

**Instituto de Educación Superior Tecnológico Público**

**“De las Fuerzas Armadas”**



## **TRABAJO DE APLICACIÓN PROFESIONAL**

**DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN MOLINO DE MARTILLO PARA  
MOLER GRANOS DE MAÍZ, TRIGO, CEBADA Y HABAS QUE  
FACILITE LA PRODUCCIÓN DE HARINAS A LOS POBLADORES  
DE LA PROVINCIA DE PAUCARTAMBO DEPARTAMENTO DEL  
CUSCO – 2023**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL TÉCNICO EN**

**MECÁNICA DE PRODUCCIÓN**

**PRESENTADO POR:**

**ESPIRILLA ORURO, Alberth Jose**

**LIMA, PERÚ**

**2025**



A mis padres, José y Apolinaria y a mi novia Noemi, por su amor y apoyo incondicional. Su guía y motivación han sido muy fundamentales para alcanzar mis metas y hacer realidad este proyecto. Gracias por creer en mí y ayudarme a alcanzar mis metas.

## **Agradecimiento**

A Dios por guiarme y darme la fortaleza para seguir adelante y la fuerza para ser valiente en todas las situaciones que se presentaron.

a mis padres, José y Apolinaria, por su papel fundamental en la conformación completa de quien soy hoy. Muchos de mis éxitos, incluido este logro actual, se deben a su impacto significativo. Me formaron dentro de un sistema de reglas balanceado que permitía cierta independencia, y siempre impulsaron mi motivación interna para alcanzar mis metas tanto personales como laborales.

A mi hermana, Carmen Rosa, quiero expresarles mi profundo agradecimiento por su apoyo constante e incondicional durante toda mi trayectoria académica. Su ánimo y motivación jugaron un papel esencial para que pudiera lograr este importante éxito en mi vida.

A mi novia Noemí, deseo expresarle mi más sincero agradecimiento por confiar en mí a lo largo de todo este proceso. Tu respaldo constante, tu paciencia inquebrantable y tu amor han sido la fuerza que me impulsa. Gracias por ser mi pilar y mi fuente de inspiración.

Agradezco a los maestros del Instituto de Educación Super Tecnológico Público “De las Fuerzas Armadas” (IESTPFFAA) con todos los conocimientos que me ha otorgado.

Finalmente agradezco a quien lee este apartado, por permitir compartir mis experiencias, investigaciones y conocimiento.

## Índice

|                                                         |    |
|---------------------------------------------------------|----|
| Agradecimiento .....                                    | 4  |
| Resumen .....                                           | 9  |
| Introducción.....                                       | 10 |
| 1.1. Formulación del problema .....                     | 12 |
| 1.1.1. <i>Problema General</i> .....                    | 13 |
| 1.1.2. <i>Problemas Específicos</i> .....               | 13 |
| 1.2. Objetivos.....                                     | 13 |
| 1.2.1. <i>Objetivo General</i> .....                    | 13 |
| 1.2.2. <i>Objetivos Específicos</i> .....               | 13 |
| 1.3. Justificación .....                                | 14 |
| 2.1. Estado del arte.....                               | 16 |
| 2.1.1. <i>Antecedentes internacionales</i> .....        | 16 |
| 2.1.2. <i>Antecedentes Nacionales</i> .....             | 17 |
| 2.2. Bases teóricas.....                                | 19 |
| 2.2.1. <i>Granos andinos</i> .....                      | 19 |
| 2.2.2 <i>Evolución de molinos de granos</i> .....       | 19 |
| 2.2.3 <i>Tipos molinos</i> .....                        | 22 |
| 2.2.3 <i>Diseño de máquinas industriales</i> .....      | 24 |
| 2.2.4 <i>Metodologías de diseño</i> .....               | 25 |
| 2.2.5. <i>Diseño asistido por computadora</i> .....     | 28 |
| 2.2.6 <i>Ingeniería Asistida por Computadora</i> .....  | 28 |
| 2.2.7 <i>Manufactura asistida por computadora</i> ..... | 29 |
| 3.1. Finalidad .....                                    | 31 |
| 3.2. Propósito .....                                    | 31 |
| 3.3. Componentes .....                                  | 31 |

|                                                                               |    |
|-------------------------------------------------------------------------------|----|
| 3.4. Actividades .....                                                        | 33 |
| 3.4.1 <i>Análisis del estado del arte</i> .....                               | 33 |
| 3.4.2 <i>Árbol de funciones</i> .....                                         | 33 |
| 3.4.3 <i>Tabla de especificaciones</i> .....                                  | 34 |
| 3.4.3 <i>Diseño conceptual</i> .....                                          | 36 |
| 3.4.4.3 Matriz morfológica .....                                              | 36 |
| 3.4.6. Diseño mediante software CAD por elemento .....                        | 40 |
| 3.4.7. Análisis FEM mediante software CAE .....                               | 44 |
| 3.4.8. <i>Ensamble y animación de la máquina de molino de martillos</i> ..... | 46 |
| 3.4.9. <i>Elaboración de planos</i> .....                                     | 47 |
| Resultados .....                                                              | 50 |
| Conclusiones y Recomendaciones .....                                          | 55 |
| 5.1. Conclusiones .....                                                       | 56 |
| 5.2. Recomendaciones .....                                                    | 56 |
| Referencia Bibliográfica.....                                                 | 57 |
| Apéndice A.- Cronograma de actividades .....                                  | 62 |
| Apéndice B.- Presupuestos Medios y Materiales .....                           | 63 |
| Apéndice C.- EQUIPO, MANO DE OBRA COSTO DE PRODUCCION Y OTROS .....           | 64 |

## Índice de figura

|                                                                                                               |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1. Cereales y legumbres andinos .....                                                                  | 19 |
| Figura 2. Molino de manual - cónico .....                                                                     | 20 |
| Figura 3. Molinos de tracción animal.....                                                                     | 20 |
| Figura 4. <i>Molino de agua</i> .....                                                                         | 21 |
| Figura 5. Molino de viento .....                                                                              | 21 |
| Figura 6. Molino de pines.....                                                                                | 22 |
| Figura 7. Molino de rodillos.....                                                                             | 22 |
| Figura 8. Molino de plato con diferentes discos.....                                                          | 23 |
| Figura 9. Molino de martillos.....                                                                            | 23 |
| Figura 10. Metodologías prescriptivas .....                                                                   | 26 |
| Figura 11. etapas del proceso de diseño según la Norma VDI 2221.....                                          | 27 |
| Figura 12. Pieza en 3D - Diseño asistido por computadora .....                                                | 28 |
| Figura 13. Fluido pasando por una llave – diseño de Ingeniería asistida por computadora                       | 29 |
| Figura 14. Manufactura asistida por computadora .....                                                         | 29 |
| figura 15. Árbol de funciones de una máquina de molinos de martillos. ....                                    | 34 |
| Figura16. Caja negra.....                                                                                     | 36 |
| figura17. Bosquejo a mano alzada por partes; tova, armazón del molino, partes del conjunto de martillos. .... | 39 |
| Figura 18. Bosquejo a mano alzada del diseño completo del molino de martillos .....                           | 40 |
| figura 19. Diseño de la estructura mediante Autodesk Inventor .....                                           | 40 |
| Figura 20. Diseño del mandril y los ejes tensores. ....                                                       | 41 |
| Figura 21. Martillo y porta martillo tipo 1.....                                                              | 42 |
| figura 22. Diseñó de tolva de entra en Autodesk Inventor .....                                                | 42 |
| Figura 23. Fórmula para hallar el volumen de una pirámide.....                                                | 43 |
| Figura24 <i>Diseño de la cámara superior e inferior Autodesk Inventor</i> .....                               | 44 |
| Figura 25. Estructura del molino de martillos sometido a la Tención de Von Mises .....                        | 45 |
| Figura 26. Análisis de esfuerzos al mandril porta martillos ala tención de Von Mises .....                    | 45 |
| Figura 27. Ensamblaje del martillo sometida a la tensión de Von Mises.....                                    | 46 |
| Figura 28. Ensamble del molino de martillo mediante software CAD. ....                                        | 47 |
| Figura 29. Planos de molino de martillo .....                                                                 | 48 |

## Índice de tabla

|                                                                     |    |
|---------------------------------------------------------------------|----|
| Tabla 1. Lista de especificación del motocultor .....               | 35 |
| Tabla 2. Matriz morfológica.....                                    | 37 |
| Tabla 3. Análisis de fuerza para Eje principal de 250N .....        | 50 |
| Tabla 4. Análisis de FEM al eje principal. ....                     | 51 |
| Tabla 5. Análisis de fuerza del ensamblaje de martillos a 494N..... | 51 |
| Tabla 6. Análisis de FEM al ensamblaje de martillos .....           | 52 |
| Tabla 7. Análisis de fuerza de la estructura.....                   | 53 |
| Tabla 8. Análisis de FEM en la estructura .....                     | 53 |

## **Resumen**

El objetivo de este Trabajo de Aplicación Profesional es realizar el diseño y la simulación (diseñar y modelar) de un molino de martillos que beneficiará a la Provincia de Paucartambo, en el departamento de Cusco.

Esta máquina se ha concebido para triturar los cereales producidos en la región, dado que actualmente no existe maquinaria similar, lo que la convierte en un recurso valioso para los habitantes, facilitando las tareas de trituración y optimizando el tiempo de trabajo.

Una vez identificada la herramienta necesaria, se decidió realizar su diseño utilizando un software de diseño mecánico, abarcando los componentes esenciales, así como la estructura y el motor eléctrico.

Como resultado, se logró simular el molino en un software de diseño asistido por ordenador, lo que permite visualizar su funcionamiento.

*Palabras clave:* Simulación, diseño, eléctrico, software, componentes

## Introducción

En este estudio se presenta la problemática que tiene la provincia de Paucartambo en desarrollar las actividades de triturado y obtener harinas del consumo humano, por este motivo se proyecta diseñar un molino de martillos para la elaboración de harinas y facilitar el trabajo. Verificando la **elaboración rudimentaria de triturado en la provincia de Paucartambo** se observó que tienen un avance muy lento en la molienda de cereales y para ayudar a resolver la problemática indicada se requiere diseñar un molino de martillos para hacer harinas de cereales

La finalidad del molino de martillo es de mejorar el triturado y el tiempo en que se realiza, por ello el diseño se viene realizando para reducir el tiempo de triturado.

Capítulo I: En este capítulo, se realizó la determinación del problema, se plantearon los objetivos de la investigación y la justificación del trabajo.

Capítulo II: Se desarrolló la investigación teórica, se describió el estado de arte y las bases teóricas.

Capítulo III: En este capítulo se describieron la finalidad, propósitos, componentes, actividades y limitaciones que se presentaron durante la ejecución del presente Trabajo de Aplicación Profesional.

Capítulo IV: Se describieron los resultados de la investigación luego de haberlos ejecutado en la simulación.

Capítulo V: En este último capítulo se desarrolló, las conclusiones y recomendaciones del Trabajo de Aplicación Profesional.

**Capítulo I**  
**Determinación del Problema**

### 1.1. Formulación del problema

El avance tecnológico en la industria harinera ha llevado a una mayor atención a la reducción del tamaño de partículas de granos secos para garantizar productos inocuos y facilitar procesos posteriores. Para lograr esto, se han creado tecnologías que facilita la fragmentación del material en partículas más pequeñas a través de la acción mecánica de martillos, lo que minoriza los costos de implementación y producción. En el laboratorio industrial de la Facultad de Ciencias de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, se ha reconocido la necesidad de realizar un molino de martillos innovador y funcional para el desarrollo integral de los estudiantes. Por lo tanto, lograron diseñar y construir un nuevo molino de martillos para procesar arveja y maíz, lo que acortará los costos de adquisición de materia prima y permitirá un mejor estudio del procedimiento. (Cayambe Guaman, & Donoso Oviedo, 2023)

Como mencionó Delgado (2019), el proyecto busca aumentar la eficiencia de trituración en la empresa “Molino’s San Antonio de Padua S.A.C” mediante el rediseño del molino de martillos. Se propone incorporar un sistema de doble eje y control automático, priorizando criterios de diseño clave para mejorar la competitividad. El rediseño pretende reducir costos de mano de obra, mantenimiento, equipos y herramientas, solucionando problemas actuales como atascos, desgaste de martillos y deformaciones en la criba. La iniciativa beneficiará no solo a procesadoras de maíz amarillo duro, sino también a empresas de trigo, arroz y maní en la región de Lambayeque, donde muchas usan maquinaria tradicional y enfrentan dificultades similares. El nuevo diseño ayudará a disminuir la contaminación, y el doble eje y el control automático minimizarán las pérdidas de producto y la contaminación auditiva, gustativa y visual. Se implementarán variadores de velocidad y sensores para optimizar el funcionamiento. Aunque la mayoría de industrias molidoras peruanas usan equipos convencionales, este proyecto se concentra en el rediseño del molino de martillos para la molienda de maíz amarillo duro en “Molino’s San Antonio de Padua S.A.C”.

Observando que en la actualidad el avance tecnológico acapara los métodos de producción de las compañías del sector alimenticio, se ha observado que en la provincia de Paucartambo aún no se cuenta con un molino para la producción de harinas de granos para el consumo local, ya que se cuenta con los molinos tradicionales donde el poblador tarda mucho tiempo en convertir granos en forma de harina y también se observa la dificultad de maniobrar los molinos tradicionales impulsados por una corriente de agua, aparte de eso las harinas que se producen muy lentamente, por ello es importante plantear un diseño

orientado a emplear tecnologías actuales que permita ayudar a la población a mejorar la efectividad del proceso productivo y optimizar tiempos. El diseño propuesto se debe realizar con actuadores eléctricos, y a la vez debe ser compacta y de fácil manejo.

### **1.1.1. Problema General**

¿Cómo mejorar la producción de harinas de granos de maíz, trigo, cebada y habas que facilite la obtención de harinas para los pobladores de la provincia de Paucartambo departamento del Cusco?

### **1.1.2. Problemas Específicos**

¿Cómo determinar las dimensiones de los elementos mecánicos para la construcción de una maquina moledora de granos para la producción de harinas en la provincia de Paucartambo?

¿De qué manera se puede determinar y determinar las características técnicas de la máquina molienda?

¿Cómo seleccionar los materiales para la fabricación del molino de martillo?

## **1.2. Objetivos**

### **1.2.1. Objetivo General**

Diseñar y simular un molino de martillo para moler granos de maíz, trigo, cebada y habas que facilite la producción de harinas a los pobladores de la provincia de Paucartambo departamento del Cusco.

### **1.2.2. Objetivos Específicos**

Determinar las dimensiones de los elementos mecánicos necesarios para el diseño y construcción de una máquina moledora de granos destinada a la producción de harinas en la provincia de Paucartambo.

Elaborar la documentación técnica que permita determinar de forma clara y detallada las características funcionales, estructurales y operativas de la máquina de molienda, con el propósito de facilitar su construcción, evaluación y mantenimiento.

Seleccionar los materiales para la fabricación de un molino de martillos, considerando criterios de resistencia mecánica, durabilidad, disponibilidad local y costo, con el fin de garantizar un funcionamiento eficiente y una vida útil prolongada del equipo

### 1.3. Justificación

**Justificación teórica.** -Desde la perspectiva social el proyecto busca impulsar el crecimiento del sector agroindustrial a través de pruebas y transferencia de tecnología a comunidades rurales y productores. El objetivo es diseñar un molino que sea flexible y pueda ser instalado en áreas rurales. Además, se busca mejorar significativamente la operatividad y eficiencia del equipo a través de experimentos y mejoras. (Freire Loor & Lalbay Fuentes, 2022).

**Justificación metodológica:** La trituration manual de granos consume tiempo y esfuerzo físico, y, además, aumenta los costos de adquisición de materia prima. Esto hace necesario construir un molino para reducir costos de productividad y aumentar el proceso de las harinas. Además, el molino evita la contaminación del alimento durante el transporte y garantiza el uso de productos naturales y no químicos en la producción. El proyecto se justifica desde un punto de vista ingenieril, que requiere criterios y parámetros de diseño específicos para asegurar el óptimo funcionamiento del molino. Además, reemplaza procesos artesanales por procesos más avanzados y eficientes, lo que tiene implicaciones a nivel internacional. (Cayambe y Donoso, 2023).

**Justificación práctica:** Se realizó este proyecto para cubrir las necesidades de los pobladores que requieren un molino de martillo para el área de molienda de cereales y que esta se pueda realizar de manera eficiente. Ofrecerá en la población nuevas oportunidades de negocio para el sector de consumo humano para desarrollar un mercado interno que les permita mejorar la calidad de vida. Trae consigo beneficios para los usuarios teniendo en cuenta que en el desarrollo de la actividad de molienda convencional es muy necesario el uso de fuerza. El uso del molino de granos es una tecnología que se viene empleando desde hace mucho tiempo, para la realización de diferentes actividades de producción en el ámbito de producción de harinas como; maíz, trigo, cebada y habas.

## **Capítulo II**

### **Marco Teórico**

## 2.1. Estado del arte

### 2.1.1. Antecedentes internacionales

Cayambe y Donoso (2023), plantearon como objetivo diseñar y construir un molino de martillos para triturar granos secos de arveja y maíz para un Laboratorio de Procesos Industriales. La metodología empleada en el diseño del molino de martillos se basó en la caracterización de la materia prima, específicamente los granos secos de maíz y arveja, siguiendo las normas INEN NTE 187:2013 y INEN NTE 1562:2013, respectivamente. Luego, se realizaron ensayos experimentales para determinar las propiedades físicas de los granos, como masa, volumen y densidad. Con estos datos, se definió el diámetro de entrada y salida del molino. Finalmente, se utilizó fórmulas y bibliografía para dimensionar físicamente el dispositivo y asegurar su óptimo funcionamiento. Finalmente llegaron a la conclusión que el diseño adecuado del molino de martillos debe disponer de un radio de giro de 15 centímetros, un volumen útil de la tolva de 3875 centímetros cúbicos y un volumen de la cámara de molienda de 17424 centímetros cúbicos. El molino debe contar con un total de 20 martillos, un eje concéntrico, 4 ejes secundarios, una tolva de carga, una tolva de descarga, dos discos portan martillos y 20 separadores de martillos contruidos en acero inoxidable AISI 304. Además, el dimensionamiento mecánico reveló una velocidad de operación de 2400 RPM, velocidad de rotor de 3520 RPM, potencia del motor de 1 HP, relación de transmisión de 1.5 y una eficiencia del 95%.

Gil (2029), realizó una evaluación experimental del consumo de potencia durante la molienda de bagazo de caña panelera en un molino. Desarrollar un modelo que facilite la optimización de la geometría del martillo considerando el consumo energético. Comprobar experimentalmente la validez del modelo utilizando la geometría optimizada. Al igual que ocurre con la mayoría de los equipos agrícolas, el molino de martillos presenta inconvenientes como elevados niveles de contaminación, generación significativa de ruido y, sobre todo, un alto consumo de energía eléctrica junto con una baja eficiencia en el proceso de molienda. Sin embargo, investigaciones previas han evidenciado que realizar modificaciones geométricas en las herramientas de corte puede contribuir a disminuir el consumo energético y mejorar la eficiencia de corte. Por esta razón, el objetivo principal de este trabajo es optimizar los martillos del molino. Para lograrlo, se comienza identificando un modelo que describa cinemáticamente el proceso de molienda, concluyendo que el modelo de Lagrange es el más adecuado debido a la interacción entre el martillo y el tambor. La validación de este modelo se realizó experimentalmente, sometiendo la máquina primero

sin carga y posteriormente con diferentes cargas, las cuales fueron trituradas durante intervalos de tiempo controlados.

Freire Loor & Lalbay Fuentes (2022), establecieron como objetivo diseñar todas las partes principales de un molino de martillos y los elementos eléctricos de control. Investigaron sobre los funcionamientos y las diferentes partes que conforman un molino de martillos. La investigación se realizó con el propósito de determinar la continuidad de uso continuo del molino de trigo para la producción de harina. Se realizó a cabo utilizando la metodología de análisis y pronóstico detallados del problema. El estudio tuvo lugar en el cantón La Maná, provincia de Cotopaxi, donde se recopilaron todos los datos necesarios para el diseño de la máquina, incluyendo aspectos como el rendimiento, factor de seguridad, materiales empleados, así como la velocidad, dirección y límites operativos. En conclusión, determinaron que la máquina de molienda es capaz de minimizar significativamente la separación entre el triturado y el pulverizado, lo que mejora de manera notable la eficiencia proceso del cribado en comparación con la mayoría de los molinos. Esto se logró gracias a la mejora de las partes mecánicas, utilizando un sistema de control automático que optimiza el tiempo y el proceso de molienda.

### **2.1.2. Antecedentes Nacionales**

Velasco (2019) estableció como objetivo fue implementar un sistema automatizado con controladores lógico programables para el ingreso de materia de maíz al molino de martillos, que involucra varios pasos críticos, desde la introducción del maíz hasta la división en partículas más pequeñas. Se implementaron sistemas de suministros de partículas de maíz, integraron tecnología avanzada y componentes electrónicos seleccionados la eficiencia y reducir el consumo de energía. La metodología empleada fue del tipo no experimental y descriptiva. El autor concluyó, que el molino debe estar diseñado específicamente para moler maíz para el consumo animal, aunque, en caso de necesidad, su construcción podría ser adaptada para el consumo humano mediante el uso de aceros especiales que no contaminen la materia molida. La selección de los elementos mecánicos y eléctricos de la máquina se realizó considerando factores clave como seguridad, economía, eficiencia y fabricación.

Jimenez (2021), llevó a cabo un estudio sobre un molino de martillos utilizado en la industria productora de harina de pescado COPEINCA, en el cual se determinaron los parámetros principales de sus componentes internos. Se diseñaron teóricamente las piezas del molino basándose en datos técnicos proporcionados por la empresa, con el fin de analizar

la relación entre ellas y someterlas a simulaciones de análisis estático y de fatiga mediante el software SolidWorks. La elección del material para los componentes internos es crucial en este tipo de molinos. En el caso de esta investigación, se optó por materiales que fueran resistentes e inoxidables para evitar la contaminación del producto final la elección correcta del material para los componentes internos y externos del sistema de molienda es fundamental al instalar un molino en la industria pesquera. Las fallas en este sistema generan elevados costos por reparaciones y pérdidas en la producción, con tiempos de inactividad que oscilan entre 8 y 40 horas, afectando considerablemente la rentabilidad. El molino seco contribuye aproximadamente con un 5.8% a la producción de harina de pescado, y su desempeño depende del tiempo de operación, mantenimiento y calidad del material procesado. A nivel global, la molienda es clave para obtener harina de alta calidad. Este estudio resulta relevante porque puede disminuir costos y mejorar la calidad del producto, beneficiando al sector pesquero peruano y fortaleciendo su posición en el mercado internacional, incrementando así la eficiencia de las empresas pesqueras en Perú.

Delgado (2029) planteó como objetivo aumentar la eficiencia en la trituración de maíz en la Empresa “Molino’s San Antonio de Padua S.A.C.” mediante la modificación electromecánica del molino de martillos, incorporando un sistema de doble eje y de control automatizado. La metodología que utilizó, fue la recopilación de información sobre los problemas presentados en la máquina y para crear esquemas morfológicos para realizar soluciones posibles que mejoren su funcionamiento. Para luego desarrollar el diseño de ingeniería, donde se realizan cálculos detallados de los parámetros seleccionados y se evalúan las soluciones factibles para resolver los problemas. Finalmente, durante la fase de diseño detallado, se elaboraron planos exactos que incluyen los parámetros calculados y toda la documentación técnica requerida sobre los nuevos componentes del equipo. En conclusión, el autor identificó problemas mecánicos, eléctricos y productivos, así como una capacidad actual del molino de 1,2 Tn/h. Utilizando el indicador OEE. La capacidad actual del molino es de 1,2 Tn/h, mientras que el nuevo diseño logra una capacidad de 2,1 Tn/h. La eficiencia mecánica aumentó de 55% en la máquina actual a 93% en el diseño nuevo. Además, se obtuvo una efectividad de 89,8%, lo que indica una buena competitividad. Esto sugiere que el rediseño del molino es necesario para mejorar la eficiencia en la trituración de maíz en la empresa Molino's San Antonio de Padua S.A.C

## 2.2. Bases teóricas

### 2.2.1. Granos andinos

Los cereales y legumbres son fundamentales en la dieta andina, y su consumo promueve hábitos alimenticios más saludables. Estos alimentos desempeñan un papel crucial en la nutrición y el bienestar de las personas. Tanto los cereales como las legumbres son alimentos altamente beneficiosos para la salud debido a su versatilidad culinaria y su capacidad para promover una dieta equilibrada. Si se consumen en las cantidades apropiadas, estos alimentos pueden incluso reemplazar parcialmente el consumo de carne, proporcionan nutrientes similares. Algunos ejemplos de cereales y legumbres que pueden sustituir a la carne incluyen habas, maíz, cebada, y trigo, entre otros, lo que permite seguir una dieta saludable y variada. (Inutrición, 2020).

**Figura 1**

*Cereales y legumbres andinos*



*Nota:* Tomado de *All About Feed*, por. N. Berkhout. (2020).

### 2.2.2 Evolución de molinos de granos

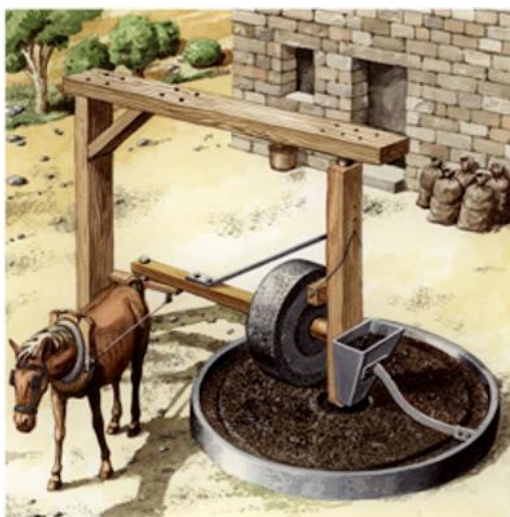
En el sector agrícola, la invención de los molinos permitió producir grandes cantidades de harina, un ingrediente esencial para la fabricación de pan. Antes de los molinos, las personas molían manualmente los cereales entre dos piedras, una redondeada que se presionaba contra una base plana. (Labate, 2016)

#### 2.2.2.1 Primer molino manual

La primera mejora significativa llegó en la Grecia del siglo V a.C. con el molino de Olinto o de tolva. Esta máquina de molienda usaba dos piedras rectangulares, la superior con un mango largo que se movía de lado a lado. Además, tenía una cavidad cónica (tolva) con una ranura central por donde el molinero introducía el grano. (Labate, 2016)

**Figura 2***Molino de manual - cónico**Nata: world history encyclopedia, Labate V.***2.2.2.2 Molinos de accionamiento animal.**

Los molinos de Pompeya eran operados por asnos que estaban atados a una estructura de madera. Este molino se componía de dos partes: la piedra inferior, conocida como meta, y la piedra superior, llamada catillus, ambas hechas de roca volcánica resistente. El molino rotatorio, impulsado por animales, facilitaba el trabajo de molienda, reduciendo el esfuerzo físico necesario y aumentando notablemente tanto la producción como la calidad de la harina, y los asnos podían operar el molino durante largas horas. (Labate 2016).

**Figura 3***Molinos de tracción animal*

*Nota:* Tomado de Foto: <http://www.sabor-artesano.com/muela-romana.htm>

### 2.2.2.3 Molino de hidráulico.

Según los estudios históricos, fueron los antiguos griegos quienes inventaron el molino de agua, basándose en el concepto de la rueda hidráulica. Esta consistía en una rueda de madera con compartimentos que se sumergía en el agua. Lo interesante es que los antiguos griegos utilizaron prácticamente el mismo aparato, aprovecharon el movimiento del agua para obtener energía. Así, la rueda parcialmente sumergida en el río ya no necesitaba animales que la hicieran girar. (CURIOSFERA-HISTORIA, 2020)

**Figura 4**

*Molino de agua*



*Nota: Curio Sfera Curiosfera-historia (2020).*

### 2.2.2.4 Molinos de viento.

Los molinos de viento aparecieron como una alternativa innovadora para la molienda de granos. Estos dispositivos utilizaban la energía eólica para hacer girar grandes piedras de molino, convirtiendo los granos en harina. Esta tecnología representó un avance significativo en la historia de la agricultura, que facilitó una producción de harina más eficiente y menos trabajosa en comparación con los métodos tradicionales manuales (Llamazares, 2024).

**Figura 5**

*Molino de viento*



*Nota: tomado de Conde Nast Traveler 2025 Condé Nast.*

### 2.2.3 Tipos molinos

Existen diferentes tipos de molinos.

#### 2.2.3.1 Molino de pines

Es ideal para la molienda de materiales frágiles y cristalinos. La finura del producto final se puede ajustar y la modificación de la velocidad del rotor. Este equipo tiene una amplia variedad de aplicaciones para diferentes productos y permite el reemplazo opcional del disco de molienda según el material. (Mill Powder Tech Solutions, 2024)

**Figura 6**

*Molino de pines*



*Nota: Tomado de Mill Powder Tech. (2024)*

#### 2.2.3.2 Molino de rodillos

En este proceso, el grano desciende de la tolva y se introduce en la cubeta interna, donde hay dos rodillos metálicos situados a una distancia milimétrica entre sí. Estos rodillos giran en direcciones opuestas y a alta velocidad, aunque generalmente cada uno tiene una velocidad diferente. Dependiendo del tipo de grano que se desee moler, los rodillos pueden ser lisos o estriados para maximizar su efectividad. (Báez, 2024)

**Figura 7**

*Molino de rodillos*



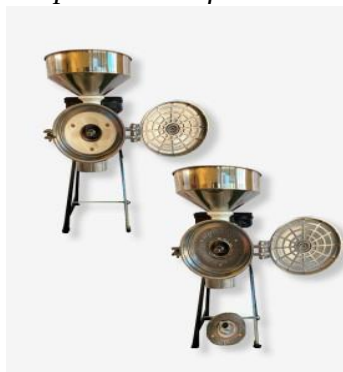
*Nota: Tomado de Pharmaceutical-Networking 2019)*

### 2.2.3.3 Molino de plato o disco.

Los molinos de plato o disco operan de manera análoga a los antiguos molinos tradicionales, donde el roce entre dos grandes piedras que giran una sobre la otra se encargaba de triturar el grano. En los modelos modernos, se utilizan discos metálicos en lugar de piedras para llevar a cabo esta misma función. Existen versiones de estos molinos que cuentan con discos dispuestos de forma vertical u horizontal. (Báez, 2024)

**Figura 8**

*Molino de plato con diferentes discos.*



Nota: Tomado de *Deshidratadoras Perú*.

### 2.2.3.4 Molino de martillos

Son máquinas de molienda que cuentan con un tambor en su interior, donde se introduce el grano. Dentro de este tambor hay un eje del que se desprenden varios martillos, que pueden ser fijos o móviles. Cuando la máquina está en funcionamiento, estos martillos giran a alta velocidad, golpeando y desmenuzando el cereal. Además, en la parte inferior, incluye una malla o rejilla que facilita el proceso de cribado. (Báez, 2024)

**Figura 9**

*Molino de martillos*



Nota: tomado de © 2021 *Maquiagro*

### **2.2.3 Diseño de máquinas industriales**

Según Luminata et, al. (2010) diseño de ingeniería de productos o componentes es una actividad compleja y multidisciplinaria enfocada en resolver problemas, donde un equipo de profesionales de diferentes disciplinas evalúa críticamente la conformidad del producto con los requisitos del cliente, cada vez más exigentes y cambiantes, lo que convierte al diseño en una tarea clave para reducir los tiempos de respuesta al mercado, a la que se suman los requisitos ambientales legales, siendo vital la participación de un ingeniero o especialista en materiales que ayude a seleccionar los materiales óptimos en términos de propiedades, costo global, facilidad de fabricación y bajo impacto ambiental durante el ciclo de vida del producto. La opción de materiales es un factor esencial en el desarrollo de productos. La metodología de ingeniería concurrente permite a los expertos detectar desde el principio del diseño problemas relacionados con la disponibilidad, el costo o el proceso de los materiales. Es crucial tomar decisiones anticipadas sobre los materiales a emplear, esto puede contribuir en el diseño detallado y en los costos finales del producto. Al seleccionar aceros de ingeniería, hay múltiples factores interrelacionados que deben considerarse al evaluar la máquina .

#### **2.2.3.1 Factores físicos.**

Los factores que afectan generalmente abarcan las dimensiones, la geometría y el peso del material requerido. Todos estos aspectos están directamente vinculados con el proceso del material. Las dimensiones y las geometrías pueden limitar el tratamiento térmico al que se puede someter el material. Además, la forma del material determina si es necesario utilizar una pieza fundida o forjada. Por otro lado, el peso del material no solo impacta en los costos iniciales, sino también en el proceso de fabricación. Las dimensiones disponibles son igualmente cruciales, ya que influyen en la consideración de otros materiales. Por ejemplo, los plásticos o el aluminio requieren dimensiones más grandes para lograr el mismo rendimiento estructural que el acero.

#### **2.2.3.2 Factores mecánicos**

Los factores mecánicos se refieren a la habilidad del material para resistir diversos tipos de esfuerzos a los que se ve sometido. Las propiedades mecánicas que se consideran al seleccionar un material para el diseño incluyen la resistencia, el módulo de elasticidad, la tenacidad, la resistencia a la fatiga y la termofluencia, entre otras.

### **2.2.3.3 Procesamiento y fabricación**

Los procesos de fabricación abarcan diversas técnicas para dar forma a diferentes materiales, como la fundición y el conformado. Los metales dúctiles y los termoplásticos se moldean mediante deformación, ideales para la producción masiva, mientras que los materiales cerámicos frágiles y de alto punto de fusión suelen ser conformados a través de sinterizado o metalurgia de polvos. En el caso de los materiales compuestos, se emplean técnicas de formado por aspersión y almacenamiento. Además, la fabricación incluye procedimientos de unión como soldadura autógena, TIG, MIG y MAG, así como procesos de conformado, maquinado y acabado, que abarcan pulido y rectificado.

### **2.2.3.4 Factores de vida útil de los componentes**

Estos elementos están vinculados a la duración de los materiales para cumplir con las funciones definidas en el producto. Las características de este grupo incluyen la resistencia a la corrosión, la oxidación y el desgaste, así como la termofluencia y las propiedades de fatiga bajo cargas dinámicas. Durante la fase de diseño es complicado prever el comportamiento del material. Estos aspectos no se abordan en ninguna de las normas analizadas.

### **2.2.4 Metodologías de diseño**

(Blanco Romero, 2018) indicó que la ingeniería de máquinas utiliza principios científicos para abordar problemas técnicos, teniendo en cuenta las limitaciones y requisitos relacionados con los materiales, la tecnología, así como aspectos económicos, legales, ambientales y humanos. Diversos investigadores señalan que el trabajo de los ingenieros de diseño se sitúa en la intersección de arte, la ciencia, la tecnología y la sociología, constituyendo una actividad multidisciplinaria que influye en múltiples aspectos de la vida humana y requiere un alto grado de responsabilidad profesional. Contexto, el diseño incluye la creación y definición de productos que cumplan especificaciones y ciclos de vida determinados, facilitando así su fabricación y uso posterior. El término "producto" abarca una amplia gama de resultados de diseño, incluidas las máquinas, y es relevante mencionar que, dando un conjunto de especificaciones, pueden surgir múltiples soluciones válidas, lo que permite la existencia de diversas variantes de producto. Los diversos enfoques aplicados a los métodos en el diseño de máquinas han dado lugar a varias metodologías. Pahl y Beitz (2007) realizaron una detallada clasificación cronológica de publicaciones sobre estas metodologías y proponen una de su propia autoría, mientras que Cross (2000) divide estas metodologías en dos categorías.

#### 2.2.4.1 Metodologías descriptivas.

Describen la secuencia de actividades que suelen llevarse a cabo en el proceso de diseño. Estas metodologías responden principalmente a la pregunta "¿Qué hacer?" y tienen un enfoque heurístico, que se fundamentan en la experiencia previa, reglas generales y prácticas que pueden conducir a una solución adecuada, aunque no garantizan el éxito absoluto. Generalmente, se trata de un proceso iterativo.

#### 2.2.4.2 Metodologías prescriptivas

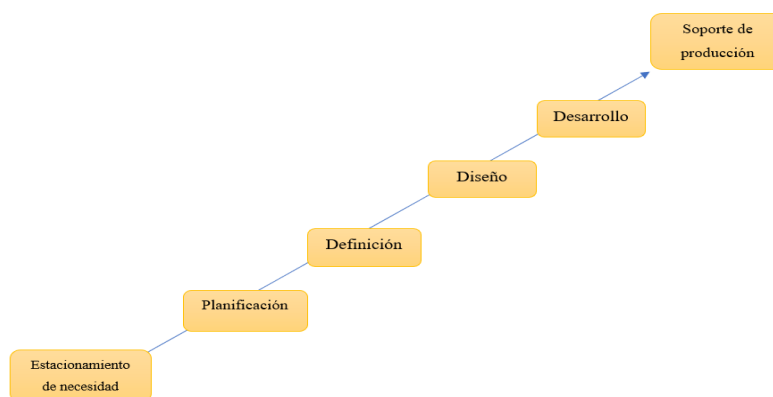
Abordan la pregunta "¿Cómo hacerlo?" y sugieren un patrón de actividades a seguir durante el proceso de diseño. Se trata de procedimientos sistemáticos o algorítmicos que destacan la importancia de un enfoque más analítico para lograr la generación de soluciones conceptuales. Busca asegurar que todos los aspectos y requisitos del problema estén claramente definidos antes de avanzar el proceso. Facilita desarrollar más efectivas y ajustables a las necesidades planteadas. Se pueden distinguir dos tipos de metodologías.

**Modelos de fases:** Organizan el proceso de diseño en fases o etapas, así como el proceso es recomendada para su ejecución.

**Modelos de artefacto:** Estas metodologías están a convertir la información disponible en un diseño terminado. Entre las más destacadas se encuentran la técnica de Desarrollo de la Función de Calidad (QFD) y el modelo de Diseño Axiomático de Suh, que se estructura el proceso en cuatro dominios distintos. No obstante, su elevada complejidad dificulta su aplicación de práctica, lo que restringe su uso habitual y bastante limitado.

**Figura 10**

*Metodologías prescriptivas*

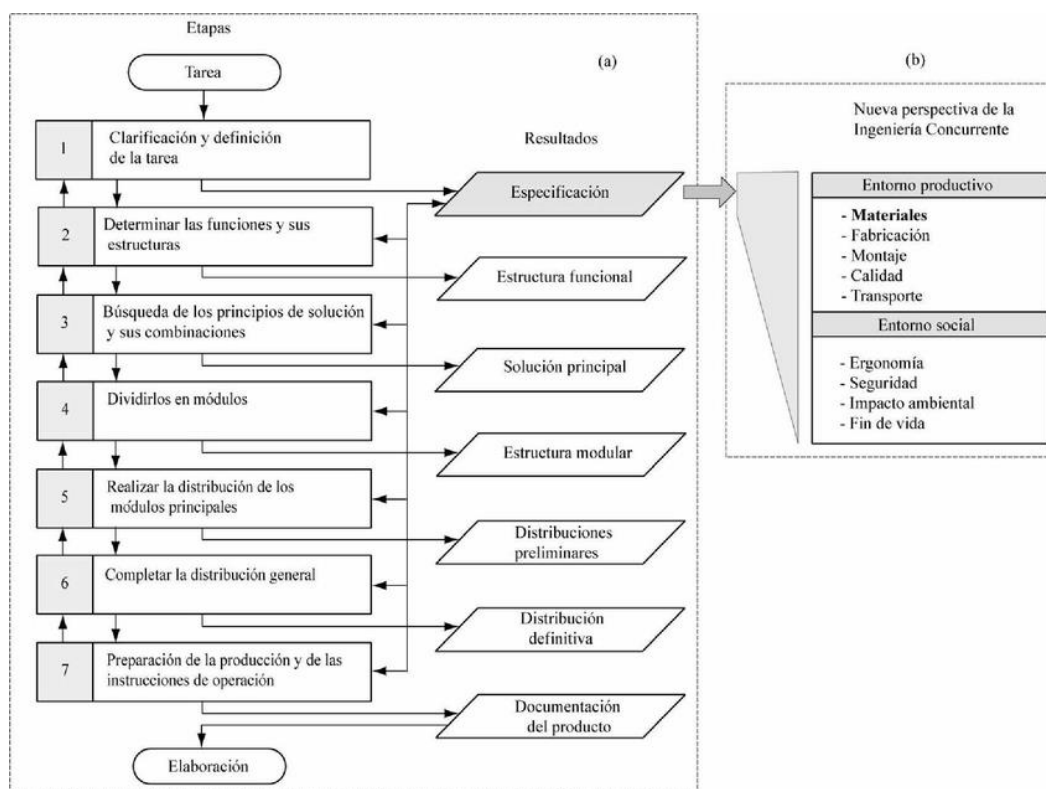


### 2.2.4.3. Diseño según la norma VDI 2221.

El modelo VDI 2221 se enfoca en encontrar soluciones para un diseño un diseño eficiente que satisfaga por completo las necesidades requeridas, resaltando la importancia del resultado final. El modelo I+P+D3 distribuye mejor las actividades entre diseño y desarrollo, poniendo énfasis en la elaboración de prototipos y realización de pruebas para renovar el diseño y garantizar los requisitos del proyecto. Mediante un análisis comparativo de ambos modelos, se identificaron las actividades más relevantes para evitar problemas como sobrecostos y demoras, lo que resultó en una combinación de los aspectos positivos de cada prototipo. La investigación define actividades fundamentales para el realizar el diseño adecuado, realizando las importancia de las limitaciones del diseño que se da durante el proceso. La etapa de búsqueda de soluciones del modelo VDI 2221 es crucial, y permite elaborar un diseño preliminar que refleje las características físicas y funcionales, facilitando la creación de un prototipo para evaluar nuevas restricciones mediante pruebas físicas y estructurales. (Arias, y otros, 2018)

**Figura 11**

*Etapas del transformacion de diseño según la Norma VDI 2221*



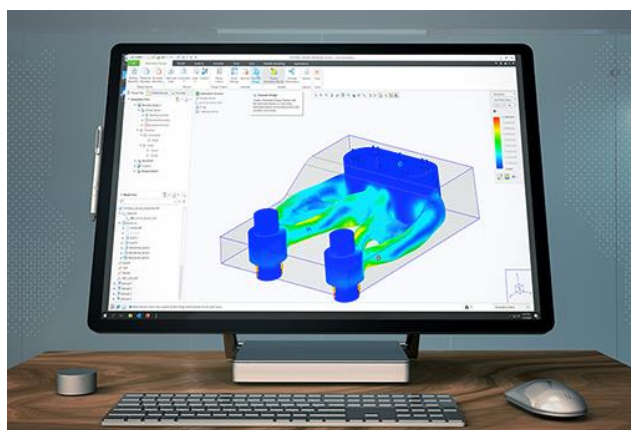
*Nota:* Tomado de *Experiencias en la elección de aceros asistida por computadoras en la carrera de ingeniería mecánica*, por R. Perez. 2010, ReseachGate

### 2.2.5. Diseño asistido por computadora

El diseño asistido por computadora (CAD) es una forma de investigar digitalmente planos en 2D y modelos en 3D de productos reales antes de su fabricación del prototipo. El CAD 3D facilita compartir, revisar, simular y actualizar diseños, lo que posibilita la creación de productos diferenciados e innovadores que llegan al mercado de manera más ágil. (PTC, s.f)

**Figura 12**

*Pieza en 3D - Diseño asistido por computadora*



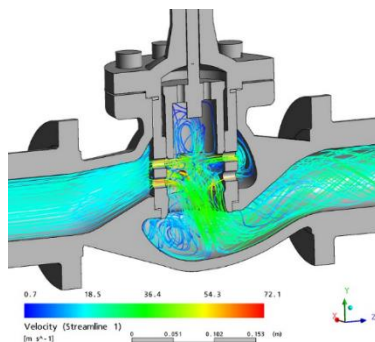
*Nota: Tomado de PTC, s.f*

### 2.2.6 Ingeniería Asistida por Computadora

La Ingeniería Asistida por Computadora (CAE) es una herramienta que ayuda a las empresas en el desarrollo y perfeccionamiento de productos, permitiendo a los profesionales realizar diversos análisis, como estáticos, dinámicos, de fluidos, térmicos, electromagnéticos y acústicos, utilizando un software CAD para crear la geometría inicial, que luego se importa a un sistema CAE donde los modelos pasan por etapas de pre-procesamiento, procesamiento y post-procesamiento para definir características como materiales, restricciones e interacciones con fuerzas y temperaturas externas, lo que conlleva beneficios como la reducción del tiempo de proyectos, aumento de la productividad, detección de fallas e identificación de soluciones. (SESSS,s.f) ESSS 2025

**Figura 13**

*Fluido pasando por una llave – diseño de Ingeniería asistida por computadora*



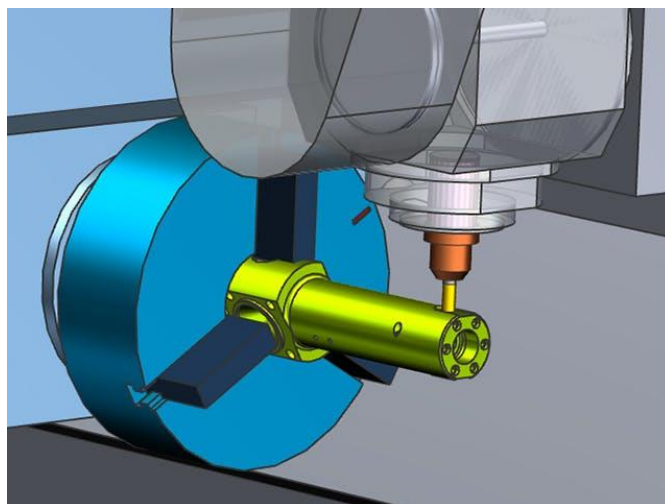
Nota: Tomado de © 2025 ESSS

### 2.2.7 Manufactura asistida por computadora

Una definición más amplia de fabricación asistida por computadora abarca aplicaciones informáticas para establecer un plan de fabricación que incluye definir el diseño de herramientas, preparar modelos CAD, programar control numérico (NC) e inspección de máquinas de medición por coordenadas (MMC), simular máquinas herramienta y realizar posprocesamiento, transfiriendo posteriormente este plan a la planta de producción mediante soluciones de conectividad DNC o impulsadas por PLM para su uso en el mecanizado CNC, la gestión de herramientas y la inspección de calidad con CMM. SIEMENS(s.f)

**Figura 14**

*Manufactura asistida por computadora*



Nota : (SIEMENS,s.f)

### **Capítulo III**

#### **Desarrollo del Proyecto**

### 3.1. Finalidad

El objetivo de crear el diseño de un molino de martillos es ofrecer documentación técnica que facilite la construcción de esta máquina de acuerdo con las necesidades específicas de la región, permitiendo llevar a cabo las actividades de trituración de los productos como maíz, trigo, cebada y habas. Asimismo, se trata de una propuesta que incorpora tecnologías para mejorar la eficiencia en el uso de recursos y tiempo.

### 3.2. Propósito

Estandarizar el diseño del molino de martillos utilizando materiales disponibles en el mercado local y un tipo de manufactura específico para su construcción. Como resultado, el diseño del molino de martillos, una vez construido, permitirá triturar de manera más rápida y eficiente en comparación con los molinos de agua o viento. La mecanización del proceso de trituración posibilitará una molienda más veloz y eficiente, lo que a su vez permitirá ser más competitivo, y para su manejo solo se requiere un operario, a diferencia del método tradicional que emplea la fuerza del agua o del viento.

### 3.3. Componentes

#### 3.3.1. *Diseño de elementos mecánicos y estructura del molino de martillo*

**Diseño conceptual.** En este capítulo, se aborda la primera etapa de la norma VDI 2221, que corresponde a la definición. Para llevar a cabo el diseño conceptual, se han revisado fuentes tanto nacionales como internacionales con el fin de recopilar información relevante. Además, se ha utilizado el método VDI 2221 para identificar las características de las distintas partes del molino de martillo, así como los tipos de materiales, las chumaceras, y el sistema de montaje y sujeción.

**Diseño de la estructura.** El plano de la estructura del molino de martillos debe considerar el transporte del equipo y el lugar donde se llevará a cabo la trituración del producto. Se debe tomar en cuenta la dimensión de la altura del diseño teniendo en cuenta el tamaño del operador quien manipulara la máquina de moler en la provincia de Paucartambo, el operador debe sentir como durante la operación de triturado en la máquina. La dimensión de la máquina es primordial para evitar las lesiones a largo plazo del operador. Se fomenta que el prototipo sea funcional, promueva el lugar muy seguro y eficaz durante el trabajo. La ergonomía es crucial para el operador, la adaptación de las características físicas de los trabajadores puede aumentar la productividad y disminuir el riesgo de accidentes. Es necesario que funcione todos los factores en proceso de diseño y garantizar que el molino sea óptimo.

**Bosquejo a mano alzada.** El paso que sigues es esencial para el comprender el comportamiento y el funcionamiento de equipo que se realiza. Una vez comprendido los requisitos para el diseño del molino de martillos, se tomara a cabo la creación de los bocetos que este toda las parte de la estructura requeridas , como la posición del motor las tolvas , las chumaceras y los martillos para ejecutar la molienda.

**Diseño mediante Autodesk Inventor.** Una analizada las medidas del plano del molino de martillo, se realizó los diseños utilizando el programa de Autodes inventor para la el fácil manejo. Este programa facilitara la creación de los planos detallados y exacto como para el equipo a fabricar lo que permite visualizar las estructuras y el funcionamiento del molino de martillo. El diseño tendrá elementos como la ubicación de motor, las chumaceras, las tovas de entra y salida y otras piezas de suma importancia que van puesto en el molino de martillo. Esta etapa es esencial para garantizar que el equipo cumpla con todos los requisitos que se establecieron y que sea operado de manera eficiente.

#### **Selección de materiales para el molino de martillos.**

Para construcción del molino de martillos se utilizará el acero inoxidable 304. Este material es duradero y resistente ala corrosión, este material está disponible en el mercado local de la provincia de Paucartambo y esto facilitará la compra y disminuirá el costo. Este material ha sido elegido para asegurar el excelente rendimiento del molino, al mismo tiempo que se considera su accesibilidad económica para los agricultores de la provincia de Paucartambo.

La estructura del molino requerirá perfiles angulares de acero inoxidable 304 para garantizar la estabilidad durante el desarrollo de trituración. La tolva de entrada se fabricará con chapa metálica inoxidable, lo que contribuye a reducir el peso total del molino de martillos. En cuanto a los martillos, se optará por una platina de acero inoxidable, lo que permitirá incrementar la velocidad en el proceso de trituración.

El acero es conocido por su alta resistencia a la tensión y la erosión además de ser blando y fácil de soldar, lo que lo hace una opción preferida dentro de los aceros inoxidables.

**Simulación del funcionamiento del molino de martillo.** La simulación es muy importante en el diseño, permite probar como es el funcionamiento de prototipo, así se pude detectar posible falla o problemas a largo plazo. También detecta punto donde se puede mejorar el diseño. Esto se realiza para garantizar que el equipo sea efectivo y funcional, facilitando los ajustes de información final. Antes de comenzar a realizar cualquier proyecto, es analizar el funcionamiento principal de la maquina y las variedades que estarán presente,

lo que ayudará a realizar será un diseño para compacto a la realidad. Para ser aprobado esta maqueta es necesario que los resultados obtenidos se aproximen a los reales y viables de las condiciones del sistema de máquina de molino de martillos.

### **3.4. Actividades**

#### **3.4.1 Análisis del estado del arte**

En este capítulo se resumen un extracto de lo más importante del molino de martillo. Se amplía y se complementa la información del capítulo anterior, se explican ventajas y posibles usos de los molinos a diseñar.

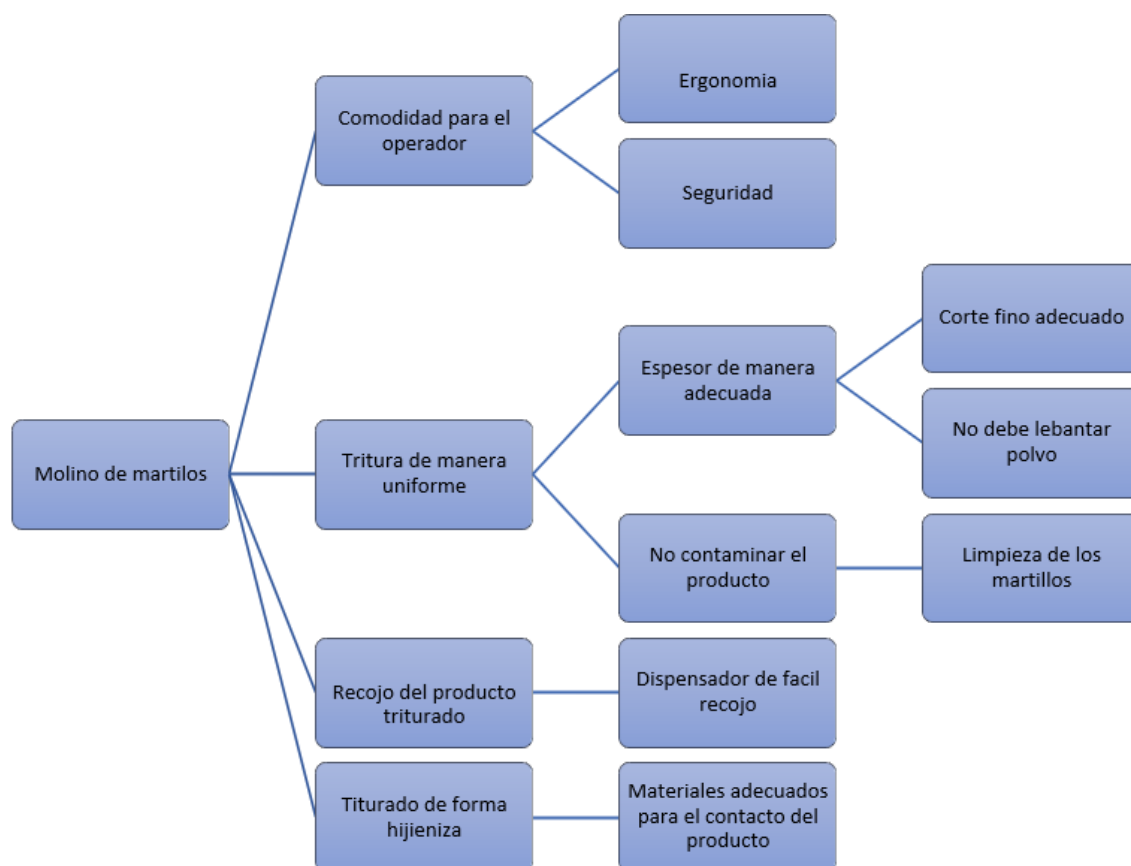
- a) El objetivo es entender las mejoras del molino y martillos y el lugar de donde se va manipular el equipo.
- b) La temperatura de la provincia de Paucartambo es un promedio de 20°C con una humedad regular de 65%.
- c) La longitud de un grano de maíz es cerca de 15 mm a 17 mm.
- d) El tamaño de un grano de maíz es de aproximadamente de 10 mm a 14 mm.
- e) Tipo de formas son chatas y redondas.
- f) La longitud de un grano de trigo oscila entre aproximadamente 5 mm y 7 mm.
- g) Mientras que su espesor de un grano de trigo se encuentra en un rango de alrededor de 3 mm a 4 mm.
- h) La longitud de un grano de cebada varía entre aproximadamente 6 mm y 8 mm.
- i) Su espesor de un grano de cebada se encuentra en un rango de aproximadamente 3 mm a 4 mm.
- j) La longitud de un grano de habas varía entre aproximadamente 20 mm y 23 mm.
- k) En cuanto a su espesor de un grano de habas se sitúa en un rango de aproximadamente 6 mm a 9 mm.
- l) Generalmente, se llevan a cabo dos cosechas de granos al año. Esto implica que, anualmente, se realiza el proceso de molienda de los granos cosechados en dos ocasiones.
- m) Materiales por utilizar deben ser adecuados para el contacto con alimentos.

#### **3.4.2 Árbol de funciones**

En el árbol de funciones, se tomaron en cuenta los requisitos esenciales para la máquina de molino martillos. Este árbol se inicia con los requerimientos funcionales de alto nivel y se desarrolla hacia las funciones más específicas de niveles inferiores.

**figura 15**

*Árbol de funciones de una máquina de molinos de martillos.*



### 3.4.3 Tabla de especificaciones

El método de "lista de especificaciones" tiene como objetivo facilitarnos la definición del problema de diseño. Esta especificación establece las limitaciones del proyecto de manera general, por lo que se pone énfasis en el rendimiento que se busca lograr. Árbol de funciones de una máquina de molinos de martillos.

**Tabla 1***Lista de especificación del motocultor*

| <b>Cambios<br/>(fechas)</b> | <b>Deseo<br/>O<br/>Exigencia</b> | <b>Especificaciones</b>                                                                                                                                         | <b>Categoría</b>  |
|-----------------------------|----------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|
| 15/07/2023                  | E                                | La máquina debe ser capaz de triturar el maíz, el trigo, la cebada y las habas de manera higiénica, sin requerir contacto humano con el producto                | Función principal |
| 09/09/2024                  | D                                | El precio de la máquina no debe exceder los 3,500 soles.                                                                                                        | Costo             |
| 12/09/2024                  | E                                | El material que entre en contacto con el producto debe ser el apropiado de acuerdo con el DECRETO SUPREMO N°007-98-SA.                                          | Normativa         |
| 12/09/2024                  | E                                | La máquina deberá tener las dimensiones adecuadas para el operador.                                                                                             | Función principal |
| 15/09/2024                  | E                                | La velocidad de triturado de la máquina dependerá de la tasa a la que el operador arroje el producto a la tolva. Esta velocidad es aproximadamente de 250 kg/h. | cinemática        |
| 15/09/2024                  | E                                | La máquina empleará una fuente de energía para llevar a cabo el triturado del producto, pero no para su desplazamiento.                                         | Función principal |
| 15/09/2024                  | D                                | La máquina utilizará un motor eléctrico para proporcionar movimiento a las funciones de triturado del producto.                                                 | Función principal |
| 15/09/2024                  | E                                | La fuerza que el operador de la máquina deba aplicar debe ser la mínima necesaria.                                                                              | seguridad         |
| 15/09/2024                  | E                                | Se deben implementar medidas de seguridad en los componentes mecánicos que podrían causar daño al operador o a otras personas en el entorno.                    | Seguridad         |
| 15/09/2024                  | D                                | Se deben evitar los ruidos fuertes que puedan perjudicar al operador                                                                                            | Seguridad         |
| 15/09/2024                  | E                                | El espesor de triturado de la máquina será cambiable.                                                                                                           | Función principal |
| 15/09/2024                  | E                                | El método de recolección debe llevarse a cabo de la manera más higiénica posible, evitando el contacto con personas.                                            | Función principal |
| 15/09/2024                  | D                                | Los componentes de la máquina deben estar fabricados con materiales de alta calidad y ser desmontables para facilitar su mantenimiento.                         | Mantenimiento     |
| 16/09/2024                  | D                                | La estructura de la máquina debe ser lo más simple posible para facilitar su transporte a la zona de trabajo.                                                   | Trasporte         |
| 16/09/2024                  | E                                | La mayoría de los materiales deben estar disponibles en el mercado.                                                                                             | fabricación       |
| 16/09/2024                  | E                                | La fabricación de la máquina debe ser sencilla y debería poder llevarse a cabo en pequeñas empresas.                                                            | fabricación       |
| 16/09/2024                  | E                                | Se utilizará autores inventores para el diseño estructural de máquina.                                                                                          | diseño            |
| 16/09/2024                  | E                                | Se empleará una simulación en Inventor para verificar los cálculos y asegurar la durabilidad de la máquina.                                                     | diseño            |
| 16/09/2024                  | D                                | La vida rentable de la maquina deber mayor que los 3 años.                                                                                                      | diseño            |

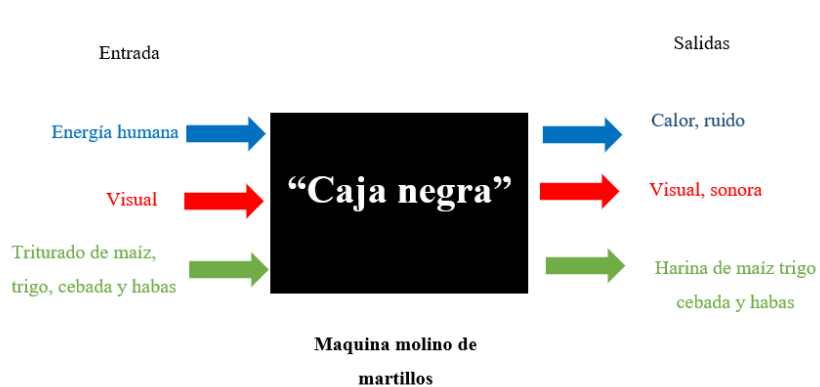
La lista de especificaciones que se presenta es el producto de la primera fase de la metodología VDI 2221 esto significa que ya hemos aclarado y definido el propósito principal de la máquina, teniendo en cuenta las principales características de diseño establecidas en las secciones anteriores. Para lograr esto con el prototipo, se aplicarán las siguientes estrategias.

### 3.4.3 Diseño conceptual

**Caja negra.** Una vez establecido el objetivo del molino de martillos, se realizó un análisis exhaustivo sobre cómo alcanzarlo y cuáles son las funciones que debe desempeñar el equipo al construirse. Este análisis es crucial para garantizar que el molino funcione de manera eficiente y cumpla con los requisitos necesarios para su operación adecuada. Al identificar las funciones esenciales, se pueden desarrollar estrategias para optimizar el diseño y potenciar su rendimiento al máximo. Es importante enfocarse en la eficiencia de molino de martillos es necesario para entender la necesidades de los operadores y asegurar el resultado satisfactoriamente.

**Figura16**

*Caja negra*



*Nota:* Diagrama de la caja negra para el equipo del molino de martillo.

#### 3.4.4.3 Matriz morfológica

La matriz morfológica es una herramienta muy útil para realizar innovaciones de productos o servicios como el desarrollo de molino de martillos. Así ayudara a analizar y estudiar todas las funciones posibles de manera clara y objetiva, con esto se elige las opciones de mejora y adaptabilidad y sea mucho más sencilla la máquina. Lo primero es evaluar diversas alternativas o modelos, se selecciona par que encajen mejor en el diseño que se busca a realizar. Se utiliza para el diseño del molino de martillos y el producto se mejore segunda requiera el comprador, es una herramienta muy necesaria en el desarrollo del molino de martillos.

Tabla 2

Matriz morfológica

| Funciones |                                               | Soluciones                                                                                                           |                                                                                                                 |                                                                                                             |
|-----------|-----------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|           |                                               | 1                                                                                                                    | 2                                                                                                               | 3                                                                                                           |
| 1         | Fuente de Energía.                            | Motor eléctrico<br>                 | Motor a gasolina<br>         | Manual<br>               |
| 2         | Fuentes de transmisión de Movimiento.         | Cadena<br>                          | Faja<br>                      | Engranaje<br>            |
| 3         | Diseño de tolva.                              | Cónica cuadrada.<br>               | Cónica redonda<br>           | madera<br>              |
| 4         | Forma de triturado.                           | Mediante martillos<br>            | Mediante rodillos<br>      | Plato de disco<br>     |
| 5         | Mecanismo para realizar un mejor movimiento.  | Chumaceras de Bola<br>            | Chumaceras Troqueladas<br> | Chumacera colgante<br> |
| 6         | Mecanismos para realizar la mejor estructura. | Metal inoxidable 304 y el 316<br> | Metal común<br>             | Piedra<br>             |

### 3.4.5. Diseño de forma

Una vez finalizado el diseño conceptual, se procede a mostrar la apariencia mecánicas del molino de martillo. En primer lugar, se realiza un bosquejo a mano alzada que refleja las ideas principales del diseño. Luego, se emplea un software de diseño asistido por computadora (CAD) para desarrollar una representación más exacta y detallada. Esta representación digital facilita la ejecución de un análisis por elementos finitos (FEA), el cual es fundamental para comprobar la consistencia y la validez del diseño presentado.

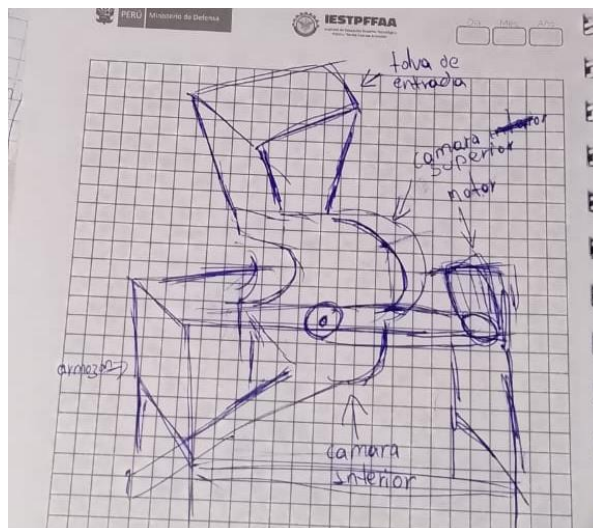
**Bosquejo a mano alzada.** El diseño del molino de martillo se origina en la necesidad de los habitantes de la provincia de Paucartambo, quienes enfrentan dificultades con el método tradicional de molienda que requiere la participación de varias personas, lo que resulta poco eficiente. Esta situación ha llevado a que muchos jóvenes busquen oportunidades educativas y laborales en otras áreas. La introducción de un molino de martillo podría proporcionar nuevas técnicas y estrategias de molienda, fomentando la participación activa de las nuevas generaciones en estas actividades.

Con una comprensión más clara del proyecto, se aplica el método de diseño VDI 2221 para determinar los materiales necesarios, la estructura final y el sistema de montaje del molino. El proceso comienza con un boceto a mano alzada que ilustra el diseño inicial, el cual luego se digitaliza y parametriza utilizando software de diseño asistido por computadora (CAD). Este enfoque no solo mejora la visualización del molino, sino que también permite realizar ajustes y optimizaciones antes de proceder con la construcción.



**Figura 18**

*Bosquejo a mano alzada del diseño completo del molino de martillos*

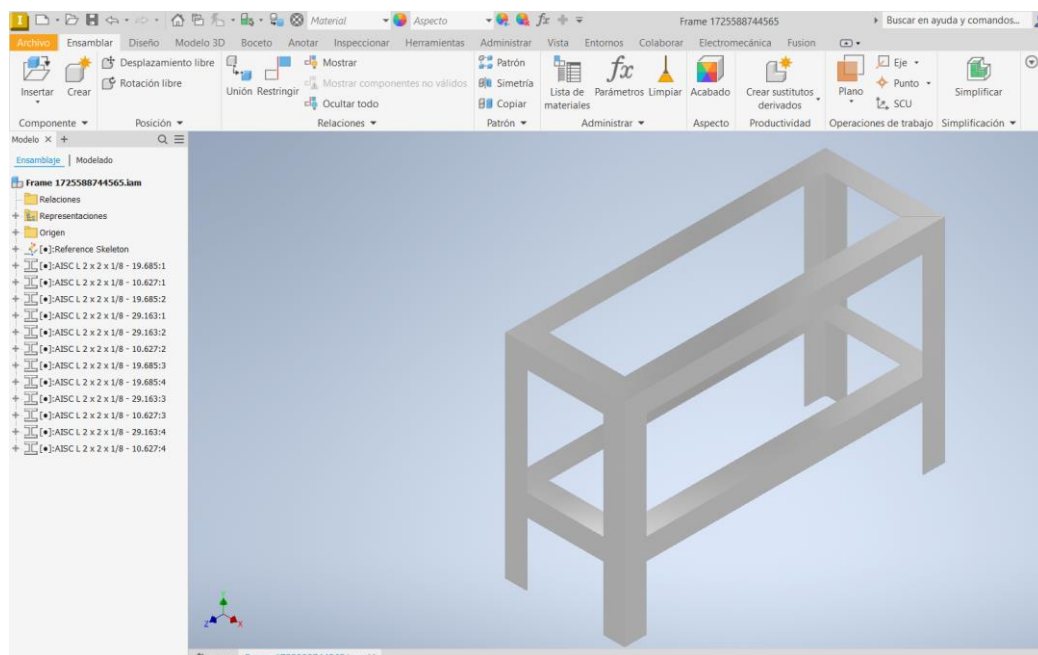


### 3.4.6. Diseño mediante software CAD por elemento

**Diseño de la estructura:** Se ha decidido emplear un ángulo "L" de 2"x2"x1/8" para el diseño de la estructura. El material escogido es acero inoxidable AISI 304, que es reconocido por su alta resistencia a la corrosión y su longevidad. Se sugiere utilizar soldadura a través del proceso GTAW (Gas Inerte de Tungsteno), el cual es apreciado por proporcionar un cordón de soldadura limpio y uniforme. Esta selección garantiza tanto la solidez estructural como una apariencia estética adecuada.

**Figura 19**

*Diseño de la estructura mediante Autodesk Inventor*

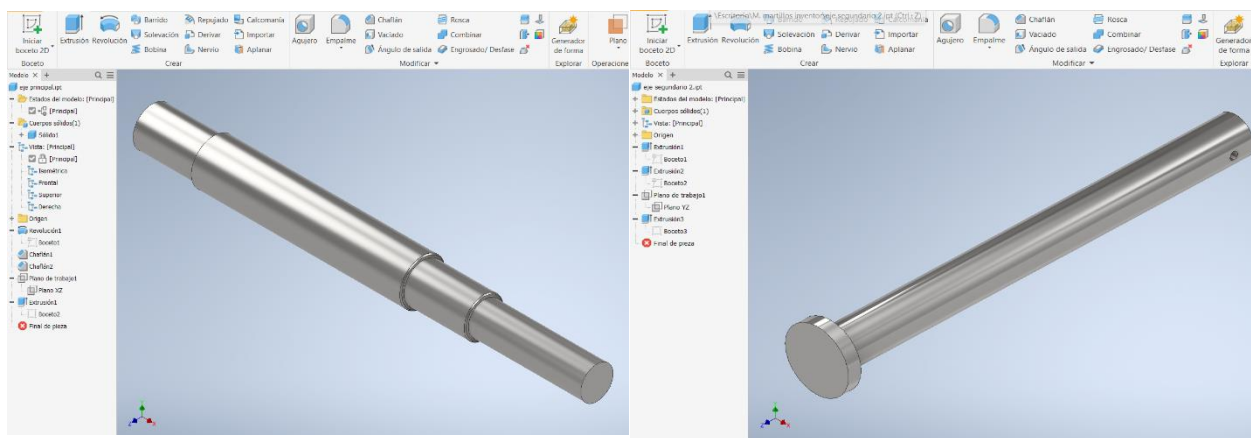


**Diseño del sistema de triturado:** De acuerdo con el diseño conceptual del sistema de triturado, se seleccionará acero inoxidable AISI 304 como el material principal para todos los elementos tratándose de que esta clasificada como maquinaria para industrias alimentarias.

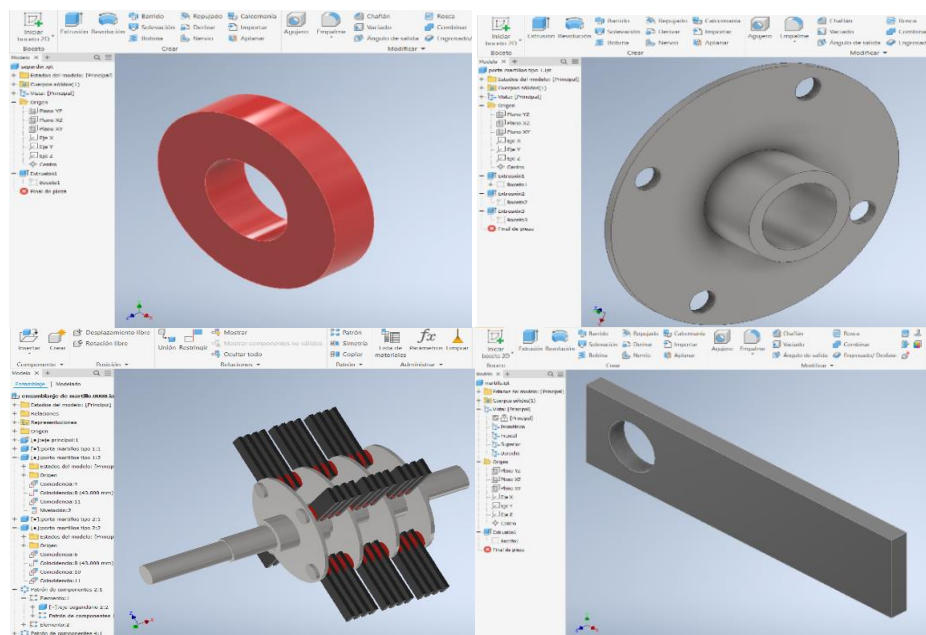
El eje o mandril portamartillo debe ser diseñado para obtener información relevante para su posterior mecanizado por torno, además para una mejor susjeción de los martillos contará con (04) ejes tensores portamartillos.

**Figura 20**

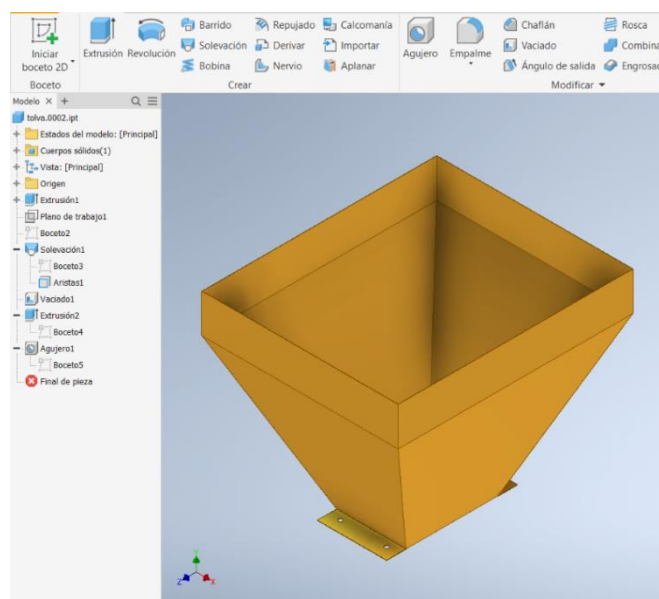
*Diseño del mandril y los ejes tensores.*



Para una distribución equidistante de los martillos, se requiere una brida portamartillos de dos tipos, tipo 1 estará posicionado lateralmente y tipo 2 estará como separador, junto con un martillo y un separador. Para la fabricación de los martillos, se utilizará platina de 1"x3/16". La fabricación de las bridas portamartillo se recomienda emplear soldadura para su construcción y posterior torneado y taladrado.

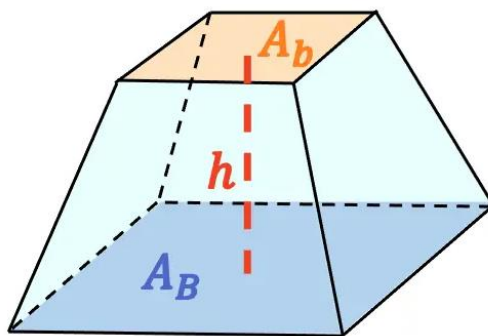
**Figura 21***Martillo y porta martillo tipo 1*

**Diseño de la tolva de entrada:** La tolva de entrada contará con medidas de 510 mm de ancho, 610 mm de largo y 119 mm de profundidad, creada especialmente para este tipo de maquinaria. Esta configuración es fundamental, además la tolva necesita soportar grandes cargas, lo que contribuye a maximizar el rendimiento del molino en los procesos de trituración. Al optimizar tanto la capacidad de carga como el diseño de la tolva, se pretende mejorar la eficiencia operativa del equipo en diferentes aplicaciones de trituración.

**Figura 22***Diseño de tolva de entra en Autodesk Inventor*

**Figura 23**

Fórmula para hallar el volumen de una pirámide

**Volumen de un Tronco de Pirámide**

$$V = \frac{h}{3} \cdot (A_B + A_b + \sqrt{A_B \cdot A_b})$$

$$v = \frac{A_b + A_t + \sqrt{A_b \times A_t} \times h}{3}$$

$$v = \frac{432 + 3162 + \sqrt{432 \times 3162} \times 44,3}{3}$$

$$v = \frac{(432 + 3162 + 1168,8) \times 44,3}{3}$$

$$v = \frac{4762,8 \times 44,3}{3}$$

$$v = \frac{210992,04}{3}$$

$$v = 70330,7 \text{ cm}^3$$

V: Volumen

h: altura

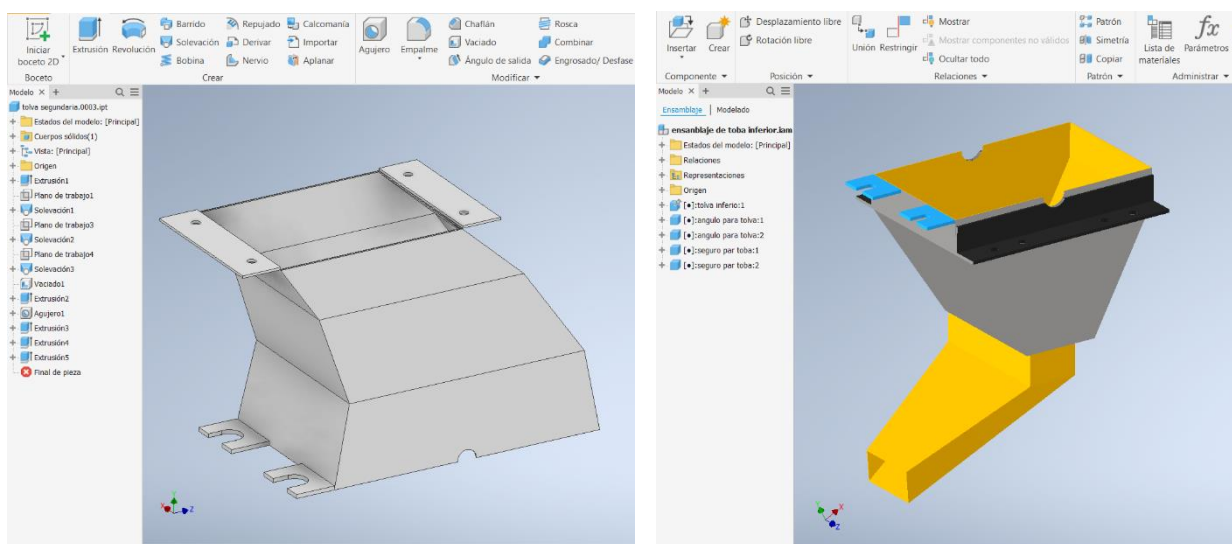
 $A_b$ : base menor $A_B$ : base mayor

**Diseño de la Cámara Superior e Inferior:** El diseño del molino de martillos consta de dos cámaras: una superior y otra inferior. La cámara superior se conecta a la tolva, que actúa como el punto de entrada para el material que se va a triturar, mientras que la cámara inferior contiene el sistema de martillos y es donde se expulsa el material ya procesado. Esta

configuración de dos cámaras facilita una mejor gestión del flujo del material y mejora la eficiencia del proceso de trituración. Para la fabricación del molino, seleccione chapa metálica de acero inoxidable 304 con un grosor de un milímetro. Esta es crucial, el acero inoxidable ofrece resistencia a la corrosión y durabilidad, características esenciales para el funcionamiento continuo de la máquina en entornos industriales. Además, el uso de un material ligero asegura que el molino no sea demasiado pesado, lo que mejora su maniobrabilidad y simplifica su operación. La combinación de estas características en el diseño del molino influye directamente en su rendimiento. Al mantener un peso adecuado y optar por materiales resistentes, se busca optimizar la eficiencia en los procesos de trituración.

**Figura24**

*Diseño de la cámara superior e inferior Autodesk Inventor*



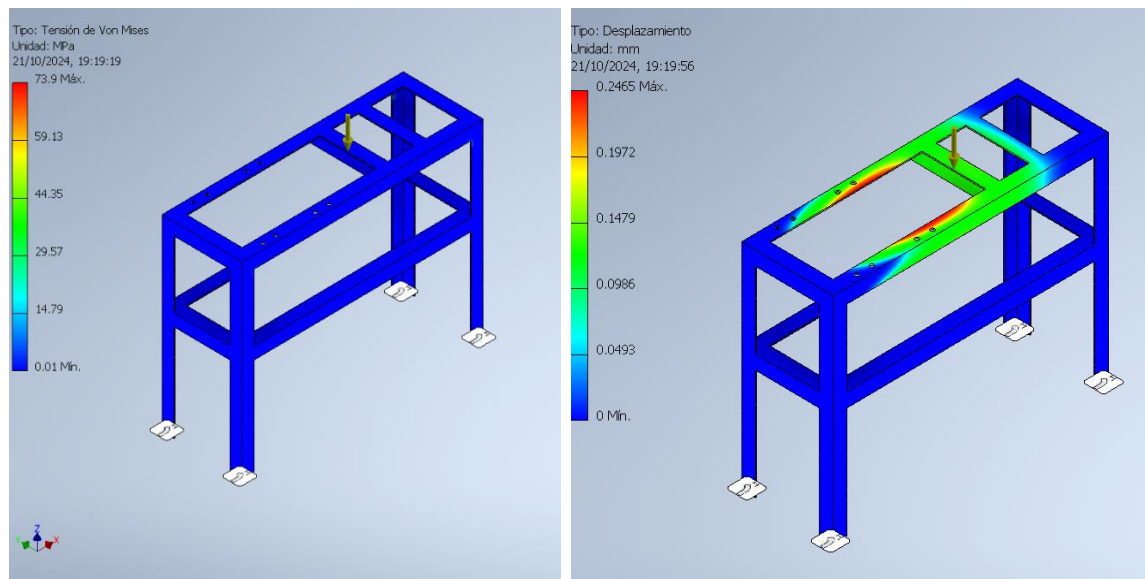
### 3.4.7. Análisis FEM mediante software CAE

Para determinar la confiabilidad de la propuesta del diseño se representa los esfuerzos a los cuales estará sometido la estructura, mandril y los ejes tensores.

**Estructura.** Se realizaron estudios sobre las condiciones de la estructura de trituración, seguidos de un análisis de la tensión de Von Mises para evaluar su rendimiento. En la primera tensión principal, se registraron valores que oscilan entre -3.18302 MPa y 99.2183 MPa. La tercera tensión principal mostró un rango de -35.9499 MPa a 20.5809 MPa, lo que indica que la estructura de trituración sufrirá una deformación entre 0 mm y 0.24652 mm. Estos resultados sugieren que el ensamblaje de trituración está en condiciones adecuadas para soportar los esfuerzos de torsión, y la deformación esperada es mínima y aceptable.

**Figura 25**

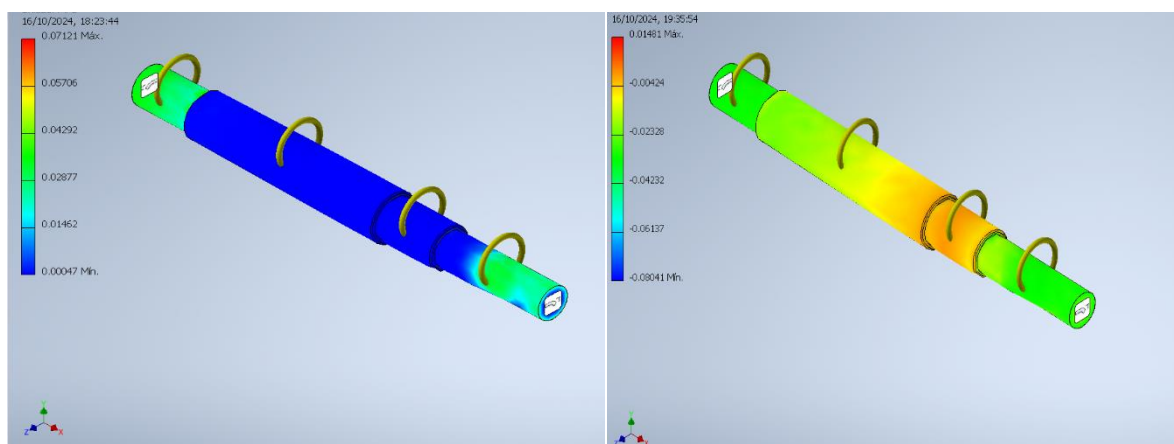
*Estructura del molino de martillos sometido a la Tensión de Von Mises*



**Mandril:** Tras realizar un estudio sobre las condiciones del mandril y los productos a procesar, se efectuó un análisis de la tensión de Von Mises para determinar el comportamiento del mandril. En la primera tensión principal, se observará un valor mínimo de 0.000469569 MPa y un máximo de 0.071212 MPa. Por otro lado, la tercera tensión principal presentó tanto un mínimo como un máximo de -0.0804081 MPa, lo que sugiere que el mandril sufrirá una deformación que oscila entre 0 mm y 0.0000392586 mm. Estos hallazgos indican que el mandril se encuentra en óptimas condiciones para resistir los esfuerzos de giro, dado que la deformación anticipada es mínima y se encuentra dentro de los límites aceptables. En conclusión, el análisis respalda la idoneidad del mandril para su uso previsto sin riesgos significativos de falla estructural.

**Figura 26**

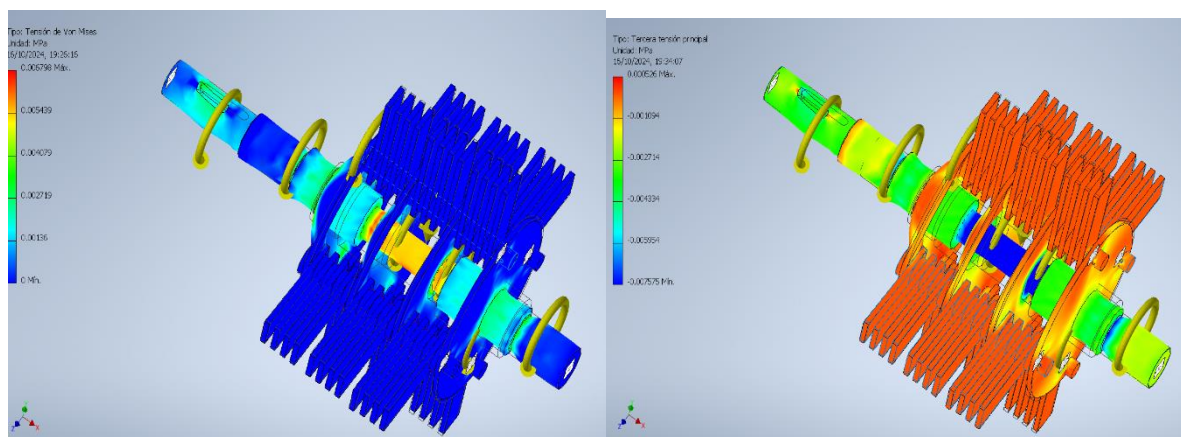
*Análisis de esfuerzos al mandril porta martillos ala tensión de Von Mises*



**Ensamblaje de los martillos:** Se llevaron a cabo investigaciones sobre las condiciones del ensamble de triturado, seguidas de un análisis de la tensión de Von Mises para evaluar su rendimiento. En la primera tensión principal, se encontraron valores que varían entre -0.00203396 MPa y 0.0049811 MPa. La tercera tensión principal presentó un rango de -0.0075745 MPa a 0.000526462 MPa, lo que indica que el mandril experimentará una deformación entre 0 mm y 0.00000185753 mm. Estos resultados sugieren que el ensamble de triturado se encuentra en condiciones adecuadas para resistir los esfuerzos de giro, dado que la deformación anticipada es mínima y aceptable.

**Figura 27**

*Ensamblaje del martillo sometida a la tensión de Von Mises*

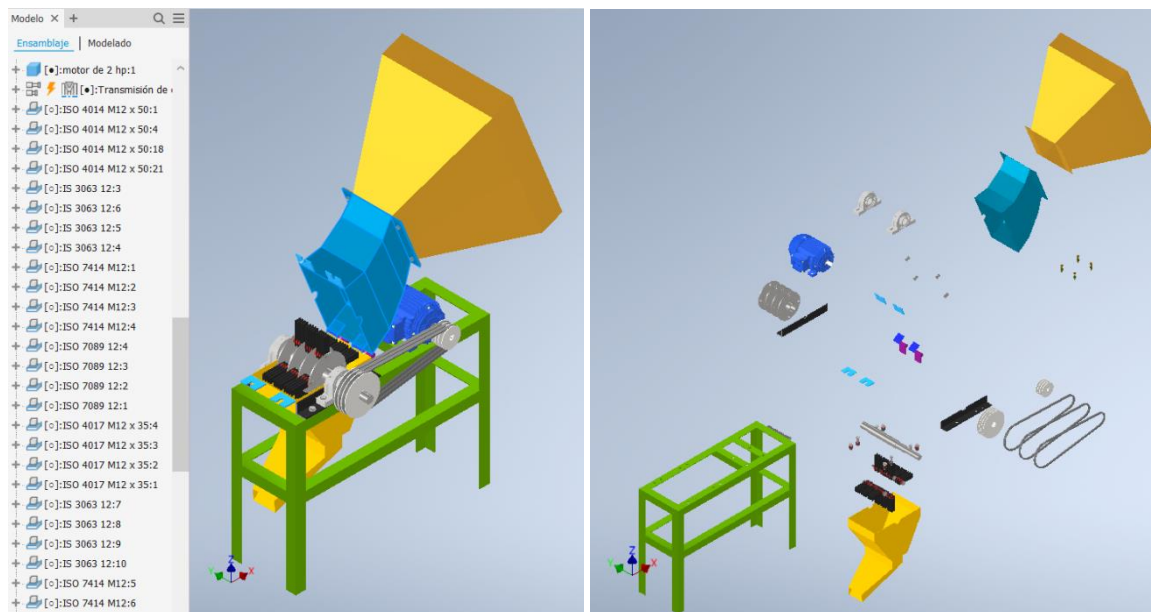


### **3.4.8. Ensamble y animación de la máquina de molino de martillos**

Se diseñó y simuló el molino de martillos con el objetivo de resolver el problema de la trituración de maíz cebada trigo y habas en la provincia de Paucartambo utilizando el método VDI 2221 se identifica las partes más esenciales de molino de martillos, esto ayuda a crear el diseño lo que facilita la fabricación, Este procedimiento dio un resultado funcional, eficiente y adaptable a las condiciones del local. El diseño es resistente, confiable y masivo, gracias a las pruebas que se llevaron en la simulación, con esta animación se anticipa que los equipos sean mucho más efectivos para la práctica agrícola.

**Figura 28**

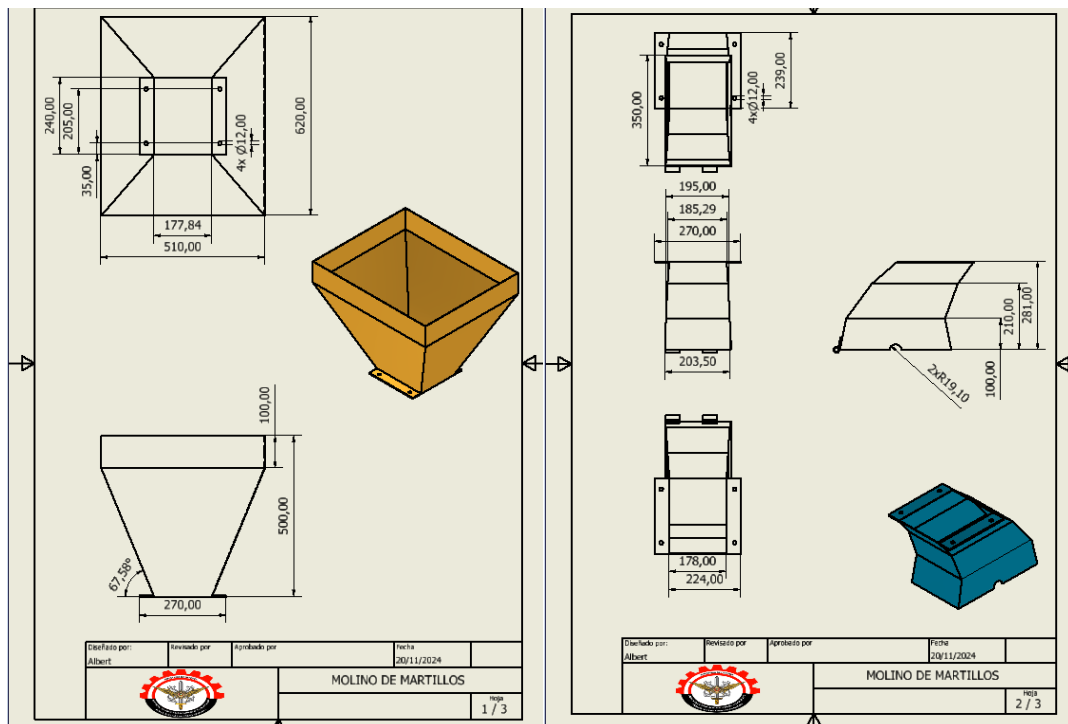
*Ensamble del molino de martillo mediante software CAD.*



*Nota:* Desarrollo del procedimiento de el ensamblaje del molino de martillos mediante el software CAD, permitiéndonos llevar a cabo dicho modelo a diseñar.

### **3.4.9. Elaboración de planos**

Para el desarrollo de un producto técnico se comienza con la elaboración de los planos individuales que muestran las medias dimensiones y los tipos de materiales las cuales se utilizaran en la fabricación, los plano son cruciales para asegurarse que cada componente cumpla con las normas requeridas en la localidad ,luego de definir los planos individuales se procede a ensamblar el equipos para que todas las partes encajen en su lugar y visualizar la unión de la partes el funcionamiento de las partes y formar un molino de martillos funcional. Sea segura que la fabricación sea eficiente y buena y que cumpla con los estándares necesario para si cumpla los requisitos que necesita el operador al momento de que funcione la máquina, la documentación creada es fundamental par guiarse el proceso de fabricación y facilitar a la provincia de diversos equipos.

**Figura 29***Planos de molino de martillo*

## Limitaciones

Por ahora la implementación del molino de martillos solo se diseñara en una computadora utilizando el programa CAD por falta de recursos para la fabricación, esta es la primera fase del proyecto el diseño virtual es muy importante para ver los resultados.

Se tomo en cuenta que la maquina podría operar con energía renovable pero se a concluido el los sistemas de energía no abasteces a lo que requiere la maquina y ala ves resulta muy costoso colocar el sistema en el molino de martillos.

Para complementar y avanzar en el TAP, utilice recursos virtuales con la ayuda del asesor y docente del (IESTPFFAA).

Se presentan dificultades en el desarrollo del diseño y la simulación debido a la falta de licencias para el uso del (software CAD), que algunas funciones necesarias están limitadas en las versiones de prueba o educativas.

## **Capítulo IV**

### **Resultados**

## Resultados

Se logró diseñar y simular el molino de martillo a partir de la selección de datos de investigaciones realizadas por otros autores, quienes ofrecieron información valiosa en varios aspectos del diseño. Esta información fue fundamental para adaptar el molino a los productos que se triturarán y para establecer el tamaño adecuado de la estructura. El diseño final del molino de martillo se considera una herramienta eficiente para la trituración, lo que permitirá reducir considerablemente el tiempo de trabajo y el esfuerzo físico del operador. Esta investigación ayudó en el proceso de diseño y se aseguró que el molino cumpla con lo requerido para que triture satisfactoriamente, la investigación logró un molino mejorado y eficiente, esto beneficia mucho al usuario al momento de operar la máquina de moledora.

El método DVI 2221 ayudó a recopilar la información de los componentes mecánicos adecuados para el molino de martillos, lo que permite diseñar una estructura sólida que sirva para el uso de triturado de los granos, utilizando el apoyo del (software CAD) por el avance del proyecto la herramienta fue esencial para desarrollar y simular el diseño del molino de martillos gracias a la ayuda de este método se logró satisfactoriamente lograr el diseño del equipo asegurando que cumpla todo lo necesario para su funcionamiento adecuado, el enfoque integral optimizó y facilitó el tiempo de diseño y como se integraría cada pieza como un elemento final.

**Tabla 3**

*Análisis de fuerza para Eje principal de 250N*

| Propiedad física   | Valor                                                |
|--------------------|------------------------------------------------------|
| Material           | Acero inoxidable                                     |
| Densidad           | 8 g/cm <sup>3</sup>                                  |
| Masa               | 4.24728 kg                                           |
| Área               | 57816.2 mm <sup>2</sup>                              |
| Volumen            | 530910 mm <sup>3</sup>                               |
| Centro de gravedad | x=-21.2275 mm<br>y=0.0843978 mm<br>z=-0.000579482 mm |

**Tabla 4***Análisis de FEM al eje principal.*

| <b>Nombre</b>                 | <b>Mínimo</b>          | <b>Máximo</b>        |
|-------------------------------|------------------------|----------------------|
| Volumen                       | 530910 mm <sup>3</sup> |                      |
| Masa                          | 4.24728 kg             |                      |
| Tensión de Von Mises          | 0.000469569 MPa        | 0.071212 MPa         |
| Primera tensión principal     | -0.0103815 MPa         | 0.0867211 MPa        |
| Tercera tensión principal     | -0.0804081 MPa         | 0.0148051 MPa        |
| Desplazamiento                | 0 mm                   | 0.0000392586 mm      |
| Coefficiente de seguridad     | 15 su                  | 15 su                |
| Tensión XX                    | -0.061308 MPa          | 0.0762987 MPa        |
| Tensión XY                    | -0.0239234 MPa         | 0.0239833 MPa        |
| Tensión XZ                    | -0.0324366 MPa         | 0.0232399 MPa        |
| Tensión YY                    | -0.0195013 MPa         | 0.024798 MPa         |
| Tensión YZ                    | -0.0235614 MPa         | 0.023277 MPa         |
| Tensión ZZ                    | -0.0400347 MPa         | 0.0360166 MPa        |
| Desplazamiento X              | -0.00000339268 mm      | 0.00000327829 mm     |
| Desplazamiento Y              | -0.0000354756 mm       | 0.0000355352 mm      |
| Desplazamiento Z              | -0.0000317312 mm       | 0.0000392586 mm      |
| Deformación equivalente       | 0.00000000212736 su    | 0.000000339845 su    |
| Primera deformación principal | 0.00000000142331 su    | 0.000000401084 su    |
| Tercera deformación principal | -0.000000381581 su     | -0.00000000217682 su |
| Deformación XX                | -0.000000252927 su     | 0.000000330881 su    |
| Deformación XY                | -0.000000161142 su     | 0.000000161545 su    |
| Deformación XZ                | -0.000000218485 su     | 0.000000156538 su    |
| Deformación YY                | -0.000000104068 su     | 0.000000155812 su    |
| Deformación YZ                | -0.000000158704 su     | 0.000000156788 su    |
| Deformación ZZ                | -0.000000161766 su     | 0.000000126814 su    |

**Tabla 5***Análisis de fuerza del ensamblaje de martillos a 494N*

| <b>Propiedad física</b> | <b>Valor</b>                                         |
|-------------------------|------------------------------------------------------|
| Masa                    | 14.8409 kg                                           |
| Área                    | 676127 mm <sup>2</sup>                               |
| Volumen                 | 1855120 mm <sup>3</sup>                              |
| Centro de gravedad      | x=44.8235 mm<br>y=-0.0241535 mm<br>z=-0.000165839 mm |

Sometiendo del ensamblaje de martillos a 494N los resultados obtenidos fueron.

**Tabla 6**

*Análisis de FEM al ensamblaje de martillos*

| <b>Nombre</b>                 | <b>Mínimo</b>           | <b>Máximo</b>       |
|-------------------------------|-------------------------|---------------------|
| Volumen                       | 1855130 mm <sup>3</sup> |                     |
| Masa                          | 14.841 kg               |                     |
| Tensión de Von Mises          | 0.0000000220044 MPa     | 0.0201033 MPa       |
| Primera tensión principal     | -0.000991551 MPa        | 0.0124561 MPa       |
| Tercera tensión principal     | -0.0158661 MPa          | 0.000935578 MPa     |
| Desplazamiento                | 0 mm                    | 0.0000326637 mm     |
| Coefficiente de seguridad     | 15 su                   | 15 su               |
| Tensión XX                    | -0.00483746 MPa         | 0.00597313 MPa      |
| Tensión XY                    | -0.0071376 MPa          | 0.00768803 MPa      |
| Tensión XZ                    | -0.00783445 MPa         | 0.00814956 MPa      |
| Tensión YY                    | -0.0116375 MPa          | 0.0109266 MPa       |
| Tensión YZ                    | -0.0101101 MPa          | 0.0105491 MPa       |
| Tensión ZZ                    | -0.0122315 MPa          | 0.00992297 MPa      |
| Desplazamiento X              | -0.000000817956 mm      | 0.000000835212 mm   |
| Desplazamiento Y              | -0.0000325459 mm        | 0.0000325578 mm     |
| Desplazamiento Z              | -0.0000311504 mm        | 0.0000314406 mm     |
| Deformación equivalente       | 0.000000000000128701 su | 0.0000000903162 su  |
| Primera deformación principal | -0.000000000301183 su   | 0.0000000792548 su  |
| Tercera deformación principal | -0.0000000839961 su     | 0.00000000177546 su |
| Deformación XX                | -0.0000000196843 su     | 0.0000000266017 su  |
| Deformación XY                | -0.0000000480771 su     | 0.0000000517846 su  |
| Deformación XZ                | -0.0000000527709 su     | 0.0000000548934 su  |
| Deformación YY                | -0.000000070761 su      | 0.0000000714185 su  |
| Deformación YZ                | -0.0000000680992 su     | 0.0000000710561 su  |
| Deformación ZZ                | -0.0000000770123 su     | 0.0000000658675 su  |
| Presión de contacto           | 0 MPa                   | 0.0633265 MPa       |
| Presión de contacto X         | -0.0121457 MPa          | 0.00927489 MPa      |
| Presión de contacto Y         | -0.0474052 MPa          | 0.0398517 MPa       |
| Presión de contacto Z         | -0.0503043 MPa          | 0.0439357 MPa       |

**Tabla 7***Análisis de fuerza de la estructura*

| Propiedad física   | Valor                                            |
|--------------------|--------------------------------------------------|
| Material           | Acero inoxidable                                 |
| Densidad           | 8 g/cm <sup>3</sup>                              |
| Masa               | 20.3076 kg                                       |
| Área               | 1324650 mm <sup>2</sup>                          |
| Volumen            | 2538460 mm <sup>3</sup>                          |
| Centro de gravedad | x=12.2085 mm<br>y=0.00243632 mm<br>z=-210.436 mm |

Efectuando a la estructura una fuerza de 1483N los resultados fueron.

**Tabla 8***Análisis de FEM en la estructura*

| Nombre                        | Mínimo                  | Máximo             |
|-------------------------------|-------------------------|--------------------|
| Volumen                       | 2538460 mm <sup>3</sup> |                    |
| Masa                          | 20.3076 kg              |                    |
| Tensión de Von Mises          | 0.0123016 MPa           | 73.9047 MPa        |
| Primera tensión principal     | -3.18302 MPa            | 99.2183 MPa        |
| Tercera tensión principal     | -35.9499 MPa            | 20.5809 MPa        |
| Desplazamiento                | 0 mm                    | 0.24652 mm         |
| Coefficiente de seguridad     | 3.38273 su              | 15 su              |
| Tensión XX                    | -25.7051 MPa            | 30.7095 MPa        |
| Tensión XY                    | -6.43831 MPa            | 15.0148 MPa        |
| Tensión XZ                    | -10.2816 MPa            | 8.91331 MPa        |
| Tensión YY                    | -7.31808 MPa            | 71.0509 MPa        |
| Tensión YZ                    | -36.8329 MPa            | 4.70298 MPa        |
| Tensión ZZ                    | -35.2764 MPa            | 49.2325 MPa        |
| Desplazamiento X              | -0.0299997 mm           | 0.0208706 mm       |
| Desplazamiento Y              | -0.105385 mm            | 0.100721 mm        |
| Desplazamiento Z              | -0.246211 mm            | 0.0155625 mm       |
| Deformación equivalente       | 0.0000000554928 su      | 0.00036318 su      |
| Primera deformación principal | 0.0000000062868 su      | 0.000433606 su     |
| Tercera deformación principal | -0.000180541 su         | 0.0000000625989 su |
| Deformación XX                | -0.000120504 su         | 0.000107414 su     |
| Deformación XY                | -0.0000433669 su        | 0.000101136 su     |
| Deformación XZ                | -0.0000692545 su        | 0.0000600379 su    |
| Deformación YY                | -0.0000398889 su        | 0.000243877 su     |
| Deformación YZ                | -0.000248097 su         | 0.0000316781 su    |
| Deformación ZZ                | -0.000176004 su         | 0.000171351 su     |

El porcentaje de residuos será del 5% del 100% del producto

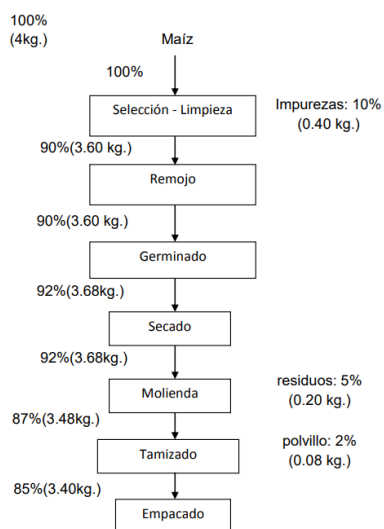


Figura 12. Flujo de operación y balance de materia para la obtención de harina de maíz malteada a 72 h.

**Nota:** tomado de Oliver quincho <https://repositorio.uncp.edu.pe> ›

| Harina antes de ser molido | residuos |
|----------------------------|----------|
| 1k kg                      | 0.05 kg  |
| 30 kg                      | 1.5 kg   |
| 40 kg                      | 2 kg     |
| 60 kg                      | 3 kg     |

## **Capítulo V**

### **Conclusiones y Recomendaciones**

## 5.1. Conclusiones

### Diseño y simulación

Se realizó el diseño y la simulación de un molino de martillos para triturar cereales, con el propósito de acortar el tiempo de trabajo para la comunidad. Este molino tiene como objetivo optimizar la eficiencia en el procesamiento de granos, facilitando así el acceso a productos alimenticios.

### Estructura y Elementos Mecánicos

La estructura y los componente mecánicos del molino de martillos se utilizó el software CAD lo que permite sea preciso y detallado el molino de martillos el diseño es garantiza que sea muy óptimo para su funcionamiento en terrenos difíciles.

### Selección de materiales

Se selecciono materiales como el acero 304 inoxidable , este material es fácil de conseguir en la localidad de Paucartambo , esto facilitará la construcción del molino de martillos y también fomentando la sostenibilidad al adquirir recursos que se encuentre en la localidad .

### Verificación de Simulación

La simulación del molino de martillos fue todo un éxito gracias al uso del (software CAD) lo que se logro el correcto funcionamiento de los componentes de la maquina este paso de la sumación es importante par ver donde podemos corregir y que cumpla la eficiencia y seguridad del operador.

## 5.2. Recomendaciones

Par construir una maquina es fundamenta conocer el funcionamiento mecánico sobre la máquina y sobre todo el programa (software CAD) tienes que conoces lo parámetros físicos mecánicos y normas.

La adquisición de maquina requiere una previa capacitación cobre el funcionamiento de la máquina. Esta formación es crucial para asegurar un uso efectivo y seguro del equipo, igualmente de extender su durabilidad. Sin la instrucción adecuada, los usuarios podrían encontrar dificultades en su operación y mantenimiento, es necesario invertir en esta capacitación para optimizar los beneficios que ofrece el molino de martillos.

### **5.2.1 Mantenimiento**

Alterne mensualmente el sentido de giro del rotor para garantizar que tanto los martillos como la malla se desgasten de forma homogénea, procurando no utilizar la misma dirección por más de dos semanas consecutivas.

Asegúrese de que el molino esté libre de materiales no deseados y realice una limpieza regular de los martillos para prevenir contaminación de los productos y el desgaste anticipado de sus partes del molino cada 15 días.

Engrasar las chumaceras semanalmente para que la durabilidad sea más larga y no haya complicaciones al momento de manipular el molino y Ajustar los pernos de sujeción de la máquina.

Realice una inspección visual del molino cada vez que lo abra, verificando si hay desgaste desigual en las partes debido a una alimentación inconsistente. Asimismo, controle el alimentador para garantizar una entrada adecuada del material. Identificar fallas oportunamente previene gastos elevados y tiempos de inactividad prolongados.

Usar los EPP adecuados como los tapa oídos, respiradores con filtro, guantes de lona para la manipulación de las harinas y lentes en todo momento.

- Aires de Monda ( 31 de diciembre de 2010) El arca de la memoria II. *El molinero*.<https://airesdemonda.blogspot.com/2010/12/el-arca-de-la-memoria-ii-el-molinero.html>
- Aquije, C., Cisneros, C., Lavalle, M., Salazar, I., Servigón, S. (2022) *Diseño de Planta de Producción de pan a base de masa madre y harina de maíz morado*. [Trabajo de Investigación Universidad de Piura]. <https://hdl.handle.net/11042/5395>
- Arias K, Sánchez M., Betancourt. C. F., Leguizamón S. G., García R., Mendoza P. D. (2018) *Estudio de las actividades relevantes en el diseño de productos. Modelo VDI 2221 frente al modelo metodológico I+P+D3. Artículo de revisión. Revistas Espacios. icipación importante según el diseño final*. <https://www.revistaespacios.com>
- Báez, M. (27 de Febrero de 2024). *Machine Planed*. Tipos de molinos para cereales: <https://machineplanet.net/blog/molinos-grano-cereales-tipos/>
- Bermeo, D. C. (2014). *Diseño y construcción de un molino de martillos triturador de granos para granjas avícolas*. Ecuador: Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE.
- Berkhout, N. (10 de agosto del 2020). Argentina: Aumenta la cosecha de trigo, disminuye la de maíz. *All about feed*. <https://es.allaboutfeed.net/argentina-aumenta-la-cosecha-de-trigo-disminuye-la-de-maiz/>
- Cayambe Guaman,, J. P., & Donoso Oviedo, A. X. (25 de 04 de 2023). *Diseño y construcción de un molino de martillos para la trituración de granos secos de maíz y arveja para el laboratorio de procesos industriales*. <https://dspace.espoch.edu.ec/handle/123456789/20285>
- Chávez Vela, F. H., & Ramos Vásquez, G. (2018). *Diseño de un molino de martillos para cereales y forraje de 500 kg/h en el anexo de Batangrande, Lambayeque*. <https://hdl.handle.net/20.500.12802/4949>
- CURIOSFERA-HISTORIA. (2020). *Historia del molino de agua*. febrero, <https://curiosfera-historia.com/historia-del-molino-de-agua-inventor-origen/>.
- Cuvi Acurio, W. c., & Sánchez Villacis, H. F. (2016). *Implementación de un molino de martillos para la trituración y reutilización de residuos solidos de poliuretano en industrias vertron*. <http://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/3660>

Delgado Delgado, J. D. (2019). *Rediseño electromecánico de un molino de martillos utilizando doble eje y sistema de control automático para aumentar la eficiencia en la trituration de maíz de la empresa Molino's San Antonio de Padua S.A.C.* Ecuador.

Deshidratadoras Perú.(s.f) *Molino de discos dual multifuncional*

<https://deshidratadorasperu.com/de-discos/188-molino-de-discos-dual-multifuncional-20-40-kgh.html>

Dumitrescu, L., Estrada, A. M. Q., Rodríguez, R. P., & González, L. W. H. (2010). Experiencias en la selección de aceros asistida por computadoras en la carrera de Ingeniería Mecánica. *Ciencias Holguín*, 16(1), 1-12.

<https://www.researchgate.net/publication/237027287>

Freire Loor, A. F., & Lalbay Fuentes, M. A. (2022). *Implementación de un molino de martillos para el proceso de harina de trigo* [Tesis de pregrado, Universidad Técnica de Cotopaxi]. Repositorio UTC.

<https://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/8473>

*Granulación seca y su aplicación en la fabricación de suplementos dietéticos.* (25 de abril de 2019) Pharmaceutical-Networking <https://www.pharmaceutical-networking.com/gerteis-concept-dry-granulation/>

Ienutrición (7 de setiembre del 2021) Cereales y legumbres: la combinación perfecta.

Instituto Europeo de Nutrición y Salud. <https://ienutricion.com/cereales-y-legumbres-la-combinacion-perfecta/>

Labate, V. (2016). Los molinos romanos. *world history encyclopedia*,

<https://www.worldhistory.org/trans/es/2-907/los-molinos-romanos/>.

Llamazares, J. (10 de octubre de 2024). *Recagri.ES*. Obtenido de <https://recagri.es/blog/la-evolucion-de-los-molinos-de-viento-de-la-molienda-al-bombeo-de-agua/>

Luminita Dumitrescu, Quesada Estrada, A. M., Pérez Rodríguez., R., & Hernández González., L. W. (2010). *Experiencias en la selección de aceros asistida por computadoras en la Carrera de Ingeniería Mecánica.*

<https://www.researchgate.net/publication/237027287>

Maquiagro del Perú (s.f) *Molino de martillo. Maquiagro.*

<https://maquiagro.com.pe/maquinas/alimentarias/molino-de-martillo-micropulverizador/>

Mill Powder Tech Solutions. (12 de octubre de 2024). *Mill Powder Tech* . Productos:

<https://www.mill.com.tw/products>

Ortigoza Guerreño, J., López Talavera, C. A., & Gonzalez Villalba, J. D. (2019). *Gui*

*tecnica de cultivo de maiz*. Paraguay.

Ptc(s.f) Soluciones de software CAD. PTC <https://www.ptc.com/es/technologies/cad>

SESSS(s.f) Ingeniería Asistida por Computadora: ¿que es y cómo funciona?. SESSS

<https://www.esss.com/es/blog/ingenieria-asistida-por-computadora-que-es-y-como-funciona/>

SIEMENS (s.f) *Fabricación asistida por ordenador*. SIEMENS.

<https://www.sw.siemens.com/es-ES/technology/computer-aided-manufacturing-cam/>

Recagri.es (24 de noviembre de 2023) *La Evolución de los Molinos de Viento: de la*

*Molienda al Bombeo de Agua*. <https://recagri.es/blog/la-evolucion-de-los-molinos-de-viento-de-la-molienda-al-bombeo-de-agua/>

Romero, E. B. (2015). Metodología para el diseño de máquinas adaptadas a comunidades en desarrollo. *Universidad Politecnica de Cataluña, Barcelona*.

<https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/121027/TMEBR1de1.pdf>

Velasco Adrianzén, J. F. (2019). *Diseño de un sistema automatizado con controladores*

*lógico programables para la alimentación de granos de maíz en un molino de martillo*. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/40805>

## **Apéndices**

## Apéndice A.- Cronograma de actividades

[illegible]

**Apéndice B.- Presupuestos Medios y Materiales**

| <b>Materiales</b> |                       |                 |               |                   |                    |
|-------------------|-----------------------|-----------------|---------------|-------------------|--------------------|
| <b>ITEM</b>       | <b>Descripción</b>    | <b>Cantidad</b> | <b>UNIDAD</b> | <b>VALOR UNIT</b> | <b>VALOR TOTAL</b> |
| 01                | Plancha de 1          | 2               | Unid          | S/350.00          | S/700.00           |
| 02                | Platina de 1 x 5mm    | 1               | Unid          | S/32.00           | S/32.00            |
| 03                | Fiero lizo de 5/8     | 1               | Unid          | S/40.00           | S/40.00            |
| 04                | Fajas 12mm x 600mm    | 2               | Unid          | S/19.00           | S/28.00            |
| 05                | polea de 270mm x80mm  | 1               | Unid          | S/48.00           | S/48.00            |
| 06                | polea de 120mm x 80mm | 1               | Unid          | S/35.00           | S/35.00            |
| 07                | motor de 3 Hp         | 1               | Unid          | S/580.00          | S/580.00           |
| 08                | ángulos 3/4           | 2               | Unid          | S/42.00           | S/84.00            |
| 09                | discó de corte        | 10              | Unid          | S/8.00            | S/80.00            |
| 10                | disco de basta        | 1               | Unid          | S/8.00            | S/8.00             |
| 11                | polifan               | 1               | Unid          | S/8.00            | S/8.00             |
| 12                | electrodo 7018        | 4kilos          | Unid          | S/18.00           | S/72.00            |
| 13                | pintura               | 1 galón         | Unid          | S/45.00           | S/45.00            |
| 14                | Thinner acrílico      | 3galones        | Unid          | S/590.00          | S/30               |
| 15                | pernos                | 15              | Unid          | S/1.50            | S/22.50            |
| 16                | rodajes               | 3               | Unid          | S/15.00           | S/45.00            |
| 17                | Arandelas de presión  | 15              | Unid          | S/1.00            | S/15.00            |
| Total             |                       |                 |               |                   | S/1707.50          |

**Apéndice C.- Equipo, mano de obra costo de producción y otros**

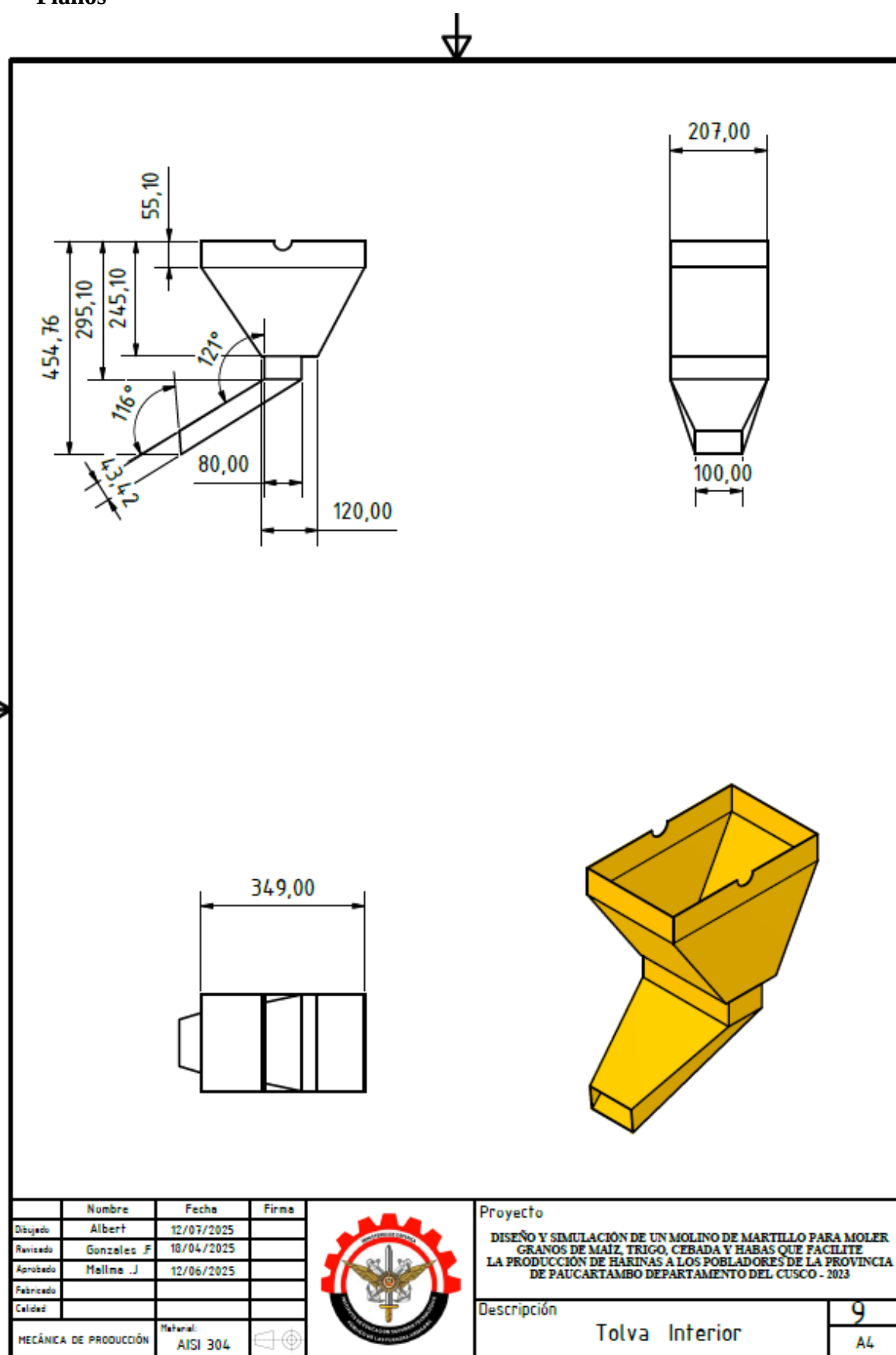
| Equipos |             |         |                    |             |
|---------|-------------|---------|--------------------|-------------|
| Ítem    | Descripción | Tiempo  | Costos de una hora | Valor total |
| 1       | Torno       | 3 horas | S/ 120.00          | S/ 360.00   |
| 2       | fresadora   | 2horas  | S/ 110.00          | S/ 220.00   |
| total   |             |         |                    | S/ 580.00   |

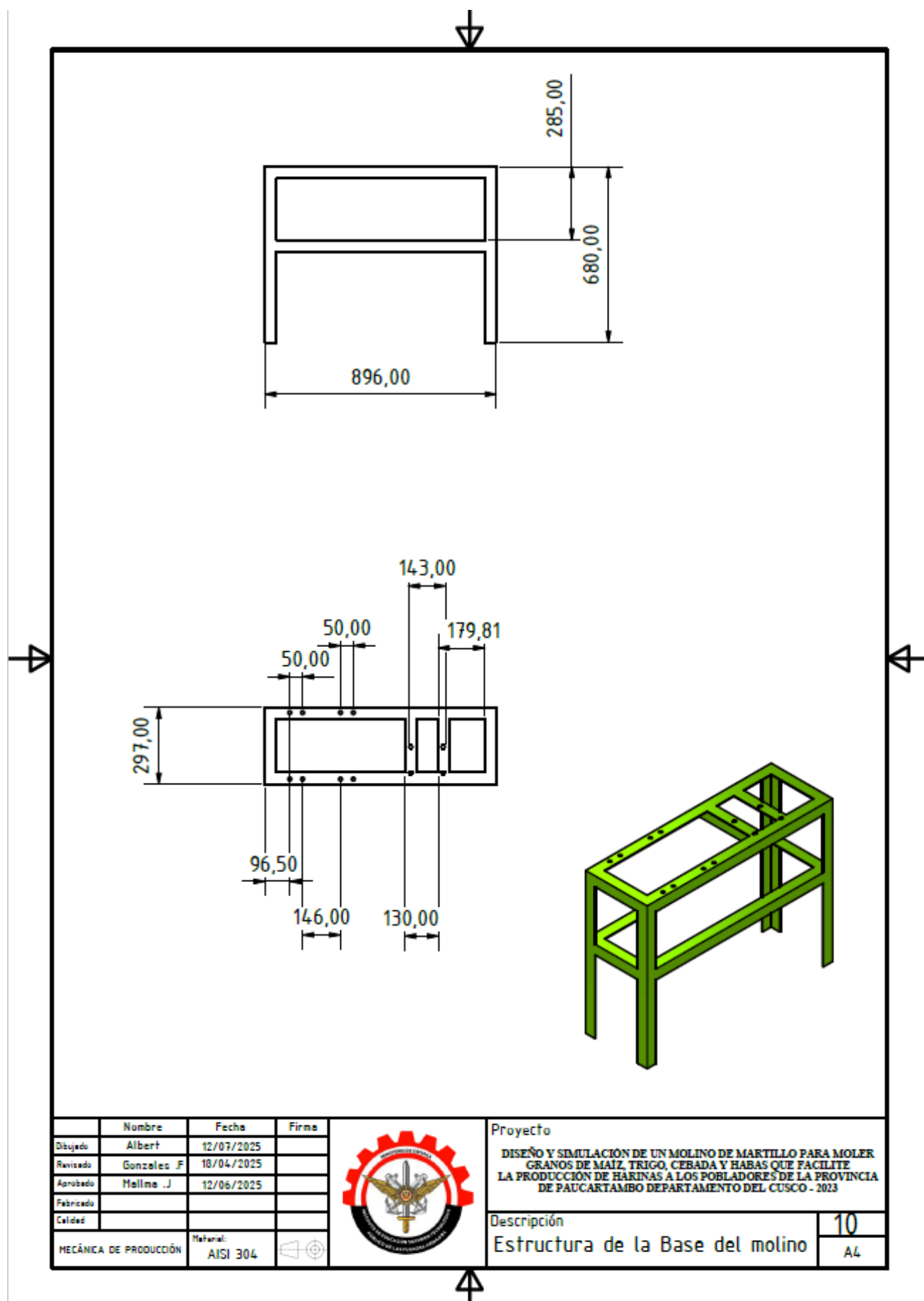
| Mano de Obra |          |   |      |          |          |
|--------------|----------|---|------|----------|----------|
| 1            | Ayudante | 1 | Unid | S/ 80.00 | S/ 80.00 |
| Sub Total    |          |   |      |          | S/ 80.00 |

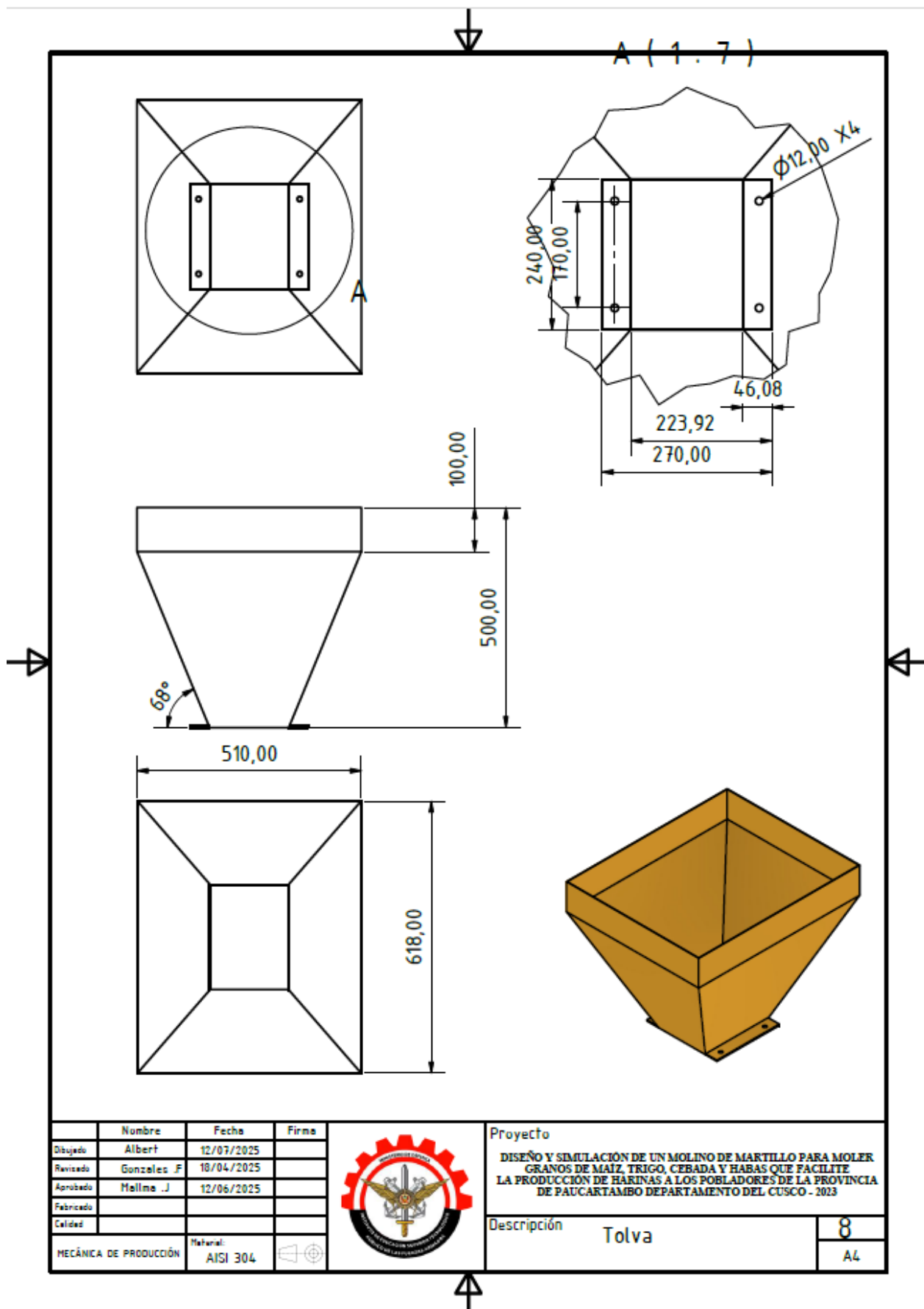
| Costo de Producción |            |
|---------------------|------------|
| Materiales          | S/ 1707.50 |
| Equipos             | S/ 580.00  |
| Mano de Obra        | S/ 80.00   |
| Otros               | S/ 600.00  |
| Sub total           | S/ 2387.5  |
| Total               | S/ 2387.5  |

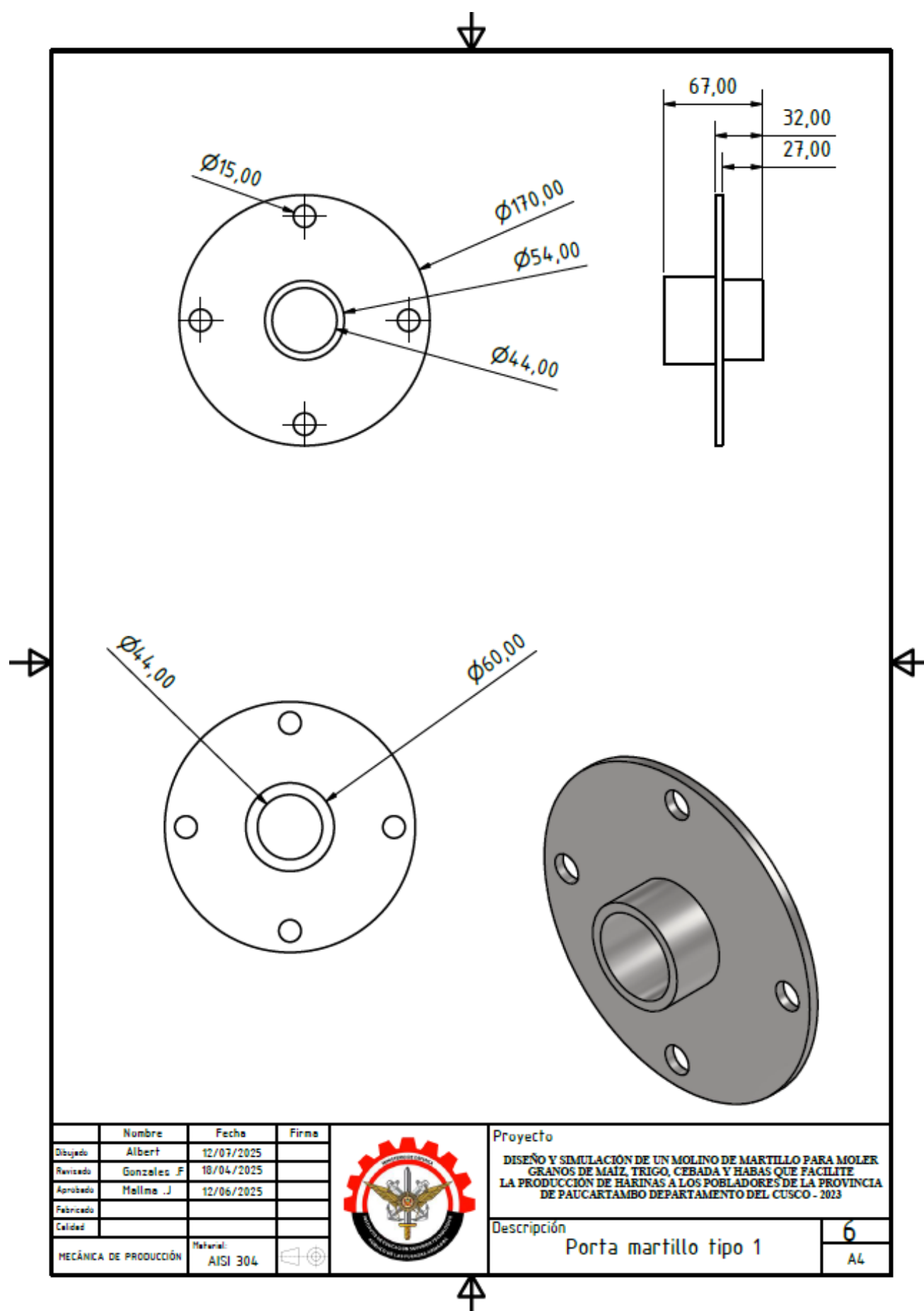
| Otros     |                    |   |      |           |           |
|-----------|--------------------|---|------|-----------|-----------|
| 1         | Energía Eléctrica  | 1 | Unid | S/ 80.00  | S/ 80.00  |
| 2         | Transporte         | 1 | Unid | S/ 120.00 | S/ 120.00 |
| 3         | Alquiler del Local | 1 | Unid | S/ 100.00 | S/ 100.00 |
| 4         | Doblado de plancha | 2 | Unid | S/ 150.00 | S/ 300.00 |
| Sub Total |                    |   |      |           | S/ 600    |

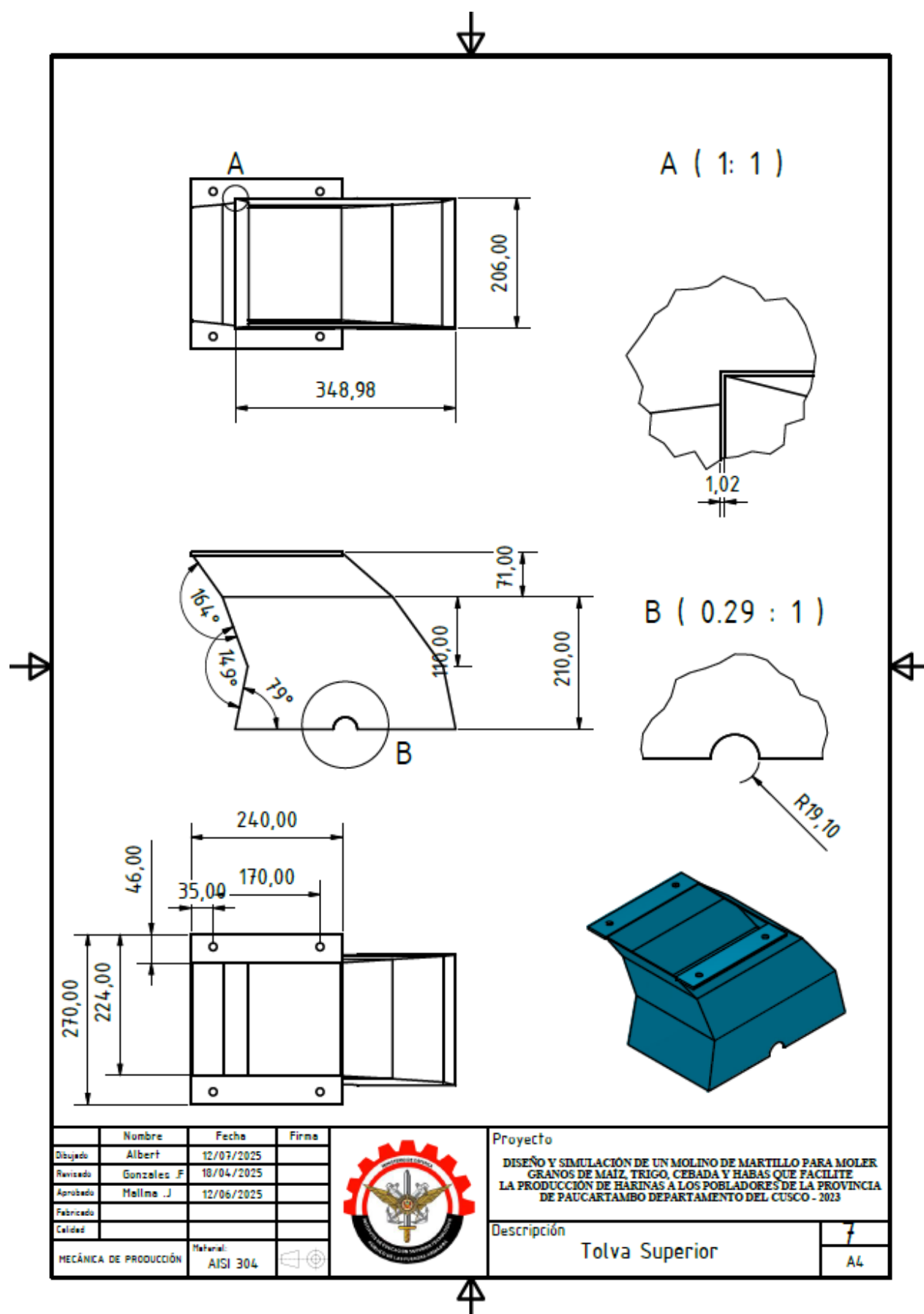
## Planos

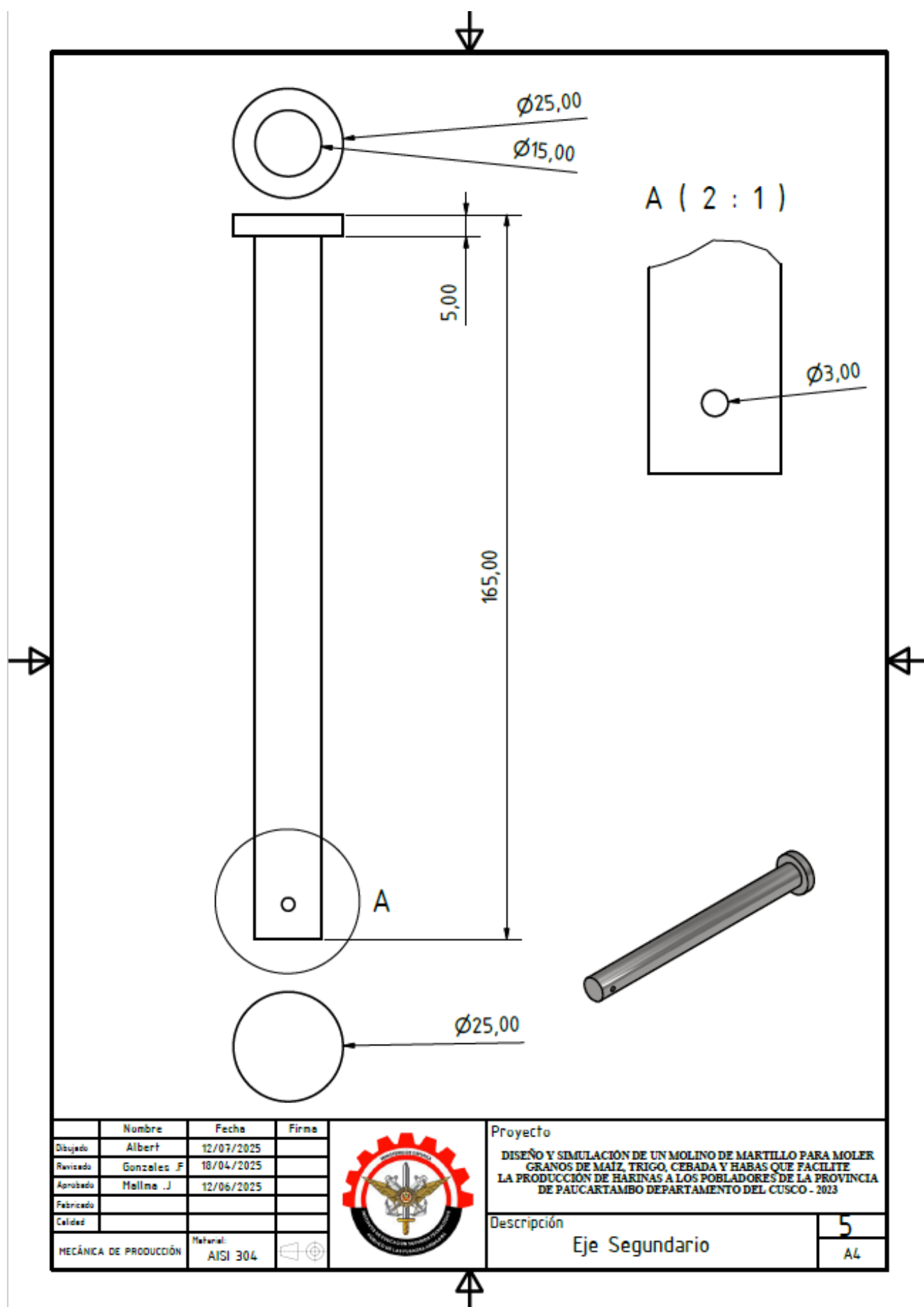


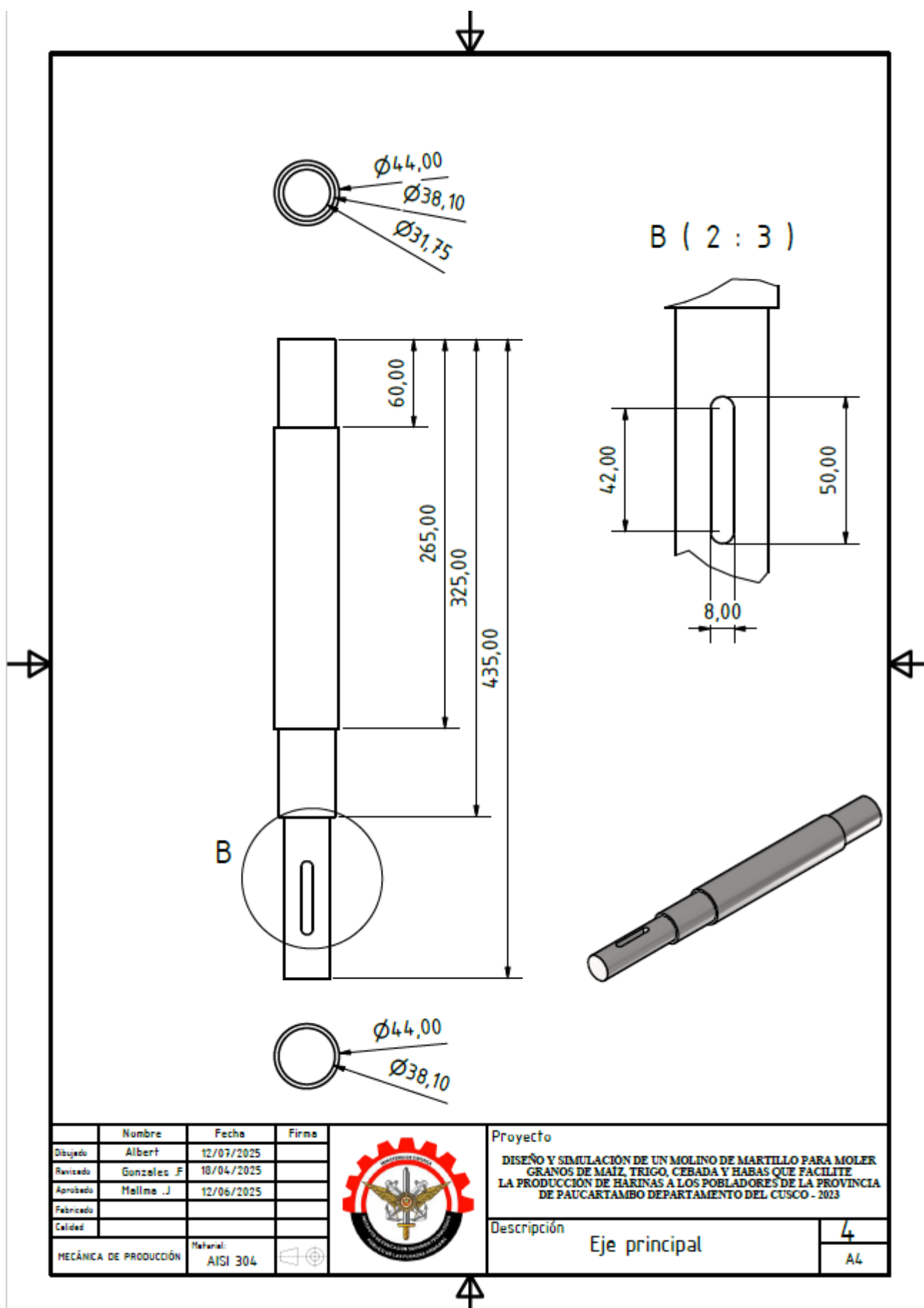












|                        | Nombre     | Fecha              | Firma |
|------------------------|------------|--------------------|-------|
| Dibujado               | Albert     | 12/07/2025         |       |
| Revisado               | Gonzales F | 18/04/2025         |       |
| Aprobado               | Mallma J   | 12/06/2025         |       |
| Fabricado              |            |                    |       |
| Calidad                |            |                    |       |
| MECÁNICA DE PRODUCCIÓN |            | Material: AISI 304 |       |



Proyecto

DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN MOLINO DE MARTILLO PARA MOLER GRANOS DE MAÍZ, TRIGO, CEBADA Y HABAS QUE FACILITE LA PRODUCCIÓN DE HARINAS A LOS POBLADORES DE LA PROVINCIA DE PAUCARTAMBO DEPARTAMENTO DEL CUSCO - 2023

Descripción

Eje principal

4

AL

