

# **ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**

**FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**DISEÑO DE UNA MÁQUINA PICADORA DE FORRAJE Y  
TRITURADORA DE GRANOS DE MAÍZ EMPLEADA PARA LA  
ELABORACIÓN DE ALIMENTOS DE BOVINOS**

**TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR PRESENTADO COMO  
REQUISITO PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO**

**WELINGTÓN LENIN LASLUIA ALBÁN**

**welington.lasluisa@epn.edu.ec**

**DIRECTOR: ING. GUACHAMÍN ACERO WILSON IVÁN, PhD**

**wilson.guachamin@epn.edu.ec**

**Quito, agosto 2022**

## CERTIFICACIONES

Yo, WELINGTÓN LENIN LASLUIA ALBÁN declaro que el trabajo de integración curricular aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.



---

**WELINGTÓN LENIN LASLUIA ALBÁN**

Certifico que el presente trabajo de integración curricular fue desarrollado por WELINGTÓN LENIN LASLUIA ALBÁN, bajo mi supervisión.



---

**ING. GUACHAMÍN ACERO WILSON IVÁN, PhD**  
**DIRECTOR**

Certificamos que revisamos el presente trabajo de integración curricular.

---

**NOMBRE\_REVISOR1**  
**REVISOR1 DEL TRABAJO DE**  
**INTEGRACIÓN CURRICULAR**

---

**NOMBRE\_REVISOR2**  
**REVISOR2 DEL TRABAJO DE**  
**INTEGRACIÓN CURRICULAR**

## **DECLARACIÓN DE AUTORÍA**

A través de la presente declaración, afirmamos que el trabajo de integración curricular aquí descrito, así como el (los) producto(s) resultante(s) del mismo, son públicos y estarán a disposición de la comunidad a través del repositorio institucional de la Escuela Politécnica Nacional; sin embargo, la titularidad de los derechos patrimoniales nos corresponde a los autores que hemos contribuido en el desarrollo del presente trabajo; observando para el efecto las disposiciones establecidas por el órgano competente en propiedad intelectual, la normativa interna y demás normas.

WELINGTÓN LENIN LASLUIZA ALBÁN

ING. GUACHAMÍN ACERO WILSON IVÁN, PhD

## **DEDICATORIA**

El presente trabajo va dedicado con mucho amor y cariño a mi padre, Luis, el angelito que me cuida desde el cielo y a mi madre, Ana, quien a pesar de las circunstancias y de las dificultades que le ha tocado vivir ha sabido ser una mujer fuerte, trabajadora, valiente y en especial amorosa, siendo ejemplo de amor e inspiración para sus hijos; darle las gracias infinitas a mi madre, la mujer más importante de mi vida, por guiarme en este largo camino de la vida y ayudarme a cumplir mis metas y sueños. Te amo mami

## **AGRADECIMIENTO**

A mi padres, Luis y Ana, quienes son y serán el pilar fundamental en mi vida, por enseñarme que los sueños y la metas se pueden lograr con esfuerzo y dedicación, a no rendirme nunca y apoyarme siempre en mis estudios y en mi vida. Agradecido con Dios y con la vida por tenerlos como padres.

A mis hermanos, Erik, Jessenia y Pablo, quienes han sido una parte importante en la consecución de este logro, con cada acción, con cada palabra de apoyo y motivación, con las vivencias del día a día. Gracias por ser mis hermanos, estar siempre conmigo y por su amor incondicional.

A mis profesores de la Facultad de Ingeniería Mecánica quienes han sabido compartir sus conocimientos durante mi estancia en la universidad y en especial al Ing. Wilson Guachamin que fue una parte fundamental en la realización de este trabajo, gracias por su tiempo y predisposición.

# INDICE DE CONTENIDO

|   |      |
|---|------|
| CERTIFICACIONES .....   | I    |
| DECLARACIÓN DE AUTORÍA .....  | II   |
| DEDICATORIA .....   | III  |
| AGRADECIMIENTO .....  | IV   |
| INDICE DE CONTENIDO .....   | V    |
| ÍNDICE DE FIGURAS.....  | VIII |
| RESUMEN.....  | X    |
| ABSTRACT .....  | XI   |
| 1 DESCRIPCIÓN DEL COMPONENTE DESARROLLADO.....                              | 1    |
| 1.1 Objetivo general .....  | 1    |
| 1.2 Objetivos específicos .....   | 1    |
| 1.3 Alcance .....   | 2    |
| 2 Marco teórico.....  | 3    |
| 2.1 Estado del arte .....   | 3    |
| 2.1.1 Importancia de la ganadería en el Ecuador .....                       | 3    |
| 2.1.2 Características del grano de maíz .....                               | 3    |
| 2.1.3 El grano de maíz en la alimentación de bovinos .....                  | 4    |
| 2.1.4 Tamaño de grano de maíz triturado en la alimentación de bovinos ..... | 5    |
| 2.1.5 Trituradoras de granos de maíz.....                                   | 5    |
| 2.1.5.1 Trituradora de martillos .....                                      | 5    |
| 2.1.5.2 Trituradora de rodillos .....                                       | 6    |
| 2.1.5.3 Trituradora de discos de frotamiento.....                           | 7    |
| 2.1.5.4 Trituradora de bolas.....   | 8    |
| 2.2 Benchmarking .....  | 9    |
| 2.2.1 Trituradora DACHANG DC-150 .....                                      | 10   |
| 2.2.2 Molino picador JF 2-D.....  | 11   |
| 2.2.3 Molino de discos DM 400.....  | 12   |
| 2.3 Ecuaciones de diseño mecánico .....                                     | 14   |
| 2.3.1 Capacidad de trituración.....   | 14   |
| 2.3.2 Potencia del motor.....   | 14   |
| 2.3.3 Diseño de triturador de martillos .....                               | 15   |
| 2.3.3.1 Energía de ruptura o trituración.....                               | 15   |
| 2.3.3.2 Energía Cinética .....  | 15   |
| 2.3.3.3 Diseño de martillos.....  | 16   |

|         |  |    |
|---------|--|----|
| 2.3.4   | Diseño de un eje a cargas estáticas .....          | 18 |
| 2.3.5   | Diseño de un eje a fatiga .....                    | 19 |
| 2.3.6   | Transmisión por banda .....                        | 22 |
| 2.3.7   | Selección de rodamientos.....                      | 23 |
| 3       | METODOLOGÍA.....                                   | 24 |
| 3.1     | Despliegue de la función de calidad (QFD).....     | 25 |
| 3.1.1   | Casa de la calidad .....                           | 25 |
| 3.1.1.1 | Voz del usuario .....                              | 25 |
| 3.1.1.2 | Voz del ingeniero .....                            | 26 |
| 3.1.1.3 | Conclusiones de la Casa de la Calidad.....         | 27 |
| 3.1.2   | Especificaciones Técnicas.....                     | 27 |
| 3.1.3   | Análisis Funcional.....                            | 28 |
| 3.1.3.1 | Diagramas funcionales.....                         | 28 |
| 3.1.3.2 | Modularidad .....                                  | 29 |
| 3.1.4   | Planteamiento de soluciones .....                  | 30 |
| 3.1.4.1 | Módulo 1: Encendido y alimentación.....            | 30 |
| 3.1.4.2 | Módulo 2: Sistema de transmisión de potencia ..... | 34 |
| 3.1.4.3 | Módulo 3: Sistema de triturado.....                | 38 |
| 3.1.4.4 | Módulo 5: Descarga de granos triturados.....       | 42 |
| 3.2     | Diseño conceptual de la máquina .....              | 44 |
| 3.3     | Diseño conceptual del sistema de trituración ..... | 46 |
| 4       | Cálculo y selección de componentes.....            | 47 |
| 4.1     | Cálculo de la capacidad de molienda.....           | 47 |
| 4.2     | Cálculo de la potencia del motor .....             | 47 |
| 4.3     | Cálculo de martillos .....                         | 47 |
| 4.3.1   | Energía de ruptura.....                            | 48 |
| 4.3.2   | Velocidad tangencial.....                          | 48 |
| 4.3.3   | Radio externo del sistema .....                    | 50 |
| 4.3.4   | Aceleración angular del sistema .....              | 51 |
| 4.3.5   | Fuerza de trituración.....                         | 51 |
| 4.3.6   | Masa del martillo .....                            | 53 |
| 4.3.7   | Geometría del martillo .....                       | 53 |
| 4.3.8   | Falla por tracción .....                           | 54 |
| 4.3.9   | Falla por cizalladura en el martillo.....          | 56 |
| 4.4     | Cálculo del número de martillo.....                | 57 |
| 4.5     | Cálculo de disco porta martillos .....             | 57 |

|        |  |         |
|--------|--|---------|
| 4.6    | Diseño de los separadores de martillos .....                       | 59      |
| 4.7    | Diseño del perno porta martillos.....                              | 59      |
| 4.8    | Diseño de distanciador de discos porta martillos .....             | 62      |
| 4.9    | Diseño de la manzana.....  | 63      |
| 4.10   | Diseño de la zaranda .....   | 64      |
| 4.11   | Diseño de chaveta eje-manzana.....                                 | 64      |
| 4.12   | Determinación de la Inercia del sistema de triturado. ....         | 67      |
| 4.13   | Sistema de transmisión de potencia .....                           | 68      |
| 4.14   | Cálculo del eje de la máquina picadora y trituradora .....         | 69      |
| 4.15   | Selección de rodamientos.....                                      | 70      |
| 4.16   | Diseño de la bancada .....   | 71      |
| 4.17   | Análisis de costos .....   | 73      |
| 4.17.1 | Costos de materiales.....  | 74      |
| 4.17.2 | Costos de fabricación .....  | 74      |
| 4.17.3 | Costo de elementos normalizados.....                               | 74      |
| 5      | RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....                   | 76      |
| 5.1    | Resultados .....   | 76      |
| 5.2    | Conclusiones.....  | 77      |
| 5.3    | Recomendaciones.....   | 78      |
| 6      | REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....                                    | 80      |
| 7      | ANEXOS.....  | 83      |
|        | ANEXO I: CASA DE LA CALIDAD .....                                  | LXXXIV  |
|        | ANEXO II: PROPIEDADES MECÁNICAS DEL ACERO INOXIDABLE AISI 304..... | LXXXV   |
|        | ANEXO III: CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS MOTORES ELÉCTRICOS WEG .....   | LXXXVI  |
|        | ANEXO IV: SELECCIÓN DE POLEAS Y BUJES.....                         | LXXXVII |
|        | ANEXO V: CATÁLOGO DE RODAMIENTOS .....                             | XC      |
|        | ANEXO VI: PRUEBAS EXPERIMENTALES .....                             | XCI     |
|        | ANEXO VII: PLANOS DE CONJUNTO, TALLER Y MONTAJE .....              | XCVIII  |



## ÍNDICE DE FIGURAS

|  |    |
|--|----|
| <b>Figura 1.</b> Trituradora de martillos [5].   | 6  |
| <b>Figura 2.</b> Molino de rodillos: (a) Molino de rodillos estriados, (b) Molino de rodillos lisos [5].                                       | 7  |
| <b>Figura 3.</b> Trituradora de discos de frotamiento: a) Trituradora de disco único, b) Trituradora de doble disco [12].                      | 8  |
| <b>Figura 4.</b> Trituradora de bolas [12].  | 9  |
| <b>Figura 5.</b> Trituradora DACHANG DC-150 [13].  | 10 |
| <b>Figura 6.</b> Molino picador JD 2-D [14].   | 11 |
| <b>Figura 7.</b> Molino de disco DM 400 [15].  | 13 |
| <b>Figura 8.</b> Fuerza de trituración en los martillos [Propia].  | 17 |
| <b>Figura 9.</b> Índices para el factor de condición superficial de Marín [19].  | 20 |
| <b>Figura 10.</b> Factor de confiabilidad de Marín [19].   | 20 |
| <b>Figura 11.</b> Diagrama de flujo de metodología para el diseño de la máquina trituradora de granos de maíz y picadora de forrajes [Propia]. | 25 |
| <b>Figura 12.</b> Diagrama funcional – Nivel 0 [Propia].   | 29 |
| <b>Figura 13.</b> Diagrama funcional – Nivel 1 [Propia].   | 29 |
| <b>Figura 14.</b> Diagrama funcional – Nivel 2 [Propia].   | 29 |
| <b>Figura 15.</b> División de módulos [Propia].  | 30 |
| <b>Figura 16.</b> Selector ON/OFF [Propia].  | 31 |
| <b>Figura 17.</b> Tolva cónica [Propia].   | 31 |
| <b>Figura 18.</b> Tolva rectangular [Propia].  | 32 |
| <b>Figura 19.</b> Tolva alargada [Propia].   | 32 |
| <b>Figura 20.</b> Transmisión por cadena [Propia].   | 35 |
| <b>Figura 21.</b> Transmisión por banda [Propia].  | 35 |
| <b>Figura 22.</b> Transmisión por engranes [Propia].   | 35 |
| <b>Figura 23.</b> Sistema de martillos [Propia].   | 38 |
| <b>Figura 24.</b> Sistema de discos [Propia].  | 38 |
| <b>Figura 25.</b> Sistema de rodillos [Propia].  | 39 |
| <b>Figura 26.</b> Criba rectangular [Propia].  | 39 |
| <b>Figura 27.</b> Criba circular [Propia].   | 39 |
| <b>Figura 28.</b> Ducto recto [Propia].  | 42 |
| <b>Figura 29.</b> Ducto curvo [Propia].  | 42 |
| <b>Figura 30.</b> Diseño conceptual de la máquina picadora de forrajes y trituradora de granos [Propia].                                       | 45 |
| <b>Figura 31.</b> Diseño Conceptual del sistema de trituración [Propia].   | 46 |
| <b>Figura 32.</b> Posición de los martillos antes del encendido (a) y durante el funcionamiento (b) [Propia].                                  | 48 |
| <b>Figura 33.</b> Radio externo del sistema [Propia].  | 50 |
| <b>Figura 34.</b> Prueba para la obtención de la fuerza de trituración [Propia].   | 52 |
| <b>Figura 35.</b> Diagrama de cuerpo libre del playo [Propia].   | 52 |
| <b>Figura 36.</b> Geometría del martillo [Propia].   | 53 |
| <b>Figura 37.</b> Diagrama de fuerzas del martillo al golpear el grano de maíz [Propia].   | 54 |
| <b>Figura 38.</b> Área de rotura o desgarro [Propia].  | 56 |
| <b>Figura 39.</b> Zona de análisis de falla en el disco [Propia].  | 58 |
| <b>Figura 40.</b> Tubería de acero inoxidable AISI 304 [21].   | 59 |
| <b>Figura 41.</b> Fuerzas que actúan en el sistema de martillos [Propia].  | 60 |
| <b>Figura 42.</b> Configuración de elementos en solo un perno porta-martillo [Propia].   | 61 |
| <b>Figura 43.</b> Diagrama de fuerza de corte [Propia].  | 61 |

|  |          |
|--|----------|
| <b>Figura 44.</b> Diagrama de momento flector [Propia].  | 62       |
| <b>Figura 45.</b> Configuración de los distanciadores de discos [Propia].  | 63       |
| <b>Figura 46.</b> Ubicación de la manzana [Propia].  | 63       |
| <b>Figura 47.</b> Disposición de la Zaranda [Propia].  | 64       |
| <b>Figura 48.</b> Chavetas y chaveteros en función de diámetros de eje [25].   | 65       |
| <b>Figura 49.</b> Dimensiones de chavetas- catalogo OPAC [27].   | 67       |
| <b>Figura 50.</b> Correa “3V” [20].  | 68       |
| <b>Figura 51.</b> Dimensionamiento del eje de la máquina picadora y trituradora [28].                                | 69       |
| <b>Figura 52.</b> Diagrama de cargas aplicadas al eje de la máquina picadora-trituradora [28].                       | 70       |
| <b>Figura 53.</b> Porcentajes de costos de la máquina picadora de forrajes y trituradora de granos de maíz [Propia]. | 77       |
| <b>Figura 54.</b> Propiedades mecánicas del acero AISI 304 [19].   | LXXXV    |
| <b>Figura 55.</b> Características técnicas y dimensiones de motor WEG 7.5 HP [30].                                   | LXXXVI   |
| <b>Figura 56.</b> Factor de seguridad- tipo de perfil de correa de alta capacidad [20].                              | LXXXVII  |
| <b>Figura 57.</b> Capacidad de transmisión de banda [20].  | LXXXVIII |
| <b>Figura 58.</b> Diámetros de poleas y su designación [20].   | LXXXIX   |
| <b>Figura 59.</b> Selección de rodamientos [29].   | XC       |
| <b>Figura 60.</b> Pesa 498 g [Propia].   | XCI      |
| <b>Figura 61.</b> Flexómetro 5m, escala 1mm [Propia].  | XCII     |
| <b>Figura 62.</b> Platina acero A36 [Propia].  | XCII     |
| <b>Figura 63.</b> Calibrador 0.02mm – 1/1000 in [Propia].  | XCII     |
| <b>Figura 64.</b> Toma de medidas grano de maíz [Propia].  | XCIII    |
| <b>Figura 65.</b> Cinta reflectiva sobre el mandril del taladro [Propia].  | XCIII    |
| <b>Figura 66.</b> Alicata [Propia].  | XCIV     |
| <b>Figura 67.</b> Flexómetro 5m, escala 1mm [Propia].  | XCIV     |
| <b>Figura 68.</b> Dinamómetro [Propia].  | XCIV     |

## RESUMEN

El diseño de la máquina picadora de forrajes y trituradora de granos de maíz nace a partir de la necesidad de contar con maquinaria que agilice el procesamiento de la materia prima para la elaboración de alimento balanceado para bovinos en la zona Interandina. El diseño partió con la recopilación y análisis de información que validaron la realización del proyecto, así como un estudio comparativo de máquinas trituradoras nacionales como internacionales; para tomar de referencia en el diseño de la máquina. Luego, se desarrolló el análisis funcional donde se identificaron los mecanismos de la máquina multipropósito; así como sus funciones acordes a los requerimientos del usuario. Se presentaron y evaluaron las alternativas de solución por medio de la matriz de criterios ponderados. La alternativa de solución seleccionada consta de un sistema de trituración a base de martillos y sistema de picado en base a un volante porta-cuchillas; el sistema de picado es estudiado por Tapia A. (2022). Posteriormente, se realizó el diseño y la selección de elementos mecánicos del sistema de trituración de granos de maíz. En base al cálculo final, se elaboró los planos tanto de taller como conjunto para una futura construcción. Finalmente, se realizó un análisis de costos de fabricación de la máquina multipropósito.

**PALABRAS CLAVE:** trituradora de granos, picadora de forrajes.

## **ABSTRACT**

The design of machine the forage chopper and corn kernel crushers was born from the need to have machinery that speeds up the processing of raw material to produce balanced feed for cattle in the Inter-Andean zone. The design started with the compilation and analysis of information that validated the realization of the project, as well as a comparative study of national and international crushing machines; to take reference in the design of the machine. Then, the functional analysis was developed where the mechanisms of the multipurpose machine were identified; as well as its functions according to the user's requirements. Solution alternatives were presented and evaluated using the weighted criteria matrix. The alternative solution selected consists of a crushing system based on hammers and a chopping system based on a blade holder flywheel; the chopping system is studied by Tapia A. (2022). Subsequently, the design and selection of mechanical elements of the corn grain crushing system was carried out. Based on the final calculation, both workshop and assembly plans for future construction were drawn up. Finally, an analysis of the manufacturing costs of the multipurpose machine was carried out.

**KEYWORDS:** grain crusher, forage chopper.

# **1 DESCRIPCIÓN DEL COMPONENTE DESARROLLADO**

La crianza de ganado representa una actividad económica considerable que aporta con nuevas fuentes de empleo y que se encuentra en auge en las últimas décadas en el país. En la región Sierra del Ecuador se encuentra el mayor número de cabezas de ganado con alrededor de 2,25 millones de ejemplares. Mientras que, en la Costa existen 1,6 millones y en la Amazonía 540000. La alimentación balanceada de bovinos por medio de la técnica de estabulación genera que, los bovinos aprovechen en gran porcentaje los nutrientes y elementos proteínicos de los forrajes y granos de maíz [1].

La región Interandina ha tenido un alto crecimiento en la crianza de bovinos en las últimas 5 décadas para el desarrollo económico de cientos de familias. Una dificultad que se presenta es la geografía de la zona que dificulta la productividad, generando que los productores mantengan técnicas antiguas y obsoletas para la crianza de los bovinos como es el caso del sobrepastoreo [2].

Dadas las problemáticas en el desaprovechamiento de recursos para la crianza de bovinos en el sector Noroccidente, los ingenieros Andrés Tapia y Gloria Tapia han decidido implementar maquinaria que permita optimizar recursos, tiempos de procesamiento en la alimentación de bovinos. La maquinaria permitirá procesar forrajes y granos de maíz de forma eficiente para reemplazar los métodos tradicionales de procesamiento y máquinas de construcción artesanal. El 60% de granos de maíz utilizados en la alimentación de los bovinos no son triturados por lo que pierden los elementos nutritivos y energéticos dentro del grano, por lo que el diseño de la máquina multipropósito nace como una necesidad para los pequeños y medianos productores ganaderos.

## **1.1 Objetivo general**

Diseñar el módulo de trituración de granos de maíz de una máquina multipropósito.

## **1.2 Objetivos específicos**

1. Realizar la investigación del estado del arte de máquinas trituradoras de granos de maíz.
2. Establecer el diseño conceptual de los módulos concernientes al proceso de trituración.

3. Diseñar y seleccionar elementos mecánicos de los módulos del proceso de trituración.
4. Elaborar planos de conjunto, taller y montaje del módulo de trituración.
5. Realizar el análisis de costos de fabricación del módulo de trituración de granos de maíz.

### **1.3 Alcance**

El presente Trabajo de Integración Curricular (TIC) se limita únicamente al diseño del módulo de trituración de granos de maíz de la máquina multipropósito, el cual se diseña para procesar una tonelada de granos de maíz por cada hora de uso; según requerimientos del usuario.

## **2 MARCO TEÓRICO**

En el presente capítulo se presenta el estado del arte referente al estudio de las diferentes alternativas de maquinaria desarrolladas para la trituración de granos secos y en particular para el grano de maíz. Luego por medio del Benchmarking se desarrolla el análisis de trituradoras de granos existentes en el mercado, además se hace mención de las ecuaciones de diseño necesarias para el módulo de trituración de granos de maíz de la máquina multipropósito.

### **2.1 Estado del arte**

#### **2.1.1 Importancia de la ganadería en el Ecuador**

En el Ecuador, las actividades de la agricultura, ganadería, pesca y silvicultura representan el 9,63% del Producto Interno Bruto (PIB) con un aproximado de \$9.626.014 dólares [3]. La ganadería en específico representa una de las actividades más importantes para el crecimiento y desarrollo económico, por medio de esta actividad se logra cumplir la generación de nuevas industrias y emprendimientos, obteniendo así nuevas fuentes de empleo en la producción de carnes, productos lácteos, entre otros.

Una de las técnicas de producción ganadera que ha tomado auge en la zona interandina es la crianza bovina bajo la técnica de estabulación o semiestabulación, que consiste en mantener al bovino encerrado total o parcial dentro del corral con una alimentación equilibrada entre forrajes locales y granos como el maíz. Para la elaboración de la alimentación equilibrada de los bovinos, nace la necesidad de contar con maquinaria agrícola que permita cumplir las funciones de triturar granos y picar forraje de forma eficiente y más rápida a comparación del método tradicional [4].

#### **2.1.2 Características del grano de maíz**

Uno de los granos secos más comercializados en el Ecuador es el grano de maíz, debido a su aporte en la alimentación tanto en humanos como en animales; ya que consta de elementos nutritivos y energéticos. Los componentes primordiales que conforman el grano de maíz son: proteínas, lípidos y almidones, aunque en pequeñas cantidades están presentes elementos como fibra cruda, minerales, azúcares vitaminas liposolubles entre otras [5]. La tabla 1 muestra los porcentajes de la composición del grano de maíz según cada una de las partes que lo conforman.

**Tabla 1.** Composición del grano de maíz [5].

| Partes del grano | Composición del grano (%)       |         |       |          |        |        |
|------------------|---------------------------------|---------|-------|----------|--------|--------|
|                  | % en peso seco del grano entero | Almidón | Grasa | Proteína | Ceniza | Azúcar |
| Endospermo       | 82.9                            | 87.6    | 0.8   | 8        | 0.3    | 0.6    |
| Germen           | 11.1                            | 8.3     | 33.2  | 18.4     | 10.5   | 10.8   |
| Pericarpio       | 5.3                             | 7.3     | 1     | 3.7      | 0.8    | 0.34   |
| Tapa superior    | 0.8                             | 0.8     | 3.8   | 9.1      | 1.6    | 1.6    |
| Grano Entero     | 100                             | 73.4    | 4.4   | 9.1      | 1.4    | 1.9    |

En la tabla 1 se evidencia como en el interior del grano de maíz denominado endospermo se encuentra la mayor cantidad de almidón y proteína, mientras que la superficie del grano o pericarpio existe la menor cantidad de nutrientes. Por lo que, al hablar del grano de maíz en la alimentación de animales, en muchos casos se lo consume entero; pero ciertos animales no logran triturarlos ni digerirlos desaprovechando los nutrientes existentes en el interior del grano.

### **2.1.3 El grano de maíz en la alimentación de bovinos**

La principal característica de una planta forrajera es su elevado contenido de fibra cruda y los bajos niveles de proteína y energía, por lo cual se genera la necesidad de adicionar un suplemento energético que compense estos niveles a los diversos forrajes que se emplea. El grano de maíz es uno de los suplementos comúnmente utilizado en la alimentación de bovinos por medio de la técnica de estabulación, esto debido a los altos valores energéticos, su mínima variabilidad en su composición química y bajo contenido de elementos antinutritivos para los bovinos [6].

Al incluir granos de maíz en la alimentación de los bovinos, se presenta la duda de que si estos se deben agregar enteros o triturados. En [6] se menciona que, al momento de ser ingerido los granos de maíz enteros por el bovino, estos son masticados llegando a triturarlos, pero una gran cantidad de granos de maíz no son triturados y dependiendo del tamaño del animal estos pueden llegar a representar problemas al momento de ser tragados o ingeridos. Se menciona que al constituir hasta un 60% en la composición alimenticia del bovino, es recomendable suministrar el grano de maíz triturado ya que se genera una ganancia de peso en el animal ya que este aumenta su degradabilidad ruminal.



## **2.1.4 Tamaño de grano de maíz triturado en la alimentación de bovinos**

Con el uso de granos de maíz en la alimentación de bovinos, el tamaño del grano triturado juega un papel importante para lograr un eficiente aprovechamiento nutricional y energético del mismo. La maduración del grano de maíz va a influir considerablemente dado que a mayor maduración el tamaño del grano partido tiene que ser más fino, por lo que un mal procesamiento del grano refleja pérdidas económicas hacia el productor ya que el grano no es asimilado por el bovino y será excretado en forma de heces [7].

La referencia [7] indica que el tamaño de grano partido de maíz para una adecuada y eficiente asimilación por parte de los bovinos, está en un rango de 1 a 8 mm, por lo que el módulo de triturado de granos de maíz deberá presentar la capacidad de entregar como producto final diversos tamaños de granos de maíz.

## **2.1.5 Trituradoras de granos de maíz**

Existen una diversidad de maquinaria en el mercado nacional e internacional que cumplen la necesidad de obtener material triturado. Entre los principales tipos de trituradoras de granos se menciona cuatro en específico que son:

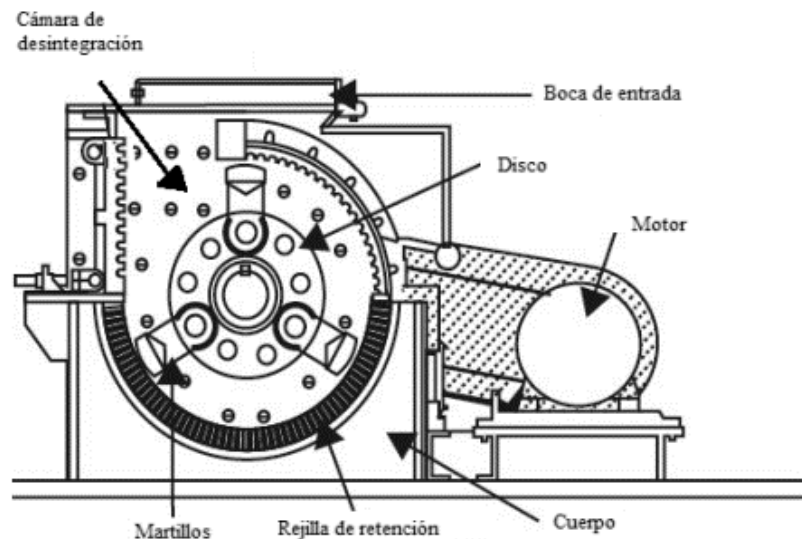
- Trituradora de martillos
- Trituradora de rodillos
- Trituradora de discos de frotamiento
- Trituradora de bolas

### **2.1.5.1 Trituradora de martillos**

Las trituradoras de martillos son usualmente empleadas en la industria de los alimentos ya que poseen mejores características con mejor versatilidad que otras maquinarias con el mismo propósito. Sirven para desintegrar de forma uniforme una gran variedad de granos como la cebada, el maíz, el trigo entre otros [8].

El material se pulveriza por percusión ya que el grano se rompe cuando este choca con el elemento de percusión o golpe denominados martillos, dichos martillos se encuentran pivotados con el eje y pueden adoptar la forma de T, estribos o anillos. El grano en primera instancia sufre una deformación plástica para después romperse o triturarse por estallido, el tamaño de las partículas trituradas estará dada por la distancia entre el radio de giro de los martillos y el tamiz de molienda [5], [8].

La figura 1 muestra cómo se encuentra constituido una trituradora de martillos, donde el elemento mecánico son los martillos los cuales tendrán la función de pulverizar el material que ingresará por la boca de entrada o también conocida como tolva de ingreso, hacia la cámara de desintegración; posteriormente este material triturado será expulsado hacia la tolva de salida que posee una rejilla de retención que actúa como un clasificador de partículas, las cuales deberán tener el tamaño deseado.



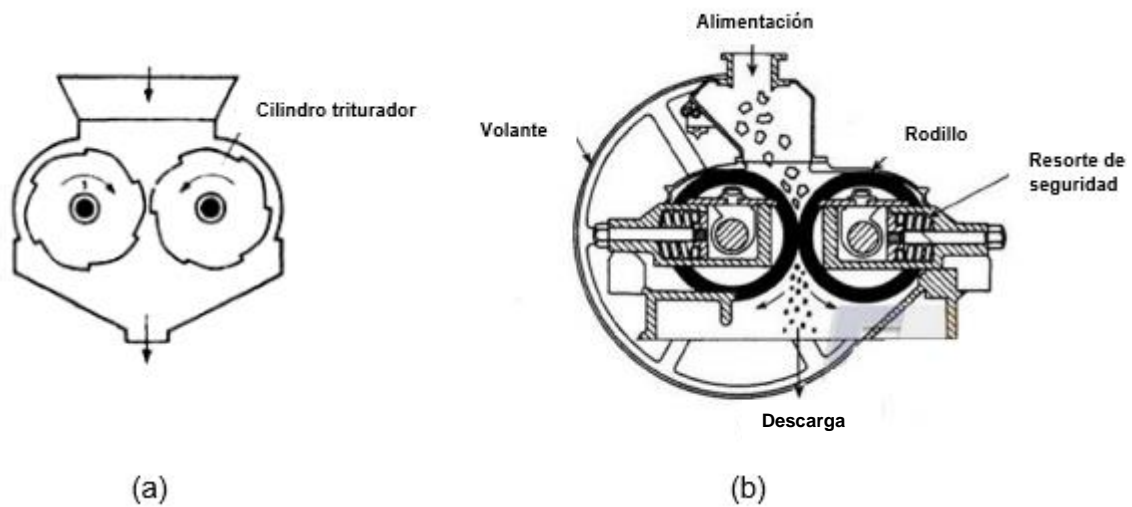
**Figura 1.** Trituradora de martillos [5].

Las ventajas que demuestra este tipo de maquinaria son su sencillez al momento de su construcción, adquisición y reemplazo de elementos, sencillo y fácil mantenimiento, capacidad de obtener distintos grados de refinado acorde al calibre de perforaciones del tamiz, entre otros [9].

#### **2.1.5.2 Trituradora de rodillos**

Esta maquinaria se caracteriza por poseer dos rodillos de acero o en algunos casos más de dos. El material es triturado por dichos rodillos por medio de la fuerza de compresión que generan al atravesar el material por los rodillos [10].

Los rodillos pueden ser de dos tipos, de rodillos estriados (a) y de rodillos lisos (b) como lo muestra la figura 2. Los rodillos estriados presentan rugosidad en su superficie y giran a diferentes velocidades; donde el material se retiene en las cavidades del cilindro de menor velocidad para que las cavidades del cilindro con mayor velocidad cumplan la función de cortar el material. Los rodillos lisos presentan superficies lisas y giran a la misma velocidad [5].



**Figura 2.** Molino de rodillos: (a) Molino de rodillos estriados, (b) Molino de rodillos lisos [5].

Las trituradoras de rodillos son generalmente utilizadas para el procesamiento de molienda húmeda. La ventaja que presenta este tipo de maquinaria es que se puede ajustar la distancia entre rodillos para adaptarlos al tamaño de molienda que se requiera. Las desventajas más considerables son que presentan un bajo rendimiento en su producción (300 a 500 kg/h) y antes de iniciar el proceso de trituración se debe retirar elementos con gran dureza ajenos al material ingresado; por tal motivo son más utilizadas para la molienda de avena en el sector alimenticio [10], [5].

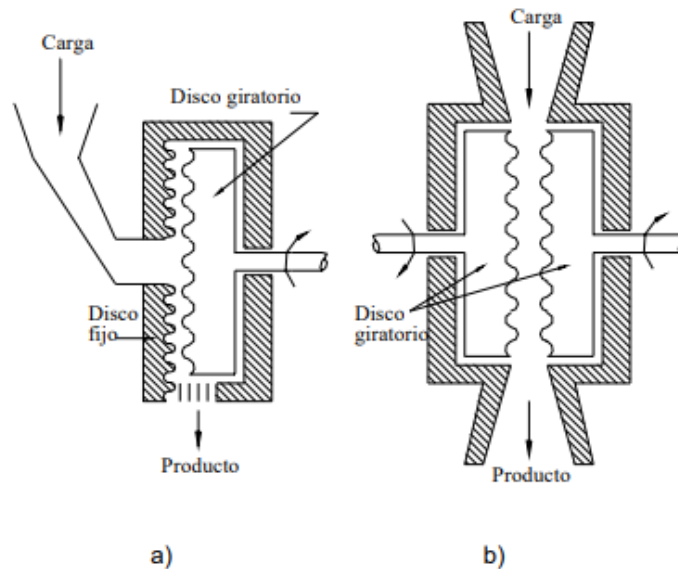
### 2.1.5.3 Trituradora de discos de frotamiento

Su principio de funcionamiento se asemeja a los molinos de piedra que se utilizaban en la antigüedad. Estos constan de un disco de acero que parten del principio de frotamiento o también conocido como cizalla para realizar el proceso de trituración, se los utiliza comúnmente en el campo alimenticio ya que permiten obtener molienda muy fina. El eje de maquinaria puede tomar una disposición vertical tanto como horizontal dependiendo de la necesidad y características del producto a triturar [11], [8], [10].

Las trituradoras de discos de frotamiento se pueden clasificar de acuerdo con el número de discos que presentan en su cámara de trituración. Como se muestra en la figura 3, estos son: trituradora de disco único (a) y trituradora de doble disco (b) [11].

La trituradora de disco único se caracteriza por la trituración del material cuando el único disco existente que gira a elevada velocidad ejerce cierta presión contra la pared de la cámara de trituración. La separación que debe poseer el disco con la pared dependerá del

tamaño requerido de molienda. La trituradora de doble disco se caracteriza por poseer dos discos con diferentes sentidos de giro, este tipo de maquinaria se la utiliza usualmente para la trituración de granos como el maíz, trigo, arroz, etc. Al igual que en la trituradora de disco único, la separación entre los dos discos será acorde a las necesidades y al tamaño requerido por el usuario [10], [11].



**Figura 3.** Tritradora de discos de frotamiento: a) Tritradora de disco único, b) Tritradora de doble disco [12].

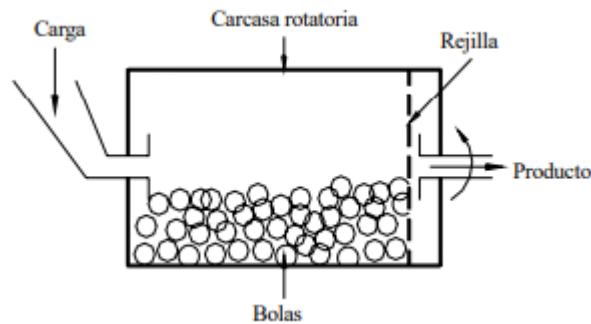
La ventaja que posee este tipo de maquinaria es la regulación de tamaño que se puede obtener del producto final. Al hablar de la trituradora de disco único, se logra regular la distancia entre el disco y la pared de la cámara de trituración, mientras que en la trituradora de doble disco se regula la distancia entre los dos discos. La desventaja para tomar en cuenta es la dificultad que se presenta en el mantenimiento, lo que implican costos más elevados a comparación de otras maquinarias utilizadas para el mismo fin.

#### 2.1.5.4 Tritradora de bolas

La finalidad de este tipo de máquina trituradora es la obtención de producto fino, donde actúan fuerzas de cizalla e impacto a la vez. Su aplicación se da en industrias que requieren triturar materiales de gran dureza, pero a su vez se puede triturar materiales blandos o de una mediana dureza [12].

El funcionamiento se basa en un cilindro que gira lentamente y que en su interior posee bolas o esferas de acero de gran dureza, las cuales son las que Trituran el material dentro del cilindro de forma efectiva. En la figura 4 se logra apreciar cómo se conforman los

elementos constitutivos de este tipo de trituradora, donde el elemento principal son las bolas que determinaran la calidad del producto final.



**Figura 4.** Trituradora de bolas [12].

Una ventaja para tomar en cuenta en este tipo de trituradora es una relativa sencillez en su diseño; en cambio una desventaja a tomar en cuenta es que al estar en permanente contacto las bolas de acero con el material a triturar, estas sufrirán desgaste y desprendimiento de material. La calidad del producto final dependerá del material de las bolas.

## 2.2 Benchmarking

Durante estos últimos años se han desarrollado un sinnúmero de proyectos e investigaciones en el país, donde se analiza y estudia la maquinaria existente para la trituración de diversos granos como el maíz, cebada, arroz, entre otros.

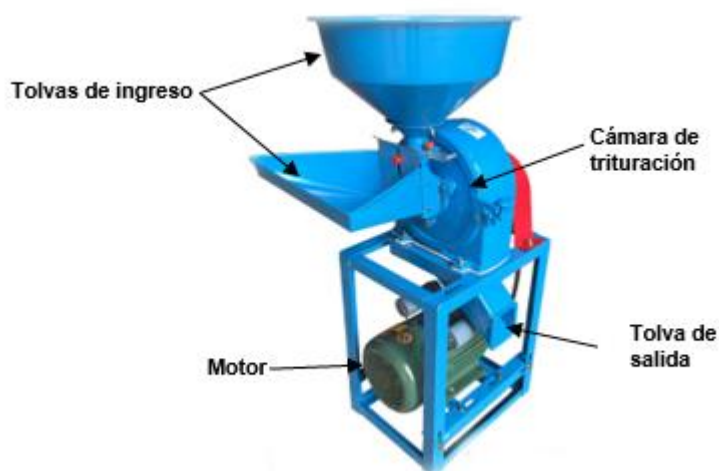
En la actualidad, las empresas nacionales dedicadas a la fabricación de maquinaria agrícola; en especial, trituradoras de granos lo hacen bajo requerimientos específicos de grandes productores de molienda; es decir donde se requiere una capacidad de molienda alta. El costo de este tipo de maquinaria es relativamente alto para productores considerados pequeños, ya que el nivel de producción de molienda es relativamente bajo a comparación de los grandes productores.

Por otro lado, existe una importación considerable de este tipo de maquinaria teniendo una gran aceptación, tanto de grandes productores como de medianos productores de molienda.

Se presenta un desglose de las principales máquinas trituradoras de granos que se hallan en el mercado y se procede a analizar su funcionamiento y características.

### 2.2.1 Trituradora DACHANG DC-150

La trituradora de marca DACHANG, ver figura 5, se basa en el principio de trituración por percusión, es decir, en su cámara de trituración consta de martillos. Esta maquinaria se utiliza para el procesamiento de granos como el trigo, maíz, frijoles y otros granos. La máquina consta de dos tolvas de ingreso de materia prima y una tolva de salida para el material particulado. Existe la posibilidad de utilizarla con un motor eléctrico o con motor a diésel [13].



**Figura 5.** Trituradora DACHANG DC-150 [13].

En la tabla 2 se presentan las principales características técnicas de la trituradora marca DACHANG DC-150.

**Tabla 2.** Especificaciones técnicas de la trituradora DACHANG DC-150 [13].

|                     |                          |
|---------------------|--------------------------|
| Voltaje             | 220 V                    |
| Potencia            | 2.2 KW                   |
| Peso                | 50 kg                    |
| Dimensiones         | 330 mm x 690 mm x 500 mm |
| Capacidad           | 80 kg/h                  |
| Industria           | Peruana                  |
| Número de martillos | 2                        |
| Soporte             | Base fija                |
| Costo               | \$ 850.00                |

Ventajas:

- Presenta un diseño sencillo.
- Entrega un producto final de calidad.
- Peso ligero.
- Puede triturar distintos tipos de granos secos.

Desventajas:

- Capacidad de producción limitada.
- Tiempo de procesamiento relativamente alto.
- Máquina estática, no se puede transportar.

### 2.2.2 Molino picador JF 2-D

Este molino se caracteriza por tener en su cámara de trituración, cuchillas y martillos fabricados de un material muy resistente como acero templado especial. Los martillos tienen la ventaja de que al sufrir desgaste se los puede rectificar hasta 4 veces, lo que lo hace un equipo de alta producción ideal para medianos productores. Como se observa en la figura 6 no cuenta con un sistema de transporte lo que lo hace una máquina fija [14].



**Figura 6.** Molino picador JD 2-D [14].

Este molino picador es una máquina multipropósito, ya que puede cumplir las funciones de picar pasto y triturar granos secos debido a que posee cuchillas y martillos; a su vez presenta dos tolvas. En la figura 6, la tolva alargada permite el ingreso de forrajes mientras que la tolva amarilla permite el ingreso de granos secos [14].

La tabla 3 muestra las principales características del molino picador JD 2-D, acorde a la ficha técnica del producto.

**Tabla 3.** Principales características del Molino picador JD 2-D [14].

|  |                           |
|--|---------------------------|
| Potencia   | Motor eléctrico: 3 HP     |
|  | Motor a gasolina: 7 HP    |
| Número de martillos  | 6                         |
| Número de cuchillas  | 2                         |
| Número de cribas   | 5                         |
| Rendimiento (acorde al tamaño requerido de producto final-grano de maíz) | Para 0.8 mm: 50 – 60 Kg/h |
|  | Para 3 mm: 250 – 350 Kg/h |
|  | Para 5 mm: 400 – 750 Kg/h |
| Rendimiento (forraje)  | 1200 kg/h                 |
| Industria  | Brasileira                |
| Costo  | \$ 1340.00                |

Cabe recalcar que en la tabla 3 se muestra dos potencias distintas, una para motor eléctrico y otra para motor a gasolina esto debido a que la máquina se puede adaptar estos dos tipos de motores dependiendo del requerimiento existente por el productor. Cabe recalcar que la empresa AGROTA posee en su stock máquinas similares, pero con mayores capacidades de trabajo por lo que su fabricación es reducida.

#### Ventajas

- Sus elementos de percusión pueden ser rectificadas hasta 4 veces.
- Producción alta de molienda y material picado.
- Su base se adapta a motores eléctricos y también a gasolina.
- Mantenimiento relativamente sencillo.

#### Desventajas

- Su costo es considerable para pequeños productores.
- El rendimiento para obtener material fino menor a 1 mm es bajo.
- No es transportable con facilidad.

### **2.2.3 Molino de discos DM 400**

Una característica que hace a este molino uno de los más solicitados, es la capacidad que tiene de entregar un producto procesado super fino hasta 0.05 mm. El material ingresa por la tolva hacia los discos con disposición vertical donde uno de ellos gira y el otro se mantiene estático produciendo la trituración por la presión y fricción que se genera entre estos dos [15].



En la figura 7 se observa que el modelo DM 400 es una maquinaria moderna ya que consta de una tecnología nueva en el ámbito agrícola



**Figura 7.** Molino de disco DM 400 [15].

Mediante la tabla 4 se logra apreciar las principales características del molino de discos DM 400, fabricado por la empresa RETSCH.

**Tabla 4.** Principales características del molino de discos DM 400 [15].

|                       |                                   |
|-----------------------|-----------------------------------|
| Potencia Motriz       | 1.5 kW                            |
| Principio de molienda | Fricción y presión                |
| Velocidad             | 528 rpm                           |
| Material              | Óxido de circonio, acero templado |
| Alimentación          | Trifásica                         |
| Peso                  | 240 kg                            |
| Volumen del cilindro  | 2.5 L                             |
| Costo                 | \$ 2335.00                        |
| Capacidad             | 150 kg/h                          |
| Dimensiones           | 520 mm x 630 mm x 1050 mm         |

#### Ventajas

- Fácil mantenimiento.
- Tritura materiales duros y frágiles.
- El tiempo de trituración es corto.
- Es de tamaño reducido.
- Se obtiene material triturado fino.

#### Desventajas

- El costo es elevado.

- Su tecnología es relativamente nueva.

## 2.3 Ecuaciones de diseño mecánico

En esta sección se muestran las ecuaciones necesarias para el diseño del módulo del proceso de trituración de granos de maíz de la máquina multipropósitos, partiendo de la información analizada anteriormente de máquinas trituradoras y sus componentes.

### 2.3.1 Capacidad de trituración

Como primer punto se debe obtener la capacidad de la trituración

, y se la calcula mediante la ecuación (1):

$$M_o = \frac{m_g}{t_m} \quad (1)$$

Donde:

$M_o$  Capacidad de trituración (kg/h)

$m_g$  Masa de granos de maíz a ser triturados (kg)

$t_m$  Tiempo en el cual los granos de maíz son triturados (h)

### 2.3.2 Potencia del motor

Para el cálculo de la potencia requerida del motor se utiliza el método de Von Rittinger [16], la cual se muestra en la ecuación (2). Dicha ecuación es establecida para maquinaria que generen molienda de granos por medio de molinos de martillos y que no sobrepasen la capacidad de 10 ton/h.

$$P = C * K_r * \left( \frac{1}{D2} - \frac{1}{D1} \right) \quad (2)$$

Donde:

P Potencia del motor (HP)

C Capacidad de trituración (ton/h)

$K_r$  Constante de Rittinger (HP-cm/ton-h)

D2 Diámetro del grano después de ser triturado (cm)

D1 Diámetro del grano antes de ser triturado (cm)

### 2.3.3 Diseño de triturador de martillos

El presente proyecto se basa únicamente en el diseño del módulo de trituración de granos de maíz, por lo cual se presentan las ecuaciones a utilizar en el diseño de los elementos.

#### 2.3.3.1 Energía de ruptura o trituración

La energía requerida para que el grano de maíz se triture se obtiene de manera experimental aplicando la ley de Charpy [16]. La ley consiste en dejar caer un cuerpo de masa conocida sobre un grano de maíz a una cierta altura determinada, y dicha energía se la calcula con la ecuación (3):

$$E_{\text{ruptura}} = m_{\text{prueba}} * g * h \quad (3)$$

Donde:

$E_{\text{ruptura}}$  Energía de ruptura del grano de maíz (J)

$m_{\text{prueba}}$  masa de prueba (kg)

$g$  aceleración de la gravedad (9.81 m/s<sup>2</sup>)

$h$  altura necesaria para triturar el grano de maíz (m)

#### 2.3.3.2 Energía Cinética

Cuando se produce la rotación de los martillos y al momento de entrar en contacto con el grano de maíz se produce una velocidad tangencial en el borde del martillo. Al impactar un grano de maíz con el martillo se produce energía cinética que se calcula por medio de la ecuación (4).

$$E_c = \frac{1}{2} m_g * V_t^2 \quad (4)$$

Donde:

$E_c$  Energía cinética (J)

$m_g$  Masa del grano de maíz (kg)

$V_t$  Velocidad tangencial del martillo (m/s)

La velocidad tangencial con la que se mueve el borde del martillo provoca la ruptura del grano de maíz generando energía cinética en ese punto. En este punto la energía cinética producida será igual a la energía de ruptura [16].

Por lo tanto, al igualar la ecuación (3) y (4) se obtiene una nueva ecuación (5) para hallar la velocidad tangencial.

$$V_t = \sqrt{\frac{2 * m_{prueba} * g * h}{m_g}} \quad (5)$$

La velocidad tangencial ( $V_t$ ) representa la velocidad sin carga, es decir cuando no existe granos de maíz en el interior de la cámara de trituración. Cuando el martillo impacta con el grano se produce una reducción en la velocidad, dicha velocidad con carga ( $V_c$ ) será menor a la velocidad sin carga.

Para encontrar  $V_c$ , se agrupa a todos los componentes (martillos, ejes, discos, entre otros) como un solo que cuerpo que rotan conociéndolo comúnmente como volante. Al trabajar con volantes, como es el caso, se considera un coeficiente de fluctuación que se calcula por medio de la ecuación (4) [17], [18].

$$C_s = \frac{V_t - V_c}{V} \quad (6)$$

Donde:

V      Velocidad tangencial media (m/s)

### 2.3.3.3 Diseño de martillos

El diseño de la herramienta de percusión es de suma importancia debido a que de estos elementos dependerá la calidad del producto entregado (granos de maíz triturados). Los martillos producirán la ruptura de los granos de maíz en el instante de que entren en contacto.

### Dimensionamiento de martillos

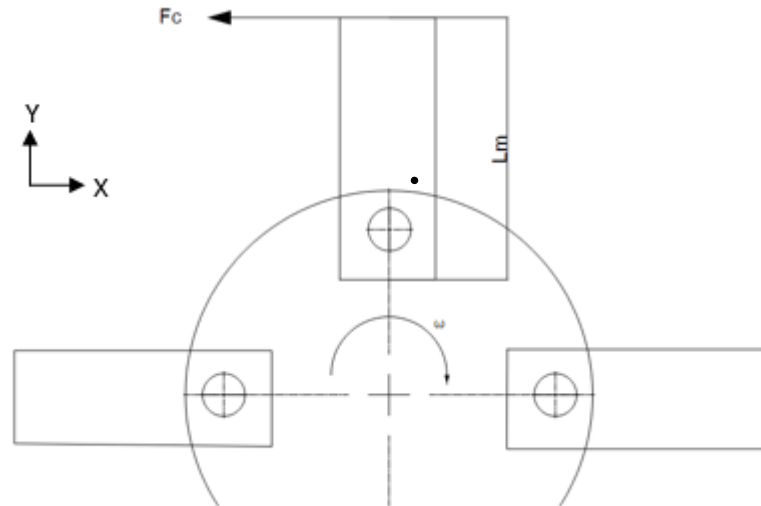
Los martillos adquieren la misma velocidad angular ( $\omega$ ) del rotor y en el instante de entrar en contacto con los granos de maíz generan un momento (M) debido a la fuerza de trituración necesaria para triturar el grano de maíz y a la longitud del martillo como se aprecia en la figura 8. El momento requerido para triturar el grano de maíz viene expresado por la ecuación (7).

$$M = F_c * L_m \quad (7)$$

Donde:

$F_c$  Fuerza de trituración del grano del maíz (N)

$L_m$  Longitud del martillo (m)



**Figura 8.** Fuerza de trituración en los martillos [Propia].

El momento de inercia del martillo con respecto al eje z, se expresa mediante la ecuación (8).

$$M = I_o * \alpha \quad (8)$$

Donde:

$I_o$  Inercia de la herramienta de percusión

$\alpha$  aceleración angular ( $\text{rad/s}^2$ )

La inercia del elemento de percusión que gira alrededor de uno de sus extremos se obtiene por medio de la ecuación (9)

$$I_o = \frac{1}{3} m_m * L_m^2 \quad (9)$$

Donde:

$m_m$  Masa del elemento de percusión (kg)

Al igualar la ecuación (7) y (8) se obtiene:

$$F_c * L_m = I_o * \alpha \quad (10)$$

Reemplazando la ecuación (9) en la ecuación (10) se obtiene:

$$F_c * L_m = \frac{1}{3} m_m * L_m^2 * \alpha \quad (11)$$

A partir de la ecuación (11), se logra hallar una expresión que permite encontrar la masa que deberá poseer cada martillo ( $m_m$ ).

$$m_m = \frac{F_c * 3}{\alpha * L_m} \quad (12)$$

Posteriormente, para hallar la dimensión del ancho del martillo se utiliza la ecuación de la densidad del material, la cual se muestra a continuación:

$$\rho = \frac{m_m}{V_m} \quad (13)$$

Donde:

$\rho$  Densidad del material de fabricación ( $\text{kg/m}^3$ )

$V_m$  Volumen del martillo ( $\text{m}^3$ )

### 2.3.4 Diseño de un eje a cargas estáticas

Los esfuerzos de flexión y torsión a los que se encuentra sometido un eje, se calculan mediante las ecuaciones (14) y (15) respectivamente.

$$\sigma_x = \frac{32 M}{\pi d^3} \quad (14)$$

Donde:

$\sigma_x$  Esfuerzo normal de flexión (Pa)

M Momento flector máximo (N.m)

d Diámetro de eje (m)

$$\tau_{xy} = \frac{16 T}{\pi d^3} \quad (15)$$

Donde:

$\tau_{xy}$  Esfuerzo cortante máximo (Pa)

T Momento torsor máximo (N.m)

Aplicando la teoría de falla de energía de distorsión, el esfuerzo equivalente de Von Mises se lo obtiene con la ecuación (16).

$$\sigma' = \sqrt{\sigma_x^2 - \sigma_x\sigma_y + \sigma_y^2 + 3\tau_{xy}^2} \quad (16)$$

Donde:

$\sigma_x, \sigma_y$  Esfuerzo normal de flexión (Pa)

El factor de seguridad asociado a esta teoría de falla es:

$$\eta = \frac{S_y}{\sigma'} \quad (17)$$

Donde:

$S_y$  Resistencia a la fluencia (MPa)

### 2.3.5 Diseño de un eje a fatiga

En la ecuación (18) se muestra el límite de resistencia de un elemento a fatiga (ecuación de Marín), considerando los factores de Marín.

$$S_e = 0.5S_{ut} * k_a * k_b * k_c * k_d * k_e * k_f \quad (18)$$

Donde:

$k_a$  Factor de modificación de la condición superficial.

$k_b$  Factor de modificación del tamaño.

$k_c$  Factor de modificación de la carga.

$k_d$  Factor de modificación de la temperatura.

$k_e$  Factor de modificación de confiabilidad.

$k_f$  Factor de modificación de efectos varios.

$S_{ut}$  Resistencia ultima a tensión (MPa)

El factor  $k_a$  se lo halla mediante la ecuación la ecuación (19):

$$k_a = aS_{ut}^b \quad (19)$$

Donde:

a y b Factores que se los halla en la figura 9 mostrada a continuación:

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

**Figura 9.** Índices para el factor de condición superficial de Marín [19].

El factor  $k_b$  se lo halla empleando la ecuación (20):

$$k_b = 1.24d^{-0.107} \quad (20)$$

Donde:

d Diámetro del eje, variando en un rango  $2.79 < d < 51$  mm.

El factor de modificación de la carga toma un valor de 1 debido a que el eje presenta una carga de flexión rotatoria. El factor de modificación de la temperatura es 1 en temperaturas menores a  $50^\circ\text{C}$ .

Para la obtención del factor de confiabilidad, se utiliza la figura 10 dependiendo del criterio del diseñador.

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

**Figura 10.** Factor de confiabilidad de Marín [19].

Finalmente, el factor por efectos varios se define por el diseñador. En este caso toma un valor de 1.

Al diseñar ejes se debe tomar en cuenta que estos tendrán muescas o irregularidades en su superficie, por lo que se debe analizar los factores de concentradores de esfuerzos tanto a flexión como a torsión. Ver ecuaciones (21) y (22).



$$K_f = 1 + q(K_t - 1) \quad (21)$$

$$K_{fs} = 1 + q_{cortante}(K_{ts} - 1) \quad (22)$$

Donde:

$K_f, K_{fs}$  Factor de concentración de esfuerzo para trabajo a esfuerzos de flexión y torsión, respectivamente.

$K_{ts}$  Factor de concentración reducido de esfuerzo por fatiga a torsión

$K_t$  Factor de concentración reducido de esfuerzo por fatiga a flexión

$q_{cortante}$  Sensibilidad a la muesca por torsión

$q$  Sensibilidad a la muesca por flexión

Con frecuencia los esfuerzos fluctuantes adquieren una forma sinusoidal, generando esfuerzos medios y alternos que se presentan en las ecuaciones (23), (24), (25), (26).

$$\sigma_a = K_f \frac{32M_a}{\pi d^3} \quad (23)$$

$$\sigma_m = K_f \frac{32M_m}{\pi d^3} \quad (24)$$

$$\tau_a = K_{fs} \frac{16T_a}{\pi d^3} \quad (25)$$

$$\tau_m = K_{fs} \frac{16 T_m}{\pi d^3} \quad (26)$$

Donde:

$M_a$  Momento flexionante alternante (N.m)

$M_m$  Momento flexionante medio (N.m)

$T_a$  Par torsor alternante (N.m)

$T_m$  Par torsor medio (N.m)

$\sigma_a, \sigma_m$  Esfuerzo de flexión alternante y medio, respectivamente.

$\tau_a, \tau_m$  Esfuerzo de torsión alternante y medio, respectivamente.

Aplicando la teoría de Von Mises, el esfuerzo alternante equivalente y el esfuerzo medio equivalente; se calculan con las ecuaciones (27), (28).

$$\sigma'_a = (\sigma_a^2 + 3\tau_a^2)^{1/2} = \left[ \left( \frac{32K_f M_a}{\pi d^3} \right)^2 + 3 \left( \frac{16K_{fs} T_a}{\pi d^3} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (27)$$

$$\sigma'_m = (\sigma_m^2 + 3\tau_m^2)^{1/2} = \left[ \left( \frac{32K_f M_m}{\pi d^3} \right)^2 + 3 \left( \frac{16K_{fs} T_m}{\pi d^3} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (28)$$

Se aplica el criterio de falla por fatiga de Goodman para encontrar un factor de seguridad para el diseño del eje sometido a cargas fluctuantes. (ver ecuación 29)

$$\frac{1}{n} = \frac{\sigma'_a}{S_e} + \frac{\sigma'_m}{S_{ut}} \quad (29)$$

Por lo tanto, el diámetro de diseño se calcula mediante la ecuación (30).

$$d = \left( \frac{16n}{\pi} \left\{ \frac{1}{S_e} (4(K_f M_a)^2)^{\frac{1}{2}} + \frac{1}{S_{ut}} (3(K_{fs} T_m)^2)^{\frac{1}{2}} \right\} \right)^{1/3} \quad (30)$$

### 2.3.6 Transmisión por banda

Para el diseño del sistema es necesario emplear una potencia de diseño como se muestra en la ecuación (31).

$$P_D = P_M * C_1 \quad (31)$$

Donde:

$P_M$  Potencia del motor [kW]

$C_1$  Factor de servicio

Para la selección del factor de servicio, se considera el catálogo INTERMEC S.A. [20].

#### Tipo de banda

Para la selección el tipo y capacidad de banda a emplear se toma de referencia el catálogo de INTERMEC S.A. [20]. La selección de la banda está en función de dos parámetros: las revoluciones por minuto (rpm) y la potencia de diseño. (Ver Anexo IV)

#### Distancia entre centros

Para obtener la distancia entre centros de las poleas, tanto conductora como conducida se emplea la ecuación (32) tomada del catálogo INTERMEC [20].

$$C = 1.5 \times (D + d) \quad (32)$$

Donde:

D Diámetro de la polea conductora (mm)

d Diámetro de la polea conducida (mm)

De igual manera para calcular la longitud de la banda, se emplea la ecuación (33).

$$L_d = 2C + 1.57(d + D) + \frac{(D - d)^2}{4C} \quad (33)$$

### 2.3.7 Selección de rodamientos

En la selección de rodamientos es necesario como primer punto, obtener la carga dinámica equivalente por medio de la ecuación (34).

$$P = X * Fr + Y * Fa \quad (34)$$

Donde:

X, Y Factores de carga radial y axial, respectivamente

Fr Carga radial (N)

Fa Carga axial (N)

P Carga dinámica equivalente (kN)

La carga dinámica equivalente se compara a la capacidad de carga básica dinámica (C), donde se debe cumplir la siguiente relación para la selección del rodamiento.

$$C > P \quad (35)$$

Para el cálculo de la vida nominal en horas se muestra la ecuación (36) para cumplir con la necesidad que se diseñe a vida infinita.

$$L_{10} = \frac{10^6}{60 * \omega} \left( \frac{C}{P} \right)^3 \quad (36)$$

Donde:

C Capacidad de carga dinámica (N)

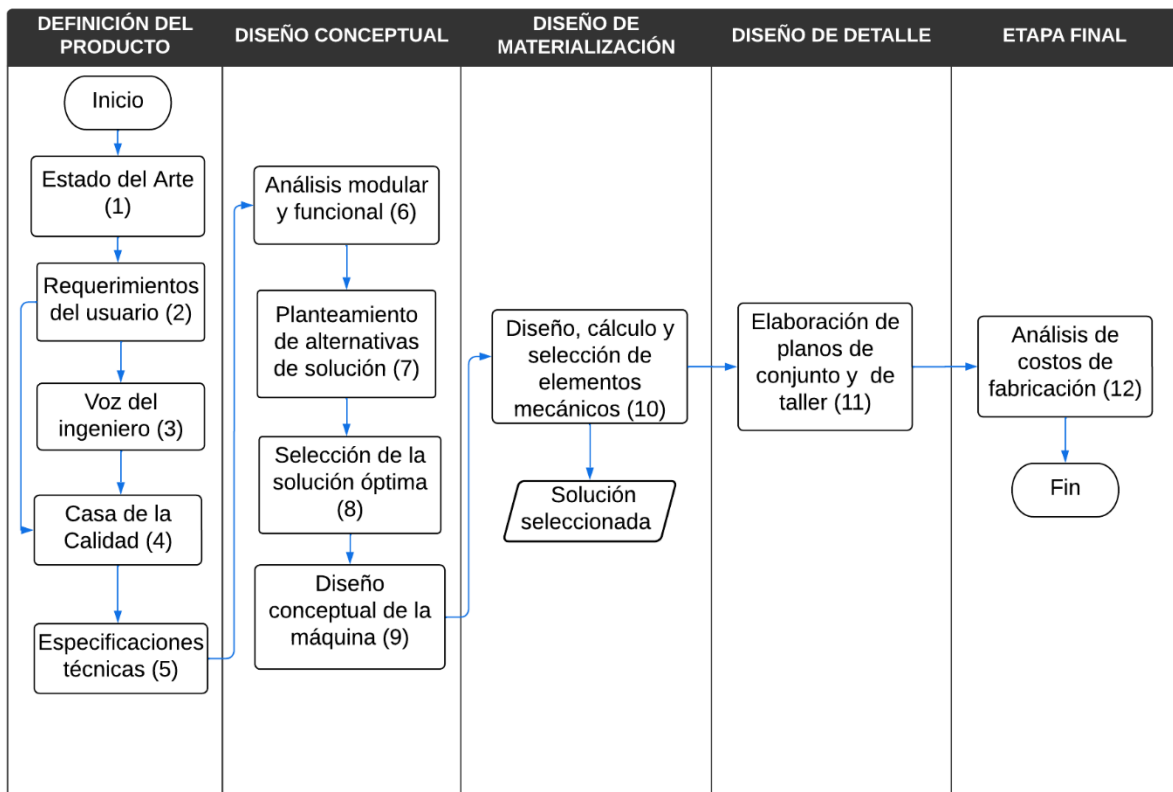
$\omega$  Velocidad angular (rpm)

### **3 METODOLOGÍA**

Para el desarrollo del presente trabajo se realizó como primer paso, una investigación, recopilación y análisis del estado del arte; así como el benchmarking de máquinas trituradoras de granos existentes en el mercado nacional e internacional, como se observa en la sección 2. Posteriormente, para el desarrollo del capítulo 3, se inicia obteniendo los requerimientos por parte del usuario (ver paso 2), y conjuntamente estos requerimientos se analizarán con la voz del ingeniero (ver paso 3) en el desarrollo de la casa de la calidad (ver paso 4); siendo esta una herramienta del “Quality Function Deploymet” (QFD).

Tomando en cuenta los requerimientos del usuario y los criterios ingenieriles, de la casa de la calidad se obtendrán las especificaciones técnicas que deberá cumplir la máquina multipropósito (ver paso 5). Como siguiente paso, se procede con el análisis funcional (ver paso 6) para determinar los distintos módulos y funciones. Se plantean alternativas de soluciones (ver paso 7) y aplicando la herramienta de la matriz de criterios ponderados, se logra seleccionar la alternativa óptima para cada uno de los módulos y funciones (ver paso 8). Con las soluciones seleccionadas, se realiza un diseño conceptual de la máquina (ver paso 9) para proceder con el diseño, cálculo y selección de elementos mecánicos (ver paso 10). Como últimos pasos, se tiene la elaboración de planos conjuntos, de taller y de montaje (ver paso 11) y terminar realizando un análisis de costos de fabricación del módulo de trituración (ver paso 12).

En la figura 11 se aprecia los pasos antes mencionados para lograr un mejor entendimiento y ver la secuencia de estos.



**Figura 11.** Diagrama de flujo de metodología para el diseño de la máquina trituradora de granos de maíz y picadora de forrajes [Propia].

### 3.1 Despliegue de la función de calidad (QFD)

El QFD es una herramienta utilizada para el desarrollo de nuevos productos o servicios, donde se busca que el nuevo producto o servicio considere y relacione los requerimientos del usuario con criterios ingenieriles.

#### 3.1.1 Casa de la calidad

Esta herramienta permite obtener productos nuevos de alta calidad, relacionando los requerimientos implantados por el usuario con criterios ingenieriles; y como resultado obtener las especificaciones técnicas que debe cumplir el nuevo producto como en este caso la máquina picadora de forraje y trituradora de granos. (Anexo I)

##### 3.1.1.1 Voz del usuario

En este punto se da mucha importancia ya que el usuario presenta sus requerimientos y necesidades sobre el nuevo producto a desarrollar, en este caso la máquina multipropósito. Para el desarrollo de la casa de la calidad se realizó acercamientos continuos con el usuario, el Ing. Andrés Tapia y la Ing. Gloria Tapia mediante videoconferencias en tiempo

real y el planteamiento de encuestas virtuales. Se obtuvieron los siguientes requerimientos por parte del usuario:

- Sencilla de usar
- Bajo nivel de ruido
- No presente fallas en su funcionamiento
- Fácil mantenimiento
- Elementos con larga vida útil
- No sea costosa
- No perjudique el medio ambiente
- Procese material mínimo una tonelada por cada hora de trabajo.
- Trabaje como mínimo cuatro horas al día
- Utilice energía eléctrica
- Que se pueda desplazar hacia distintos sitios
- Su tamaño no sea muy grande

### **3.1.1.2 Voz del ingeniero**

Partiendo de los requerimientos y necesidades del usuario, se presentan las características técnicas con criterio ingenieril:

- Practicidad
- Nivel de ruido
- Eficacia
- Fácil mantenimiento
- Durabilidad
- Precio
- Ecológica
- Peso
- Tamaño
- Producción
- Tiempo de operación
- Energía

### 3.1.1.3 Conclusiones de la Casa de la Calidad

En base a los resultados obtenidos con la aplicación de la Casa de la Calidad, se determinan las solicitudes más importantes, las cuales se detallan a continuación:

- Eficacia: La importancia de que se logre cumplir con la cantidad de producción deseada por cada hora de trabajo, sin que se presente fallas o desperfectos en la maquinaria.
- Energía: La energía utilizada para el funcionamiento de la máquina debe ser energía eléctrica, favorablemente por medio de un motor eléctrico.
- Eficiencia: Se debe alcanzar la capacidad de producción (1 tonelada por cada hora) en el menor tiempo posible y con el menor uso de los recursos.
- Precio: El precio debe estar entre un margen de \$ 1.500 a \$ 1.800 aproximadamente.

Las solicitudes mencionadas anteriormente, están ligadas al producto final obtenido y al proceso para la obtención del producto final.

### 3.1.2 Especificaciones Técnicas

La tabla 5 muestra las especificaciones técnicas obtenidas a través del desarrollo de la casa de la calidad, las cuales serán utilizadas como base para realizar un diseño conceptual de la máquina multipropósito.

**Tabla 5.** Especificaciones Técnicas [Propia].

| Cliente:<br>Ing. Andrés Tapia<br>Ing. Gloria Tapia |          | Producto:<br>Máquina picadora<br>de forrajes y<br>trituradora de<br>granos de maíz. |     | Fecha inicial: 28/01/2022<br>Última revisión:       |
|--|----------|---|-----|---|
| Diseñadores:<br>Lenin Lasluisa<br>Álvaro Tapia     |          |   |     | Página 1/1  |
| Especificaciones                                   |          |   |     |   |
| Concepto   | Fecha    | Propone   | R/D | Descripción   |
| Función  | 2/2/2022 | C   | R   | Picar forrajes                                      |
|  |          | C   | R   | Triturar granos                                     |
|  |          | C   | R   | Obtener material particulado de forraje y granos    |
| Dimensiones  | 2/2/2022 | C+I   | D   | Tamaño que se adapte al uso en campo.               |
| Capacidad  | 3/2/2022 | C   | R   | Procesamiento de una tonelada de material por hora. |
|  |          | C+I   | R   | Funcionamiento mínimo de 4 horas al día             |

|   |          |     |   |  |
|---|----------|-----|---|--|
| Materiales  | 3/2/2022 | I   | R | Materiales predominantes acero y aluminio                                |
| Confort   | 3/2/2022 | C+I | D | Nivel de ruido bajo  |
| Encendido   | 3/2/2022 | C   | R | Manual   |
| Costes  | 4/2/2022 | C+I | D | Precio en el rango de los \$1,500 a \$1,800                              |
| Mantenimiento   | 4/2/2022 | I   | R | Fácil acceso a los elementos para mantenimiento preventivo y correctivo. |
| Energía   | 5/2/2022 | C   | R | Funcionamiento de la máquina con el uso de energía eléctrica.            |
| Versatilidad  | 5/2/2022 | C+I | D | La cámara de picado y triturado sea una sola.                            |
| <b>Propone:</b> C=Cliente                      I=Ingeniería<br><b>R/D:</b> R=Requerimiento              D=Deseo |          |     |   |  |

### 3.1.3 Análisis Funcional

Se realiza un análisis funcional para identificar y comprender los mecanismos de la máquina multipropósito, donde se identifican las funciones primarias y las funciones secundarias, representándolas mediante diagramas de flujo.

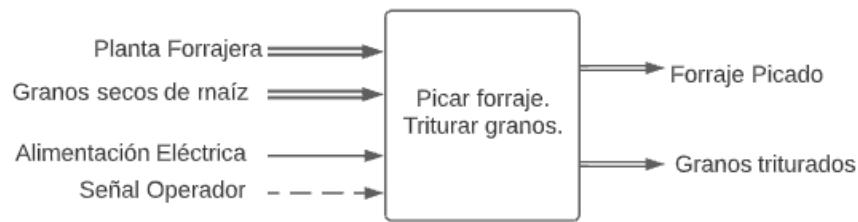
#### 3.1.3.1 Diagramas funcionales

En el desarrollo de los diagramas funcionales, se identifican las funciones que tendrá la máquina y el nivel alcanzado, siendo el máximo, el nivel 2. La figura 12 muestra el denominado nivel 0 se muestra la función principal o global, que consiste en el encendido manual de la máquina de motor eléctrico, para luego ingresar tanto forrajes como granos de maíz a la cámara de picado-triturado y obtener como producto final material picado y triturado.

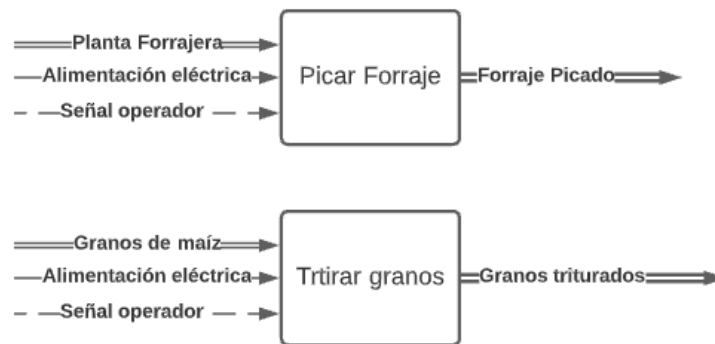
En la figura 13 se aprecia el nivel 1 que se desglosa mucho más la función principal de la máquina, apareciendo las funciones secundarias.

Y, por último, en la figura 14 se muestra el nivel 2 donde se detalla el cómo se realiza cada una de las funciones del nivel 1.

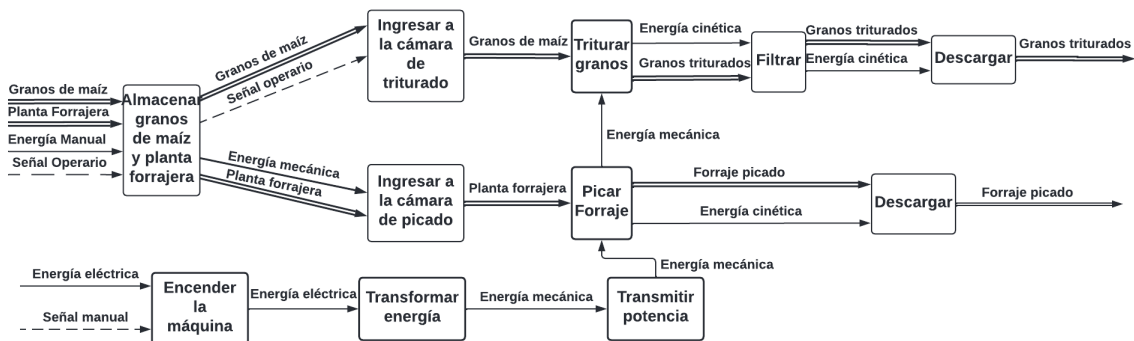




**Figura 12.** Diagrama funcional – Nivel 0 [Propia].



**Figura 13.** Diagrama funcional – Nivel 1 [Propia].

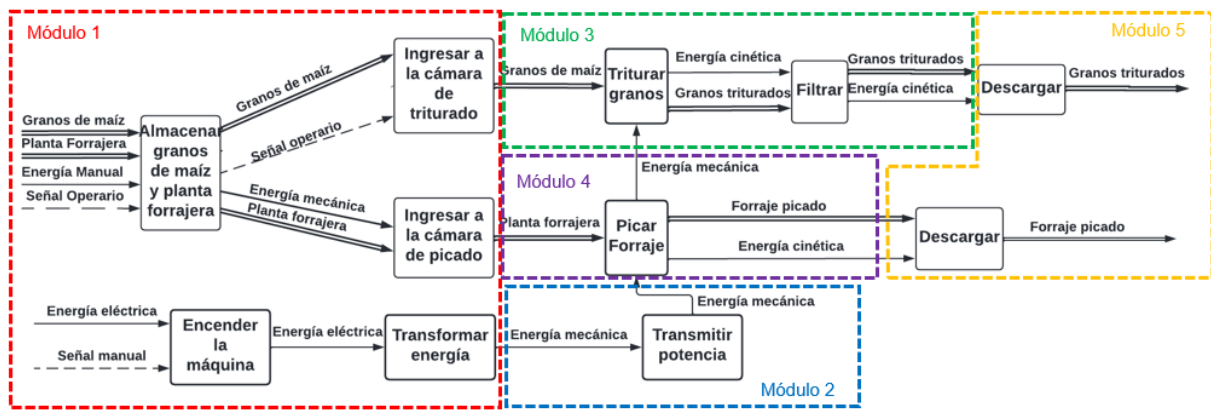


**Figura 14.** Diagrama funcional – Nivel 2 [Propia].

### 3.1.3.2 Modularidad

Para esta sección se divide al producto en módulos funcionales o a su vez constructivos. Logrando desarrollar el diseño, análisis y producción de la máquina por bloques, permitiendo obtener un diseño con mayor detalle y lograr plantear alternativas de solución a los distintos módulos.

En la figura 15 se muestra la división de módulos realizada para la máquina multipropósitos.



**Figura 15.** División de módulos [Propia].

Los módulos establecidos de acuerdo con el análisis funcional realizado se indican en la tabla 6.

**Tabla 6.** Módulos funcionales [Propia].

| Módulo | Descripción              |
|--------|--------------------------|
| 1      | Encendido y alimentación |
| 2      | Transmisión de potencia  |
| 3      | Sistema de triturado     |
| 4      | Sistema de picado        |
| 5      | Descarga                 |

En el presente trabajo se realiza únicamente el diseño de los módulos concernientes al proceso trituración de granos de maíz de la máquina multipropósito, ver alcance (Capítulo 1).

### 3.1.4 Planteamiento de soluciones

Para el desarrollo del diseño conceptual de los módulos que intervienen en el proceso de trituración de granos de maíz, se procede a detallar las distintas alternativas que permitan llegar a cumplir con los requerimientos y necesidades del usuario, así como las especificaciones técnicas desarrolladas en la tabla 5.

#### 3.1.4.1 Módulo 1: Encendido y alimentación

El módulo 1 cumple con las siguientes funciones:

- Encender la máquina
- Alimentar la máquina

- Ingresar granos de maíz

### Encender la máquina

Al ser un requerimiento del usuario, el funcionamiento a base de energía eléctrica; la máquina deberá ser arrancada por medio de un selector ON/OFF como se muestra en la figura 16.




**Figura 16.** Selector ON/OFF [Propia].

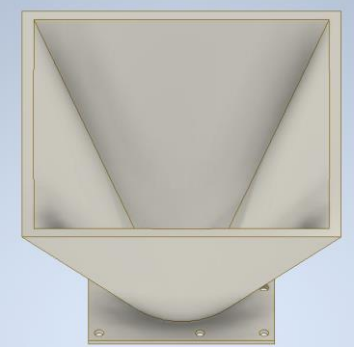
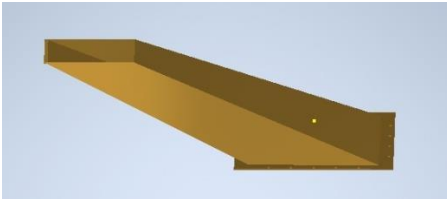
### Alimentar la máquina

Los granos de maíz serán ingresados de manera manual por parte del operario de la máquina, esto debido a la sencillez de la función y ahorro de recursos económicos.

### Ingresar granos de maíz

**Tabla 7.** Alternativas de solución para ingresar granos de maíz [Propia].

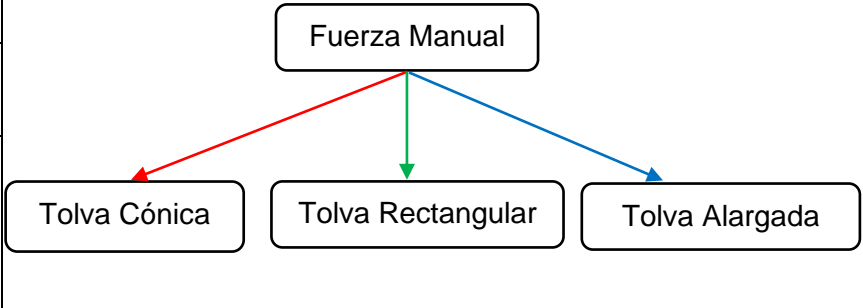
| Descripción   | Ventajas  | Desventajas   |
|---|---|---|
|  <p><b>Figura 17.</b> Tolva cónica [Propia].</p> | <ul style="list-style-type: none"> <li>-Diseño simple.</li> <li>-Facilidad de construcción.</li> <li>-Permite la admisión de granos de maíz de forma continua.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>-Diseño robusto.</li> <li>-Aumenta la altura de la máquina.</li> </ul> |

|  |   |  |
|--|---|--|
|  <p><b>Figura 18.</b> Tolva rectangular [Propia].</p> | <ul style="list-style-type: none"> <li>-Velocidad de salida menor a la de ingreso.</li> <li>-Diseño simple.</li> <li>-Gran capacidad de almacenamiento.</li> <li>-Facilidad de construcción.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>-Desperdicio de material en su fabricación.</li> <li>-Diseño más complejo que la tolva cónica.</li> </ul> |
|  <p><b>Figura 19.</b> Tolva alargada [Propia].</p>    | <ul style="list-style-type: none"> <li>-Gran capacidad de almacenamiento.</li> <li>-Ingreso de material sencillo y abundante.</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>-Mayor tiempo de construcción.</li> <li>-Diseño muy poco atractivo.</li> </ul>                            |

### Alternativas de solución para el módulo 1

A continuación, se presenta la tabla 8 con la matriz morfológica de todas las alternativas de solución para el módulo 1.

**Tabla 8.** Matriz morfológica del módulo 1 [Propia].

| Función Componentes | Componentes  |               |               |
|---------------------|--|---------------|---------------|
| Encender            |  |               |               |
| Alimentar           |  |               |               |
| Ingresar            |  |               |               |
|                     | Alternativa 1  | Alternativa 2 | Alternativa 3 |

Para la evaluación y selección de la alternativa más idónea para el módulo 1, se presentan 3 posibles alternativas de solución. Utilizando el método de la matriz de criterios

ponderados se evalúan las alternativas. Dicho método se basa en dar ciertos valores: 1 si el criterio de la fila es superior al criterio de la columna, un valor de 0 si el criterio de la columna es mayor a al criterio de la fila y un valor de 0.5 si ambos criterios de la columna y de la fila son iguales.

Las alternativas de solución se evaluarán bajo los siguientes criterios:

- Eficiencia: Mejor aprovechamiento de los recursos con mayor aprovechamiento de la materia prima.
- Costo: Diseño con el menor costo.
- Fabricación: Elemento con el diseño más sencillo en su construcción, reduciendo directamente los costos de la máquina.
- Capacidad: Gran volumen para un mayor procesamiento de granos de maíz en el menor tiempo posible.

En la tabla 9 se presenta la evaluación realizada en base a las alternativas respecto a los criterios anteriormente mencionados.

**Tabla 9.** Evaluación de criterios ponderados [Propia].

| <i>Eficiencia &gt; Fabricación &gt; Capacidad &gt; Costo</i> |            |       |             |             |            |             |
|--|------------|-------|-------------|-------------|------------|-------------|
| <i>CRITERIO</i>  | Eficiencia | Costo | Fabricación | Capacidad   | $\Sigma+1$ | Ponderación |
| Eficiencia   |            | 1     | 1           | 0.5         | 3.5        | 0,35        |
| Costo  | 0          |       | 0           | 0           | 1          | 0,10        |
| Fabricación  | 0          | 1     |             | 1           | 3          | 0,30        |
| Capacidad  | 0.5        | 1     | 0           |             | 2,5        | 0,25        |
|  |            |       |             | <i>Suma</i> | 10         | 1           |

A continuación, se presentan las tablas 10, 11, 12, 13, donde se toma en consideración la evaluación de cada alternativa respecto a cada uno de los criterios utilizados.

**Tabla 10.** Evaluación de alternativas respecto a la eficiencia [Propia].

| <i>Alternativa 2 &gt; Alternativa 1 = Alternativa 3</i> |               |               |               |            |             |
|---|---------------|---------------|---------------|------------|-------------|
| <i>Eficiencia</i>                                       | Alternativa 1 | Alternativa 2 | Alternativa 3 | $\Sigma+1$ | Ponderación |
| Alternativa 1   |               | 0             | 0,5           | 1,5        | 0,25        |
| Alternativa 2   | 1             |               | 1             | 3          | 0,50        |
| Alternativa 3   | 0,5           | 0             |               | 1,5        | 0,25        |
|   |               |               | <i>Suma</i>   | 6          | 1           |

**Tabla 11.** Evaluación de alternativas respecto al costo [Propia]

| <i>Alternativa 1 &gt; Alternativa 2 = Alternativa 3</i> |               |               |               |            |             |
|---|---------------|---------------|---------------|------------|-------------|
| <i>Costo</i>  | Alternativa 1 | Alternativa 2 | Alternativa 3 | $\Sigma+1$ | Ponderación |
| Alternativa 1   |               | 1             | 1             | 3          | 0,50        |
| Alternativa 2   | 0             |               | 0,5           | 1,5        | 0,25        |
| Alternativa 3   | 0             | 0,5           |               | 1,5        | 0,25        |
|   |               |               | <i>Suma</i>   | 6          | 1           |

**Tabla 12.** Evaluación de alternativas respecto a la fabricación [Propia].

| <i>Alternativa 2 &gt; Alternativa 1 = Alternativa 3</i> |               |               |               |            |             |
|---|---------------|---------------|---------------|------------|-------------|
| <b>Fabricación</b>                                      | Alternativa 1 | Alternativa 2 | Alternativa 3 | $\Sigma+1$ | Ponderación |
| Alternativa 1   |               | 1             | 1             | 3          | 0,50        |
| Alternativa 2   | 0             |               | 0,5           | 1,5        | 0,25        |
| Alternativa 3   | 0             | 0,5           |               | 1,5        | 0,25        |
|   |               |               | Suma          | 6          | 1           |

**Tabla 13.** Evaluación de alternativas respecto a la capacidad [Propia].

| <i>Alternativa 2 &gt; Alternativa 1 = Alternativa 3</i> |               |               |               |            |             |
|---|---------------|---------------|---------------|------------|-------------|
| <b>Capacidad</b>  | Alternativa 1 | Alternativa 2 | Alternativa 3 | $\Sigma+1$ | Ponderación |
| Alternativa 1   |               | 0             | 0,5           | 1,5        | 0,25        |
| Alternativa 2   | 1             |               | 1             | 3          | 0,50        |
| Alternativa 3   | 0             | 0,5           |               | 1,5        | 0,25        |
|   |               |               | Suma          | 6          | 1           |

La tabla 14 muestra el cuadro de conclusiones, en el cual se toma la ponderación para cada uno de los criterios de la tabla 9 y las soluciones presentadas en las tablas 10, 11, 12, 13.

**Tabla 14.** Conclusiones del módulo 1 [Propia].

| <i>Solución</i> | <i>Eficiencia</i> | <i>Costo</i> | <i>Fabricación</i> | <i>Capacidad</i> | $\Sigma$ | Prioridad |
|-----------------|-------------------|--------------|--------------------|------------------|----------|-----------|
| Alternativa 1   | 0,0875            | 0,050        | 0,150              | 0,0625           | 0,35     | 2         |
| Alternativa 2   | 0,1750            | 0,025        | 0,075              | 0,1250           | 0,40     | 1         |
| Alternativa 3   | 0,0875            | 0,025        | 0,075              | 0,0625           | 0,25     | 3         |

La solución optada como prioridad 1 es la alternativa de solución 2 (tolva rectangular), según los resultados obtenidos en la tabla 14.

### 3.1.4.2 Módulo 2: Sistema de transmisión de potencia

El módulo 2 debe cumplir con la siguiente función:

- Transmitir la potencia desde el motor hacia el eje.

A continuación, en la tabla 15 se presentan las alternativas de solución para el módulo 2.

**Tabla 15.** Alternativas de solución para el módulo 2 [Propia].

| Descripción | Ventajas | Desventajas |
|-------------|----------|-------------|
|-------------|----------|-------------|

|   |   |   |
|---|---|---|
|  <p><b>Figura 20.</b> Transmisión por cadena [Propia].</p>     | <ul style="list-style-type: none"> <li>-Mínimo deslizamiento entre elementos mecánicos.</li> <li>-Durabilidad.</li> <li>-Capacidad de transmisión de cargas alta.</li> <li>-Requiere mínimo mantenimiento.</li> </ul>                               | <ul style="list-style-type: none"> <li>-Generación considerable de ruido.</li> <li>-Lubricación constante.</li> <li>-Precio alto a comparación de los otros dos.</li> <li>-Requiere cierto grado de precisión en su instalación.</li> </ul>                 |
|  <p><b>Figura 21.</b> Transmisión por banda [Propia].</p>      | <ul style="list-style-type: none"> <li>-Generación de ruido leve.</li> <li>-Larga vida útil.</li> <li>-Costo bajo.</li> <li>-Por su elasticidad disipan impactos.</li> <li>-No requieren ser lubricadas.</li> </ul>                                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>-Patina a grandes velocidades.</li> <li>-Deben tener un correcto tensado.</li> <li>-Pierden la capacidad de transmitir potencia con el uso.</li> <li>-Sufren daños en contacto con elevadas temperaturas.</li> </ul> |
|  <p><b>Figura 22.</b> Transmisión por engranes [Propia].</p> | <ul style="list-style-type: none"> <li>-No hay deslizamientos entre engranes.</li> <li>-Capacidad de transmitir grandes potencias.</li> <li>-Fabricación automatizada.</li> <li>-Lubricación mínima.</li> <li>-Espacio requerido mínimo.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>-Costo mayor que los otros dos.</li> <li>-Lubricación constante.</li> <li>-Desgaste de los dientes.</li> <li>-Mantenimiento constante.</li> </ul>  |

### Alternativas de solución para el módulo 2

En la tabla 16, se aprecia la matriz morfológica para el módulo 2 donde se tiene tres alternativas de solución para cumplir la función de transmitir potencia hacia los mecanismos de la máquina.

**Tabla 16.** Matriz morfológica – módulo 2 [Propia].

| Función Componentes | Componentes   |               |               |
|---------------------|---------------|---------------|---------------|
| Transmitir potencia |               |               |               |
|                     | Alternativa 1 | Alternativa 2 | Alternativa 3 |

Al igual que en el módulo 1, se procede con el uso del método de la matriz de criterios ponderados para la selección de la alternativa más conveniente para el módulo 2.

Los criterios que considerar para el módulo 2 son:

- Transmisión: Capacidad de transmitir la mayor cantidad de potencia de un elemento a otro.
- Costo: Su costo afecte lo mínimo en el costo total de la máquina.
- Mantenimiento: Su vida útil sea a largo plazo con la menor cantidad de mantenimiento, además de no perder sus propiedades.
- Deslizamiento: La alternativa que presente la menor pérdida de potencia posible.

En la tabla 17 se presenta la evaluación realizada en base a las alternativas respecto a los criterios anteriormente mencionados.

**Tabla 17.** Evaluación de criterios ponderados – módulo 2 [Propia].

| <i>Transmisión &gt; Mantenimiento &gt; Deslizamiento &gt; Costo</i> |             |       |               |               |            |             |
|---|-------------|-------|---------------|---------------|------------|-------------|
| CRITERIO  | Transmisión | Costo | Mantenimiento | Deslizamiento | $\Sigma+1$ | Ponderación |
| Transmisión   | █           | 1     | 1             | 0.5           | 3.5        | 0,35        |
| Costo   | 0           | █     | 0             | 0             | 1          | 0,10        |
| Mantenimiento   | 0           | 1     | █             | 1             | 3          | 0,30        |
| Deslizamiento   | 0.5         | 1     | 0             | █             | 2,5        | 0,25        |
| <i>Suma</i>   |             |       |               |               | 10         | 1           |

A continuación, se presentan las tablas 18, 19, 20, 21 con cada una de las evaluaciones realizadas según cada tipo de criterio y su incidencia para la selección de la solución del módulo 2.



**Tabla 18.** Evaluación de alternativas respecto a la transmisión [Propia].

| <i>Alternativa 1 = Alternativa 2 = Alternativa 3</i> |               |               |               |          |             |
|--|---------------|---------------|---------------|----------|-------------|
| <b>Transmisión</b>                                   | Alternativa 1 | Alternativa 2 | Alternativa 3 | $\sum+1$ | Ponderación |
| Alternativa 1  |               | 1             | 0             | 2        | 0,33        |
| Alternativa 2  | 0             |               | 1             | 2        | 0,33        |
| Alternativa 3  | 1             | 0             |               | 2        | 0,33        |
| Suma   |               |               |               | 6        | 1           |

**Tabla 19.** Evaluación de alternativas respecto al costo [Propia].

| <i>Alternativa 2 = Alternativa 3 &gt; Alternativa 1</i> |               |               |               |          |             |
|---|---------------|---------------|---------------|----------|-------------|
| <b>Costo</b>  | Alternativa 1 | Alternativa 2 | Alternativa 3 | $\sum+1$ | Ponderación |
| Alternativa 1   |               | 0             | 0             | 1        | 0,16        |
| Alternativa 2   | 1             |               | 0,5           | 2,5      | 0,42        |
| Alternativa 3   | 1             | 0,5           |               | 2,5      | 0,42        |
| Suma  |               |               |               | 6        | 1           |

**Tabla 20.** Evaluación de alternativas respecto al mantenimiento [Propia].

| <i>Alternativa 2 &gt; Alternativa 1 = Alternativa 3</i> |               |               |               |          |             |
|---|---------------|---------------|---------------|----------|-------------|
| <b>Mantenimiento</b>                                    | Alternativa 1 | Alternativa 2 | Alternativa 3 | $\sum+1$ | Ponderación |
| Alternativa 1   |               | 0             | 0             | 1        | 0,167       |
| Alternativa 2   | 1             |               | 1             | 3        | 0,50        |
| Alternativa 3   | 1             | 0             |               | 2        | 0,333       |
| Suma  |               |               |               | 6        | 1           |

**Tabla 21.** Evaluación de alternativas respecto al deslizamiento [Propia].

| <i>Alternativa 2 &gt; Alternativa 1 = Alternativa 3</i> |               |               |               |          |             |
|---|---------------|---------------|---------------|----------|-------------|
| <b>Deslizamiento</b>                                    | Alternativa 1 | Alternativa 2 | Alternativa 3 | $\sum+1$ | Ponderación |
| Alternativa 1   |               | 0,5           | 0,5           | 2        | 0,33        |
| Alternativa 2   | 0,5           |               | 0             | 1,5      | 0,25        |
| Alternativa 3   | 0,5           | 1             |               | 2,5      | 0,42        |
| Suma  |               |               |               | 6        | 1           |

**Tabla 22.** Conclusiones del módulo 2 [Propia].

| <i>Solución</i> | <i>Transmisión</i> | <i>Costo</i> | <i>Mantenimiento</i> | <i>Deslizamiento</i> | $\Sigma$ | Prioridad |
|-----------------|--------------------|--------------|----------------------|----------------------|----------|-----------|
| Alternativa 1   | 0,12               | 0,016        | 0,05                 | 0,0825               | 0,269    | 3         |
| Alternativa 2   | 0,12               | 0,048        | 0,15                 | 0,0625               | 0,381    | 1         |
| Alternativa 3   | 0,12               | 0,048        | 0,099                | 0,105                | 0,372    | 2         |

Según la tabla 22, se concluye que la alternativa de solución que se tiene como prioridad es la número 2 (sistema de transmisión por banda).

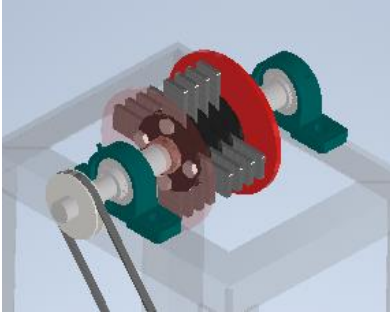
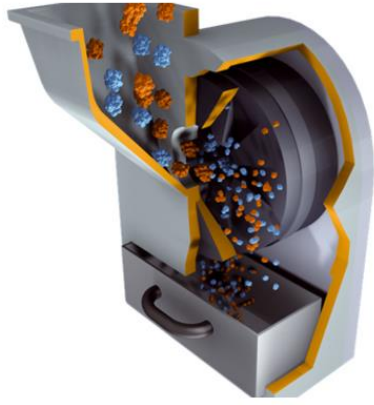
### 3.1.4.3 Módulo 3: Sistema de triturado

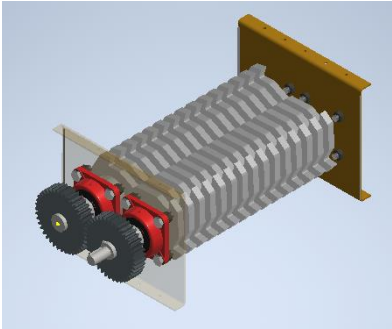
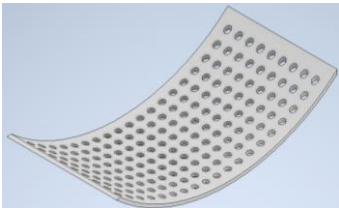

Para el módulo 3 se deben cumplir con las siguientes funciones:

- Triturar granos de maíz
- Filtrar granos triturados

La tabla 23 muestra las alternativas de solución para las funciones que cumple el módulo 3.

**Tabla 23.** Alternativas de solución – módulo 3 [Propia].

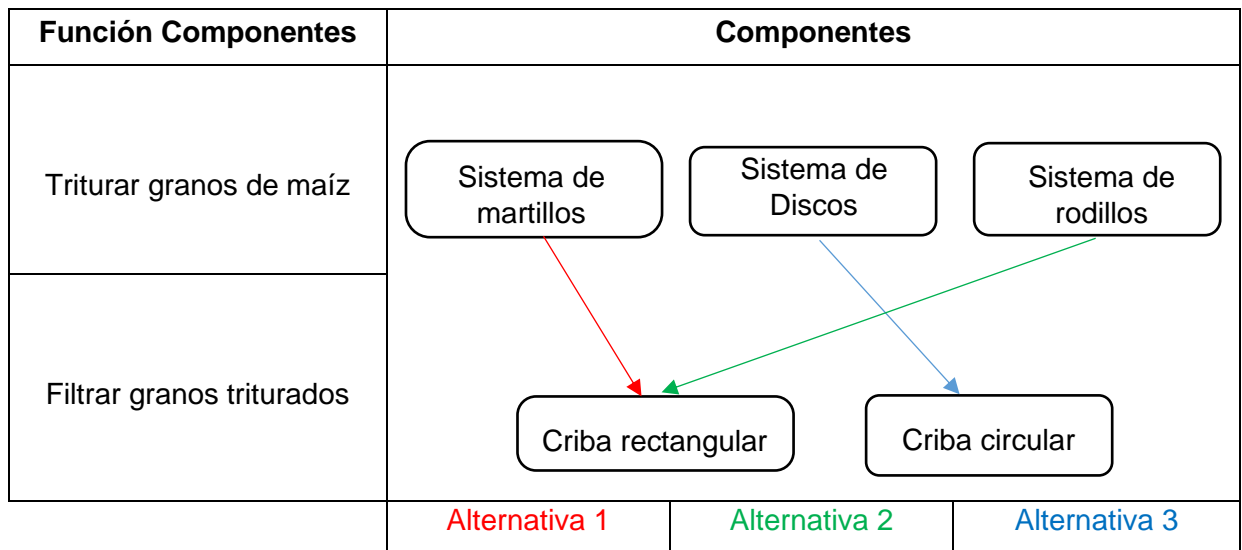
| Triturar granos de maíz  |  |  |
|--|--|--|
| Descripción  | Ventajas   | Desventajas  |
|  <p><b>Figura 23.</b> Sistema de martillos [Propia].</p> | <ul style="list-style-type: none"> <li>-Uniformidad en el tamaño de grano triturado.</li> <li>-El nivel de producción es alta.</li> <li>-Costo de fabricación es bajo.</li> <li>-El nivel de ruido es mínimo.</li> <li>-Fácil y sencillo mantenimiento.</li> </ul>                   | <ul style="list-style-type: none"> <li>-Presenta temperaturas altas al interior de la cámara de trituración.</li> <li>-Si los granos presentan humedad la calidad final del producto no será óptima.</li> <li>-En comparación a otros métodos de trituración la molienda no llega a ser tan fina.</li> </ul> |
|  <p><b>Figura 24.</b> Sistema de discos [Propia].</p>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>-Granularidad homogénea y uniforme.</li> <li>-Se obtiene molienda con tamaños más finos de grano que otros métodos.</li> <li>-Se utiliza para materiales con cualquier nivel de dureza.</li> <li>-Fácil operación y mantenimiento.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>-Nivel de ruido considerable.</li> <li>-Consumo energético excesivo.</li> <li>-Produce contaminación del producto final.</li> <li>-Mantenimiento frecuente.</li> </ul>  |

|  |   |  |
|--|---|--|
|  <p><b>Figura 25.</b> Sistema de rodillos [Propia].</p> | <ul style="list-style-type: none"> <li>-Dejan una molienda compacta.</li> <li>-Trabaja con materiales de alta dureza.</li> <li>-Mantenimiento sencillo y rápido.</li> <li>-Soportan altas temperaturas de trabajo.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>-Costo elevado.</li> <li>-Montaje del sistema demoroso.</li> <li>-Diseño y fabricación de elementos más complejos.</li> <li>-Nivel de ruido considerable.</li> <li>-Usualmente es utilizado para triturar plásticos.</li> </ul> |
| Filtrar granos triturados  |   |  |
| Descripción  | Ventajas  | Desventajas  |
|  <p><b>Figura 26.</b> Criba rectangular [Propia].</p>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>-Diseño y construcción económico.</li> <li>-Variedad de tamaño de cribado.</li> <li>-Fácil acople a la máquina.</li> <li>-Fácil limpieza y mantenimiento.</li> </ul>                   | <ul style="list-style-type: none"> <li>-Tiende a deformarse con el uso.</li> </ul>   |
|  <p><b>Figura 27.</b> Criba circular [Propia].</p>    | <ul style="list-style-type: none"> <li>-Fácil limpieza y mantenimiento.</li> <li>-Variedad de tamaño de cribado.</li> <li>-Diseño sencillo.</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>-Difícil acople a la máquina.</li> <li>-Grano triturado queda atrapado.</li> <li>-Construcción costosa.</li> </ul>  |

### Alternativas de solución para el módulo 3

Por medio de la matriz morfológica se logra combinar las distintas alternativas planteadas y generar la solución óptima que logre cumplir las funciones del módulo 3. Ver tabla 24.

**Tabla 24.** Matriz morfológica – módulo 3 [Propia].



Para el módulo de triturado de granos de maíz, se presentan 3 alternativas de solución y serán evaluadas bajo los siguientes criterios:

- Eficiencia: La mayor producción de maíz triturado con el menor uso de recursos disponibles.
- Costo: La solución que presente el menor costo de fabricación.
- Mantenimiento: El menor número de intervenciones durante un plazo de tiempo, así como la facilidad de acceder a sus componentes.
- Seguridad: Mínima participación del operario durante el proceso de triturado de granos de maíz.

La evaluación se realiza de acuerdo con los criterios mencionados y con el uso de la matriz de criterios ponderados, como se muestra en la tabla 25.

**Tabla 25.** Evaluación de criterios de ponderación módulo 3 [Propia].

| <i>Seguridad &gt; Eficiencia &gt; Costo &gt; Mantenimiento</i> |           |            |       |               |            |             |
|--|-----------|------------|-------|---------------|------------|-------------|
| CRITERIO   | Seguridad | Eficiencia | Costo | Mantenimiento | $\Sigma+1$ | Ponderación |
| Seguridad  |           | 1          | 1     | 1             | 4          | 0,40        |
| Eficiencia   | 0         |            | 0,5   | 1             | 2,5        | 0,25        |
| Costo  | 0         | 0,5        |       | 0,5           | 2          | 0,20        |
| Mantenimiento  | 0         | 0          | 0,5   |               | 1,5        | 0,15        |
|  |           |            |       | Suma          | 10         | 1           |

Para el desarrollo de la mejor alternativa de solución para el módulo 3, se integran los criterios de ponderación con cada una de las alternativas mostradas en la tabla 24.

**Tabla 26.** Evaluación de alternativas respecto a la seguridad [Propia].

| <i>Alternativa 1 &gt; Alternativa 2 &gt; Alternativa 3</i> |               |               |               |          |             |
|--|---------------|---------------|---------------|----------|-------------|
| <b>Seguridad</b>   | Alternativa 1 | Alternativa 2 | Alternativa 3 | $\sum+1$ | Ponderación |
| Alternativa 1  |               | 1             | 1             | 3        | 0,50        |
| Alternativa 2  | 0             |               | 1             | 2        | 0,33        |
| Alternativa 3  | 0             | 0             |               | 1        | 0,17        |
| Suma   |               |               |               | 6        | 1           |

**Tabla 27.** Evaluación de alternativas respecto a la eficiencia [Propia].

| <i>Alternativa 1 = Alternativa 3 &gt; Alternativa 2</i> |               |               |               |          |             |
|---|---------------|---------------|---------------|----------|-------------|
| <b>Eficiencia</b>                                       | Alternativa 1 | Alternativa 2 | Alternativa 3 | $\sum+1$ | Ponderación |
| Alternativa 1   |               | 1             | 0,5           | 2,5      | 0,42        |
| Alternativa 2   | 0             |               | 0             | 1        | 0,16        |
| Alternativa 3   | 0,5           | 1             |               | 2,5      | 0,42        |
| Suma  |               |               |               | 6        | 1           |

**Tabla 28.** Evaluación de alternativas respecto al costo [Propia].

| <i>Alternativa 2 &gt; Alternativa 1 = Alternativa 3</i> |               |               |               |          |             |
|---|---------------|---------------|---------------|----------|-------------|
| <b>Costo</b>  | Alternativa 1 | Alternativa 2 | Alternativa 3 | $\sum+1$ | Ponderación |
| Alternativa 1   |               | 0,5           | 1             | 2,5      | 0,42        |
| Alternativa 2   | 0,5           |               | 1             | 2,5      | 0,42        |
| Alternativa 3   | 0             | 0             |               | 1        | 0,16        |
| Suma  |               |               |               | 6        | 1           |

**Tabla 29.** Evaluación de alternativas respecto al mantenimiento [Propia].

| <i>Alternativa 1 &gt; Alternativa 3 &gt; Alternativa 2</i> |               |               |               |          |             |
|--|---------------|---------------|---------------|----------|-------------|
| <b>Mantenimiento</b>                                       | Alternativa 1 | Alternativa 2 | Alternativa 3 | $\sum+1$ | Ponderación |
| Alternativa 1  |               | 0,5           | 1             | 2,5      | 0,42        |
| Alternativa 2  | 0,5           |               | 0             | 1,5      | 0,25        |
| Alternativa 3  | 0             | 1             |               | 2        | 0,33        |
| Suma   |               |               |               | 6        | 1           |

**Tabla 30.** Conclusiones del módulo 2 [Propia].

| <i>Solución</i> | <i>Eficiencia</i> | <i>Costo</i> | <i>Seguridad</i> | <i>Mantenimiento</i> | $\Sigma$ | Prioridad |
|-----------------|-------------------|--------------|------------------|----------------------|----------|-----------|
| Alternativa 1   | 0,105             | 0,084        | 0,20             | 0,063                | 0,452    | 1         |
| Alternativa 2   | 0,04              | 0,084        | 0,132            | 0,038                | 0,294    | 2         |
| Alternativa 3   | 0,105             | 0,032        | 0,068            | 0,050                | 0,255    | 3         |

Como se muestra en la tabla 30, la alternativa de solución para el módulo 3 es la número 1 (sistema de martillos con criba rectangular).

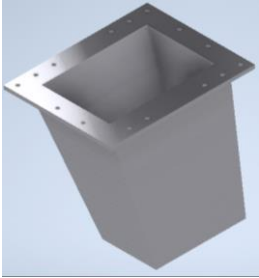
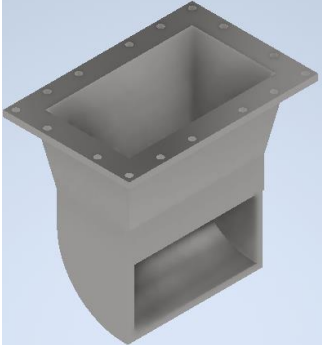
### 3.1.4.4 Módulo 5: Descarga de granos triturados

El módulo 5 deberá cumplir con la siguiente función:

- Descargar material triturado hacia el exterior.

Para satisfacer esta necesidad, usualmente se utilizan tolvas metálicas debido a su facilidad de construcción y su costo es relativamente bajo. En la tabla 31, se muestran alternativas de solución para el módulo 5.

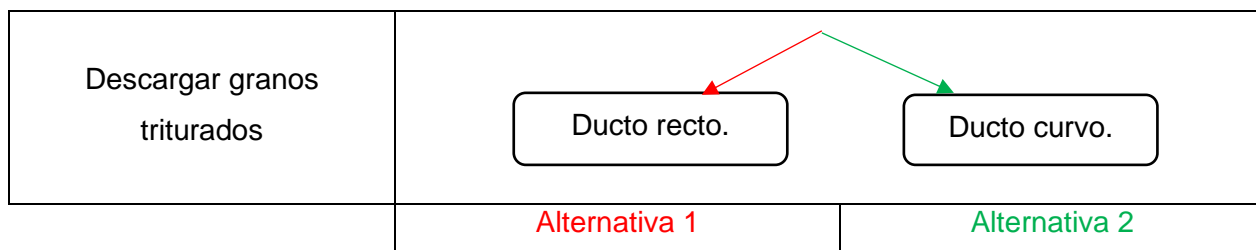
**Tabla 31.** Alternativas de solución – módulo 5 [Propia].

| Descripción  | Ventajas  | Desventajas   |
|--|---|---|
|  <p><b>Figura 28.</b> Ducto recto [Propia].</p>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>-Diseño y construcción económico.</li> <li>-Mantenimiento sencillo.</li> </ul>             | <ul style="list-style-type: none"> <li>-Velocidad de ingreso igual al de salida.</li> </ul> |
|  <p><b>Figura 29.</b> Ducto curvo [Propia].</p> | <ul style="list-style-type: none"> <li>-Velocidad de salida menor que la de ingreso.</li> <li>-Mantenimiento sencillo.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>-Diseño y construcción costoso.</li> </ul>           |

### Alternativas de solución para el módulo 5

La matriz morfológica muestra las alternativas de solución para la descarga de material triturado, como se muestra en la tabla 32.

| Función Componentes | Componentes |
|---------------------|-------------|
|---------------------|-------------|



**Tabla 32.** Alternativas de solución – módulo 5 [Propia].

Como se aprecia en la tabla 32, se tienen dos alternativas de solución para satisfacer la función de expulsar los granos triturados hacia el exterior. Las dos alternativas se evaluarán en la matriz de criterios ponderados bajo los siguientes criterios:

- Costo: La complejidad del diseño y el número de partes afectan al costo de la máquina, se busca la alternativa de menor costo.
- Eficacia: Mayor facilidad para la recolección de los granos triturados.
- Seguridad: Que la alternativa no presente ningún riesgo para el operador de la máquina.
- Complejidad: Dificultad en la fabricación, se debe tener un diseño simple.

Estos criterios servirán de base para evaluar las alternativas presentadas anteriormente en el desarrollo de la matriz de criterios ponderados, como se muestra en la tabla 33.

**Tabla 33.** Evaluación de criterios de ponderación módulo 5 [Propia].

| <i>Seguridad &gt; Eficacia &gt; Costo &gt; Complejidad</i> |       |          |           |             |            |             |
|--|-------|----------|-----------|-------------|------------|-------------|
| <i>CRITERIO</i>  | Costo | Eficacia | Seguridad | Complejidad | $\Sigma+1$ | Ponderación |
| Costo  |       | 0,5      | 0         | 0,5         | 2          | 0,20        |
| Eficacia   | 0,5   |          | 0         | 1           | 2,5        | 0,25        |
| Seguridad  | 1     | 1        |           | 1           | 4          | 0,40        |
| Complejidad  | 0,5   | 0        | 0         |             | 1,5        | 0,15        |
|  |       |          |           | <i>Suma</i> | 10         | 1           |

Para el desarrollo de la mejor alternativa de solución para el módulo 5, se integran los criterios de ponderación con cada una de las alternativas mostradas en la tabla 33.

**Tabla 34.** Evaluación de alternativas respecto a la seguridad [Propia].

| <i>Alternativa 1 &gt; Alternativa 2</i> |               |               |             |             |
|---|---------------|---------------|-------------|-------------|
| <i>Seguridad</i>                        | Alternativa 1 | Alternativa 2 | $\Sigma+1$  | Ponderación |
| Alternativa 1                           |               | 1             | 2           | 0,67        |
| Alternativa 2                           | 0             |               | 1           | 0,33        |
|   |               |               | <i>Suma</i> | 3           |

**Tabla 35.** Evaluación de alternativas respecto a la eficacia [Propia].

| <i>Alternativa 1 = Alternativa 2</i> |               |               |            |             |
|--------------------------------------|---------------|---------------|------------|-------------|
| <b>Eficacia</b>                      | Alternativa 1 | Alternativa 2 | $\Sigma+1$ | Ponderación |
| Alternativa 1                        |               | 0,5           | 1,5        | 0,50        |
| Alternativa 2                        | 0,5           |               | 1,5        | 0,50        |
|                                      |               |               | 3          | 1           |

**Tabla 36.** Evaluación de alternativas respecto al costo [Propia].

| <i>Alternativa 1 &gt; Alternativa 2</i> |               |               |            |             |
|---|---------------|---------------|------------|-------------|
| <b>Costo</b>                            | Alternativa 1 | Alternativa 2 | $\Sigma+1$ | Ponderación |
| Alternativa 1                           |               | 1             | 2          | 0,67        |
| Alternativa 2                           | 0             |               | 1          | 0,33        |
|   |               |               | 3          | 1           |

**Tabla 37.** Evaluación de alternativas respecto a la complejidad [Propia].

| <i>Alternativa 1 &gt; Alternativa 2</i> |               |               |            |             |
|---|---------------|---------------|------------|-------------|
| <b>Complejidad</b>                      | Alternativa 1 | Alternativa 2 | $\Sigma+1$ | Ponderación |
| Alternativa 1                           |               | 1             | 2          | 0,67        |
| Alternativa 2                           | 0             |               | 1          | 0,33        |
|   |               |               | 3          | 1           |

**Tabla 38.** Conclusiones del módulo 2 [Propia].

| <i>Solución</i> | <i>Seguridad</i> | <i>Eficacia</i> | <i>Costo</i> | <i>Complejidad</i> | $\Sigma$ | Prioridad |
|-----------------|------------------|-----------------|--------------|--------------------|----------|-----------|
| Alternativa 1   | 0,268            | 0,125           | 0,268        | 0,268              | 0,929    | 1         |
| Alternativa 2   | 0,132            | 0,125           | 0,132        | 0,132              | 0,521    | 2         |

Como se muestra en la tabla 38, la alternativa de solución para el módulo 5 es la número 1 (ducto recto).

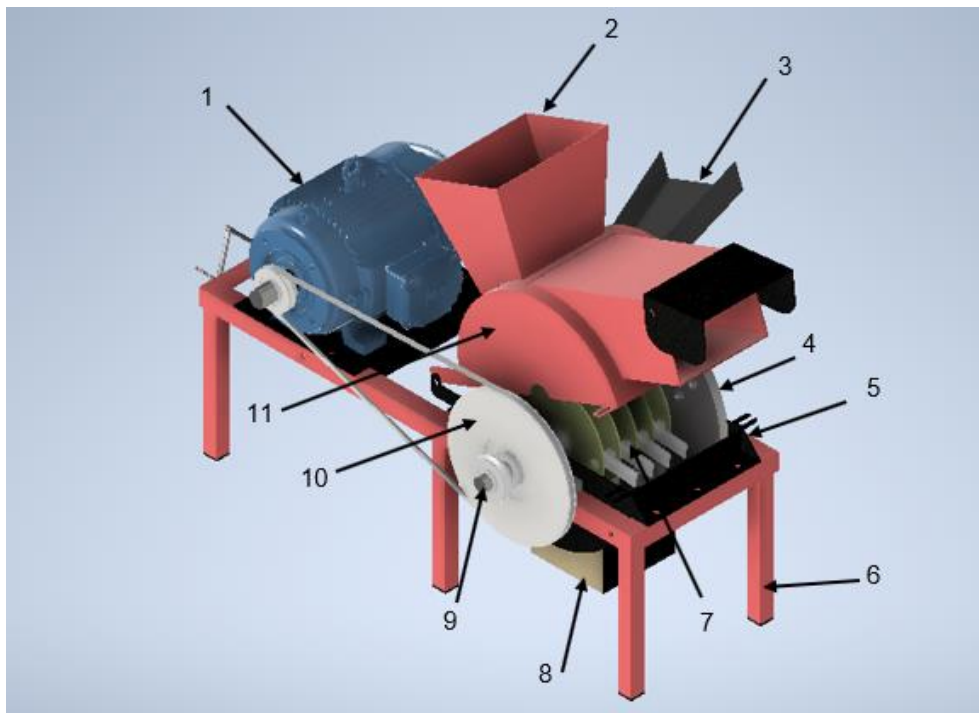
### 3.2 Diseño conceptual de la máquina

En la figura 30, se muestra la solución conceptual de la máquina picadora de forrajes y trituradora de granos de maíz con cada uno de los componentes.

- El motor eléctrico (1) será el encargado de administrar potencia hacia el eje de la máquina.
- La tolva de ingreso de granos de maíz (2) permitirá el flujo de granos de maíz hacia la cámara de trituración.
- Tolva de ingreso de forrajes (3) permitirá el ingreso de diversos forrajes hacia la cámara de picado.
- Volante porta cuchillas (4) es el elemento mecánico que porta cuchillas con la finalidad de picar el forraje.



- Carcasa inferior (5) protege a los elementos mecánicos de picado y trituración.
- Bancada (6) es la estructura mecánica que sirve de soporte para todos los elementos mecánicos.
- Sistema de martillos (7) será el encargado de triturar los granos de maíz que ingresen a la cámara.
- Tolva de salida de granos triturados (8) desaloja los restos de granos con la medida requerida hacia el exterior.
- Eje (9) es el elemento rotacional que transmite la potencia a los sistemas de picado y triturado.
- Sistema de transmisión de potencia (10) permite transmitir la potencia desde el motor hacia el eje.
- Carcasa superior (11) forma una estructura sólida con la carcasa inferior para proteger los elementos mecánicos del exterior.
- Un elemento que no se observa en la figura 33 es la zaranda, pero cumple con la función de permitir el paso de granos de maíz con tamaño requerido.

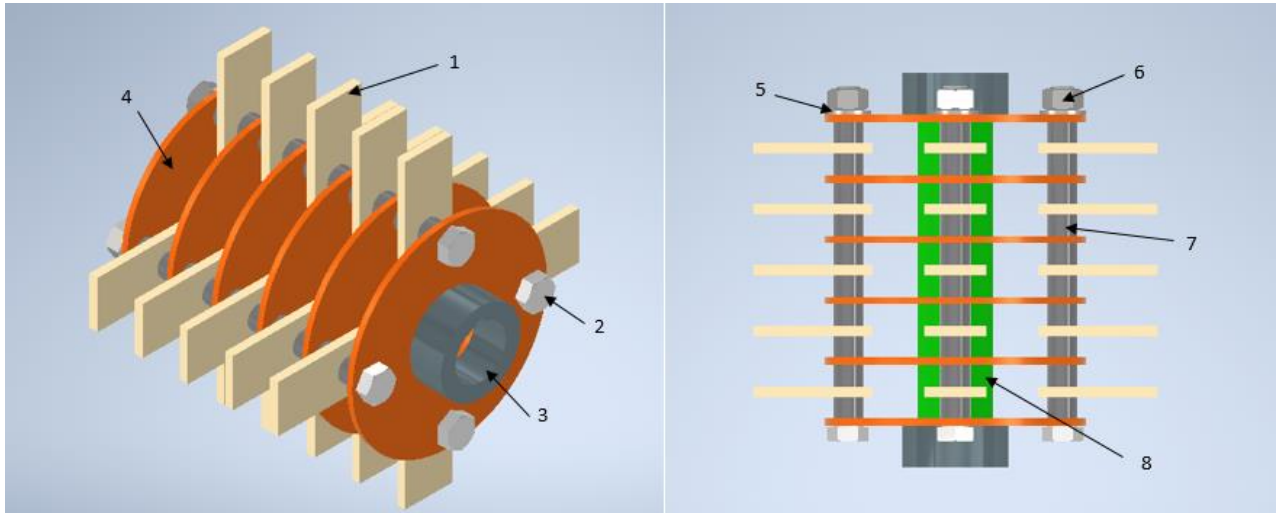


**Figura 30.** Diseño conceptual de la máquina picadora de forrajes y trituradora de granos  
[Propia]

El sistema picador de forraje (volante y cuchillas) gobierna el diseño de la máquina multipropósitos.

### 3.3 Diseño conceptual del sistema de trituración

El alcance del presente trabajo se limita únicamente al diseño del sistema de trituración de granos de maíz, por lo que se presenta la solución conceptual para este sistema como se observa en la figura 31.



**Figura 31.** Diseño Conceptual del sistema de trituración [Propia].

Los componentes que conforman el sistema de trituración son los mostrados en la figura 31:

- Martillos (1) son los elementos más importantes del sistema, ya que se encargan de triturar al grano de maíz.
- Perno porta-martillos (2) es el elemento que se encarga de ser el eje de los martillos.
- Manzana (3) se encarga de dar una correcta localización, asegurar la posición y mantener la estructura de los componentes del sistema.
- Disco porta-martillo (4) permite dar la ubicación a los martillos con un ángulo de  $90^\circ$  entre ellos.
- Arandela (5) se ubica en el perno porta-martillo, entre el disco porta-martillo y la tuerca hexagonal.
- Tuerca hexagonal (6) asegura el apriete entre los martillos, separadores y discos porta-martillos.
- Separadores de martillos (7) permiten dar un adecuado distanciamiento entre martillos.
- Separadores de discos porta-martillos (8) dan una correcta separación entre discos para asegurar que no exista atasca duras de granos de maíz entre los martillos.

## 4 CÁLCULO Y SELECCIÓN DE COMPONENTES

En esta sección se procede con el cálculo y selección de elementos mecánicos que conforman la máquina multipropósito. Se inicia con el diseño de los martillos de percusión, discos porta martillos, pernos porta martillos, separadores de discos y martillos, manzanas y al final se realiza el cálculo del eje de la máquina, en conjunto con el diseño del módulo de picado de forraje.

### 4.1 Cálculo de la capacidad de molienda

Como paso inicial se calcula la capacidad de trituración de la máquina multipropósito, aunque es un requerimiento del usuario se toma como referencia que:

- La masa de granos de maíz a ser triturados va a ser de 1000 kg.
- El tiempo que tomara triturar toda la masa de granos de maíz es de 1 hora.

Reemplazando estos datos en la ecuación (1), se tiene que la capacidad de trituración es:

$$M_o = 1000 \text{ [Kg/h]}$$

### 4.2 Cálculo de la potencia del motor

Para el cálculo de la potencia del motor se tienen las siguientes consideraciones:

- Diámetro del grano después de ser triturado será de 1 a 2 mm.
- Diámetro del grano antes de ser triturado es de 9 mm.
- La constante de Rittinger ( $K_r$ ) es de 1,2 [HP\*cm/Ton\*h] [8].

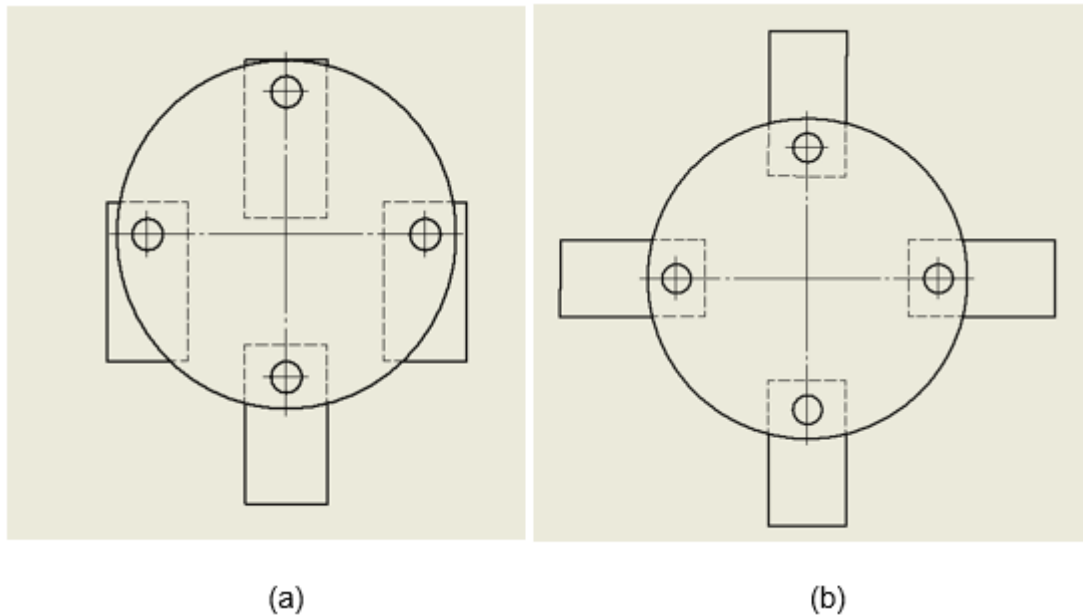
Aplicando la ecuación (2) se tiene que la potencia del motor es:

$$P = 6,66 \text{ [HP]}$$

Existen recomendaciones para la elección de la velocidad del motor para este tipo de maquinaria, grandes productores de Brasil y algunos artesanos recomiendan que las revoluciones por minuto deben ir dentro de un rango de 2500 a 3600 [5]. Dado que en el mercado no se encuentra un motor de esa potencia, se selecciona un motor marca WEG con capacidad de 7.5 HP y 3500 rpm (366.52 rad/s). (Ver Anexo III).

### 4.3 Cálculo de martillos

La disposición de la configuración de los martillos tendrá dos posiciones como se presenta en la figura 32:



**Figura 32.** Posición de los martillos antes del encendido (a) y durante el funcionamiento (b) [Propia].

- Posición de los martillos antes del encendido de la máquina (a).
- Posición de los martillos durante el funcionamiento de la máquina (b)

Los martillos tendrán la libertad de girar 360° en su eje, por lo que el diseño se realiza para la configuración (b) cuando los martillos entren en funcionamiento.

### 4.3.1 Energía de ruptura

Para realizar el cálculo y dimensionamiento de la herramienta de percusión es necesario obtener la energía de ruptura con la cual el grano de maíz se fragmentará en su totalidad. Para obtener la energía de ruptura se realizó una prueba experimental, que consistió en dejar caer un objeto de masa conocida con variaciones de altura.

De la prueba experimental se obtiene que el grano de maíz se fragmenta en su totalidad a una altura de 0,15 m con una masa de prueba de 0,498 kg (Ver anexo V). Reemplazando estos valores en la ecuación (2) se tiene que la energía de ruptura es:

$$E_{\text{ruptura}} = 0,733 \text{ [J]}$$

### 4.3.2 Velocidad tangencial

Al entrar en contacto el martillo con el grano de maíz se produce energía cinética y en el extremo del martillo se presenta una velocidad tangencial ( $V_t$ ) que se la calcula con la ecuación (5).

De manera experimental se obtuvo la masa promedio de los granos de maíz de 0.37 g. (Ver Anexo V)

$$V_t = 63 [m/s]$$

Al aumentar la cantidad de granos de maíz, esta velocidad calculada disminuye por lo que se podría llamar a  $V_t$  como velocidad sin carga, mientras que, a la velocidad disminuida  $V_c$  se la conoce como velocidad con carga.

Se utiliza un coeficiente de fluctuación que se obtiene según la tabla 39, para reducir significativamente la variación de velocidades con y sin carga [5].

**Tabla 39.** Coeficientes de fluctuación [21].

| Coeficiente de fluctuación                |             |
|---|-------------|
| Tipo de maquinaria                        | Cs          |
| Maquinaria de machaqueo                   | 0,200       |
| Maquinaria eléctrica                      | 0,003       |
| Maquinaria eléctrica, transmisión directa | 0,002       |
| Motores con transmisión por correas       | 0,030       |
| Maquinaria para molinos harineros         | 0,025       |
| Transmisión rueda dentada                 | 0,020       |
| Martillos                                 | 0,200       |
| Maquinas herramientas                     | 0,030       |
| Maquinaria para fabricación de papel      | 0,025       |
| Bombas                                    | 0,030-0,050 |
| Maquinaria de corte                       | 0,030-0,050 |
| Maquinaria hilanderas                     | 0,01-0,02   |
| Maquinaria textil                         | 0,025       |

Según la tabla 39, se toma un valor para maquinaria de este tipo de 0,025.

Partiendo de la ecuación (6) y despejando  $V_c$ , se obtiene la ecuación para calcular velocidad producida con carga:

$$V_c = -V_t \times \frac{C_s - 2}{C_s + 2} \quad (37)$$

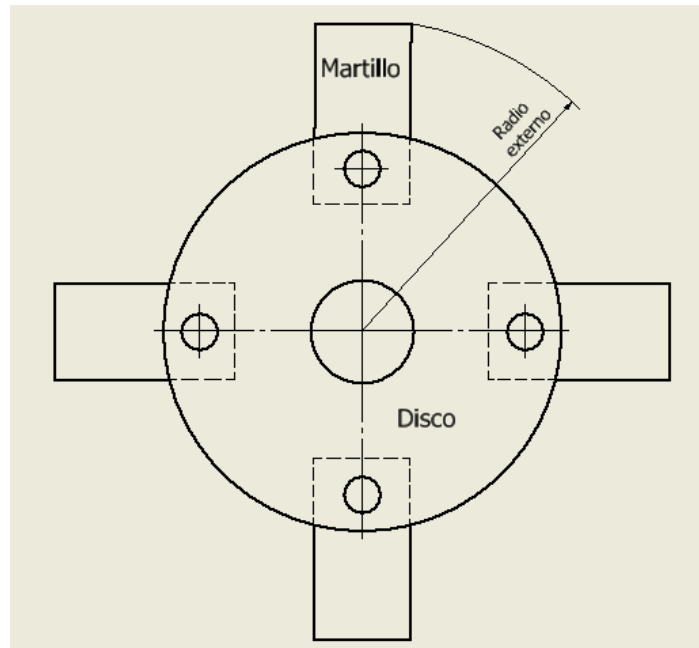
Donde:

Vc Velocidad con carga (m/s)

$$Vc = 61.44 [m/s]$$

### 4.3.3 Radio externo del sistema

Para encontrar el radio externo del sistema es necesario identificar la velocidad que tendrá la máquina motriz, en este caso el motor eléctrico. Se examina la disponibilidad de motores eléctricos y se selecciona un motor con velocidad de 3500 rpm.



**Figura 33.** Radio externo del sistema [Propia].

En la figura 33, se muestra el radio externo del sistema considerado desde el centro del eje de la máquina hasta el borde del martillo. El radio externo se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$r_{\text{ext}} = \frac{Vc}{\omega} \quad (38)$$

Donde:

$\omega$  Velocidad angular del motor (366.52 rad/s)

$r_{\text{ext}}$  Radio externo del sistema (m)

Reemplazando datos en la ecuación (38), se tiene:

$$r_{\text{ext}} = 0,17 \text{ m}$$

### 4.3.4 Aceleración angular del sistema

Para el diseño de los martillos es necesario conocer la aceleración angular que tendrá el sistema, por lo que el movimiento angular se expresa mediante la ecuación (8), el sistema entrega energía por lo que es un movimiento angular desacelerado.

$$\omega_t^2 = \omega_c^2 + 2 * \alpha * \theta \quad (39)$$

Donde:

$\omega_t$  y  $\omega_c$       velocidad angular sin carga y con carga, respectivamente (rad/s)

$\alpha$       aceleración angular (rad/s<sup>2</sup>)

$\theta$       distancia angular entre martillos (rad)

Al despejar ( $\alpha$ ) de la ecuación (38) da como resultado la ecuación (40):

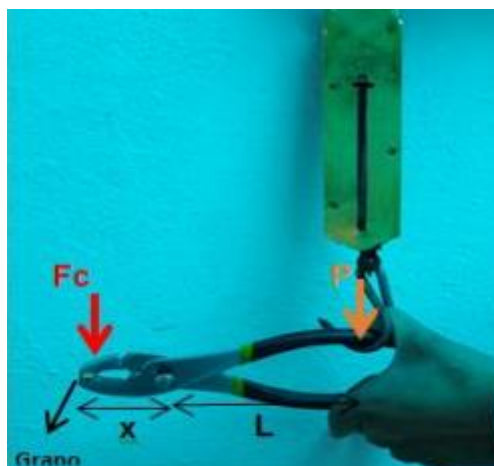
$$\alpha = \frac{\omega_t^2 - \omega_c^2}{2 * \theta} \quad (40)$$

Se considera que la disposición de los martillos en los discos porta martillos serán de 4 por cada disco, es decir tendrán una separación angular de 90° por lo que  $\theta=1,5708$  (rad).

$$\alpha = 2110,8 \text{ [rad/s}^2\text{]}$$

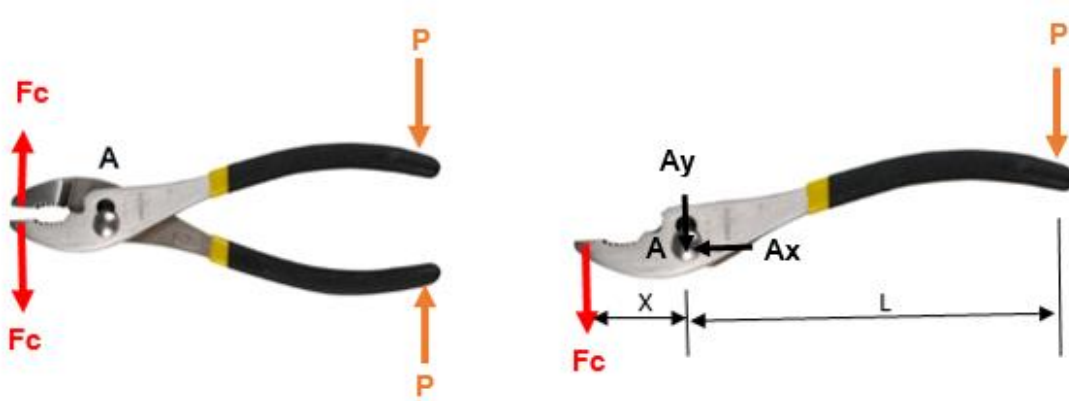
### 4.3.5 Fuerza de trituración

La fuerza de trituración de un grano de maíz ( $F_c$ ) se obtiene de manera experimental como se muestra en la figura 34. El grano de maíz se coloca en un playo y se aplica una fuerza ( $P$ ) en la palanca necesaria para triturar el grano en el extremo opuesto, dicha fuerza es medida a través de un dinamómetro. (Ver Anexo V)



**Figura 34.** Prueba para la obtención de la fuerza de trituración [Propia].

La fuerza (P) que se muestra en la figura 34 no es la fuerza de trituración, esta se la calcula en base al diagrama de cuerpo libre que se muestra en la figura 35.



**Figura 35.** Diagrama de cuerpo libre del playo [Propia].

Donde:

X longitud desde la Fc hasta el punto A (0.43 m)

L Longitud desde el punto A hasta la fuerza P (0.89m)

Se realiza una sumatoria de momentos con respecto al punto A teniendo:

$$\sum M_A = 0$$

$$F_c * X - P * L = 0$$

La ecuación que permite obtener la fuerza de trituración es:

$$F_c = \frac{P * L}{X}$$

En la tabla 40 se aprecia los resultados obtenidos de manera experimental de la fuerza de trituración. La prueba se realizó con seis granos de maíz.

**Tabla 40.** Promedio de Fuerza de trituración [Propia].

| Grano | Fuerza P [N] | Fc [N] |
|-------|--------------|--------|
| 1     | 12           | 24,84  |
| 2     | 14,5         | 30,01  |
| 3     | 13           | 26,90  |
| 4     | 11,5         | 23,80  |
| 5     | 12           | 24,84  |
| 6     | 14           | 28,98  |
|       | Promedio     | 26,56  |



### 4.3.6 Masa del martillo

Al encontrar un promedio de la fuerza de trituración del grano de maíz, se procede a calcular la masa del martillo utilizando la ecuación (12). Al tener calculado el valor del radio de giro se considera que la longitud del martillo ( $L_m$ ) apropiada será de 100 [mm].

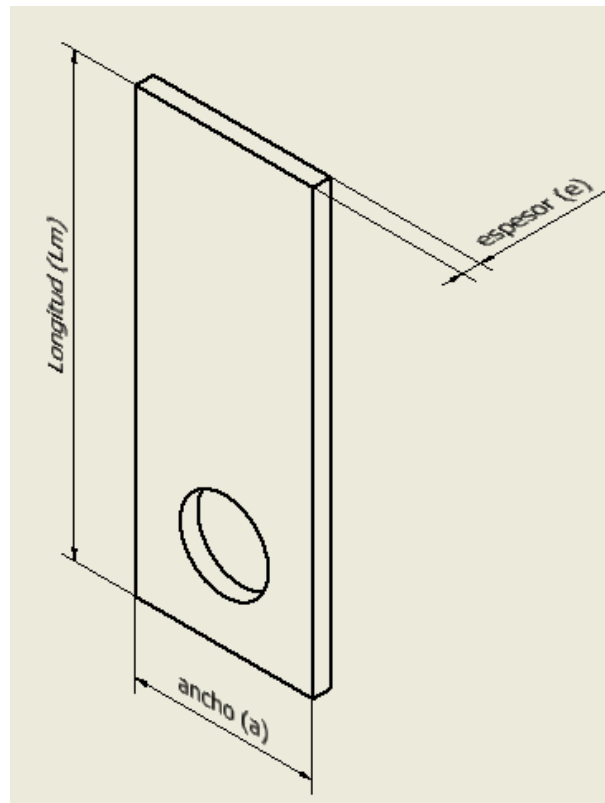
Por lo tanto, la masa del martillo es:

$$m_m = 0,377 \text{ [kg]}$$

### 4.3.7 Geometría del martillo

Para definir la geometría completa del martillo es necesario utilizar la ecuación 13, donde el volumen del martillo se define mediante la multiplicación de las dimensiones (largo, ancho y espesor) del martillo como está definido en la figura 35.

La variable por encontrar es el ancho mínimo que deberá contemplar el martillo



**Figura 36.** Geometría del martillo [Propia].

El material de fabricación del martillo es el acero inoxidable AISI 304, dado que presenta alta resistencia a la corrosión al agua, sales, ácidos y ataques químicos del ambiente, además de presentar un buen acabado superficial. La densidad del acero inoxidable 304 es 7,93 [g/cm<sup>3</sup>] [20].

El espesor del martillo se da en base que al impactar el grano de maíz con el martillo este debe cubrir en su totalidad la superficie del grano. Por lo tanto, se toma como referencia un promedio de la medida del ancho de los granos expuestos en el Anexo #, donde se tiene un promedio del ancho del grano de 9 mm.

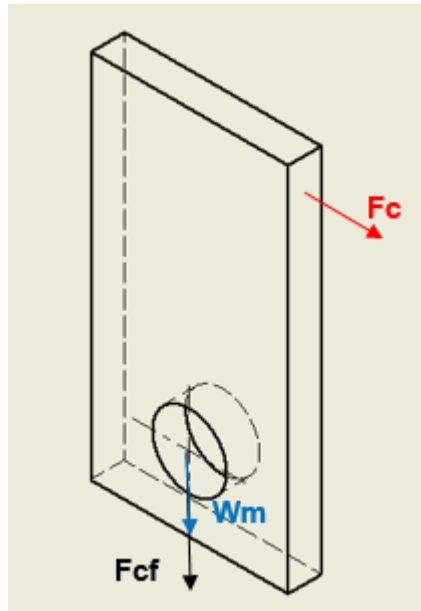
Utilizando la ecuación (13) se tiene que el ancho del martillo debe ser:

$$a = \frac{Mm}{\rho * e * Lm}$$

$$a = 0,0528 \text{ [m]} = 5,3 \text{ [cm]}$$

### 4.3.8 Falla por tracción

La figura 37 presenta las fuerzas que actúan en el martillo cuando impacta al grano de maíz.



**Figura 37.** Diagrama de fuerzas del martillo al golpear el grano de maíz [Propia].

Donde:

$F_{cf}$  Fuerza centrífuga (N)

$W_m$  Peso del martillo (N)

El martillo estará sujeto a esfuerzos de tracción debido a la presencia de la fuerza centrífuga producida durante el funcionamiento de la máquina, además por el peso del propio martillo como se aprecia en la figura 37. El peso del martillo se desprecia por la diferencia que existe con el valor de la fuerza centrífuga.

El esfuerzo a tracción se lo halla con la ecuación:

$$\sigma = \frac{F_{c_f}}{A_t} \quad (41)$$

Donde:

$\sigma$  Esfuerzo normal (MPa)

$A_t$  Área de la sección transversal del martillo (m<sup>2</sup>)

La fuerza centrífuga se calcula con la siguiente ecuación:

$$F_{c_f} = \omega_c^2 * m_m * r_g \quad (42)$$

Reemplazando valores en la ecuación (42), se tiene que el valor de la Fuerza centrífuga es:

$$F_{c_f} = 8371.34 \text{ [N]}$$

El área transversal del martillo se calcula con el producto de las dimensiones del ancho (a) y espesor (e). (Ver figura 36)

$$A_t = 0,00048 \text{ [m}^2\text{]}$$

Reemplazando valores en la ecuación (41), se tiene el esfuerzo normal debido a esfuerzos de tracción es:

$$\sigma = 17,55 \text{ [MPa]}$$

Existe la posibilidad de que exista falla por esfuerzos de tracción en los martillos, por lo tanto, es necesario calcular un factor de seguridad que asegure que los elementos no fallarán. La ecuación (43) expresa el factor de seguridad para esfuerzos de tracción.

$$\eta = \frac{S_y}{\sigma} \quad (43)$$

Donde:

$S_y$  Resistencia a la fluencia (MPa)

El valor de la resistencia a la fluencia ( $S_y$ ) para el acero inoxidable AISI 304 es 276 MPa [19]. Por lo tanto, el factor de seguridad asociado a e esfuerzos de tracción es:

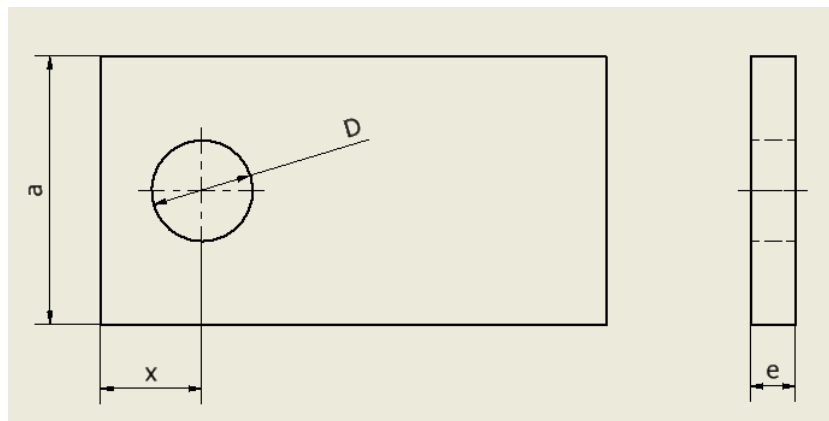
$$\eta = 15$$

El factor de seguridad de 15 no indica que este sobredimensionado el elemento, sino que por condiciones de diseño del elemento (geometría) es el adecuado.

Al obtener un factor de seguridad mayor a 1.5 se asegura que los martillos no fallaran debido a esfuerzos de tracción.

### 4.3.9 Falla por cizalladura en el martillo

Al existir el orificio en un extremo del martillo para el paso del perno porta-martillo, puede ocurrir falla por cizalladura en la zona de menor área como se muestra en la figura 38.



**Figura 38.** Área de rotura o desgarro [Propia].

Donde:

D Diámetro del agujero pasante para perno porta-martillo (20 mm)

X Distancia del borde del martillo hacia el centro del agujero (20 mm)

Para el cálculo del área de desgarro se utiliza la siguiente ecuación:

$$A_d = (a - D) * e \quad (44)$$

Reemplazando valores, el valor del área de rotura es:

$$A_d = 0,000297 \text{ [m}^2\text{]}$$

El esfuerzo cortante asociado se calcula con la siguiente ecuación:

$$\tau = \frac{F_{Cf}}{A_d} \quad (45)$$

Donde:

$\tau$  Esfuerzo cortante (MPa)

Por lo tanto, reemplazando estos valores en la ecuación (45) se tiene el esfuerzo cortante:

$$\tau = 28,18 \text{ [MPa]}$$

El factor de seguridad a la falla por cizalladura se obtiene por medio de la ecuación:

$$\eta = \frac{S_y}{2 \times \tau} \quad (46)$$

$$\eta = 4,9$$

Con esto se garantiza que el elemento no presentara falla por rotura en la zona de desgarre debido a la fuerza centrífuga en el funcionamiento de la máquina.

#### 4.4 Cálculo del número de martillo

La capacidad de trituración, las revoluciones por minuto (rpm), y tamaño de partículas trituradas están directamente relacionadas con el número de martillos en la cámara de trituración.

Es indispensable identificar la cantidad de granos de maíz que se van a triturar, por lo que se toma como referencia la cantidad de granos existentes por libra. Con esto se denota que se deben triturar 66000 granos por cada minuto.

$$\frac{66000 \text{ granos/min}}{3500 \text{ rev/min}} = 19 \frac{\text{granos}}{\text{rev}}$$

Por cada revolución que el eje haga se debe triturar 19 granos, se considera que un martillo triturara 1 grano por cada revolución. El número de martillos en la cámara de trituración serian 19, pero como se tiene una distribución de 4 martillos por cada disco; por lo tanto, serán en total 20 martillos.

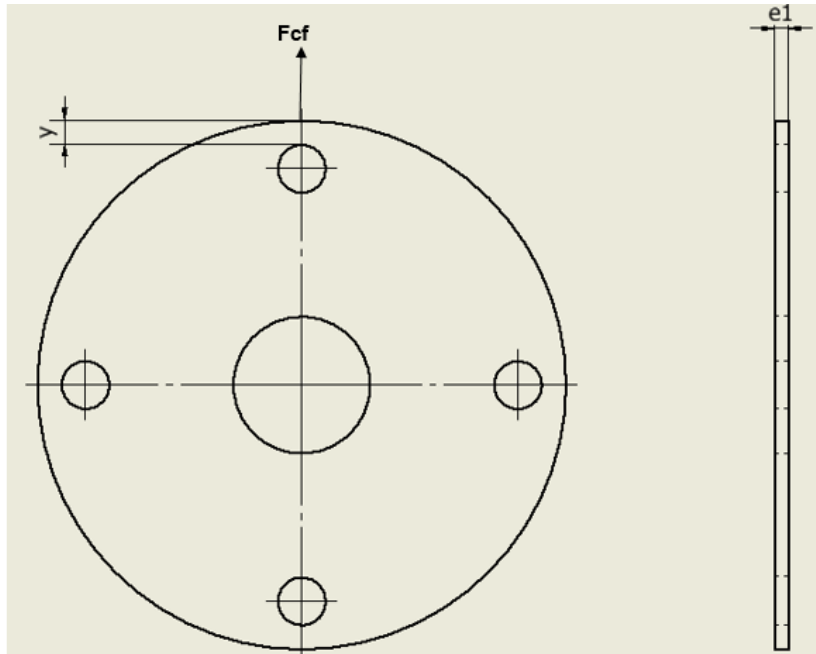
#### 4.5 Cálculo de disco porta martillos

El diseño del disco porta martillo parte de su geometría, donde se selecciona una forma circular debido a que presenta ciertas ventajas a comparación a otras formas geométricas. Al presentar una geometría circular las condiciones de balanceo dinámico mejoran a comparación de la forma triangular o cuadrangular, además la configuración de los martillos permite alargar la zona de esfuerzos produciendo que los esfuerzos normales de tracción disminuyan considerablemente [8].

Las consideraciones de diseño son:

- El diámetro del disco porta martillos es de 220 mm, considerando la dimensión del radio exterior del sistema obtenido.

- El disco contara con 4 orificios donde pasara el perno porta martillos de diámetros de 20 mm.
- Un agujero central con la dimensión del diámetro del eje 36 mm.
- El material de fabricación será el acero inoxidable AISI 304.



**Figura 39.** Zona de análisis de falla en el disco [Propia].

Donde:

$y$  Distancia desde el borde del agujero hasta el borde del disco

$e1$  Espesor del disco porta-martillos

Para el cálculo del espesor del disco se toma en cuenta que debido a la fuerza centrífuga existente en cada martillo y en cada orificio del disco porta-martillos existirán esfuerzos de tracción. Tomando la ecuación (45) y reemplazándola en la ecuación (46) se tiene una ecuación dependiente únicamente del espesor del disco por lo que al despejar el espesor se tiene:

$$e1 = \frac{2 * F_{Cf} * \eta}{y * S_y}$$

Se toma un factor de seguridad ( $\eta$ ) de 2 para asegurar que no exista falla por tracción en el disco, por lo que se obtiene un espesor de disco:

$$e1 = 0,00606 \text{ [m]} = 6.1 \text{ [mm]}$$

Para la construcción se selecciona una plancha de acero inoxidable AISI 304 de 6 mm de espesor ya que este espesor se encuentra en el mercado.

## 4.6 Diseño de los separadores de martillos

Los separadores de martillos tienen como función generar un distanciamiento entre los martillos y los discos para lograr que no exista fricción entre los elementos y que no exista atascamientos de granos de maíz en los espaciamentos. Según ciertos fabricantes de maquinaria de molienda, se recomienda que los distanciadores deben tener una longitud (z) del doble del espesor del martillo [5].

La longitud de los separadores será:

$$z = 2 * 9 \text{ [mm]} = 18 \text{ [mm]}$$

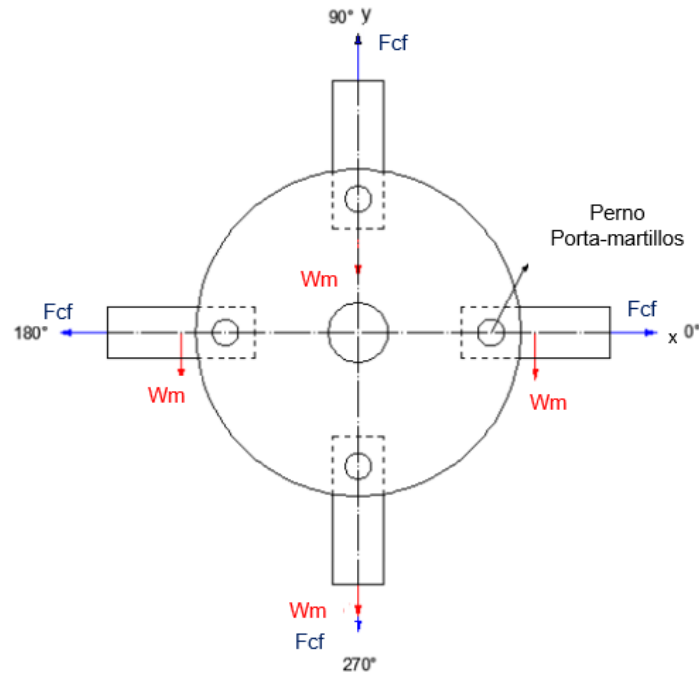
El material de fabricación será tubería de acero inoxidable AISI 304 de diámetro de 1", como se muestra en la figura 36.

| TIPO     | DIMENSIONES |      | PESO   |
|----------|-------------|------|--------|
| EXTERIOR | a           | e    | kg/6m. |
|          | mm          | mm   |        |
| 3/4"     | 19.10       | 1.00 | 2.70   |
| 3/4"     | 19.10       | 1.20 | 3.18   |
| 3/4"     | 19.10       | 1.50 | 3.90   |
| 7/8"     | 22.20       | 1.00 | 3.72   |
| 7/8"     | 22.20       | 1.50 | 4.62   |
| 1"       | 25.40       | 1.20 | 4.32   |
| 1"       | 25.40       | 1.50 | 5.28   |

Figura 40. Tubería de acero inoxidable AISI 304 [21].

## 4.7 Diseño del perno porta martillos

La función principal del perno porta martillos es ser el soporte y sujeción de los martillos. Los martillos tienen la libertad de girar 360° sobre el perno porta-martillos. (Ver figura 32)



**Figura 41.** Fuerzas que actúan en el sistema de martillos [Propia].

La figura 41 muestran las fuerzas que interactúan en el sistema de trituración. La fuerza centrífuga actúa por la dinámica del propio sistema ya que posee el principio de una bomba centrífuga, el peso de los martillos ( $W_m$ ) con las direcciones para cada uno de los pernos porta-martillos.

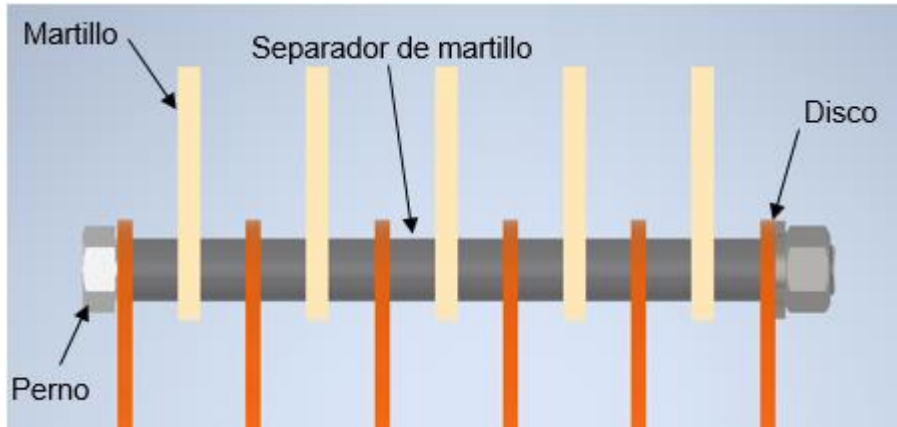
Existirán esfuerzos tanto de corte como de flexión, dado que este elemento no rota; no existirán esfuerzos de torsión. El factor de seguridad permitirá verificar que el perno seleccionado no falle ante dichos esfuerzos.

Las consideraciones para el diseño del perno-porta martillos son las siguientes:

- La longitud del perno debe ser mayor a la suma del espesor de los discos, la longitud de los separadores de martillos y el espesor de los martillos. ( $L=285$  mm).
- El diámetro del perno es de 20 mm dado que se diseñó los otros elementos en base a este criterio.
- Cabeza hexagonal con rosca en un extremo para arandela y tuerca.
- Fabricación según la norma DIN 931.
- Material de fabricación acero inoxidable AISI 304.

La configuración de los elementos del perno porta-martillos (martillos, discos, separadores de martillos) se presentan en la figura 41, donde se tiene los elementos en el siguiente orden: Disco, separador, martillo separador, disco y así sucesivamente.



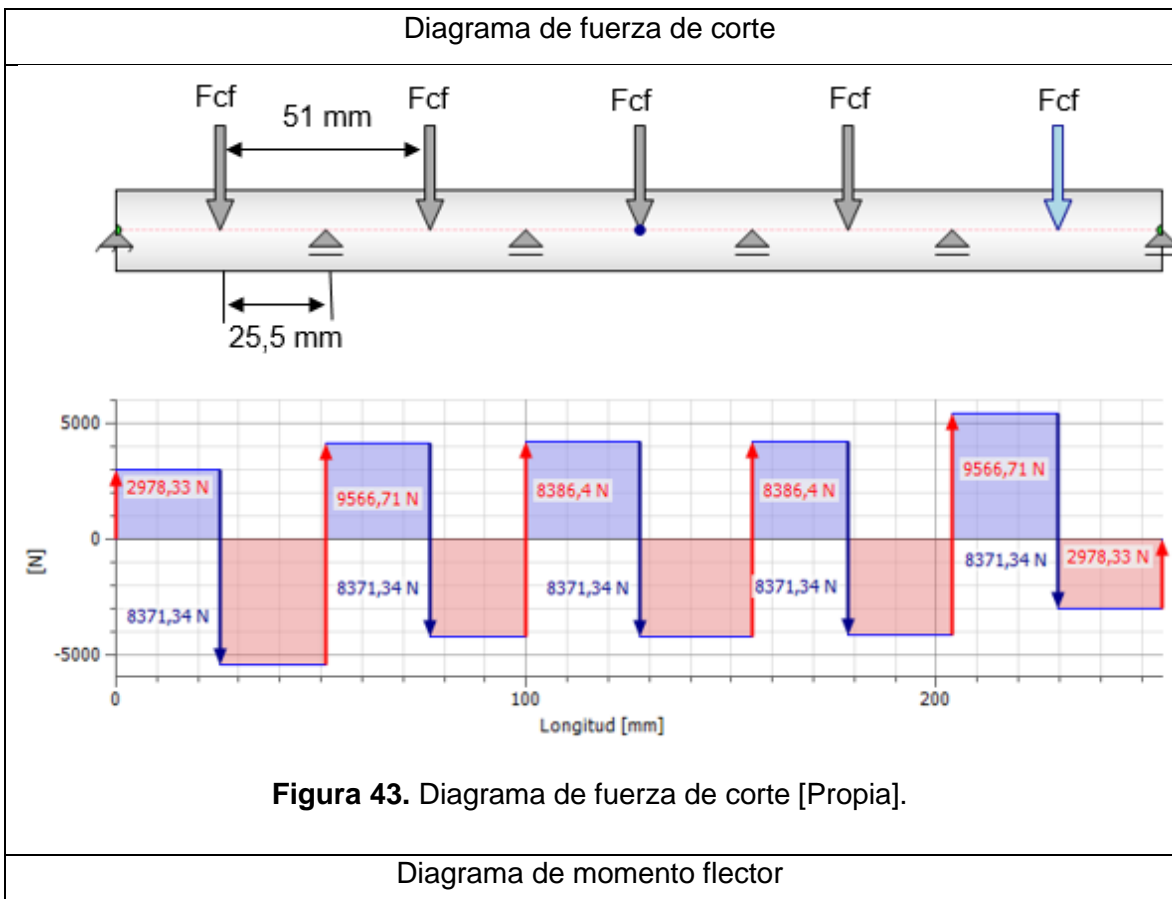


**Figura 42.** Configuración de elementos en solo un perno porta-martillo [Propia].

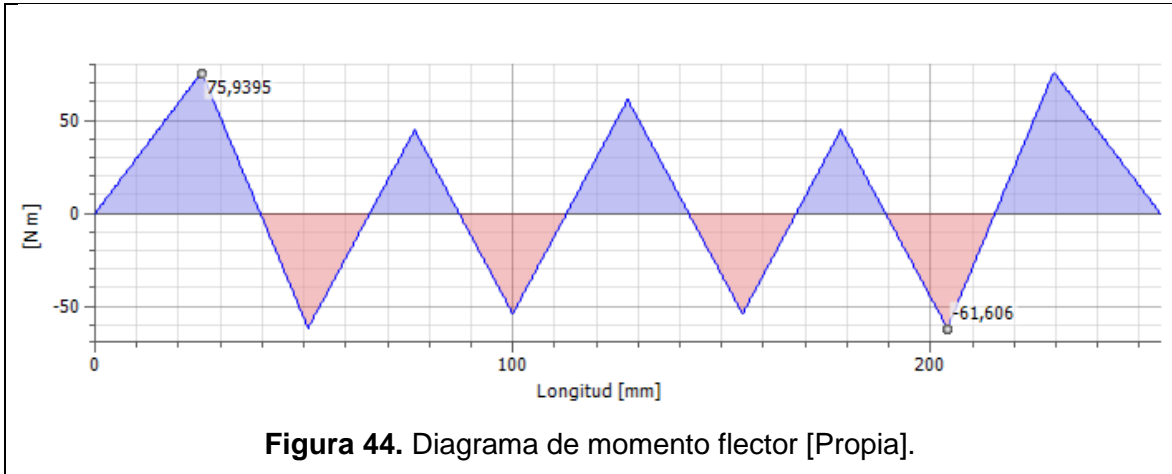
Las fuerzas que actúan sobre el perno se presentan gráficamente en la figura 43, donde se observa que se tiene la fuerza centrífuga ( $F_{cf}$ ) que se generan en los martillos y las reacciones debido a los discos porta-martillos. Las dimensiones se encuentran en [mm].

Por medio del programa computacional INVENTOR se obtienen los siguientes resultados presentados en la tabla 42.

**Tabla 41.** Diagrama de Momento flector – perno porta martillos [Propia].



**Figura 43.** Diagrama de fuerza de corte [Propia].



De la ecuación (14) se tiene:

$$\sigma = \frac{M_{\max} * 32}{d^3 * \pi}$$

Donde:

$M_{\max}$  Momento máximo flector (75,94 N.m)

$d$  diámetro del perno porta-martillo

$$\sigma = 96,69 \text{ [MPa]}$$

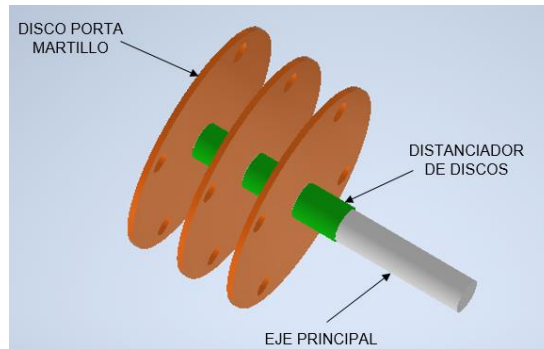
El factor de seguridad asociado se obtiene de la ecuación (43).

$$\eta = 2,8$$

Se obtiene un factor de seguridad de 2,8 y tomando como referencia la teoría del esfuerzo máximo, este valor es permisible asegurando que el perno porta martillos no fallará.

## 4.8 Diseño de distanciador de discos porta martillos

Los distanciadores de discos cumplen la función de generar un distanciamiento entre discos porta martillos para evitar desalineaciones o posibles vibraciones en las herramientas de percusión. Usualmente son cilindros huecos, donde su longitud depende del espesor del martillo y de la longitud de los distanciadores de martillos ya que la configuración se muestra en la figura 45.



**Figura 45.** Configuración de los espaciadores de discos [Propia].

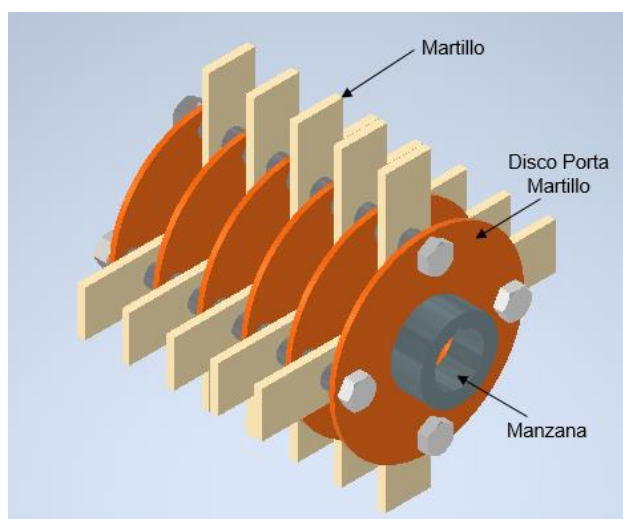
El diámetro interno de tubería de los espaciadores de discos debe ser igual o mayor al diámetro del eje principal de la máquina. Las dimensiones escogidas se muestran en la tabla 42.

**Tabla 42.** Características del espaciador de discos [22].

| Diámetro nominal | Diámetro exterior [mm] | Espesor de pared [mm] |
|------------------|------------------------|-----------------------|
| 2 ½"             | 63,5                   | 3                     |

#### 4.9 Diseño de la manzana

La manzana es un elemento mecánico, el cual no va a estar sometido a ningún tipo de cargas considerables. Este elemento tiene la función de posicionar, estructurar y lograr una correcta localización de los elementos pertenecientes al módulo de trituración (martillos y discos), como se aprecia en la figura 46.



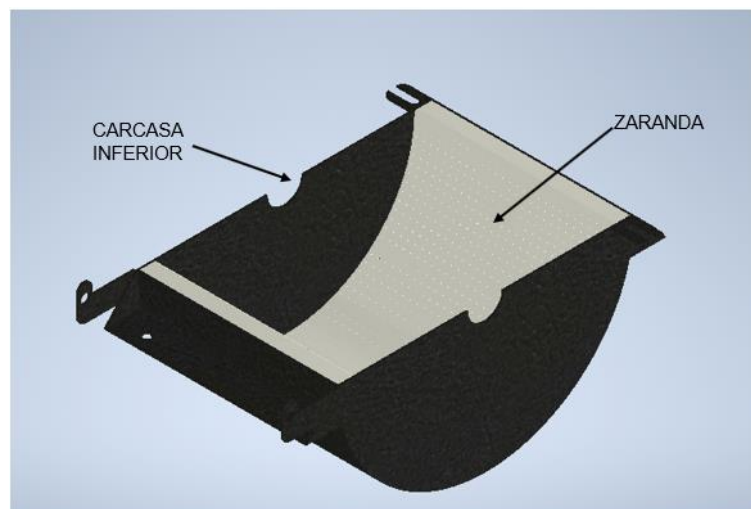
**Figura 46.** Ubicación de la manzana [Propia].

El dimensionamiento de este elemento mecánico se dará acorde al espacio asignado en el diseño del eje, por lo que se toman las siguientes consideraciones para el diseño:

- Geometría de forma circular
- Diámetro externo de 90 mm.
- Espesor de la manzana de 30 mm.
- En el centro constara de un agujero pasante de dimensión del diámetro del eje principal, además consta de un chavetero.

#### 4.10 Diseño de la zaranda

La zaranda es un elemento, también denominado criba que se ubica en la parte interna de la estructura inferior como se observa en la figura 47.



**Figura 47.** Disposición de la Zaranda [Propia].

Consideraciones para el diseño de la zaranda:

- Espesor de placa: 2 mm
- Longitud de placa: 565,48 mm
- Radio interno de dobléz: 180 mm
- Alas de soporte: 24 mm
- Orificios de tamizado: 1,5 mm
- Material de fabricación: Acero inoxidable AISI 304.

#### 4.11 Diseño de chaveta eje-manzana

Las chavetas son los elementos encargados de transmitir la potencia de la máquina motriz hacia el sistema de trituración por martillos, aunque también debe ser el primer elemento en fallar en caso de sobrecargas.

El sistema de trituración requiere de dos chavetas de conexión entre el eje de la máquina y las manzanas. En el cálculo de las chavetas se toma en referencia el diámetro del eje en la zona del sistema de trituración, que es 57 mm.

**Tabla 6-2** Cuñas estándar y tamaños de tornillos prisioneros en medidas estadounidenses y métricas para ejes

| Diámetro del eje (In) | Ancho nominal de la cuña (In) | Diámetro del tornillo prisionero (In) | Diámetro del eje (mm) | Ancho x alto de la cuña (mm) |
|-----------------------|-------------------------------|---------------------------------------|-----------------------|------------------------------|
| 0.312 < d ≤ 0.437     | 0.093                         | #10                                   | 8 < d ≤ 10            | 3 x 3                        |
| 0.437 < d ≤ 0.562     | 0.125                         | #10                                   | 10 < d ≤ 12           | 4 x 4                        |
| 0.562 < d ≤ 0.875     | 0.187                         | 0.250                                 | 12 < d ≤ 17           | 5 x 5                        |
| 0.875 < d ≤ 1.250     | 0.250                         | 0.312                                 | 17 < d ≤ 22           | 6 x 6                        |
| 1.250 < d ≤ 1.375     | 0.312                         | 0.375                                 | 22 < d ≤ 30           | 8 x 7                        |
| 1.375 < d ≤ 1.750     | 0.375                         | 0.375                                 | 30 < d ≤ 38           | 10 x 8                       |
| 1.750 < d ≤ 2.250     | 0.500                         | 0.500                                 | 38 < d ≤ 44           | 12 x 8                       |
| 2.250 < d ≤ 2.750     | 0.625                         | 0.500                                 | 44 < d ≤ 50           | 14 x 9                       |
| 2.750 < d ≤ 3.250     | 0.750                         | 0.625                                 | 50 < d ≤ 58           | 16 x 10                      |
| 3.250 < d ≤ 3.750     | 0.875                         | 0.750                                 | 58 < d ≤ 65           | 18 x 11                      |
| 3.750 < d ≤ 4.500     | 1.000                         | 0.750                                 | 65 < d ≤ 75           | 20 x 12                      |
| 4.500 < d ≤ 5.500     | 1.250                         | 0.875                                 | 75 < d ≤ 85           | 22 x 14                      |
| 5.500 < d ≤ 6.500     | 1.500                         | 1.000                                 | 85 < d ≤ 95           | 25 x 14                      |

**Figura 48.** Chavetas y chaveteros en función de diámetros de eje [25].

En la figura 48, se muestra que según el diámetro del eje se recomienda una chaveta de sección rectangular de 10x8

El material seleccionado de la chaveta es el acero AISI 1045 donde:

$$S_y = 310 \text{ MPa}$$

$$S_{ut} = 565 \text{ MPa}$$

Se procede con el cálculo del límite de resistencia a la fatiga. Utilizando la ecuación (18), (19), (20) se tiene:

$$k_a = 0.886$$

$$k_b = 0.887$$

Para Factor de carga, para cargas por torsión:

$$k_c = 0.59$$

Para el resto de los factores de Marín se asumen valores de 1 para simplicidad de diseño.

Reemplazando los valores anteriores, el límite de resistencia a la fatiga es:

$$S_e = 86,67 \text{ [MPa]}$$

Se toma en cuenta que el eje tendrá flexión y torsión constantes, por lo que el esfuerzo flexionante reversible y torsión es constante por lo que en los esfuerzos de Von Mises se puede igualar  $M_m$  y  $T_a$  a 0, por lo que se considera la fuerza media que actúa en el eje [26].

$$F_m = \frac{2 T_m}{d} \quad (47)$$

Donde:

$d$       diámetro del eje

$F_m$     Fuerza media (kN)

La fuerza media da como resultado de la ecuación (47):

$$F_m = 20,2 \text{ kN}$$

Para obtener la longitud de la chaveta se aplica la ecuación (48), según la referencia [26].

$$L_c = \frac{n_y * F_m * 2}{S_y * h} \quad (48)$$

Donde:

$n_y$     Factor de seguridad igual a 2

$h$       Altura de la chaveta ( $h=10\text{mm}$ )

$L_c$     Longitud de la chaveta (m)

Reemplazando datos en la ecuación (48), se tiene que la longitud de la chaveta es:

$$L_c = 0,026 \text{ m} = 26 \text{ mm}$$

La longitud mínima que tendrá la chaveta es 26 mm, pero al no encontrar chavetas con esa longitud se procede a seleccionar la medida más cercana como se observa en la figura 49.

| b | 2   | 3   | 4   | 5  |     | 6  |     | 8  |     | 10  | 12  |     |     |
|---|-----|-----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|-----|-----|-----|-----|
| h | 2   | 3   | 4   | 3  | 5   | 4  | 6   | 5  | 7   | 6   | 8   | 6   | 8   |
|   | 06  | 06  | 08  | 12 | 10  | 14 | •10 | 18 | •12 | 22  | •14 | 28  | •20 |
|   | 08  | 08  | 10  | 14 | 12  | 16 | •12 | 20 | •14 | 25  | •15 | 32  | •22 |
|   | 10  | 10  | 12  | 16 | 14  | 18 | 14  | 22 | •15 | 28  | •16 | 36  | •25 |
|   | 12  | 12  | 14  | 18 | •15 | 20 | •15 | 25 | •16 | 32  | •18 | 40  | 28  |
|   | 14  | 14  | •15 | 20 | 16  | 22 | 16  | 28 | 18  | 36  | •20 | 45  | •30 |
|   | •15 | •15 | 16  | 22 | 18  | 25 | 18  | 32 | 20  | 40  | 22  | 50  | 32  |
|   | 16  | 16  | 18  | 25 | 20  | 28 | 20  | 36 | 22  | 45  | 25  | 56  | •35 |
|   | 18  | 18  | 20  | 28 | 22  | 32 | 22  | 40 | 25  | 50  | 28  | 63  | 36  |
|   | 20  | 20  | 22  | 32 | 25  | 36 | 25  | 45 | 28  | 56  | •30 | 70  | 40  |
|   | •22 | 22  | 25  | 36 | 28  | 40 | 28  | 50 | •30 | 63  | 32  | 80  | 45  |
|   | •25 | 25  | 28  | 40 | •30 | 45 | •30 | 56 | 32  | 70  | •35 | 90  | 50  |
|   | •28 | 28  | •30 | 45 | 32  | 50 | 32  | 63 | •35 | 80  | 36  | 100 | •55 |
|   | •30 | •30 | 32  | 50 | •35 | 56 | •35 | 70 | 36  | 90  | 40  | 110 | 56  |
|   | •32 | 32  | •35 | 56 | 36  | 63 | 36  | 80 | 40  | 100 | 45  | 125 | •60 |

Figura 49. Dimensiones de chavetas- catalogo OPAC [27].

Las dimensiones de la chaveta seleccionada son:

- Ancho: 10 mm
- Altura: 8 mm
- Longitud: 28 mm

#### 4.12 Determinación de la Inercia del sistema de triturado.

La configuración que poseen los elementos que conforman el sistema de triturado se considera como un disco de rotación, por lo cual la masa equivalente del disco será la suma de los elementos que conforman el sistema de triturado; como se presenta en la tabla 43.

Tabla 43. Masa de los elementos del sistema de triturado [Propia].

| ELEMENTO              | CANTIDAD | MASA UNITARIA (KG) | MASA TOTAL (KG) |
|-----------------------|----------|--------------------|-----------------|
| Martillo              | 20       | 0,359              | 7,18            |
| Disco porta-martillo  | 6        | 1,642              | 9,852           |
| Separador de martillo | 40       | 0,016              | 0,64            |
| Perno porta-martillo  | 4        | 0,799              | 3,196           |
| Tuerca                | 4        | 0,074              | 0,296           |
| Separador de disco    | 5        | 0,013              | 0,065           |
| Manzana               | 2        | 1,038              | 2,076           |
|                       |          | MASA EQUIVALENTE   | 23,305          |

La inercia del disco se la calcula por medio de la siguiente ecuación:

$$I_d = \frac{1}{2} m_{eq} * r_{ext}^2 \quad (49)$$

Donde:

$m_{eq}$  masa equivalente del disco (kg)

$r_{ext}$  radio externo (0,17 m)

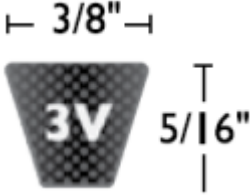
Reemplazando los valores en la ecuación (49) se tiene:

$$I_d = 336757,2 \text{ kg} \cdot \text{mm}^2$$

### 4.13 Sistema de transmisión de potencia

El procedimiento para la selección y diseño del sistema de transmisión de potencia, se establece en el Trabajo de Integración Curricular (TIC) complementario al presente trabajo Ver Referencia [28]. La tabla 43 muestra en resumen los resultados obtenidos para el sistema de transmisión.

**Tabla 44.** Sistema de Transmisión de potencia por correas [28].

|                         |   |
|-------------------------|---|
| Tipo de correa: 3V      |  <p><b>Figura 50.</b> Correa "3V" [20].</p> |
| Polea conductora        | Diámetro: 90 mm<br>Designación: PQ 1-3V90<br>Buje: QD=SH<br>Peso: 0,59 Kg   |
| Polea conducida         | Diámetro: 300 mm<br>Designación: PQ 1-3V300<br>Buje: QD=SK<br>Peso: 5,12 Kg   |
| Distancia entre centros | 585 mm  |
| Distancia entre centros | 73"   |
| Capacidad por banda     | 7,49 HP   |
| Vida útil               | 24000 horas   |

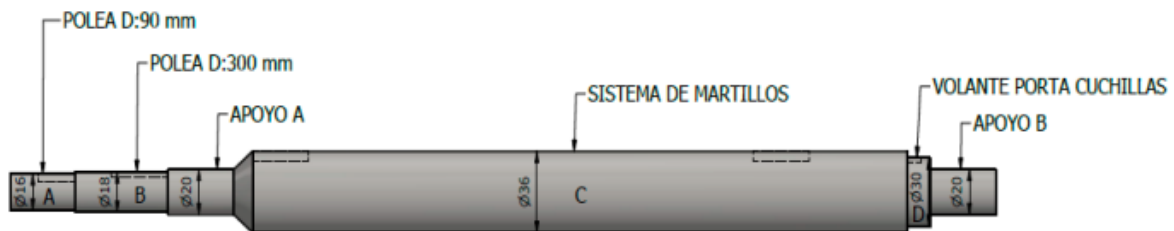


## 4.14 Cálculo del eje de la máquina picadora y trituradora

El desarrollo de diseño del eje de la máquina picadora y trituradora, Los diagramas de cuerpo libre, determinación de reacciones y diagramas de corte, momento flector y momento torsor del eje de la máquina picadora de forrajes y trituradora de granos de maíz, se encuentran en el TIC complementario. Ver Referencia [28]

A continuación, se presenta la geometría y las cargas actuantes sobre el eje de la máquina picadora y trituradora.

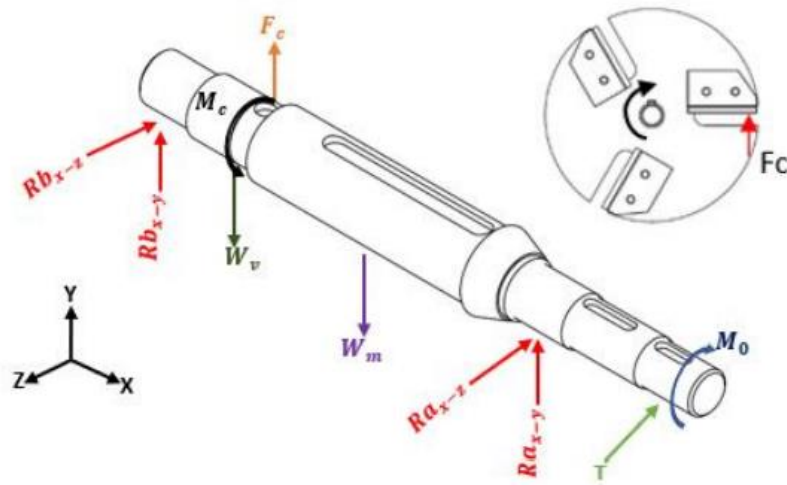
En la figura 51 se muestra la geomtría final del eje de la máquina picadora y trituradora, así como las dimensiones de cada sección y la ubicación de cada elemento mecánico.



**Figura 51.** Dimensionamiento del eje de la máquina picadora y trituradora [28].

- La longitud total del eje es de 550 mm.
- Material de fabricación: Acero AISI 1045
- Zona crítica: Sección D - Volante porta cuchillas
- Diámetro mínimo requerido para zona crítica: 28,5 mm
- Factor de seguridad asumido: 3

Dado que el sistema de martillos al entrar en operación para el triturado de granos de maíz genera momentos torsores despreciables a comparación del momento torsor producido por el volante porta-cuchillas para picar tallos forrajeros [28]. Por lo tanto, se considera solamente el peso del sistema como se aprecia en la figura 52.



**Figura 52.** Diagrama de cargas aplicadas al eje de la máquina picadora-trituradora [28].

Donde:

T: Tensión transmitida por la banda

$R_{ax-y}$ : Reacción chumacera (1) en plano x-y, 45.53 N.

$R_{ax-z}$ : Reacción chumacera (1) en plano x-z, 294.59 N.

$W_m$ : Peso del sistema de martillos.

$W_v$ : Peso del volante porta cuchillas.

$F_c$ : Fuerza de corte

$M_0$ : Momento torsor transmitido por la correa.

$M_c$ : Momento torsor generado al desplazar la fuerza cortante.

$R_{bx-y}$ : Reacción chumacera (2) plano x-y, 1191.9 N.

$R_{bx-z}$ : Reacción chumacera (2) plano x-z, 57.N

## 4.15 Selección de rodamientos

Para la selección de rodamientos se parte del catálogo SKF [29]. En la tabla 45 se presenta las características y especificaciones de los rodamientos seleccionados:

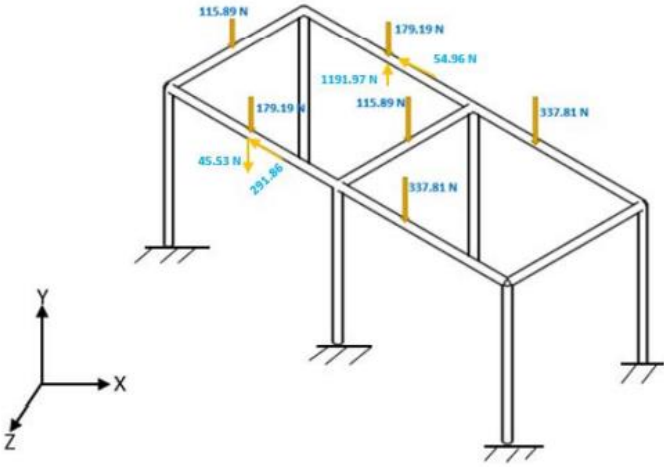
**Tabla 45.** Especificaciones de rodamiento seleccionado SKF [28].

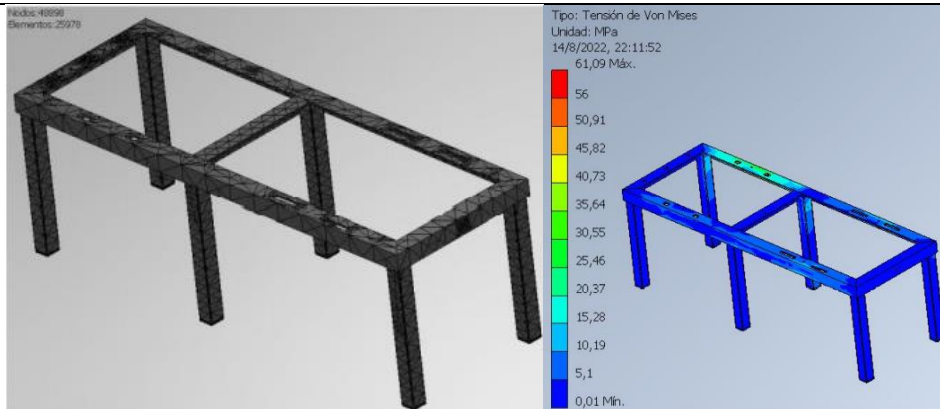
|   |   |
|---|---|
| Rodamiento rígido de bolas con una hilera | Rodamientos de inserción con tornillos de fijación YAR 204-2RF. |
| Diámetro del agujero                      | 20 mm   |

|   |               |
|---|---------------|
| Diámetro exterior del rodamiento              | 47 mm         |
| Carga dinámica equivalente del rodamiento (P) | 1,5 kN        |
| Diámetro del eje                              | 20 mm         |
| Lubricación                                   | ISO VG 10     |
| Capacidad de carga dinámica (C)               | 10,8 kN       |
| Vida nominal básica                           | 5981,53 horas |
| Factor $a_{SKF}$                              | 4,5           |
| Vida nominal SKF                              | 26917 horas   |

#### 4.16 Diseño de la bancada

Se presenta un resumen del diseño obtenido para la bancada de la máquina en la tabla 46. El detalle de dicho diseño se encuentra en el TIC complementario. Ver Referencia [28].

|  |  |
|--|--|
| Materiales   | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Tubo cuadrado de 35x35x5</li> <li>- Ángulos de 35x35x5</li> <li>- Acero estructural ASTM A36</li> </ul> |
| <p>Diagrama de cuerpo libre de la bancada</p>  |  |
| <p>Simulación de la bancada</p>  |  |



Malla generada con el método frontal.

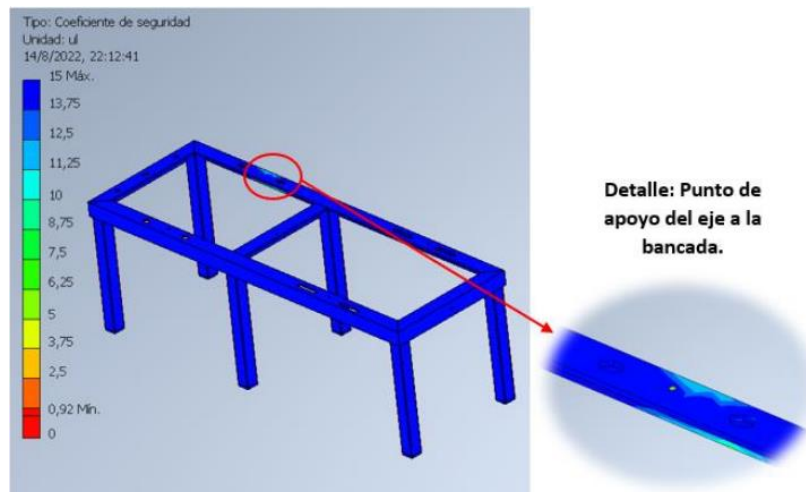
Tipo de malla: estructurada

# elementos: 25978 tetraedros

# nodos: 48898

Tamaño medio de los elementos: 0.1, ángulo máximo de 60°

#### Factor de seguridad

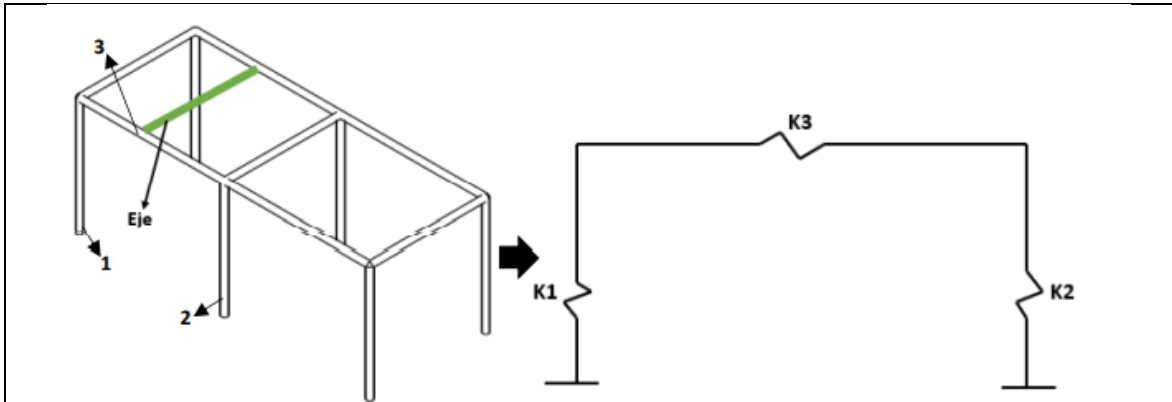


Como se observa se tiene un factor de seguridad de 13,75 en la zona crítica correspondiente al apoyo del eje, en el lado donde se ubican los elementos para la transmisión de potencia.

Cabe recalcar que, aunque se tiene un factor de seguridad alto, la estructura no se encuentra sobredimensionada ya que presenta un peso liviano y de fácil adquisición de materiales.

|            |         |
|------------|---------|
| Masa total | 15.5 Kg |
|------------|---------|

Análisis de vibraciones



Se tiene una simplificación de la bancada hacia un sistema de muelles para determinar la frecuencia natural del sistema y a su vez la velocidad crítica del sistema.

Los elementos (1) y (2) son los tubos cuadrados que sirven de apoyos a la estructura y el elemento (3) es el ángulo donde se asientan los rodamientos.

Los resultados obtenidos para cada constante elástica son:

- K1:  $6.5 \times 10^7$  (N/m)
- K2:  $6.5 \times 10^7$  (N/m)
- K3:  $1.2 \times 10^7$  (N/m)

Constante muelle equivalente es:

- $K_{eq}$ :  $1 \times 10^7$

Velocidad natural del sistema: 402.94 (rad/s)

Velocidad crítica del sistema: 3847.79 rpm

Velocidad de rotación del eje: 1040 rpm

El eje no debe girar a 3847.79 rpm para evitar fallas de resonancia en la máquina.

## 4.17 Análisis de costos

El desarrollo del análisis de costos para la máquina picadora de forraje y trituradora de granos se presenta a continuación, tomando en cuenta tanto costos directos como costos indirectos.

Como costos directos se detallan:

- Costos de materiales
- Costos de fabricación
- Costos de elementos normalizados.

Como costos indirectos se detallan:

- Costos de diseño
- Utilidad

Los costos concernientes a los materiales, fabricación y elementos normalizados de la máquina picadora de forraje y trituradora de granos de maíz se obtienen mediante la realización de un estudio de mercado. La cotización obtenida del estudio de mercado, así como el desglose de las características y costos de cada uno de los ítems se encuentran en el Anexo VII y en las tablas 42, 43, 44, 45 del documento elaborado por Tapia A. (2022). Ver Referencia [28]

#### **4.17.1 Costos de materiales**

El costo total de materiales es:

- \$534,74

#### **4.17.2 Costos de fabricación**

Los costos de fabricación toman en cuenta la relación de costos entre Hora-Hombre-Máquina para cada uno de los procesos mecánicos. Los procesos de fabricación necesarios para la elaboración de la máquina son: Fresado, corte, taladrado, doblado, soldadura, oxicorte y torneado.

Los costos para cada uno de los procesos antes mencionados son en base a los costos que se manejan en la Metalmecánica San Bartolo de la Escuela Politécnica Nacional.

El costo total concerniente a la fabricación de los elementos mecánicos es:

- \$ 323,25

#### **4.17.3 Costo de elementos normalizados**

Los elementos normalizados al no tener que fabricarlos, su adquisición se la realiza a través de cualquier proveedor. Los costos varían de acuerdo al sitio y al proveedor seleccionado.

El costo total de los elementos normalizados a emplear en la fabricación de la máquina es:

- \$751,51

#### **Costo total de la máquina**

Para estimar el costo total de la máquina se consideran los costos de materiales, fabricación y elementos normalizados, además de considerar los costos indirectos: porcentaje de utilidad (15%) y los costos referentes al diseño de la máquina (25%).

En la tabla 43 se presenta el costo total de la máquina picadora de forraje y trituradora de granos.

**Tabla 46.** Costo total de la máquina picadora de forraje y trituradora de granos [28].

| <b>Descripción</b>              | <b>Total (USD)</b> |
|---------------------------------|--------------------|
| Costo de materiales             | 534,74             |
| Costo de elementos normalizados | 751,51             |
| Costo de Fabricación            | 323,25             |
| <b>Subtotal</b>                 | <b>1609,5</b>      |
| Costo de Diseño (25%)           | 402,375            |
| Utilidad (15%)                  | 241,425            |
| <b>Total</b>                    | <b>2253,3</b>      |

El costo total para una futura construcción de la máquina es de \$ 2.253,30.

## 5 RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1 Resultados

La máquina picadora de forrajes y trituradora de granos de maíz cuenta con dos sistemas, un sistema de picado de forrajes y un sistema de trituración de granos de maíz que se encargaran de cumplir los requerimientos señalados por el cliente. Del análisis funcional desarrollado en el capítulo 2, se obtuvo que la alternativa más viable para cada sistema es: un volante con tres cuchillas para picar los distintos forrajes y un sistema de martillos para triturar los granos de maíz. Los dos sistemas se encuentran dentro de una sola cámara y montados sobre el mismo eje, el cual se conecta a un motor eléctrico WEG de 7,5 HP con una velocidad de rotación de 3500 rpm por medio de un sistema de transmisión de bandas y poleas. El sistema de martillos (Ver figura 31) consta de 20 martillos montados sobre pernos porta-martillos con lo que se asegura que la máquina tendrá la capacidad de procesar 1 tonelada de granos de maíz por cada hora de trabajo, cabe recalcar que los martillos tienen la libertad de rotar 360° sobre los pernos porta-martillos.

Los granos de maíz ingresarán a la cámara de la máquina por medio de una tolva y caerán hacia el sistema de martillos. El tamaño del producto final será de 1.5 mm para asegurar la homogeneidad se agregó un tamiz circular en la carcasa inferior.

Para obtener la fuerza de trituración de un grano de maíz se realizó una prueba experimental (Ver Anexo VI) donde se utilizó un playo y se aplicó la fuerza necesaria para triturar el grano, dicha fuerza fue medida por un dinamómetro. La prueba se realizó para distintos tamaños de granos, dando como resultado una fuerza de trituración promedio de 26,56 N y un ancho de grano de maíz de 9 mm.

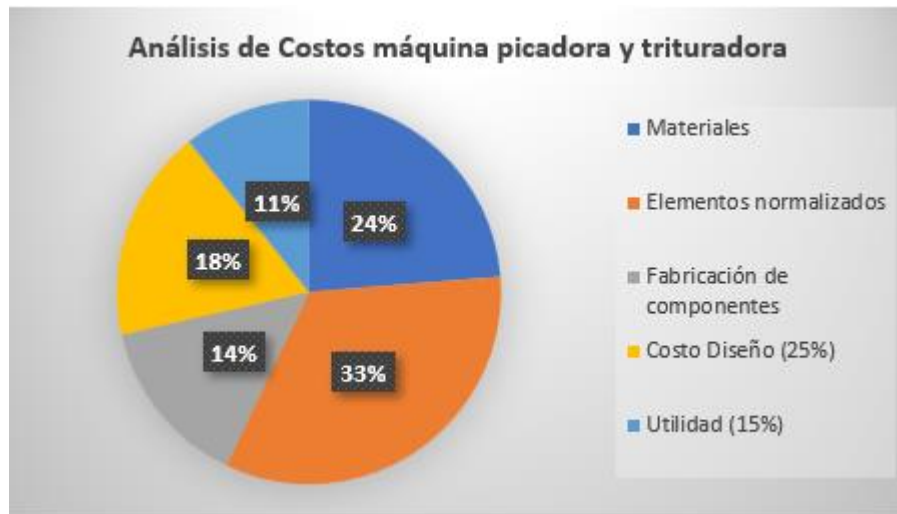
A pesar que en el diseño de los martillos se tiene un factor de seguridad de 15, no significa que este sobredimensionado ya que por parámetros funcionales y geométricos los martillos no tendrán falla por problemas de cizalladura y por esfuerzos de tracción. Las dimensiones de cada uno de los martillos son: 53 mmx100 mmx9 mm.

Para transmitir la potencia hacia el sistema de martillos se colocaron dos manzanas las cuales poseen un chavetero cada una. El diámetro del eje para la sección del sistema de martillos es de 36 mm, mientras que la sección crítica en el eje es en la zona del volante porta-cuchillas con un diámetro de 28.5 mm.

El costo de fabricación de la máquina es de \$2.253,30, excediendo en casi un 25% del valor solicitado por el cliente que fue de \$1.800. En la figura 53 se aprecia que el rubro de



elementos normalizados representa el 33% del costo total de la máquina seguido con un 24% el costo de los materiales para la fabricación de los elementos.



**Figura 53.** Porcentajes de costos de la máquina picadora de forrajes y trituradora de granos de maíz [Propia].

El precio de la máquina es mayor a los precios de máquinas similares existentes en el mercado nacional e internacional, pero con la diferencia que la capacidad de producción es mucho mayor y no requiere gastos de importación como las máquinas mostradas en el Benchmarking.

El material seleccionado para la construcción del sistema de martillos es el acero inoxidable AISI 304, debido a se requiere un material con alta resistencia a la oxidación, ya que la máquina es diseñada para la zona central del Ecuador.

## 5.2 Conclusiones

- Se desarrollo el diseño de la máquina picadora de forrajes y trituradora de granos de maíz en base a los requerimientos del cliente con una producción de 1 tonelada por hora de granos de maíz.
- En el Ecuador no existe la creación de maquinaria capaz de cumplir con las demandas de los pequeños y medianos ganaderos, por lo que el diseño de la máquina picadora y trituradora es un gran paso para la innovación tecnológica del país a nivel de la industria ganadera.
- Se realizó un análisis funcional de cada una de las alternativas de solución para los procesos de picado de forrajes y triturado de granos de maíz.

- El diseño de la máquina final consta de un módulo de encendido, un módulo de transmisión de potencia a través de poleas y banda, un sistema de triturado a base de martillos, un sistema de picado con un volante con 3 cuchillas y un módulo de descarga que constan de dos tolvas para cada proceso (ver figura 30).
- El sistema de trituración de granos de maíz se seleccionó por medio del uso de la matriz de criterios ponderados, teniendo como mejor solución un sistema a base de 20 martillos que al impactar los granos de maíz los triturará hasta dejarlos en un tamaño de grano de 1.5 mm.
- La fuerza de trituración promedio de un grano de maíz es de 26,56 N, obtenida de manera experimental a distintos granos de maíz con un ancho de cara promedio de 9 mm.
- Para el diseño final de la máquina picadora de forrajes y trituradora de granos se realizó los planos de conjunto, de taller y de montaje correspondientes a cada elemento que conforma la máquina para una futura construcción. (Ver Anexo VII)
- El diámetro del sistema de trituración es de 340 mm lo que muestra que, para una futura construcción, las dimensiones finales de la máquina no serán un problema.
- El análisis de costos se realizó en base a un estudio de mercado en la ciudad de Quito, demostrando que los materiales y elementos normalizados se los puede encontrar con facilidad y están en stock.
- El costo de la máquina sobrepasa en un 25% al costo requerido por el cliente de \$1.800, aunque se trató de abaratar costos en materiales y elementos normalizados se sobrepasa a un valor de \$2.253,30.

### **5.3 Recomendaciones**

- Se recomienda realizar un protocolo de pruebas cuando se realice la futura construcción de la máquina.
- Se recomienda actualizar costos de materiales y elementos normalizados antes de proceder con la construcción de la máquina.
- Diseñar un sistema a futuro que permita movilizar la máquina de un lugar a otro con gran facilidad, por ejemplo, ruedas en las patas de la bancada.
- Se recomienda el diseño de más tamices con diferente granulometría para satisfacer las necesidades del cliente.

- Se recomienda la elaboración de un plan de mantenimiento para cada sistema que conforma la máquina.

## 6 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] INEC, *Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua (ESPAC)*, Quito: Administración Central, 2016.
- [2] A. Benítez, *Ganadería Sostenible: Guía de prácticas para el Noroccidente de Pichincha.*, Quito-Ecuador: CONDESAN, 2019.
- [3] Ana María Sánchez, Tatiana Vargas, Fernando Mayorga, Carolina Freire, «Sector ganadero-Análisis 2014-2019,» Universidad Técnica de Ambato, Ambato, 2019.
- [4] Nair Ashwin.A, Nair Gokul.G, Nair Sudheeshkumar.S, Nishad Vishal.H, *DESIGN AND FABRICATION OF MULTIPURPOSE AGRICULTURAL*, 2020.
- [5] D. Bermeo, *DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MOLINO DE MARTILLOS TRITURADOR DE GRANOS PARA GRANJAS AVÍCOLAS*, Latacunga: Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE, 2014.
- [6] Darío N. Camps, Guillermo O. González, «SITIO ARGENTINO DE PRODUCCIÓN ANIMAL,» 2003. [En línea]. Available: [https://www.produccion-animal.com.ar/informacion\\_tecnica/suplementacion/04-grano\\_maiz.pdf](https://www.produccion-animal.com.ar/informacion_tecnica/suplementacion/04-grano_maiz.pdf). [Último acceso: 19 Junio 2022].
- [7] Maresca, S, Santini, F.J, Paván, E, «Sitio Argentino de Producción Animal,» 2005. [En línea]. Available: [https://www.produccion-animal.com.ar/informacion\\_tecnica/suplementacion/35-maiz\\_entero\\_y\\_partido.pdf](https://www.produccion-animal.com.ar/informacion_tecnica/suplementacion/35-maiz_entero_y_partido.pdf). [Último acceso: 19 junio 2020].
- [8] J. Pavón, *DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MOLINO ARTESANAL PARA LA MOLIENDA DE GRANOS SECOS DE CAPACIDAD 250 KG/H*, Quito: ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL-EPN, 2013.
- [9] Gémina, «Gémina Procesos Alimentarios S.L.,» [En línea]. Available: [https://www.gemina.es/files/catalogue/pdf/21\\_Molino\\_Martillo.pdf](https://www.gemina.es/files/catalogue/pdf/21_Molino_Martillo.pdf). [Último acceso: 25 junio 2022].
- [10] Maritza Balcazar, Juan Guamba, *Diseño de un triturador de cacao*, Quito: ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL-EPN, 2009.
- [11] J. Arreaga, *Diseño de un molino Industrial para la molienda y descascarado del cacao*, Guayaquil: Universidad Politécnica Salesiana-UPS, 2021.
- [12] Wilson Quishpe, Roberth Ludeña, *Diseño y construcción de un molino para pimienta con capacidad de carga de 15 Kg. / h. y mecanismos para la Finca Bellemans*, Sangolquí: ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO-ESPE, 2008, p. 16.
- [13] R. S. SAC, «AQP Soluciones,» [En línea]. Available: <https://larevista.aqpsoluciones.com/2020/11/20/molino-de-maiz/>. [Último acceso: 25 junio 2022].

- [14] AGROTA, «AGROTA Productividad responsable,» [En línea]. Available: <http://agrota.com.ec/wp-content/uploads/2019/02/Catalogo-Agropecuaria.pdf>. [Último acceso: 25 junio 2022].
- [15] RETSCH, «InColor Equipos de Análisis y Control de Calidad,» [En línea]. Available: <https://www.incolorec.com.ec/sitio/productos/71>. [Último acceso: 25 junio 2022].
- [16] Franklin Chávez, Gesler Ramos, DISEÑO DE UN MOLINO DE MARTILLOS PARA CEREALES Y FORRAJES DE 500 kg/h EN EL ANEXO DE BATANGRANDE, LAMBAYEQUE, Pimentel, Perú: Universidad Señor de Sipán, 2018.
- [17] Cuadrado Iván, Rueda José Luis, DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MOLINO DE MARTILLOS, Quito: Universidad San Francisco de Quito, 2009.
- [18] Méndez Jonathan, Orellana Andrea, DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MOLINO DE MARTILLOS TRITURADOR DE 15 qq/h DE MINERAL PETREO PARA PRODUCIR BIOFERTILIZANTES, Quito: Universidad Politécnica Salesiana, 2018.
- [19] Richard Budynas, Keith Nisbett, Diseño en ingeniería mecánica de Shigley, México: McGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V., 2008.
- [20] INTERMEC, «INTERMEC,» [En línea]. Available: <http://www.intermec.com.co/>. [Último acceso: 05 Julio 2022].
- [21] J. Marinier, *Proyecto final. Volante de Inercia*, Buenos Aires: Universidad Tecnológica Nacional, 2016.
- [22] T. STEEL, «THREEWAY STEEL,» Threeway Steel Co.,Ltd, 2020. [En línea]. Available: [https://www.threeway-steel.com/SS304-tube.html?gclid=CjwKCAjwq5-WBhB7EiwAl-HEkr\\_sPt9uAJ8FII5GpVTGuy5cZxox1ImZplywTXoiHpyXbHhnLTDXIBoCd8UQAvD\\_BwE](https://www.threeway-steel.com/SS304-tube.html?gclid=CjwKCAjwq5-WBhB7EiwAl-HEkr_sPt9uAJ8FII5GpVTGuy5cZxox1ImZplywTXoiHpyXbHhnLTDXIBoCd8UQAvD_BwE). [Último acceso: 8 Julio 2022].
- [23] DISMETAL, «DISMETAL METALES PARA LA INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN,» [En línea]. Available: <https://dismetal.ec/productos/tuberias/acero-inoxidable/redonda>. [Último acceso: 09 Julio 2022].
- [24] I. ACEROS, «TUBERIA REDONDA ACERO INOXIDABLE 304,» IMPORT ACEROS , [En línea]. Available: <https://www.importaceros.com/ecuador-quito/tuberia-redonda-acero-inoxidable-304/>. [Último acceso: 09 Julio 2022].
- [25] R. L. Norton, Machine Design, 2014.
- [26] Cevallos P, Coro E, Marroquin N, Romero G, Romero R , Diseño de una máquina para cortar el fruto de cacao y extraer su pulpa, Quito: ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL, 2020.
- [27] OPAC, «OPAC COMPONENTS,» [En línea]. Available: <https://www.opac.net/pdf/DIN%206885%20A.pdf>. [Último acceso: 17 Agosto 2022].
- [28] A. Tapia, *DISEÑO DE UNA MÁQUINA PICADORA DE FORRAJE Y TRITURADORA DE GRANOS EMPLEADA PARA LA ELABORACIÓN DE ALIMENTO DE BOVINOS*, Quito: ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL, 2022.

- [29] SKF, «Catalogo de rodamientos SKF,» [En línea]. Available: <https://www.skf.com/co>. [Último acceso: 13 julio 2022].
- [30] WEG, *Selección de motores eléctricos*.
- [31] C. G. d. Aceros, 15 enero 2022. [En línea]. Available: [https://www.cga.com.co/wp-content/uploads/2020/07/Ficha\\_T%C3%A9cnica\\_Aceros\\_Grado\\_Ingenier%C3%ADa\\_1045.pdf](https://www.cga.com.co/wp-content/uploads/2020/07/Ficha_T%C3%A9cnica_Aceros_Grado_Ingenier%C3%ADa_1045.pdf). [Último acceso: 12 julio 2022].

## 7 ANEXOS

# ANEXO I: CASA DE LA CALIDAD

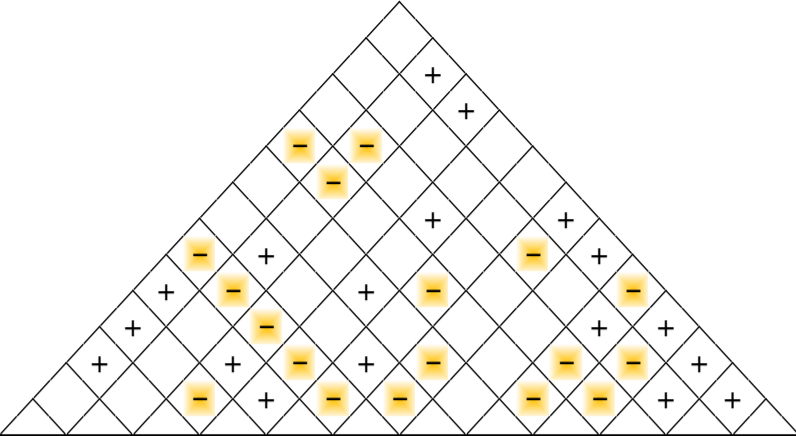
## QFD: Casa de la Calidad

Proyecto: Máquina picadora y trituradora de forraje y granos

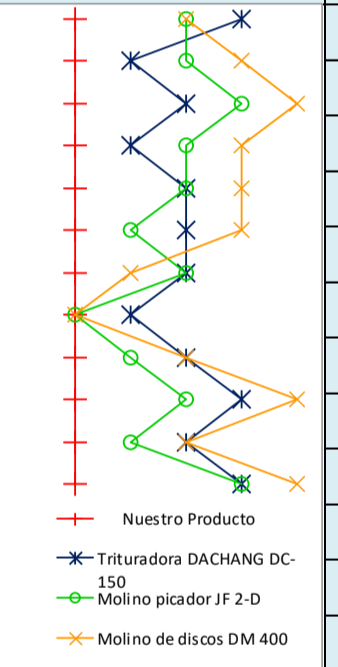
Revisión: Ing. Wilson Guachamin

Fecha: 07/02/2022

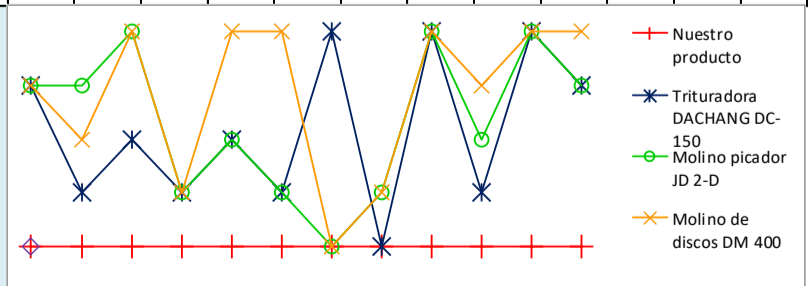
| Correlaciones       |   |
|---------------------|---|
| Positiva            | + |
| Negativa            | - |
| No Correlación      | □ |
| Relaciones          |   |
| Fuerte              | ● |
| Moderado            | ○ |
| Débil               | ▽ |
| Dirección de Mejora |   |
| Maximizar           | ▲ |
| Blanco              | ◇ |
| Minimizar           | ▼ |



| Fila # | Tabla de peso | Peso relativo | Importancia para el cliente | Relación máxima | Requisitos del cliente (explícitos e implícitos)               | Evaluación competitiva del cliente |                |          |               |             |        |                |           |      |        |            |         | Fila #           |                            |                       |                         |  |
|--------|---------------|---------------|-----------------------------|-----------------|--|------------------------------------|----------------|----------|---------------|-------------|--------|----------------|-----------|------|--------|------------|---------|------------------|----------------------------|-----------------------|-------------------------|--|
|        |               |               |                             |                 |  | Columna #                          | 1              | 2        | 3             | 4           | 5      | 6              | 7         | 8    | 9      | 10         | 11      |                  | 12                         |                       |                         |  |
|        |               |               |                             |                 | Requisitos funcionales   | Practicidad                        | Nivel de ruido | Eficacia | Mantenimiento | Durabilidad | Precio | Sostenibilidad | Movilidad | Peso | Tamaño | Eficiencia | Energía | Nuestro Producto | Trituradora DACHANG DC-150 | Molino picador JF 2-D | Molino de discos DM 400 |  |
| 1      | ■             | 7%            | 3                           | 9               | Sea fácil de usar  | ●                                  | ▽              |          |               | ○           |        |                |           |      |        |            | ●       | 1                | 4                          | 3                     | 3                       |  |
| 2      | ■             | 7%            | 3                           | 9               | Que sea lo menos ruidosa posible                               |                                    | ○              |          |               |             | ○      |                |           |      | ▽      |            | ●       | 1                | 2                          | 3                     | 4                       |  |
| 3      | ■■■           | 11%           | 5                           | 9               | No presente fallas en su funcionamiento                        | ▽                                  |                | ●        | ○             | ●           |        |                |           | ▽    |        | ●          | ○       | 1                | 3                          | 4                     | 5                       |  |
| 4      | ■■■           | 9%            | 4                           | 9               | Fácil mantenimiento  |                                    |                | ▽        | ●             | ○           |        |                |           | ▽    | ○      |            | ▽       | 1                | 2                          | 3                     | 4                       |  |
| 5      | ■■■           | 9%            | 4                           | 3               | Elementos con larga vida útil                                  |                                    |                | ▽        |               | ○           | ○      |                |           |      |        | ○          |         | 1                | 3                          | 3                     | 4                       |  |
| 6      | ■■■           | 9%            | 4                           | 9               | Económica  | ▽                                  | ▽              | ●        |               | ○           | ●      | ▽              | ▽         | ○    | ○      | ●          | ▽       | 1                | 3                          | 2                     | 4                       |  |
| 7      | ■             | 4%            | 2                           | 9               | Amigable con el medio ambiente                                 |                                    |                |          |               | ▽           |        | ●              |           |      |        |            | ●       | 1                | 3                          | 3                     | 2                       |  |
| 8      | ■■■           | 7%            | 3                           | 9               | Trasladable  |                                    |                |          |               |             | ○      |                | ●         | ●    | ○      |            | ○       | 1                | 2                          | 1                     | 1                       |  |
| 9      | ■■■           | 7%            | 3                           | 9               | Que se pueda desplazar hacia distintos sitios                  | ○                                  |                |          | ▽             |             |        |                | ●         | ○    | ○      |            |         | 1                | 3                          | 2                     | 3                       |  |
| 10     | ■■■           | 11%           | 5                           | 9               | Procese material mínimo una tonelada por cada hora de trabajo. |                                    |                | ●        |               |             | ●      |                |           |      |        | ●          | ○       | 1                | 4                          | 3                     | 5                       |  |
| 11     | ■■■           | 11%           | 5                           | 9               | Trabaje como mínimo cuatro horas al día                        |                                    |                | ▽        | ○             |             |        |                |           |      |        |            | ●       | 1                | 3                          | 2                     | 3                       |  |
| 12     | ■■■           | 9%            | 4                           | 9               | Utilice energía eléctrica                                      |                                    | ●              | ○        |               | ▽           | ○      | ●              | ▽         | ○    |        |            | ●       | 1                | 4                          | 4                     | 5                       |  |



| Objetivo                                    | Evaluación Técnica Competitiva |        |        |        |        |        |        |        |        |     |        |        |
|---|--------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-----|--------|--------|
|   | 1                              | 2      | 3      | 4      | 5      | 6      | 7      | 8      | 9      | 10  | 11     | 12     |
| Pasos para encendido                        | 9                              | 9      | 9      | 9      | 9      | 9      | 9      | 9      | 9      | 3   | 9      | 9      |
| 80-90 Decibeles                             | 100                            | 108,89 | 342,22 | 153,33 | 193,33 | 293,33 | 128,89 | 137,78 | 153,33 | 100 | 406,67 | 444,44 |
| Procesos de picado y triturado consistentes | 4%                             | 4%     | 13%    | 6%     | 8%     | 11%    | 5%     | 5%     | 6%     | 4%  | 16%    | 17%    |
| Mantenimiento trimestral                    | ■                              | ■      | ■■■    | ■      | ■      | ■■■    | ■      | ■      | ■      | ■   | ■■■    | ■■■    |
| Uso de materiales certificados              | 1                              | 1      | 1      | 1      | 1      | 1      | 1      | 1      | 1      | 1   | 1      | 1      |
| \$1500-\$1800                               | 4                              | 2      | 3      | 2      | 3      | 2      | 5      | 1      | 5      | 2   | 5      | 4      |
| Uso de energías renovables                  | 4                              | 4      | 5      | 2      | 3      | 2      | 1      | 2      | 5      | 3   | 5      | 4      |
| Posibilidad de acople o ruedas              | 4                              | 3      | 5      | 2      | 5      | 5      | 1      | 2      | 5      | 4   | 5      | 5      |
| Menor a 350 Kg                              |                                |        |        |        |        |        |        |        |        |     |        |        |
| Similar a 1.8m x 1.5m x 1.2m                |                                |        |        |        |        |        |        |        |        |     |        |        |
| 4 horas de trabajo                          |                                |        |        |        |        |        |        |        |        |     |        |        |
| Motor eléctrico                             |                                |        |        |        |        |        |        |        |        |     |        |        |
| Nuestro Producto                            | 1                              | 1      | 1      | 1      | 1      | 1      | 1      | 1      | 1      | 1   | 1      | 1      |
| Trituradora DACHANG DC-150                  | 4                              | 2      | 3      | 2      | 3      | 2      | 5      | 1      | 5      | 2   | 5      | 4      |
| Molino picador JD 2-D                       | 4                              | 4      | 5      | 2      | 3      | 2      | 1      | 2      | 5      | 3   | 5      | 4      |
| Molino de discos DM 400                     | 4                              | 3      | 5      | 2      | 5      | 5      | 1      | 2      | 5      | 4   | 5      | 5      |





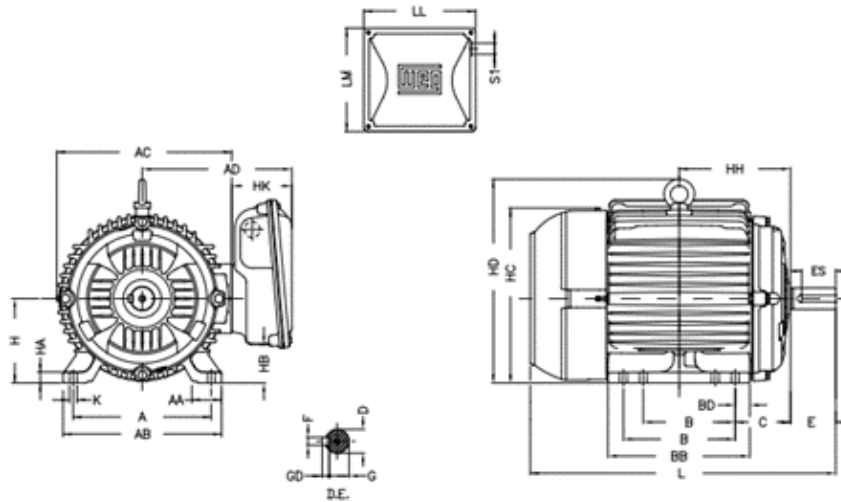
## ANEXO II: PROPIEDADES MECÁNICAS DEL ACERO INOXIDABLE AISI 304

| Número | Material                  | Condición | Resistencia (a la tensión)   |                            |   |                                     |       | Resistencia a la deformación, exponente $m$ | Resistencia a la fractura $\epsilon_f$ |
|--------|---------------------------|-----------|------------------------------|----------------------------|---|-------------------------------------|-------|---|--|
|        |                           |           | Fluencia $S_y$<br>MPa (kpsi) | Última $S_u$<br>MPa (kpsi) | A la fractura, $\sigma_f$<br>MPa (kpsi) | Coficiente $\sigma_0$<br>MPa (kpsi) |       |   |  |
| 1018   | Acero                     | Recocido  | 220 (32.0)                   | 341 (49.5)                 | 628 (91.1) <sup>f</sup>                 | 620 (90.0)                          | 0.25  | 1.05  |  |
| 1144   | Acero                     | Recocido  | 358 (52.0)                   | 646 (93.7)                 | 898 (130) <sup>f</sup>                  | 992 (144)                           | 0.14  | 0.49  |  |
| 1212   | Acero                     | HR        | 193 (28.0)                   | 424 (61.5)                 | 729 (106) <sup>f</sup>                  | 758 (110)                           | 0.24  | 0.85  |  |
| 1045   | Acero                     | TyR 600°F | 1520 (220)                   | 1580 (230)                 | 2380 (345)                              | 1880 (273) <sup>f</sup>             | 0.041 | 0.81  |  |
| 4142   | Acero                     | TyR 600°F | 1720 (250)                   | 1930 (210)                 | 2340 (340)                              | 1760 (255) <sup>f</sup>             | 0.048 | 0.43  |  |
| 303    | Acero inoxidable<br>Acero | Recocido  | 241 (35.0)                   | 601 (87.3)                 | 1520 (221) <sup>f</sup>                 | 1410 (205)                          | 0.51  | 1.16  |  |
| 304    | Acero inoxidable<br>Acero | Recocido  | 276 (40.0)                   | 568 (82.4)                 | 1600 (233) <sup>f</sup>                 | 1270 (185)                          | 0.45  | 1.67  |  |

**Figura 54.** Propiedades mecánicas del acero AISI 304 [19].

# ANEXO III: CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS MOTORES ELÉCTRICOS WEG

| Potencia |      | Carcasa | Par nominal<br>Tn (kgm) | Corriente con rotor trabado<br>Ih/n | Par con rotor trabado<br>Tt/n | Par Máximo<br>Tb/n | Momento de inercia<br>J (kgm²) | Tiempo máximo con rotor trabado (s) | Peso (kg) | Nivel de ruido dB (A) | RPM  | % de la potencia nominal |      |      |                    |      |      | Corriente nominal<br>In (A) |       |       |  |
|----------|------|---------|-------------------------|-------------------------------------|-------------------------------|--------------------|--------------------------------|-------------------------------------|-----------|-----------------------|------|--------------------------|------|------|--------------------|------|------|-----------------------------|-------|-------|--|
| KW       | HP   |         |                         |                                     |                               |                    |                                |                                     |           |                       |      | Rendimiento              |      |      | Factor de potencia |      |      | 220 V                       |       | 440 V |  |
|          |      |         |                         |                                     |                               |                    |                                |                                     |           |                       |      | 50                       | 75   | 100  | 50                 | 75   | 100  |                             |       |       |  |
| 11 polos |      |         |                         |                                     |                               |                    |                                |                                     |           |                       |      |                          |      |      |                    |      |      |                             |       |       |  |
| 0.12     | 0.16 | 63      | 0.034                   | 5.9                                 | 2.0                           | 2.9                | 0.0002                         | 6                                   | 10,0      | 50                    | 3490 | 35,8                     | 44,4 | 49,9 | 0,52               | 0,60 | 0,68 | 1,61                        | 0,804 |       |  |
| 0.18     | 0.25 | 63      | 0.050                   | 6,1                                 | 2,2                           | 2,8                | 0.0003                         | 6                                   | 10,7      | 50                    | 3490 | 42,3                     | 50,8 | 55,8 | 0,51               | 0,61 | 0,69 | 2,12                        | 1,06  |       |  |
| 0.25     | 0.33 | 63      | 0.070                   | 5,5                                 | 2,9                           | 3,2                | 0.0002                         | 6                                   | 10,7      | 50                    | 3490 | 42,5                     | 51,6 | 57,2 | 0,44               | 0,54 | 0,62 | 3,20                        | 1,60  |       |  |
| 0.37     | 0,5  | 71      | 0.102                   | 7,2                                 | 2                             | 3,1                | 0.0005                         | 7                                   | 13,0      | 60                    | 3520 | 51,7                     | 59,9 | 64,2 | 0,53               | 0,64 | 0,72 | 3,64                        | 1,82  |       |  |
| 0.55     | 0.75 | 80      | 0.152                   | 7,7                                 | 2,1                           | 3                  | 0.0008                         | 10                                  | 16,5      | 65                    | 3525 | 58,8                     | 67,9 | 72,8 | 0,77               | 0,85 | 0,91 | 3,78                        | 1,89  |       |  |
| 0.75     | 1    | 80      | 0.208                   | 7,0                                 | 2,3                           | 2,7                | 0.0009                         | 9                                   | 17,5      | 65                    | 3520 | 58,0                     | 66,0 | 71,0 | 0,75               | 0,83 | 0,88 | 5,46                        | 2,73  |       |  |
| 1,1      | 1,5  | 90S     | 0.303                   | 9,1                                 | 2,1                           | 2,9                | 0.0020                         | 9                                   | 24,0      | 69                    | 3535 | 70,8                     | 77,2 | 79,8 | 0,79               | 0,87 | 0,91 | 6,88                        | 3,44  |       |  |
| 1,5      | 2    | 90L     | 0.415                   | 8,4                                 | 2,1                           | 2,7                | 0.0022                         | 8                                   | 25,0      | 69                    | 3520 | 68,4                     | 74,9 | 77,7 | 0,83               | 0,89 | 0,92 | 9,54                        | 4,77  |       |  |
| 2,2      | 3    | 100L    | 0.608                   | 8,7                                 | 2,3                           | 3                  | 0.0064                         | 9                                   | 37,0      | 72                    | 3525 | 72,7                     | 79,2 | 81,8 | 0,97               | 0,98 | 0,98 | 12,5                        | 6,24  |       |  |
| 3        | 4    | 112M    | 0.830                   | 8,0                                 | 2,6                           | 2,5                | 0.0081                         | 6                                   | 45,0      | 72                    | 3520 | 77,4                     | 81,6 | 82,1 | 0,96               | 0,97 | 0,98 | 16,9                        | 8,47  |       |  |
| 3,7      | 5    | 112M    | 1,02                    | 8,0                                 | 2,6                           | 2,5                | 0.0091                         | 6                                   | 47,0      | 72                    | 3525 | 81,0                     | 82,3 | 83,4 | 0,93               | 0,96 | 0,97 | 20,8                        | 10,4  |       |  |
| 5,5      | 7,5  | 132S    | 1,52                    | 8,5                                 | 2,8                           | 2,9                | 0.0234                         | 5                                   | 69,0      | 72                    | 3515 | 74,7                     | 80,2 | 82,4 | 0,92               | 0,95 | 0,96 | 31,6                        | 15,8  |       |  |
| 7,5      | 10   | 132M    | 2,07                    | 8,0                                 | 2,2                           | 3,1                | 0.0223                         | 8                                   | 70,0      | 72                    | 3525 | 80,9                     | 82,9 | 83,9 | 0,83               | 0,90 | 0,94 | 43,2                        | 21,6  |       |  |
| 9,2      | 12,5 | 132M    | 2,55                    | 8,8                                 | 1,9                           | 3                  | 0.0285                         | 7                                   | 79,0      | 72                    | 3515 | 86,0                     | 88,2 | 88,3 | 0,94               | 0,96 | 0,97 | 48,8                        | 24,4  |       |  |
| 11       | 15   | 132ML   | 3,04                    | 8,5                                 | 2,2                           | 3,5                | 0.0339                         | 6                                   | 92,0      | 72                    | 3530 | 84,7                     | 87,7 | 88,5 | 0,89               | 0,94 | 0,95 | 59,4                        | 29,7  |       |  |



| Carcasa | A   | AA   | AB  | AC  | AD  | B       | BB    | BD    | C  | Eje |    |    |    |      |    |         |     |
|---------|-----|------|-----|-----|-----|---------|-------|-------|----|-----|----|----|----|------|----|---------|-----|
|         |     |      |     |     |     |         |       |       |    | D   | E  | ES | F  | G    | GD |         |     |
| 63      | 100 | 25.5 | 116 | 125 | 128 | 80      | 95    | 7.5   | 40 | 116 | 23 | 14 | 4  | 8.5  | 4  |         |     |
| 71      | 112 | 28.5 | 132 | 141 | 136 | 90      | 113.5 | 11.75 | 45 | 146 | 30 | 18 | 5  | 11   | 5  |         |     |
| 80      | 125 | 30.5 | 149 | 159 | 145 | 100     | 125.5 | 12.75 | 50 | 196 | 40 | 28 | 6  | 15.5 | 6  |         |     |
| 90S     | 140 | 37   | 164 | 179 | 155 | 125     | 131   | 15.5  | 56 | 246 | 50 | 36 | 8  | 20   | 7  |         |     |
| 90L     |     |      |     |     |     |         |       |       |    |     |    |    |    |      |    | 181     | 156 |
| 100L    | 160 | 40   | 188 | 206 | 191 | 140     | 173   | 16.5  | 63 | 286 | 60 | 45 | 24 | 24   | 8  |         |     |
| 112M    | 190 | 40.5 | 220 | 226 | 206 | 187     | 177   | 18.5  | 70 |     |    |    |    |      |    |         |     |
| 132S    | 216 | 45.5 | 248 | 272 | 234 | 178/203 | 225   | 23.5  | 89 | 386 | 80 | 63 | 10 | 33   | 8  |         |     |
| 132M    |     |      |     |     |     |         |       |       |    |     |    |    |    |      |    | 178     | 225 |
| 132ML   |     |      |     |     |     |         |       |       |    |     |    |    |    |      |    | 178/203 | 250 |

| Carcasa | H     | HA  | HB    | HC    | HD    | HH  | HK       | K   | L¹    | L²      | LL      | LM      | S1      | Rodamientos |         |
|---------|-------|-----|-------|-------|-------|-----|----------|-----|-------|---------|---------|---------|---------|-------------|---------|
|         |       |     |       |       |       |     |          |     |       |         |         |         |         | Delantero   | Trasero |
| 63      | 63    | 7   | 23    | 130   | 156.3 | 80  | 65       | 7   | 256   | 230     | 184     | 135     | 1xM20   | 6201 ZZ     | 6201 ZZ |
| 71      | 71    |     | 31    | 145   | 163.8 | 90  |          |     | 293   | 250     |         |         |         | 6202 ZZ     | 6202 ZZ |
| 80      | 80    | 8   | 41    | 163   | 174.3 | 100 | 91       | 10  | 326   | 277     | 221     | 206     | 1xM25   | 6204 ZZ     | 6203 ZZ |
| 90S     | 90    | 45  | 182   | 182.4 | 106   | 334 |          |     | 305   | 6205 ZZ |         |         |         |             |         |
| 90L     |       | 26  | 118.5 | 133   | 140   | 358 | 329      | 246 | 232   | 1xM32   | 6206 ZZ | 6207 ZZ | 6206 ZZ |             |         |
| 100L    | 100   | 43  | 203   | 244   | 159   | 423 | 246      |     |       |         |         |         |         |             |         |
| 112M    | 112   | 40  | 226   | 280   | 178   | 451 | 246/286P | 232 | 1xM32 | 6308 ZZ | 6308 ZZ |         |         |             |         |
| 132S    | 132   | 16  | 60    | 274   | 190.5 | 489 |          |     |       |         |         |         |         |             |         |
| 132M    |       |     |       |       |       | 178 | 250      |     |       |         |         |         |         |             |         |
| 132ML   | 190.5 | 250 |       |       |       |     |          |     |       |         |         |         |         |             |         |

Figura 55. Características técnicas y dimensiones de motor WEG 7.5 HP [30].

## ANEXO IV: SELECCIÓN DE POLEAS Y BUJES

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

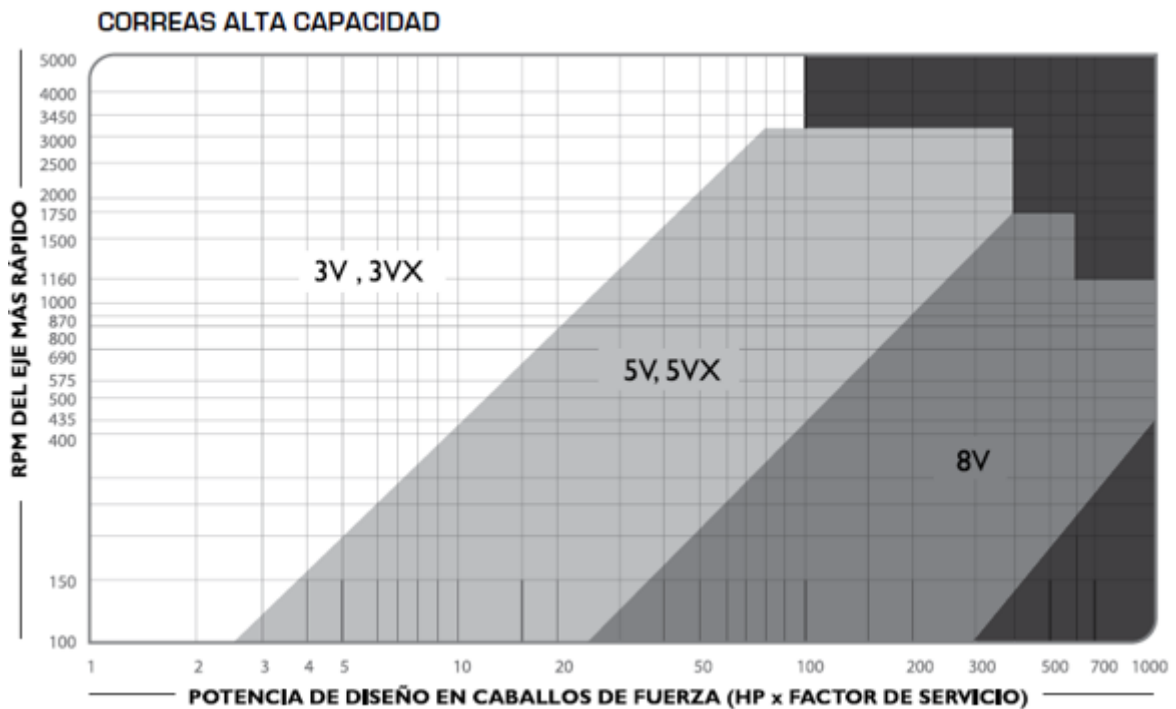
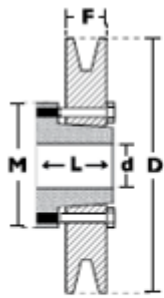


Figura 56. Factor de seguridad- tipo de perfil de correa de alta capacidad [20].

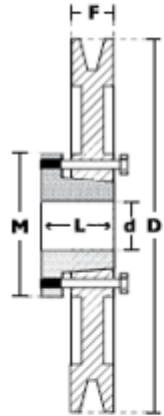
TABLA DE CAPACIDAD DE TRANSMISIÓN POR CANAL (EN HP)

| RPM del Eje más Rápido | Diámetro exterior de la Polea Motriz (en milímetros) |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|------------------------|--|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|                        | 55   | 60   | 65   | 67   | 70   | 75   | 80   | 85   | 90   | 105  |
| 100                    | 0,09   | 0,11 | 0,13 | 0,15 | 0,17 | 0,19 | 0,21 | 0,23 | 0,27 | 0,33 |
| 200                    | 0,16   | 0,20 | 0,24 | 0,27 | 0,31 | 0,35 | 0,39 | 0,43 | 0,50 | 0,61 |
| 300                    | 0,23   | 0,28 | 0,33 | 0,38 | 0,43 | 0,50 | 0,55 | 0,62 | 0,72 | 0,88 |
| 400                    | 0,28   | 0,35 | 0,42 | 0,49 | 0,55 | 0,64 | 0,71 | 0,80 | 0,93 | 1,14 |
| 500                    | 0,34   | 0,42 | 0,50 | 0,59 | 0,67 | 0,78 | 0,86 | 0,97 | 1,13 | 1,38 |
| 575                    | 0,37   | 0,47 | 0,56 | 0,66 | 0,76 | 0,88 | 0,97 | 1,10 | 1,28 | 1,57 |
| 600                    | 0,38   | 0,48 | 0,58 | 0,68 | 0,78 | 0,91 | 1,00 | 1,14 | 1,33 | 1,63 |
| 680                    | 0,43   | 0,54 | 0,65 | 0,76 | 0,88 | 1,02 | 1,13 | 1,28 | 1,50 | 1,84 |
| 700                    | 0,43   | 0,55 | 0,66 | 0,77 | 0,89 | 1,04 | 1,15 | 1,30 | 1,52 | 1,86 |
| 725                    | 0,44   | 0,56 | 0,68 | 0,80 | 0,91 | 1,07 | 1,18 | 1,34 | 1,57 | 1,92 |
| 800                    | 0,47   | 0,60 | 0,73 | 0,86 | 0,99 | 1,16 | 1,30 | 1,45 | 1,70 | 2,10 |
| 870                    | 0,50   | 0,64 | 0,78 | 0,92 | 1,06 | 1,24 | 1,38 | 1,56 | 1,83 | 2,25 |
| 900                    | 0,52   | 0,66 | 0,80 | 0,95 | 1,10 | 1,28 | 1,42 | 1,60 | 1,90 | 2,32 |
| 950                    | 0,54   | 0,69 | 0,84 | 0,99 | 1,14 | 1,34 | 1,50 | 1,68 | 1,98 | 2,43 |
| 1000                   | 0,56   | 0,72 | 0,87 | 1,03 | 1,20 | 1,40 | 1,55 | 1,76 | 2,07 | 2,54 |
| 1100                   | 0,59   | 0,77 | 0,94 | 1,10 | 1,28 | 1,50 | 1,68 | 1,90 | 2,24 | 2,76 |
| 1160                   | 0,62   | 0,80 | 0,98 | 1,16 | 1,34 | 1,58 | 1,76 | 2,00 | 2,35 | 2,90 |
| 1200                   | 0,63   | 0,82 | 1,00 | 1,20 | 1,38 | 1,62 | 1,80 | 2,05 | 2,40 | 2,98 |
| 1300                   | 0,66   | 0,87 | 1,07 | 1,27 | 1,47 | 1,73 | 1,93 | 2,20 | 2,58 | 3,20 |
| 1400                   | 0,70   | 0,91 | 1,13 | 1,35 | 1,56 | 1,84 | 2,05 | 2,33 | 2,75 | 3,40 |
| 1425                   | 0,71   | 0,93 | 1,15 | 1,38 | 1,58 | 1,87 | 2,08 | 2,37 | 2,80 | 3,45 |
| 1500                   | 0,73   | 0,96 | 1,20 | 1,42 | 1,65 | 1,95 | 2,17 | 2,47 | 2,90 | 3,60 |
| 1600                   | 0,76   | 1,00 | 1,25 | 1,50 | 1,73 | 2,05 | 2,30 | 2,60 | 3,07 | 3,80 |
| 1700                   | 0,78   | 1,02 | 1,30 | 1,56 | 1,82 | 2,15 | 2,40 | 2,74 | 3,23 | 4,00 |
| 1750                   | 0,80   | 1,07 | 1,33 | 1,60 | 1,86 | 2,20 | 2,46 | 2,80 | 3,30 | 4,10 |
| 1800                   | 0,82   | 1,09 | 1,36 | 1,63 | 1,90 | 2,25 | 2,52 | 2,87 | 3,40 | 4,20 |
| 1900                   | 0,84   | 1,13 | 1,42 | 1,70 | 1,98 | 2,35 | 2,63 | 3,00 | 3,54 | 4,38 |
| 2000                   | 0,87   | 1,17 | 1,47 | 1,77 | 2,06 | 2,45 | 2,74 | 3,12 | 3,70 | 4,57 |
| 2100                   | 0,90   | 1,20 | 1,52 | 1,83 | 2,14 | 2,54 | 2,85 | 3,25 | 3,84 | 4,76 |
| 2200                   | 0,92   | 1,25 | 1,57 | 1,90 | 2,20 | 2,64 | 2,95 | 3,37 | 4,00 | 4,94 |
| 2300                   | 0,94   | 1,28 | 1,62 | 1,96 | 2,30 | 2,73 | 3,05 | 3,50 | 4,13 | 5,10 |
| 2400                   | 0,96   | 1,32 | 1,67 | 2,02 | 2,36 | 2,82 | 3,16 | 3,60 | 4,27 | 5,29 |
| 2500                   | 0,98   | 1,35 | 1,70 | 2,07 | 2,43 | 2,90 | 3,26 | 3,72 | 4,40 | 5,46 |
| 2600                   | 1,00   | 1,38 | 1,76 | 2,13 | 2,50 | 3,00 | 3,35 | 3,83 | 4,54 | 5,63 |
| 2700                   | 1,02   | 1,42 | 1,80 | 2,20 | 2,57 | 3,08 | 3,45 | 3,94 | 4,68 | 5,80 |
| 2800                   | 1,04   | 1,45 | 1,85 | 2,24 | 2,64 | 3,16 | 3,54 | 4,05 | 4,80 | 5,96 |
| 2850                   | 1,05   | 1,46 | 1,87 | 2,27 | 2,67 | 3,20 | 3,60 | 4,10 | 4,87 | 6,03 |
| 2900                   | 1,06   | 1,48 | 1,89 | 2,30 | 2,70 | 3,24 | 3,64 | 4,16 | 4,93 | 6,10 |
| 3000                   | 1,07   | 1,50 | 1,93 | 2,35 | 2,77 | 3,32 | 3,73 | 4,26 | 5,06 | 6,27 |
| 3200                   | 1,10   | 1,56 | 2,00 | 2,45 | 2,90 | 3,47 | 3,90 | 4,47 | 5,30 | 6,57 |
| 3400                   | 1,13   | 1,60 | 2,08 | 2,55 | 3,00 | 3,62 | 4,07 | 4,66 | 5,53 | 6,85 |
| 3450                   | 1,14   | 1,62 | 2,10 | 2,57 | 3,04 | 3,65 | 4,10 | 4,70 | 5,60 | 6,92 |
| 3600                   | 1,15   | 1,65 | 2,15 | 2,64 | 3,12 | 3,76 | 4,23 | 4,85 | 5,75 | 7,12 |
| 3800                   | 1,17   | 1,70 | 2,20 | 2,72 | 3,23 | 3,90 | 4,38 | 5,02 | 5,96 | 7,37 |
| 4000                   | 1,20   | 1,73 | 2,27 | 2,80 | 3,33 | 4,02 | 4,52 | 5,20 | 6,16 | 7,60 |
| 4200                   | 1,20   | 1,77 | 2,33 | 2,88 | 3,42 | 4,13 | 4,66 | 5,34 | 6,34 | 7,83 |
| 4400                   | 1,21   | 1,80 | 2,38 | 2,95 | 3,50 | 4,24 | 4,78 | 5,50 | 6,50 | 8,03 |
| 4600                   | 1,21   | 1,82 | 2,42 | 3,00 | 3,60 | 4,35 | 4,90 | 5,63 | 6,67 | 8,22 |
| 4800                   | 1,21   | 1,84 | 2,46 | 3,07 | 3,66 | 4,44 | 5,00 | 5,75 | 6,82 | 8,38 |
| 5000                   | 1,21   | 1,86 | 2,50 | 3,12 | 3,73 | 4,53 | 5,10 | 5,87 | 6,95 | 8,53 |
| 5200                   | 1,20   | 1,87 | 2,52 | 3,16 | 3,80 | 4,60 | 5,20 | 5,97 | 7,07 | 8,66 |
| 5400                   | 1,19   | 1,87 | 2,55 | 3,20 | 3,85 | 4,66 | 5,28 | 6,06 | 7,18 | 8,77 |
| 5600                   | 1,17   | 1,88 | 2,56 | 3,24 | 3,90 | 4,74 | 5,36 | 6,15 | 7,27 | 8,86 |
| 5800                   | 1,15   | 1,87 | 2,58 | 3,26 | 3,93 | 4,80 | 5,42 | 6,22 | 7,35 | 8,93 |
| 6000                   | 1,13   | 1,87 | 2,59 | 3,28 | 3,96 | 4,84 | 5,47 | 6,27 | 7,40 | 8,98 |
| 6200                   | 1,10   | 1,86 | 2,60 | 3,30 | 3,99 | 4,87 | 5,50 | 6,32 | 7,45 | 9,00 |
| 6400                   | 1,07   | 1,84 | 2,58 | 3,31 | 4,00 | 4,90 | 5,54 | 6,35 | 7,48 | 9,01 |
| 6600                   | 1,04   | 1,82 | 2,57 | 3,31 | 4,01 | 4,90 | 5,56 | 6,37 | 7,49 | 8,98 |
| 6800                   | 1,00   | 1,79 | 2,56 | 3,30 | 4,01 | 4,92 | 5,57 | 6,38 | 7,49 | 8,94 |
| 7000                   | 0,98   | 1,76 | 2,54 | 3,30 | 4,01 | 4,92 | 5,56 | 6,37 | 7,46 | 8,87 |

Figura 57. Capacidad de transmisión de banda [20]



Modelo T1



Modelo T3

| 1 CANAL               |     |                  |            |                                      |         |                              |                             |        |                      |
|-----------------------|-----|------------------|------------|--------------------------------------|---------|------------------------------|-----------------------------|--------|----------------------|
| Ancho (F) = 17.5 mm   |     |                  |            |                                      |         |                              |                             |        |                      |
| Diámetro Exterior (D) |     | Referencia Polea | Ref. Bujes | Hueco máximo con cuñero estándar (d) |         | Longitud del Bujes en mm (L) | Diámetro del buje en mm (M) | Modelo | Peso sin Bujes en Lb |
| pulg                  | mm  |                  |            | mm                                   | pulg    |                              |                             |        |                      |
| 2,0                   | 50  | PQ 1-3V50        | JA         | 25,4                                 | 1       | 27                           | 50                          | T1     | 0,6                  |
| 2,2                   | 55  | PQ 1-3V55        | JA         | 25,4                                 | 1       | 27                           | 50                          | T1     | 0,7                  |
| 2,3                   | 60  | PQ 1-3V60        | JA         | 25,4                                 | 1       | 27                           | 50                          | T1     | 0,8                  |
| 2,5                   | 65  | PQ 1-3V65        | JA         | 25,4                                 | 1       | 27                           | 50                          | T1     | 0,8                  |
| 2,6                   | 67  | PQ 1-3V67        | JA         | 25,4                                 | 1       | 27                           | 50                          | T1     | 0,9                  |
| 2,8                   | 70  | PQ 1-3V70        | JA         | 25,4                                 | 1       | 27                           | 50                          | T1     | 0,9                  |
| 3,0                   | 75  | PQ 1-3V75        | JA         | 25,4                                 | 1       | 27                           | 50                          | T1     | 1,0                  |
| 3,1                   | 80  | PQ 1-3V80        | JA         | 25,4                                 | 1       | 27                           | 50                          | T1     | 1,0                  |
| 3,2                   | 85  | PQ 1-3V85        | JA         | 25,4                                 | 1       | 27                           | 50                          | T3     | 1,1                  |
| 3,6                   | 90  | PQ 1-3V90        | SH         | 34,9                                 | 1-3/8   | 33                           | 70                          | T1     | 1,3                  |
| 3,9                   | 100 | PQ 1-3V100       | SH         | 34,9                                 | 1-3/8   | 33                           | 70                          | T1     | 1,6                  |
| 4,1                   | 105 | PQ 1-3V105       | SH         | 34,9                                 | 1-3/8   | 33                           | 70                          | T1     | 1,7                  |
| 4,3                   | 110 | PQ 1-3V110       | SH         | 34,9                                 | 1-3/8   | 33                           | 70                          | T1     | 2,0                  |
| 4,5                   | 115 | PQ 1-3V115       | SH         | 34,9                                 | 1-3/8   | 33                           | 70                          | T1     | 2,1                  |
| 4,7                   | 120 | PQ 1-3V120       | SH         | 34,9                                 | 1-3/8   | 33                           | 70                          | T1     | 2,5                  |
| 5,0                   | 125 | PQ 1-3V125       | SH         | 34,9                                 | 1-3/8   | 33                           | 70                          | T1     | 2,8                  |
| 5,1                   | 130 | PQ 1-3V130       | SH         | 34,9                                 | 1-3/8   | 33                           | 70                          | T1     | 2,9                  |
| 5,3                   | 135 | PQ 1-3V135       | SH         | 34,9                                 | 1-3/8   | 33                           | 70                          | T1     | 3,0                  |
| 5,8                   | 140 | PQ 1-3V140       | SH         | 34,9                                 | 1-3/8   | 33                           | 70                          | T1     | 3,2                  |
| 6,0                   | 150 | PQ 1-3V150       | SH         | 34,9                                 | 1-3/8   | 33                           | 70                          | T1     | 3,5                  |
| 6,3                   | 160 | PQ 1-3V160       | SH         | 34,9                                 | 1-3/8   | 33                           | 70                          | T1     | 3,8                  |
| 6,5                   | 165 | PQ 1-3V165       | SH         | 34,9                                 | 1-3/8   | 33                           | 70                          | T1     | 3,9                  |
| 6,7                   | 170 | PQ 1-3V170       | SH         | 34,9                                 | 1-3/8   | 33                           | 70                          | T1     | 4,0                  |
| 6,9                   | 175 | PQ 1-3V175       | SH         | 34,9                                 | 1-3/8   | 33                           | 70                          | T1     | 4,5                  |
| 7,0                   | 180 | PQ 1-3V180       | SDS        | 42,9                                 | 1-11/16 | 35                           | 80                          | T1     | 4,6                  |
| 7,5                   | 190 | PQ 1-3V190       | SDS        | 42,9                                 | 1-11/16 | 35                           | 80                          | T1     | 5,1                  |
| 8,0                   | 200 | PQ 1-3V200       | SDS        | 42,9                                 | 1-11/16 | 35                           | 80                          | T3     | 5,5                  |
| 9,0                   | 230 | PQ 1-3V230       | SDS        | 42,9                                 | 1-11/16 | 35                           | 80                          | T3     | 6,0                  |
| 9,9                   | 250 | PQ 1-3V250       | SDS        | 42,9                                 | 1-11/16 | 35                           | 80                          | T3     | 7,8                  |
| 10,6                  | 270 | PQ 1-3V270       | SDS        | 42,9                                 | 1-11/16 | 35                           | 80                          | T3     | 8,0                  |
| 11,0                  | 280 | PQ 1-3V280       | SK         | 54,0                                 | 2-1/8   | 50                           | 100                         | T3     | 10,6                 |
| 11,8                  | 300 | PQ 1-3V300       | SK         | 54,0                                 | 2-1/8   | 50                           | 100                         | T3     | 11,3                 |
| 12,5                  | 320 | PQ 1-3V320       | SK         | 54,0                                 | 2-1/8   | 50                           | 100                         | T3     | 12,0                 |
| 13,7                  | 350 | PQ 1-3V350       | SK         | 54,0                                 | 2-1/8   | 50                           | 100                         | T3     | 13,2                 |
| 14,0                  | 355 | PQ 1-3V355       | SK         | 54,0                                 | 2-1/8   | 50                           | 100                         | T3     | 13,5                 |
| 15,7                  | 400 | PQ 1-3V400       | SK         | 54,0                                 | 2-1/8   | 50                           | 100                         | T3     | 14,1                 |
| 19,0                  | 485 | PQ 1-3V485       | SK         | 54,0                                 | 2-1/8   | 50                           | 100                         | T3     | 17,0                 |

Figura 58. Diámetros de poleas y su designación [20].

## ANEXO V: CATÁLOGO DE RODAMIENTOS

| Dimensiones |    |      |    |       |       |                   | Capacidad de carga básica |                   | Carga límite de fatiga | Velocidad límite            | Masa | Designación       |
|-------------|----|------|----|-------|-------|-------------------|---------------------------|-------------------|------------------------|-----------------------------|------|-------------------|
| d           | D  | B    | C  | $d_1$ | $s_1$ | $r_{1,2}$<br>min. | dinámica<br>C             | estática<br>$C_0$ | $P_u$                  | con tolerancia de<br>eje h6 | kg   |                   |
| mm          |    |      |    |       |       |                   | kN                        |                   | kN                     | r. p. m.                    |      | -                 |
| 12          | 40 | 27,4 | 12 | 24,2  | 15,9  | 0,3               | 9,56                      | 4,75              | 0,2                    | 9 500                       | 0,12 | ► YAR 203/12-2F   |
| 15          | 40 | 27,4 | 12 | 24,2  | 15,9  | 0,3               | 9,56                      | 4,75              | 0,2                    | 9 500                       | 0,11 | ► YAR 203/15-2F   |
| 17          | 40 | 22,1 | 12 | 24,2  | 15,9  | 0,3               | 9,56                      | 4,75              | 0,2                    | 9 500                       | 0,08 | ► YAT 203         |
|             | 40 | 27,4 | 12 | 24,2  | 15,9  | 0,3               | 9,56                      | 4,75              | 0,2                    | 9 500                       | 0,1  | ► YAR 203-2F      |
| 20          | 47 | 31,5 | 14 | 28,2  | 18,3  | 0,6               | 12,7                      | 6,55              | 0,28                   | 8 500                       | 0,13 | ► YAT 204         |
|             | 47 | 31   | 14 | 28,2  | 18,3  | 0,6               | 10,8                      | 6,55              | 0,28                   | 5 000                       | 0,15 | ► YAR 204-2RF/HV  |
|             | 47 | 31   | 14 | 28,2  | 18,3  | 0,6               | 10,8                      | 6,55              | 0,28                   | 5 000                       | 0,15 | YAR 204-2RFGR/HV  |
|             | 47 | 31   | 14 | 28,2  | 18,3  | 0,6               | 12,7                      | 6,55              | 0,28                   | 1 800                       | 0,15 | YARAG 204         |
|             | 47 | 31   | 14 | 28,2  | 18,3  | 0,6               | 12,7                      | 6,55              | 0,28                   | 5 000                       | 0,15 | ► YAR 204-2RF     |
|             | 47 | 31   | 14 | 28,2  | 18,3  | 0,6               | 12,7                      | 6,55              | 0,28                   | 5 000                       | 0,15 | YAR 204-2RF/VE495 |
|             | 47 | 31   | 14 | 28,2  | 18,3  | 0,6               | 12,7                      | 6,55              | 0,28                   | 8 500                       | 0,15 | ► YAR 204-2F      |

Figura 59. Selección de rodamientos [29].

## ANEXO VI: PRUEBAS EXPERIMENTALES

### Prueba de energía de ruptura del grano de maíz

La prueba realizada para obtener la energía de ruptura de un grano de maíz consiste en simular un mecanismo experimental donde se deja caer un objeto de prueba con masa conocida a una cierta altura sobre distintos granos.

Con las variaciones de altura se tendrá a que altura promedio el grano de maíz se fractura en su totalidad como se observa en la tabla 43 donde se aprecian los resultados de la prueba experimental.

### Alcance.

El presente procedimiento detalla el método necesario para determinar la energía potencial de forma experimental, al momento de triturar un grano de maíz.

### Equipos y materiales.

- Pesa de 498 g (0.498 Kg).



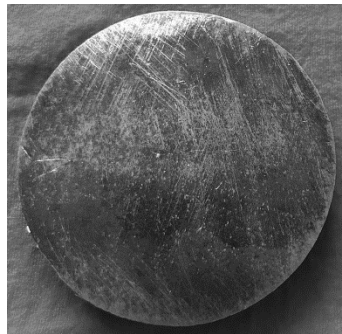
**Figura 60.** Pesa 498 g [Propia].

- Flexómetro.



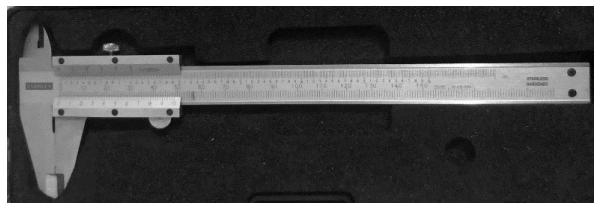
**Figura 61.** Flexómetro 5m, escala 1mm [Propia].

- Platina acero A36.



**Figura 62.** Platina acero A36 [Propia].

- Calibrador o pie de rey.

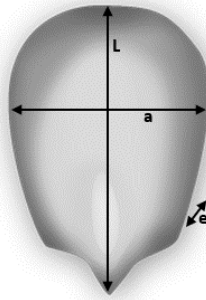


**Figura 63.** Calibrador 0.02mm – 1/1000 in [Propia].

### Proceso de triturado

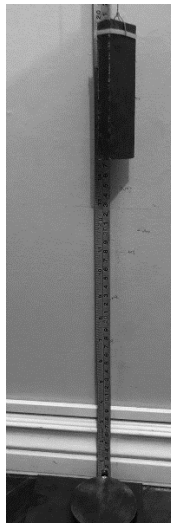
- Tomar 12 muestras de granos de maíz morochillo, en su mayor madurez ya que estos presentan mayor dureza.
- Tomar medidas tanto de largo (L), ancho (a) y espesor (e) de los diferentes granos y anotar en la hoja de datos.





**Figura 64.** Toma de medidas grano de maíz [Propia].

- Medir altura (h) con el flexómetro junto a una pared recta.
- Colocar el grano de maíz morochillo sobre la platina.



**Figura 65.** Cinta reflectiva sobre el mandril del taladro [Propia].

- Dejar caer la pesa de 0.498 (Kg), desde diferentes alturas.
- Repetir el procedimiento para diferentes alturas y registrar los resultados en la hoja de datos.

### **Prueba para determinar la fuerza de trituración del grano de maíz**

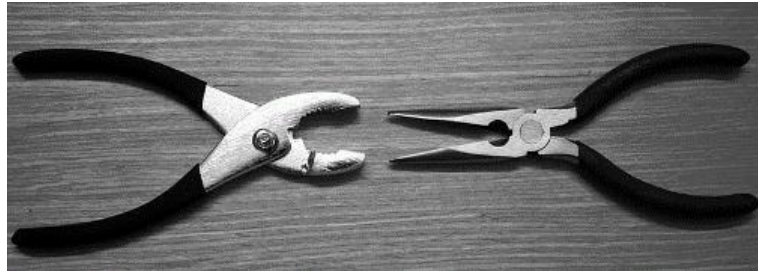
La prueba para determinar la fuerza de corte de manera experimental es muy similar al experimento realizado para la energía de ruptura. Consiste en aplicar una fuerza por medio de alicate y medir esa fuerza aplicada mediante un dinamómetro y obtener un promedio de la fuerza de corte. El experimento se realiza con 6 muestras de grano.

### **Alcance.**

El presente procedimiento detalla el método necesario para determinar la fuerza de corte de forma experimental, al momento de triturar un grano de maíz.

### Equipos y materiales.

- Playo y pinzas.



**Figura 66.** Alicates [Propia].

- Flexómetro.



**Figura 67.** Flexómetro 5m, escala 1mm [Propia].

- Dinamómetro.



**Figura 68.** Dinamómetro [Propia].

### Proceso de triturado

- Tomar 6 muestras de granos de maíz morochillo, en su mayor madurez ya que estos presentan mayor dureza.




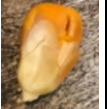



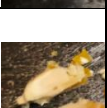
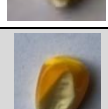

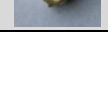

- Colocar el grano de maíz sobre las tenazas del alicate.
- Aplicar una fuerza hasta que se fracture el grano.
- Tomar la medición de fuerza aplicada que marca el grano de maíz.
- Calcular la fuerza de corte.
- Repetir el procedimiento para diferentes alturas y registrar los resultados en la hoja de datos







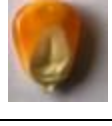



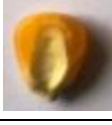



## Resultados

### Resultados obtenidos de la energía de ruptura del grano de maíz

Los resultados obtenidos de la prueba realizada para obtener la energía de ruptura de un grano de maíz se presentan en la tabla 50:

**Tabla 47.** Resultados de la prueba de energía de ruptura de un grano de maíz [Propia].

| Muestra |  | Dimensiones |        |        |       | Energía Potencial (J) | Ruptura      |  | Observaciones                                   |
|---------|---|-------------|--------|--------|-------|-----------------------|--------------|---|---|
|         |   | L (mm)      | a (mm) | e (mm) | h (m) |                       |              |   |   |
| 1       |  | 13,2        | 9,1    | 3,98   | 0,05  | 0,2435                | No           |  | El grano no experimenta ruptura.                |
| 2       |  | 13,2        | 10,22  | 4,98   | 0,1   | 0,4870                | Parcialmente |  | El grano presenta una leve ruptura.             |
| 3       |  | 12,6        | 9,5    | 4,2    | 0,1   | 0,4870                | Parcialmente |  | El grano presenta una leve ruptura en la mitad. |
| 4       |  | 14,5        | 8,72   | 4,62   | 0,15  | 0,73206               | Si           |  | El grano es partido en varias partes.           |
| 5       |  | 12,82       | 8,9    | 4      | 0,15  | 0,73206               | Si           |  | El grano es partido en varias partes.           |

|    |   |       |      |      |      |        |    |   |  |
|----|---|-------|------|------|------|--------|----|---|--|
| 6  |    | 13,02 | 9,62 | 4,12 | 0,2  | 0,9741 | Si |    | El grano es partido en partes de diferentes tamaños. |
| 7  |    | 11,92 | 8,1  | 4,22 | 0,25 | 1,2176 | Si |    | El grano es partido en elementos muy pequeños.       |
| 8  |    | 11,6  | 8,66 | 5,3  | 0,3  | 1,4611 | Si |    | El grano es partido de forma no homogénea.           |
| 9  |    | 12,16 | 9,02 | 4,02 | 0,31 | 1,5098 | Si |    | El grano es partido en partes muy pequeñas.          |
| 10 |    | 11,84 | 8,64 | 5,66 | 0,32 | 1,5585 | Si |    | El grano es partido en varios elementos pequeños.    |
| 11 |  | 11,5  | 9,12 | 4,2  | 0,34 | 1,6559 | Si |  | El grano es partido en elementos muy pequeños.       |
| 12 |  | 11,98 | 8,64 | 4,4  | 0,35 | 1,7047 | Si |  | El grano es partido el elemento demasiados pequeños. |

La tabla 49, se observa la energía de ruptura obtenida al variar la altura del objeto de prueba. En este caso se presenta que, a una altura de 15 cm con una pesa de 498 g, se consigue fracturar en su totalidad el grano de maíz. La energía de ruptura requerida es de 0,73206 [J].

### Resultados obtenidos de la fuerza de trituración de un grano de maíz

Los resultados obtenidos para calcular la fuerza de trituración de un grano de maíz se presentan en la tabla 51.

**Tabla 48.** Resultados de la fuerza de corte del grano de maíz [Propia].

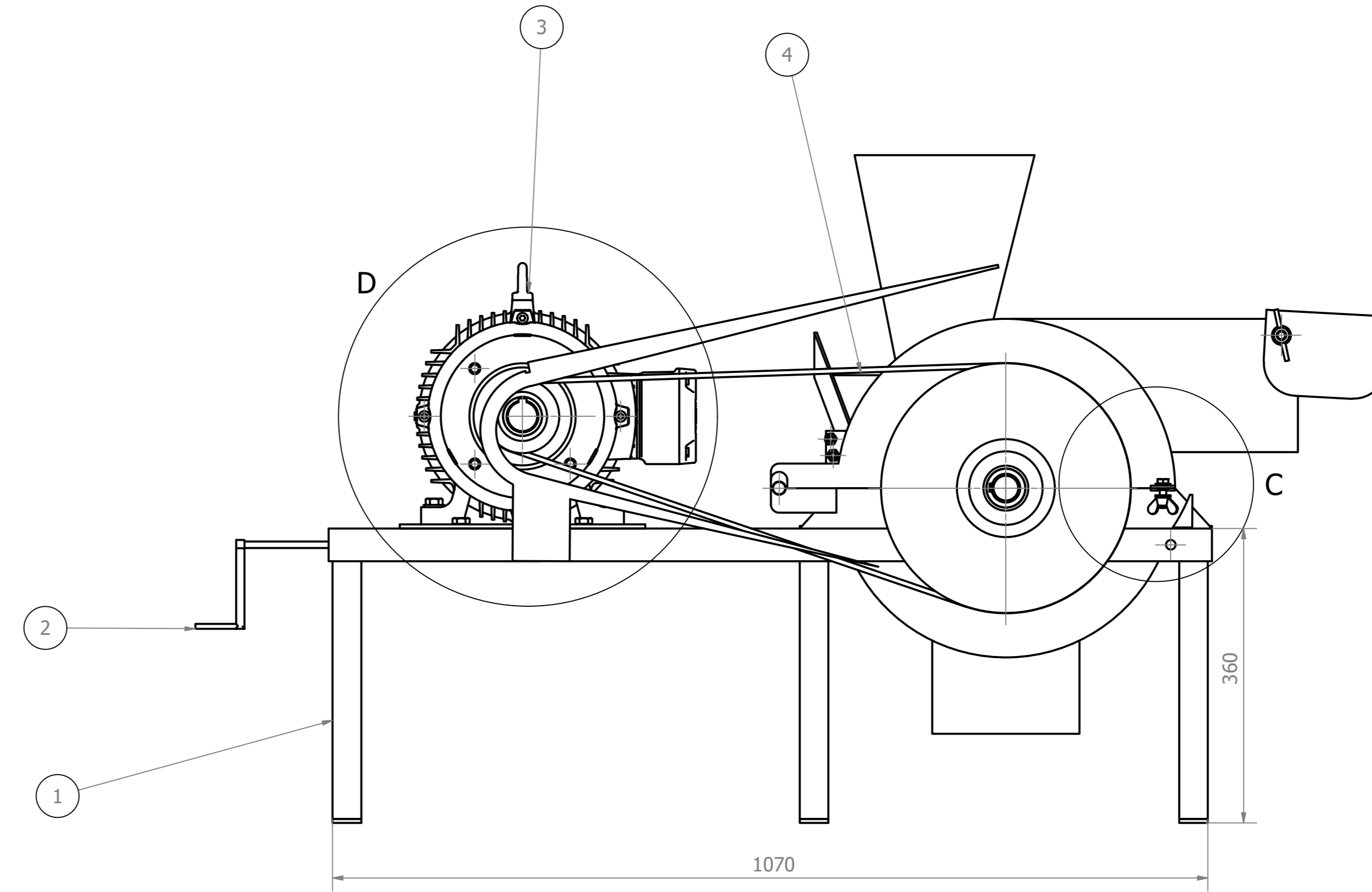
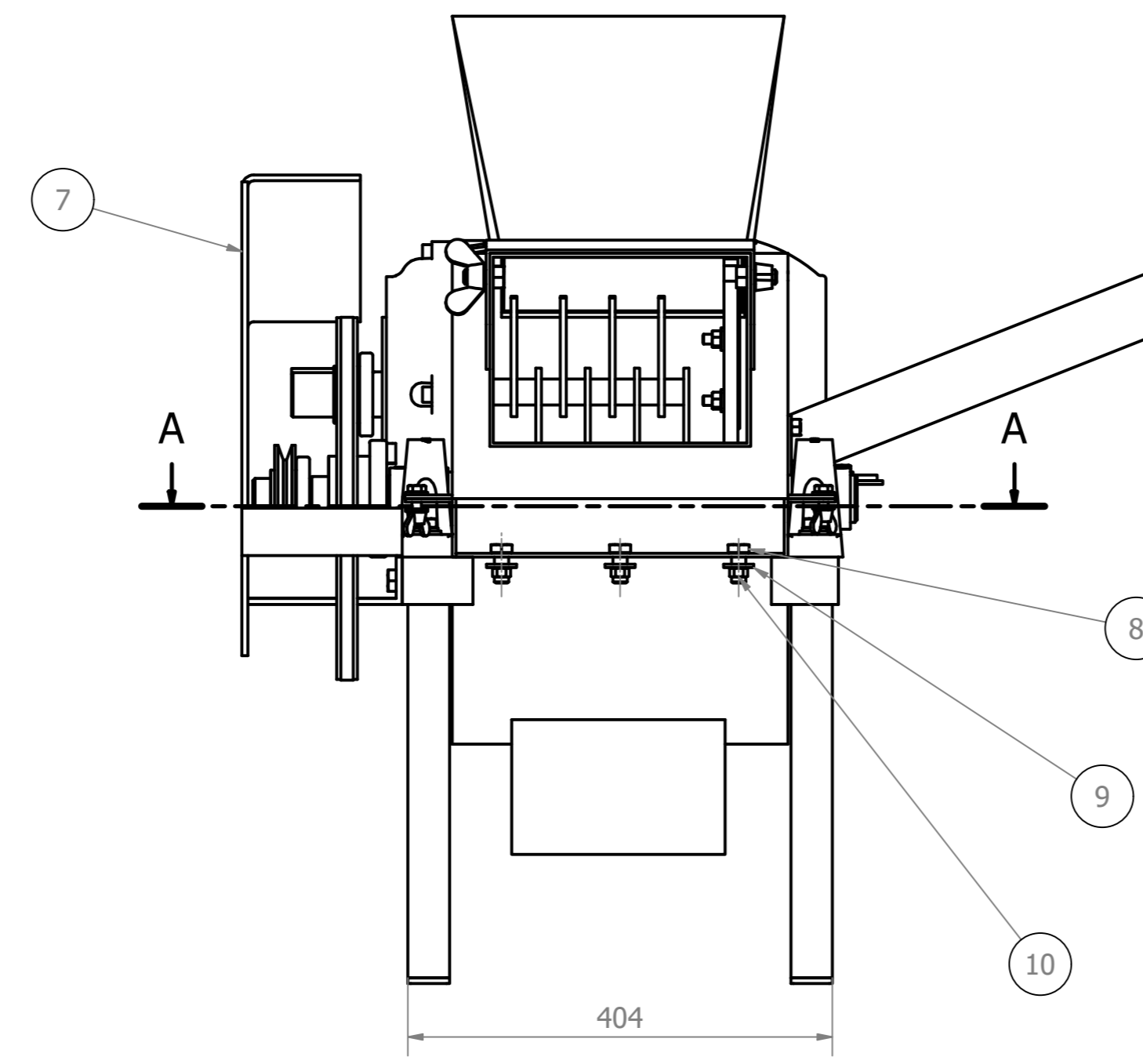
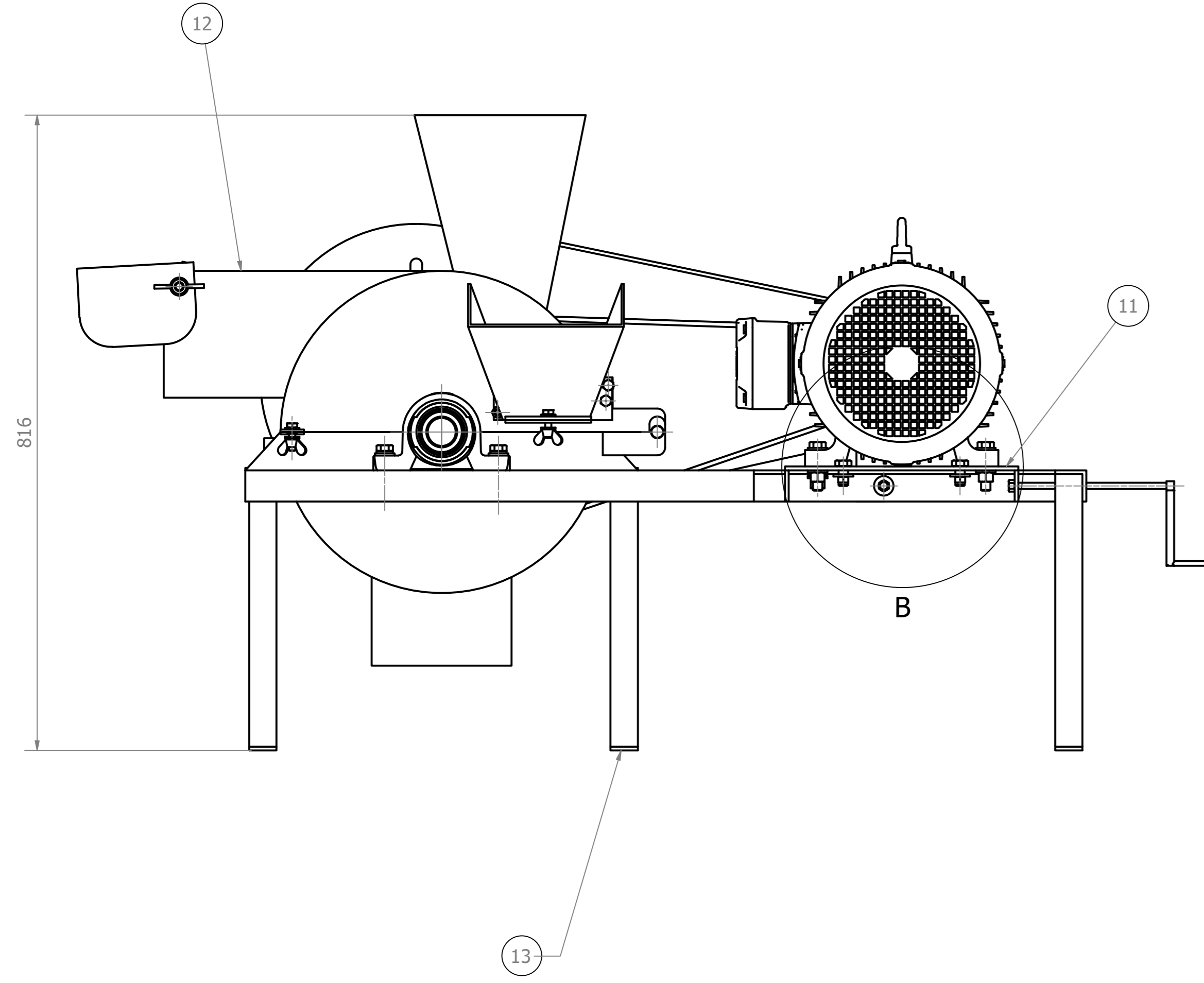
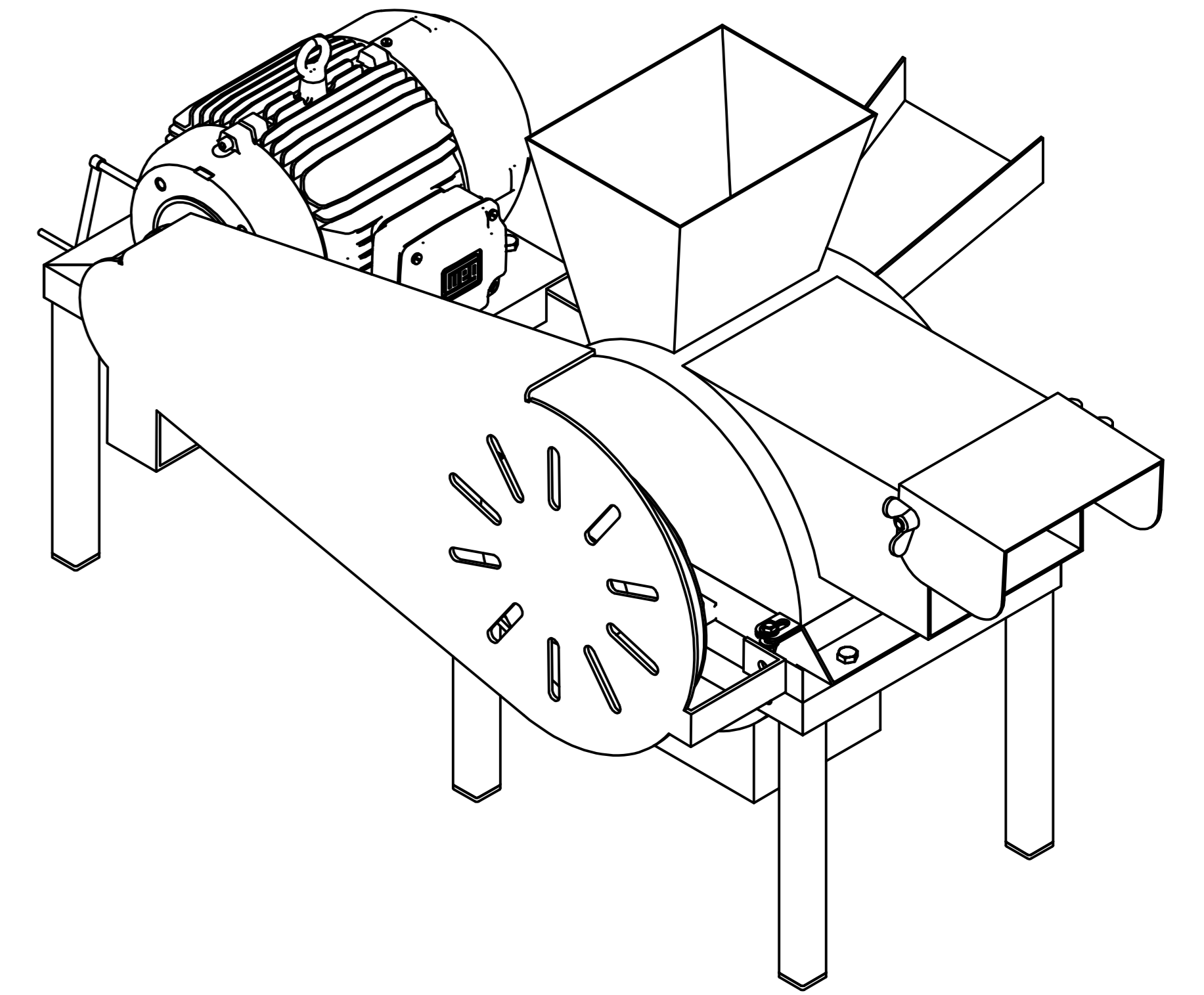
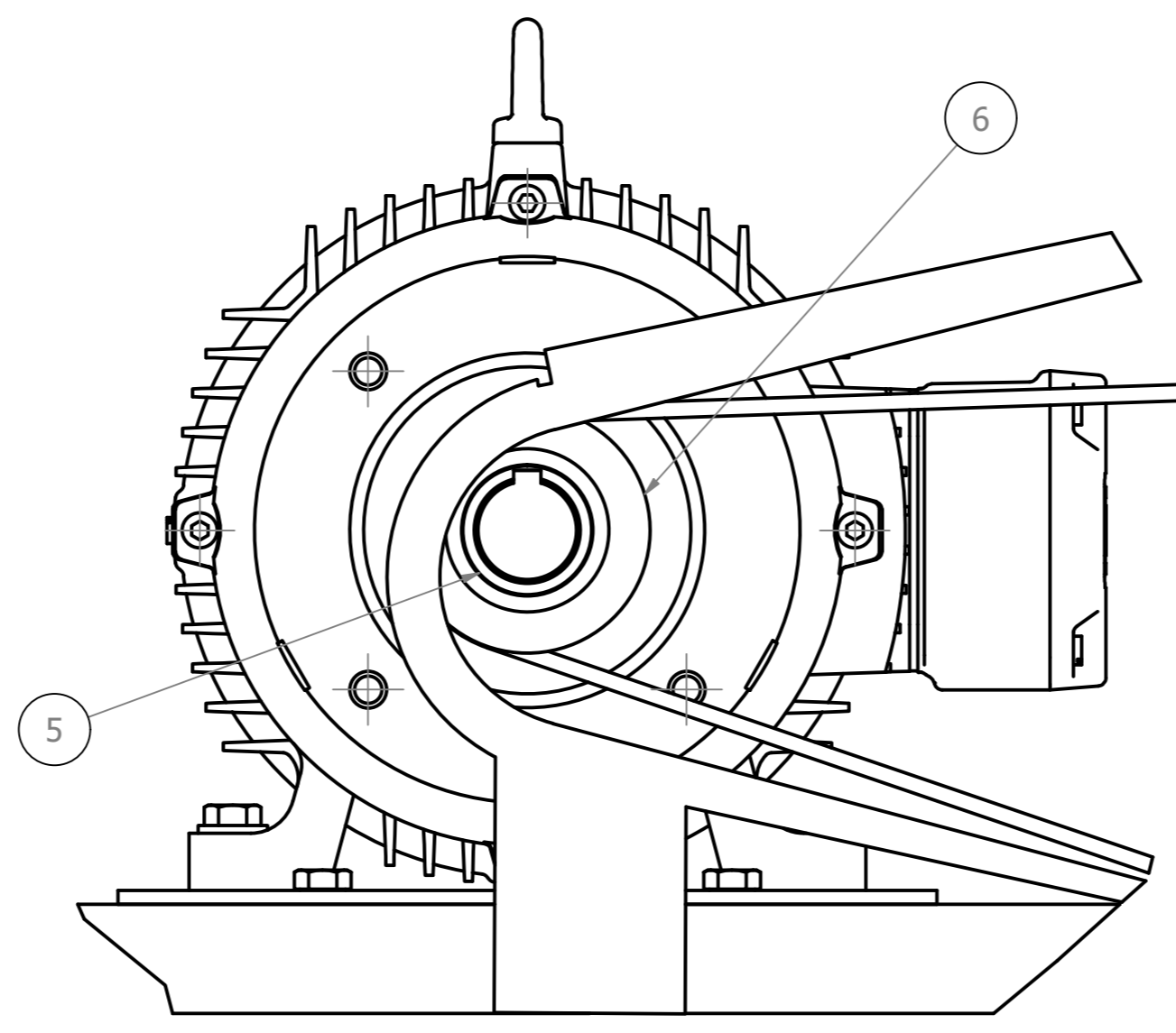
| Grano | Fuerza P [N] | Fc [N] |
|-------|--------------|--------|
| 1     | 12           | 24,84  |
| 2     | 14,5         | 30,01  |

|   |          |       |
|---|----------|-------|
| 3 | 13       | 26,90 |
| 4 | 11,5     | 23,80 |
| 5 | 12       | 24,84 |
| 6 | 14       | 28,98 |
|   | Promedio | 26,56 |

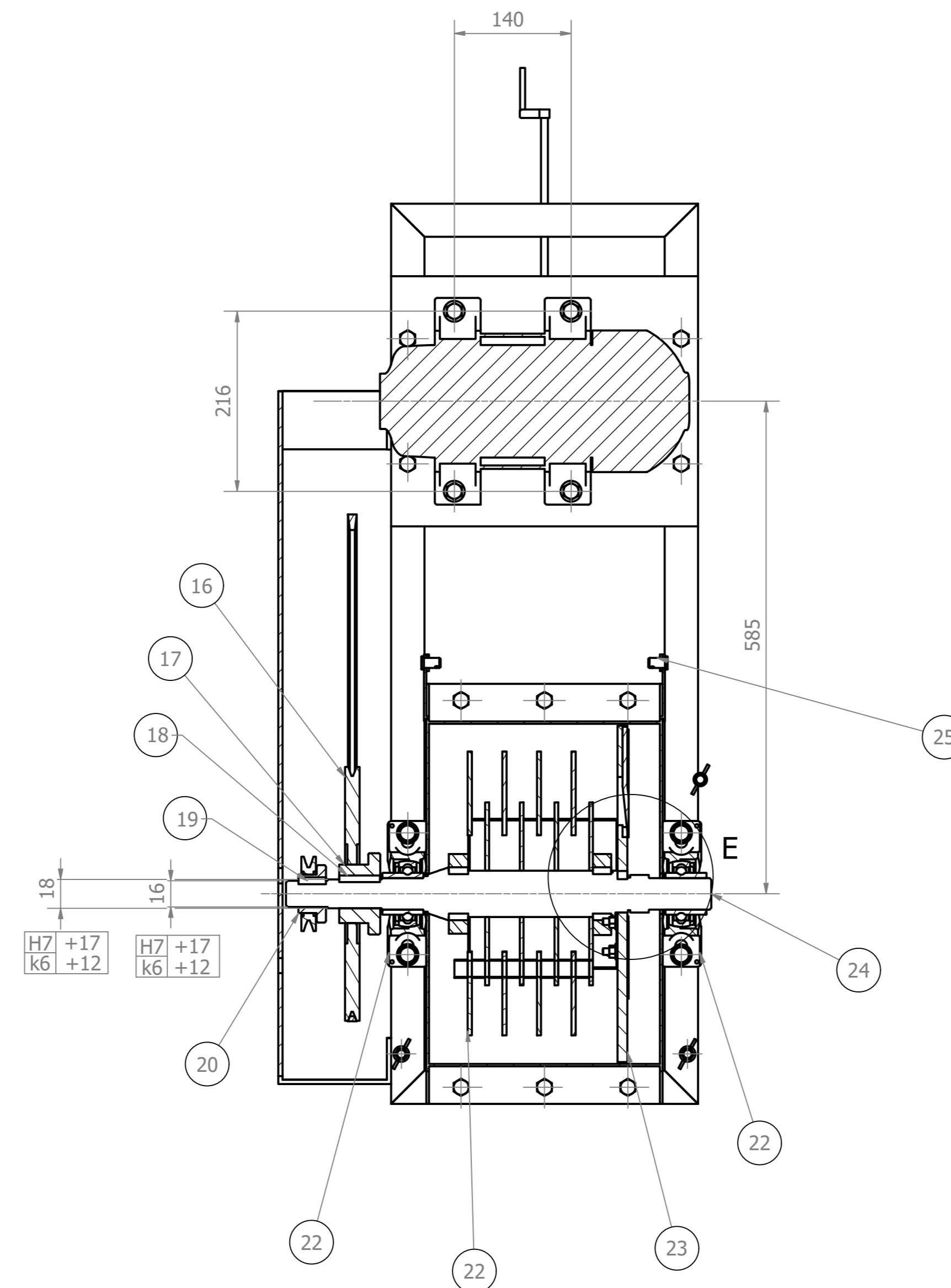
El promedio obtenido de la fuerza de trituración en cada muestra de grano de maíz es de 26,56 [N], como se aprecia en la tabla 51.

## **ANEXO VII: PLANOS DE CONJUNTO, TALLER Y MONTAJE**

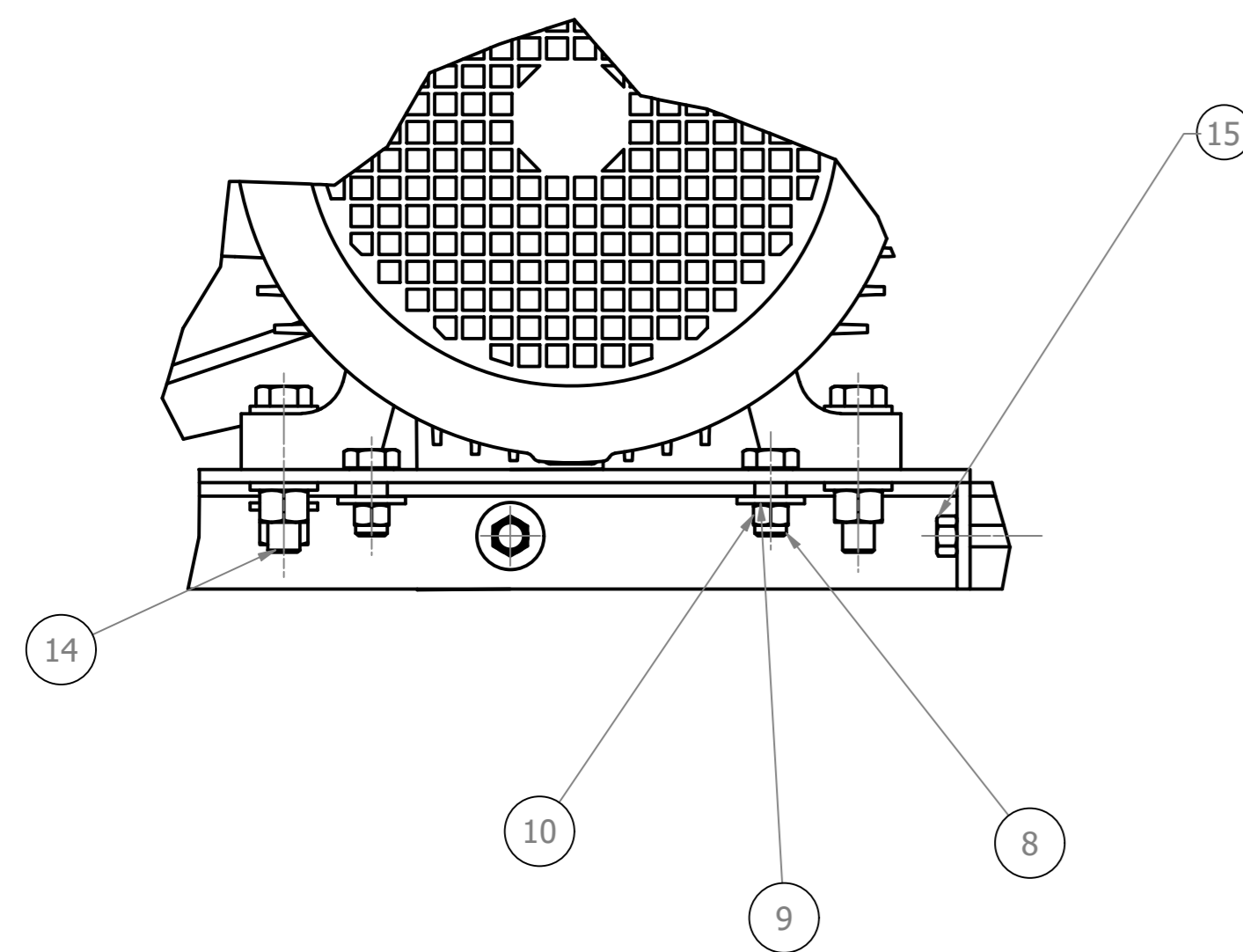
D (1:2.5)



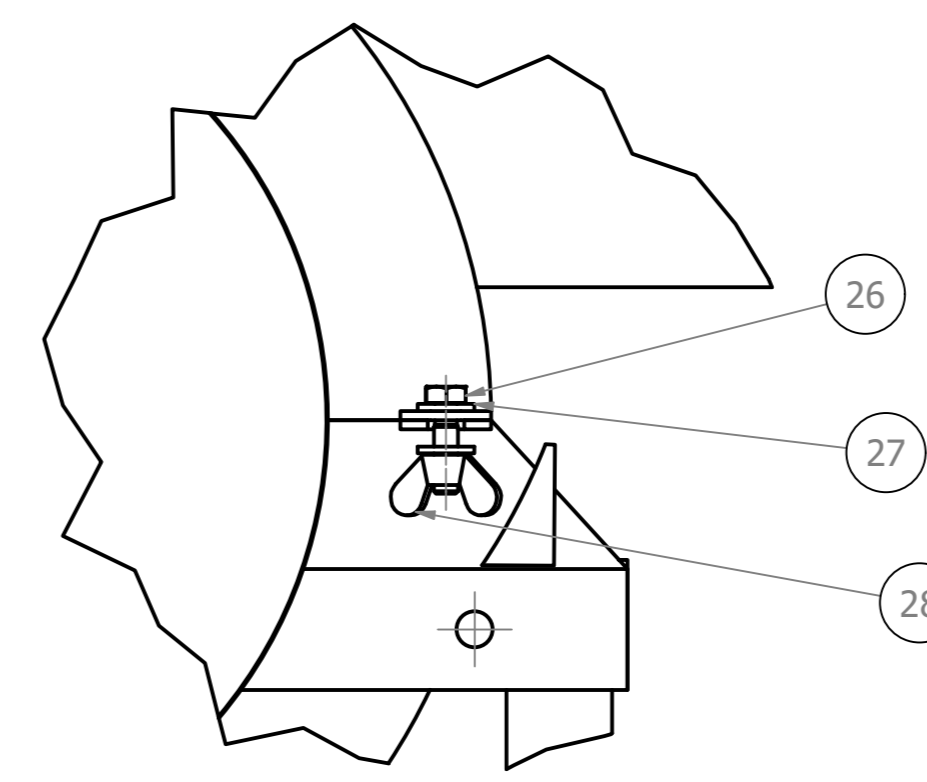
A-A (1:5)



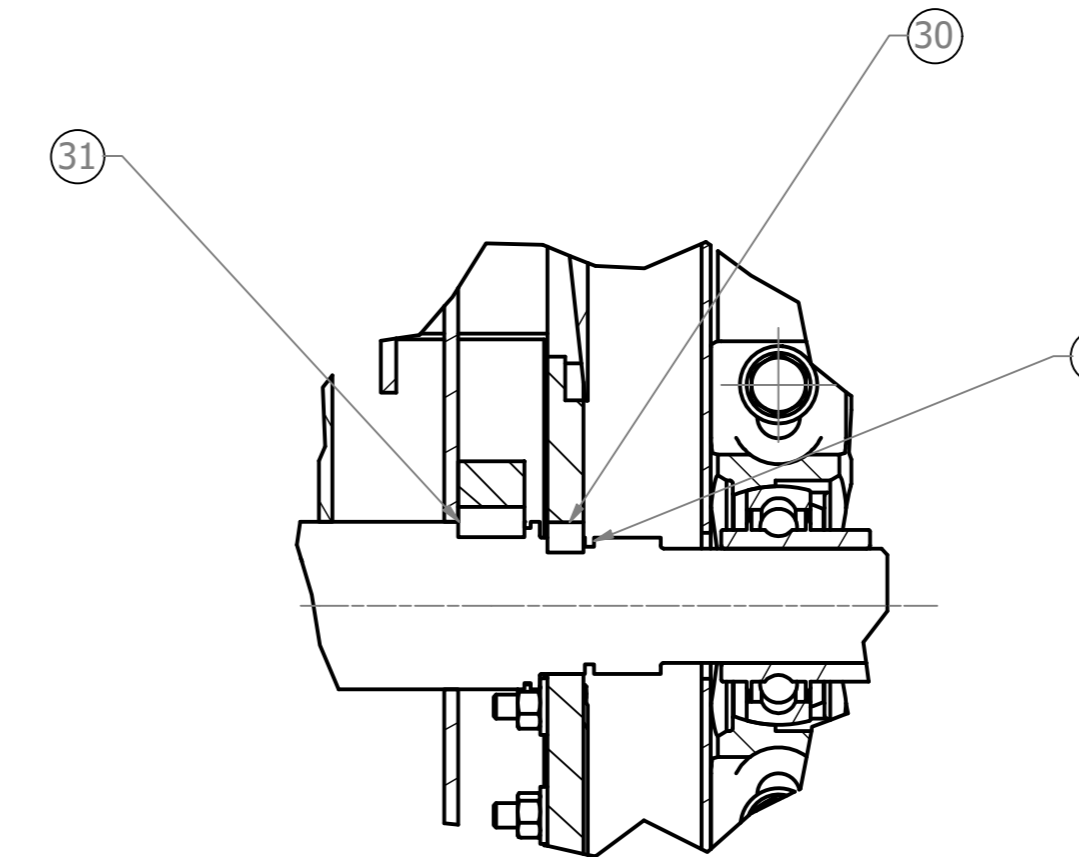
B (1:2.5)



C (1:2.5)



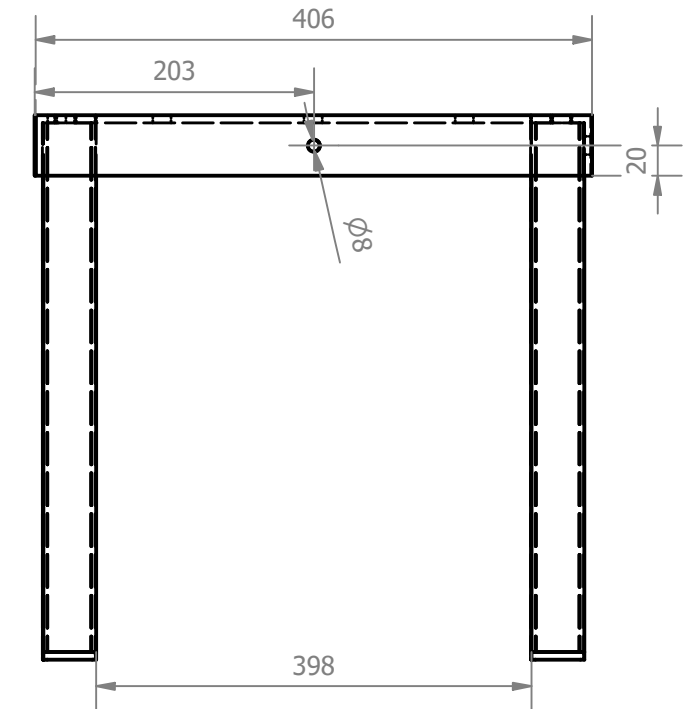
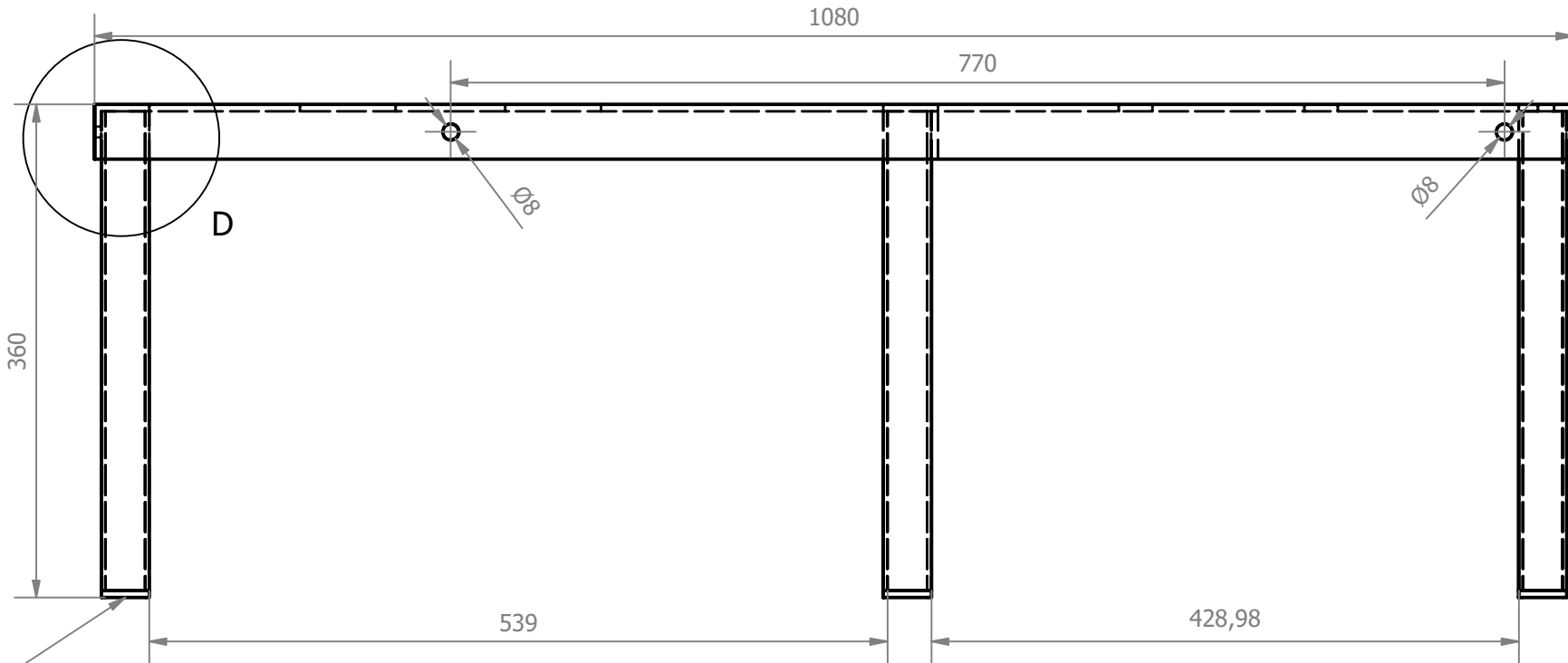
E (0,40:1)



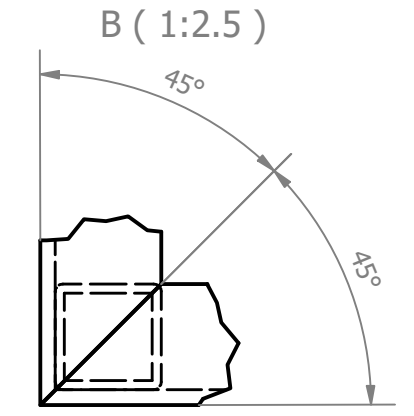
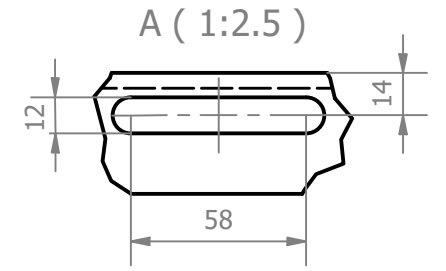
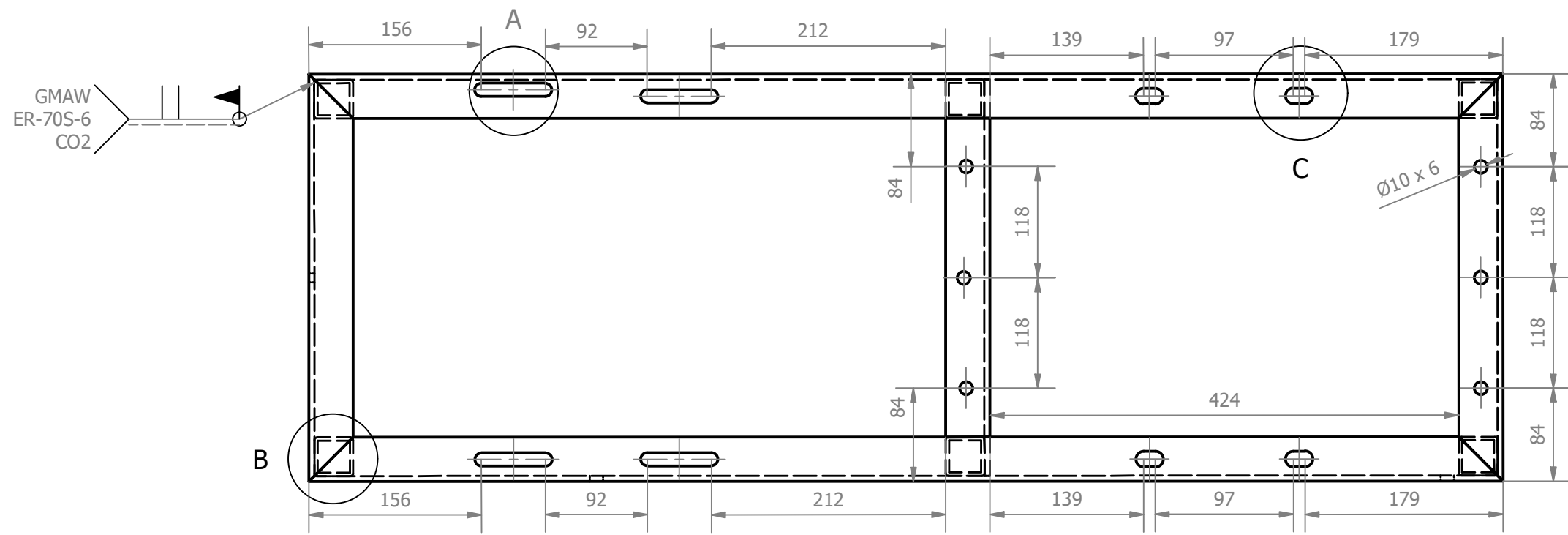
|    |     |  |              |    |                              |  |
|----|-----|--|--------------|----|------------------------------|--|
| 31 | J7  | Chaveta martillos                        | DIN 6885     | 2  | Acero AISI 316               | 51A-10-8-28                                  |
| 30 | J7  | Chaveta volante porta cuchillas          | DIN 6885     | 1  | Acero AISI 316               | 51A-5-5-12                                   |
| 29 | J7  | Anillo seeger                            | DIN 471      | 4  | Acero para resortes SAE 1070 | Anillo seeger externo 16 A, 18A, 30 A y 36 A |
| 28 | I10 | Tuerca de Palomilla                      | ISO 4032     | 3  | Acero al carbono             | M8X1.5                                       |
| 27 | I10 | Arandela plana                           | ISO 7089     | 20 | Acero al carbono             | M8   |
| 26 | I10 | Perno cabeza hexagonal                   | DIN 933      | 20 | Acero al carbono             | M8X1.5x30                                    |
| 25 | I7  | Pin Clevis con cabeza                    | PIN tipo B   | 2  | Acero al carbono             | GB/T 12x20                                   |
| 24 | J7  | Eje máquina agrícola                     | Fim-MPT-80 0 | 1  | AISI-1045                    |  |
| 23 | J7  | Sistema de picado                        | FIM-MPT-70 0 | 1  | Acorde Plano                 | Subconjunto                                  |
| 22 | J7  | Sistema de triturado                     | FIM-MPT-60 0 | 1  | Acorde Plano                 | Subconjunto                                  |
| 21 | J6  | Chumaceras                               | ISO          | 2  | Varios                       | SKF SY 20 TF                                 |
| 20 | J6  | Buje Polea D90                           | QD=SH        | 1  | Acero Laminado               | Hueco diámetro 18 mm normalizado             |
| 19 | J6  | Chaveta polea 300 mm                     | DIN 6885     | 1  | Acero AISI 316               | 51A-5-5-32                                   |
| 18 | J6  | Chaveta polea 90 mm                      | DIN 6885     | 1  | Acero AISI 316               | 51A-6-6-45                                   |
| 17 | J6  | Buje polea D300                          | QD=Sk        | 1  | Acero Laminado               | Hueco diámetro 16 mm normalizado             |
| 16 | J6  | Polea D300                               | PQ1-3V300    | 1  | Aluminio                     | Polea en V INTERMEC diámetro 300 mm          |
| 15 | I3  | Tuerca hexagonal                         | ISO 4032     | 4  | Acero al carbono             | M8X1.5                                       |
| 14 | I3  | Pernos hexagonales                       | DIN 933      | 4  | Acero al Carbono             | M12X1.5X20                                   |
| 13 | F3  | Regatones                                | N/a          | 6  | Caucho                       |  |
| 12 | E2  | Cámara de triturado y picado             | FIM-MPT-50 0 | 1  | Acorde Plano                 | Subconjunto                                  |
| 11 | E4  | Base motor                               | FIM-MPT-40 0 | 10 | ASTM A36                     |  |
| 10 | E7  | Tuerca hexagonal                         | ISO 4032     | 10 | Acero al carbono             | M10X1.5                                      |
| 9  | E7  | Arandela métrica plana                   | ISO 7089     | 10 | Acero al carbono             | M10  |
| 8  | E7  | Perno de cabeza hexagonal                | ISO 4017     | 6  | Acero al carbono             | M10X1.5X25                                   |
| 7  | D6  | Guarda sistema de transmisión            | FIM-MPT-30 0 | 1  | Acero A-36                   | Desarrollo en chapa metálica                 |
| 6  | B8  | Polea D90                                | PQ1-3V90     | 2  | Aluminio                     | Polea en V INTERMEC diámetro 90 mm           |
| 5  | C6  | Buje acople motor                        | QD=SH        | 1  | Acero Laminado               | Hueco diámetro 38 mm normalizado             |
| 4  | C12 | Correa trapezoidal                       | 3V730        | 1  | Caucho                       | Tipo 3V                                      |
| 3  | C11 | Motor eléctrico                          | Ninguna      | 1  | Varios                       | WEG 7.5 HP 3200 rpm carcasa 1325             |
| 2  | F9  | Manibela regulación distancia base motor | FIM-MPT-20 0 | 1  | Acero al Carbono             |  |
| 1  | G9  | Bancada                                  | FIM-MPT-10 0 | 1  | ASTM A36                     |  |

| ESPECIFICACIONES TÉCNICAS               |                  |
|---|------------------|
| CAPACIDAD:                              | 1 Ton/h          |
| POTENCIA:                               | 7.5 HP           |
| CORRIENTE:                              | Alterná 110/220V |
| MASA APROXIMADA DE LA MÁQUINA COMPLETA: | 110 Kg           |
| DIMENSIONES TOTALES:                    | 358x1070x816     |

| Nº  | ZONA | DESCRIPCIÓN                     | PLANO y/o NORMA | CANT.   | MATERIAL | OBSERVACIONES |
|---|------|---------------------------------|-----------------|---|----------|---------------|
| EPN   |      | FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA |                 | DISEÑADOR: TAPIA A. - LASLUSA L. REV. ING. WILSON GUACHAMIN |          | ESCALA: 1:5   |
| MÁQUINA PICADORA DE FORRAJE Y TRITURADORA DE GRANOS |      | FIM-MPT-001                     |                 | FECHA: 17/8/2022  |          |               |

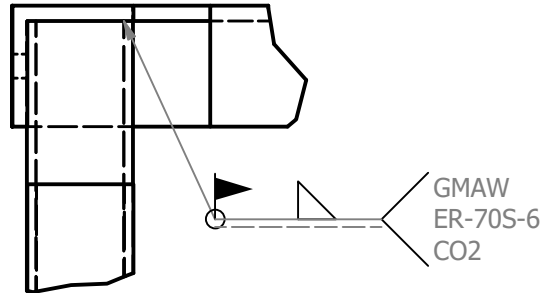


Regatones de caucho 30x30  
Cantidad 6

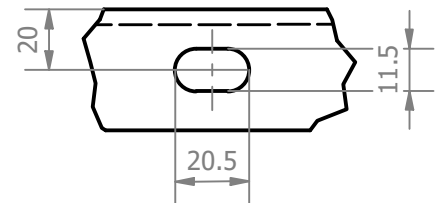


Todas las esquinas a 45°

D ( 1:2.5 )



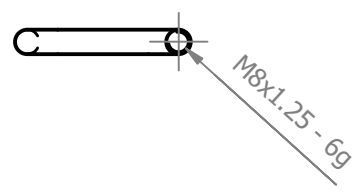
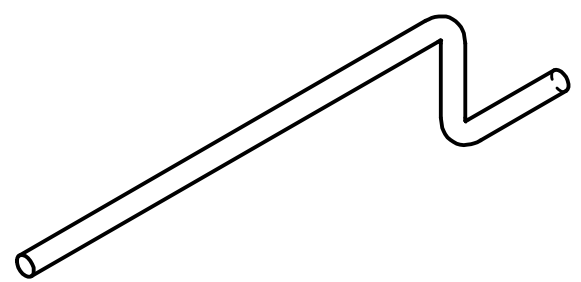
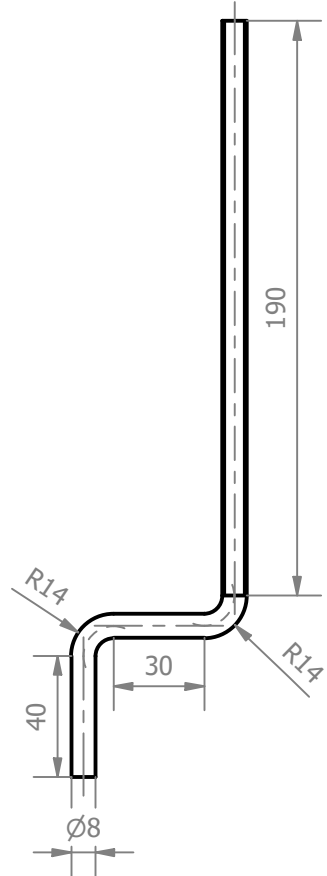
C ( 1:2.5 )



Nota:  
Toda la estructura se emplea perfil ángulo 40X40X4.  
Toda la estructura soldada GMAW ER-70S-6

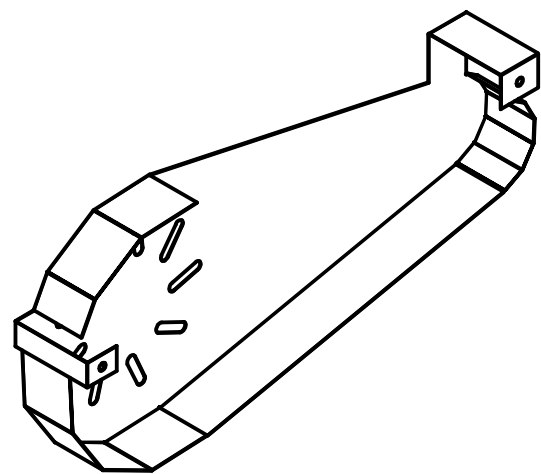
|                |            |            |                                 |              |                       |        |              |
|----------------|------------|------------|---------------------------------|--------------|-----------------------|--------|--------------|
| TRAT. TÉRMICO: | Ninguno    | <b>EPN</b> | FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA |              |                       |        |              |
| RECUBRIMIENTO: | Ninguno    |            | DIB.                            | TAPIA ALVARO |                       |        |              |
| MATERIAL:      | Acero A-36 | TOL. GRAL. | ±0.5                            | ESCALA:      | 1:5                   | DIS.   | TAPIA ALVARO |
|                |            |            |                                 | REV.         | Ing. WILSON GUACHAMIN |        |              |
| <b>BANCADA</b> |            |            |                                 | CÓDIGO:      | <b>FIM-MPT-100</b>    | FECHA: | 21/6/2022    |



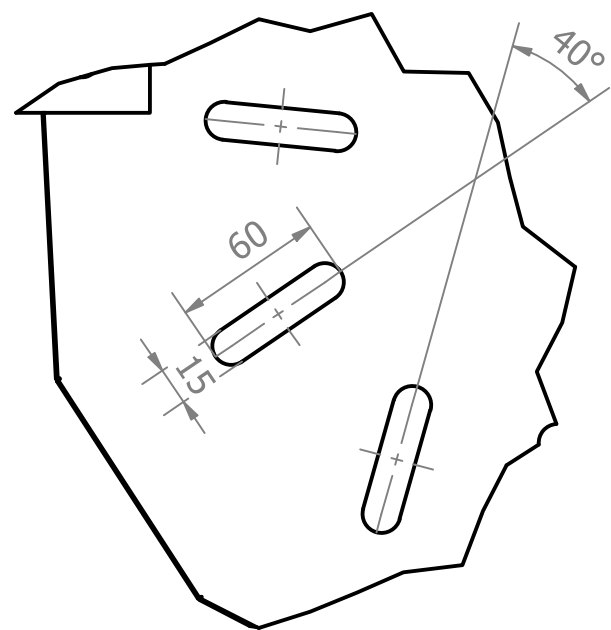


|   |            |            |                                 |              |                       |        |              |
|---|------------|------------|---------------------------------|--------------|-----------------------|--------|--------------|
| TRAT. TÉRMICO:                                  | Ninguno    | <b>EPN</b> | FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA |              |                       |        |              |
| RECUBRIMIENTO:                                  | Ninguno    |            | DIB.                            | TAPIA ALVARO |                       |        |              |
| MATERIAL:                                       | Acero A-36 | TOL. GRAL. | ±0.5                            | ESCALA:      | 1:2.5                 | DIS.   | TAPIA ALVARO |
|   |            |            |                                 | REV.         | Ing. WILSON GUACHAMIN |        |              |
| <b>MANIBELA REGULACIÓN DISTANCIA BASE MOTOR</b> |            |            |                                 | CÓDIGO:      | <b>FIM-MPT-200</b>    | FECHA: | 21/6/2022    |

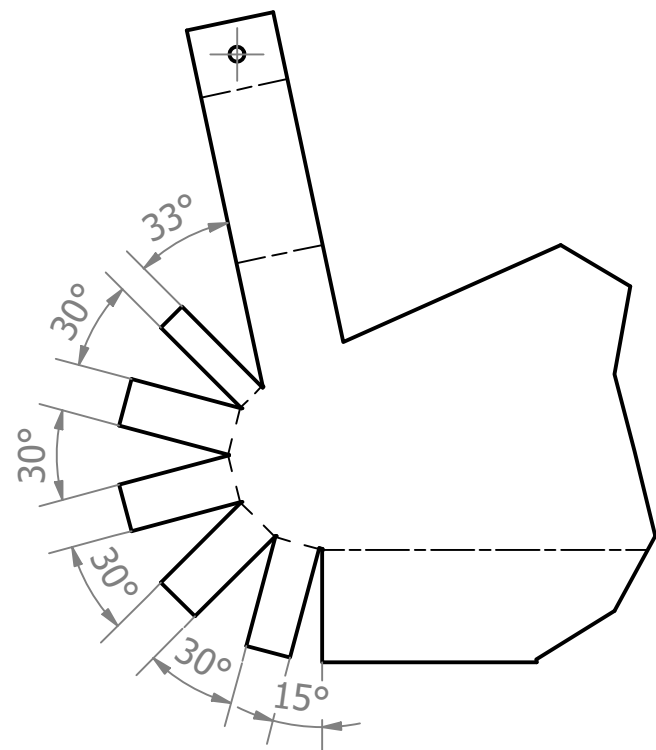
Todos los plegados se realizan a 90°



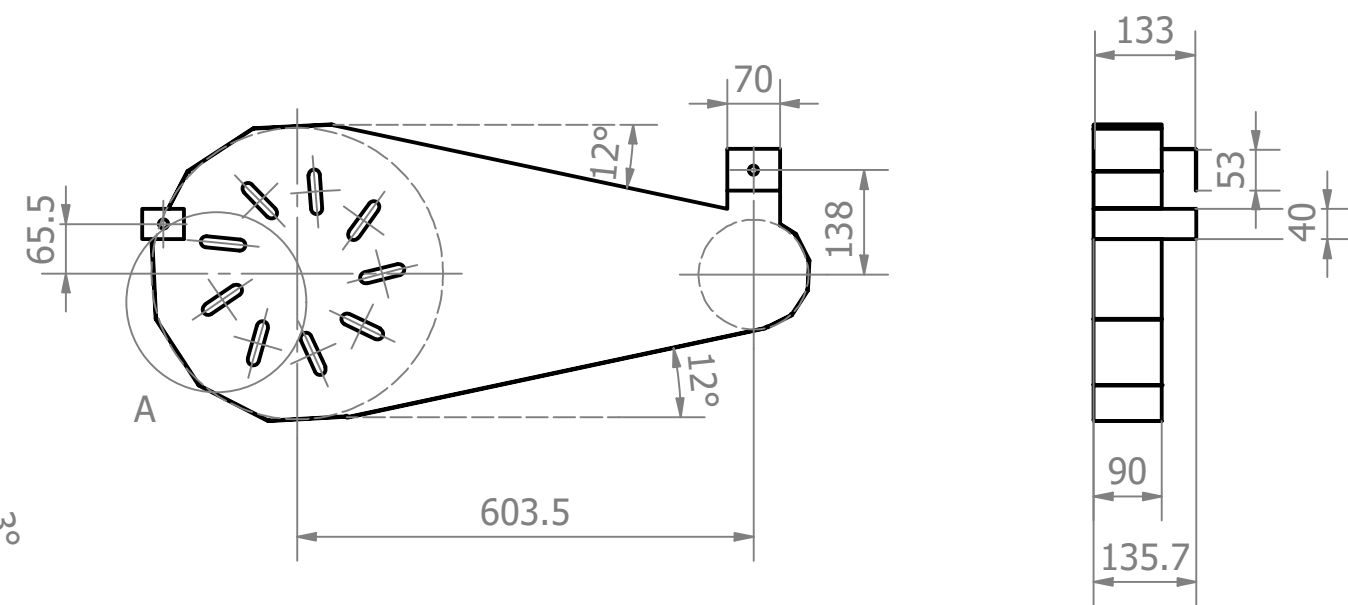
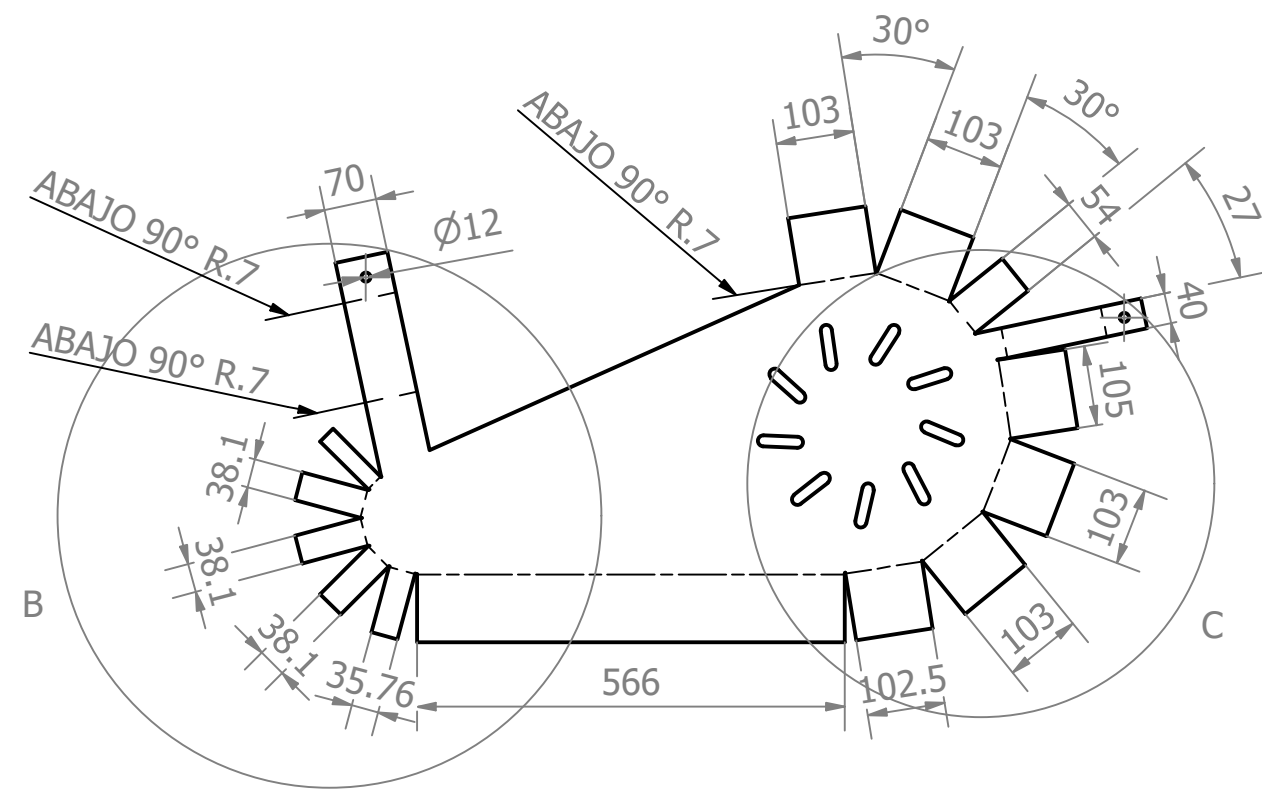
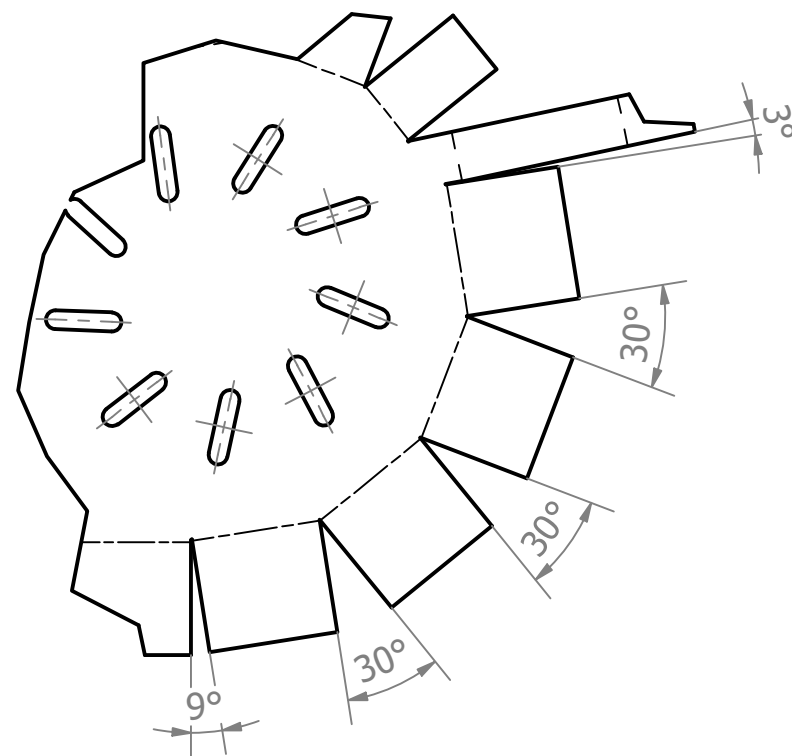
A ( 1:2.5 )



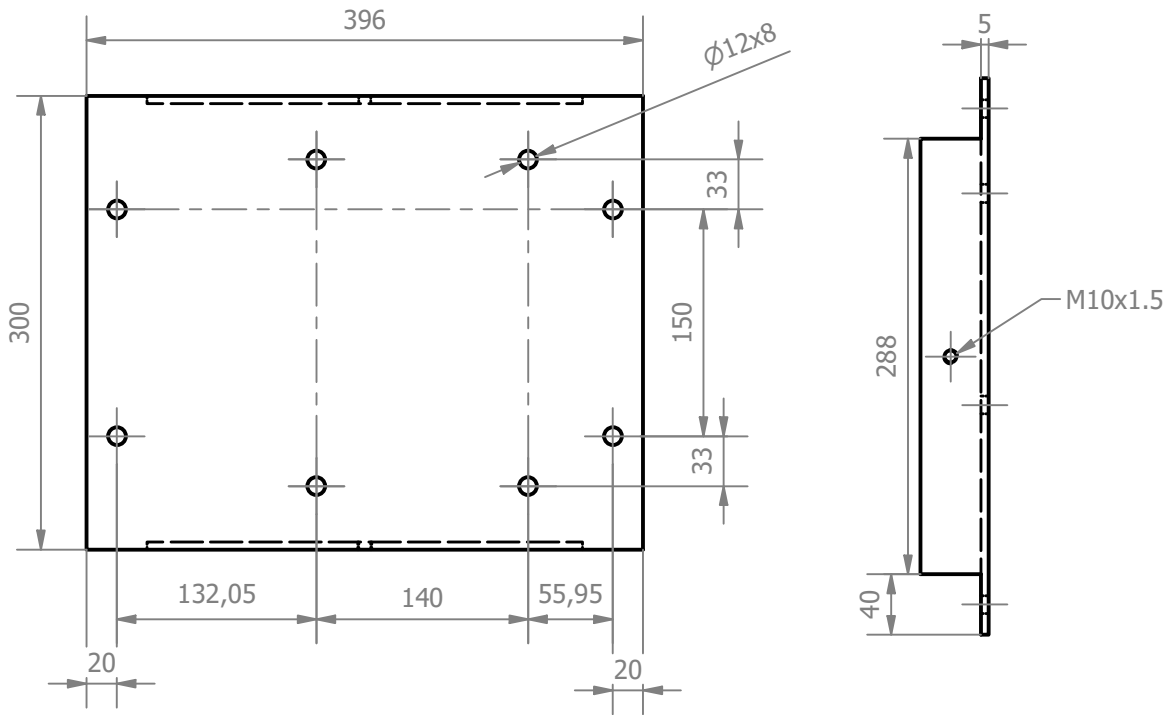
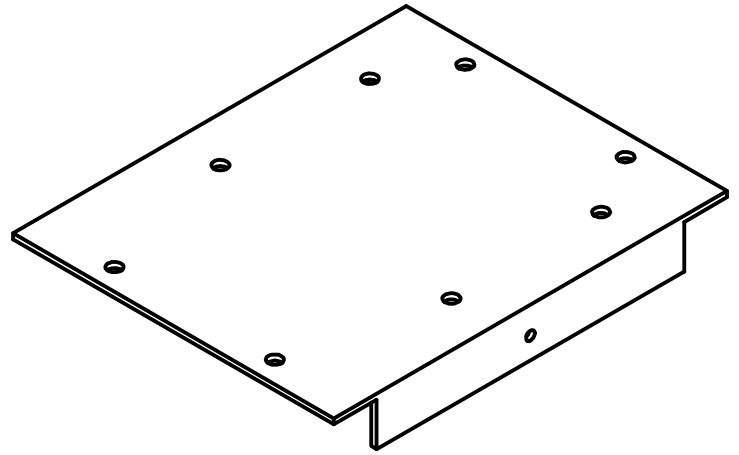
B ( 1:5 )



C ( 1:5 )

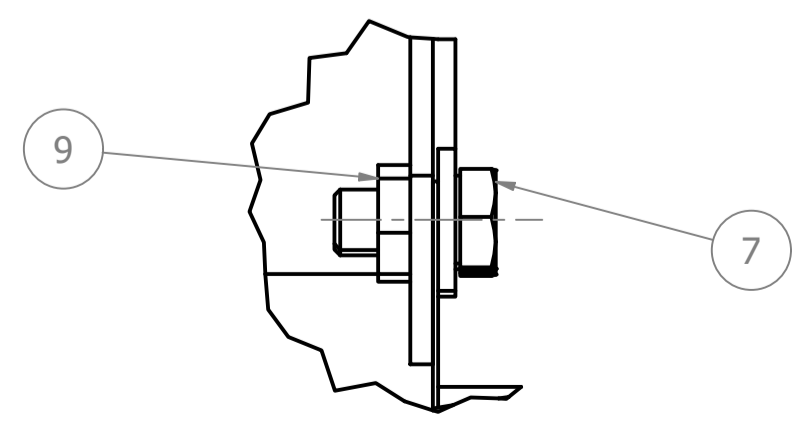
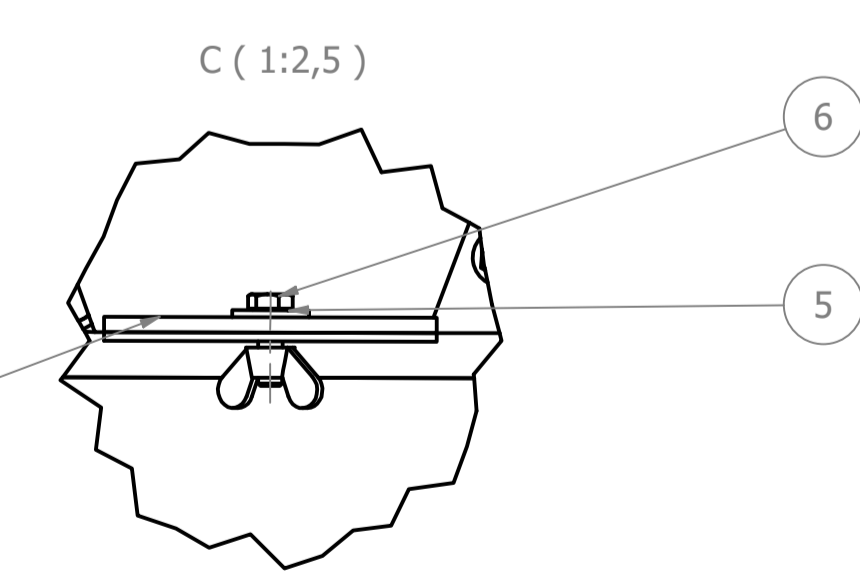
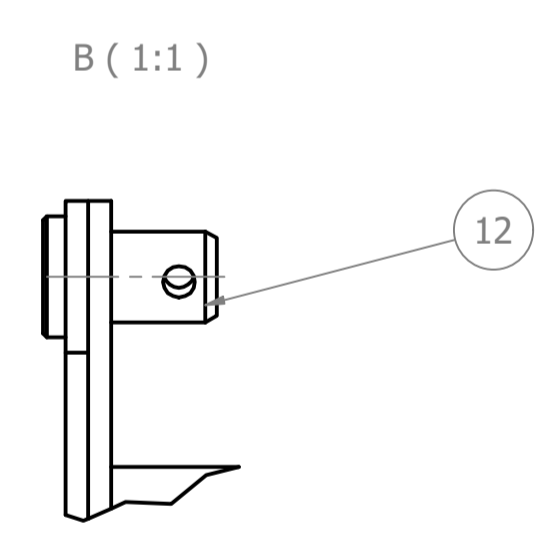
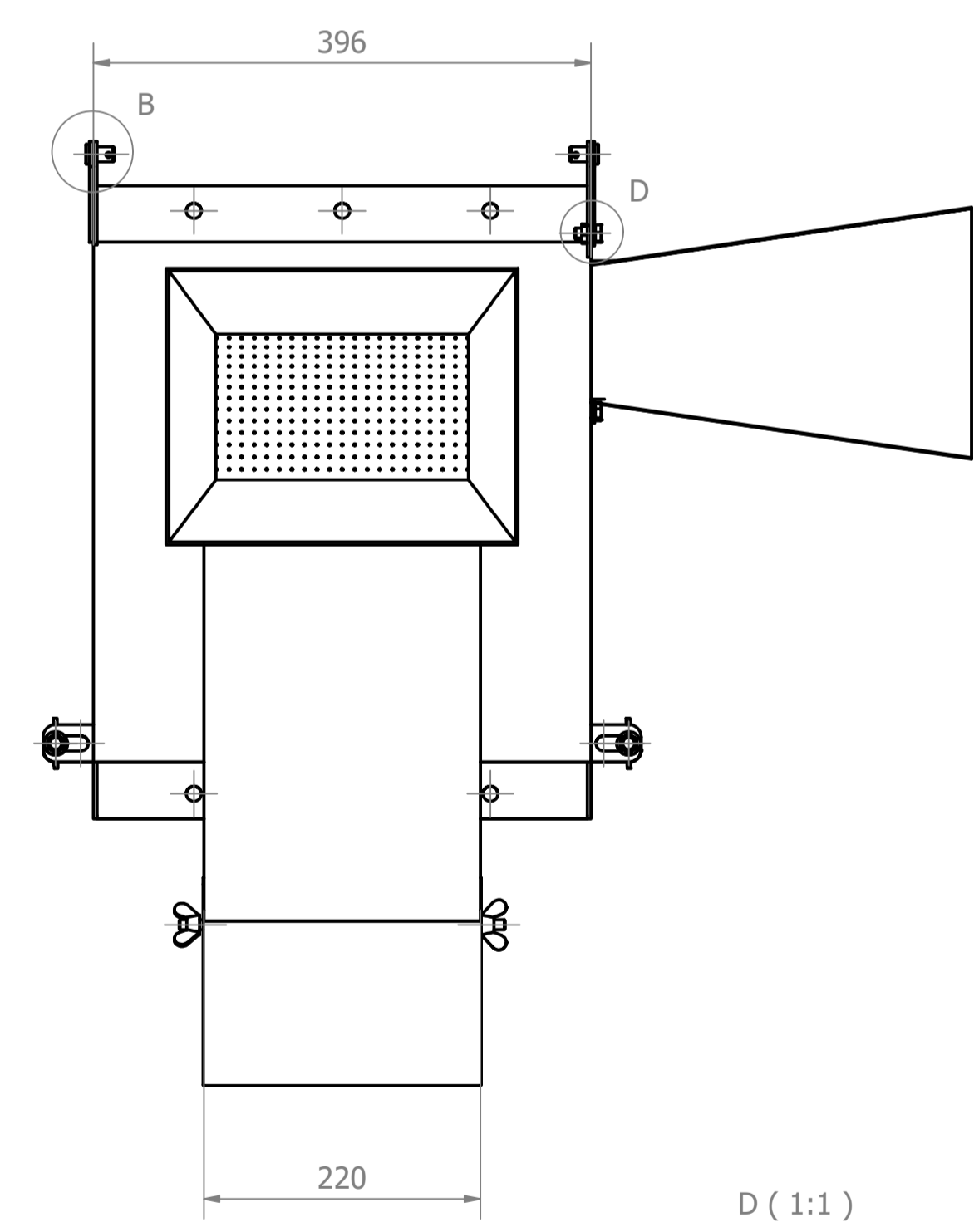
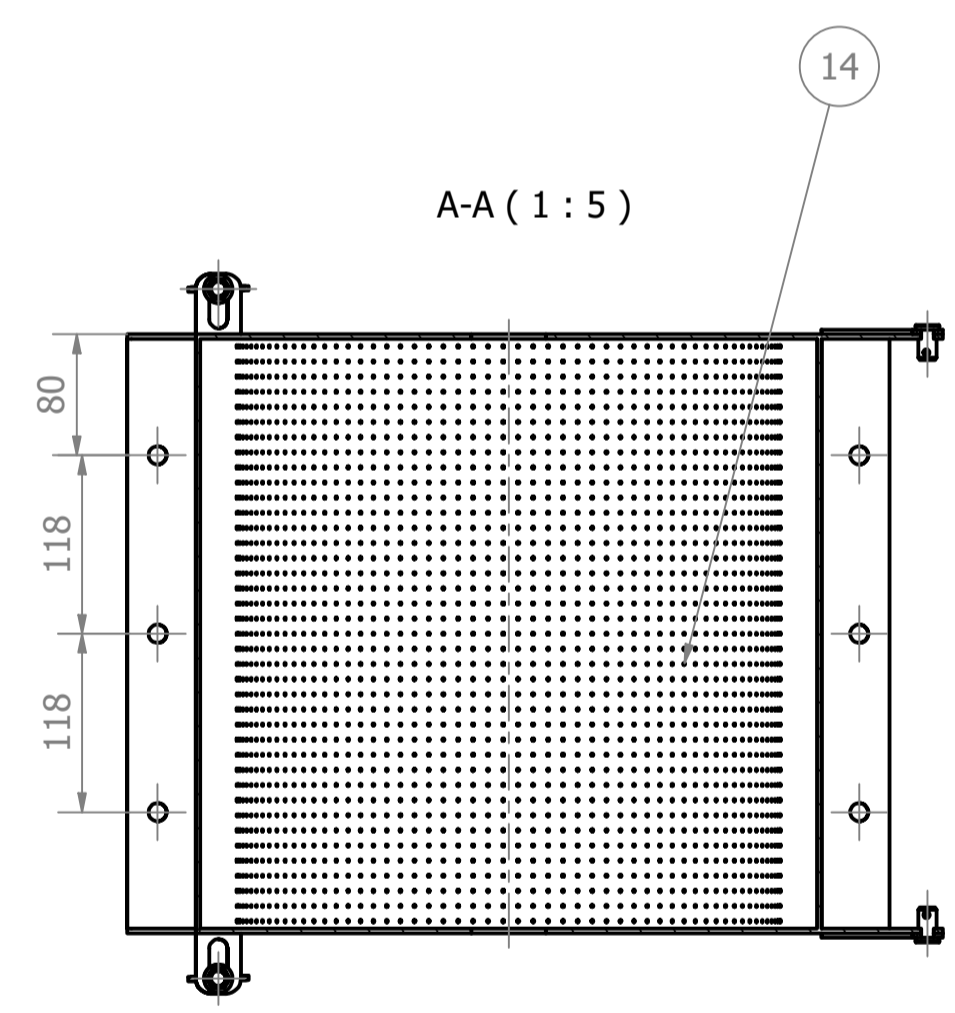
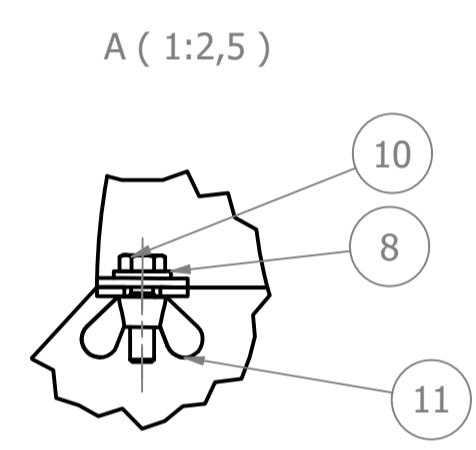
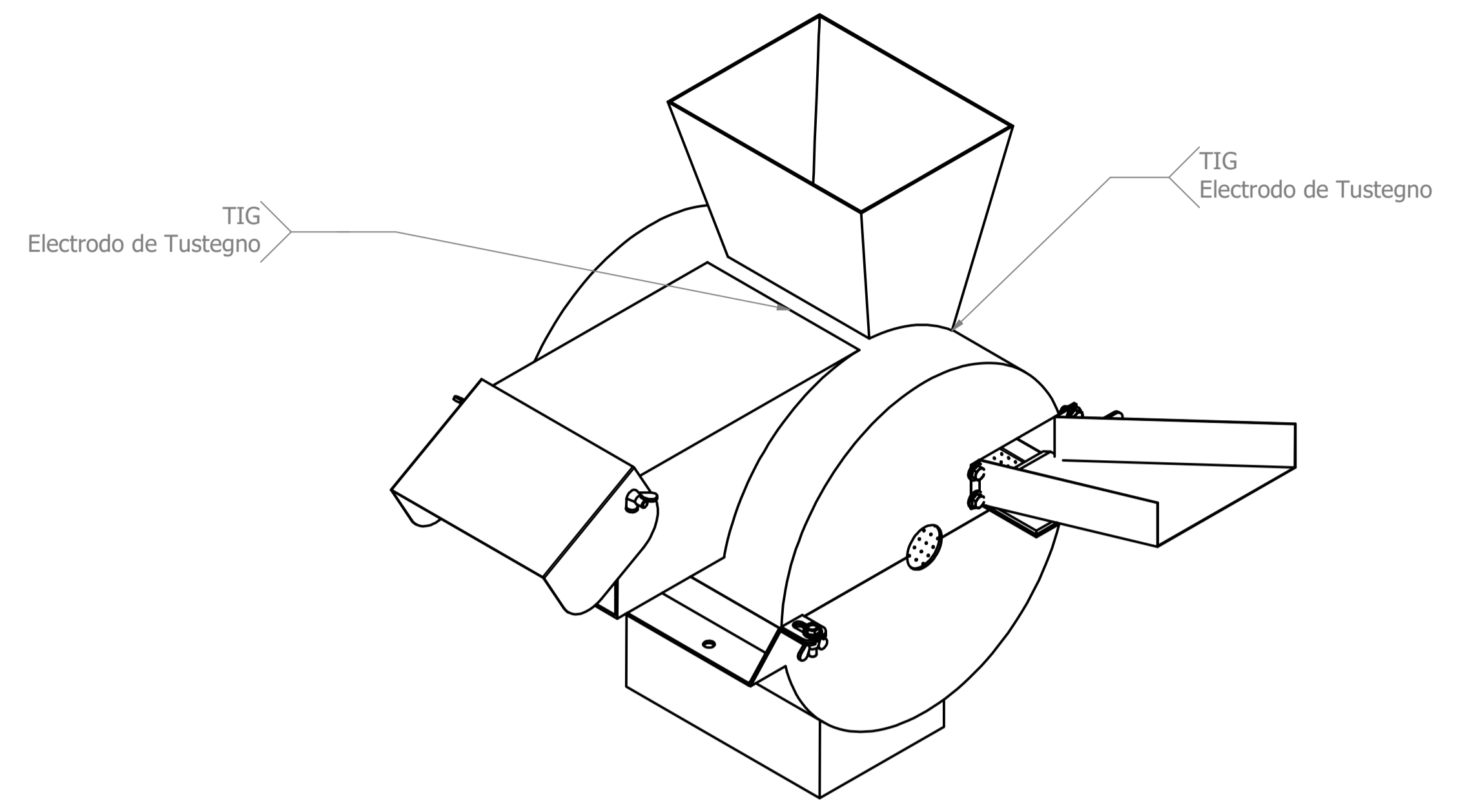
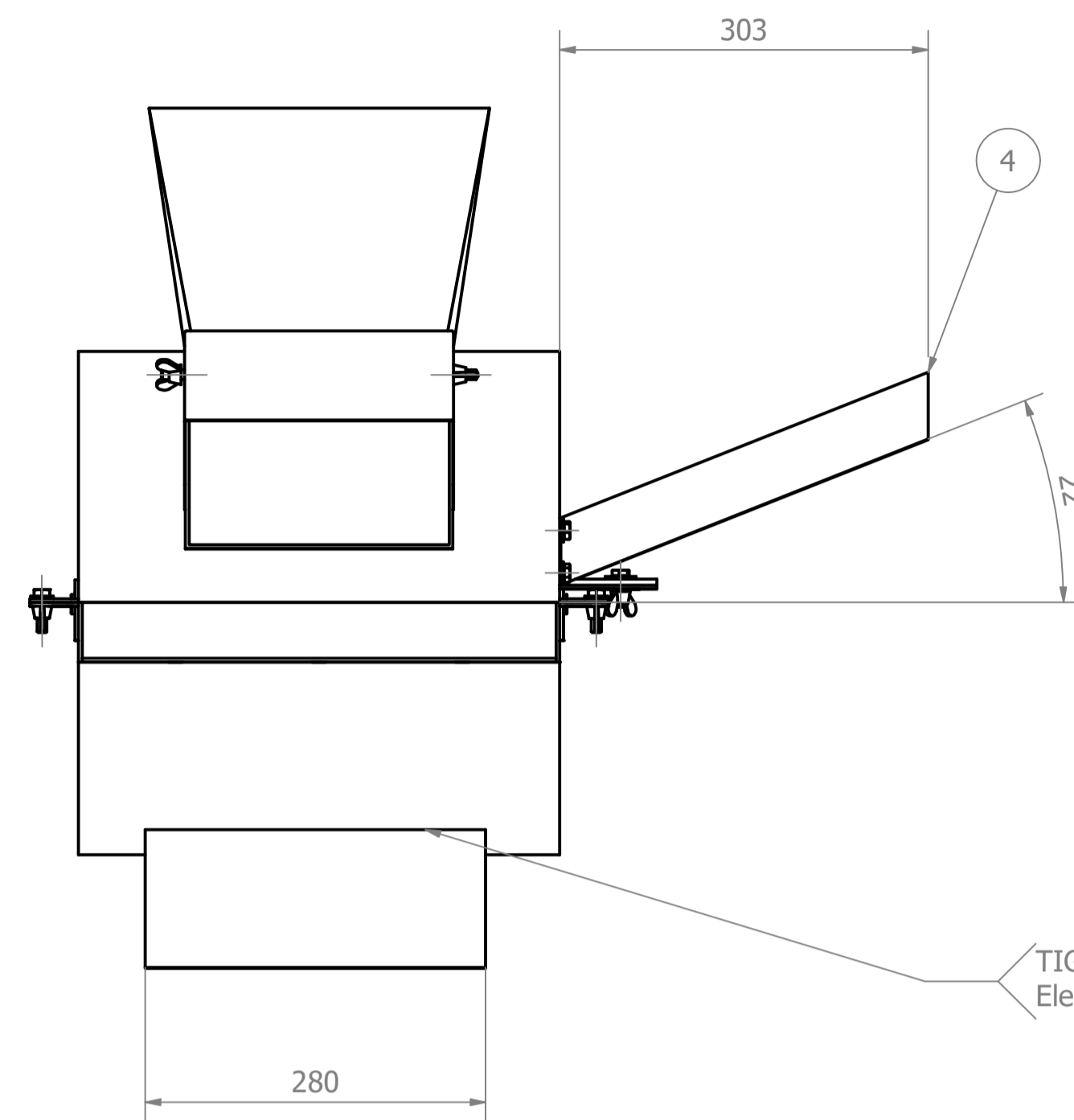
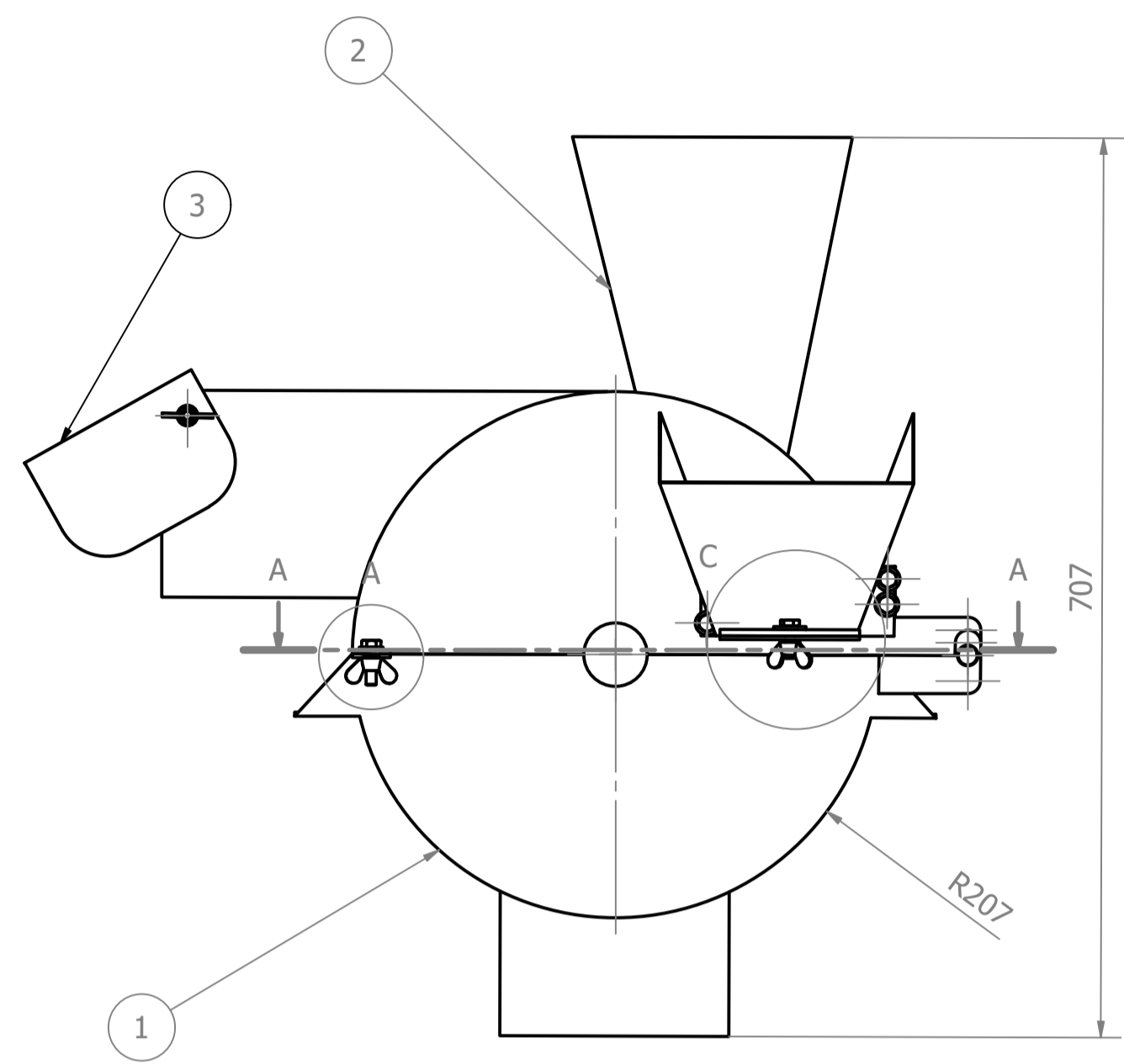


|                               |                           |            |                                 |              |                       |
|-------------------------------|---------------------------|------------|---------------------------------|--------------|-----------------------|
| TRAT. TÉRMICO:                | Ninguno                   | <b>EPN</b> | FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA |              |                       |
| RECUBRIMIENTO:                | Pintura metálica amarilla |            | DIB.                            | TAPIA ALVARO |                       |
| MATERIAL:                     | Acero A-36                | TOL. GRAL. | ESCALA:                         | DIS.         | TAPIA ALVARO          |
|                               |                           | ±0.5       | 1:10                            | REV.         | Ing. WILSON GUACHAMIN |
| GUARDA SISTEMA DE TRANSMISIÓN |                           |            | CÓDIGO:                         | FECHA:       |                       |
|                               |                           |            | FIM-MPT-300                     | 22/8/2021    |                       |



Nota:  
Se fabrica como una sola pieza conjunta para luego ser plegada a 90° cada pestaña.

|                   |            |                    |                                 |              |                       |
|-------------------|------------|--------------------|---------------------------------|--------------|-----------------------|
| TRAT. TÉRMICO:    | Ninguno    | <b>EPN</b>         | FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA |              |                       |
| RECUBRIMIENTO:    | Ninguno    |                    | DIB.                            | TAPIA ALVARO |                       |
| MATERIAL:         | Acero A-36 | TOL. GRAL.         | ESCALA:                         | DIS.         | TAPIA ALVARO          |
|                   |            | ±0.5               | 1:2.5                           | REV.         | Ing. WILSON GUACHAMIN |
| <b>BASE MOTOR</b> |            | CÓDIGO:            |                                 |              | FECHA:                |
|                   |            | <b>FIM-MPT-400</b> |                                 |              | 21/6/2022             |

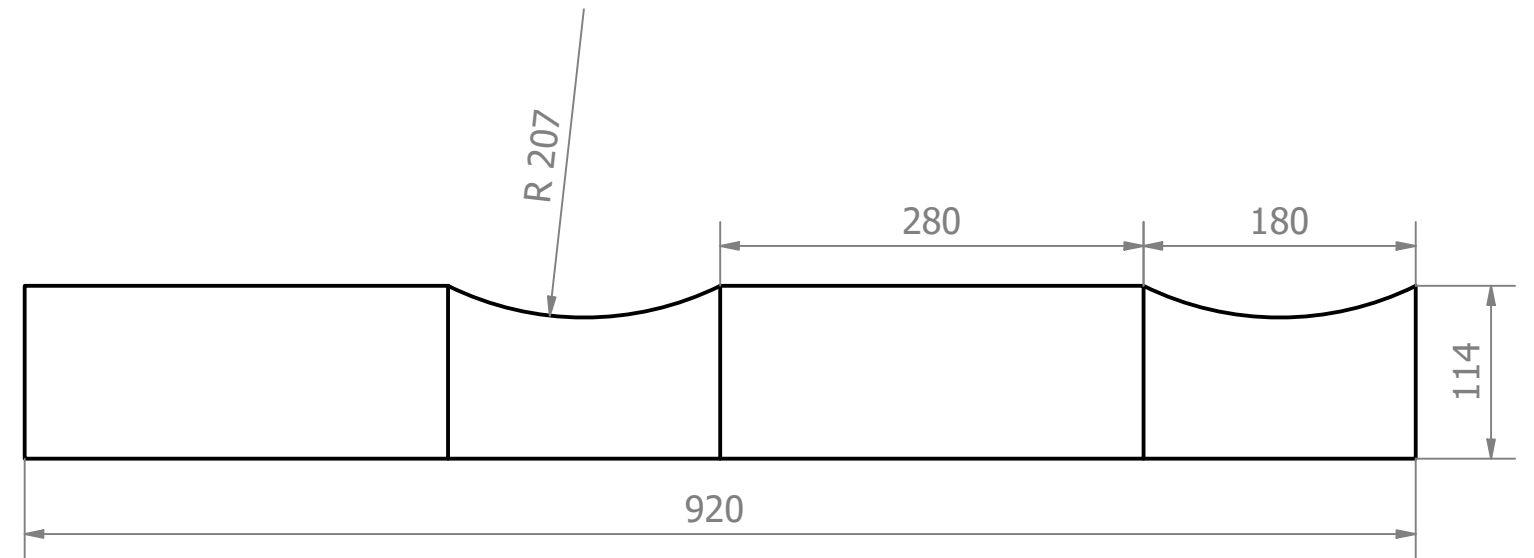
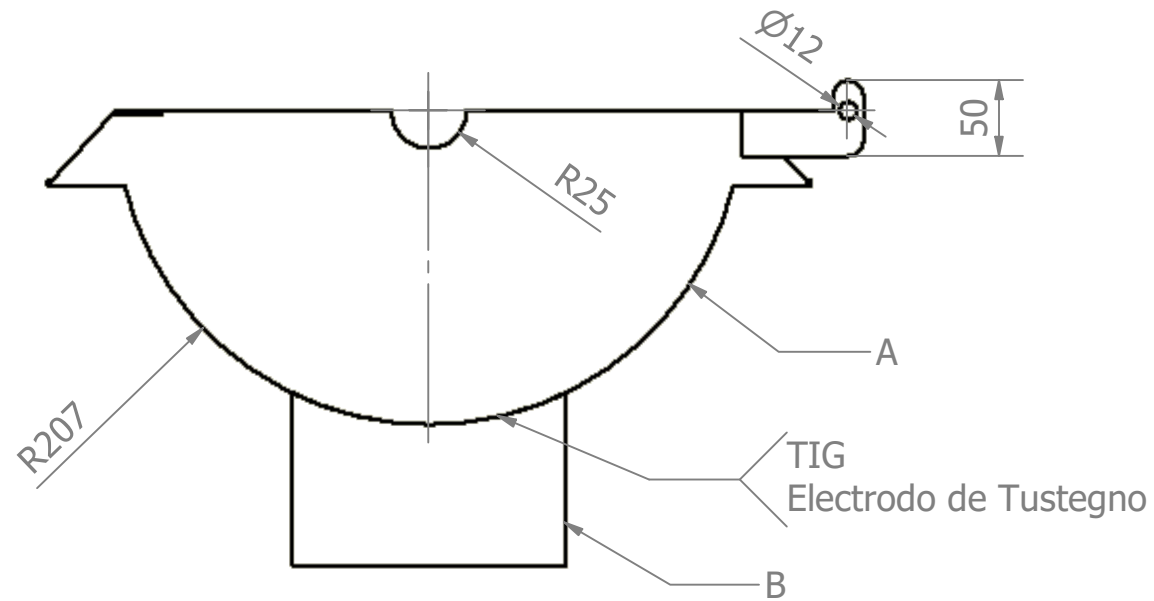
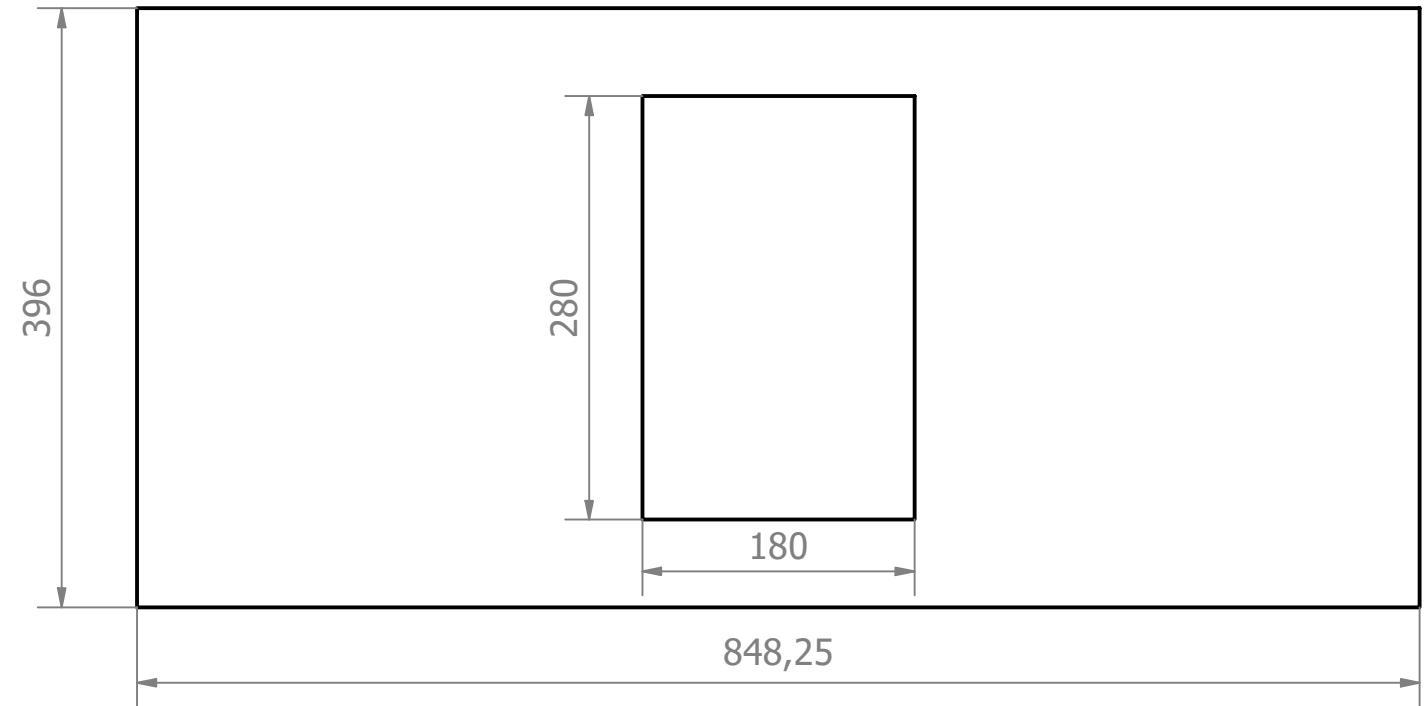
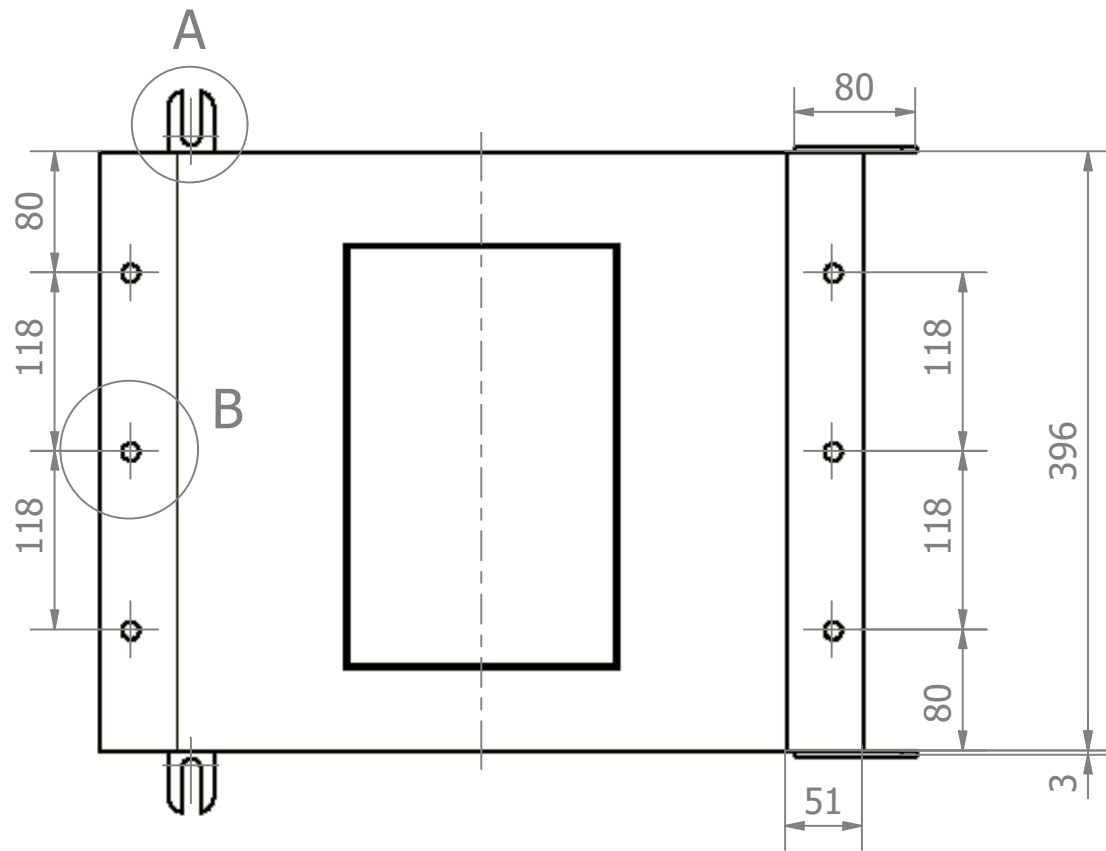


Notas:  
 -Eliminar aristas vivas  
 -La soldadura se realiza con proceso TIG electrodo de Tustegno  
 -Espesor de placa de 4 mm, excepto tolva, tapa y tamiz

| 14      | F3          | Tamiz                           | FIM-MPT-506         | 1  | Acero inoxidable          | Espesor o,7 mm |
|---------|-------------|---------------------------------|---------------------|--|---------------------------|----------------|
| 13      | G8          | Contracuchilla                  | FIM-MPT-505         | 1  | Acero inoxidable AISI 430 |                |
| 12      | E8          | Clevis pins                     | Pin tipo B          | 2  | Acero al carbono          | GB/T 12X20     |
| 11      | E10         | Tuerca de palomilla             | ISO 4032            | 5  | Acero al carbono          | M8X1,5         |
| 10      | D10         | Perno cabeza hexagonal          | DIN 933             | 2  | Acero al carbono          | M8X1,5X30      |
| 9       | H8          | Tuerca hexagonal                | ISO 4032            | 4  | Acero al carbono          | M8X1,5         |
| 8       | D10         | Arandelas métricas planas       | ISO 7089            | 8  | Acero al carbono          | D 8.4          |
| 7       | H7          | Tornillos de cabeza hexagonal   | DIN 933             | 3  | Acero al carbono          | M8X1,5X36      |
| 6       | G8          | Tornillos de cabeza hexagonal   | DIN 933             | 4  | Acero al carbono          | M8X1,5X25      |
| 5       | G8          | Arandelas métricas planas       | ISO 7089            | 1  | Acero al carbono          | D13            |
| 4       | B7          | Tolva de entrada de forraje     | FIM-MPT-504         | 1  | Acero ASTM A36            |                |
| 3       | B2          | Tapa de salida de forraje       | FIM-MPT-503         | 1  | Acero ASTM A36            |                |
| 2       | B3          | Carcasa superior                | FIM-MPT-502         | 1  | Acero ASTM A36            |                |
| 1       | C3          | Carcasa Inferior                | FIM-MPT-501         | 1  | Acero ASTM A36            |                |
| Nº ZONA | DESCRIPCIÓN | PLANO Y/O NORMA                 | CANT.               | MATERIAL   | OBSERVACIONES             |                |
| EPN     |             | FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA |                     | DIB. LASLUIISA LENIN<br>DIS. LASLUIISA LENIN<br>REV. Ing. WILSON GUACHAMIN |                           | ESCALA: 1:5    |
| CÁMARA  |             |                                 | CÓDIGO: FIM-MPT-500 |  | FECHA: 23/8/22            |                |

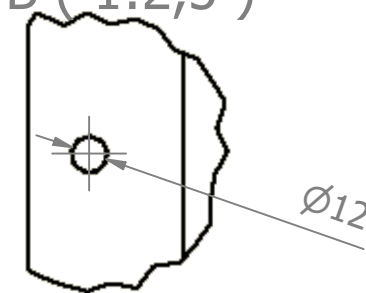
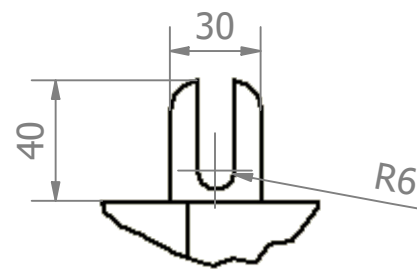
DESARROLLO DE A  
ESCALA 1:5

N7



A ( 1 : 2,5 )

B ( 1 : 2,5 )

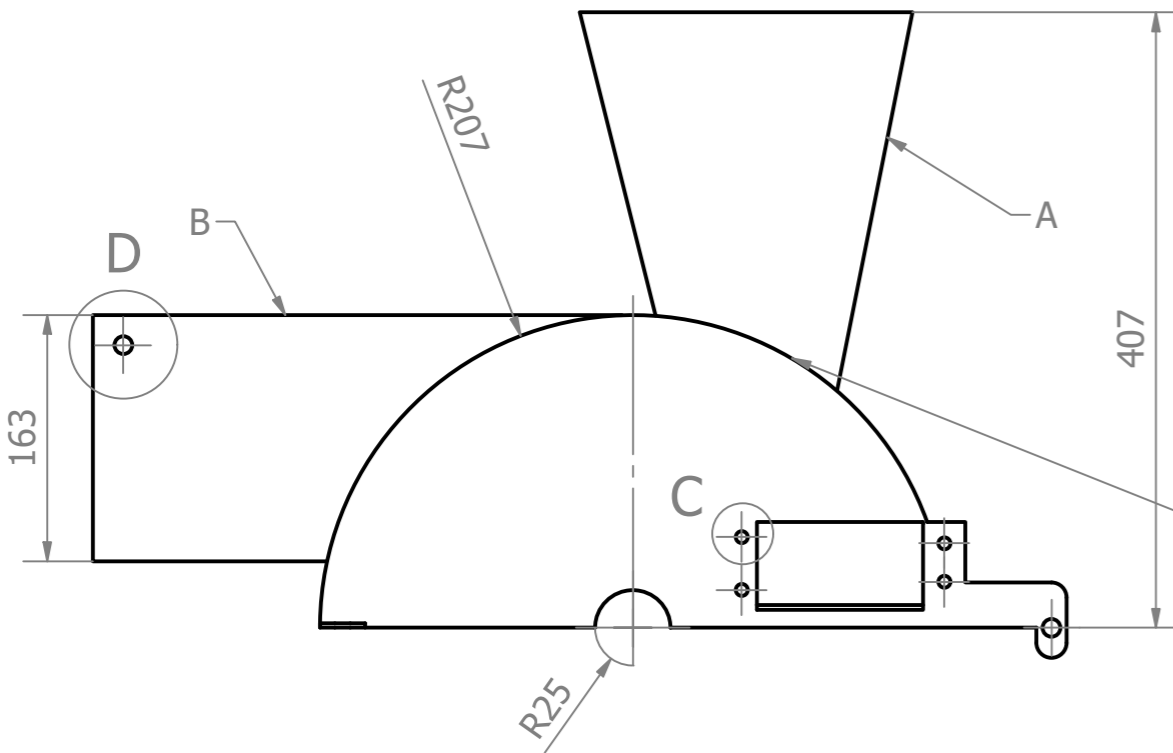
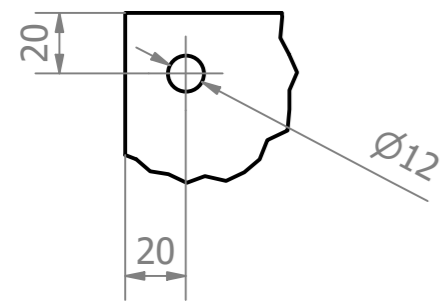


NOTA:  
-Eliminar aristas vivas  
-Toda soldadura es con proceso TIG con electrodo de tustegno  
-Espesor de placa 4 mm

DESARROLLO DE B  
ESCALA 1:5

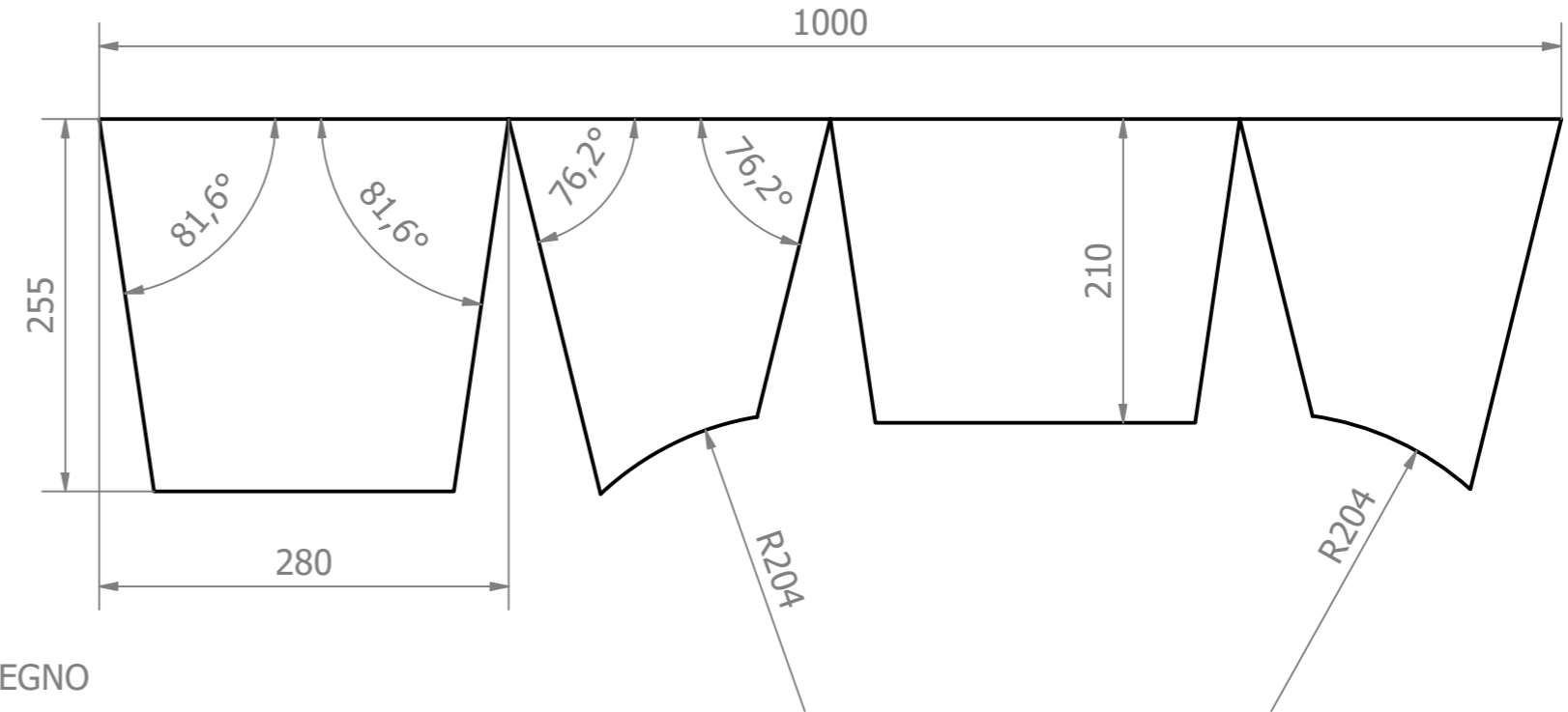
|                         |                |            |                                 |                |                       |        |                |
|-------------------------|----------------|------------|---------------------------------|----------------|-----------------------|--------|----------------|
| TRAT. TÉRMICO:          | Ninguno        | <b>EPN</b> | FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA |                |                       |        |                |
| RECUBRIMIENTO:          | Ninguno        |            | DIB.                            | LASLUISA LENIN |                       |        |                |
| MATERIAL:               | Acero ASTM A36 | TOL. GRAL. | ± 0.5                           | ESCALA:        | 1:5                   | DIS.   | LASLUISA LENIN |
|                         |                |            |                                 | REV.           | Ing. WILSON GUACHAMIN |        |                |
| <b>CARCASA INFERIOR</b> |                |            |                                 | CÓDIGO:        | FIM-MPT-501           | FECHA: | 23/8/22        |

D ( 1:2,5 )

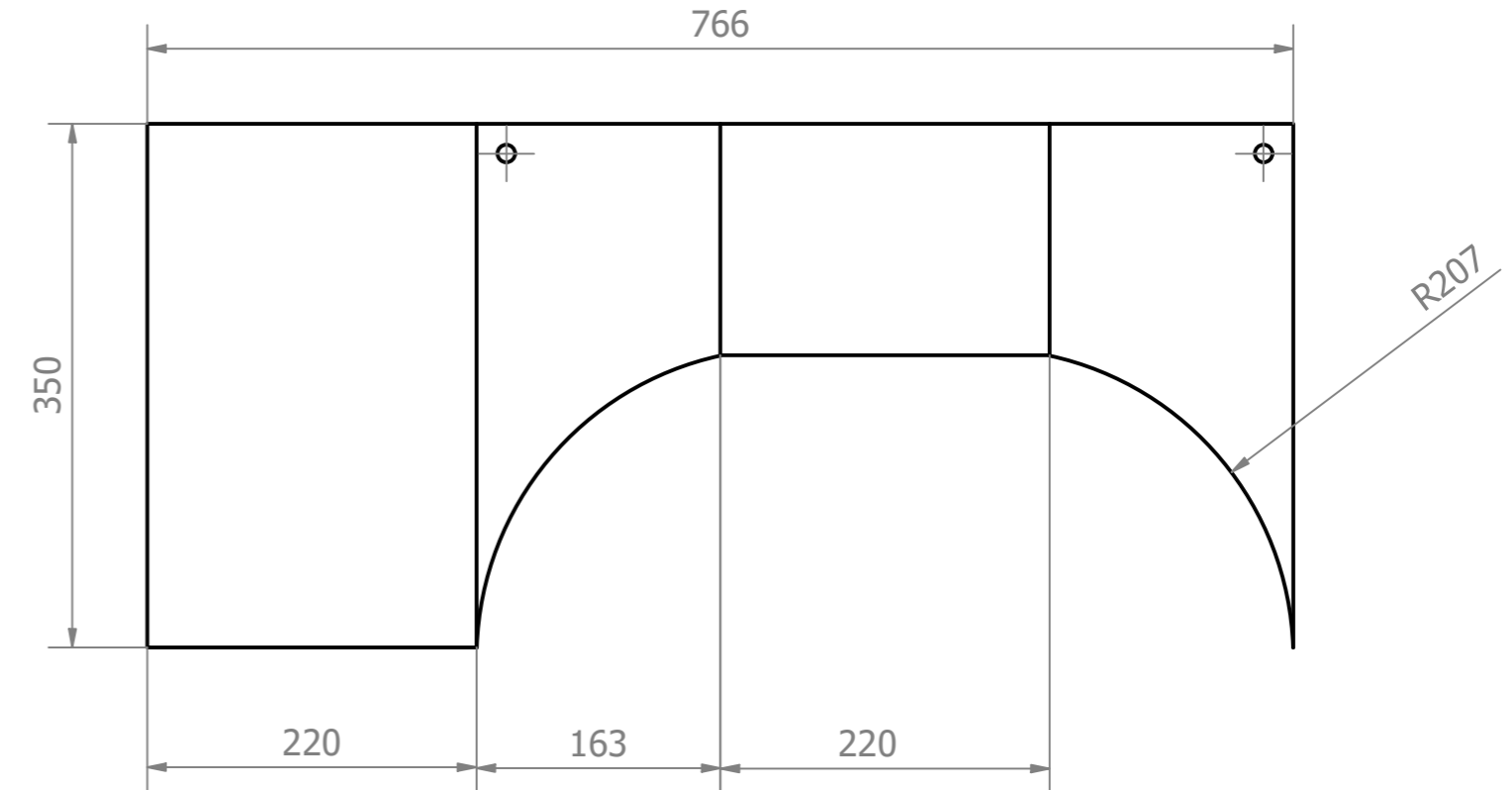


1/8 4x100 TIG ELECTRODO DE TUSTEGNO

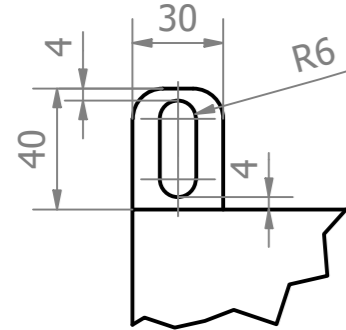
DESARROLLO DE A  
ESCALA 1:5



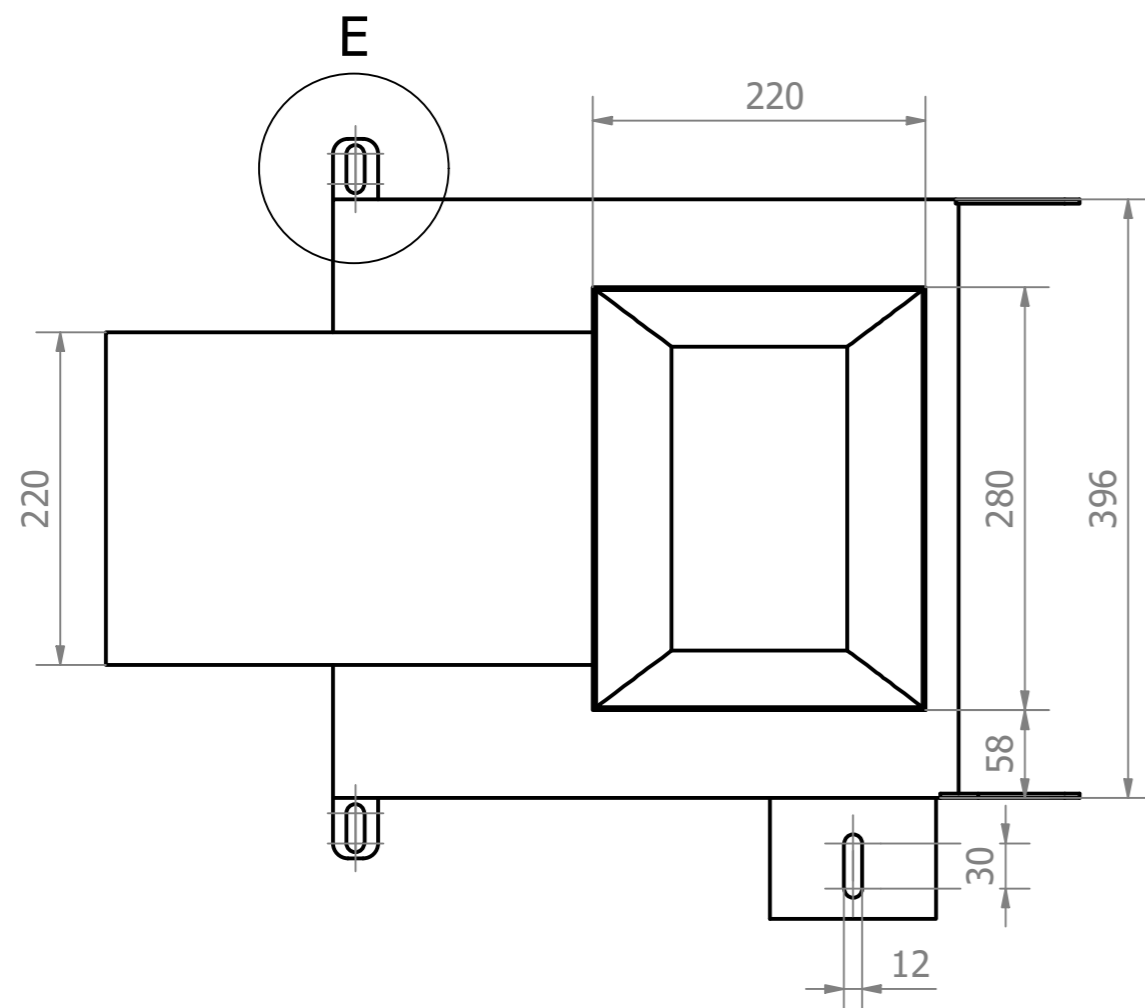
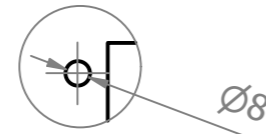
DESARROLLO DE B  
ESCALA 1:5



E ( 1:2,5 )



C ( 1:2,5 )



NOTA:  
-Eliminar aristas vivas  
-Toda soldadura es con proceso TIG con electrodo de tustegno  
-Todo pliegue se realiza a 90°

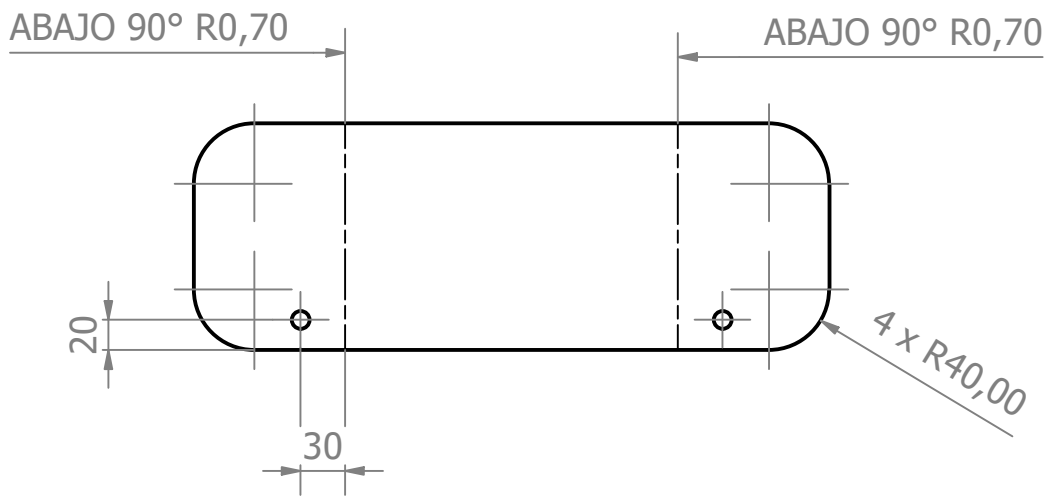
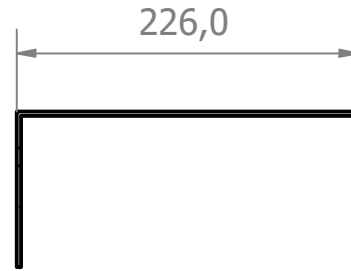
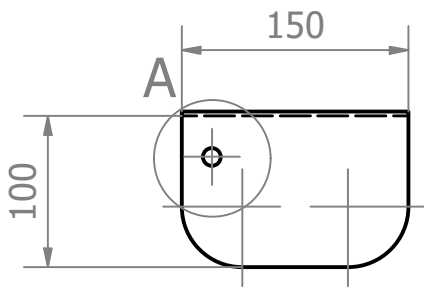
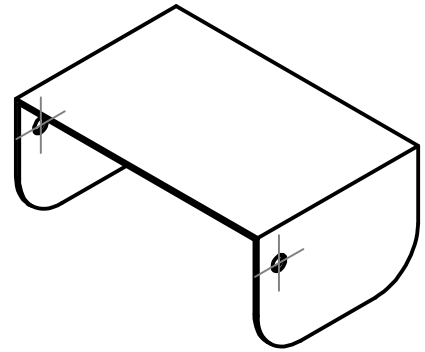
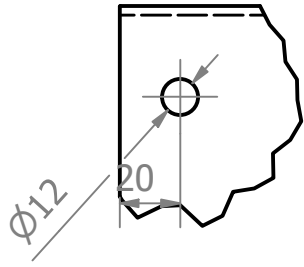
N7

|                         |                |            |                                 |                |                       |         |                |
|-------------------------|----------------|------------|---------------------------------|----------------|-----------------------|---------|----------------|
| TRAT. TÉRMICO:          | Ninguno        | <b>EPN</b> | FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA |                |                       |         |                |
| RECUBRIMIENTO:          | Ninguno        |            | DIB:                            | LASLUISA LENIN |                       |         |                |
| MATERIAL:               | Acero ASTM A36 | TOL. GRAL: | ± 0.5                           | ESCALA:        | 1:5                   | DIS:    | LASLUISA LENIN |
|                         |                |            |                                 | REV:           | Ing. WILSON GUACHAMIN |         |                |
| <b>CARCASA SUPERIOR</b> |                |            | CÓDIGO:                         | FIM-MPT-502    | FECHA:                | 23/8/22 |                |

Espesor de placa de 0,7 mm

N7 

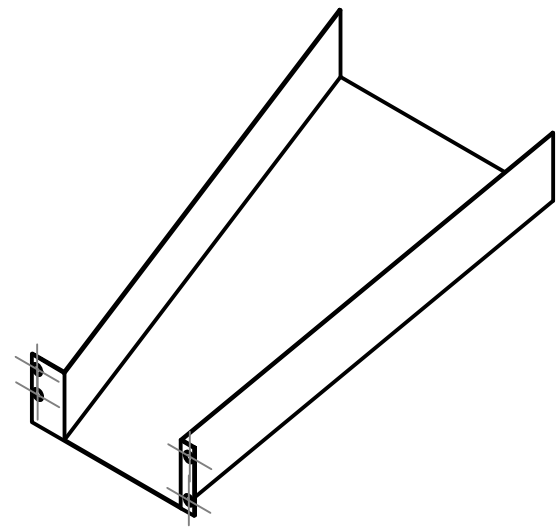
A ( 1:2,5 )



Nota:

- Eliminar aristas vivas
- Todo agujero es  $\varnothing 12$  y se realiza con proceso de taladrado.
- Todos los plegados se realizan a  $90^\circ$

|                       |          |             |                                 |                       |
|-----------------------|----------|-------------|---------------------------------|-----------------------|
| TRAT. TÉRMICO:        | Ninguno  | <b>EPN</b>  | FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA |                       |
| RECUBRIMIENTO:        | Ninguno  |             | DIB.                            | LASLUISA LENIN        |
| MATERIAL:             | ASTM A36 | TOL. GRAL.  | ESCALA:                         | DIS.                  |
|                       |          | $\pm 0.5$   | 1:5                             | LASLUISA LENIN        |
|                       |          |             |                                 | REV.                  |
|                       |          |             |                                 | Ing. WILSON GUACHAMIN |
| <b>TAPA DE SALIDA</b> |          | CÓDIGO:     |                                 | FECHA:                |
|                       |          | FIM-MPT-503 |                                 | 23/8/22               |



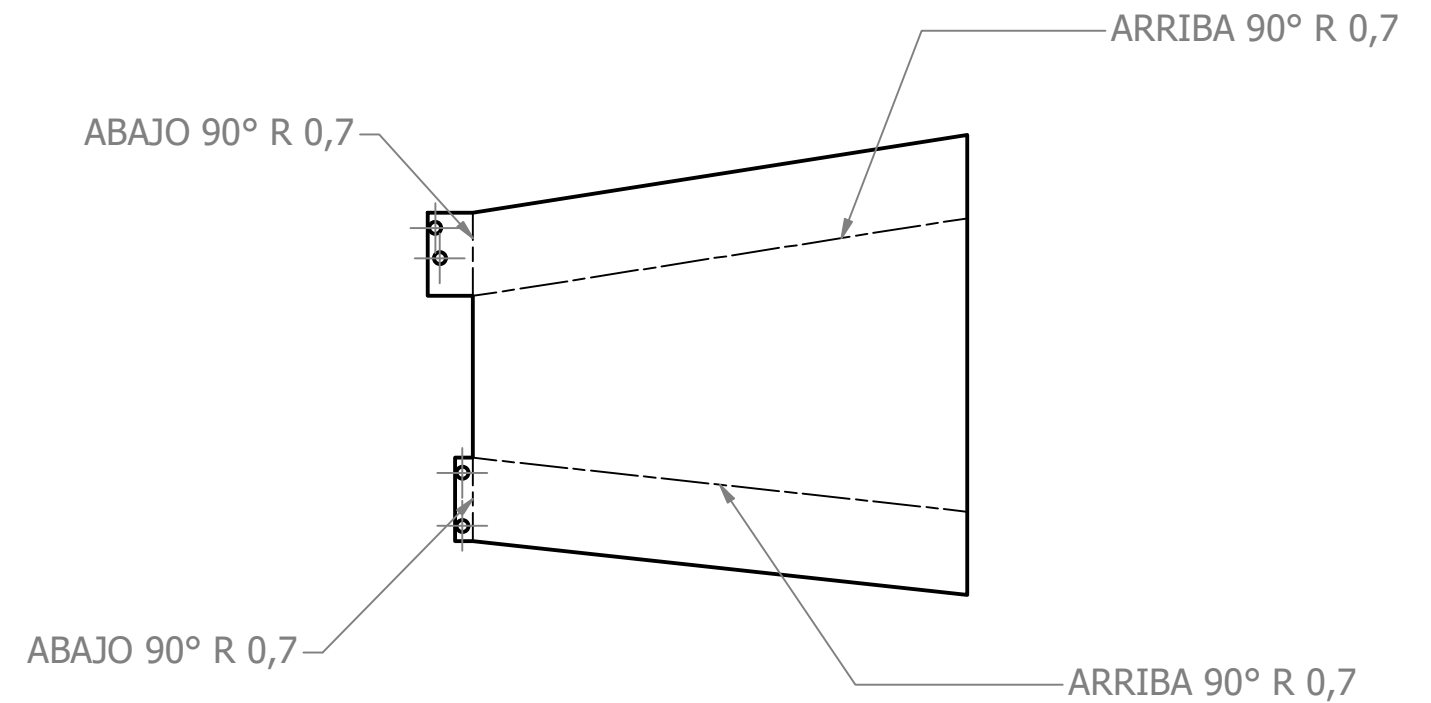
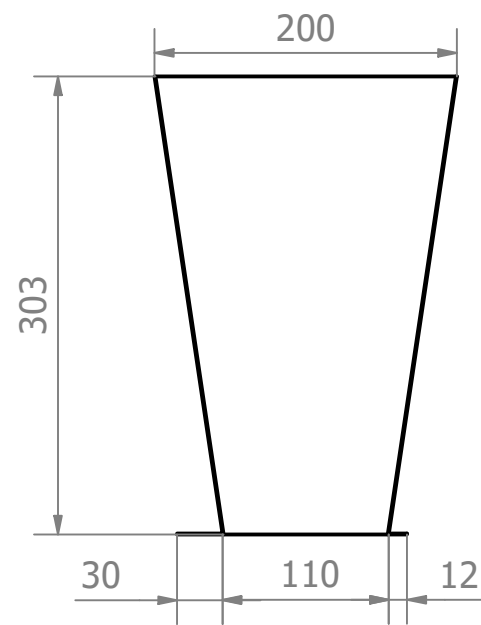
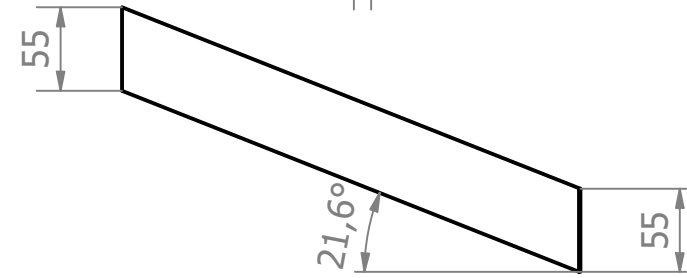
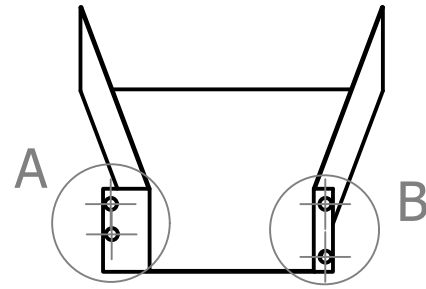
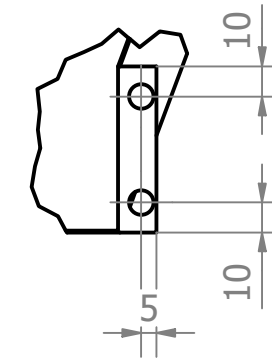
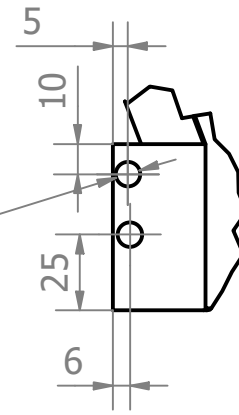
Espesor de placa 0,7 mm

A ( 1:2,5 )

B ( 1:2,5 )

N7

Ø8 H7 x4 agujeros



Nota:

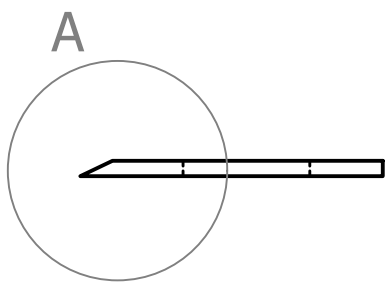
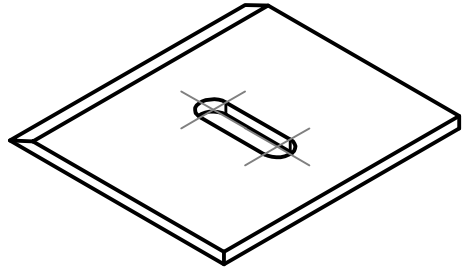
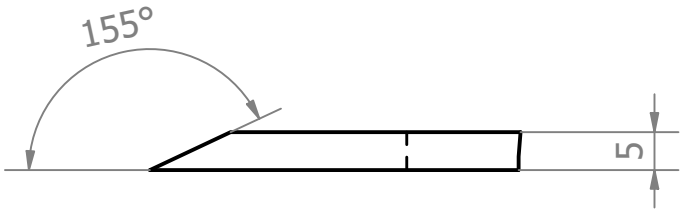
- Eliminar aristas vivas
- Todos los plegados son a 90°
- Los agujeros son 8 con proceso de taladrado

|                         |                |            |                                 |                |        |         |                       |
|-------------------------|----------------|------------|---------------------------------|----------------|--------|---------|-----------------------|
| TRAT. TÉRMICO:          | Ninguno        | <b>EPN</b> | FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA |                |        |         |                       |
| RECUBRIMIENTO:          | Ninguno        |            | DIB.                            | LASLUISA LENIN |        |         |                       |
| MATERIAL:               | ACERO ASTM A36 | TOL. GRAL. | ± 0.5                           | ESCALA:        | 1:5    | DIS.    | LASLUISA LENIN        |
|                         |                |            |                                 |                |        | REV.    | Ing. WILSON GUACHAMIN |
| <b>TOLVA DE ENTRADA</b> |                |            | CÓDIGO:                         | FIM-MPT-504    | FECHA: | 25/8/22 |                       |

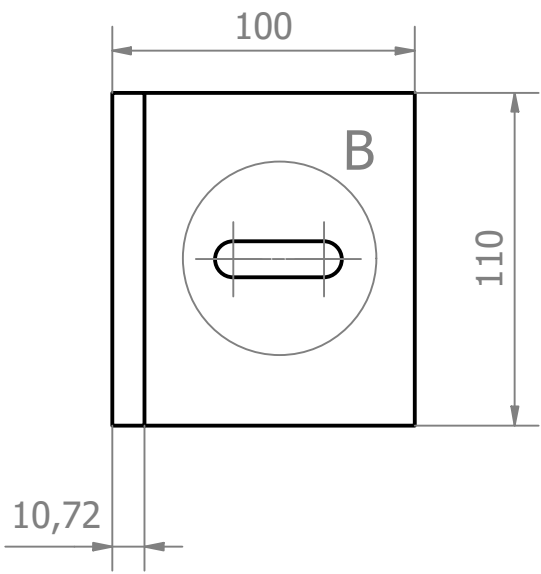
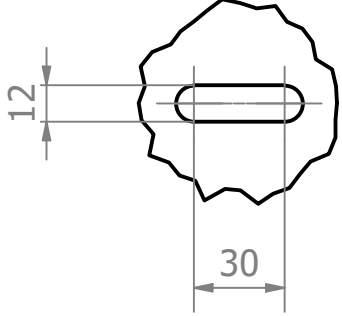


A ( 1:1 )

N8 

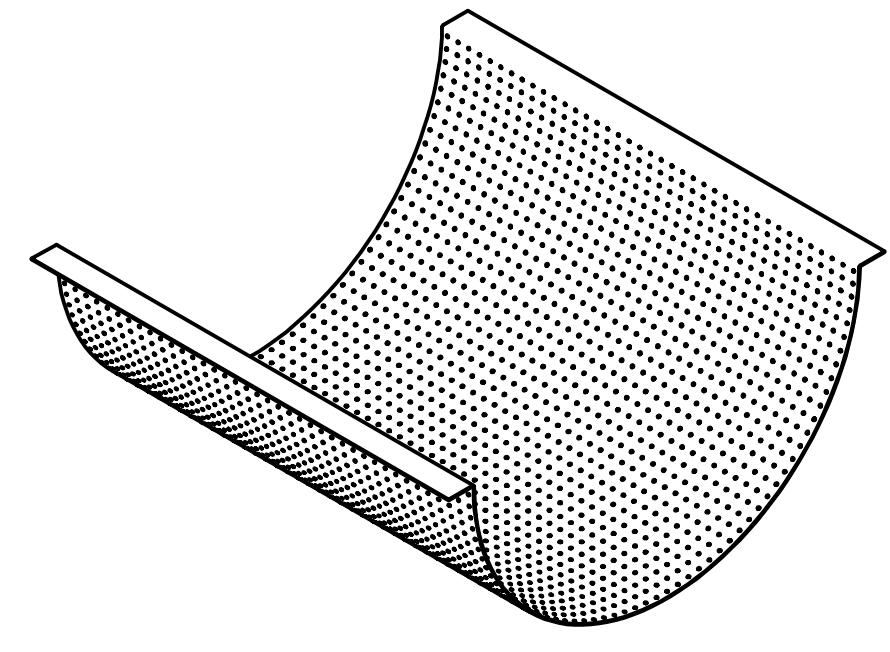
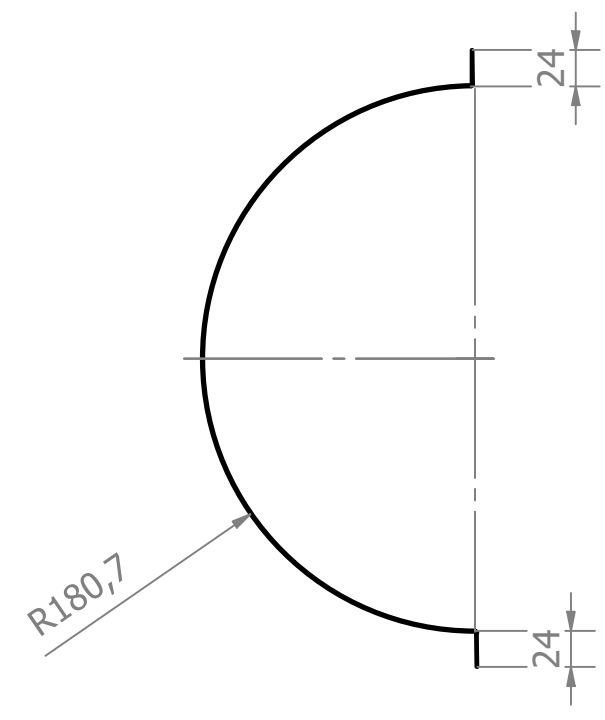
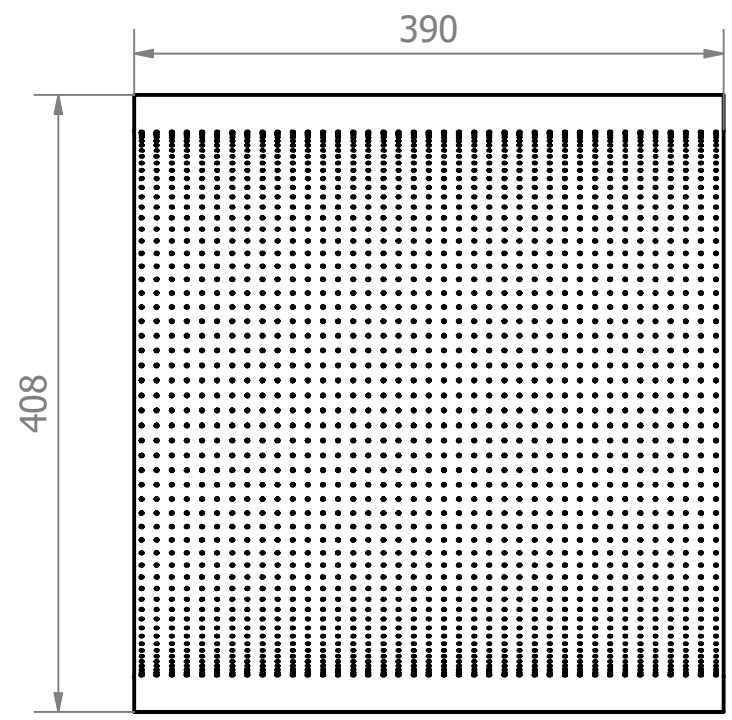


B ( 1:2,5 )

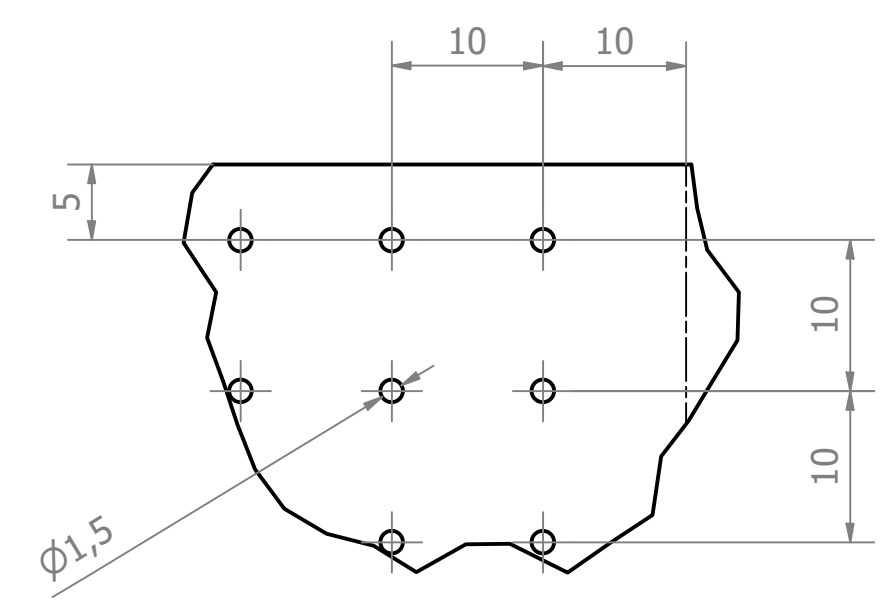
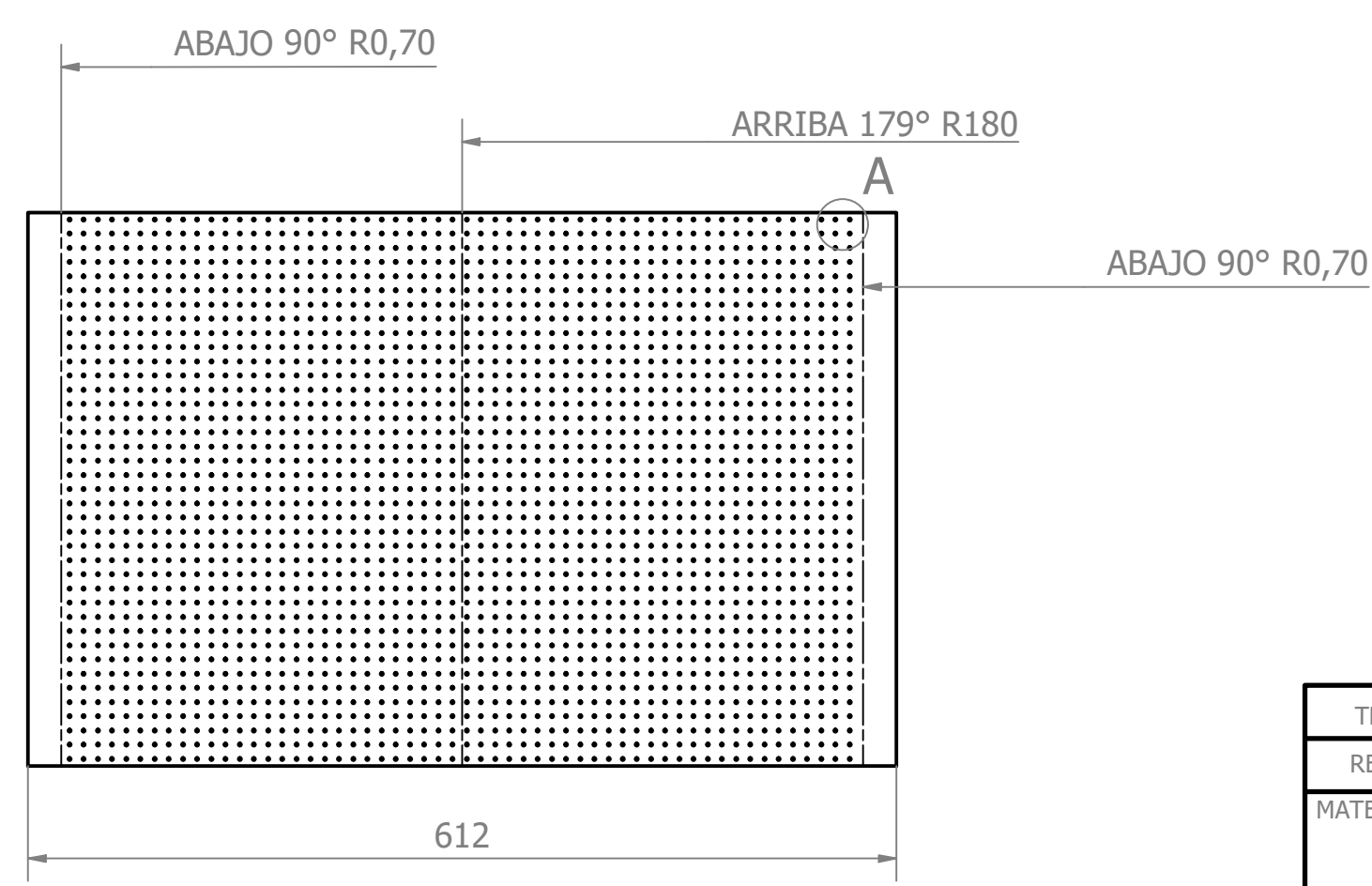


|                       |            |             |                                 |                       |
|-----------------------|------------|-------------|---------------------------------|-----------------------|
| TRAT. TÉRMICO:        | TEMPLE     | <b>EPN</b>  | FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA |                       |
| RECUBRIMIENTO:        | Ninguno    |             | DIB.                            | LASLUISA LENIN        |
| MATERIAL:             | TOL. GRAL. | ESCALA:     | DIS.                            | LASLUISA LENIN        |
| ACERO INOX. AISI 430  | ± 0.5      | 1:2,5       | REV.                            | Ing. WILSON GUACHAMIN |
| <b>CONTRACUCHILLA</b> |            | CÓDIGO:     | FECHA:                          |                       |
|                       |            | FIM-MPT-505 | 25/8/22                         |                       |

Espesor de placa 0,7 mm

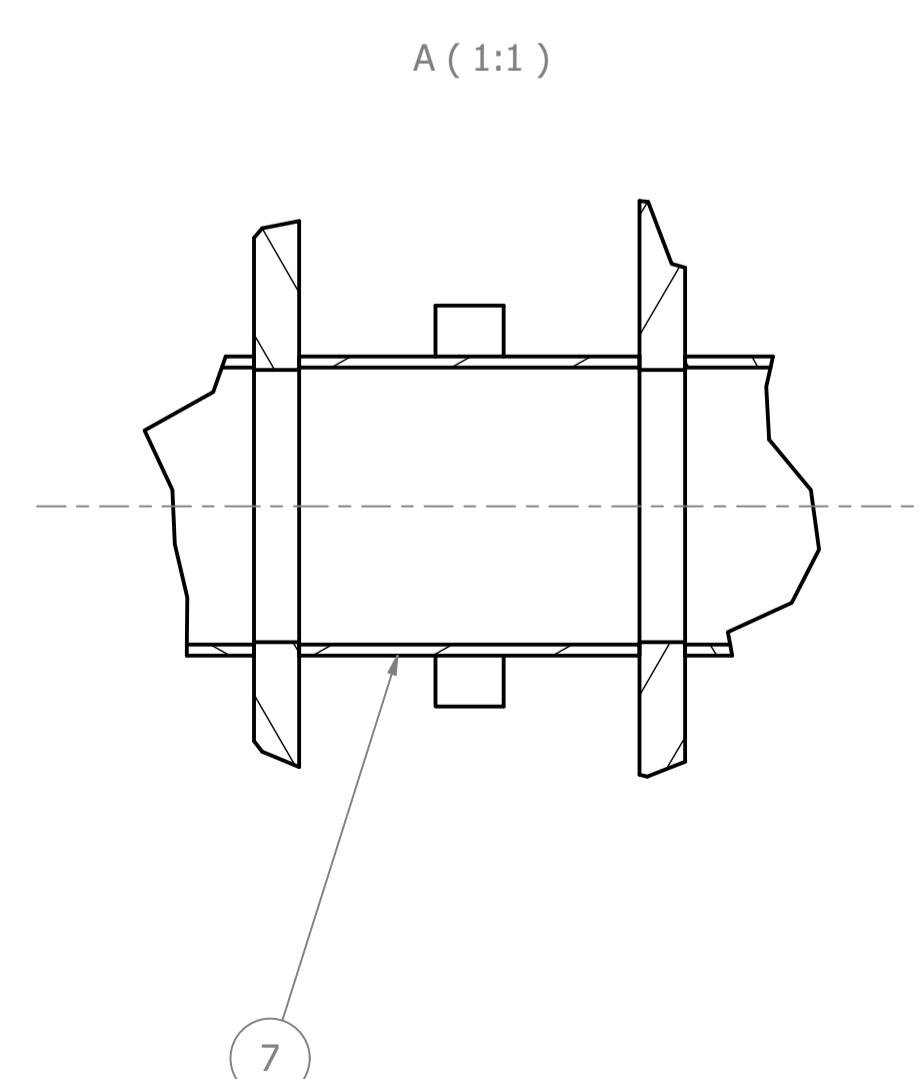
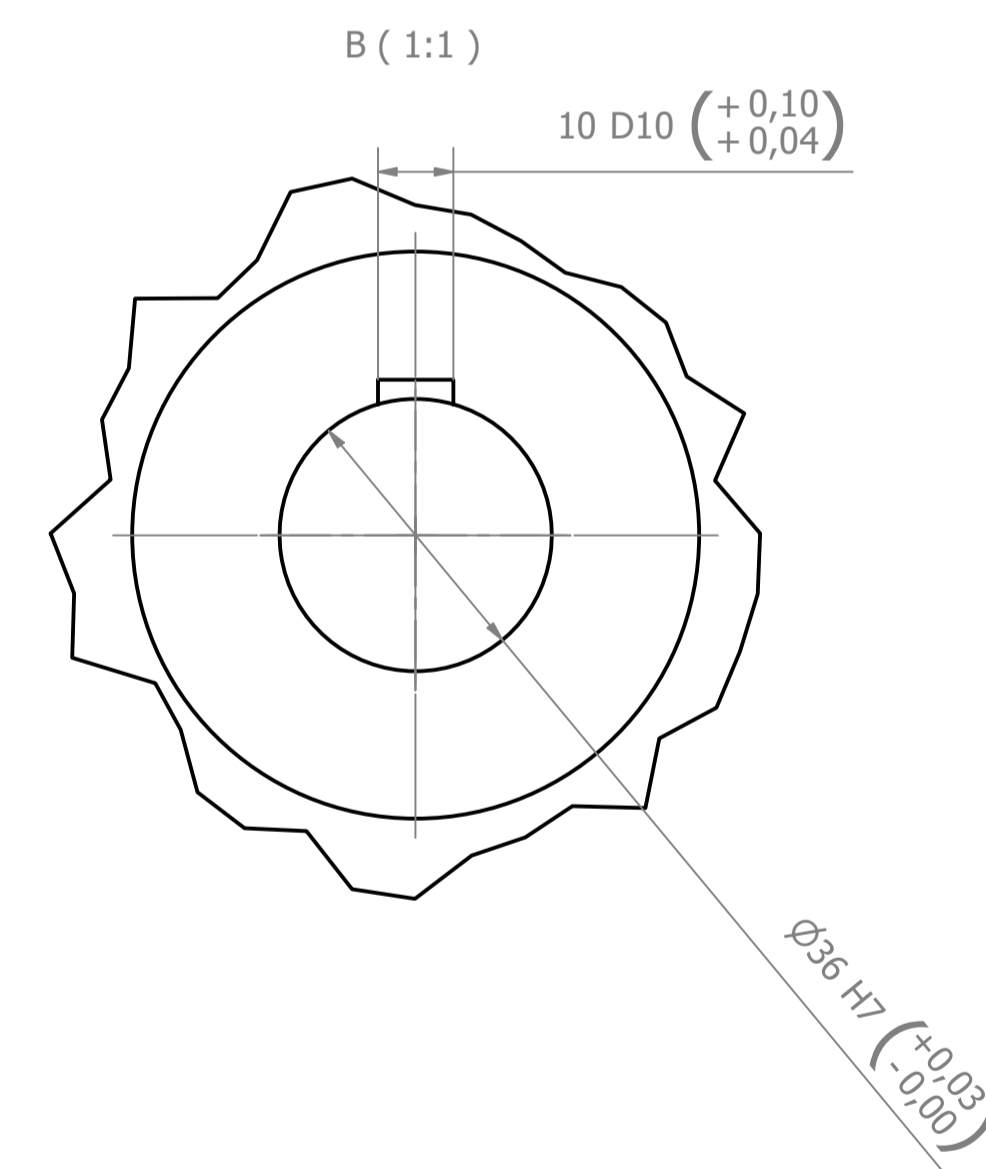
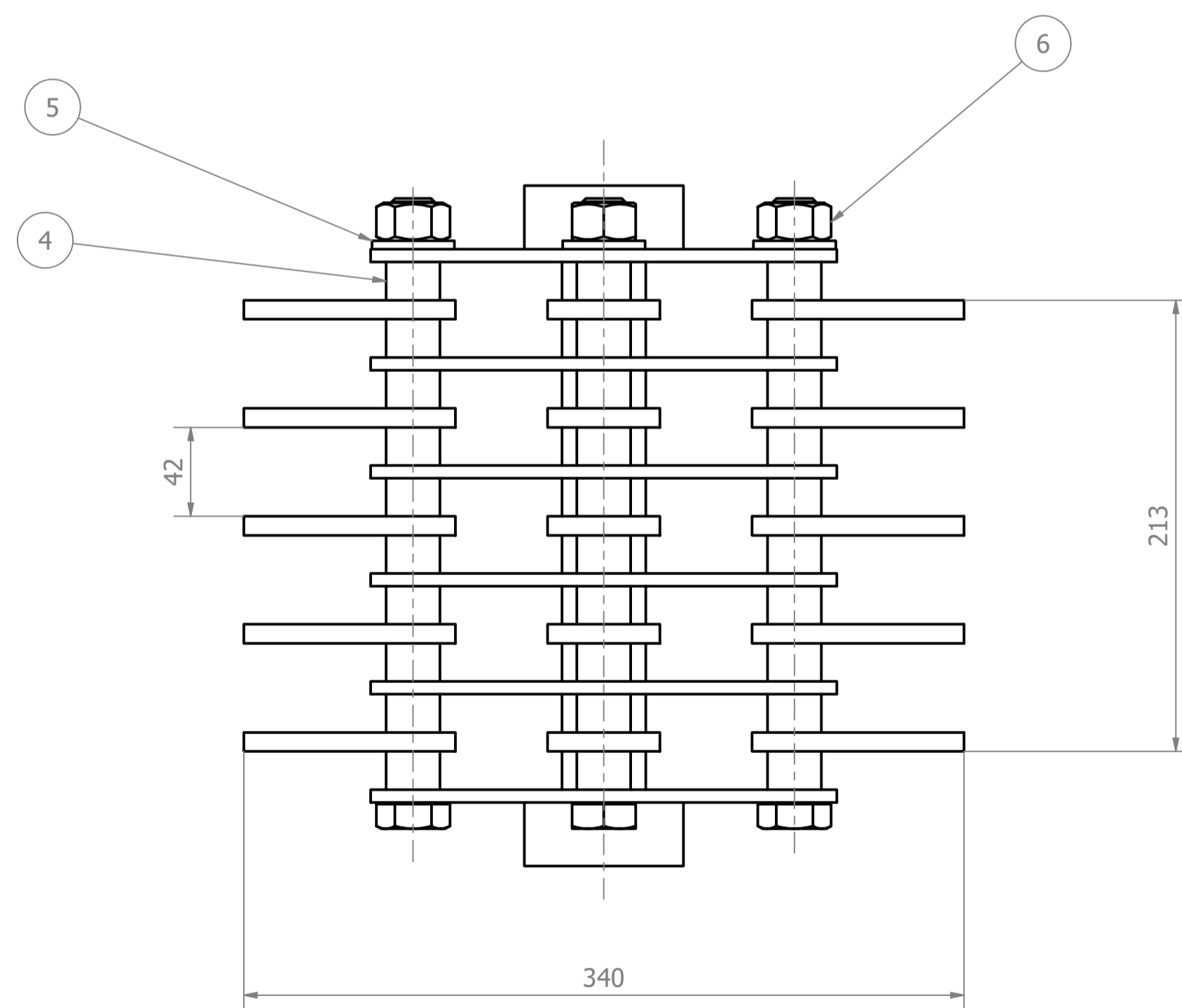
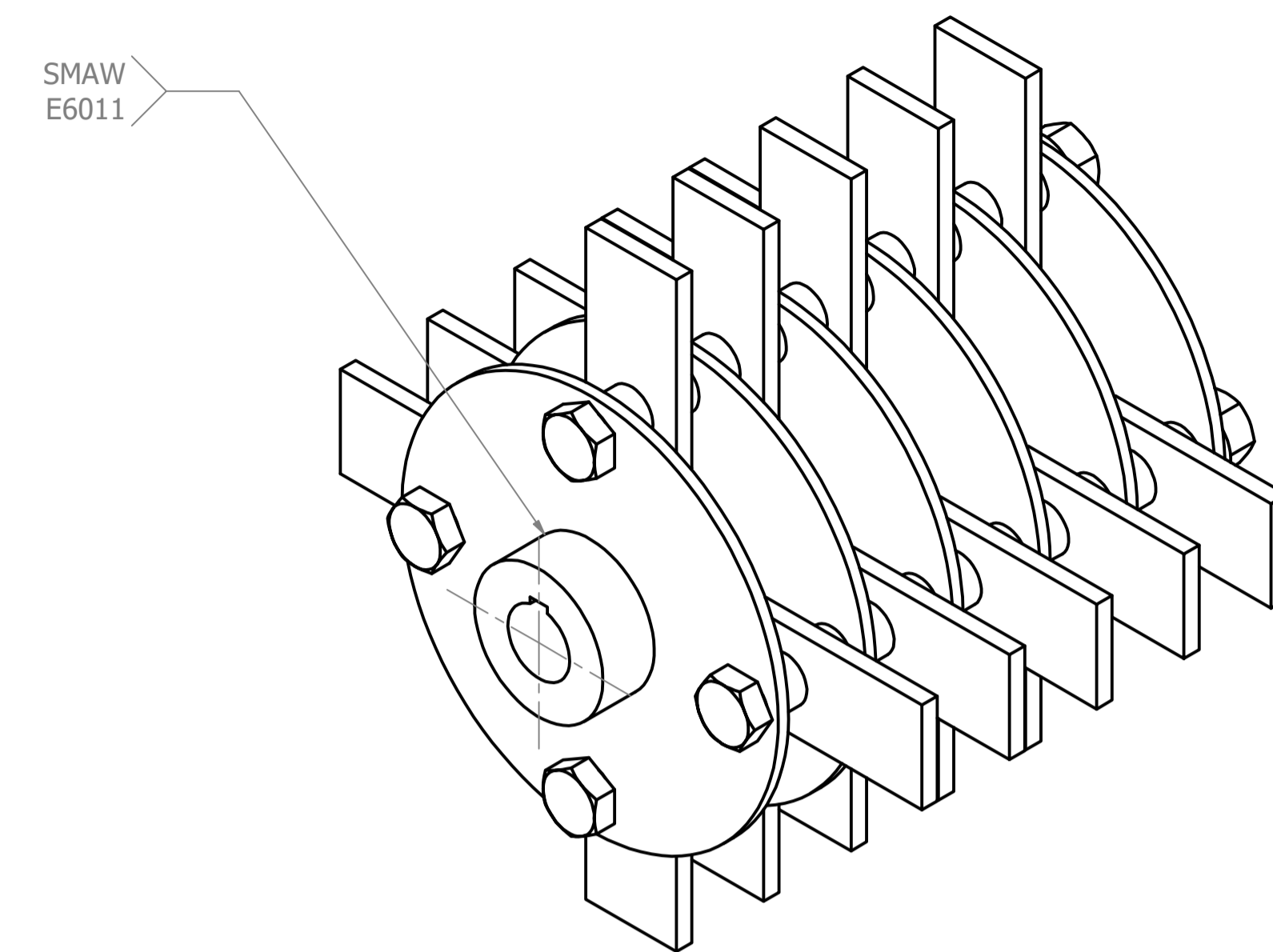
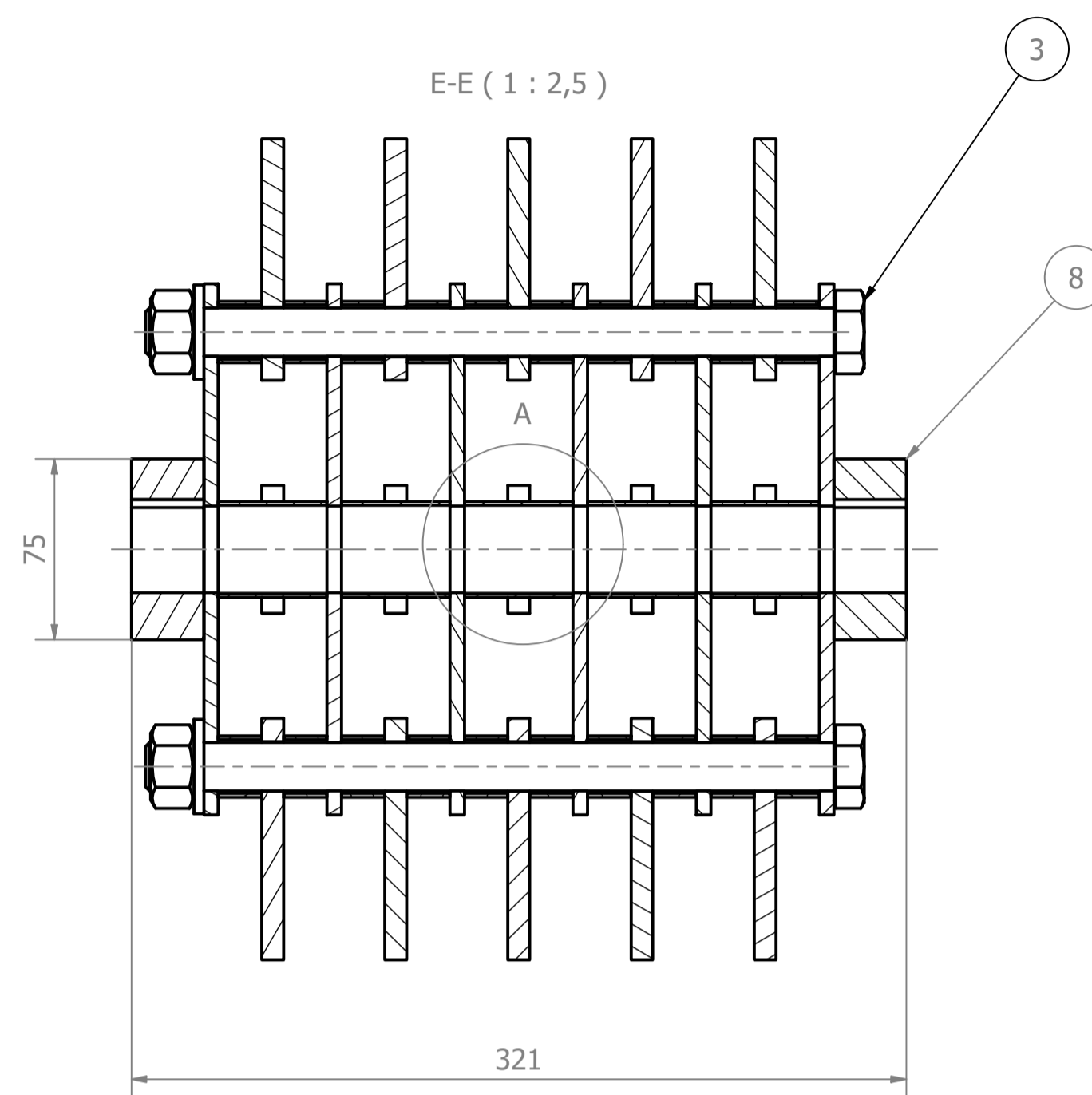
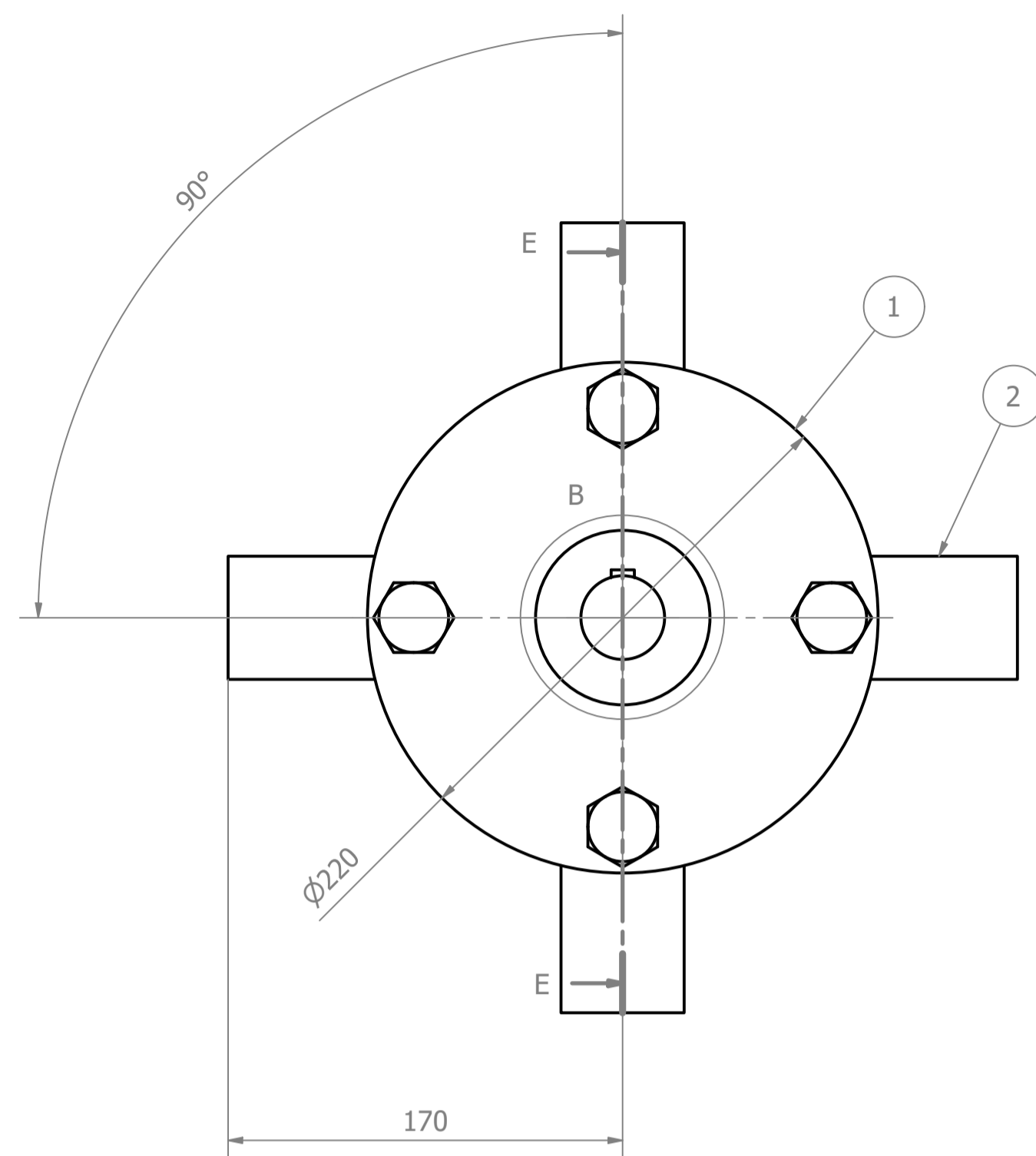


A ( 2:1 )



Notas:  
 -Eliminar aristas vivas  
 -Realizar agujeros con proceso de taladrado

|                |                      |                     |                                 |                            |
|----------------|----------------------|---------------------|---------------------------------|----------------------------|
| TRAT. TÉRMICO: | NINGUNO              | <b>EPN</b>          | FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA |                            |
| RECUBRIMIENTO: | NINGUNO              |                     | DIB.                            | LASLUISA LENIN             |
| MATERIAL:      | ACERO INOX. AISI 304 | TOL. GRAL. ± 0.1    | ESCALA: 1:5                     | DIS. LASLUISA LENIN        |
|                |                      |                     |                                 | REV. Ing. WILSON GUACHAMIN |
| <b>TAMIZ</b>   |                      | CÓDIGO: FIM-MPT-506 |                                 | FECHA: 30/8/22             |

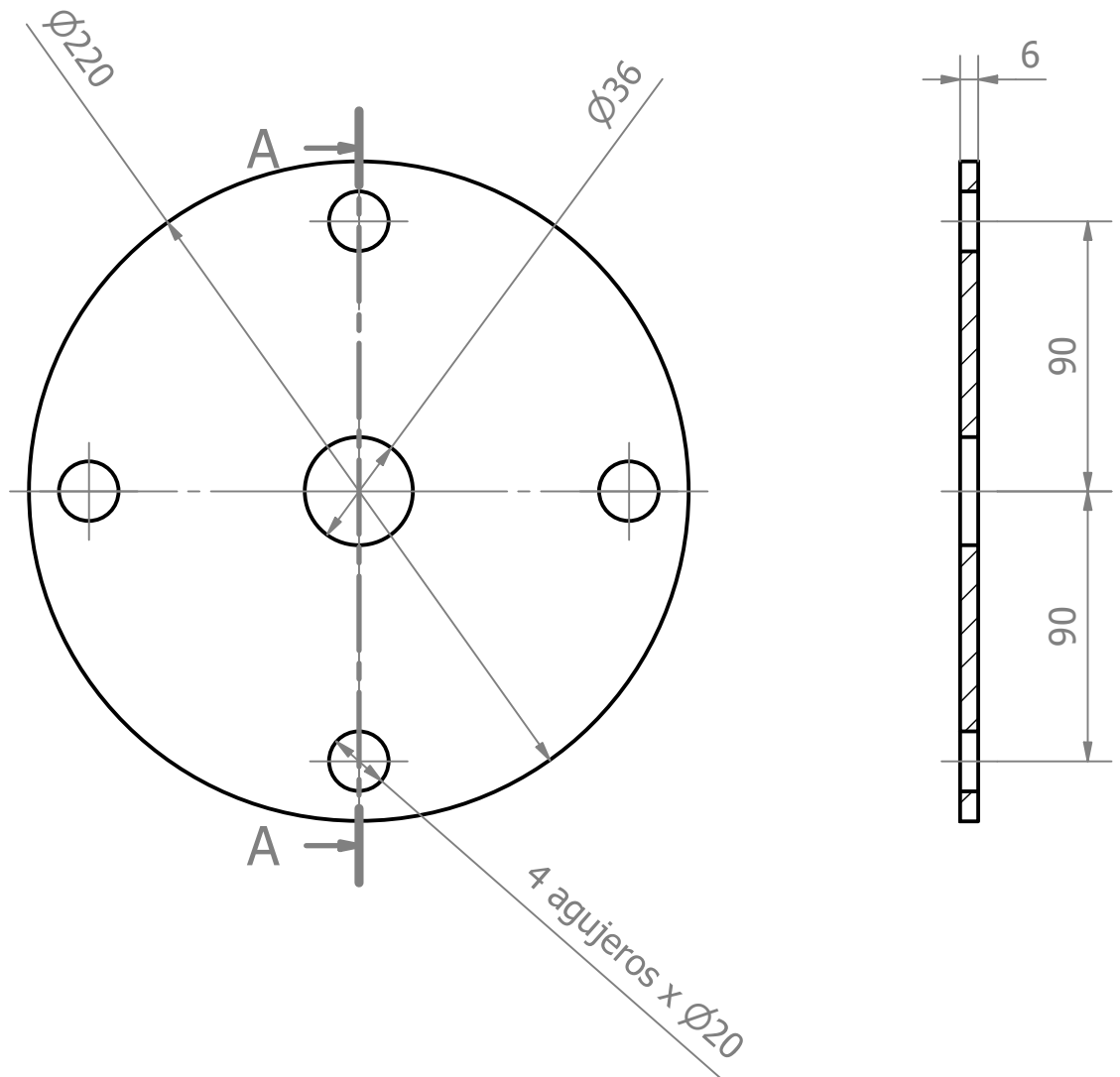


Nota:  
-Realizar el cordón de soldadura a lo largo de la línea indicada

| Nº  | ZONA                            | DESCRIPCIÓN                            | PLANO Y/O NORMA | CANT. | MATERIAL                  | OBSERVACIONES |     |                                 |                      |               |                      |  |                            |                |  |  |                     |  |
|---|---------------------------------|--|-----------------|-------|---------------------------|---------------|-----|---------------------------------|----------------------|---------------|----------------------|--|----------------------------|----------------|--|--|---------------------|--|
| 8   |                                 | Manzana                                | FIM-MPT-605     | 2     | Acero ASTM A36            |               |     |                                 |                      |               |                      |  |                            |                |  |  |                     |  |
| 7   |                                 | Distanciador de discos porta-martillos | FIM-MPT-604     | 5     | Acero inoxidable AISI 304 |               |     |                                 |                      |               |                      |  |                            |                |  |  |                     |  |
| 6   |                                 | Tuercas hexagonales                    | ISO 4032        | 4     | Acero al carbono          | M20 X1,5      |     |                                 |                      |               |                      |  |                            |                |  |  |                     |  |
| 5   |                                 | Arandelas planas                       | ISO 7089        | 4     | Acero al carbono          | D 23          |     |                                 |                      |               |                      |  |                            |                |  |  |                     |  |
| 4   |                                 | Separador de martillos                 | FIM-MPT-603     | 40    | Acero inoxidable AISI 304 |               |     |                                 |                      |               |                      |  |                            |                |  |  |                     |  |
| 3   |                                 | Perno porta-martillos                  | DIN 931         | 4     | Acero al carbono          | M20x1,5       |     |                                 |                      |               |                      |  |                            |                |  |  |                     |  |
| 2   |                                 | Martillo                               | FIM-MPT-602     | 20    | Acero inoxidable AISI 304 |               |     |                                 |                      |               |                      |  |                            |                |  |  |                     |  |
| 1   |                                 | Disco porta-martillos                  | FIM-MPT-601     | 6     | Acero inoxidable AISI 304 |               |     |                                 |                      |               |                      |  |                            |                |  |  |                     |  |
| <table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width:15%;">EPN</td> <td style="width:45%;">FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA</td> <td style="width:15%;">DIB. LASLUIISA LENIN</td> <td style="width:25%;">ESCALA: 1:2,5</td> </tr> <tr> <td colspan="2">SISTEMA DE TRITURADO</td> <td>REV. Ing. WILSON GUACHAMIN</td> <td>FECHA: 23/8/22</td> </tr> <tr> <td colspan="2"></td> <td>CÓDIGO: FIM-MPT-600</td> <td></td> </tr> </table> |                                 |  |                 |       |                           |               | EPN | FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA | DIB. LASLUIISA LENIN | ESCALA: 1:2,5 | SISTEMA DE TRITURADO |  | REV. Ing. WILSON GUACHAMIN | FECHA: 23/8/22 |  |  | CÓDIGO: FIM-MPT-600 |  |
| EPN   | FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA | DIB. LASLUIISA LENIN                   | ESCALA: 1:2,5   |       |                           |               |     |                                 |                      |               |                      |  |                            |                |  |  |                     |  |
| SISTEMA DE TRITURADO  |                                 | REV. Ing. WILSON GUACHAMIN             | FECHA: 23/8/22  |       |                           |               |     |                                 |                      |               |                      |  |                            |                |  |  |                     |  |
|   |                                 | CÓDIGO: FIM-MPT-600                    |                 |       |                           |               |     |                                 |                      |               |                      |  |                            |                |  |  |                     |  |

N7 

A-A ( 1 : 2,5 )

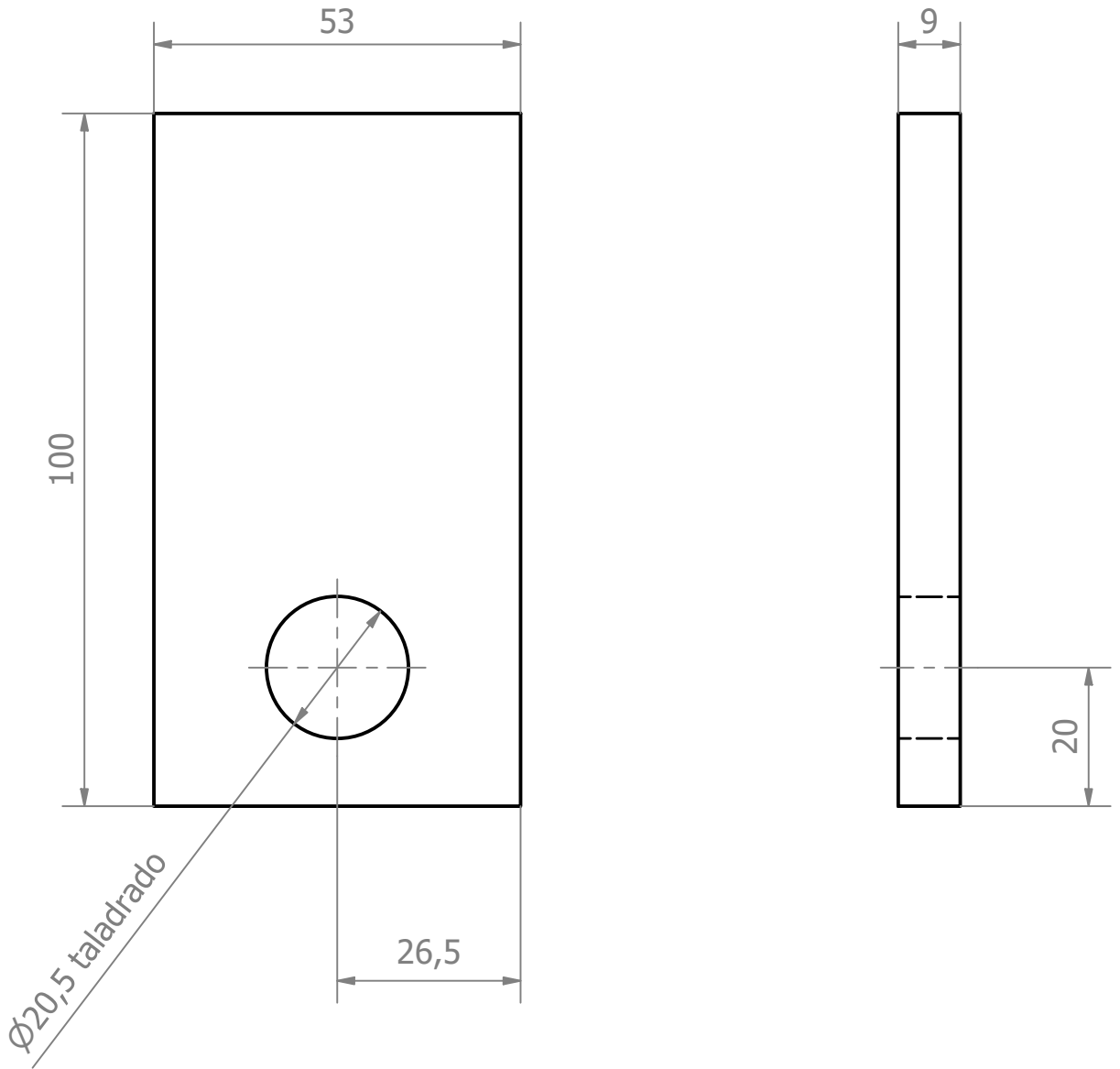


Nota:

- Todos los agujeros son realizados por proceso de taladrado
- Eliminar aristas vivas
- Realizar 6 elementos

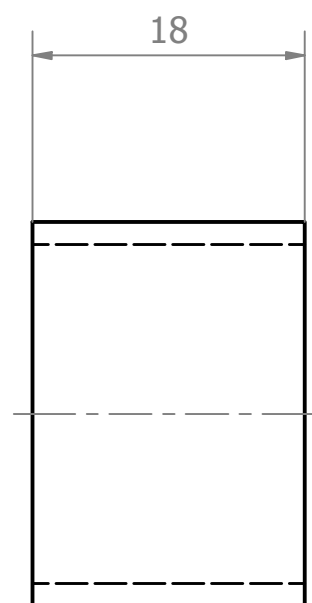
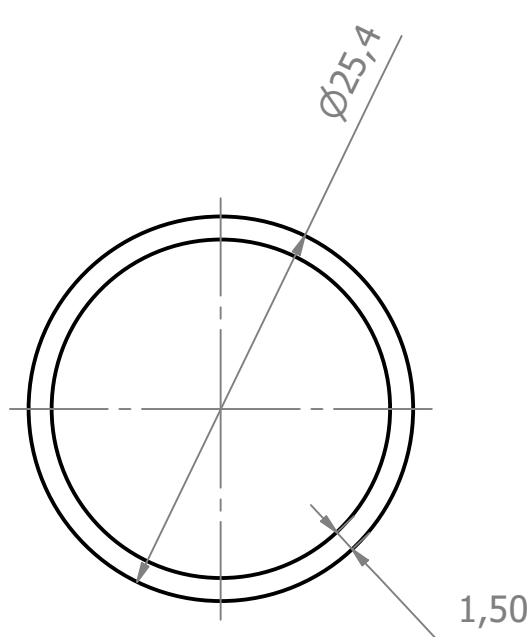
|                              |                      |             |                                 |              |                       |
|------------------------------|----------------------|-------------|---------------------------------|--------------|-----------------------|
| TRAT. TÉRMICO:               | Ninguno              | <b>EPN</b>  | FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA |              |                       |
| RECUBRIMIENTO:               | Ninguno              |             | DIB.                            | TAPIA ALVARO |                       |
| MATERIAL:                    | Acero Inox. AISI 304 | TOL. GRAL.  | ESCALA:                         | DIS.         | TAPIA ALVARO          |
|                              |                      | 0.1         | 1:2,5                           | REV.         | Ing. WILSON GUACHAMIN |
| <b>DISCO PORTA-MARTILLOS</b> |                      | CÓDIGO:     | FECHA:                          |              |                       |
|                              |                      | FIM-MPT-601 | 25/8/22                         |              |                       |

N9



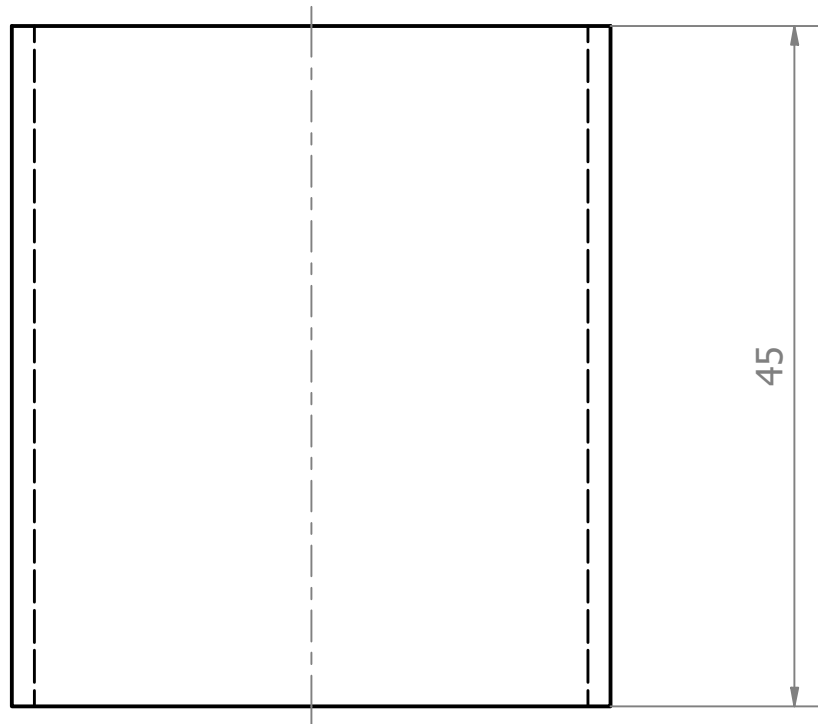
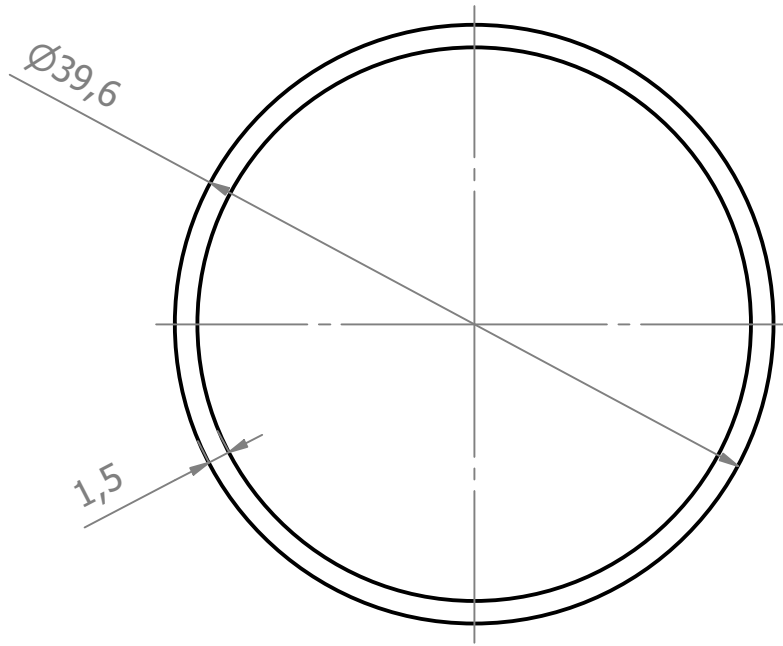
Nota:  
 -Eliminar aristas vivas  
 -Realizar 20 elementos

|                      |            |             |                                 |                       |
|----------------------|------------|-------------|---------------------------------|-----------------------|
| TRAT. TÉRMICO:       | TEMPLE     | <b>EPN</b>  | FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA |                       |
| RECUBRIMIENTO:       | NINGUNO    |             | DIB.                            | TAPIA ALVARO          |
| MATERIAL:            | TOL. GRAL. | ESCALA:     | DIS.                            | TAPIA ALVARO          |
| ACERO INOX. AISI 304 | ± 0.1      | 1:1         | REV.                            | Ing. WILSON GUACHAMIN |
| <b>MARTILLO</b>      |            | CÓDIGO:     | FECHA:                          |                       |
|                      |            | FIM-MPT-602 | 25/8/22                         |                       |



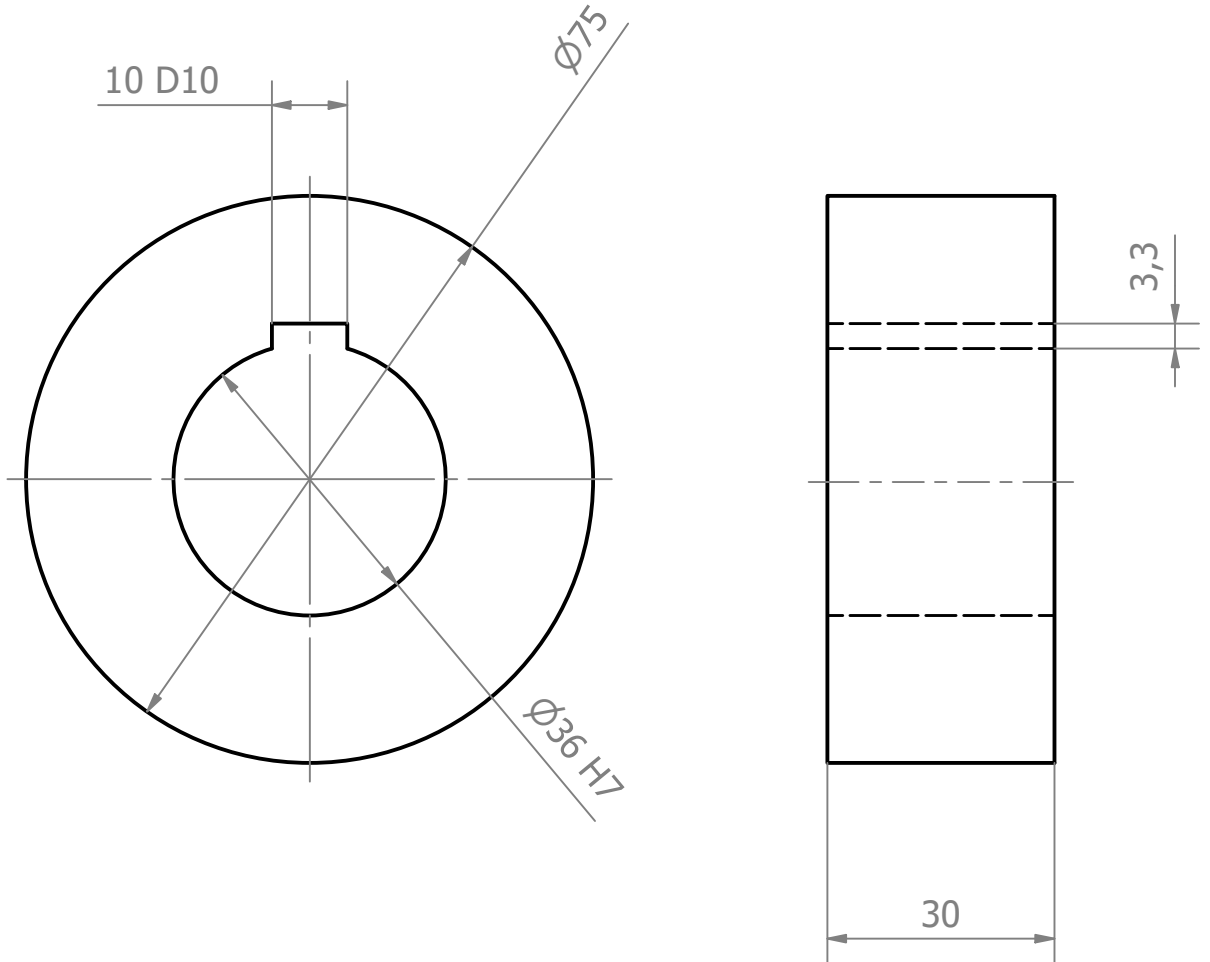
|                               |            |             |                                 |                       |
|-------------------------------|------------|-------------|---------------------------------|-----------------------|
| TRAT. TÉRMICO:                | NINGUNO    | <b>EPN</b>  | FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA |                       |
| RECUBRIMIENTO:                | NINGUNO    |             | DIB.                            | LASLUISA LENIN        |
| MATERIAL:                     | TOL. GRAL. | ESCALA:     | DIS.                            | LASLUISA LENIN        |
| ACERO INOX. AISI 304          | $\pm 0.1$  | 2:1         | REV.                            | Ing. WILSON GUACHAMIN |
| <b>SEPARADOR DE MARTILLOS</b> |            | CÓDIGO:     | FECHA:                          |                       |
|                               |            | FIM-MPT-603 | 25/8/22                         |                       |

N8 



|                               |            |             |                                 |                       |
|-------------------------------|------------|-------------|---------------------------------|-----------------------|
| TRAT. TÉRMICO:                | NINGUNO    | <b>EPN</b>  | FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA |                       |
| RECUBRIMIENTO:                | NINGUNO    |             | DIB.                            | LASLUISA LENIN        |
| MATERIAL:                     | TOL. GRAL. | ESCALA:     | DIS.                            | LASLUISA LENIN        |
| ACERO INOX. AISI 304          | ± 0.1      | 1:1         | REV.                            | Ing. WILSON GUACHAMIN |
| <b>DISTANCIADOR DE DISCOS</b> |            | CÓDIGO:     | FECHA:                          |                       |
|                               |            | FIM-MPT-604 | 25/8/22                         |                       |

N9 



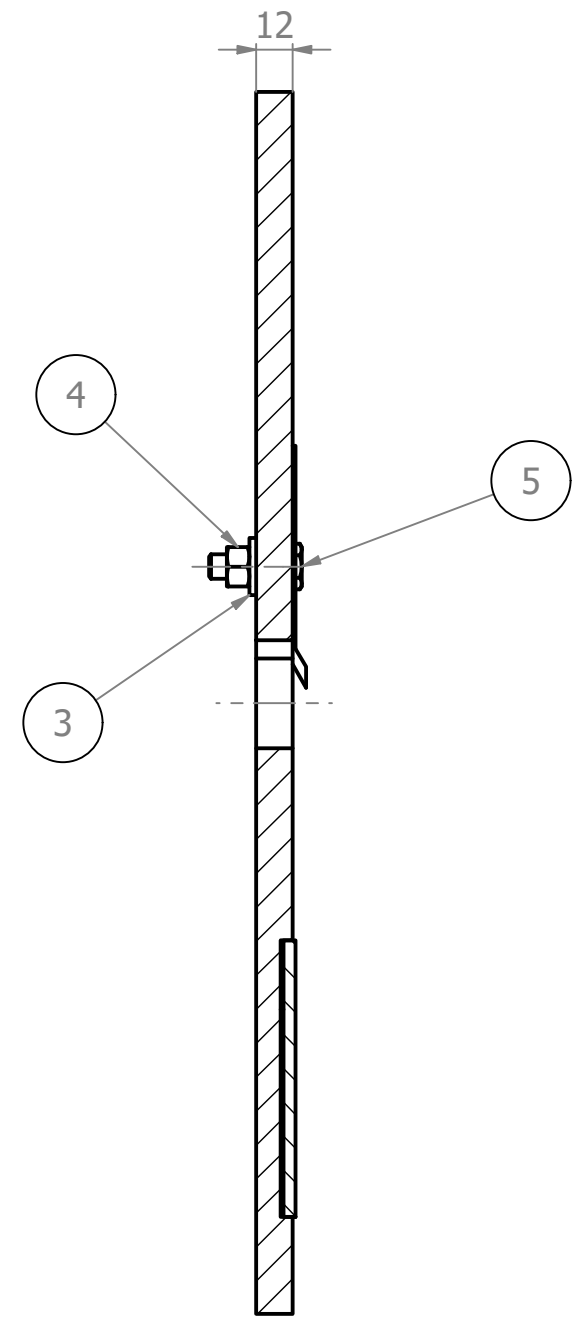
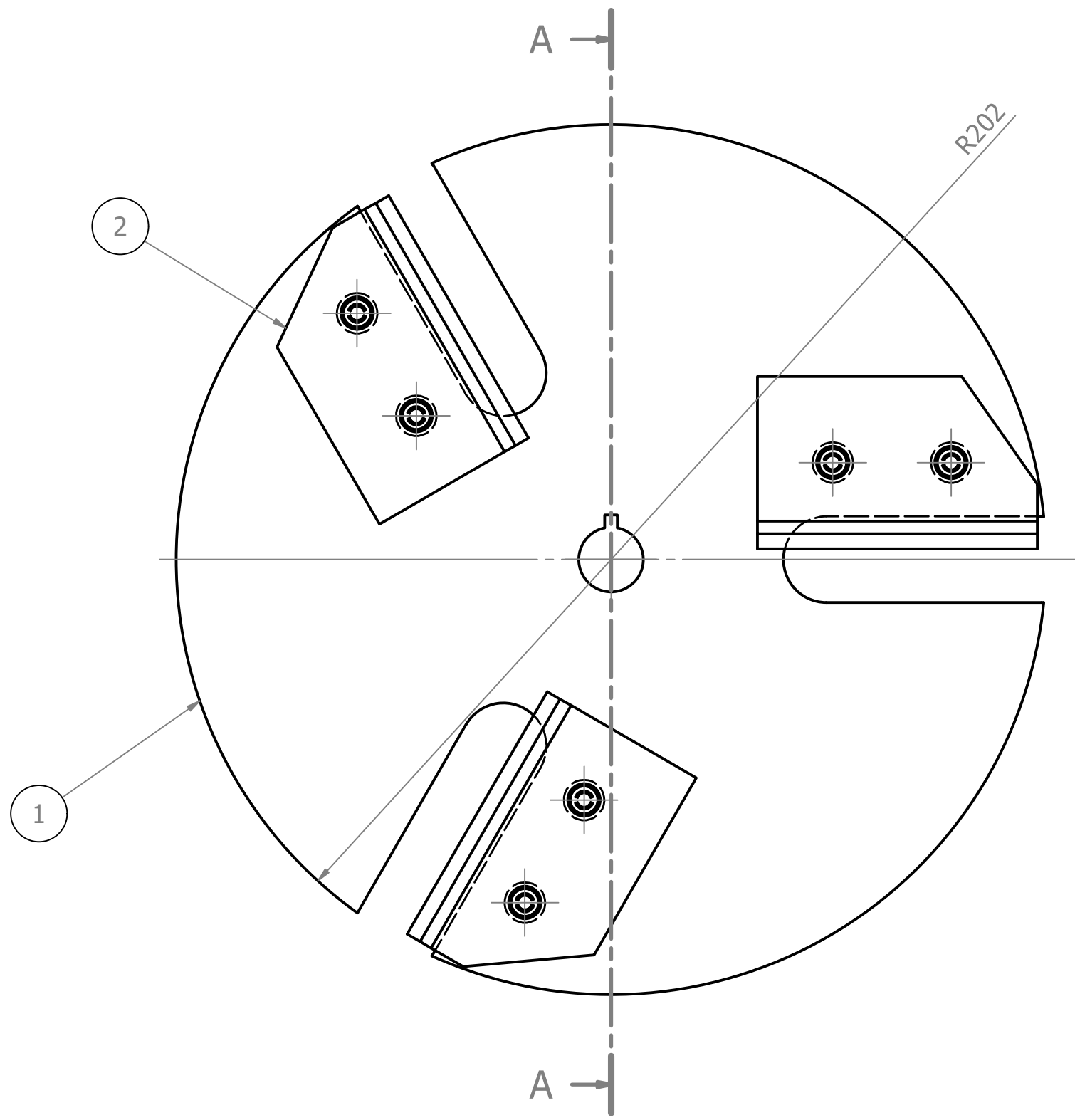
|     |       |
|-----|-------|
| D10 | +0,10 |
|     | +0,04 |

|    |       |
|----|-------|
| H7 | +0.03 |
|    | 0     |

|                 |            |             |                                 |                       |
|-----------------|------------|-------------|---------------------------------|-----------------------|
| TRAT. TÉRMICO:  | NINGUNO    | <b>EPN</b>  | FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA |                       |
| RECUBRIMIENTO:  | NINGUNO    |             | DIB.                            | LASLUISA LENIN        |
| MATERIAL:       | TOL. GRAL. | ESCALA:     | DIS.                            | LASLUISA LENIN        |
| ACERO ASTM A 36 | ± 0.1      | 1:1         | REV.                            | Ing. WILSON GUACHAMIN |
| <b>MANZANA</b>  |            | CÓDIGO:     | FECHA:                          |                       |
|                 |            | FIM-MPT-605 | 25/8/22                         |                       |

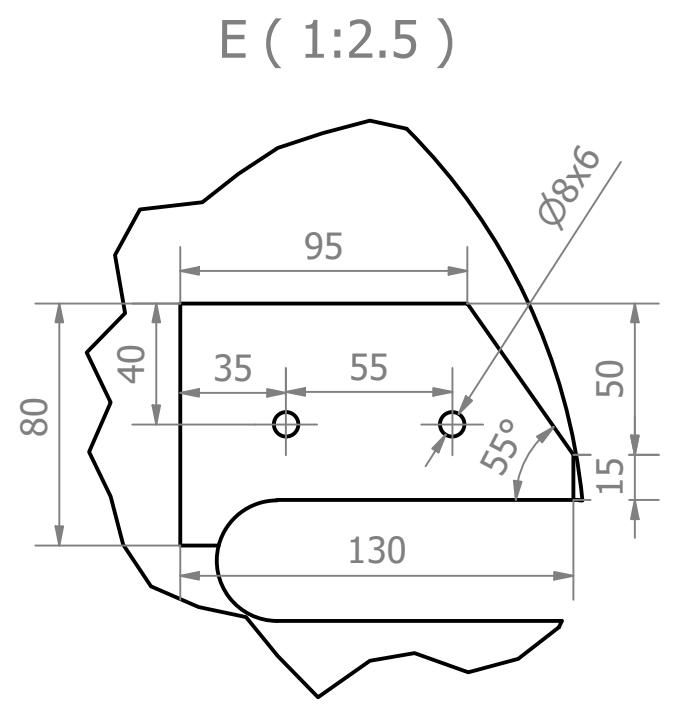
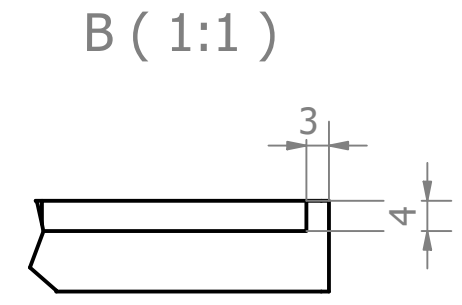
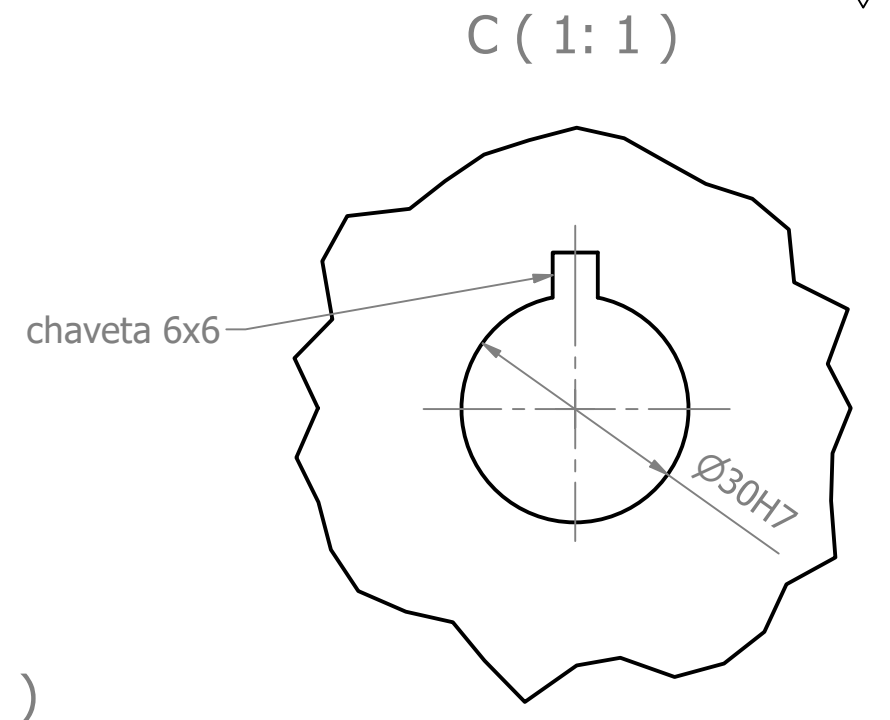
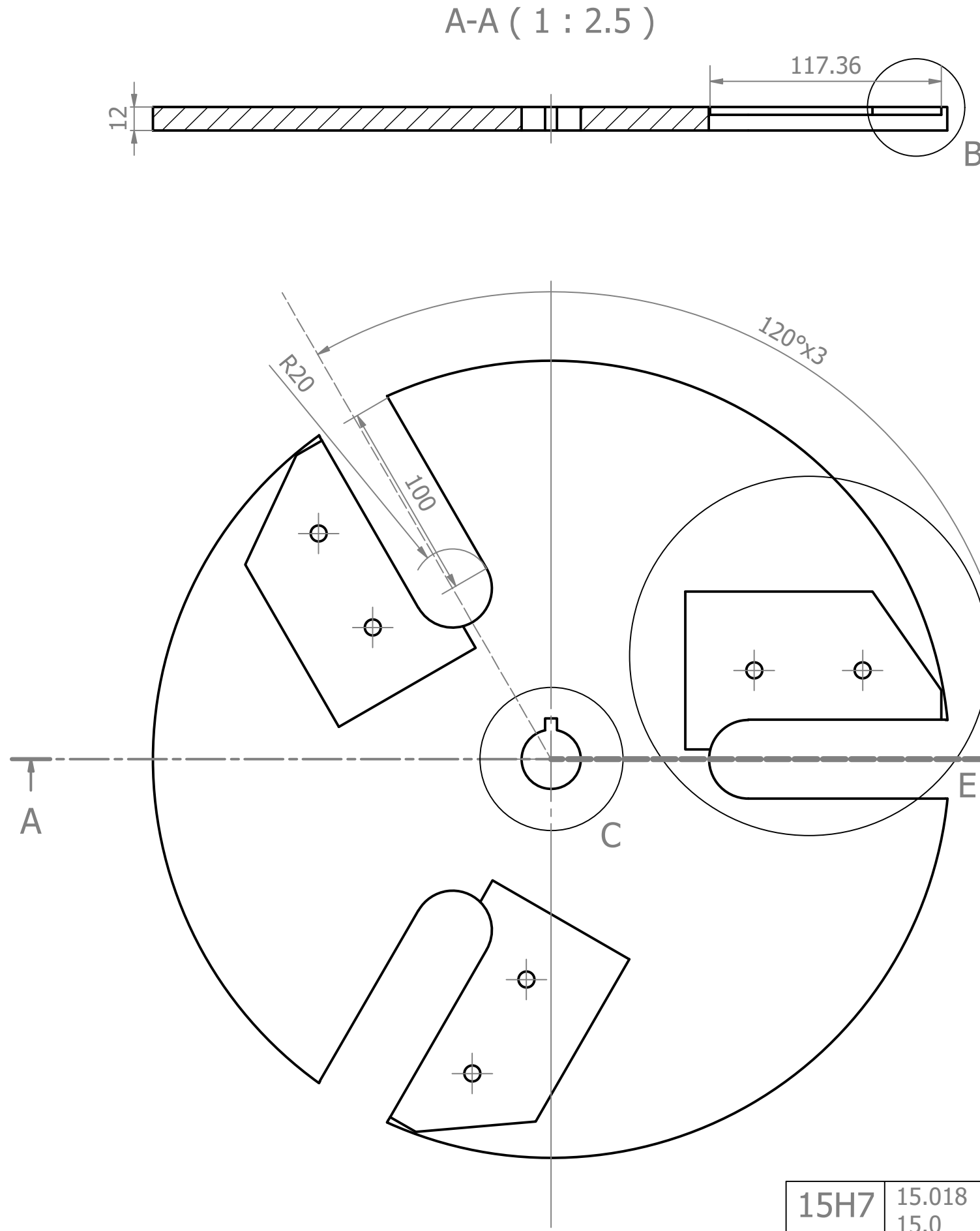


A-A ( 1 : 2.5 )



| 5  | Perno hexagonal         | DIN 933         | 6     | Acero Inoxidable | M8X1.5x6      |
|----|-------------------------|-----------------|-------|------------------|---------------|
| 4  | Tuerca hexagonal        | ISO 4032        | 6     | Acero Inoxidable | M8X1.5        |
| 3  | Arandela Planas         | ISO 7089        | 6     | Acero Inoxidable | M8            |
| 2  | Cuchilla                | FIM-MPT-702     | 3     | Acero AISI-304   |               |
| 1  | Volante porta cuchillas | FIM-MPT-701     | 1     | Acero AISI-304   |               |
| N° | DESCRIPCIÓN             | PLANO y/o NORMA | CANT. | MATERIAL         | OBSERVACIONES |

|                          |                                    |      |                       |                        |
|--------------------------|------------------------------------|------|-----------------------|------------------------|
| <b>EPN</b>               | FACULTAD DE INGENIERÍA<br>MECÁNICA | DIB. | TAPIA ALVARO          | ESCALA:<br>1:2.5       |
|                          |                                    | DIS. | TAPIA ALVARO          |                        |
|                          |                                    | REV. | Ing. WILSON GUACHAMIN |                        |
| <b>SISTEMA DE PICADO</b> |                                    |      |                       | CÓDIGO:<br>FIM-MPT-700 |
|                          |                                    |      |                       | FECHA:<br>20/8/2022    |

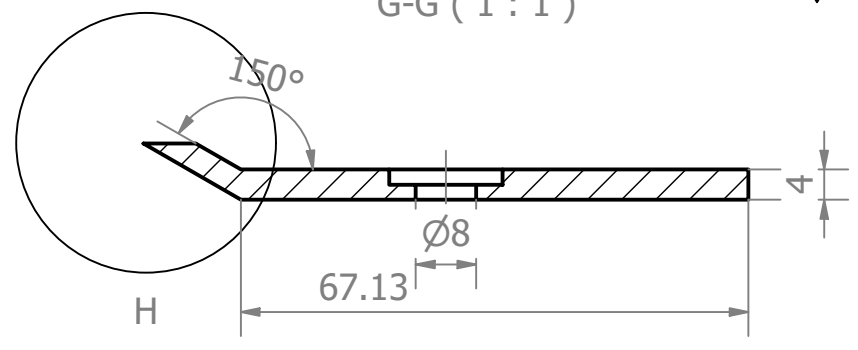


15H7 15.018  
15.0

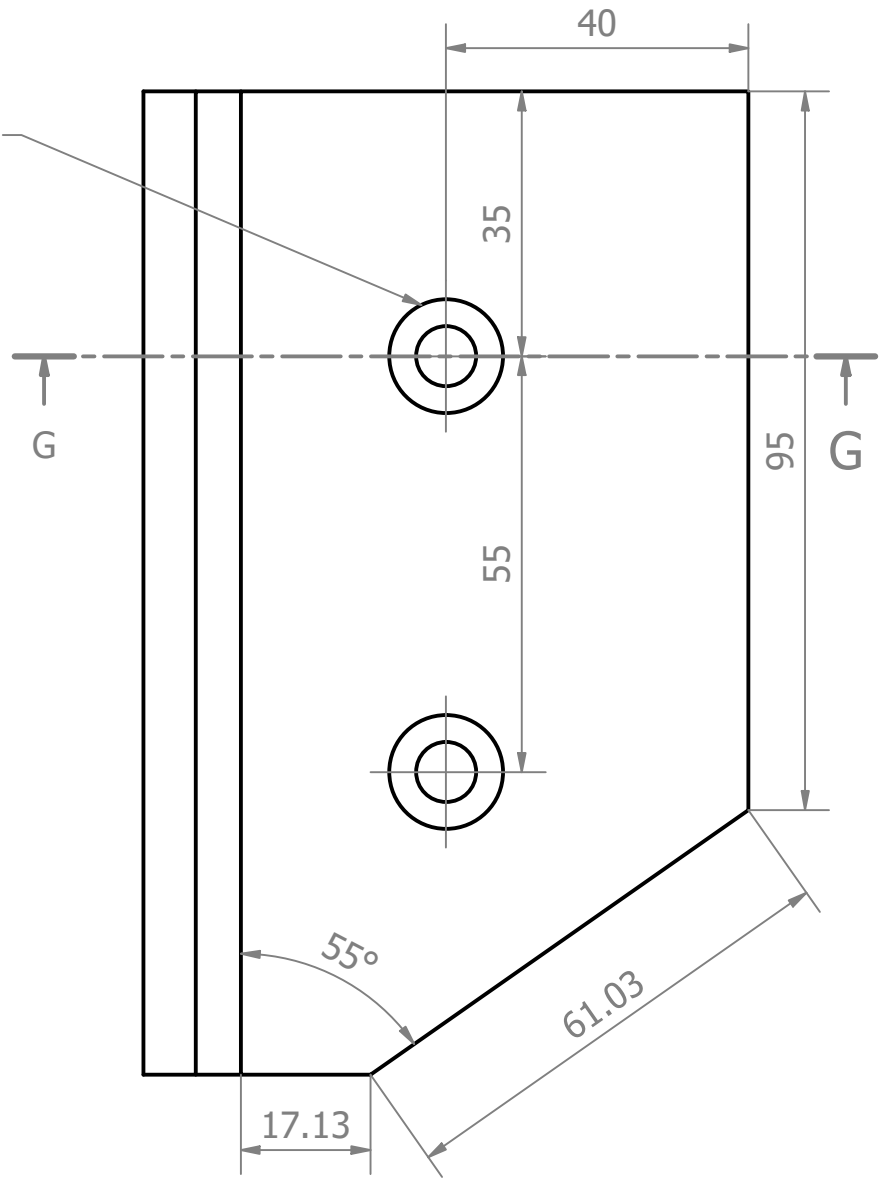
|                         |                |            |                                 |              |                       |
|-------------------------|----------------|------------|---------------------------------|--------------|-----------------------|
| TRAT. TÉRMICO:          | Ninguno        | <b>EPN</b> | FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA |              |                       |
| RECUBRIMIENTO:          | Ninguno        |            | DIB.                            | TAPIA ALVARO |                       |
| MATERIAL:               | Acero AISI-304 | TOL. GRAL. | ESCALA:                         | DIS.         | TAPIA ALVARO          |
|                         |                | ±0.5       | 1:2.5                           | REV.         | Ing. WILSON GUACHAMIN |
| VOLANTE PORTA CUCHILLAS |                |            | CÓDIGO:                         | FECHA:       |                       |
|                         |                |            | FIM-MPT-701                     | 20/8/2022    |                       |

N9

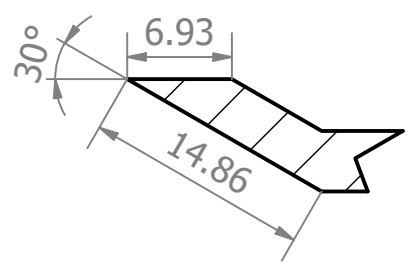
G-G (1:1)



Ø8 L15 ∇2 X2

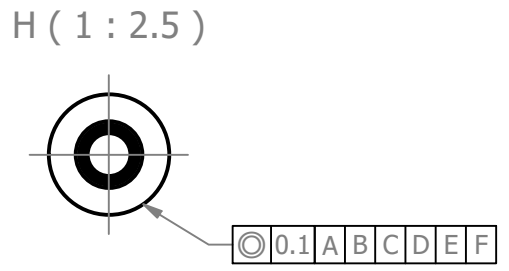
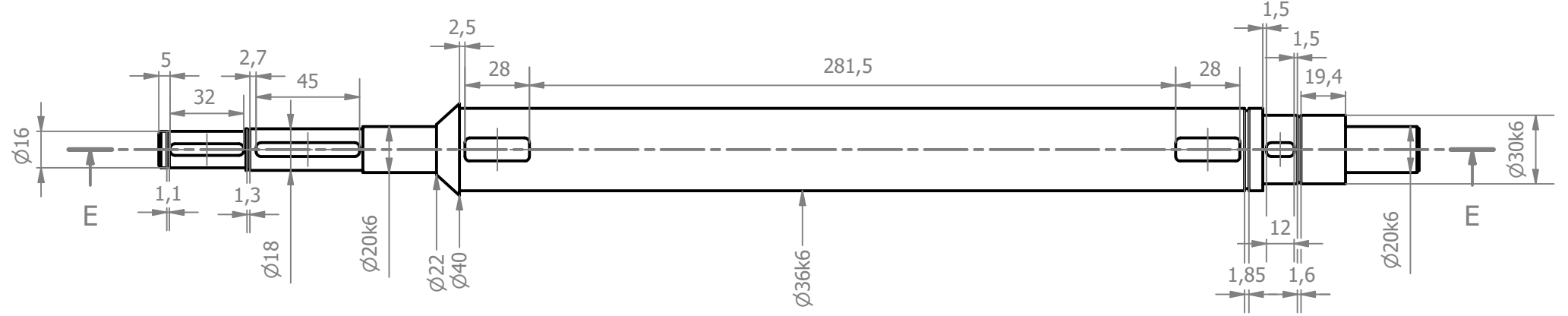
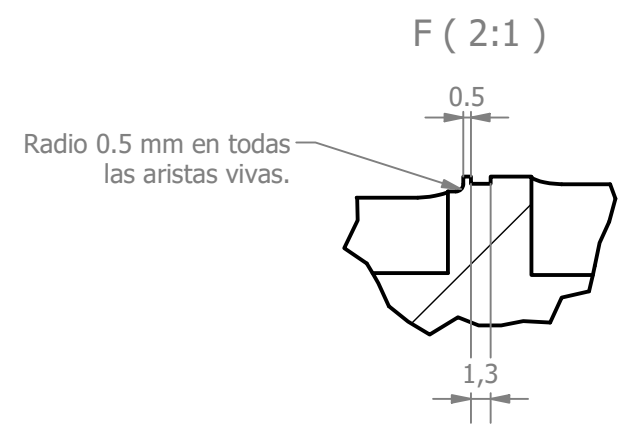
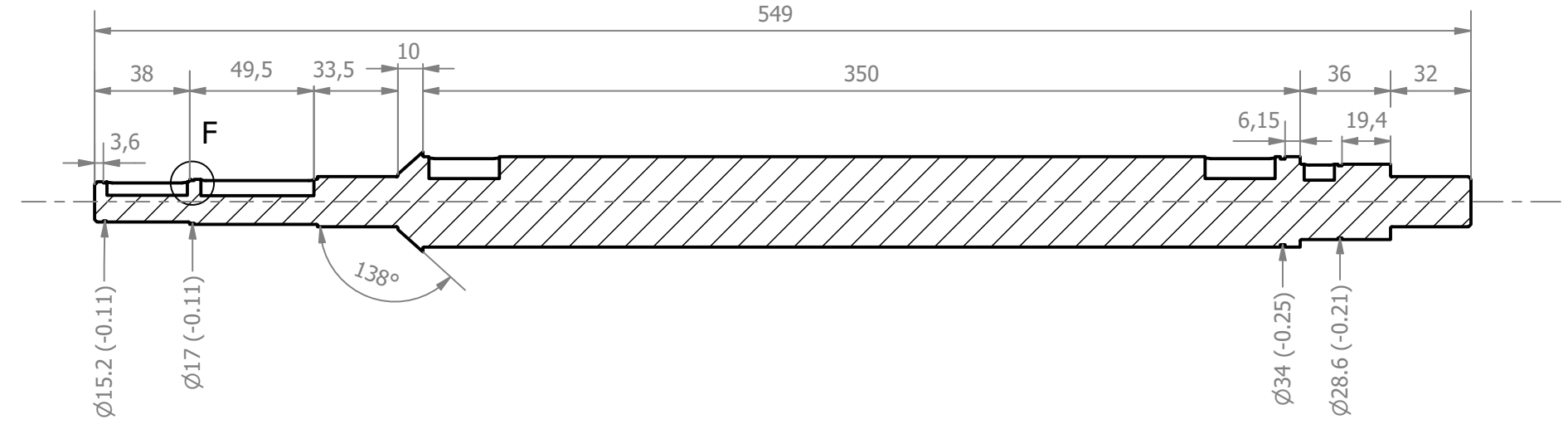
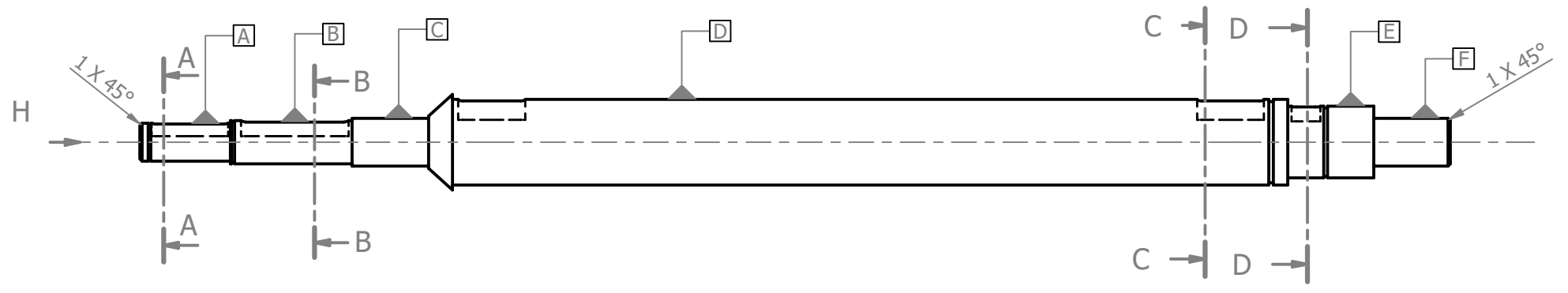
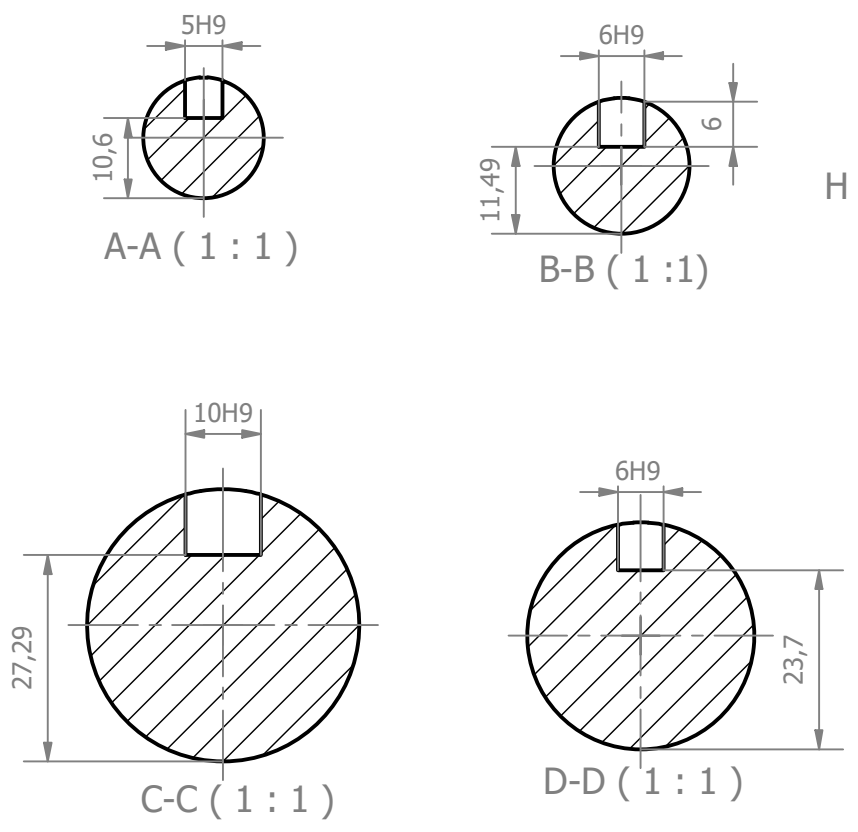


H (2:1)



Nota:  
Para el tratamiento térmico, se aplica templado en toda la pieza y revenido únicamente en la punta de la cuchilla.

|                 |                     |            |                                 |              |             |        |                       |
|-----------------|---------------------|------------|---------------------------------|--------------|-------------|--------|-----------------------|
| TRAT. TÉRMICO:  | Templado - Revenido | <b>EPN</b> | FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA |              |             |        |                       |
| RECUBRIMIENTO:  | Ninguno             |            | DIB.                            | TAPIA ALVARO |             |        |                       |
| MATERIAL:       | Acero AISI-304      | TOL. GRAL. | ±0.5                            | ESCALA:      | 1:1         | DIS.   | TAPIA ALVARO          |
|                 |                     |            |                                 |              |             | REV.   | Ing. WILSON GUACHAMIN |
| <b>CUCHILLA</b> |                     |            |                                 | CÓDIGO:      | FIM-MPT-702 | FECHA: | 20/8/2022             |



|      |                  |
|------|------------------|
| 5H9  | 5.03<br>5.0      |
| 6H9  | 6.03<br>6.0      |
| 10H9 | 10.03<br>10.0    |
| 20k6 | 20.012<br>20.001 |
| 30k6 | 30.012<br>30.001 |
| 36k6 | 36.012<br>36.001 |

NOTA:  
Eliminar aristas vivas radio 0.5 mm.  
Radio chaveteros 2 mm.

|                             |                 |            |                                 |              |                       |        |              |
|-----------------------------|-----------------|------------|---------------------------------|--------------|-----------------------|--------|--------------|
| TRAT. TÉRMICO:              | Ninguno         | <b>EPN</b> | FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA |              |                       |        |              |
| RECUBRIMIENTO:              | Ninguno         |            | DIB.                            | TAPIA ALVARO |                       |        |              |
| MATERIAL:                   | ACERO AISI-1045 | TOL. GRAL. | ±0.1                            | ESCALA:      | 1:2.5                 | DIS.   | TAPIA ALVARO |
|                             |                 |            |                                 | REV.         | Ing. WILSON GUACHAMIN |        |              |
| <b>EJE MÁQUINA PICADORA</b> |                 |            |                                 | CÓDIGO:      | <b>FIM-MPT-800</b>    | FECHA: | 21/6/2022    |