

REINGENIERÍA DE UNA MÁQUINA TRITURADORA DE PLÁSTICO PARA  
LA FABRICACIÓN DE LADRILLOS ECOLÓGICOS EN LA UNIVERSIDAD SANTO  
TOMÁS TUNJA



JHONNY ANDRÉS PAVA MEDINA  
ANDRÉS FELIPE SAAVEDRA NARANJO

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS  
DIVISIÓN DE ARQUITECTURA E INGENIERÍAS  
TUNJA  
2025

REINGENIERÍA DE UNA MÁQUINA TRITURADORA DE PLÁSTICO PARA  
LA FABRICACIÓN DE LADRILLOS ECOLÓGICOS EN LA UNIVERSIDAD SANTO  
TOMÁS TUNJA

JHONNY ANDRÉS PAVA MEDINA  
ANDRÉS FELIPE SAAVEDRA NARANJO

Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero Mecánica

Directores  
FABIAN LEONARDO HIGUERA SÁNCHEZ  
LUIS FERNANDO ACOSTA JOYA

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS  
DIVISIÓN DE ARQUITECTURA E INGENIERÍAS  
TUNJA  
2025

## **DEDICATORIA**

A Dios, por brindarnos la fuerza y sabiduría en cada paso del camino. A nuestras familias, por su amor incondicional, apoyo constante y por creer en nosotros incluso en los momentos más difíciles. A nuestros amigos y compañeros, por su compañía, ánimo y palabras de aliento durante el desarrollo de este proyecto.

Y a todas aquellas personas que, directa o indirectamente, contribuyeron con su tiempo, conocimiento y motivación para hacer posible este logro.

## **AGRADECIMIENTOS**

En primer lugar, queremos agradecer al Señor Luis Moreno por permitirnos el espacio y las diferentes herramientas necesarias para la realización de este proyecto; al Ingeniero Luis Fernando Acosta por su guía, orientación y valiosos aportes durante el desarrollo del proyecto. Finalmente, agradecemos a la Universidad Santo Tomás por brindarnos la oportunidad de llevar a cabo este proyecto.

## CONTENIDO

|                                                                 |    |
|-----------------------------------------------------------------|----|
| LISTA DE TABLAS .....                                           | 7  |
| LISTA DE FIGURAS.....                                           | 8  |
| RESUMEN.....                                                    | 9  |
| ABSTRACT .....                                                  | 10 |
| 1. INTRODUCCIÓN .....                                           | 11 |
| 1.1. Descripción del problema.....                              | 13 |
| 1.2. Justificación del problema .....                           | 13 |
| 1.3. OBJETIVOS .....                                            | 14 |
| 1.3.1. Objetivo general .....                                   | 14 |
| 1.3.2. Objetivos específicos.....                               | 14 |
| 2. MARCO HISTÓRICO .....                                        | 15 |
| 3. MARCO TEÓRICO.....                                           | 17 |
| 4. MARCO CONCEPTUAL.....                                        | 24 |
| 5. MARCO LEGAL .....                                            | 27 |
| 6. MARCO REFERENCIAL .....                                      | 29 |
| 7. MARCO METODOLÓGICO .....                                     | 31 |
| 7.1. Revisión bibliográfica y análisis del estado del arte..... | 31 |
| 7.2. Diagnóstico técnico del sistema existente .....            | 32 |
| 7.3. Rediseño mecánico y análisis computacional .....           | 34 |
| 7.4. Selección de engranajes .....                              | 48 |

|        |                                                            |    |
|--------|------------------------------------------------------------|----|
| 7.5.   | Selección, cálculo de poleas y correa de transmisión ..... | 50 |
| 7.6.   | Validación de componentes mediante simulaciones .....      | 53 |
| 7.6.3. | Pruebas funcionales y validación experimental .....        | 56 |
| 8.     | MANEJO Y OPERACIÓN DE LA MÁQUINA TRITURADORA .....         | 57 |
| 9.     | PLAN DE MANTENIMIENTO .....                                | 58 |
| 10.    | PRESUPUESTO .....                                          | 59 |
| 11.    | RESULTADOS .....                                           | 60 |
| a.     | Sistema de Transmisión .....                               | 60 |
| b.     | Cuchillas Trituradoras .....                               | 60 |
| 12.    | CONCLUSIONES .....                                         | 62 |
| 13.    | RECOMENDACIONES.....                                       | 63 |
| 14.    | BIBLIOGRAFÍA.....                                          | 64 |
| 15.    | ANEXOS .....                                               | 66 |

## LISTA DE TABLAS

|                                                    |    |
|----------------------------------------------------|----|
| Tabla 1.Propiedades mecánicas AISI 1020 -----      | 36 |
| Tabla 2.Propiedades mecánicas ASTM A36. -----      | 36 |
| Tabla 3.Propiedades mecánicas del PET. -----       | 36 |
| Tabla 4.Propiedades del eje.-----                  | 39 |
| Tabla 5.Propiedades separadores-----               | 40 |
| Tabla 6. Propiedades cuchillas. -----              | 40 |
| Tabla 7.Cargas y soportes del eje -----            | 42 |
| Tabla 8.Plan de Mantenimiento Trituradora PET----- | 58 |
| Tabla 9.Presupuesto -----                          | 59 |

## LISTA DE FIGURAS

|                                                                                            |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1. Diagrama de proceso reingeniería                                                 | 17 |
| Figura 2. Descripción del PET                                                              | 20 |
| Figura 3. Estado original de la máquina triturado de la facultad de ingeniería<br>mecánica | 23 |
| Figura 4. Deficiencias en la máquina trituradora de la facultad de ingeniería<br>mecánica  | 25 |
| Figura 5. Diseño CAD en Inventor de los componentes de la maquina<br>trituradora           | 27 |
| Figura 6. Simulación de datos en Inventor.                                                 | 29 |
| Figura 7. Planos de trituradora de plástico                                                | 30 |
| Figura 8. Mecanizado de chumacera.                                                         | 31 |
| Figura 9. Construcción de paredes de la chumacera.                                         | 32 |
| Figura 10. Descripción de perfiles                                                         | 32 |
| Figura 11. Diseño terminado de la máquina trituradora (CAMBIAR)                            | 33 |



## **RESUMEN**

El proyecto consiste en la reingeniería integral de una máquina trituradora de plástico reciclado de la Universidad Santo Tomás, seccional Tunja. A partir del diagnóstico inicial se identificaron fallas mecánicas y estructurales como desalineación de poleas, engranajes sin lubricación, cuchillas ineficientes, estructura inestable y deficiente disposición del sistema eléctrico y de rodamientos.

La intervención incluyó el rediseño del sistema de transmisión y corte, el refuerzo estructural, la reubicación del sistema eléctrico y la implementación de protecciones para garantizar un funcionamiento seguro y eficiente.

El resultado fue una máquina completamente operativa, con mejor desempeño mecánico y estabilidad estructural, que cumple con los parámetros funcionales de trituración definidos en el proyecto.

**PALABRAS CLAVE:** MECÁNICA, MEJORA, REINGENIERÍA, SOSTENIBILIDAD

## **ABSTRACT**

The project consists of the comprehensive reengineering of a recycled plastic shredder at the Tunja campus of Santo Tomás University. The initial diagnosis identified mechanical and structural faults such as misaligned pulleys, unlubricated gears, inefficient blades, an unstable structure, and poor layout of the electrical and bearing systems.

The intervention included the redesign of the transmission and cutting system, structural reinforcement, relocation of the electrical system, and implementation of protections to ensure safe and efficient operation.

The result was a fully operational machine with improved mechanical performance and structural stability that meets the functional shredding parameters defined in the project.

**KEY WORDS:** MECHANICS, IMPROVEMENT, REENGINEERING, SUSTAINABILITY

## **1. INTRODUCCIÓN**

En las últimas décadas, el incremento en la producción y consumo de plásticos ha generado un reto considerable para la ingeniería moderna, particularmente en el desarrollo de tecnologías que permitan su procesamiento y aprovechamiento eficiente. Ante esta problemática, la Universidad Santo Tomás, seccional Tunja, impulsó un proyecto orientado a la fabricación de ladrillos ecológicos a partir de plásticos reciclados, incorporando procesos de trituración y transformación de materiales.

Durante la etapa inicial del proyecto, se encontró que la máquina trituradora destinada al proceso de trituración no se encontraba operativa, presentando un estado general de inactividad debido a múltiples fallas mecánicas y estructurales. El diagnóstico técnico permitió identificar que la máquina tenía problemas de desalineación en las poleas, engranajes sin lubricación, cuchillas ineficientes, vibraciones por montaje incorrecto de los rodamientos y una estructura inestable que comprometía su seguridad. Además, se evidenció que el sistema eléctrico no contaba con un acceso seguro ni con protecciones adecuadas para el operario, lo que impedía su uso confiable dentro del entorno académico.

Frente a este escenario, se planteó una reingeniería integral orientada a restablecer la operatividad de la máquina mediante el rediseño de los sistemas de corte, transmisión y soporte estructural, así como la implementación de protecciones y adecuaciones eléctricas. El proceso se basó en principios de diseño mecánico, análisis estructural y optimización de sistemas, aplicando criterios técnicos que garantizan un mejor desempeño, seguridad y durabilidad del equipo.

De esta manera, el proyecto no solo permitió recuperar la funcionalidad del sistema, sino que también se consolidó como una experiencia práctica que fortaleció la aplicación de los conocimientos adquiridos en el programa de Ingeniería Mecánica, especialmente en las áreas de diseño, análisis y reingeniería de maquinaria.

### **1.1. Descripción del problema**

Se identificó que, en el laboratorio de la Facultad de Ingeniería Mecánica de la Universidad Santo Tomás, seccional Tunja, existe una máquina trituradora de plástico que no ha podido ser implementada ni utilizada para el procesamiento del material. La inoperatividad del equipo se debe a múltiples fallas mecánicas y estructurales que impiden obtener el plástico en trozos de menor tamaño, condición necesaria para su uso en la fabricación de ladrillos ecológicos a base de PET.

### **1.2. Justificación del problema**

Con base en el análisis realizado y las problemáticas identificadas, se determinó la necesidad de aplicar un proceso de reingeniería mecánica integral que permita restaurar y optimizar el desempeño funcional de la máquina trituradora de plástico. Esta intervención busca rediseñar los sistemas de transmisión de potencia y corte, con el propósito de mejorar la eficiencia, la calidad del triturado y la confiabilidad operativa del equipo.

Además de su aporte técnico, el proyecto contribuye indirectamente a la gestión responsable de los residuos plásticos, ya que permite reducir su tamaño y facilitar su manejo, reutilización o incorporación en procesos productivos como la fabricación de ladrillos ecológicos.

Finalmente, esta iniciativa promueve el desarrollo de competencias prácticas en los estudiantes de Ingeniería Mecánica, fortaleciendo su capacidad para aplicar principios de diseño, análisis y reingeniería en equipos reales del laboratorio, al tiempo que fomenta la recuperación y modernización de maquinaria obsoleta dentro de la facultad.

## **1.3.OBJETIVOS**

### **1.3.1. Objetivo general**

Desarrollar la reingeniería de una máquina trituradora de plástico, optimizando el sistema de corte, estructura y transmisión.

### **1.3.2. Objetivos específicos**

- Evaluar las condiciones actuales de la máquina trituradora de plástico existente y proponer alternativas de mejora.
- Modelar, diseñar y construir un nuevo sistema de corte, estructura y transmisión según la alternativa seleccionada.
- Validar e implementar el nuevo sistema mejorado y elaborar un manual básico de uso y mantenimiento.

## **2. MARCO HISTÓRICO**

Uno de los problemas más trascendentales a nivel global y a lo largo del tiempo ha sido el manejo de los residuos inorgánicos (plásticos, vidrio y metales), esto ha traído consigo la contaminación ambiental, la cual afecta a los seres vivos y a la atmósfera en general. El plástico PET, por ejemplo, tarda aproximadamente de 100 a 1000 años en degradarse completamente. A partir de lo anterior, se reconoce que el término conocido como reciclaje, nace aproximadamente en el siglo 400. A.C., es decir, que el ser humano desde tiempos remotos utilizaba elementos de la naturaleza para crear utensilios y demás herramientas para el uso doméstico y diario. Sin embargo, a través de la evolución de los seres humanos y de las diferentes revoluciones que se presentaron a lo largo de la historia, se empezaron a implementar una gran cantidad de productos plásticos gracias a su versatilidad, factibilidad y facilidad de uso.

Esto hizo que aumentara el uso del plástico PET y consigo aumentará la contaminación ambiental. Para reducir dicha contaminación se pensó en una alternativa eficaz para la reducción del material, la opción más efectiva evolucionó y se adoptó a partir de maquinaria como trituradoras que se utilizaban para otro tipo de materiales, esta trituración tiene sus raíces en el siglo XIX, inicialmente aplicada en la minería para fragmentar rocas y minerales. La primera trituradora de piedra fue patentada por Eli Whitney Blake en 1858, diseñando la maquinaria para triturar piedra a partir de mandíbulas tipo Blake, crucial para la construcción de carreteras y marcando un hito en la ingeniería mecánica.

En cuanto a las primeras trituradoras de papel fueron diseñadas y patentadas según la Voz de Galicia, por Abbot Augustus Low en 1908 con el proyecto “waste-paper receptacle”. Así, se fueron adoptando y diseñando las nuevas maquinarias para las trituradoras de plástico, a fin de solucionar las nuevas necesidades específicas como parte del proceso de reciclaje importante para los últimos años.



### **3. MARCO TEÓRICO**

El desarrollo de este proyecto se fundamenta en los principios teóricos y conceptuales de la reingeniería mecánica, disciplina orientada al rediseño y optimización de sistemas o equipos existentes con el propósito de mejorar su desempeño funcional, fiabilidad, seguridad y eficiencia operativa. En este contexto, el marco teórico proporciona la base conceptual que sustenta el proceso de análisis, rediseño, modelado y validación de una máquina trituradora de plástico originalmente inoperante, perteneciente a la Facultad de Ingeniería Mecánica de la Universidad Santo Tomás, seccional Tunja.

La reingeniería aplicada a sistemas mecánicos se entiende como un proceso sistemático de mejora técnica que implica evaluar el estado actual del equipo, identificar deficiencias funcionales y aplicar criterios de rediseño y optimización basados en fundamentos de la ingeniería. Esta práctica incorpora herramientas como el diseño asistido por computador (CAD), el análisis estructural, la simulación de esfuerzos y la validación experimental, orientadas a garantizar la operatividad del sistema bajo condiciones reales de trabajo.

De acuerdo con Mera Romo et al. (2023), la reingeniería aplicada en entornos educativos y tecnológicos también impulsa la modernización funcional y la optimización de sistemas existentes, integrando criterios técnicos y formativos. Este enfoque evidencia que la reingeniería no se limita al ámbito industrial, sino que también posee un valor pedagógico significativo, al permitir que los estudiantes apliquen metodologías reales de diagnóstico, rediseño y validación técnica. En este sentido, los proyectos de reingeniería en contextos académicos fortalecen las

competencias profesionales, fomentando el aprendizaje experiencial y la capacidad de aplicar conocimientos teóricos a la resolución de problemas reales.

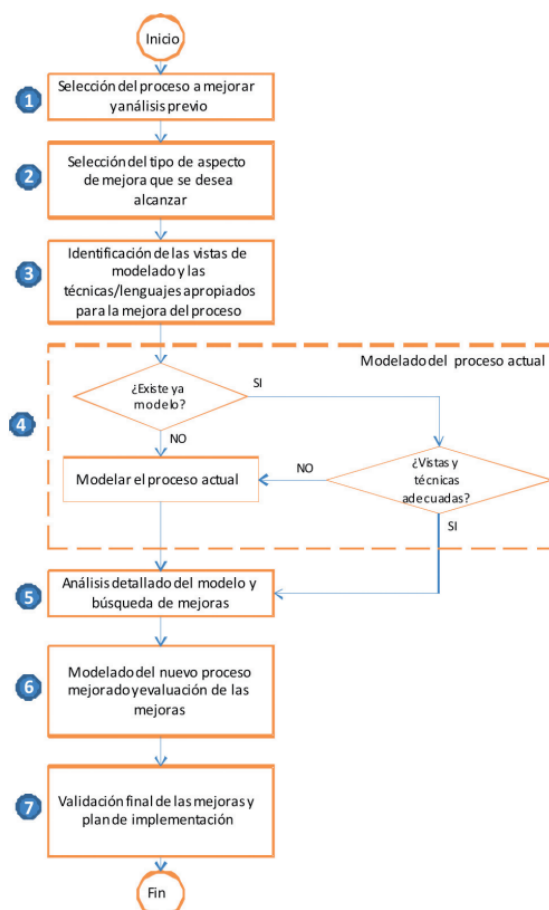
Desde el punto de vista conceptual, la reingeniería de equipos se apoya en los principios del diseño mecánico, la transmisión de potencia y la dinámica de máquinas. El diseño mecánico, según Budynas y Nisbett (2012), busca desarrollar componentes capaces de soportar las cargas previstas con márgenes de seguridad adecuados, considerando variables como el material, la geometría, la fricción, el desgaste y la fatiga. En el caso de las máquinas trituradoras, estos factores resultan críticos debido a las elevadas fuerzas cortantes y torsionales que se generan durante el proceso de trituración de plásticos reciclados.

La transmisión de potencia comprende el conjunto de elementos encargados de transferir energía mecánica desde la fuente motriz hasta el mecanismo de corte. Entre estos se incluyen poleas, correas, engranajes, ejes y rodamientos, cuyo diseño, selección y alineación adecuada garantizan una transmisión eficiente y segura. Las fallas por desalineación, tensión incorrecta o desgaste prematuro son causas frecuentes de ineficiencia y vibraciones excesivas, tal como se evidenció en la máquina objeto de estudio, donde dichos factores afectaban directamente el desempeño operativo.

Otro componente esencial dentro del marco conceptual es la seguridad industrial, dado que la reingeniería de maquinaria debe garantizar condiciones de operación seguras para el usuario. El rediseño estructural y el montaje deben prever cubiertas protectoras, botoneras accesibles y sistemas de parada de emergencia, en cumplimiento con las normas internacionales de seguridad aplicables al diseño de máquinas. Este enfoque no solo protege al operario, sino que incrementa la confiabilidad del sistema y reduce la probabilidad de fallas por intervención humana.

La aplicación de la reingeniería en proyectos académicos fomenta el aprendizaje práctico de los estudiantes de ingeniería, al integrar conocimientos de mecánica, materiales, manufactura, control y mantenimiento industrial en contextos reales. Este enfoque promueve la adquisición de competencias en diagnóstico de fallas, cálculo de potencia y torque, selección de materiales y evaluación de desempeño mecánico. De esta manera, los proyectos universitarios de reingeniería fortalecen la aplicación práctica del conocimiento y la capacidad para diseñar, implementar y validar soluciones técnicas reales, alineándose con la formación profesional del ingeniero mecánico.

**Figura 1. Diagrama de proceso reingeniería**



Fuente: Alarcón Valero et al. (2012)

La reingeniería de procesos, entendida como una metodología de mejora continua, debe caracterizarse por su agilidad, simplicidad y capacidad para apoyarse en el modelado funcional y estructural de los sistemas, con el fin de identificar oportunidades de optimización. Según Alarcón Valero et al. (2012), el análisis del modelo del sistema permite detectar puntos críticos, reducir tiempos de rediseño y optimizar costos Ver figura 1.

Este enfoque resulta plenamente aplicable en la ingeniería mecánica, donde el modelado de una máquina facilita la evaluación técnica de los componentes, la visualización de los flujos de potencia y la detección de ineficiencias, lo cual favorece la toma de decisiones orientadas al rediseño y a la mejora integral del desempeño operativo.

En consecuencia, la reingeniería mecánica no se limita al rediseño de piezas o componentes individuales, sino que persigue la optimización integral del sistema productivo, bajo criterios de coordinación, eficiencia y control de los procesos. Según Errasti-Opacua et al. (2011), la integración de subsistemas mediante metodologías estructuradas permite incrementar la calidad y reducir errores operativos.

Este tipo de enfoques resalta la importancia de rediseñar las interrelaciones entre los componentes mecánicos, los flujos de energía y los elementos de control, lo cual guarda estrecha relación con el proceso de reingeniería implementado en la máquina trituradora, donde la eficiencia del sistema depende de la interacción coherente entre la transmisión, el mecanismo de corte, la estructura y el sistema eléctrico de control.

La simulación de procesos representa una herramienta clave dentro de la reingeniería mecánica, ya que permite reproducir el comportamiento de un sistema, analizar su rendimiento y validar posibles mejoras antes de su implementación. Según

Gómez Cabrera (2010), la simulación facilita la identificación de ineficiencias, la optimización de recursos y la reducción de tiempos y costos en las fases de rediseño, convirtiéndose en un instrumento esencial para la validación técnica y funcional de los equipos.

En esta línea, los análisis por elementos finitos (FEA) constituyen una de las técnicas más relevantes para evaluar el comportamiento estructural, dinámico y vibracional de los componentes sometidos a cargas cíclicas. Estas herramientas permiten determinar los esfuerzos, deformaciones y factores de seguridad, asegurando la confiabilidad del sistema antes de su fabricación. Investigaciones recientes han validado el desempeño de trituradoras para polímeros PET mediante simulaciones estáticas, modales y transitorias, demostrando que la correcta definición de condiciones de frontera, materiales y geometría garantiza la integridad estructural y una vida útil prolongada del equipo. Además, el uso de materiales resistentes al desgaste ha sido identificado como una mejora significativa para incrementar la durabilidad y facilitar el mantenimiento de las herramientas de corte Serna Landívar (2023).

Estudios complementarios, como el de Serna-Landívar et al. (2023), desarrollaron una trituradora orientada a la sostenibilidad urbana, modelando el eje de transmisión en SolidWorks y validándolo mediante análisis estático y de fatiga en ANSYS Workbench. Los resultados mostraron resultados que comprueban la confiabilidad estructural del sistema. Estos hallazgos refuerzan la importancia de aplicar metodologías de ingeniería asistida por computador (CAE) en los proyectos de reingeniería mecánica, ya que permiten anticipar fallas, optimizar el diseño y garantizar la operatividad segura de las máquinas sometidas a cargas variables, como ocurre con las trituradoras de plástico.

La experiencia práctica obtenida en proyectos de reingeniería, como el rediseño de la máquina trituradora de la Universidad Santo Tomás, refleja la aplicabilidad de esta metodología como una herramienta tanto pedagógica como técnica, capaz de transformar equipos ineficientes en sistemas funcionales, seguros y confiables. De este modo, la reingeniería mecánica combina los fundamentos del diseño, la transmisión y la seguridad con un enfoque sistémico de mejora continua, promoviendo la sostenibilidad operativa y la eficiencia en la gestión de los recursos técnicos y materiales.

Por otro lado, los avances en el reciclaje y la valorización del PET triturado complementan la justificación técnica de este proyecto. Un estudio reciente sobre elementos prefabricados mostró que la incorporación de fibras de PET Ver. Figura 2. Descripción del PET, reciclado en mezclas de hormigón puede aumentar la resistencia a compresión frente a mezclas sin PET, al tiempo que promueve la reutilización de materiales y la reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> Valderrama-Ulloa et al. (2021). Estos resultados evidencian el potencial del PET triturado como un insumo funcional para diversas aplicaciones industriales, tanto en el ámbito constructivo como en la fabricación de componentes mecánicos y sistemas experimentales.

**Figura 2. Descripción del PET**

|                                                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|--------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>POLIETILEN<br/>TEREFTALATO<br/><br/>(PET)</b> | Constituido de petróleo crudo, gas y aire, un kilo de PET es 64% de petróleo, 23% de derivados líquidos del gas natural y 13% de aire. A partir del petróleo crudo se extrae el paraxileno y se oxida con el aire para obtener ácido tereftálico. formar el etilenglicol. De la combinación del ácido tereftálico y el etilenglicol se produce el PET |
|--------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

Fuente: Bravo Santana (2017)

En este sentido, el desarrollo de una máquina trituradora eficiente y operativa adquiere un papel estratégico dentro del ciclo de valorización del plástico, al permitir

obtener partículas con tamaño controlado y propiedades homogéneas, adecuadas para procesos de transformación, manufactura o reutilización. Este tipo de innovación tecnológica contribuye directamente a la economía circular y a la sostenibilidad tecnológica, al reducir la dependencia de materia prima virgen y promover la integración del reciclaje dentro de los procesos productivos de la ingeniería moderna.

## **4. MARCO CONCEPTUAL**

### **Plástico**

Seguendo a Gregory, B & Córdova, C. (2002) el plástico es una palabra muy común cuando describimos una gran variedad de materiales sintéticos implementados en la producción de diferentes productos. Estos se clasifican en dos grandes grupos como son: los termoplásticos y los plásticos termoestables. Los primeros están conformados por moléculas poliméricas que cuando alcanzan temperaturas muy altas se convierten en líquidos y después, al enfriarse, cambia su propiedad volviéndose duro, esto hace que este plástico sea más utilizado en el reciclaje. Por otro lado, los plásticos termoestables, son polímeros que se endurecen y no pueden volver a moldearlos o deformarlos.

El plástico es un material el cual debido a sus componentes se utiliza en mayor medida en las industrias, hoy en día se obtiene este material a partir del procesamiento de combustibles fósiles los cuales involucran una explotación de recursos naturales no renovables, lo que aumenta en gran medida el daño ambiental. Además, se estima que la cantidad de residuos del material que permanece en el mar cada año se elevará para el 2014, aumentando a 29 millones de toneladas.

### **Plásticos PET O PETE (tereftalato de polietileno)**

Son aquellos envases los cuales se utilizan para el uso de bebidas como el agua, gaseosas, etc. Se conocen fácilmente ya que en su interior tiene líquidos los cuales no llevan compuestos de alta corrosión o sustancias peligrosas. Este tipo de plástico es uno de los más comerciales en todo el mundo. (Gregory, B. & Córdova, C. 2022)



## **Trituradoras**

Las máquinas trituradoras son aquellas encargadas de poder triturar y reutilizar los diferentes tipos de plásticos para poder después reciclarlos y procesar un nuevo artículo. Cada máquina está capacitada para disminuir el tamaño del plástico. Los residuos que se desean triturar se acopian en la tolva principal de la trituradora y en un solo paso se activa el interruptor para, aunque haga el trabajo requerido sin problema alguno, permitiendo que éste trabajo sea eficiente y rápido. (Gregory, B. & Córdova, C. 2022).

### **Trituradora de cuchillas circular**

Éstas trituradoras de cuchillas según Gregory, B & Córdova, C. (2002) son empleadas en grandes industrias plásticas debido a que son fáciles de operar y su costo de mantenimiento es menor en comparación a otros, pueden existir diferentes modelos de cuchillas que están formadas por un eje central robusto el cual a su vez se conecta a otros ejes que contienen cuchillas girando alrededor de la cámara de trituración; cuando el plástico ingresa a la tolva éste cae hacia las cuchillas donde se cortan en segmentos los plásticos hasta dejarlo homogéneo y a la medida pertinente.

### **Motor trifásico**

Un motor trifásico, según la INESEM Business School, es un motor que utiliza una corriente alterna trifásica para generar movimiento rotatorio. Se caracteriza por utilizar tres bobinas separadas en el estator desplazados entre sí 120 grados eléctricos que se alimentan de manera atrasada, creando un campo magnético giratorio que impulsa el rotor. Este tipo de motor es muy común en aplicaciones

industriales y comerciales debido a su eficiencia y capacidad de generar mayor par motor. Estos motores suelen ser pequeños y manejables, es decir, se pueden ajustar implementando variadores de frecuencia.

## **Engranajes**

Se denomina engranaje al mecanismo empleado para transmitir potencia mecánica entre las diferentes partes de una máquina. Éstos están conformados por dos ruedas dentadas, de las cuales a la mayor se le nombra corona y al menor piñón. Un engranaje se emplea para transferir un movimiento circular mediante el contacto de ruedas dentadas. Una de las prácticas más fundamentales de los engranajes es la transmisión del desplazamiento desde el eje de una fuente de energía, como puede ser un motor de combustión interna o un motor eléctrico, hasta otro eje localizado a una distancia y que ha de ejercer un trabajo (Fundamentos del Knowledge Based Engineering).

### **Engranaje con dientes rectos**

Según Gregory, B & Córdova, C. (2002) estos engranajes son los más utilizados ya que su tipo de mecanizado es más sencillo de emplear y gracias a esto su costo es menor que el resto de los tipos de engranajes. Por otro lado, estos engranajes son más tallados y endurecidos con un tratamiento para conseguir una dureza que no permite que se desgaste y al contrario ayuda al endurecimiento de los dientes.

## **5. MARCO LEGAL**

En esta sección se da una perspectiva de las disposiciones normativas que respaldan la importancia de la reingeniería al sistema de transmisión de una máquina trituradora de plástico en el contexto ambiental desde organismos o entes internacionales como la Organización de las Naciones Unidas (ONU) y las políticas actuales en las que se han concretado normas que identifican la importancia de potencializar el tipo de herramientas para el fortalecimiento de la sostenibilidad ambiental.

### **5.1. Enfoque Organización de las Naciones Unidas (ONU)**

El objetivo 9 de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) resalta la importancia del desarrollo de la industria, innovación e infraestructura ya que estos son “motores fundamentales del crecimiento y desarrollo económico ... Estos avances son esenciales para encontrar soluciones permanentes a los desafíos económicos y ambientales, al igual que la oferta de nuevos empleos y la promoción de la eficiencia energética. Otras formas importantes para facilitar el desarrollo sostenible son la promoción de industrias sostenibles y la inversión en investigación e innovación científicas”.

Por otra parte, el objetivo 12 de los ODS recalcan que “para lograr crecimiento económico y desarrollo sostenible, es urgente reducir la huella ecológica mediante un cambio en los métodos de producción y consumo de bienes y recursos... La gestión eficiente de los recursos naturales compartidos y la forma en que se eliminan los desechos tóxicos y los contaminantes son vitales para lograr este objetivo. También es importante instar a las industrias, los negocios y los consumidores a reciclar y

reducir los desechos, como asimismo apoyar a los países en desarrollo a avanzar hacia patrones sostenibles de consumo para 2030. Es importante reducir a la mitad el desperdicio per cápita de alimentos en el mundo a nivel de comercio minorista y consumidores para crear cadenas de producción y suministro más eficientes. Esto puede aportar a la seguridad alimentaria y llevarnos hacia una economía que utilice los recursos de manera más eficiente.”

## **5.2. Constitución Política de Colombia**

Artículo 79. “Todas las personas tienen derecho a gozar de un ambiente sano. La ley garantizará la participación de la comunidad en las decisiones que puedan afectar. Es deber del Estado proteger la diversidad e integridad del ambiente, conservar las áreas de especial importancia ecológica y fomentar la educación para el logro de estos fines.”

## **5.3. Ley 2232 del 07 de Julio del 2022 “Por la cual se establecen medidas tendientes a la reducción gradual de la producción y consumo de ciertos productos plásticos de un solo uso y se dictan otras disposiciones”**

El objeto principal de ésta ley es “resguardar los derechos fundamentales a la vida, la salud y el goce de un ambiente sano, se establecen medidas orientadas a la reducción de la producción y el consumo de plásticos de un solo uso en el territorio nacional, se dictan disposiciones que permitan su sustitución gradual por alternativas sostenibles y su cierre de ciclos, y se establecen medidas complementarias”

## 6. MARCO REFERENCIAL

El deseo por contribuir en la protección del medio ambiente en especial la reducción y reciclaje del plástico post-consumo a través del diseño, construcción, mejoramientos de máquinas, sistemas y procesos mecánicos aumenta continuamente; gracias a ésta preocupación existen diferentes investigaciones que suman sus esfuerzos a dicha gestión sostenible.

Según Prado et al. (2019) en su artículo titulado “*Construcción de una máquina trituradora de plástico*” se muestra una alternativa de solución a la contaminación producida por los productos no degradables, dando un enfoque cuantitativo experimental realizándose para la región La Libertad (Perú). Los autores elaboraron un prototipo automatizado de una máquina trituradora de plástico, específicamente de tereftalato de polietileno (PET) mediante un software de simulación mecánica-eléctrica promoviendo la innovación tecnológica.

De igual manera, Santillan Valdelamar, et al. (2022) elaboraron el proyecto titulado “*Construcción de una máquina trituradora de plástico*” en México cuyo objetivo fue construir una máquina trituradora de bajo costo, a través del software Solidworks para mejorar los ingresos de las personas dedicadas a la recolección de plástico en la zona del Valle del Mezquital. Se destaca la implementación de la Ingeniería Concurrente en tres fases: ideación, refinamiento e implantación. El costo de la máquina trituradora es 50% más barata que en el mercado. Además, el resultado de la prueba de funcionamiento arrojó que puede triturar 12 kilos de plástico en 1 hora lo que permitirá incrementar en 20% el pago del plástico y mejorar el ingreso de las personas dedicadas a la recolección de este material a la vez que se contribuye con la sostenibilidad ambiental.

Por otro lado, en Bogotá (Colombia), Cavides (2020) desarrolló el proyecto *“Diseño de una máquina trituradora para plástico de tereftalato de polietileno (PET)”* en el cual se resalta la importancia de disminuir las botellas de plástico en los botaderos y calles de la ciudad, a través de la aplicación del diseño de ésta la máquina en empresas de reciclaje, las cuales no contaban con la maquinaria para triturar el PET. El autor ofrece el diseño de la máquina, más no la construcción de la misma. Se destaca la realización de una evaluación financiera que determinó la viabilidad del proyecto, la cual arrojó un resultado positivo demostrando la viabilidad del proyecto.

## 7. MARCO METODOLÓGICO

El desarrollo del proyecto de reingeniería de la máquina trituradora de plástico se llevó a cabo mediante un enfoque experimental, aplicado y secuencial, estructurado en fases que integran el diagnóstico técnico, el rediseño de sistemas, la validación mecánica y la implementación del equipo optimizado. Esta metodología se fundamenta en los principios de la reingeniería mecánica y en el uso de herramientas de ingeniería asistida por computador (CAD) para el análisis, modelado y validación de los componentes rediseñados. Y consta de las siguientes fases:

### 7.1. Revisión bibliográfica y análisis del estado del arte

Esta fase tuvo como propósito establecer el marco teórico y técnico que sustenta el proceso de reingeniería aplicado a sistemas mecánicos de trituración.

Se realizó una revisión bibliográfica en la base de dato indexados Scopus utilizando ecuaciones de búsqueda combinadas con los siguientes operadores booleanos (*“plastic shredder”*, *“mechanical reengineering”*, *“finite element analysis”*, *“PET recycling”*, *“design optimization”*).

El análisis de la literatura permitió identificar los principales avances en el diseño y validación de trituradoras de plástico, las metodologías de simulación estructural y los parámetros críticos de desempeño fuerzas de corte, vibración, factor de seguridad y eficiencia energética.

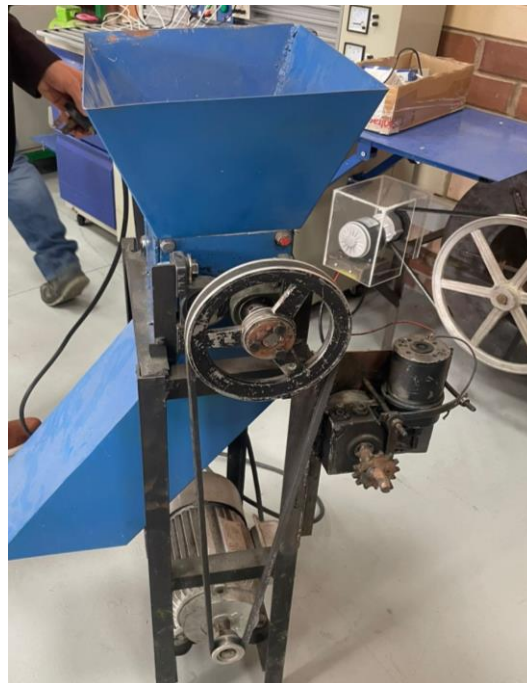
Asimismo, se incluyeron estudios sobre la valorización del PET reciclado en aplicaciones industriales, lo cual fortaleció la justificación del proyecto al evidenciar la importancia de contar con equipos eficientes para el procesamiento de residuos plásticos.

Esta fase permitió consolidar los fundamentos teóricos y metodológicos utilizados en el rediseño, garantizando la coherencia entre los objetivos del proyecto y los lineamientos de la ingeniería mecánica contemporánea.

## **7.2. Diagnóstico técnico del sistema existente**

Se efectuó una evaluación integral de la máquina trituradora perteneciente a la Facultad de Ingeniería Mecánica de la Universidad Santo Tomás, seccional Tunja, identificando las causas que impedían su funcionamiento operativo, verificando las especificaciones técnicas procedimientos de funcionamiento que pueda evidenciar fallos en su rendimiento, teniendo en cuenta la documentación existente de la misma, como los manuales de operación y la base teórica para el diseño de la trituradora.

**Figura 3. Estado original de la máquina triturado de la facultad de ingeniería mecánica**



Fuente: elaboración propia

En base al prospecto de la máquina dispuesta en el laboratorio Ver figura 3., se realiza un análisis, evaluación y posibles correcciones del funcionamiento,



montaje, diseño y acoplamiento de dicha máquina, el diagnóstico incluyó inspecciones visuales, verificación de alineación de poleas y engranajes, revisión de soldaduras estructurales y análisis de las condiciones de las cuchillas y del sistema de transmisión.

Tras el análisis diagnóstico realizado a la máquina trituradora de plástico Ver figura 4., se identificaron diversas fallencias mecánicas, estructurales y de seguridad que comprometían su operatividad. En primer lugar, se evidenció desalineación en el sistema de poleas, lo que ocasionaba una transmisión de potencia ineficiente y pérdida de rendimiento. Asimismo, los engranajes se encontraban expuestos y sin lubricación, generando fricción excesiva, desgaste prematuro y riesgo de fallo mecánico.

En cuanto al sistema de corte, se determinó que las cuchillas carecían de filo y de un diseño geométrico adecuado, impidiendo un proceso de trituración uniforme y eficiente. A nivel estructural, la máquina presentaba una configuración inestable e insegura, debido a que el material del bastidor no ofrecía la rigidez necesaria para las cargas de trabajo previstas. Además, no contaba con protecciones ni cubiertas de seguridad, exponiendo al operario a posibles accidentes durante la operación.

Por otro lado, se identificó que el sistema eléctrico estaba ubicado en una posición de difícil acceso, lo cual representaba un riesgo en caso de emergencia o necesidad de desconexión rápida. Finalmente, se detectó una inadecuada disposición de los rodamientos, lo que provocaba vibraciones, desalineación de los ejes y un incremento del desgaste en los componentes móviles.

**Figura 4. Deficiencias en la máquina trituradora de la facultad de ingeniería mecánica**



Fuente: elaboración propia

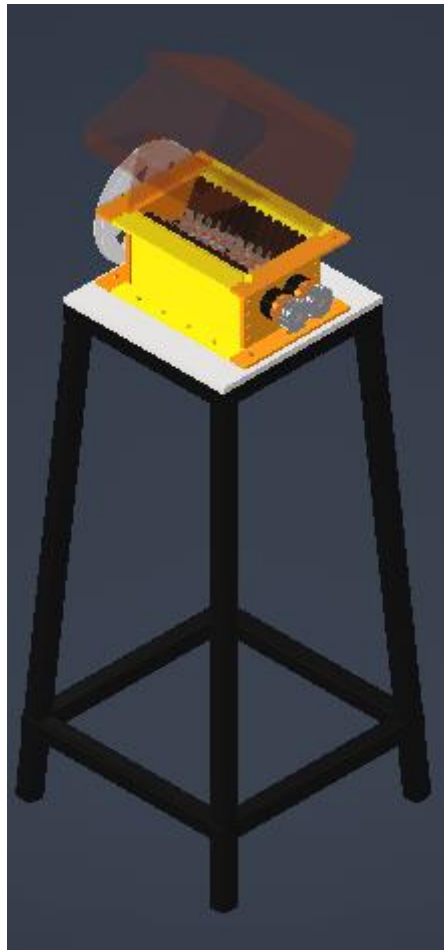
A partir de estos hallazgos, se definieron las variables críticas de rediseño, estableciendo los requerimientos técnicos, de seguridad y desempeño que guiarían las fases posteriores.

### **7.3. Rediseño mecánico y análisis computacional**

Con base en los resultados del diagnóstico y análisis previo, se procedió a desarrollar el rediseño integral de la máquina trituradora de plástico, aplicando los principios del diseño mecánico, la transmisión de potencia y la seguridad industrial.

El proceso inició con la modelación tridimensional mediante software CAD (Autodesk Inventor) Ver figura 5. Diseño en Inventor, donde se elaboró un modelo digital completo del sistema, incorporando los ajustes necesarios para mejorar su desempeño y seguridad. En esta etapa se rediseñaron los componentes principales: sistema de corte, ejes, acoples, bastidor y carcasa protectora, garantizando una configuración estructural más estable, segura y eficiente.

**Figura 5. Diseño CAD en Inventor de los componentes de la máquina trituradora**



Fuente: elaboración propia

La máquina rediseñada quedó conformada por cuatro secciones principales:

- Estructura: soporte principal que asegura la estabilidad del conjunto.
- Caja de cuchillas: donde se genera el proceso de corte del plástico.
- Sistema de transmisión y potencia: encargado de transferir la energía mecánica al mecanismo de corte.
- Tolva o cubierta protectora: elemento de seguridad que evita el contacto directo del operario con el sistema de trituración.

#### **7.3.1. Materiales de construcción**

En la selección de materiales se optó por implementar para los ejes de transmisión acero al carbono 1020, debido a sus propiedades de resistencia, rigidez y durabilidad conforme a las especificaciones técnicas relacionadas en la Tabla 1. La concentración de carbono, comprendida entre 0,25 % y 0,55 %, permite aplicar tratamientos térmicos que incrementan la dureza superficial y prolongan la vida útil de los componentes. Este material fue elegido por su capacidad para soportar esfuerzos de corte, torsión y vibración, garantizando el cumplimiento de los objetivos funcionales del equipo.

**Tabla 1. Propiedades mecánicas AISI 1020**

| Tipo de material | Densidad (Kg/m³) | Módulo de elasticidad | Resistencia a la fluencia | Resistencia de rotura | Resistencia a la tensión |
|------------------|------------------|-----------------------|---------------------------|-----------------------|--------------------------|
| AISI 1020        | 7870 kg/m        | 205000 MPa            | ≈ 350 Mpa                 | 420 – 550 Mpa         | 460 – 550 Mpa            |

Fuente: Ficha Técnica Acero Promecol LTDA (2025)

El acero utilizado en las cuchillas corresponde a un acero ASTM A36, éste contiene propiedades mecánicas que le permiten obtener una gran resistencia a la tracción, buena soldabilidad, alta ductilidad y compresión, además de su fácil acceso en el mercado gracias a su bajo costo a comparación de otros Ver tabla 2.

**Tabla 2. Propiedades mecánicas ASTM A36.**

| Tipo de material | Densidad (Kg/m³) | Ksi | Resistencia a la fluencia | Esfuerzo máximo | Espesor (mm) |
|------------------|------------------|-----|---------------------------|-----------------|--------------|
| ASTM A36         | 7850 kg/m3       | 36  | ≈ 250 Mpa                 | 400 Mpa         | 2-12         |

Fuente: Ficha Técnica Acero Promecol LTDA (2025)

Por otro lado, es importante dar a conocer las propiedades mecánicas del material a procesar, en este caso el PET, esto permite conocer las características del plástico frente a la carga mecánica que se pretende realizar, reconociendo entre otros la resistencia que tiene antes de que ocurra el fallo. Ver Tabla 3.

**Tabla 3. Propiedades mecánicas del PET.**

| Propiedades                 | Valor      | Unidad |
|-----------------------------|------------|--------|
| Densidad                    | 1,37 -1.40 | g/cm3  |
| Resistencia a la tracción   | 50-90      | MPa    |
| Resistencia a la rotura     | 900        | Kg/cm2 |
| Resistencia a la compresión | 76-128     | MPa    |
| Resistencia a la fractura   | 10         | MPa    |

Fuente: Ficha Técnica Acero Promecol LTDA (2025)

La resistencia a la tracción se calcula con la siguiente ecuación

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

Donde:

Resistencia a la tracción ( $\sigma$ )

Fuerza de tracción máxima del material (F)

Área de sección transversal de la muestra (A)

### 7.3.2. Parámetros de diseño

Previo al modelado tridimensional, se realizaron los cálculos de diseño mecánico necesarios para dimensionar los componentes principales de la máquina trituradora y garantizar su correcto funcionamiento. Se determinaron dos parámetros fundamentales: resistencia de la cizalladura y fuerza de corte.

La resistencia de la cizalladura indica la fuerza que se debe ejercer para el corte del PET y se determinó a partir de la siguiente fórmula

$$\sigma_B = \frac{90 \text{ Mpa}}{0,0981 \text{ Mpa}} = 917,435 \text{ kg/cm}^2$$

Entonces

$$\tau_B = 0.8 * \sigma_B$$

$$\tau_B = 0,8 \left( \frac{917,435 \text{ kg}}{1 \text{ cm}^2} * \frac{(1 \text{ cm}^2)}{(10 \text{ mm}^2)} \right)$$

$$\tau_B = 7,34 \text{ kg/mm}^2$$

$\tau_B$ : Resistencia de cizallado (MPa).

$\sigma_B$ : Resistencia a la rotura (MPa).

La fuerza de corte se calculó considerando las propiedades del material PET. y el área efectiva de trabajo de las cuchillas, definiendo la capacidad mínima requerida del sistema para ejercer el corte.

$$F_c = \tau_B \cdot e_1 \cdot e_2$$

$$F_c = 7,34 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2} \cdot (2,7 \text{ mm}) \cdot (9,525 \text{ mm})$$

$$F_c = 1851 \text{ N}$$

Según ensayo de corte a envase plástico realizado por estudiantes de la Universidad Tecnológica Equinoccial (Anexo A) se pudo verificar que la carga máxima registrada corresponde a:

$$F_c = 3123 \text{ N}$$

Donde:

$F_c$ : fuerza de corte (Nm)

$\tau_B$ : resistencia de cizallado (MPa)

$A_c$ : área de corte (m<sup>2</sup>)

$e_1$ : espesor del material a triturar (mm)

$e_2$ : espesor de la cuchilla (mm)

### 7.3.3. Diseño del eje

Para calcular el eje de transmisión se debe tener en cuenta la rigidez y el análisis de fatiga del material en este caso el acero AISI 1020 mencionado anteriormente el contiene una densidad de 7870 kg/m<sup>3</sup> y una longitud total de 429 mm y estarán ubicadas las cuchillas junto con los separadores en sección hexagonal de 260mm. Para determinar la masa y el peso del eje se distingue:

**Tabla 4. Propiedades del eje.**

|          |                        |
|----------|------------------------|
| Masa     | 1,591 kg               |
| Densidad | 7870 kg/m <sup>3</sup> |
| Volumen  | 202190 mm <sup>3</sup> |

Fuente: elaboración propia

- **Peso del eje:**

Se calcula el peso del eje con la siguiente fórmula

$$W = m * g$$

$$W = 1,591 \text{ kg} * 9,81 \frac{m}{s^2}$$

$$W = 15,59 \text{ N}$$

Donde:

W=peso

M=Masa

G= gravedad

### 7.3.3.1. Accesorios que actuaran en el eje

- Anillos seeger: los cuales no permitirán el desplazamiento de las cuchillas y separadores de su posición, su peso se calcula de la siguiente manera:

$$W_{seeger} = m * g$$

$$W_{seeger} = 0,0062 \text{ kg} * 9,81 \frac{m}{s^2}$$

$$W_{seeger} = 0,0608 \text{ N}$$

- Separadores: fabricados en acero ASTM A36 con un espesor de 9.525 mm quienes permiten una distancia pertinente entre una cuchilla y la otra, cuyas determinaciones se evidencian así:

**Tabla 5. Propiedades separadores**

|          |                         |
|----------|-------------------------|
| Masa     | 0,026 kg                |
| Densidad | 7,850 kg/m <sup>3</sup> |
| Volumen  | 3251,2 mm <sup>3</sup>  |

Fuente: elaboración propia

Número de separadores totales: 25

Peso total por unidad:

$$W_{\text{separador}} = m * g$$

$$W_{\text{separador}} = 0,338 \text{ kg} * 9,81 \frac{m}{s^2}$$

$$W_{\text{separador}} = 3,31 \text{ N}$$

- Cuchillas: para las cuales se seleccionó el material ASTM A36 de 9.525mm de espesor, con diámetro de 73mm. Este material da resistencia al aplicar la fuerza de corte, correspondida a 3123 N, recordando que la botella tiene una resistencia a la rotura de 90mPa.

**Tabla 6. Propiedades cuchillas.**

|          |                         |
|----------|-------------------------|
| Masa     | 1,872 kg                |
| Densidad | 7,850 kg/m <sup>3</sup> |
| Volumen  | 19853,7 mm <sup>3</sup> |

Fuente: elaboración propia

Se fabrican 25 cuchillas para ser distribuidas en los dos ejes.

Peso total por unidad:

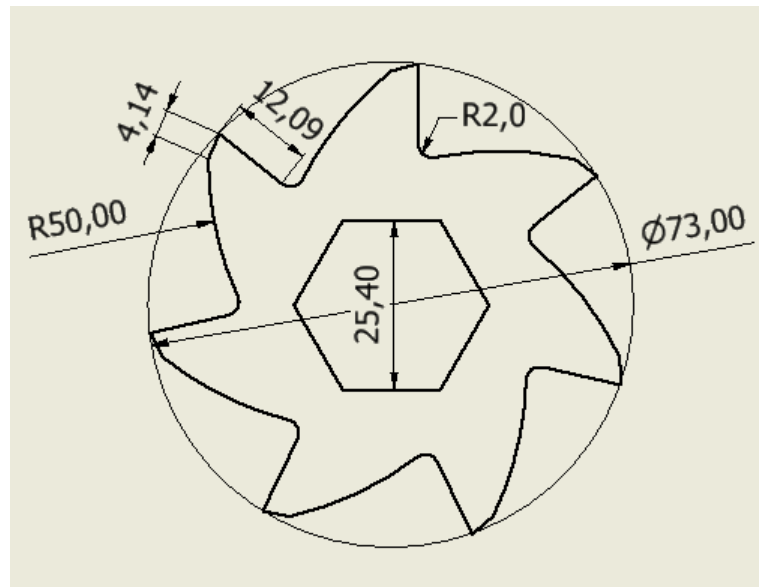
$$W_{\text{cuchilla}} = m * g$$

$$W_{\text{cuchilla}} = 1,872 \text{ kg} * 9,81 \frac{m}{s^2}$$

$$W_{\text{cuchilla}} = 18,35 \text{ N}$$



**Figura 6. Geometría de la cuchilla**



Fuente: elaboración propia

- Botella PET: la cual contiene un espesor de 0,3mm y su pieza con mayor espesor (pico de botella) 2,8mm. El peso de estas botellas de 500 ml corresponde a una masa equivalente a 0,02 kg.

$$W_{botella} = m * g$$

$$W_{botella} = 0,02 \text{ kg} * 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$W_{botella} = 0,196 \text{ N}$$

### 7.3.3.2. Diámetro del eje

El peso total que actuará en el eje se determina a partir de la sumatoria de los elementos que actúan en éste mencionados anteriormente.

$$\sum W_{Total} = W_{eje} + W_{segger} + W_{cuchillas} + W_{separador} + W_{botella}$$

$$\sum W_{Total} = 15,59 \text{ N} + 0,0608 \text{ N} + 18,35 \text{ N} + 3,31 \text{ N} + 0,196 \text{ N}$$

$$\sum W_{Total} = 37,51 \text{ N}$$

En seguida se calcula el torque necesario para las cuchillas en base a la fuerza de corte la cual fue de 3123 N y el radio 36,5mm

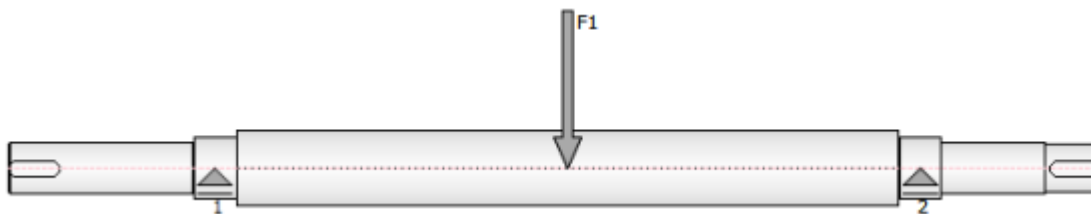
$$Tc = Fc \cdot r$$

$$Tc = 3123 \text{ N} \cdot 0,0365\text{m}$$

$$Tc = 113,989 \text{ Nm}$$

Se diseña el diagrama de cuerpo libre del eje en el cual el peso del eje atenea calculado actuará como una carga

**Figura 7. Gráfica de eje DCL**



Fuente: elaboración propia

**Tabla 7.Cargas y soportes del eje**

| Cargas |           |               |   |          |           | Soportes |       |           |                    |          |        |           |              |
|--------|-----------|---------------|---|----------|-----------|----------|-------|-----------|--------------------|----------|--------|-----------|--------------|
| Índice | Ubicación | Fuerza radial |   |          |           | Índice   | Tipo  | Ubicación | Fuerza de reacción |          |        |           |              |
|        |           | Y             | X | Tamaño   | Dirección |          |       |           | Y                  | X        | Tamaño | Dirección | Fuerza axial |
| F1     | 220,5 mm  | 37,510 N      |   | 37,510 N |           | 1        | Libre | 81,5 mm   | 26,825 N           | 26,825 N |        |           |              |
|        |           |               |   |          |           | 2        | Libre | 359,5 mm  | 26,309 N           | 26,309 N |        |           |              |

Fuente: elaboración propia

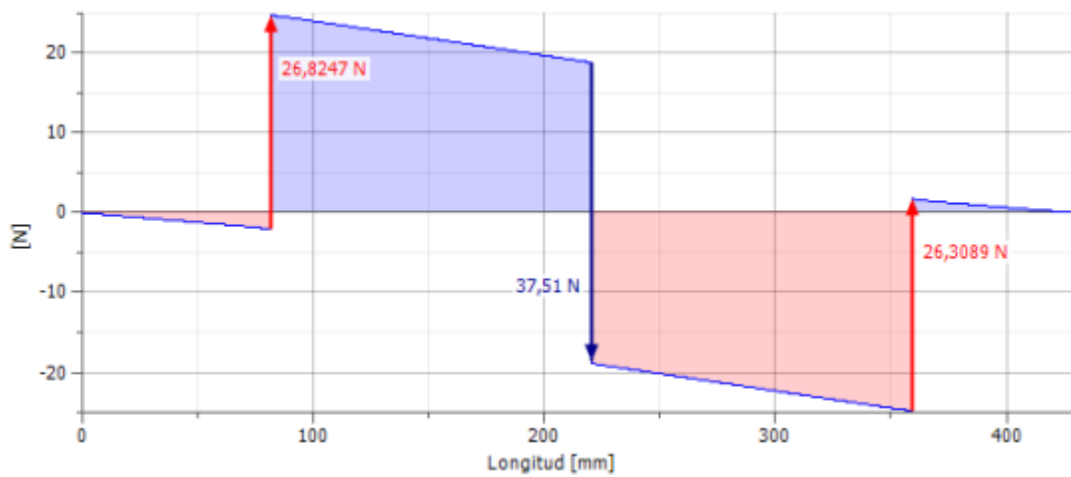
## DIAGRAMA DE CUERPO LIBRE

### 7.3.3.3. Diagrama de momentos del eje

A continuación, se evidencia en las siguientes figuras los diagramas de fuerzas y momentos que ejerce el eje.

- Diagrama fuerza de cortante  $V_{\max}=26,82\text{N}$

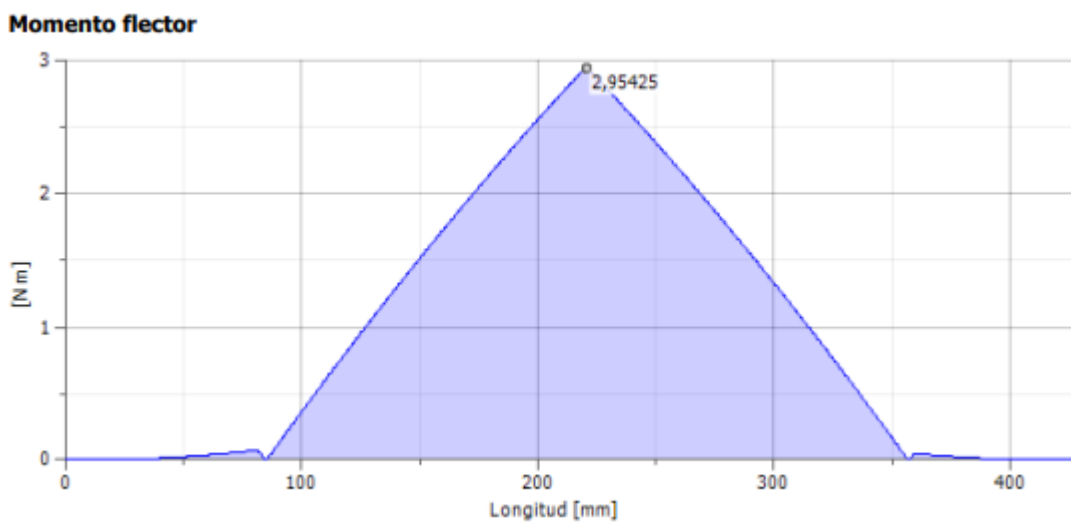
**Figura 9. Fuerza Cortante**



Fuente: elaboración propia

- Diagrama momento flector  $M_{\max}=2,95 \text{ Nm}$

**Figura 10. Momento Flector**



Fuente: elaboración propia

- Diagrama de momento torsor  $T_{\max}=$

**Figura 11. Momento Torsor**

Fuente: elaboración propia

#### 7.3.3.4. Designación diámetro del eje

#### 7.3.3.4.1. Límite a la fatiga

Se determina con la siguiente ecuación

$$S_e = k_a \cdot k_b \cdot k_c \cdot k_d \cdot k_e \cdot k_f \cdot S_e'$$

Las propiedades mecánicas del material AISI1020 corresponden a:

$$S_{ut} = 420 \text{ mpa}$$

$$S_y = 350 \text{ mpa}$$

El factor de modificación por superficie para el eje se seleccionó en base a la siguiente figura:

**Figura 12. Factor de modificación**

| 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      |

Fuente: Shigley, J. E., Mischke, C. R., & Budynas, R. G. (2011). Diseño en ingeniería mecánica de Shigley (9.<sup>a</sup> ed.).

$k_a$ : factor de modificación por superficie con acabado de maquinado o laminado en frío.

$$k_a: a S_{ut}^b$$

$$k_a: 4,51(420MPa)^{-0,265}$$

$$k_a = 0,90$$

Para una dimensión de eje de 25,4 mm, el factor por tamaño se ubica dentro del intervalo indicado en el Anexo B.

$k_b$ : factor de modificación por tamaño (Para  $8 \text{ mm} < d < 51 \text{ mm}$ )

$$k_b: 1,24d^{-0,107} \text{ (4.6)}$$

$$k_b: 1,24(25,4 \text{ mm})^{-0,107}$$

$$k_b = 0,877$$

Es importante destacar que, bajo condiciones de carga axial, el efecto de tamaño no se manifiesta. El factor de confiabilidad se seleccionó gracias al ANEXO C el cual indica confiabilidad del 99%:

$k_c$ : factor de confiabilidad (para un 99% de confiabilidad)

$$k_c = 0,814$$

La selección del factor de temperatura se realizó considerando la capacidad del material para resistir el calor de trabajo, como se evidencia en el ANEXO D.

$k_d$ : factor de temperatura si  $Temp \leq 450^\circ C$

$$k_d = 1$$

Cuando no existen condiciones de corrosión, esfuerzos residuales ni desgaste, se puede establecer lo siguiente:

$k_e$ : factor de efectos varios

$$k_e = 1$$

Para la condición de flexión, se tomará el factor de carga correspondiente establecido en el ANEXO E.

$k_f$ : factor de carga

$$k_f = 1$$

#### **7.3.3.4.2. Límite Resistencia a fatiga del material ( $S_e'$ )**

Resistencia a la tracción del AISI 1020 como se muestra en el ANEXO F:

$$S_{ut} = 420 MPa$$

$$S_e' = 0,5 S_{ut}$$

$$S_e' = 0,5 \cdot 420 MPa$$

$$S_e' = 210 MPa$$

Reemplazando en la ecuación,

$$S_e = 0,90 * 0,877 * 0,814 * 1 * 1 * 1 * 210MPa = 134,92 MPa$$

### 7.3.3.4.3. Factores de concentración de esfuerzos

Se determina a continuación los factores que intervienen en la concentración de esfuerzos.

$$k_e = k_f \cdot k_{fs}$$

Donde:

$k_f$ : k flexión

$k_{fs}$ : k torsión

Calcular el factor  $k_f$  correspondiente a flexión y el factor  $k_{fs}$  correspondiente a torsión, utilizando las ecuaciones que se presentan a continuación:

$$k_f = 1 + q_1 (kt_1 - 1)$$

$$k_{fs} = 1 + q_2 (kt_2 - 1)$$

En el Anexo G se muestran la sensibilidad a la entalla ( $q$ ) del material, el radio estimado de  $r = 2 \text{ mm}$  y la constante  $\sqrt{a}$ , conocida como constante de Neuber.

$$q = \frac{1}{1 + \frac{\sqrt{a}}{\sqrt{r}}}$$

**Flexión  $K_f$ :**

$$q = \frac{1}{1 + \frac{0,53mm^{0,5}}{\sqrt{2mm}}} = 0,72$$

Con el propósito de justificar el valor adoptado para la sensibilidad a la entalla ( $q$ ), en el Anexo H se presenta el resultado correspondiente al caso de flexión, obteniéndose un valor de  $q_1 = 0,72$ .

Es importante señalar que, para este análisis, la relación de diámetros del eje se modifica, pasando de 30 mm a 25,4 mm, con el fin de representar la condición geométrica evaluada.

$$\frac{D}{d} = \frac{30mm}{25,4mm} = 1,18$$

Relación del cambio de la sección mayor con la sección menor del radio:

$$\frac{r}{d} = \frac{2mm}{25,4mm} = 0,078$$

$K_{t1} = 1,73$  este valor se selecciona en base al ANEXO I y con la siguiente ecuación se determinará el factor de concentración de esfuerzos por fatiga para flexión.

$$K_f = 1 + 0,72(1,73 - 1)$$

$$K_f = 1,52$$

Torsión  $K_{fs}$ :

$$q_2 = \frac{1}{1 + \frac{0,38mm^{0,5}}{\sqrt{2mm}}} = 0,78$$

El valor de la entalla ( $q$ ) se justifica en el ANEXO I para flexión.

La relación del diámetro del eje cambia de 30mm a 25,4mm:

$$\frac{D}{d} = \frac{30mm}{25,4mm} = 1,18$$

Relación del cambio de la sección mayor con la sección menor del radio:

$$\frac{r}{d} = \frac{2mm}{25,4mm} = 0,078$$

$Kt2 = 1,42$  este valor se selecciona en base a la siguiente ecuación, se determinará el factor de concentración de esfuerzos por fatiga para flexión.

$$Kf_s = 1 + 0,78(1,42 - 1) = 1,32$$

Tras haber determinado los valores pertinentes de los factores de concentración de esfuerzos, la sensibilidad a la entalla y las relaciones de diámetros involucradas, es posible proceder a la aplicación de la ecuación establecida en la norma ANSI/ASME B106, correspondiente al diseño de ejes de transmisión.

$$D = \left( \frac{32n}{\pi} \sqrt{\left( \frac{Kf * M}{Se} \right)^2 + \frac{3}{4} \left( \frac{T}{Sy} \right)^2} \right)^{1/3}$$

$$D = \left( \frac{32(2)}{\pi} \sqrt{\left( \frac{1,52 * (2,95Nm)}{134,92MPa} \right)^2 + \frac{3}{4} \left( \frac{312,3Nm}{350MPa} \right)^2} \right)^{\frac{1}{3}}$$

$$D = 25.1mm$$

A continuación, se determinará el factor de seguridad gracias al anterior valor obtenido:

#### 7.4. Selección de engranajes

Para la selección de los engranajes encargados de la transmisión del movimiento y del cambio en el sentido de giro del eje conducido, se optó por emplear los mismos engranajes existentes en la máquina original. Esta decisión se



fundamenta en que dichos elementos permiten mantener la misma distancia entre centros, garantizando así la compatibilidad geométrica y cinemática con el diseño base, además de conservar las condiciones operativas establecidas en el sistema original ANEXO J. Se realizaron los análisis correspondientes para conocer las propiedades y cálculos para el funcionamiento de los engranajes.

Modulo (M)

$$M = \frac{De}{N + 2}$$

$$M = \frac{57,75mm}{31 + 2}$$

$$M = 1,75$$

Paso circular (P)

$$P = \pi * M$$

$$P = \pi \cdot 1,75$$

$$P = 5,4978 \text{ mm}$$

Diámetro primitivo (Dp)

$$Dp = M * N$$

$$Dp = 1,75 * 31$$

$$Dp = 54,25 \text{ mm}$$

*Diámetro exterior* (De)

$$De = M * (N + 2)$$

$$De = 1,75 (31 + 2)$$

$$De = 57,75 \text{ mm}$$

Diámetro interior (Di)

$$Di = Dp - (2M * 1,167)$$

$$Di = 54,25 - (3,5 * 1,167)$$

$$Di = 54,25 - 4,084$$

$$Di = 50,166 \text{ mm}$$

Espacio entre dientes (C)

$$C = \frac{P}{2}$$

$$C = \frac{1,75}{2}$$

$$C = 0,875 \text{ mm}$$

Espesor del diente (e)

$$e = \frac{P}{2}$$
$$e = \frac{1,75}{2}$$
$$e = 0,875\text{mm}$$

Altura total del diente (h)

$$h = M * 2,167$$
$$h = 1,75 * 2,167$$
$$h = 3,792\text{mm}$$

Distancia entre ejes (A)

$$A = \frac{Dp + dp}{2} = \frac{N + n}{2} * M$$
$$A = \frac{31 + 31}{2} * 1,75$$
$$A = 54,25\text{mm}$$

- Distancia entre centros: 54,25 mm
- Ángulo de presión: 20°
- Número de dientes: 31
- Relación de transmisión: 1:1

## 7.5. Selección, cálculo de poleas y correa de transmisión

Para la selección de la correa se tuvo en cuenta que las poleas que contenía la máquina original no contaban con el ajuste correcto en el eje del motor, impidiendo su acoplamiento eficaz; se optó entonces por una polea de mayor diámetro en el eje del motor y en la polea conducida, a fin de reducir velocidad y no sobredimensionar la máquina a partir de los siguientes parámetros:

Motor eléctrico de 2hp

Rpm Motor = 1730rpm

Diámetro polea conductora = 3in

Diámetro polea conducida = 9in

Distancia entre centros = 50cm a 80cm

Por medio del ANEXO K se selecciona el factor de servicio de la correa correspondiente a máquinas trituradoras con un servicio normal de 1.6

Potencia de diseño:

$$\text{Potencia de diseño} = \text{Hp del motor} * F_s$$

$$\text{Potencia de diseño} = 2\text{hp} * 1.6 = 3,2$$

El perfil de la correa se obtiene mediante el ANEXO L teniendo en cuenta la potencia de diseño que corresponde a 3.2 la cual trabajara a una velocidad entre 80 a 100 rpm

Correa clásica V: B, Bx

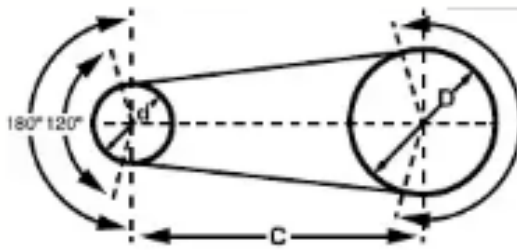
La distancia entre centros hace referencia al espacio máximo que ocupará el sistema de transmisión en la estructura de la maquina y se determina con la siguiente fórmula y el análisis de la figura 14:

$$C = 2(D + d)$$

$$C = 2(12)$$

$$C = 24" = 609,6\text{mm}$$

**Figura 14. Distancia entre centros**



Fuente: Inermec Productos mecánicos para la transmisión de potencia.

#### Transmisión de potencia poleas en “v”

Donde,

d=diámetro polea motriz

D= diámetro polea conducida

C= distancia máxima

Para conocer la longitud de la correa y hallar la correa comercial se implementa la siguiente fórmula:

$$Lp = 2C + 1,57(D + d) + \frac{(D + d)^2}{4C}$$

Donde:

Lp: Largo correa

D: diámetro de la polea mayor

d: diámetro polea menor

C: distancia entre centros

$$Lp = 2(24) + 1,57(9 + 3) + \frac{(9 + 3)^2}{4(24)}$$

$$Lp = 68,38$$

Gracias al cálculo obtenido se selecciono una correa comercial en V tipo B-69 la cual se acomoda al espacio máximo.

## 7.6. Validación de componentes mediante simulaciones

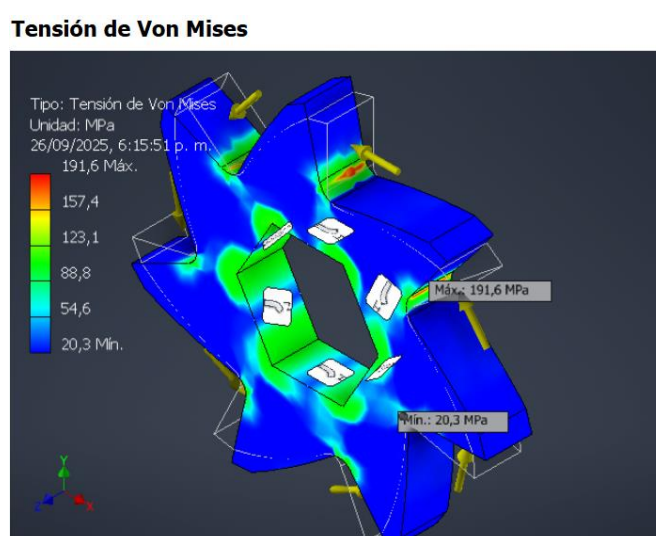
Estos resultados sustentan el rediseño estructural y funcional del modelo CAD, y sirvieron como base para las simulaciones por elementos finitos (FEA), garantizando la coherencia entre el diseño teórico y el comportamiento real esperado del equipo.

Una vez finalizado el modelo CAD, se realizaron simulaciones mediante análisis por elementos finitos (FEA) para validar la integridad estructural del sistema y predecir su comportamiento bajo condiciones reales de operación, todo lo anterior se realizó con el software AUTODESK INVENTOR.

### 7.6.1. Simulación cuchilla acero A36

En la siguiente figura se observa con detalle la tensión de Von Mises que actúa sobre el filo de las cuchillas. La tensión máxima alcanzada es de 191,6 MPa, valor que supera considerablemente la resistencia a la tracción del material de las botellas (90 MPa). En este caso, dicho valor representa el límite de fluencia del material utilizado acero ASTM A36 para la fabricación de las cuchillas.

**Figura 14. Tensión de Von Mises**

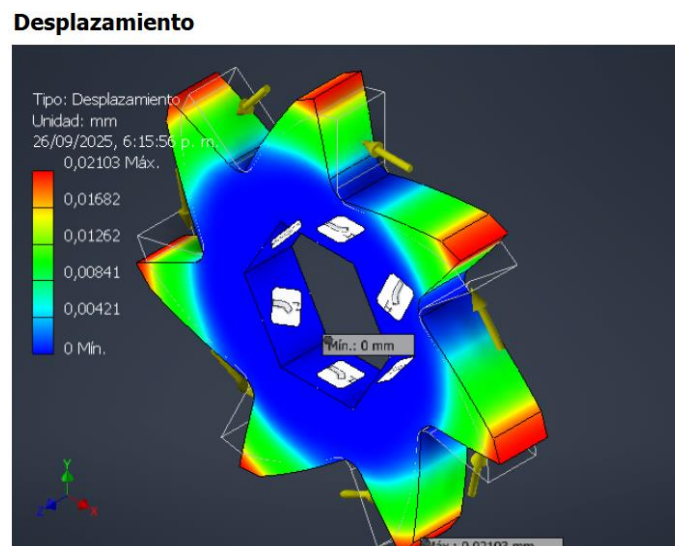


Fuente: Elaboración propia.

## Desplazamiento

Se analiza el desplazamiento que puede soportar el filo del diente de la cuchilla, considerando que este debe ser mínimo para garantizar una trituración eficiente del material PET. En la siguiente figura se muestra un desplazamiento máximo de 0,02103 mm, valor que indica que no se presentarán inconvenientes durante el proceso de trituración.

**Figura 15. Desplazamiento**



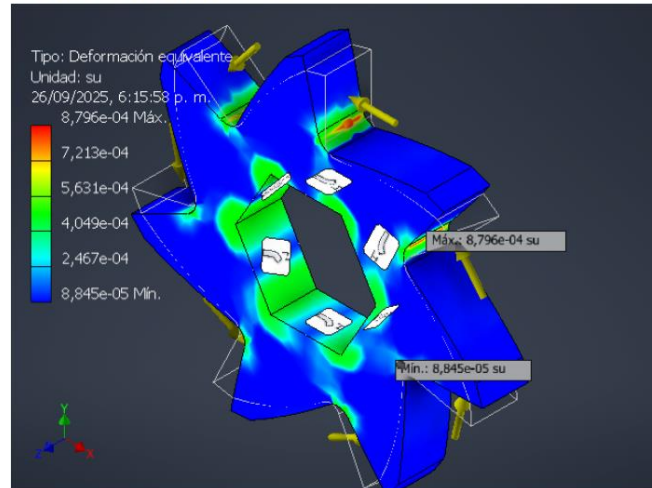
Fuente: Elaboración propia.

## Deformaciones

La deformación del elemento depende del tipo de material con el que está fabricado y de la fuerza de tracción aplicada sobre cada diente de la cuchilla durante el proceso de trituración del material PET. A continuación, se observa una escala de deformación de  $8,796 \times 10^{-4}$  su, lo que demuestra la capacidad de los dientes de las cuchillas para soportar las cargas generadas en cada eje.

**Figura 16. Deformación**

#### Deformación equivalente



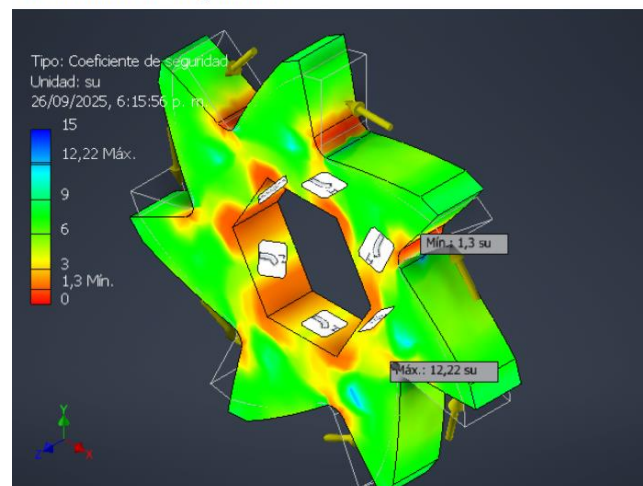
Fuente: Elaboración propia.

#### Factor de Seguridad

El factor de seguridad se evaluó en el filo de la cuchilla, considerando las condiciones de trabajo durante el proceso de trituración. Aunque los filos presentan desgaste con el uso, se determinó que el factor de seguridad mínimo (FSD) obtenido es de 13 su, valor que garantiza un margen adecuado de resistencia y confiabilidad del componente.

**Figura 17. Coeficiente de Seguridad**

#### Coeficiente de seguridad



Fuente: Elaboración propia.

#### 7.6.2. Simulación Eje

Los resultados obtenidos en las simulaciones permitieron ajustar espesores, geometrías y refuerzos estructurales antes de la fabricación, reduciendo riesgos de falla y optimizando el desempeño global del equipo. De esta manera, se logró consolidar un diseño mecánicamente confiable, funcional y seguro, capaz de cumplir con las exigencias de operación requeridas para la trituración eficiente de materiales plásticos reciclados.

### **7.6.3. Pruebas funcionales y validación experimental**

En esta etapa se realizaron pruebas operativas con material PET reciclado, verificando la capacidad de trituración, la estabilidad estructural, el nivel de ruido y la eficiencia del sistema.

**Figura 22. Prueba funcional 1**



Fuente: elaboración propia.

El comportamiento del equipo confirmó la viabilidad técnica del rediseño, demostrando que la reingeniería implementada permitió mejorar la seguridad, reducir las vibraciones y aumentar la eficiencia del proceso de trituración.



## **8. MANEJO Y OPERACIÓN DE LA MÁQUINA TRITURADORA**

Para garantizar la operación segura y eficiente del equipo, se deben seguir las siguientes recomendaciones:

1. Seleccionar el material a triturar, preferiblemente plástico PET limpio y libre de impurezas.
2. Verificar el estado general de la máquina, incluyendo conexiones eléctricas, cables y componentes mecánicos.
3. Utilizar los equipos de protección personal (EPP): guantes, gafas, tapabocas y protectores auditivos. Evitar operar la máquina con anillos, pulseras u otros accesorios.
4. Encender el motor y comprobar que el sistema de transmisión funcione sin ruidos ni vibraciones anormales.
5. Introducir el material gradualmente en la tolva, asegurándose de no forzar el mecanismo ni introducir objetos metálicos o rígidos distintos al PET.
6. Recolectar el material triturado en el contenedor dispuesto en la parte inferior del equipo.
7. Apagar y desconectar la máquina una vez finalizada la operación.
8. Realizar la limpieza preventiva con una brocha o cepillo adecuado, empleando los EPP correspondientes.

## 9. PLAN DE MANTENIMIENTO

Con el propósito de preservar la funcionalidad y extender la vida útil de la máquina trituradora, se estableció el siguiente plan de mantenimiento preventivo, definido en la Tabla 4. Plan de Mantenimiento Trituradora PET., enfocado en la inspección, limpieza y ajuste periódico de los principales componentes:

**Tabla 8. Plan de Mantenimiento Trituradora PET**

| Componente                    | Actividad                                   | Diario | Semanal | Quincenal | Mensual |
|-------------------------------|---------------------------------------------|--------|---------|-----------|---------|
| <b>Estructura</b>             | Inspección visual                           | X      |         |           |         |
|                               | Revisión de tornillería y anclajes          |        |         |           | X       |
|                               | Revisión de desgaste                        |        |         |           | X       |
|                               | Revisión de juntas de soldadura y corrosión |        |         |           | X       |
| <b>Sistema de transmisión</b> | Verificación del protector                  |        | X       |           |         |
|                               | Comprobación de niveles de lubricante       |        |         | X         |         |
|                               | Ajuste de tensión de la correa              |        |         |           | X       |
|                               | Alineamiento de poleas                      |        |         |           | X       |
|                               | Inspección general de la correa             |        |         |           | X       |
| <b>Sistema de corte</b>       | Revisión de rodamientos                     |        |         |           | X       |
|                               | Inspección del estado de cuchillas          |        |         | X         |         |
|                               | Limpieza interna de la carcasa              |        | X       |           |         |
|                               | Ajuste de tornillería                       |        |         | X         |         |

Fuente: Elaboración propia

## 10. PRESUPUESTO

Los costos directos de fabricación representan aquellos gastos que se relacionan de manera inmediata con la producción y ensamble de la máquina, siendo indispensables para su construcción y funcionamiento. A continuación, en la siguiente tabla de presupuesto, se detallan los costos directos de fabricación asumidos por los autores y distribuidos según los diferentes componentes a fin de obtener una estimación del valor total de construcción de la máquina.

**Tabla 9.Presupuesto**

| Elementos                                  | Descripción               | Cantidad     | Precio      |
|--------------------------------------------|---------------------------|--------------|-------------|
| Corte laser cuchillas, separadores, placas | Lamina A36 3/8'           | 75           | \$870.000   |
| Rodamientos                                | 6904                      | 8            | \$78.000    |
| Eje chumaceras                             | 1045 2' 1/4               | 300 mm       | \$75.000    |
| Eje hexagonal                              | 1020 1'                   | 1000mm       | \$79.000    |
| Placa base trituradora                     | Lamina A36 * 3/8'         | 400mm *400mm | \$140.000   |
| Machuelos Y broca                          | 3/16'                     | 2            | \$50.000    |
| Tornillería general                        | 1/2', 3/8' , 3/16'        | 50 U - aprox | \$218.000   |
| Soldadura                                  | 6013 - 7018               | 1 lb         | \$25.000    |
| Tapas caja de trituración                  | Lamina A36 1/2'           | 800mm *600mm | \$145.000   |
| Cuñas                                      | 1/4'                      | 3            | \$15.000    |
| Tapa protección poleas                     | Lamina A36 1/8'           | 1m * 30 cm   | \$100.000   |
| Bisagras                                   | 1/4'                      | 4            | \$15.000    |
| Tubo cuadrado estructura                   | 2*2 Calibre 14            | 2            | \$80.000    |
| Poleas                                     | Tipo b 3' y 9'            | 2            | \$100.000   |
| Tratamiento térmico ejes                   | Niturizacion              | 1            | \$202.000   |
| Pintura                                    | Negro, Rojo, Amarillo     | 1            | \$34.000    |
| Correa transmisión                         | tipo V B-69               | 1            | \$40.000    |
| Platina                                    | 3/4' * 1/8' * 80cm        | 1            | \$20.000    |
| Platina                                    | 3/4' * 1/4' * 1 m         | 1            | \$45.000    |
| Angulo                                     | 1' 1/2                    | 1            | \$50.000    |
| Base motor                                 | Lamina A36 3/8' * 200*200 | 1            | \$80.000    |
| Tolva superior                             | Lamiana A36 1/8           | 1            | \$100.000   |
| Tolva inferior                             | Lamiana A36 1/8           | 1            | \$60.000    |
| Discos Corte                               | Abrasivo, corte, flap     | 6            | \$40.000    |
| Envíos materiales                          | Bogotá -Tunja             | 2            | \$40.000    |
| Total                                      |                           |              | \$2.701.000 |

Fuente: Elaboración propia

## **11. RESULTADOS**

A partir del diagnóstico inicial y de la aplicación de los principios de diseño se logró optimizar el funcionamiento general del equipo, garantizando no solo un desempeño eficiente y seguro, sino también el funcionamiento de la máquina trituradora.

Los resultados se complementan con el plan de mantenimiento preventivo, que busca asegurar la durabilidad y confiabilidad del sistema a largo plazo.

### **a. Sistema de Transmisión**

En el rediseño implementado, se estableció una configuración optimizada para garantizar una transmisión eficiente del par y minimizar pérdidas por fricción o desalineación.

Durante la validación del modelo se comprobó la correcta alineación entre ejes, así como la adecuada tensión de la correa, factores que contribuyen a reducir vibraciones y prolongar la vida útil de los rodamientos. La simulación de esfuerzos permitió confirmar que los componentes permanecen dentro de los márgenes de seguridad establecidos, asegurando la fiabilidad del sistema durante el proceso de trituración.

### **b. Cuchillas Trituradoras**

Las cuchillas representan el elemento principal del proceso de corte y trituración del plástico PET. Su diseño se optimizó con base en criterios de geometría de filo, ángulo de ataque y distribución de carga, buscando mejorar la eficiencia del corte y reducir el desgaste prematuro.

Para la fabricación se seleccionó acero de alta resistencia (AISI D2) debido a su elevada dureza, capacidad de mantener el filo y resistencia al impacto.

El análisis por elementos finitos (FEA) demostró una distribución uniforme de esfuerzos en las zonas críticas del sistema de corte, confirmando su estabilidad estructural bajo cargas dinámicas típicas del proceso de trituración.

## **12. CONCLUSIONES**

1. El desarrollo de la reingeniería mecánica permitió transformar una máquina trituradora de plástico inoperativa en un sistema funcional, seguro y eficiente, capaz de realizar el proceso de trituración de manera continua y estable.
2. El rediseño del sistema de transmisión, junto con el refuerzo estructural, corrigió los problemas de desalineación, vibración y pérdida de potencia, logrando una transmisión más uniforme y confiable.
3. Las pruebas de funcionamiento con plástico PET evidenciaron que el equipo es capaz de triturar el material con una granulometría homogénea, adecuada para su reutilización en aplicaciones sostenibles, como la producción de ladrillos ecológicos.
4. Los resultados de los análisis por elementos finitos (FEA) confirmaron que las tensiones máximas en ejes, soportes y estructura se encuentran por debajo del límite elástico del material, garantizando un factor de seguridad superior a 2.
5. Se valida la confiabilidad del diseño y se demuestra que las condiciones de operación se mantienen dentro de los márgenes mecánicos seguros.
6. La selección adecuada de materiales, particularmente aceros al carbono con propiedades de dureza y resistencia al desgaste, contribuyó al aumento de la durabilidad del sistema de corte y al mejor desempeño general del equipo.
7. En términos académicos, este proyecto permitió aplicar de manera integral los conocimientos de diseño mecánico, fortaleciendo la formación profesional.
8. Desde el punto de vista técnico, el proceso de reingeniería no solo resolvió las fallas del equipo, sino que estableció una metodología replicable para intervenir otras máquinas que presenten deficiencias similares, promoviendo el uso eficiente de recursos.

### **13.RECOMENDACIONES**

Se recomienda en primer lugar aplastar las botellas antes de ser introducidas para obtener un mejor desempeño y resultado en la operación.

Se debe implementar un plan de mantenimiento preventivo y correctivo que asegure la continuidad del funcionamiento de la máquina, priorizando la revisión periódica de la tensión de las correas, el estado de los rodamientos, el afilado de las cuchillas y la lubricación del sistema de transmisión. Igualmente, se sugiere realizar inspecciones estructurales trimestrales para detectar posibles desgastes o desalineaciones que puedan afectar la eficiencia o la seguridad operativa del equipo.

Para futuras mejoras, se plantea la incorporación de sensores de monitoreo de vibración, temperatura y torque, que permitan controlar las condiciones de operación en tiempo real y anticipar posibles fallas. También se recomienda evaluar el rendimiento energético y la capacidad de trituración mediante pruebas controladas, con el fin de optimizar los parámetros de diseño y operación.

Implementar un motorreductor o variador de frecuencia para reducir la velocidad de giro ya que la máquina con la relación que tiene puede llegar a tener atascamiento debido a la velocidad que ésta ejerce.

Desde el enfoque académico, sería conveniente documentar todo el proceso de reingeniería como una guía metodológica de referencia para proyectos similares en la Facultad de Ingeniería Mecánica, promoviendo el aprendizaje práctico y la innovación en el diseño de maquinaria. Finalmente, se sugiere explorar la posibilidad de adaptar el sistema para procesar otros tipos de polímeros reciclables, ampliando así el alcance del equipo.

## 14. BIBLIOGRAFÍA

- Alarcón Valero, F., Del Mar Alemany Díaz, M., & Jeanpierre Laguardia, F. (2012). Metodología para la reingeniería etodología para la reingeniería basada en el modelado de procesos de negocio. *Centre D'Investigació de Gestió i Enginyeria de Producció (CIGIP)*. <https://doi.org/10.6036/4585>
- Bravo Santana, J. F. (2017). *DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO INDUSTRIAL DE UNA MAQUINA TRITURADORA DE PLASTICOS*. Repositorio Uniandes.
- Budynas, R., & Nisbett, K. (2012). *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley (9a Ed.)*. McGraw-Hill Interamericana. <https://doi.org/978-607-15-0771-6>
- Errasti-Opacua, A., Martínez-Miguélez, S., Santos-García, J., & Poler-Escot, R. (2011). La mejora de sistemas de produccióndeproducción de Ingeniería contra pedido: Ingeniería contra pedido: Un estudio empírico. *DYNA*, 85(5), 539-548. <https://doi.org/10.6036/4055>
- Gómez Cabrera, A. (2010). Simulación de procesos constructivos. *Revista Ingeniería de Construcción*, 25(1), 121-141. Obtenido de <https://www.scielo.cl/pdf/ric/v25n1/art06.pdf>
- Mera Romo, D., Alvear Suárez, A., Coenaga Jiménez, M., & Aponte Roa, D. (2023). Reengineering a strategy for engineering practice: C3Tec, a case study. *21st LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education, and Technology: "Leadership in Education and Innovation in Engineering in the Framework of Global Transformations: Integration and Alliances for Integral*



*Development"*. Buenos Aires. [https://doi.org/https://laccei.org/LACCEI2023-BuenosAires/all-papers/Contribution\\_1392\\_a.pdf](https://doi.org/https://laccei.org/LACCEI2023-BuenosAires/all-papers/Contribution_1392_a.pdf)

Serna Landivar, J. L. (2023). Diseño y validación mediante elementos finitos de una trituradora para la industria plástico. *Proceedings of the LACCEI international Multi-conference for Engineering, Education and Technology*. Perú. Obtenido de [https://repositorio.utp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12867/8140/J.Serna\\_Tesis\\_Titulo\\_Profesional\\_2023.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.utp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12867/8140/J.Serna_Tesis_Titulo_Profesional_2023.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Serna-Landivar, J., Risco Sernaque, M. V., Rivas Moreano, A., Mendoza Damas, M., Garcia-Alvarez, M., Sotteccani Aucchahuaque, K., & Anticono-Valderrama, D. (2023). Diseño innovador de una trituradora de plástico para ciudades sostenibles. *3rd LACCEI International Multiconference on Entrepreneurship, Innovation and Regional Development - LEIRD 2023*. Lima. <https://doi.org/https://dx.doi.org/10.18687/LEIRD2023.1.1.251>

Shigley, J. E., Mischke, C. R., & Budynas, R. G. (2011). *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley* (9.<sup>a</sup> ed.). McGraw-Hill Interamericana.

Valderrama-Ulloa, C., Parra, F., Marín-Urbe, C., & Rodríguez-Grau, G. (2021). Solerillas de hormigón y plástico reciclado para la conformación de jardineras: hacia un producto más sustentable. *Información Tecnológica*, 32(2), 119-130. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642021000200119>

## 15. ANEXOS

### ANEXO A

#### PRUEBAS FUERZA DE CORTE PET

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | <b>ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL</b><br><b>DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA</b><br><b>LABORATORIO DE ANÁLISIS</b><br><b>DE ESFUERZOS Y VIBRACIONES</b>                                                                                      |  |         |                         |  |     |   |     |     |       |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|---------|-------------------------|--|-----|---|-----|-----|-------|
| <b>INFORME TÉCNICO</b><br>LAEV – OCT.06.15                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                     |         |                         |  |     |   |     |     |       |
| Quito, 2 de octubre de 2015                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                     |         |                         |  |     |   |     |     |       |
| <b>TRABAJO SOLICITADO POR:</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | <b>UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA EQUINOCCIAL</b><br>Ing. Luis Hidalgo M.Sc.                                                                                                                                                                         |                                                                                     |         |                         |  |     |   |     |     |       |
| <b>ORDEN DE TRABAJO Nº 0004141</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                     |         |                         |  |     |   |     |     |       |
| <p>Los resultados contenidos en el presente informe corresponden a ensayos realizados en muestras de plástico, pertenecientes al señor Jaime Ortiz Palacios para el proyecto final de titulación "DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA TRITURADORA AUTOMATIZADA PARA ENVASES PLÁSTICOS PET". Las muestras fueron entregadas en el Laboratorio de Análisis de Esfuerzos y Vibraciones de la Escuela Politécnica Nacional.</p> |                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                     |         |                         |  |     |   |     |     |       |
| <b>RESULTADOS</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                     |         |                         |  |     |   |     |     |       |
| <b>1. MUESTRAS:</b> Una (1) muestras de envase plástico para ensayo de compresión y ensayo de corte.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                     |         |                         |  |     |   |     |     |       |
| <b>2. ENSAYO DE COMPRESIÓN A ENVASE PLÁSTICO</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                     |         |                         |  |     |   |     |     |       |
| En la tabla 1 se presentan los resultados del ensayo de compresión realizado a la muestra de envase plástico.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                     |         |                         |  |     |   |     |     |       |
| Tabla 1. Resultados de la resistencia a la compresión de la muestra de envase plástico.*                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                     |         |                         |  |     |   |     |     |       |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | <table border="1" style="margin: auto;"><thead><tr><th rowspan="2">Muestra</th><th colspan="2">Carga máxima registrada</th></tr><tr><th>lbF</th><th>N</th></tr></thead><tbody><tr><td>M-1</td><td>525</td><td>2.354</td></tr></tbody></table> |                                                                                     | Muestra | Carga máxima registrada |  | lbF | N | M-1 | 525 | 2.354 |
| Muestra                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | Carga máxima registrada                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                     |         |                         |  |     |   |     |     |       |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | lbF                                                                                                                                                                                                                                           | N                                                                                   |         |                         |  |     |   |     |     |       |
| M-1                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 525                                                                                                                                                                                                                                           | 2.354                                                                               |         |                         |  |     |   |     |     |       |
| <br>LAEV-PPN<br>Orden de Nº 0004141                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | <br>ESTE INFORME PERTENECE A LA UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA EQUINOCCIAL                                                                                      |                                                                                     |         |                         |  |     |   |     |     |       |

### 3. ENSAYO DE CORTE A ENVASE PLÁSTICO

En la tabla 2 se presentan los resultados del ensayo de corte realizado a la muestra de envase plástico.

Tabla 2. Resultados de la resistencia al corte de la muestra de envase plástico.

| Muestra | Carga máxima registrada |       |
|---------|-------------------------|-------|
|         | lbf                     | N     |
| M-1     | 702                     | 3.123 |

En el anexo se presenta fotografías de las muestras a ser ensayadas.



## ANEXO B

### FACTOR POR TAMAÑO MATERIAL ACERO

$$K_b \approx \left\{ \begin{array}{l} 1 \\ 1, \quad \text{si } d_e \leq 8 \text{ mm (0.3 in)} \\ 1.24d_e^{-0.107}, \quad \text{si } 8 \leq d_e \leq 51 \text{ mm} \\ 1.51d_e^{-0.157}, \quad \text{si } 51 < d_e \leq 254 \text{ mm} \\ 0.879d_e^{-0.107}, \quad \text{si } 0.3 \leq d_e \leq 2 \text{ in} \\ 0.91d_e^{-0.157}, \quad \text{si } 2 < d_e \leq 10 \text{ in} \\ 0.6, \quad \text{si } d_e > 254 \text{ mm (10 in)} \end{array} \right\} \begin{array}{l} \text{Carga} \\ \text{axial} \\ \\ \text{Aceros} \\ \text{en flexión} \\ \text{y torsión} \end{array}$$

## ANEXO C

### FACTOR DE CONFIABILIDAD

$K_c$ : según confiabilidad

| Confiabilidad (%) | 50 | 90    | 99    | 99.9  | 99.99 | 99.999 |
|-------------------|----|-------|-------|-------|-------|--------|
| $K_c$             | 1  | 0.897 | 0.814 | 0.753 | 0.702 | 0.659  |

## ANEXO D

### FACTOR DE TEMPERATURA

$$K_d = \left\{ \begin{array}{l} 1, \quad 20 \leq T_{emp} \leq 250 \text{ } ^\circ\text{C} \\ \text{De lo contrario, tener en cuenta los diversos efectos de altas temperaturas} \end{array} \right\} \text{ SÓLO PARA ACEROS}$$

## ANEXO E

### FACTOR DE CARGA

$$K_{car} = \begin{cases} 1, & \text{flexión (o torsión si se calculan los esfuerzos equivalentes de von Mises)} \\ 0.577, & \text{torsión} \\ 0.7, & \text{carga axial} \end{cases}$$

## ANEXO F

### LIMITE DE RESISTENCIA POR FATIGA EN ACEROS

$$S_e' \approx \begin{cases} 0.5 S_u, & \text{si } S_u < 1380 \text{ MPa (200 ksi)} \\ 690 \text{ MPa} = 100 \text{ ksi}, & \text{si } S_u \geq 1380 \text{ MPa (200 ksi)} \end{cases} \text{ Aceros}$$

## ANEXO G

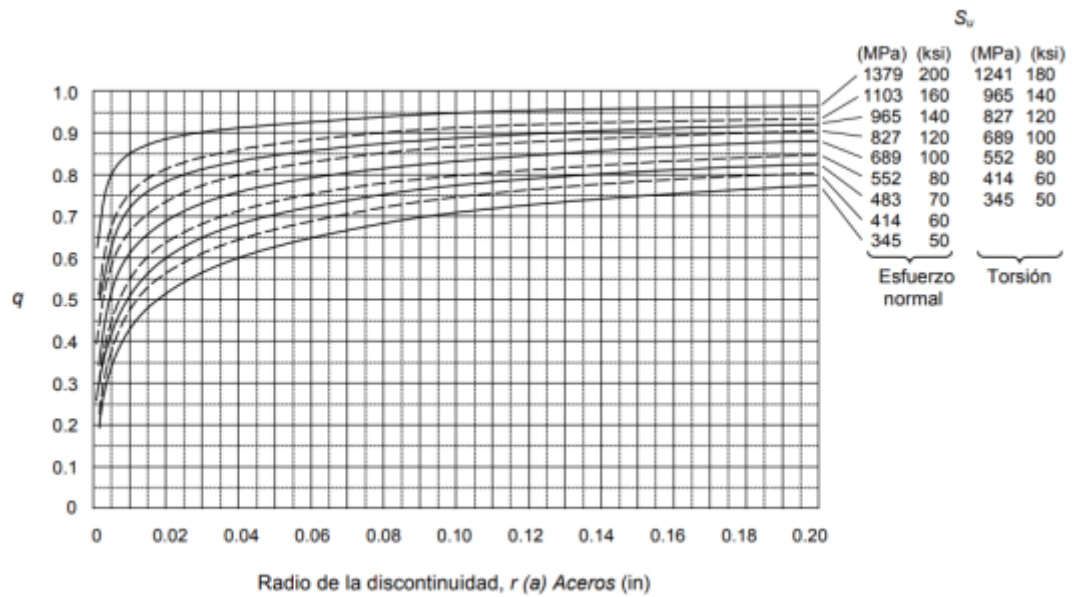
### CONSTANTE DE NEUBER PARA ACEROS

| $S_u$ |       | $\sqrt{a}$            |                      |                      |                      |
|-------|-------|-----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
|       |       | Carga axial y flexión |                      | Torsión              |                      |
| (ksi) | (MPa) | (in <sup>0.5</sup> )  | (mm <sup>0.5</sup> ) | (in <sup>0.5</sup> ) | (mm <sup>0.5</sup> ) |
| 50    | 345   | 0.130                 | 0.66                 | 0.093                | 0.47                 |
| 55    | 380   | 0.118                 | 0.59                 | 0.087                | 0.44                 |
| 60    | 415   | 0.108                 | 0.54                 | 0.080                | 0.40                 |
| 70    | 485   | 0.093                 | 0.47                 | 0.070                | 0.35                 |
| 80    | 550   | 0.080                 | 0.40                 | 0.062                | 0.31                 |
| 90    | 620   | 0.070                 | 0.35                 | 0.055                | 0.28                 |
| 100   | 690   | 0.062                 | 0.31                 | 0.049                | 0.25                 |
| 110   | 760   | 0.055                 | 0.28                 | 0.044                | 0.22                 |
| 120   | 825   | 0.049                 | 0.25                 | 0.039                | 0.20                 |
| 130   | 895   | 0.044                 | 0.22                 | 0.035                | 0.18                 |
| 140   | 965   | 0.039                 | 0.20                 | 0.031                | 0.16                 |
| 160   | 1100  | 0.031                 | 0.16                 | 0.024                | 0.12                 |
| 180   | 1240  | 0.024                 | 0.12                 | 0.018                | 0.09                 |
| 200   | 1380  | 0.018                 | 0.09                 | 0.013                | 0.07                 |
| 220   | 1515  | 0.013                 | 0.07                 | 0.009                | 0.05                 |
| 240   | 1655  | 0.009                 | 0.05                 |                      |                      |

## ANEXO H

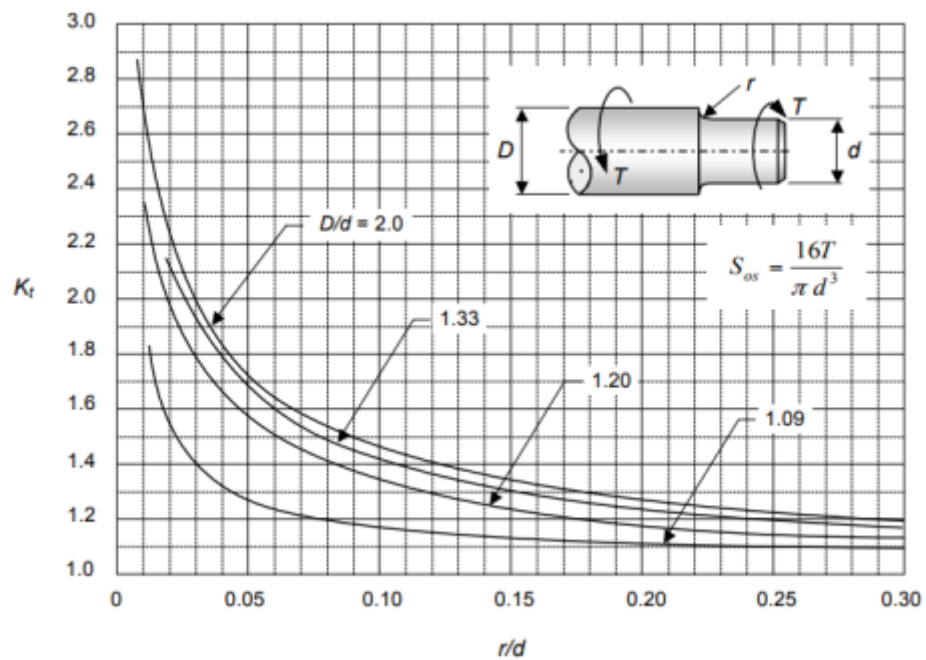
### CURVAS PARA DETERMINAR EL ÍNDICE DE SENSIBILIDAD A LA

### ENTALLA (q)



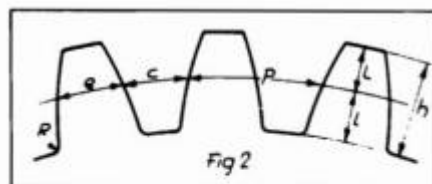
## ANEXO I

EJE DE SECCIÓN CIRCULAR CON CAMBIO DE SECCIÓN SOMETIDO A FLEXIÓN



## ANEXO J

DIMENSIONES DEL DIENTE



$h$  = Altura total del diente.  
 $L$  = Altura de la cabeza del diente.  
 $l$  = Altura del pie del diente.  
 $R$  = Radio del pie del diente.  
 $P$  = Paso circunferencial.  
 $c$  = Espesor del diente.  
 $e$  = Espacio entre dientes.

**Formulas:**

$$\begin{aligned}
 h &= 2,167 \times \text{Módulo.} & P &= c + e = 3,1416 \times \text{Módulo.} \\
 L &= \text{Módulo.} & e &= 0,5 \times P. \\
 l &= 1,167 \times \text{Módulo.} & c &= 0,5 \times P. \\
 R &= 0,3 \times \text{Módulo (máximo).}
 \end{aligned}$$

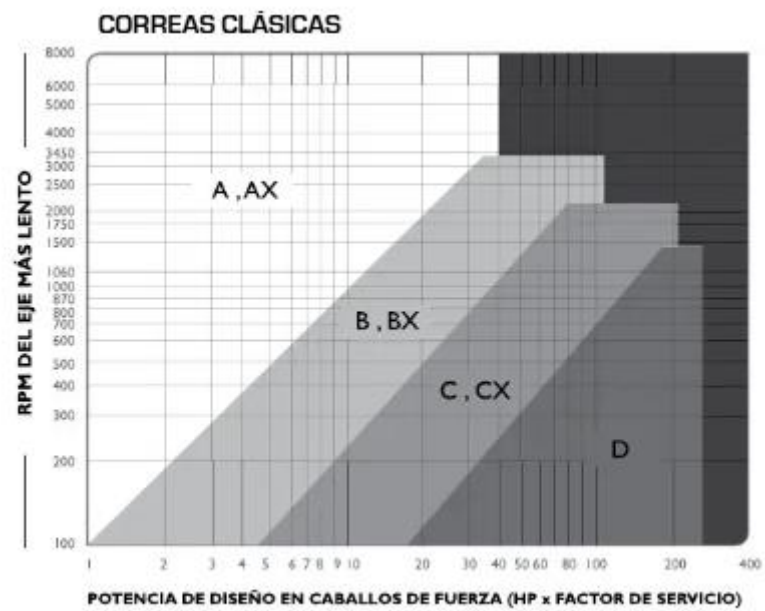
## ANEXO K

### FACTORES DE SERVICIO

| FACTORES DE SERVICIO TÍPICOS                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                       |                 |                   |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|-----------------|-------------------|
| TIPOS DE MÁQUINAS O EQUIPOS                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | SERVICIO INTERMITENTE | SERVICIO NORMAL | SERVICIO CONTINUO |
| Agitadores para líquidos<br>Sopladores y aspiradores<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>Molinos de masa<br>Ejes de línea<br>Generadores<br>Maquinaria de imprenta<br>Taladros prensas cortadores<br>Cintas giratorias y vibratorias<br>Ventiladores de más de 10 caballos de fuerza | 1.2                   | 1.3             | 1.4               |
| Maquinaria para aserrío y trabajos en madera<br>Transportadores [arrastre o tornillo]<br>Compresores de pistón<br>Molinos de marilla<br>Pulverizadores<br>Excavadores<br>Maquinaria textil<br>Bombas de pistón<br>Elevadores cargadores<br>Maquinaria para ladrillos<br>Sopladores de desplazamiento positivo                                      | 1.4                   | 1.5             | 1.6               |
| Trituradores [giratorias-mandibula-rodillo]<br>Extrusoras molinos de caucho<br>Molinos de bolas<br>Molacetas                                                                                                                                                                                                                                       | 1.5                   | 1.6             | 1.8               |

## ANEXO L

### SELECCIÓN TIPO DE CORREA



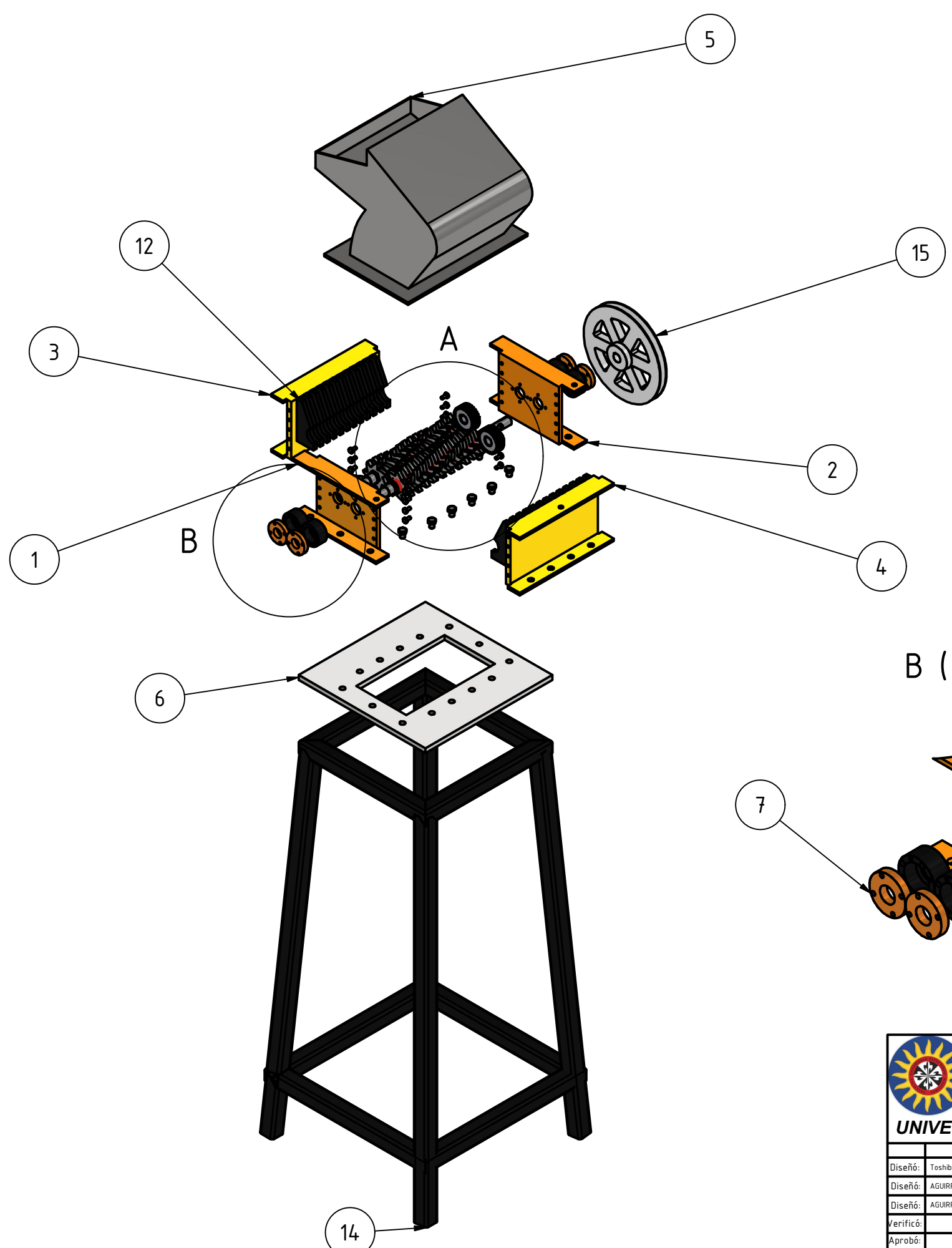
## ANEXO M

## FICHA TÉCNICA DE LA MÁQUINA TRITURADORA

## ANEXO N

PLANOS TRITURADORA DE PLÁSTICO (PDF AJUNTO)





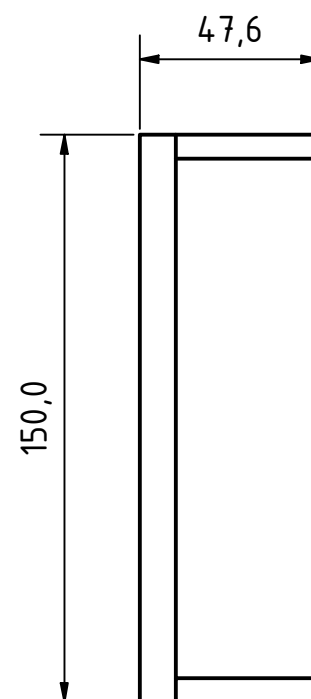
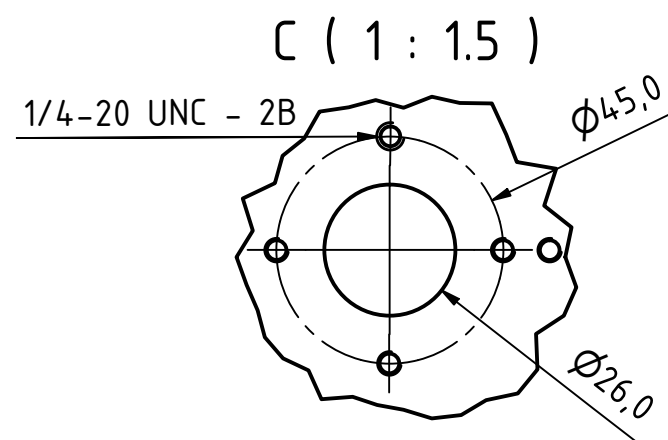
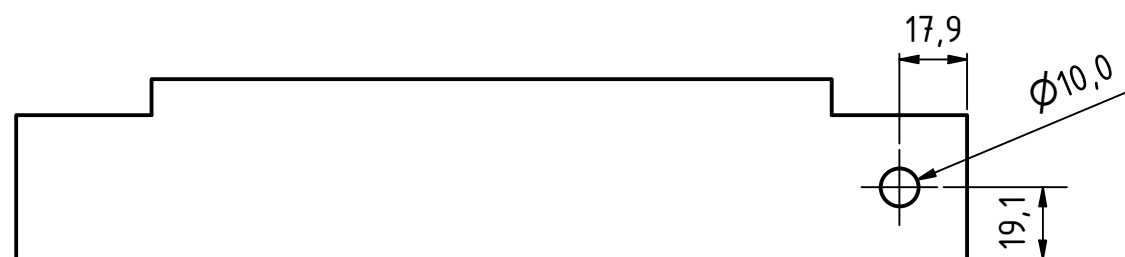
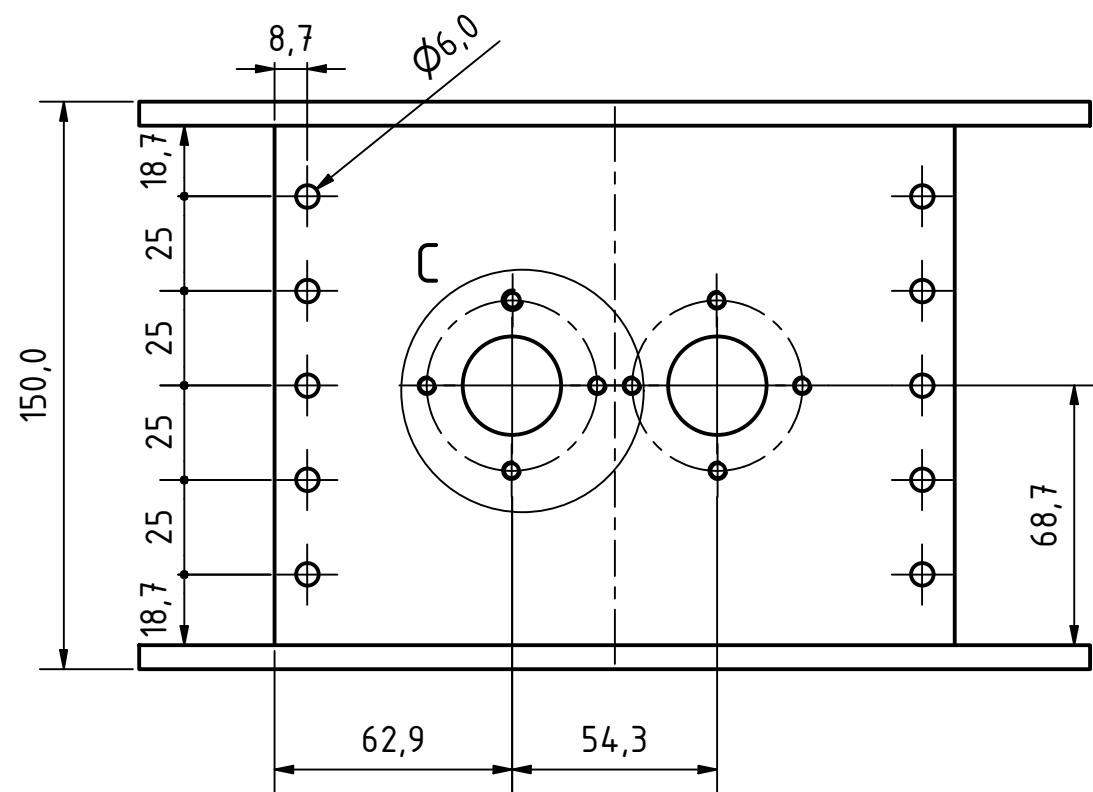
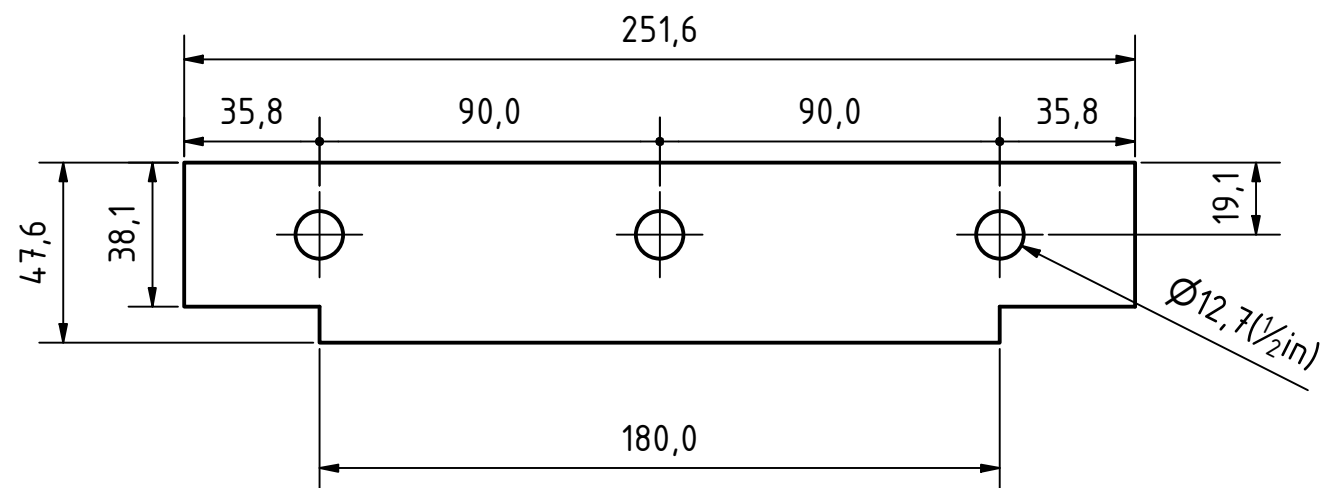
| LISTA DE PIEZAS |       |                                        |
|-----------------|-------|----------------------------------------|
| ELEMENTO        | CTDAD | Nº DE PIEZA                            |
| 1               | 1     | Tapa ejes 1                            |
| 2               | 1     | Tapa ejes 2                            |
| 3               | 1     | Tapa Lateral 1                         |
| 4               | 1     | Tapa Lateral 2                         |
| 5               | 1     | Tolva                                  |
| 6               | 1     | Placa Base                             |
| 7               | 4     | Chumaceras                             |
| 8               | 25    | Cuchilla                               |
| 9               | 25    | Separador                              |
| 10              | 1     | Eje Motriz                             |
| 11              | 1     | Eje Conducido                          |
| 12              | 25    | Placa Separadora                       |
| 13              | 2     | Engranaje                              |
| 14              | 1     | Estructura                             |
| 15              | 1     | Polea Conducida 9 in                   |
| 16              | 20    | ANSI B18.2.1 - 1/4-20 UNC - 0,5, HCSI  |
| 17              | 13    | ANSI B18.2.1 - 7/16-14 UNC - 0,5, HCSI |
| 18              | 1     | ANSI B18.2.1 - 1/2-13 UNC - 0,75, HCSI |



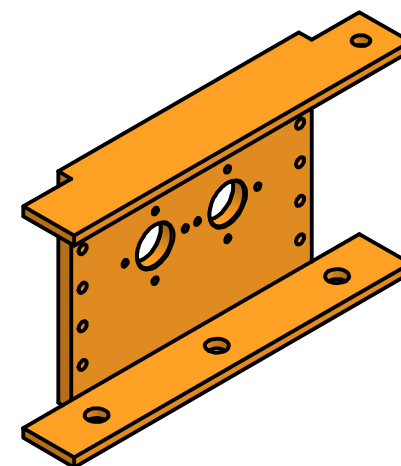
**FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA**  
UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS TUNJA

ELIMINAR REBASAS Y ARISTAS VIVAS SALVO INDICACIONES. NO TOMAR MEDIDAS SOBRE EL PLANO.  
SI NO SE INDICA LO CONTRARIO EN EL PLANO: COTAS EN mm  
ACABADO SUPERFICIAL: N6  
TOLERANCIA LINEAL: ± 0.1  
ANGULAR: ± 1°

|                 |  |                   |  |             |                                     |                                                                     |
|-----------------|--|-------------------|--|-------------|-------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|
| Diseño: Toshiba |  | Fecha: 12/08/2025 |  | Material:   | Proyecto: BASE TRITURADOR           |                                                                     |
| Diseño: AGUIRRE |  | 18/04/2017        |  |             | Asignatura:                         |                                                                     |
| Diseño: AGUIRRE |  | 18/04/2017        |  |             | Nombre de la pieza: BASE TRITURADOR |                                                                     |
| Verificó:       |  |                   |  | Formato: A3 | Escala: 1 : 10                      | Código de la pieza: FINAL                                           |
| Aprobó:         |  |                   |  | Peso: N/D   | Representación: Hoja 1 de 16        | Nota:                                                               |
| Fabricó:        |  |                   |  |             |                                     | Dirección acceso: C:\Users\Asus\Downloads\Finales\Finales\FINAL.iam |

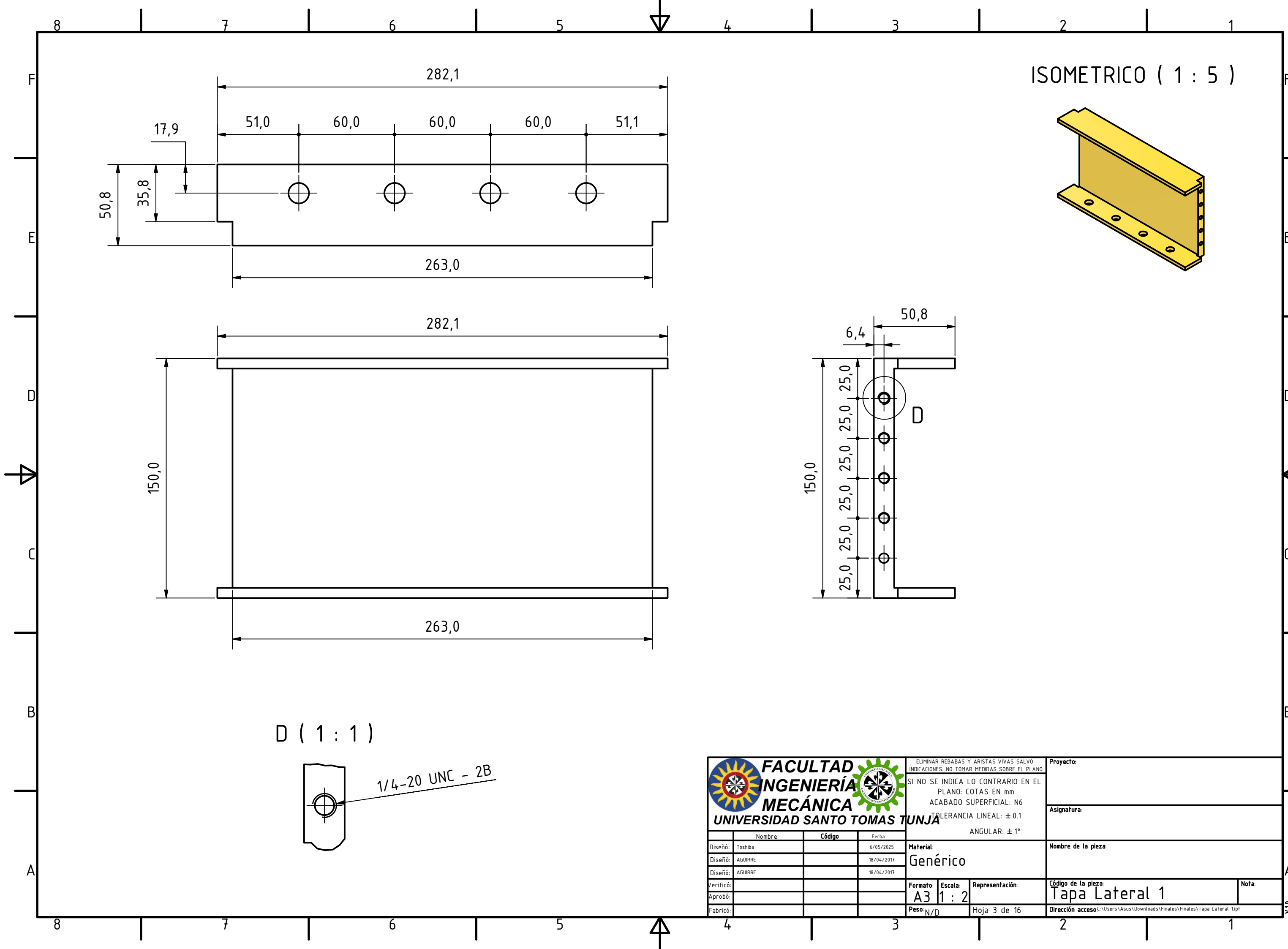


ISOMETRICO ( 1 : 4 )



|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |  |  |  |                     |  |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|--|--|---------------------|--|
| <div><div><div><div><div><div></div><div><div><div><div><div>FACULTAD</div><div>INGENIERÍA</div><div>MECÁNICA</div></div></div><div><div><div><div>UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS TUNJA</div></div></div></div></div><div><div><div><div><div><div></div></div></div><div><div><div><div>UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS TUNJA</div></div></div></div></div></div></div><div>ELIMINAR REBABAS Y ARISTAS VIVAS SALVO INDICACIONES. NO TOMAR MEDIDAS SOBRE EL PLANO.<br/>SI NO SE INDICA LO CONTRARIO EN EL PLANO: COTAS EN mm<br/>ACABADO SUPERFICIAL: N6<br/>TOLERANCIA LINEAL: ± 0.1<br/>ANGULAR: ± 1°</div></div></div></div></div></div></div> |  |  |  | Proyecto:           |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |  |  |  | Asignatura:         |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |  |  |  | Nombre de la pieza: |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |  |  |  | Código de la pieza: |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |  |  |  | Nota:               |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |  |  |  | Dirección acceso:   |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |  |  |  |                     |  |

|                |  |          |  |              |  |                 |  |
|----------------|--|----------|--|--------------|--|-----------------|--|
| Material:      |  | Formato: |  | Escala:      |  | Representación: |  |
| Acero, carbono |  | A3       |  | 1 : 2        |  |                 |  |
| Peso:          |  | N/D      |  | Hoja 2 de 16 |  |                 |  |

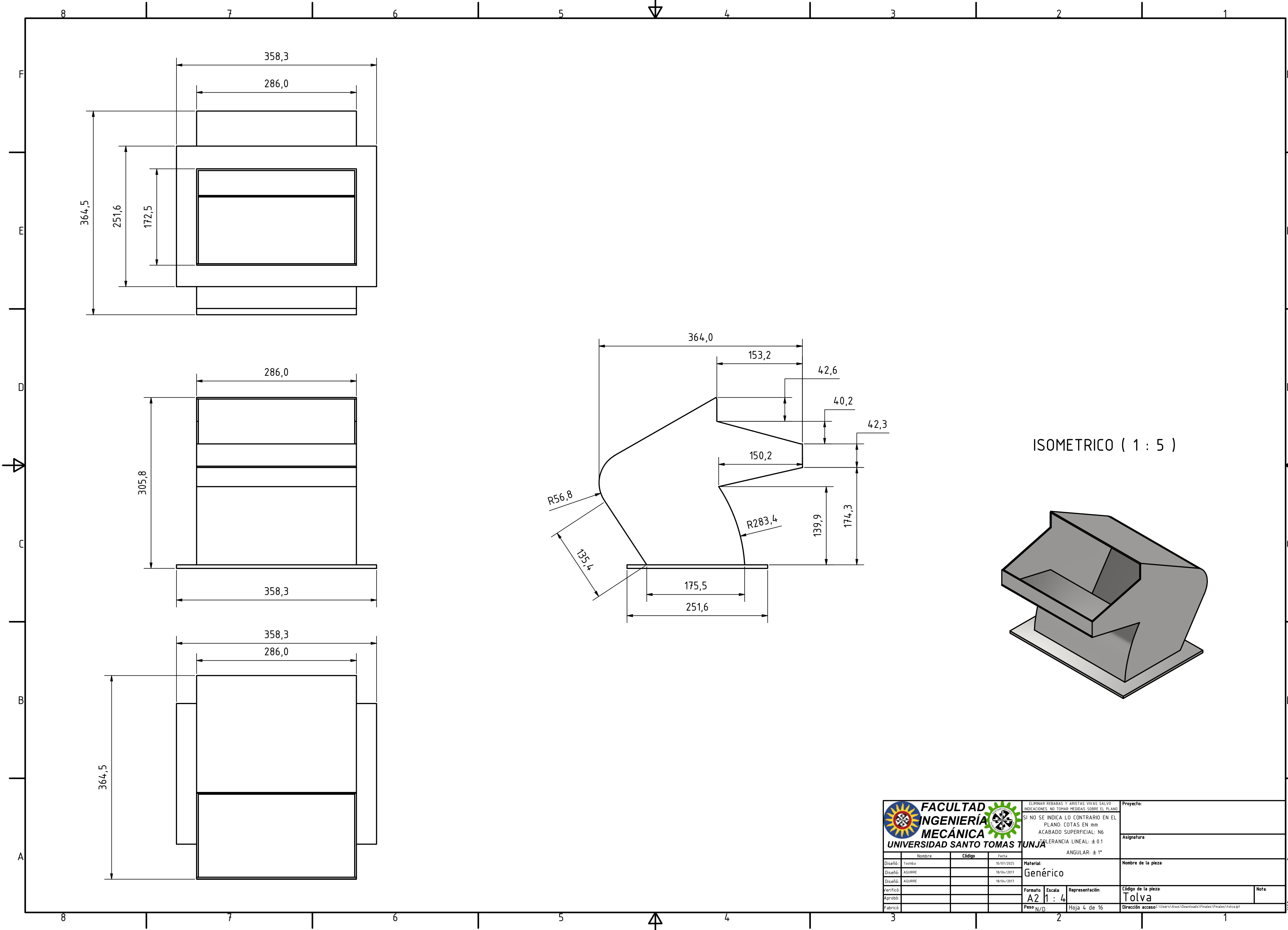


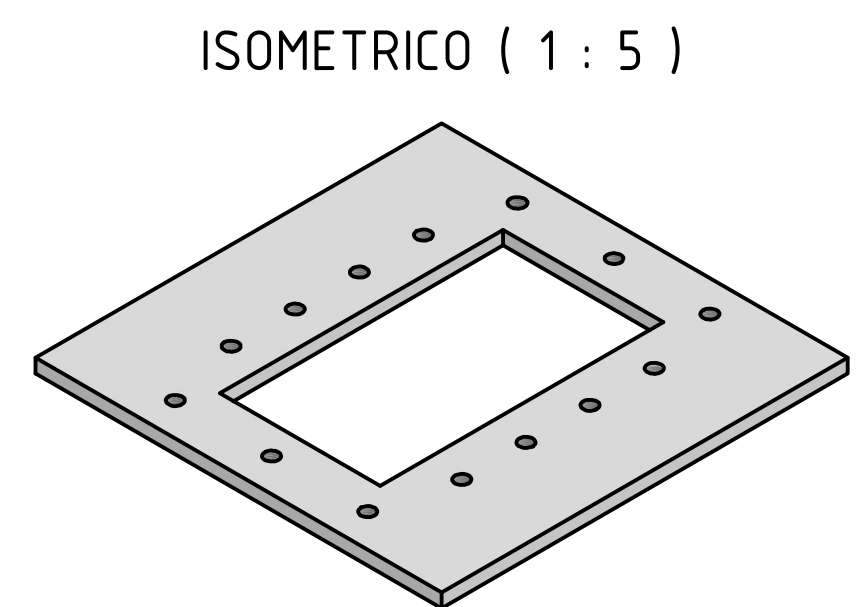
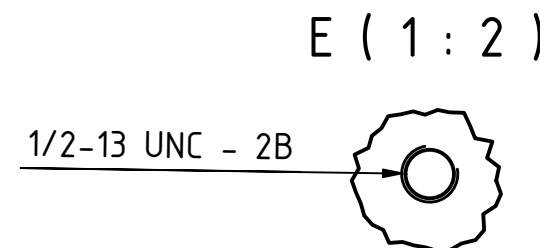
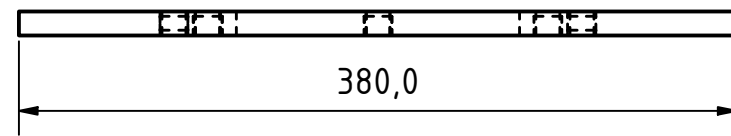
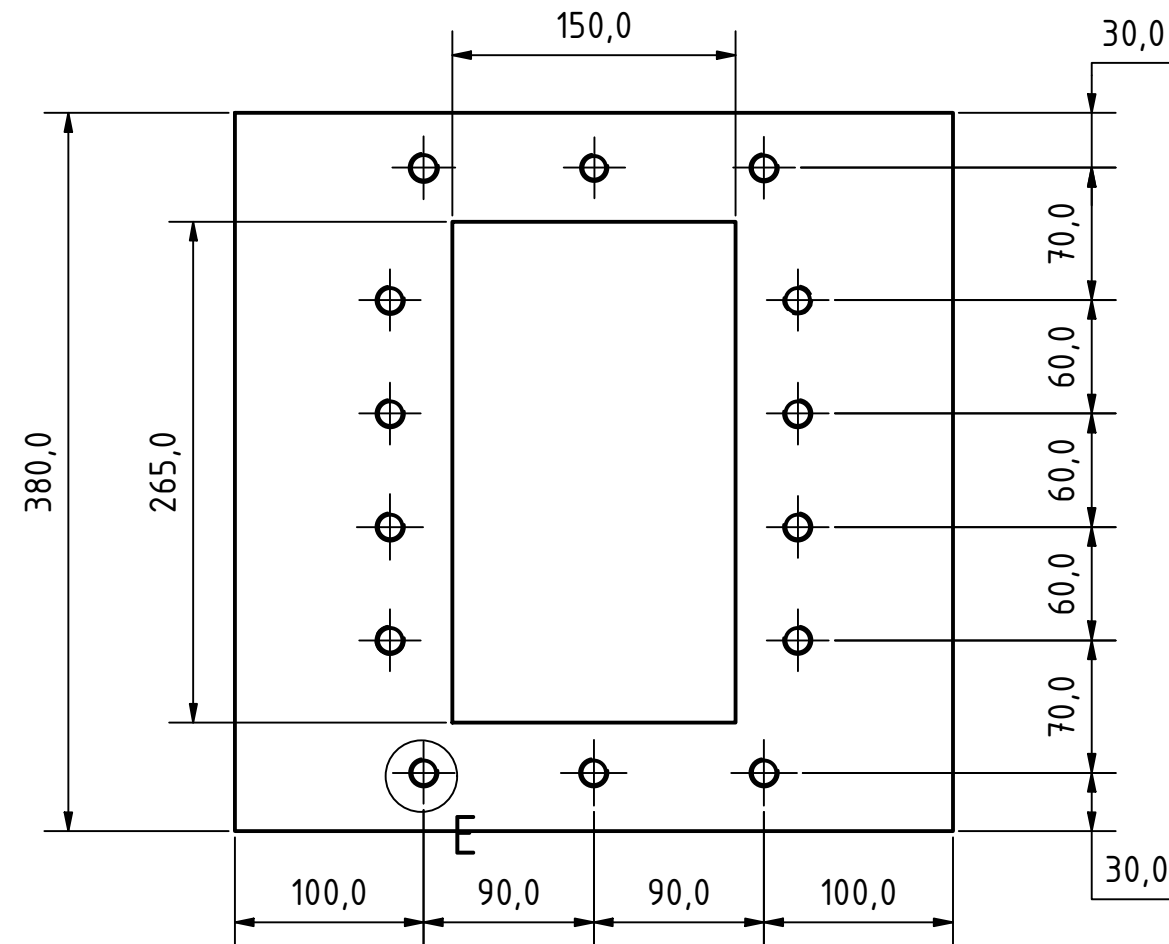
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |  |  |  |                     |  |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|--|--|---------------------|--|
| <div><div><div><div><div></div><div>FACULTAD<br/>INGENIERÍA<br/>MECÁNICA</div></div><div><div><div>UNIVERSIDAD SANTO TOMAS TUNJA</div><div></div></div></div></div><div><div>ELIMINAR REBABAS Y ARISTAS VIVAS SALVO INDICACIONES. NO TOMAR MEDIDAS SOBRE EL PLANO.</div><div>SI NO SE INDICA LO CONTRARIO EN EL PLANO: COTAS EN mm</div><div>ACABADO SUPERFICIAL: N6</div><div>TOLERANCIA LINEAL: ± 0.1</div><div>ANGULAR: ± 1°</div></div></div></div> |  |  |  | Proyecto:           |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |  |  |  | Asignatura:         |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |  |  |  | Nombre de la pieza: |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |  |  |  | Código de la pieza: |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |  |  |  | Nota:               |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |  |  |  | Dirección acceso:   |  |

|           |  |         |            |
|-----------|--|---------|------------|
| Nombre    |  | Código  | Fecha      |
| Diseño:   |  |         | 6/05/2025  |
| Diseño:   |  | AGUIRRE | 18/04/2017 |
| Diseño:   |  | AGUIRRE | 18/04/2017 |
| Verificó: |  |         |            |
| Aprobó:   |  |         |            |
| Fabricó:  |  |         |            |

|              |          |                 |
|--------------|----------|-----------------|
| Material:    | Genérico |                 |
| Formato:     | A3       | Escala:         |
| Peso:        | N/D      | Representación: |
| Hoja 3 de 16 |          |                 |

|                                                            |  |
|------------------------------------------------------------|--|
| Tapa Lateral 1                                             |  |
| C:\Users\Asus\Downloads\Finales\Finales\Tapa Lateral 1.tif |  |

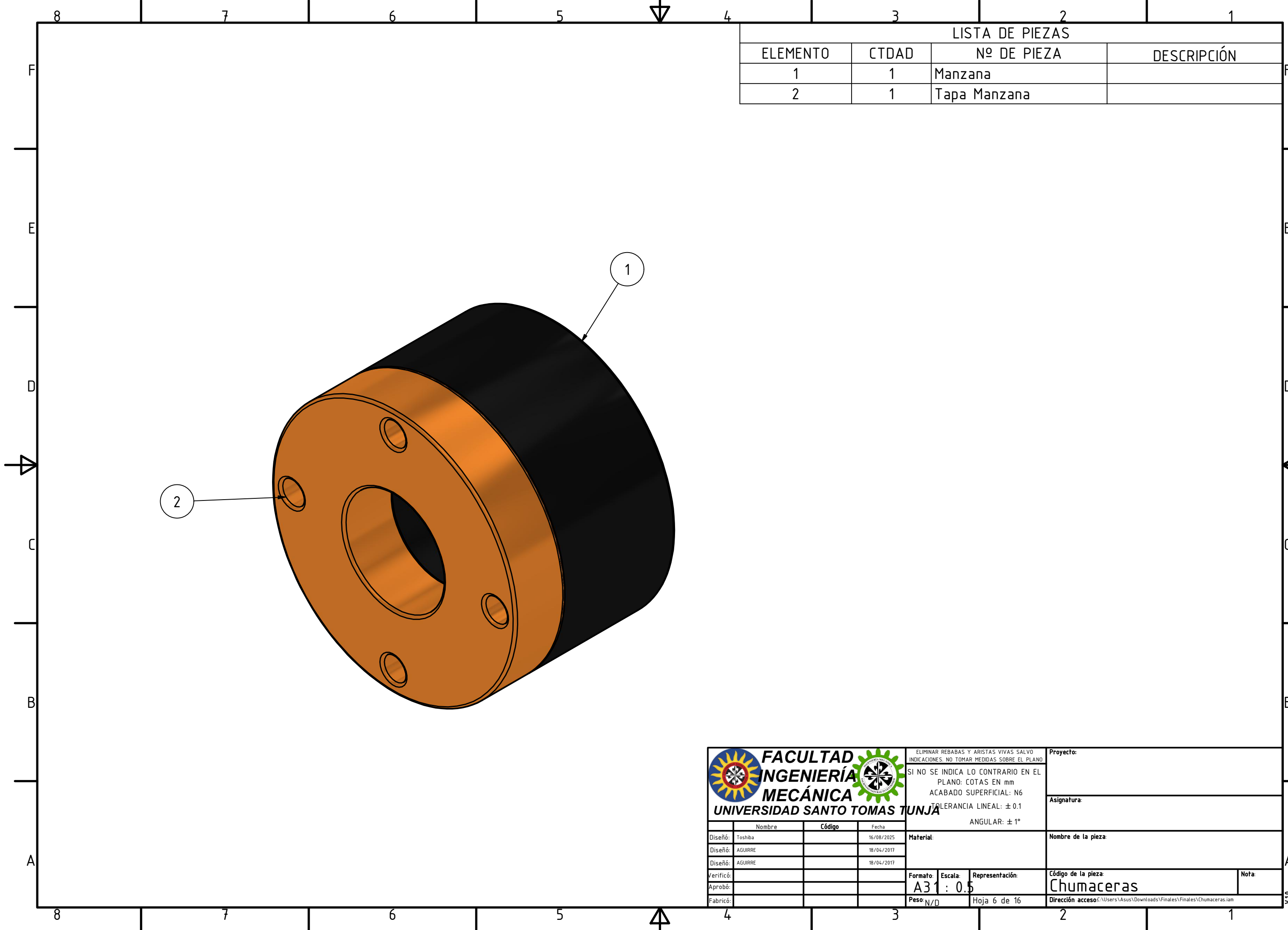




ESPESOR: 3/8in

|                                                                     |  |  |  |                                                                                      |  |  |  |                                |  |
|---------------------------------------------------------------------|--|--|--|--------------------------------------------------------------------------------------|--|--|--|--------------------------------|--|
|                                                                     |  |  |  | ELIMINAR REBABAS Y ARISTAS VIVAS SALVO INDICACIONES. NO TOMAR MEDIDAS SOBRE EL PLANO |  |  |  | Proyecto:                      |  |
| SI NO SE INDICA LO CONTRARIO EN EL PLANO: COTAS EN mm               |  |  |  | ACABADO SUPERFICIAL: N6                                                              |  |  |  | Asignatura:                    |  |
| TOLERANCIA LINEAL: $\pm 0.1$                                        |  |  |  | ANGULAR: $\pm 1^\circ$                                                               |  |  |  | Nombre de la pieza:            |  |
| Formato: A3                                                         |  |  |  | Escala: 1 : 4                                                                        |  |  |  | Código de la pieza: Placa Base |  |
| Peso: N/D                                                           |  |  |  | Hoja 5 de 16                                                                         |  |  |  | Nota:                          |  |
| Dirección acceso: C:\Users\Asus\Downloads\Finales\Finales\baase.ipf |  |  |  |                                                                                      |  |  |  |                                |  |





| LISTA DE PIEZAS |       |              |             |
|-----------------|-------|--------------|-------------|
| ELEMENTO        | CTDAD | Nº DE PIEZA  | DESCRIPCIÓN |
| 1               | 1     | Manzana      |             |
| 2               | 1     | Tapa Manzana |             |



FACULTAD  
INGENIERÍA  
MECÁNICA

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS TUNJA

ELIMINAR REBABAS Y ARISTAS VIVAS SALVO INDICACIONES. NO TOMAR MEDIDAS SOBRE EL PLANO

SI NO SE INDICA LO CONTRARIO EN EL PLANO: COTAS EN mm

ACABADO SUPERFICIAL: N6

TOLERANCIA LINEAL: ± 0.1

ANGULAR: ± 1°

Proyecto:

Asignatura:

Nombre de la pieza:

Código de la pieza:

Nota:

Nombre

Código

Fecha

Diseño:

Toshiba

16/08/2025

Diseño:

AGUIRRE

18/04/2017

Diseño:

AGUIRRE

18/04/2017

Verificó:

Aprobó:

Fabricó:

Material:

Formato:

Escala:

Representación:

Peso:

Código de la pieza:

Nota:

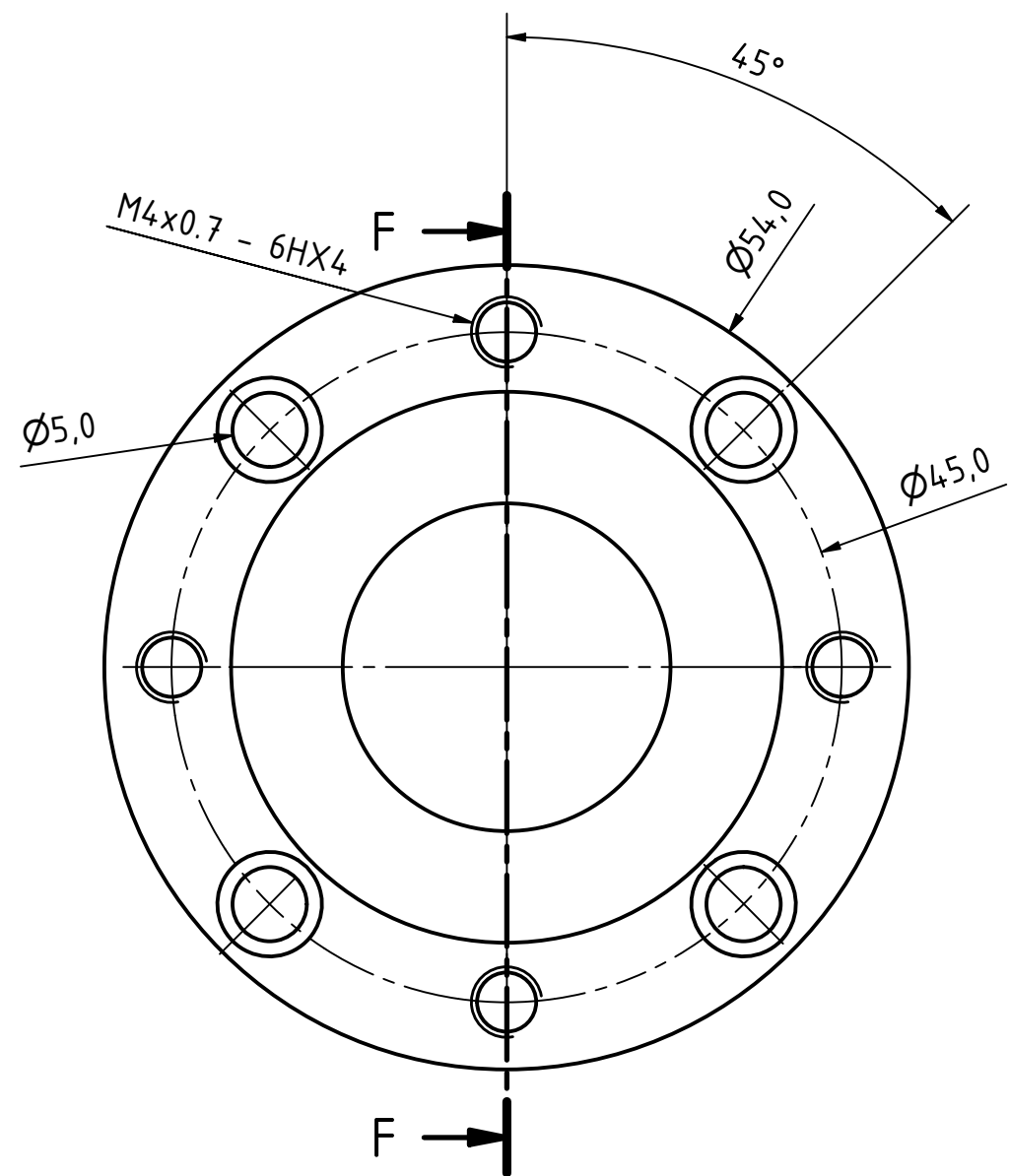
Chumaceras

Nota:

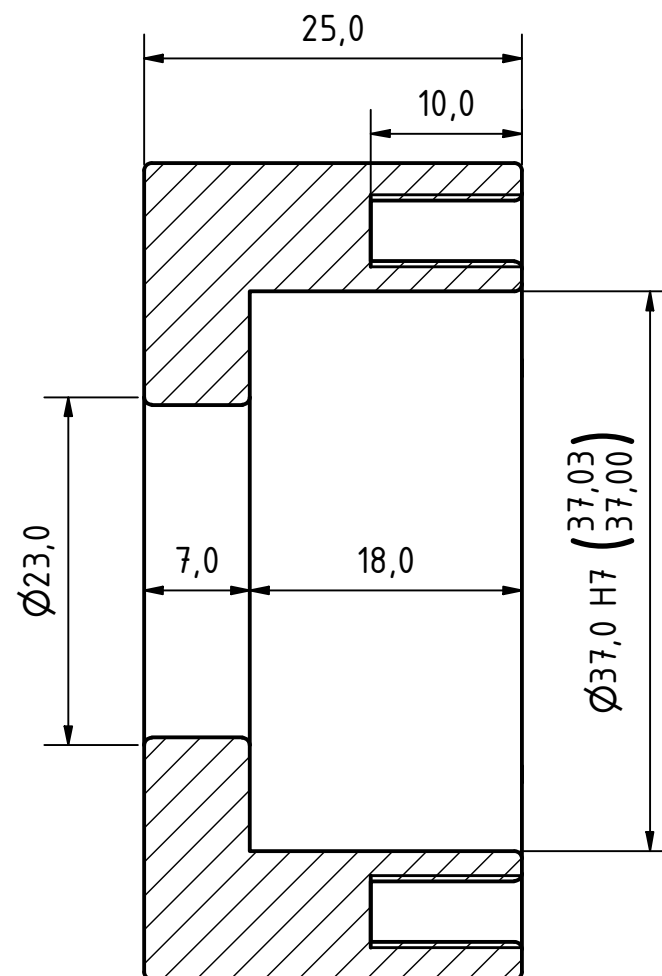
Dirección acceso:

C:\Users\Asus\Downloads\Finales\Finales\Chumaceras.iam

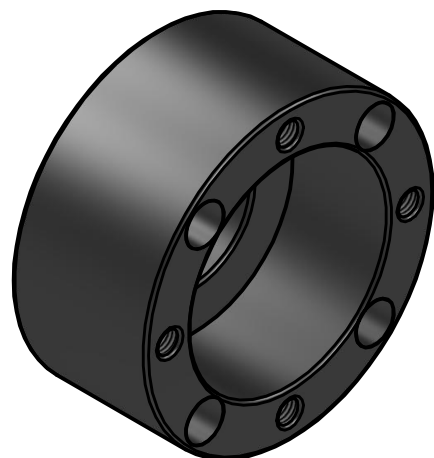
V:1.0



F-F ( 1 : 0.5 )

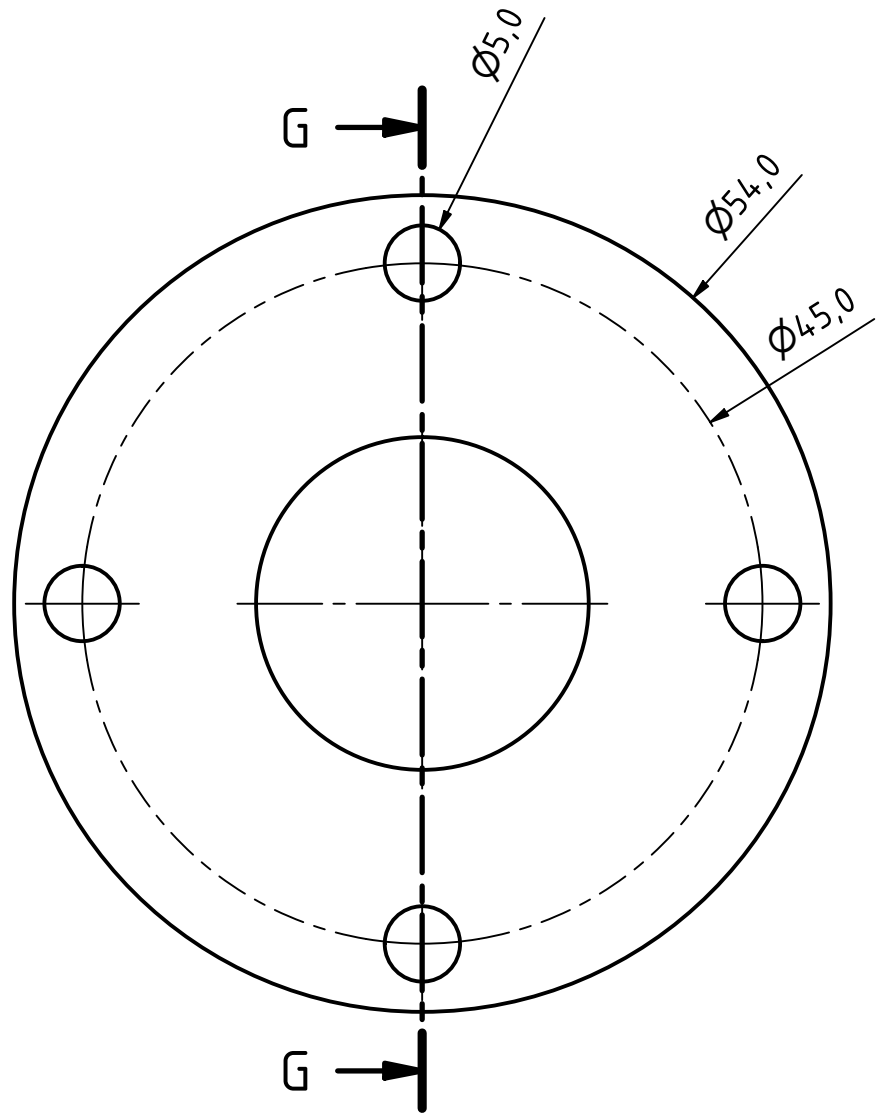


ISOMETRICO ( 1 : 1 )

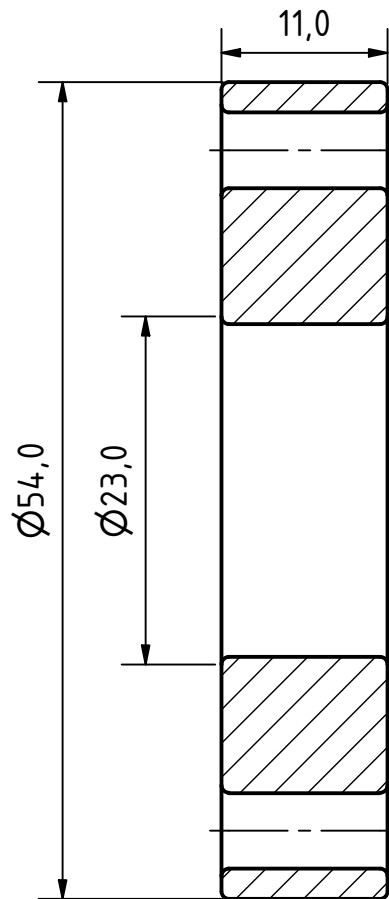


|                                                                       |  |  |                                                                                       |  |                             |  |
|-----------------------------------------------------------------------|--|--|---------------------------------------------------------------------------------------|--|-----------------------------|--|
|                                                                       |  |  | ELIMINAR REBASAS Y ARISTAS VIVAS SALVO INDICACIONES. NO TOMAR MEDIDAS SOBRE EL PLANO. |  | Proyecto:                   |  |
| SI NO SE INDICA LO CONTRARIO EN EL PLANO: COTAS EN mm                 |  |  | ACABADO SUPERFICIAL: N6                                                               |  | Asignatura:                 |  |
| TOLERANCIA LINEAL: ± 0.1                                              |  |  | ANGULAR: ± 1°                                                                         |  | Nombre de la pieza:         |  |
| Material: Genérico                                                    |  |  | Formato: A31 : 0.5                                                                    |  | Código de la pieza: Manzana |  |
| Peso: N/D                                                             |  |  | Hoja 7 de 16                                                                          |  | Nota:                       |  |
| Dirección acceso: C:\Users\Asus\Downloads\Finales\Finales\Manzana.jpg |  |  |                                                                                       |  |                             |  |

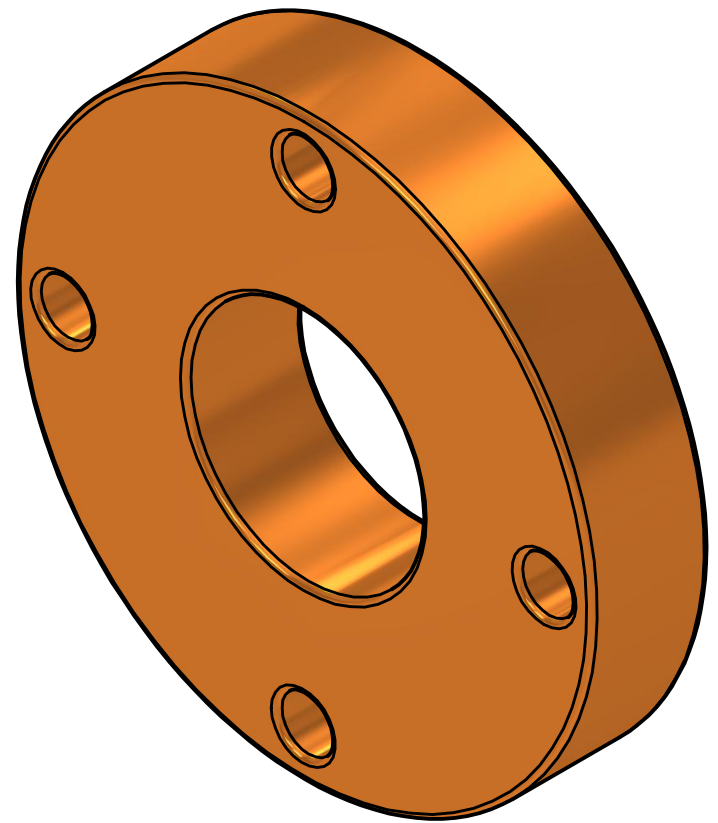




G-G ( 1 : 0.5 )

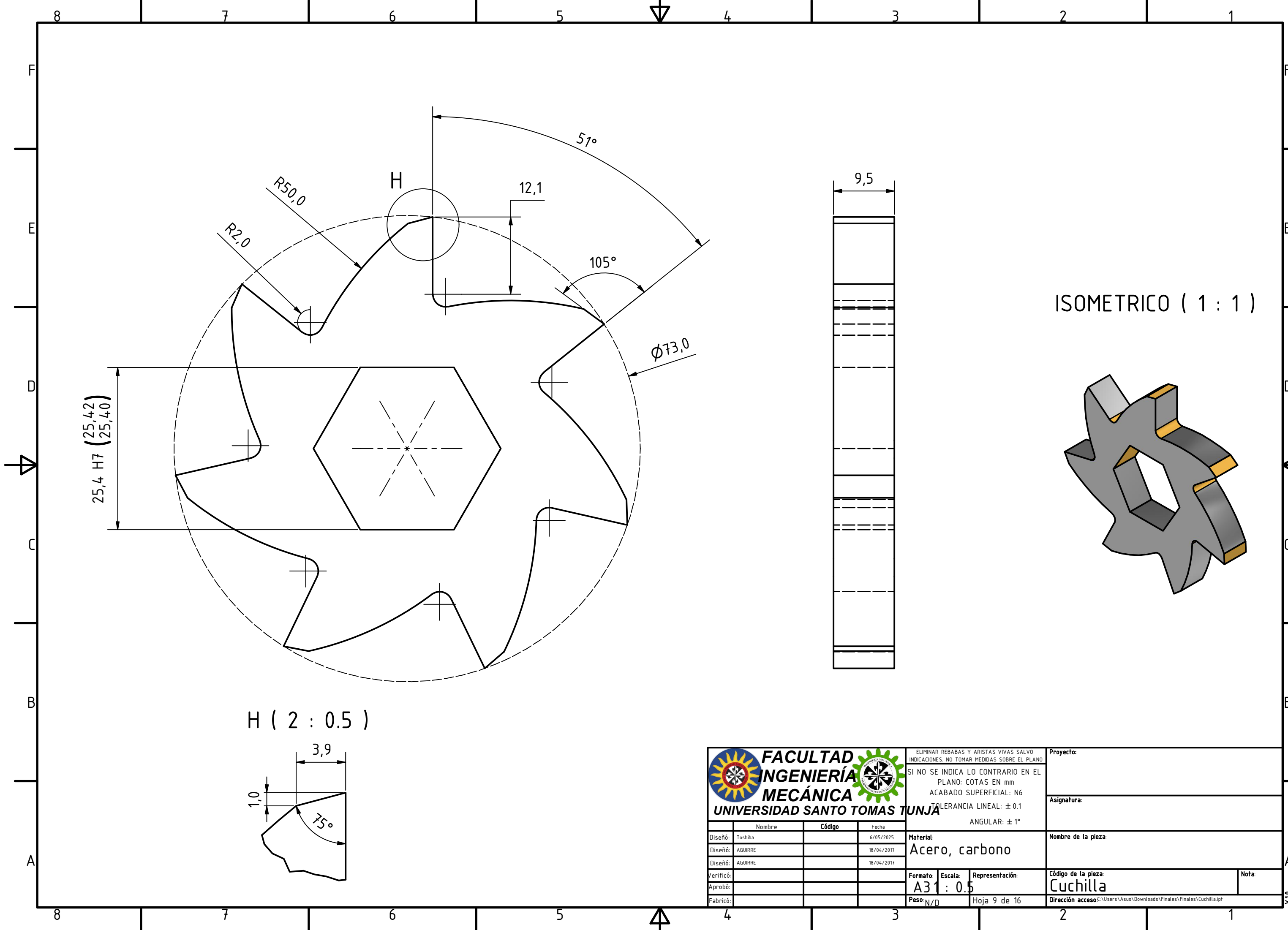


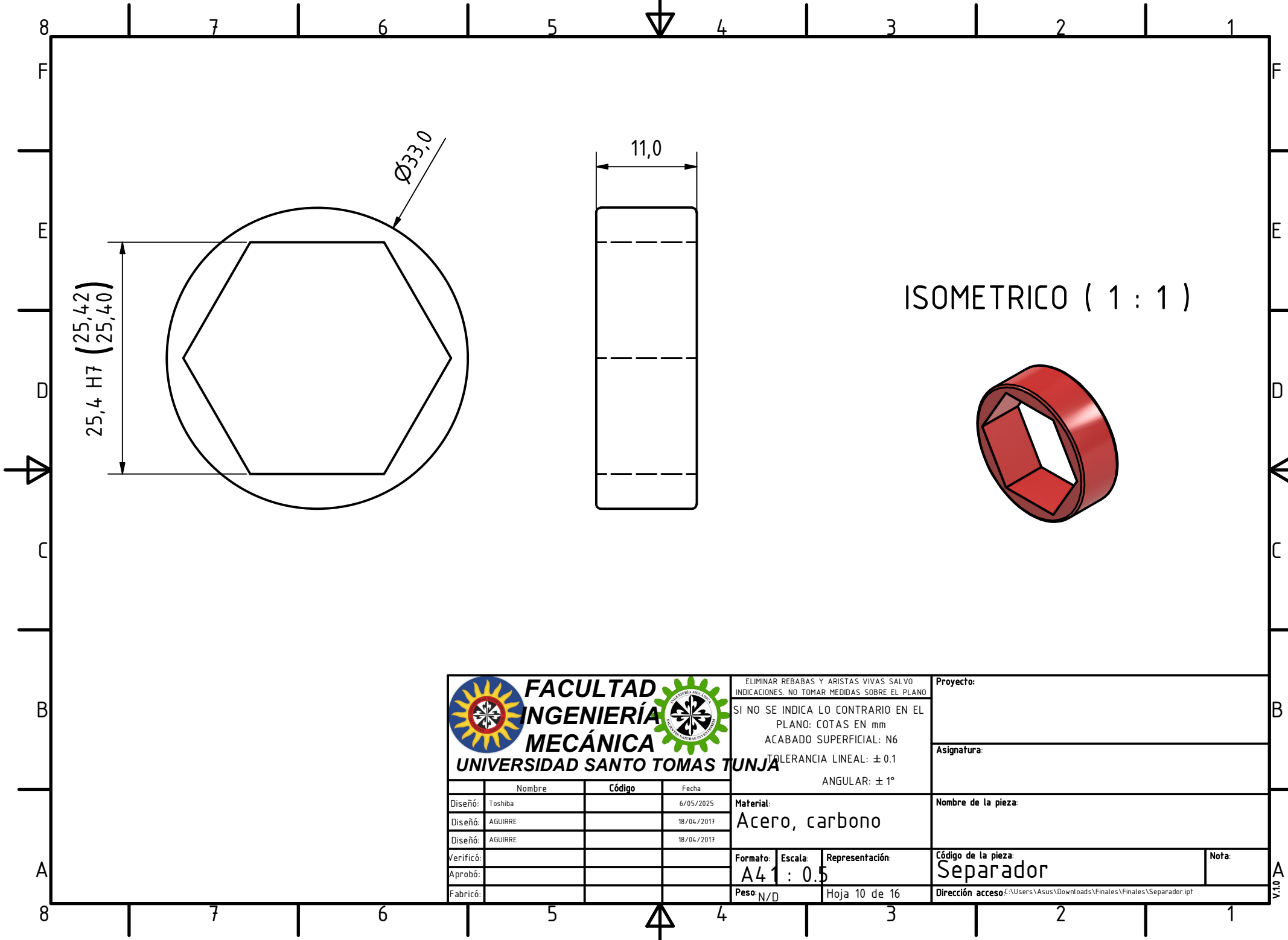
ISOMETRICO ( 1 : 0.5 )



|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |         |                     |                                                                            |             |         |                     |                     |          |     |              |  |              |  |       |     |              |                                                                            |  |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|---------------------|----------------------------------------------------------------------------|-------------|---------|---------------------|---------------------|----------|-----|--------------|--|--------------|--|-------|-----|--------------|----------------------------------------------------------------------------|--|
| <div><div><div></div><div><div>FACULTAD<br/>INGENIERÍA<br/>MECÁNICA</div><div>UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS TUNJA</div></div></div><div><div>ELIMINAR REBABAS Y ARISTAS VIVAS SALVO INDICACIONES. NO TOMAR MEDIDAS SOBRE EL PLANO</div><div>SI NO SE INDICA LO CONTRARIO EN EL PLANO: COTAS EN mm</div><div>ACABADO SUPERFICIAL: N6</div><div>TOLERANCIA LINEAL: ± 0.1</div><div>ANGULAR: ± 1°</div></div></div> |         |                     |                                                                            | Proyecto:   |         |                     |                     |          |     |              |  |              |  |       |     |              |                                                                            |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |         |                     |                                                                            | Asignatura: |         |                     |                     |          |     |              |  |              |  |       |     |              |                                                                            |  |
| <table><tr><td colspan="2">Material:</td><td colspan="2">Nombre de la pieza:</td></tr><tr><td colspan="2">Genérico</td><td colspan="2">Tapa Manzana</td></tr></table>                                                                                                                                                                                                                                      |         |                     |                                                                            | Material:   |         | Nombre de la pieza: |                     | Genérico |     | Tapa Manzana |  |              |  |       |     |              |                                                                            |  |
| Material:                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |         | Nombre de la pieza: |                                                                            |             |         |                     |                     |          |     |              |  |              |  |       |     |              |                                                                            |  |
| Genérico                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |         | Tapa Manzana        |                                                                            |             |         |                     |                     |          |     |              |  |              |  |       |     |              |                                                                            |  |
| <table><tr><td>Formato:</td><td>Escala:</td><td>Representación:</td><td>Código de la pieza:</td><td>Nota:</td></tr><tr><td>A31</td><td>: 0.5</td><td></td><td>Tapa Manzana</td><td></td></tr><tr><td>Peso:</td><td>N/D</td><td>Hoja 8 de 16</td><td colspan="2">Dirección acceso: C:\Users\Asus\Downloads\Finales\Finales\Tapa Manzana.jpg</td></tr></table>                                               |         |                     |                                                                            | Formato:    | Escala: | Representación:     | Código de la pieza: | Nota:    | A31 | : 0.5        |  | Tapa Manzana |  | Peso: | N/D | Hoja 8 de 16 | Dirección acceso: C:\Users\Asus\Downloads\Finales\Finales\Tapa Manzana.jpg |  |
| Formato:                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | Escala: | Representación:     | Código de la pieza:                                                        | Nota:       |         |                     |                     |          |     |              |  |              |  |       |     |              |                                                                            |  |
| A31                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | : 0.5   |                     | Tapa Manzana                                                               |             |         |                     |                     |          |     |              |  |              |  |       |     |              |                                                                            |  |
| Peso:                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | N/D     | Hoja 8 de 16        | Dirección acceso: C:\Users\Asus\Downloads\Finales\Finales\Tapa Manzana.jpg |             |         |                     |                     |          |     |              |  |              |  |       |     |              |                                                                            |  |







ISOMETRICO ( 1 : 1 )





FACULTAD

INGENIERÍA

MECÁNICA

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS TUNJA

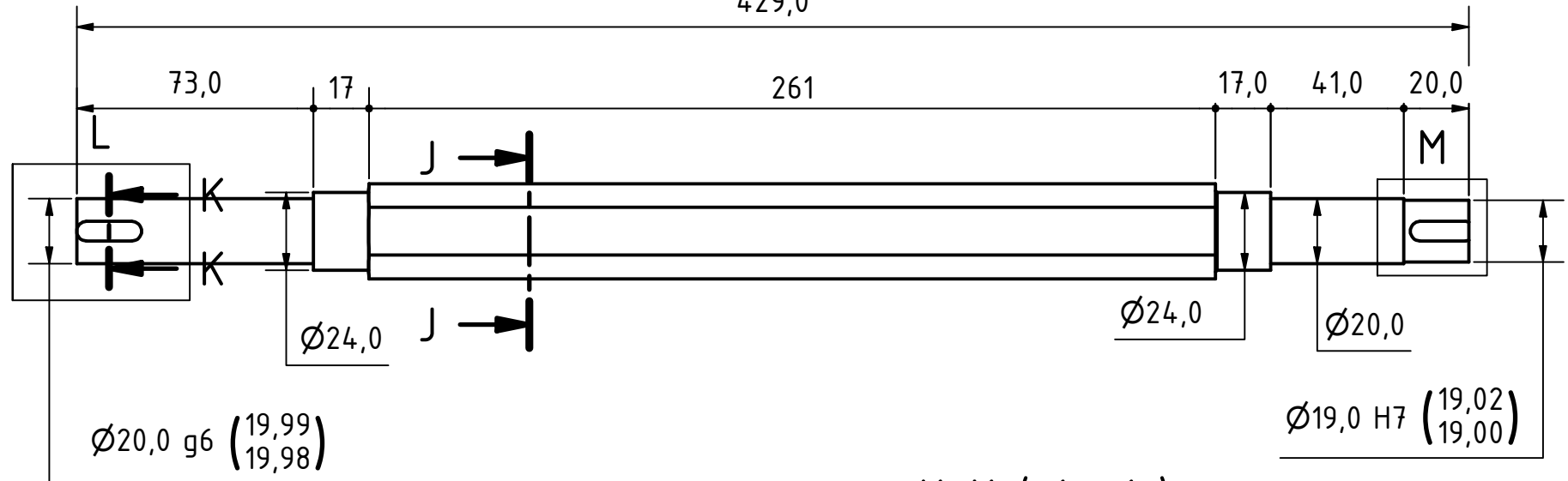


|           | Nombre  | Código | Fecha      |
|-----------|---------|--------|------------|
| Diseño:   | Toshiba |        | 6/05/2025  |
| Diseño:   | AGUIRRE |        | 18/04/2017 |
| Diseño:   | AGUIRRE |        | 18/04/2017 |
| Verificó: |         |        |            |
| Aprobó:   |         |        |            |
| Fabricó:  |         |        |            |

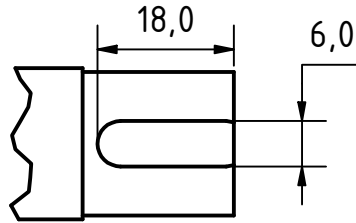
ELIMINAR REBABAS Y ARISTAS VIVAS SALVO INDICACIONES. NO TOMAR MEDIDAS SOBRE EL PLANO  
SI NO SE INDICA LO CONTRARIO EN EL PLANO: COTAS EN mm  
ACABADO SUPERFICIAL: N6  
TOLERANCIA LINEAL:  $\pm 0.1$   
ANGULAR:  $\pm 1^\circ$

|                             |               |                 |
|-----------------------------|---------------|-----------------|
| Material:<br>Acero, carbono |               |                 |
| Formato:                    | Escala:       | Representación: |
| A4                          | 1             | 0.5             |
| Peso:                       | Hoja 10 de 16 |                 |
| N/D                         |               |                 |

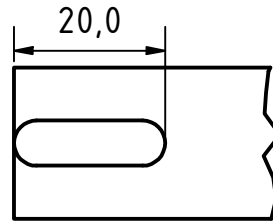
|                                                                         |       |
|-------------------------------------------------------------------------|-------|
| Proyecto:                                                               |       |
| Asignatura:                                                             |       |
| Nombre de la pieza:                                                     |       |
| Código de la pieza:                                                     | Nota: |
| Separador                                                               |       |
| Dirección acceso: C:\Users\Asus\Downloads\Finales\Finales\Separador.ipt |       |



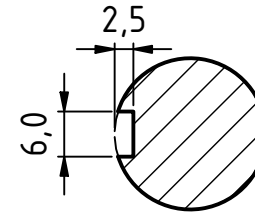
M ( 1 : 1 )



L ( 1 : 1 )



K-K ( 1 : 1 )

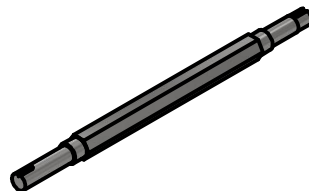


J-J ( 1 : 2 )

25,4 H7 (25,42 25,40)



ISOMETRICO ( 1 : 8 )



**FACULTAD  
INGENIERÍA  
MECÁNICA**  
UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS TUNJA

ELIMINAR REBABAS Y ARISTAS VIVAS SALVO  
INDICACIONES. NO TOMAR MEDIDAS SOBRE EL PLANO  
SI NO SE INDICA LO CONTRARIO EN EL  
PLANO: COTAS EN mm  
ACABADO SUPERFICIAL: N6  
TOLERANCIA LINEAL:  $\pm 0.1$   
ANGULAR:  $\pm 1^\circ$

|           | Nombre  | Código | Fecha      |
|-----------|---------|--------|------------|
| Diseño:   | Toshiba |        | 9/05/2025  |
| Diseño:   | AGUIRRE |        | 18/04/2017 |
| Diseño:   | AGUIRRE |        | 18/04/2017 |
| Verificó: |         |        |            |
| Aprobó:   |         |        |            |
| Fabricó:  |         |        |            |

**Material:**

**Formato:** A4

**Escala:** 1 : 2

**Representación:**

**Peso:** N/D

**Hoja** 11 de 16

**Proyecto:**

**Asignatura:**

**Nombre de la pieza:**

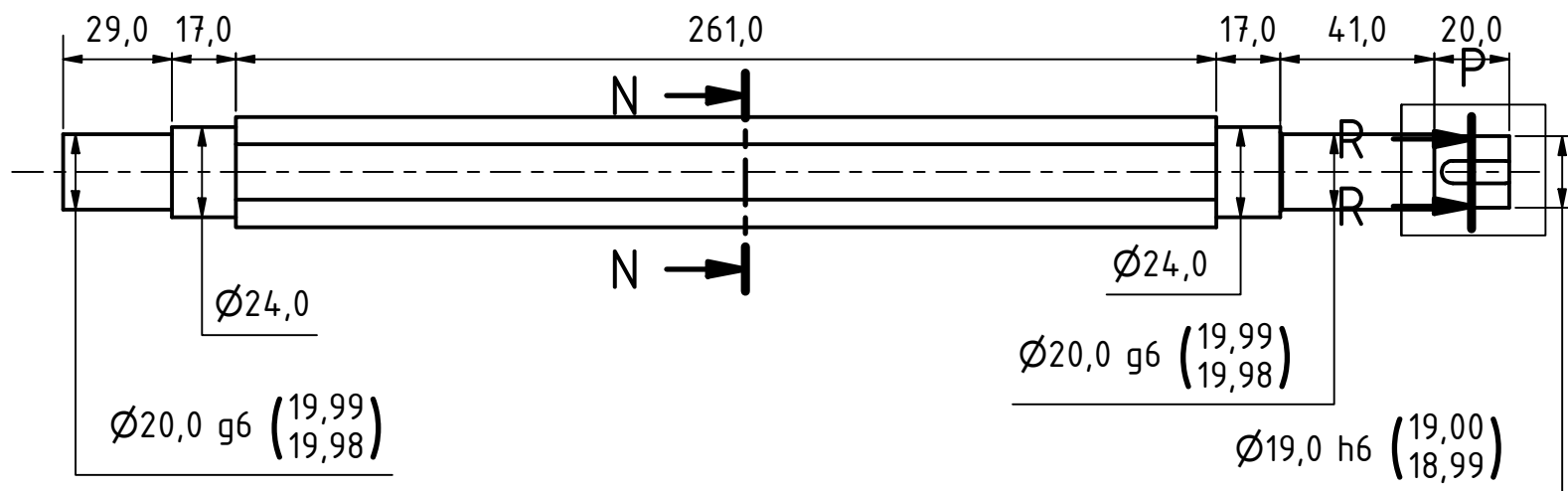
**Código de la pieza:**

**Eje Motriz**

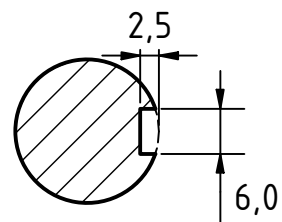
**Nota:**

**Dirección acceso:** C:\Users\Asus\Downloads\Finales\Finales\Eje\_Aa.iam

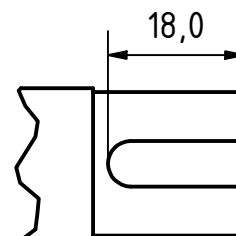
**V.1.0**



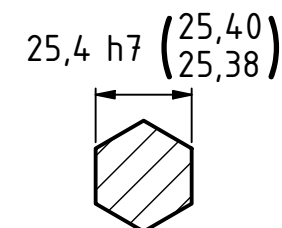
R-R ( 1 : 1 )



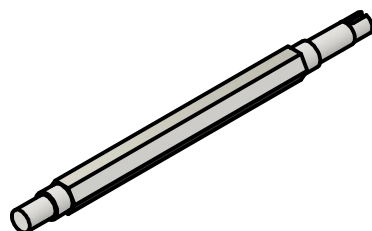
P ( 1 : 1 )



N-N ( 1 : 2 )



ISOMETRICO ( 1 : 6 )



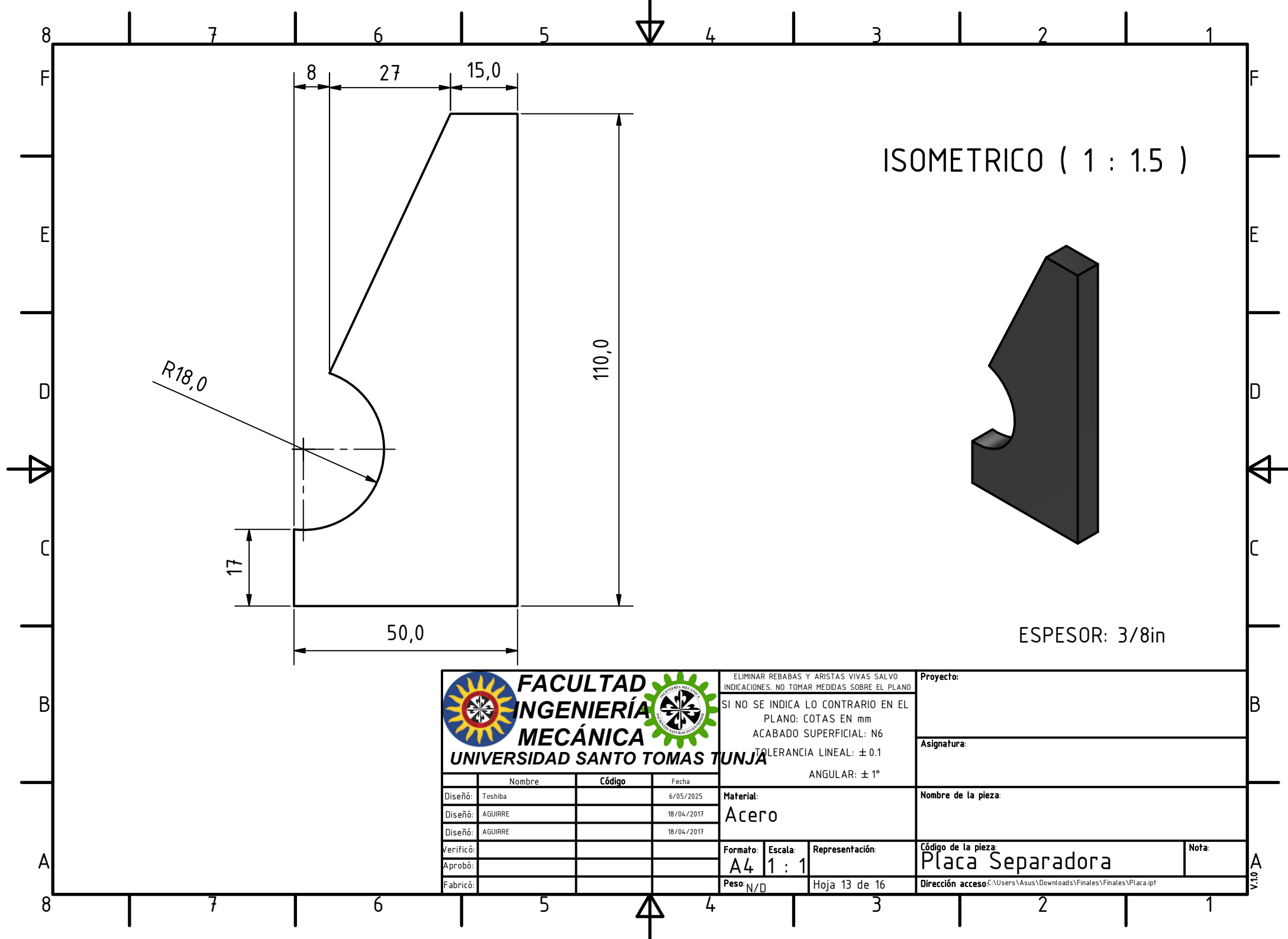
| Nombre          | Código | Fecha      |
|-----------------|--------|------------|
| Diseño: Toshiba |        | 9/05/2025  |
| Diseño: AGUIRRE |        | 18/04/2017 |
| Diseño: AGUIRRE |        | 18/04/2017 |
| Verificó:       |        |            |
| Aprobó:         |        |            |
| Fabrió:         |        |            |

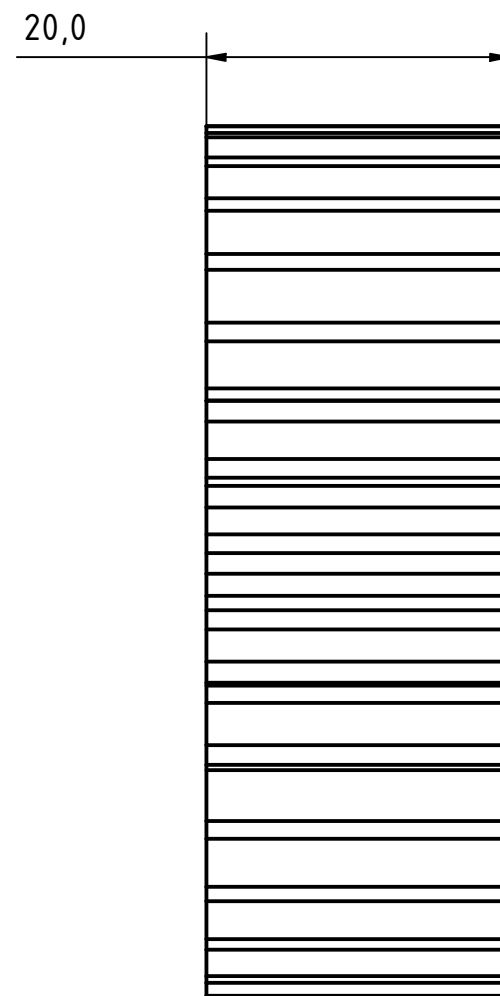
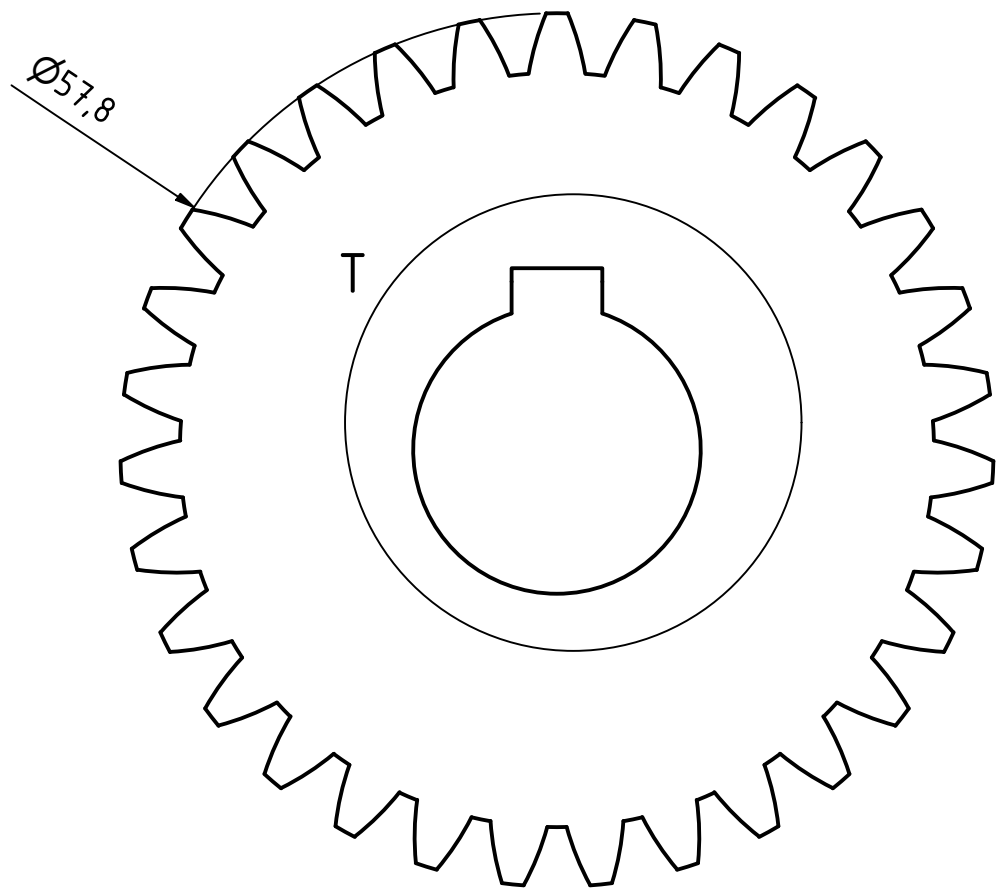
ELIMINAR REBABAS Y ARISTAS VIVAS SALVO INDICACIONES. NO TOMAR MEDIDAS SOBRE EL PLANO.  
SI NO SE INDICA LO CONTRARIO EN EL PLANO: COTAS EN mm  
ACABADO SUPERFICIAL: N6  
TOLERANCIA LINEAL:  $\pm 0.1$   
ANGULAR:  $\pm 1^\circ$

|           |             |               |                 |
|-----------|-------------|---------------|-----------------|
| Material: | Formato: A4 | Escala: 1 : 2 | Representación: |
|           | Peso: N/D   | Hoja 12 de 16 |                 |

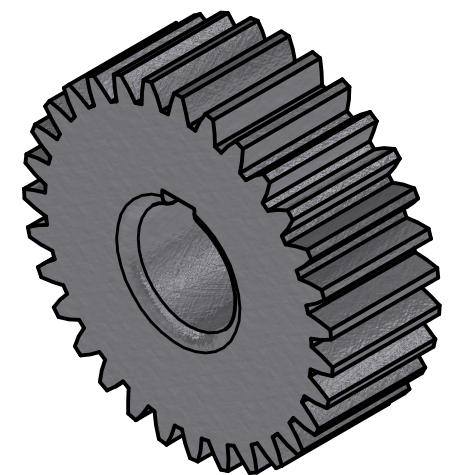
|             |                                                                  |
|-------------|------------------------------------------------------------------|
| Proyecto:   | Nombre de la pieza:                                              |
| Asignatura: | Código de la pieza:                                              |
|             | Eje Conducido                                                    |
|             | Nota:                                                            |
|             | Dirección acceso: C:\Users\Asus\Downloads\Finales\Finales\ve.iam |

V.1.0

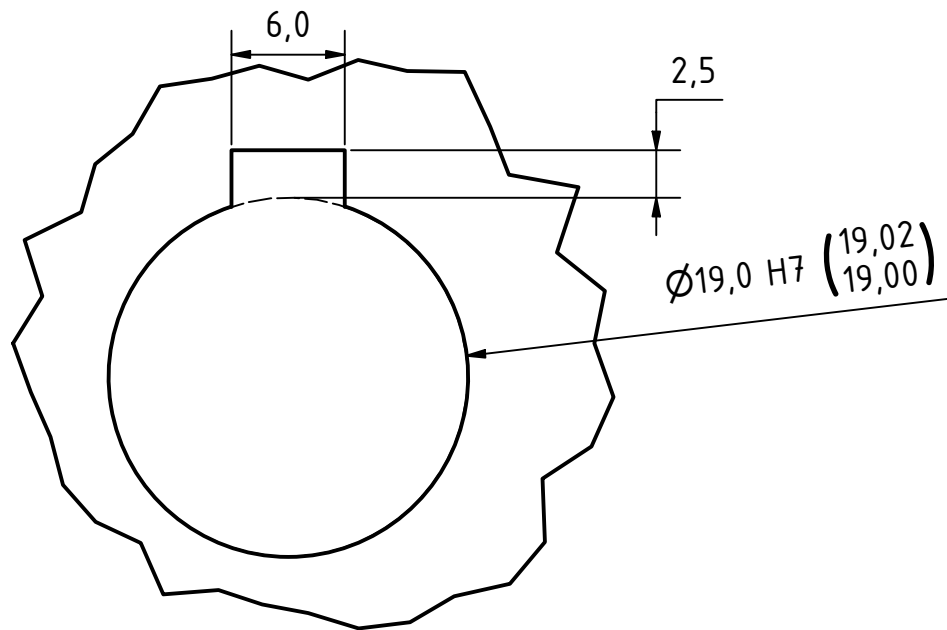




ISOMETRICO ( 1 : 1 )

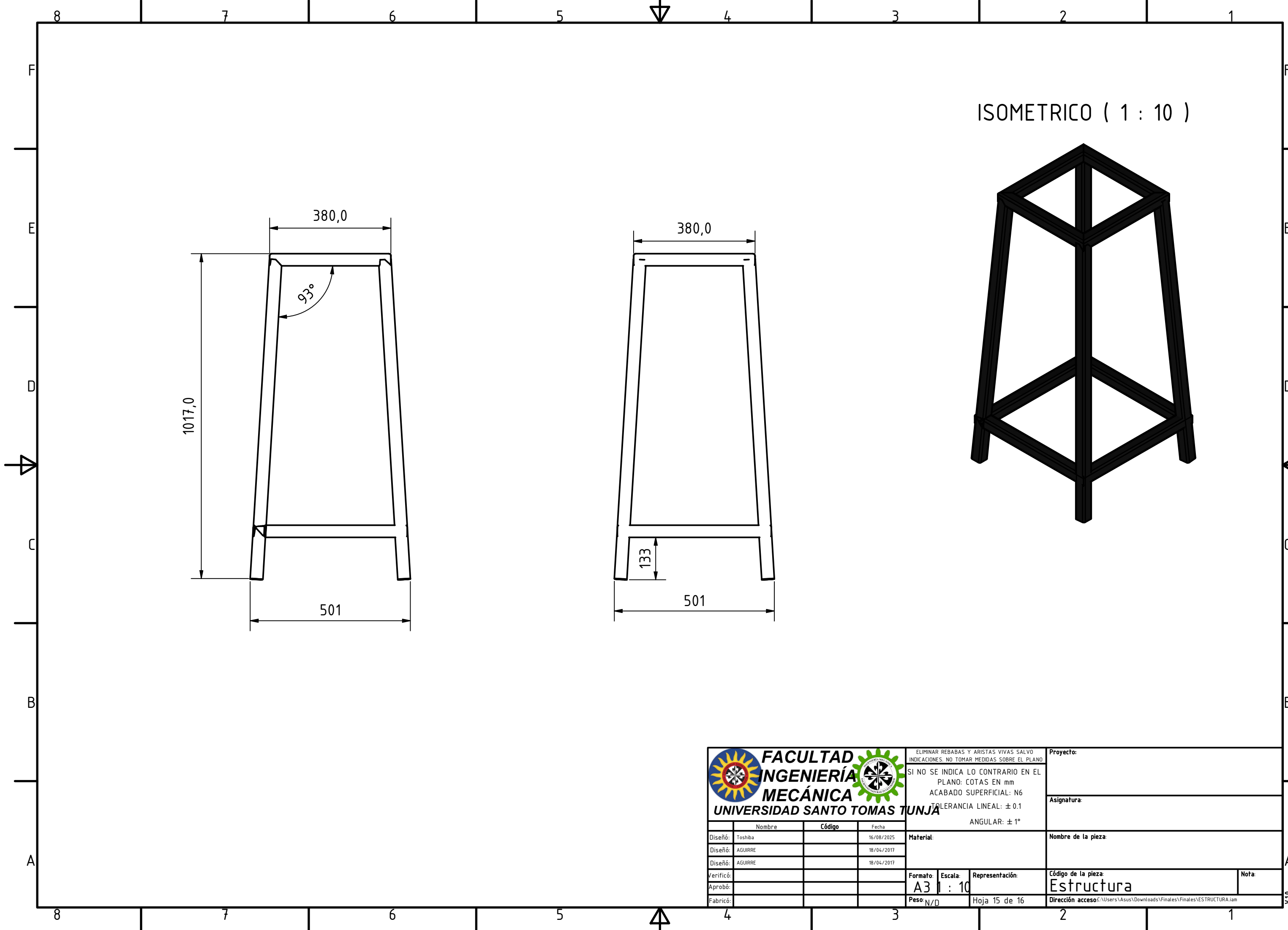


T ( 5 : 2 )



| TABLA          |           |
|----------------|-----------|
| Columna 1      | Columna 2 |
| ESPECIFICACION | MEDIDA    |
| PASO           | 5.48      |
| MODULO         | 1.75      |
| Z              | 31        |

|                                                                         |  |  |                                                                                      |  |  |                               |  |
|-------------------------------------------------------------------------|--|--|--------------------------------------------------------------------------------------|--|--|-------------------------------|--|
|                                                                         |  |  | ELIMINAR REBABAS Y ARISTAS VIVAS SALVO INDICACIONES. NO TOMAR MEDIDAS SOBRE EL PLANO |  |  | Proyecto:                     |  |
| SI NO SE INDICA LO CONTRARIO EN EL PLANO: COTAS EN mm                   |  |  | ACABADO SUPERFICIAL: N6                                                              |  |  | Asignatura:                   |  |
| TOLERANCIA LINEAL: ± 0.1                                                |  |  | ANGULAR: ± 1°                                                                        |  |  | Nombre de la pieza:           |  |
| Formato: A3                                                             |  |  | Escala: 1:0.5                                                                        |  |  | Código de la pieza: Engranaje |  |
| Peso: N/D                                                               |  |  | Hoja 14 de 16                                                                        |  |  | Nota:                         |  |
| Dirección acceso: C:\Users\Asus\Downloads\Finales\Finales\Engranaje.iam |  |  |                                                                                      |  |  |                               |  |





**FACULTAD**  
**INGENIERÍA**  
**MECÁNICA**  
**UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS TUNJA**



ELIMINAR REBABAS Y ARISTAS VIVAS SALVO INDICACIONES. NO TOMAR MEDIDAS SOBRE EL PLANO

SI NO SE INDICA LO CONTRARIO EN EL PLANO: COTAS EN mm

ACABADO SUPERFICIAL: N6

TOLERANCIA LINEAL: ± 0.1

ANGULAR: ± 1°

Proyecto:

Asignatura:

Nombre de la pieza:

Código de la pieza:

Nota:

|           |         |        |            |
|-----------|---------|--------|------------|
|           | Nombre  | Código | Fecha      |
| Diseño:   | Toshiba |        | 16/08/2025 |
| Diseño:   | AGUIRRE |        | 18/04/2017 |
| Diseño:   | AGUIRRE |        | 18/04/2017 |
| Verificó: |         |        |            |
| Aprobó:   |         |        |            |
| Fabricó:  |         |        |            |

Material:

Formato: A3

Escala: 1 : 10

Representación:

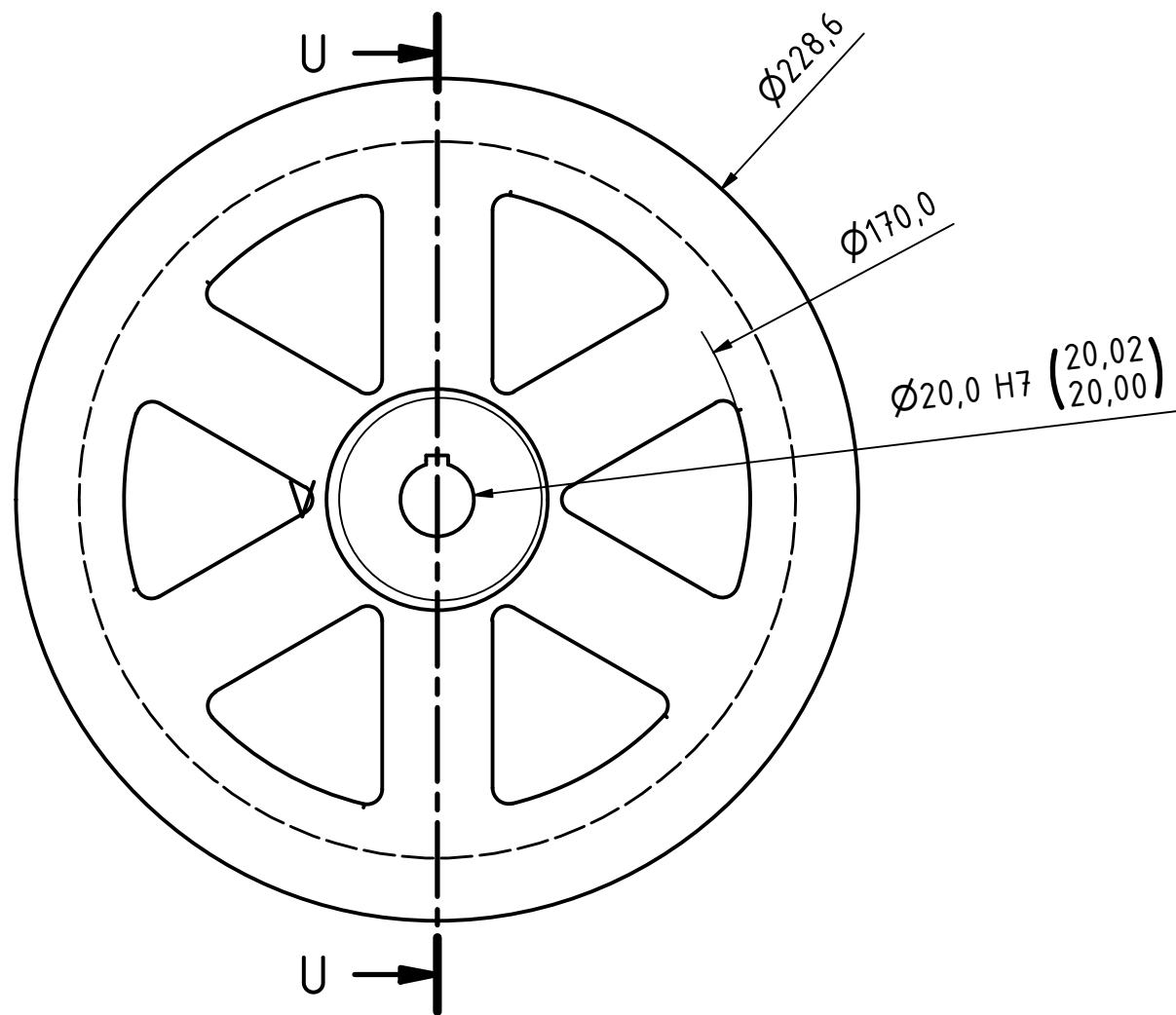
Peso: N/D

Hoja 15 de 16

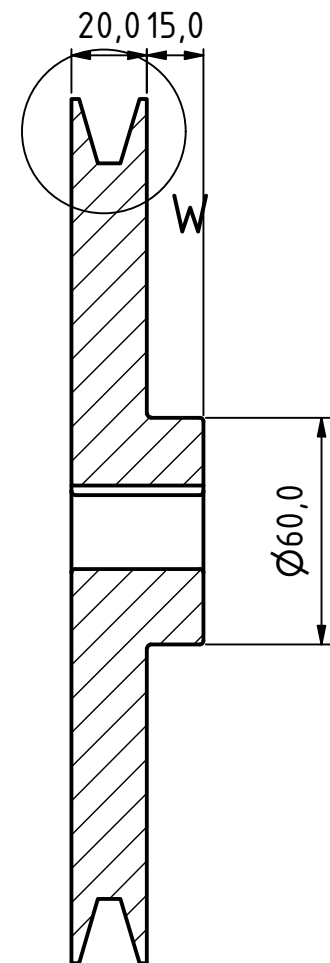
Dirección acceso:

C:\Users\Asus\Downloads\Finales\Finales\ESTRUCTURA.iam

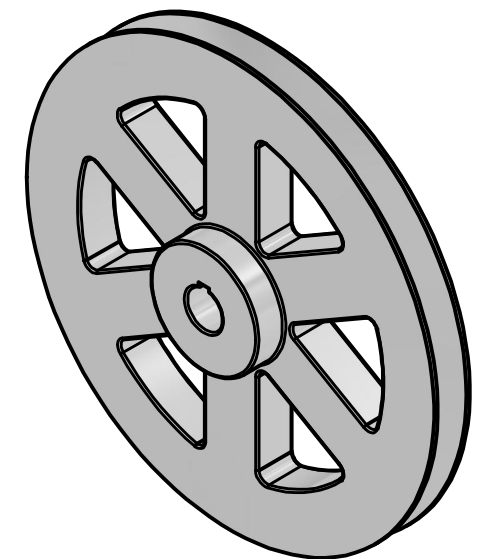
V:1.0



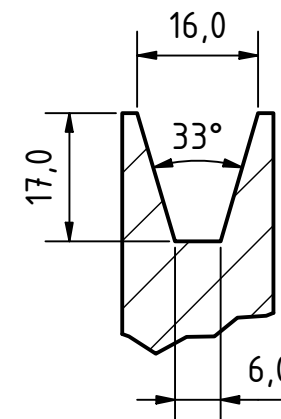
U-U ( 1 : 2 )



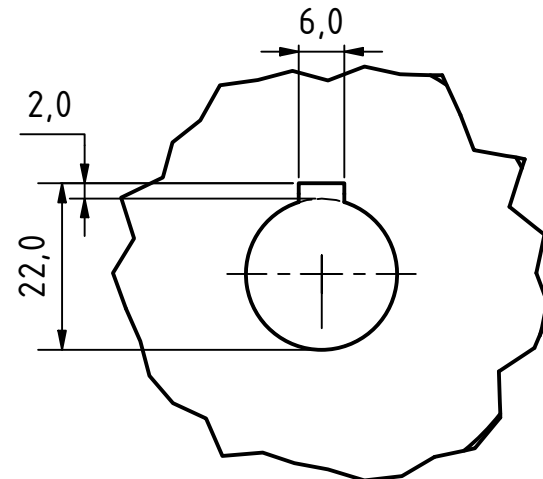
ISOMETRICO ( 1 : 3 )

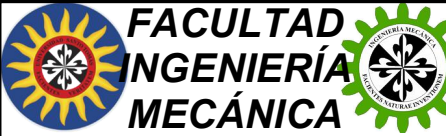


W ( 1 : 1 )



V ( 1 : 1 )



|                                                                                                                                                                    |  |  |                                                                                                                                                                                                                        |  |                                                                       |  |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|--|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|-----------------------------------------------------------------------|--|
|  <b>FACULTAD<br/>INGENIERÍA<br/>MECÁNICA</b><br>UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS TUNJA |  |  | ELIMINAR REBABAS Y ARISTAS VIVAS SALVO INDICACIONES. NO TOMAR MEDIDAS SOBRE EL PLANO.<br>SI NO SE INDICA LO CONTRARIO EN EL PLANO: COTAS EN mm<br>ACABADO SUPERFICIAL: N6<br>TOLERANCIA LINEAL: ± 0.1<br>ANGULAR: ± 1° |  | Proyecto:                                                             |  |
|                                                                                                                                                                    |  |  | Material:<br>Genérico                                                                                                                                                                                                  |  | Asignatura:                                                           |  |
| Diseño: Toshiba<br>Diseño: AGUIRRE<br>Diseño: AGUIRRE<br>Verificó:<br>Aprobó:<br>Fabricó:                                                                          |  |  | Fecha:<br>16/08/2025<br>18/04/2017<br>18/04/2017                                                                                                                                                                       |  | Nombre de la pieza:                                                   |  |
|                                                                                                                                                                    |  |  | Formato: A3<br>Escala: 1 : 2<br>Representación:<br>Peso: N/D                                                                                                                                                           |  | Código de la pieza:<br>Polea Conducida 9 in<br>Nota:                  |  |
|                                                                                                                                                                    |  |  | Hoja 16 de 16                                                                                                                                                                                                          |  | Dirección acceso: C:\Users\Asus\Downloads\Finales\Finales\POLEA 9.ipf |  |