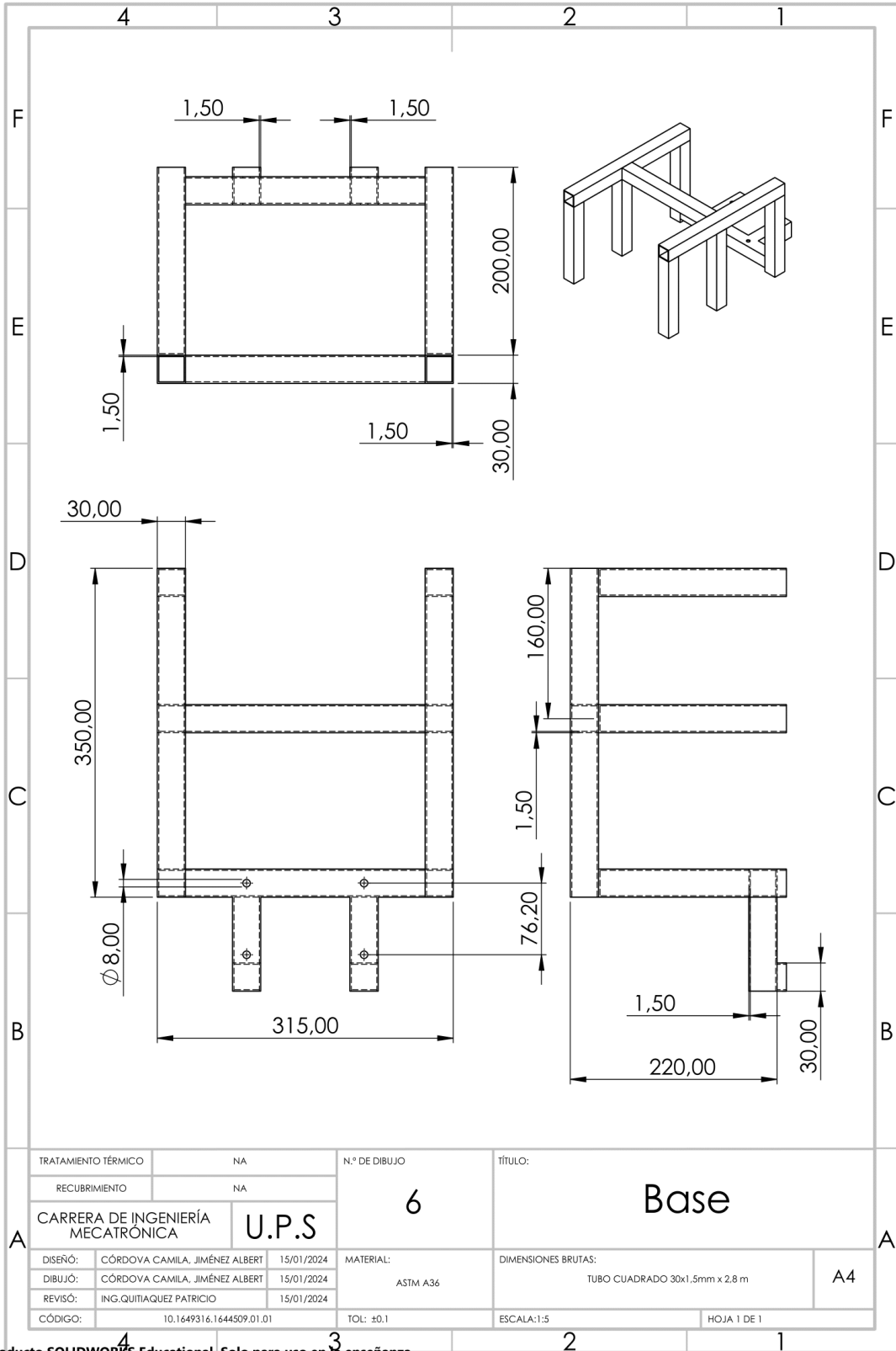
Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.

Anexo 4. Plano Disco.



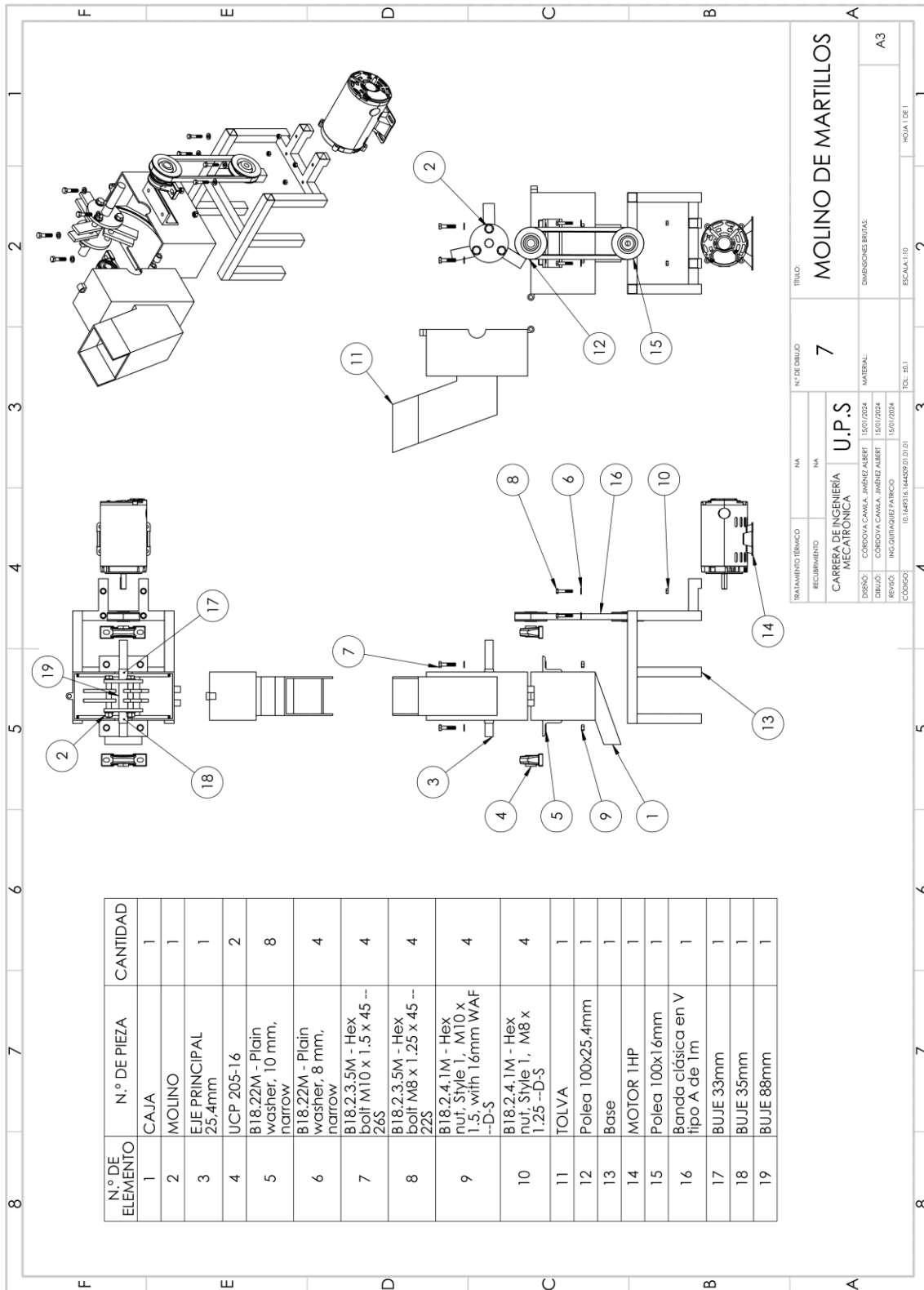
Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.

Anexo 5. Plano Eje Principal.



Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.

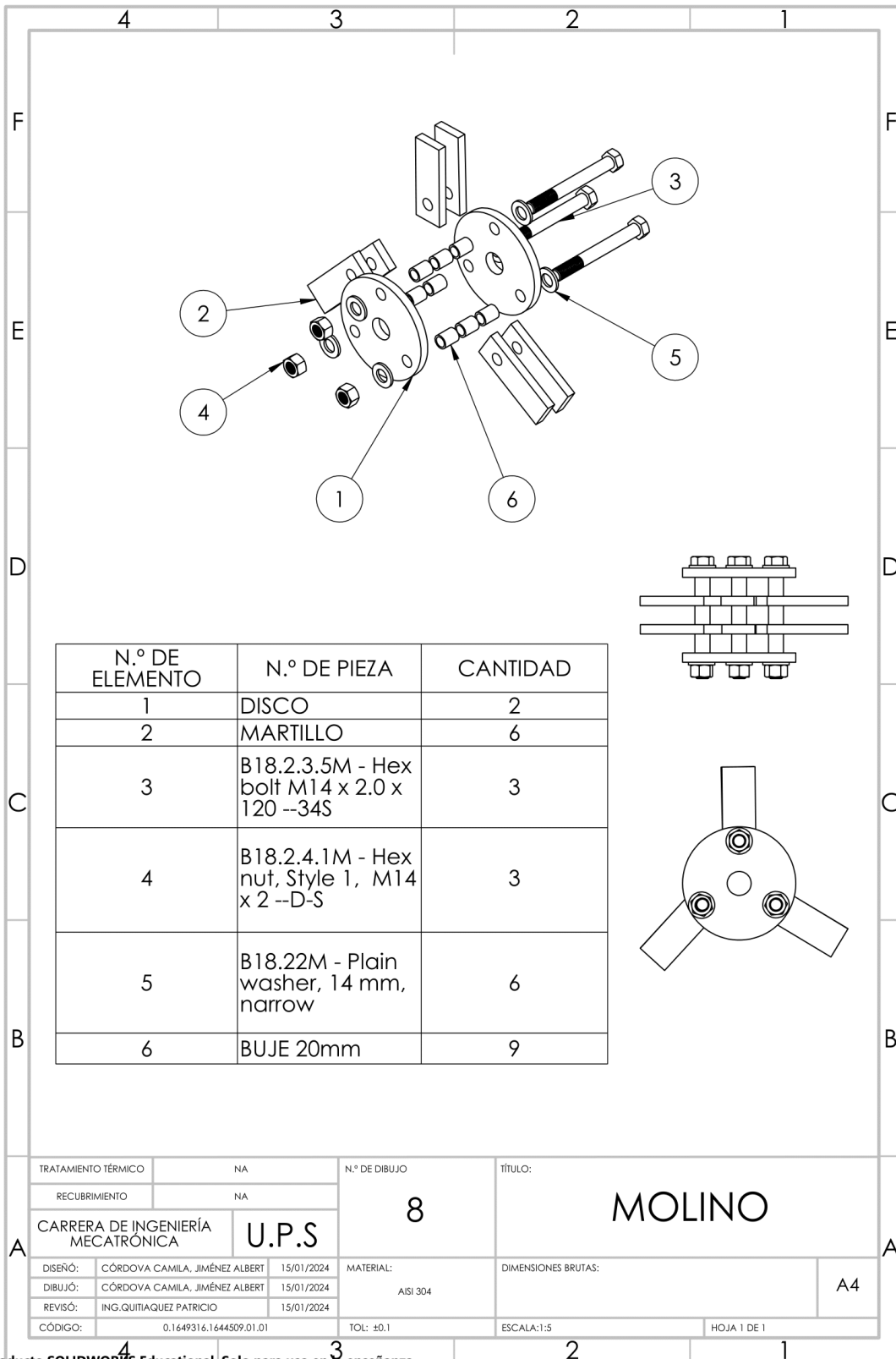
Anexo 6. Plano Base.



TITULO:	MOLINO DE MARTILLOS	
N.º DE DIBUJO:	7	
TRATAMIENTO TÉCNICO:	NA	NA
ECUADOR:	U.P.S	
CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA:	15/01/2024	
DESARROLLO:	CORDOVA CAMILA JIMENEZ ALBERT	15/01/2024
DISEÑO:	CORDOVA CAMILA JIMENEZ ALBERT	15/01/2024
REVISIÓN:	ING. GUSTAVO PARRA	15/01/2024
CODIGO:	10.1449316.144489.01.01	
TOL:	1:1	
ESCALA:	1:10	
HOJA:	1 DE 1	

Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.

Anexo 7. Plano de despiece del molino de martillos.



Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.

Anexo 8. Plano de subconjunto del molino.



## MANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

### Indicaciones generales

- El usuario debe seguir estrictamente las indicaciones del manual para garantizar su seguridad.
- Se prohíbe cualquier manipulación de los mecanismos mientras la máquina está en funcionamiento.
- Únicamente se deben abrir las cubiertas para mantenimiento, y solo personal autorizado puede hacerlo.
- Es fundamental que el usuario reconozca y comprenda los símbolos de advertencia ubicados en la máquina para identificar los peligros potenciales.

### Preparación inicial – Máquina nueva

#### Limpieza Inicial

- Antes de comenzar a operar la máquina, el usuario debe lavar el interior con agua tibia.

#### Conexión y Encendido

- Conectar la máquina a 220V.
- Iniciar la máquina con la solución indicada durante 3 minutos, apagándola después y permitiendo que se seque al aire libre.

#### Durante la operación

- Realizar una inspección visual para asegurarse de que todos los elementos del mecanismo estén correctamente ajustados y en buen estado.
- Evitar cualquier reparación mientras la máquina esté en movimiento para prevenir riesgos.
- El usuario debe vestir indumentaria adecuada y mantener su cabello recogido para evitar atrapamientos en partes giratorias.
- Encienda el molino antes de cargar la materia prima para evitar problemas de arranque.

- Realice una inspección de la materia prima para evitar daños en el molino debido a la presencia de objetos extraños, como metal.

### **Equipo de Protección Personal**

Es obligatorio que el usuario utilice guantes, gafas de seguridad, protectores auditivos, mascarilla y cualquier otro equipo necesario para mantener su seguridad.

## PLAN DE MANTENIMIENTO

A continuación, se presenta las actividades a realizar para un correcto mantenimiento de la máquina trituradora y de esta manera evitar imprevistos en su funcionamiento.

Elemento	Actividades	Tiempo de Mantenimiento
	Inspección visual en busca de desgastes o mordeduras anormales.	1 vez al mes (30 minutos)
Correas	Verificación de la temperatura de las correas, asegurando que estén dentro de rangos normales.	1 vez al mes (15 minutos)
	Giro manual para evaluar el estado del guiado de las correas.	1 vez al trimestre (20 minutos)
	Sustitución de correas con mordeduras o al alcanzar el final de su vida útil.	Según necesidad
Chumaceras	Inspección visual para confirmar que las chumaceras estén en buen estado.	1 vez al mes (15 minutos)
	Aplicación regular de lubricación.	1 vez al trimestre (20 minutos)
	Reemplazo de chumaceras al llegar al final de su vida útil.	Según necesidad
Motor	Limpieza externa del motor.	1 vez al mes (15 minutos)
	Verificación de conexiones eléctricas para prevenir posibles fallas que puedan afectar el mecanismo.	1 vez al bimestre (20 minutos)

*Anexo 9. Plan de mantenimiento para el molino de martillos.*



*Anexo 10. Obtención de la fuerza de manera experimental.*



*Anexo 11. Toma de datos sin carga.*



*Anexo 12. Toma de datos con carga*



*Anexo 13. Toma de datos para la trituración.*





*Anexo 14. Autores del proyecto de tesis.*