

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



**DISEÑO DE UNA PICADORA DE PLÁSTICO RECICLADO CON
CAPACIDAD DE 25 kg/h**

Tesis para obtener el título profesional de Ingeniero Mecánico

AUTOR

ANDRÉS EDUARDO ORTIZ SAENZ

ASESOR:

JULIO ARNALDO ACOSTA SULLCAHUAMÁN

Lima, agosto 2024

RESUMEN

Dado que una gran parte del volumen total de residuos sólidos en el Perú proviene del constante uso de plásticos, se vienen realizando grandes esfuerzos para mejorar el reciclaje de estos y así poder reducir la contaminación ambiental. El proceso de reciclado de plásticos consta principalmente de las siguientes etapas: acopio y selección, picado, lavado, secado y embolsado; dando como resultado las hojuelas de plástico. El reciclado adecuado de los plásticos post-consumo suministrará la materia prima para la fabricación de otros productos como las fibras y cabos, láminas, láminas para termoformado, así como materiales compuestos de plástico y madera, entre otros. Así mismo, con el fomento de la industria del reciclaje de los plásticos de post-consumo local, no solo se otorgará valor agregado al material reciclado, sino también se generará empleo, beneficios sociales, educativos, ambientales, energéticos y económicos. En esta perspectiva, con este trabajo se pretende contribuir con la implementación de uno de los equipos necesarios para el picado de los productos de plástico reciclados.

El objetivo del presente trabajo es diseñar una máquina picadora de botellas de plástico recicladas, de 25 kg/h de capacidad, para producir hojuelas o escamas de tamaño reducido aptas para someterlas a procesos de fabricación de nuevos productos.

El diseño de la máquina picadora se realizó según la metodología recomendada por la Asociación de Ingenieros Alemanes (Verein Deutscher Ingenieure, VDI 2221). Inicialmente, se identificaron los requerimientos técnicos: lista de exigencias y parámetros de diseño. Luego de proponer los conceptos de solución se realizó la evaluación técnico-económica de los mismos y se seleccionó el proyecto óptimo. A continuación, se realizó el dimensionamiento, los cálculos y la selección de componentes del sistema. Finalmente, se elaboraron los planos de diseño detallados y se estimaron los costos de fabricación, asegurando que la máquina picadora de plástico sea eficiente y viable para su fabricación, montaje y operación en el Perú.

Se ha diseñado una máquina picadora de plásticos reciclados con una capacidad de 25 kg/h, que produce hojuelas de 10 mm y opera con una potencia de 5 HP a 300 RPM. El diseño cumple con los principios ergonómicos y asegura que el material triturado sea adecuado para su reutilización en la fabricación de nuevos productos, fomentando la sostenibilidad y una economía circular en la industria.

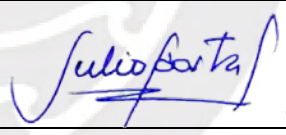
Informe de Similitud

Yo, Julio Arnaldo Acosta Sullcahuamán, docente de la Facultad de Ciencias e Ingeniería de la Pontificia Universidad Católica del Perú, asesor(a) de la tesis/el trabajo de investigación titulado “**DISEÑO DE UNA PICADORA DE PLÁSTICO RECICLADO CON CAPACIDAD DE 25 KG/H**”, del autor Andrés Eduardo Ortiz Sáenz (código: 20144614),

dejo constancia de lo siguiente:

- El mencionado documento tiene un índice de puntuación de similitud de 5%. Así lo consigna el reporte de similitud emitido por el software *Turnitin* el 12/12/2024.
- He revisado con detalle dicho reporte y la Tesis o Trabajo de Suficiencia Profesional, y no se advierte indicios de plagio.
- Las citas a otros autores y sus respectivas referencias cumplen con las pautas académicas.

Lugar y fecha: San Miguel 12 de diciembre de 2024

Apellidos y nombres del asesor / de la asesora: Acosta Sullcahuamán, Julio Arnaldo	
DNI: 07960574	Firma 
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-1518-4282	

TEMA DE TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO

TÍTULO : **DISEÑO DE UNA PICADORA DE PLÁSTICO RECICLADO CON CAPACIDAD DE 25 KG/H**

ÁREA : Materiales / Diseño

PROPUESTO POR : Dr. Ing. Julio Arnaldo Acosta Sullcahuamán

ASESOR : Dr. Ing. Julio Arnaldo Acosta Sullcahuamán
Mg. Ing. Adán Smith Arribasplata Seguí

TESISTA : Andrés Eduardo Ortiz Sáenz

CÓDIGO : 20144614

FECHA : 11/09/2023

DESCRIPCIÓN Y OBJETIVOS:

Dado que una gran parte del volumen total de residuos sólidos en el Perú proviene del constante uso de plásticos, se vienen realizando grandes esfuerzos para mejorar el reciclaje de estos y así poder reducir la contaminación ambiental. Entre los productos de plástico más usado en el Perú están las botellas descartables. El proceso de reciclado de estas botellas de plástico consta principalmente de las siguientes etapas: acopio y selección, picado, lavado, secado y embolsado; dando como resultado las hojuelas de plástico. El reciclado adecuado de los plásticos post-consumo suministrará la materia prima para la fabricación de otros productos como las fibras y cabos, láminas, láminas para termoformado, así como materiales compuestos de plástico y madera, entre otros. Así mismo, con el fomento de la industria del reciclaje de los plásticos de post-consumo local, no solo se otorgará valor agregado al material reciclado, sino también se generará empleo, beneficios sociales, educativos, ambientales, energéticos y económicos. En esta perspectiva, con este trabajo se pretende contribuir con la implementación de uno de los equipos necesarios para el picado de los productos de plástico reciclados.

El objetivo del presente trabajo es diseñar una máquina picadora de botellas de plástico recicladas, de 25 kg/h de capacidad, para producir hojuelas o escamas de tamaño reducido aptas para someterlas a procesos de fabricación de nuevos productos.

TEMA DE TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO

DISEÑO DE UNA PICADORA DE PLÁSTICO RECICLADO CON CAPACIDAD DE 25 KG/H

Introducción

1. Parámetros de diseño
2. Diseño de la picadora de plástico reciclado
3. Planos, costos de fabricación y especificaciones del equipo

Conclusiones

Bibliografía

Anexos



Dr. Ing. Julio Acosta Sulcahuamán
Asesor



Mg. Adán Smith Arribasplata Segúin
Co-Asesor



DEDICATORIA

Dedico esta tesis especialmente a mi mamá, a mis hermanos, a mi papá, a toda mi familia y a mi Lupita, quienes fueron mi fortaleza en todo momento y me han apoyado en todo el trayecto del desarrollo de esta tesis.

Bach. Andrés Ortiz

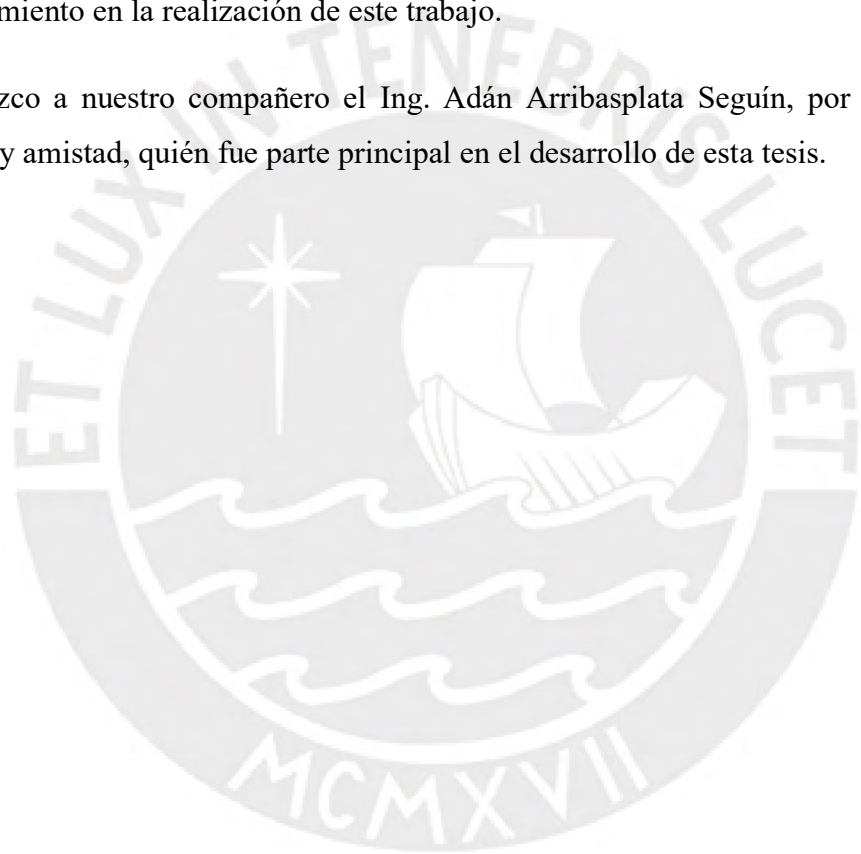
AGRADECIMIENTO

En primer lugar, agradezco a mis padres y a mi familia, por su paciencia, comprensión y apoyo incondicional.

Agradezco a Dios por haberme permitido cumplir mis sueños y metas y por dejarme seguir viviendo de acuerdo con sus enseñanzas.

Agradezco a mi asesor Dr. Ing. Julio Acosta Sulcahuamán, por su valiosa guía y asesoramiento en la realización de este trabajo.

Agradezco a nuestro compañero el Ing. Adán Arribasplata Segúin, por brindarme su tiempo y amistad, quién fue parte principal en el desarrollo de esta tesis.



Índice de Contenidos

INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO 1.....	4
PARÁMETROS DE DISEÑO.....	4
1.1. Plásticos.....	4
1.2. Polietilentereftalato (PET).....	10
1.3. Proceso de reciclado del PET	12
1.3. Reducción de tamaño de partículas: trituración y molienda	13
1.4. Máquinas de trituración y molienda	15
1.4.1. Molinos adecuados para la reducción de plásticos reciclados	16
1.4.2. Equipos en el mercado	18
1.5. Parámetros de diseño	22
1.5.1. Condiciones de la materia prima.....	22
1.5.2. Movilidad.....	22
1.5.3. Operación.....	23
1.5.4. Materiales.....	23
1.5.5. Capacidad de producción.....	23
1.5.6. Producto final.....	23
1.6. Lista de exigencias	24
1.7. Resumen de los parámetros de diseño.....	25
CAPÍTULO 2.....	28
DISEÑO DEL EQUIPO	28
2.1. Elaboración del proyecto óptimo.....	28
2.1.1. Estructura de funciones.....	28
2.2. Matriz morfológica.....	34
2.3. Conceptos de solución.....	35
2.3.1. Concepto solución 01.....	35
2.3.2. Concepto solución 02.....	36

2.3.3. Concepto solución 03.....	37
2.4. Proyecto preliminar	38
2.4.1. Proyecto preliminar 1.....	38
2.4.2. Proyecto preliminar 2.....	40
2.5. Proyecto preliminar óptimo.....	41
2.6. Cálculos y selección de componentes	43
2.6.1. Fuerza de corte para plástico.....	43
2.6.2. Torque de corte	45
2.6.3. Velocidad de giro (revoluciones por minuto)	45
2.6.4. Sistema de transmisión de potencia	46
2.6.5. Selección de rodamientos y chumaceras.....	54
2.6.6. Diseño de la cámara de trituración.....	57
2.6.7. Geometría de cuchillas.....	60
2.6.8. Diseño del portacuchillas.....	62
2.6.9. Evaluación del uso de una volante de inercia	64
CAPÍTULO 3.....	67
PLANOS, COSTOS DE FABRICACIÓN Y ESPECIFICACIONES DEL EQUIPO ...	67
3.1. Planos de fabricación para la máquina	67
3.2. Especificaciones técnicas de la máquina picadora	68
3.3. Costos de fabricación	69
3.3.1. Costo de diseño	69
3.3.2. Costo de los componentes.....	69
3.3.3. Costo de manufactura	71
3.3.4. Costo total	72
CONCLUSIONES	74
OBSERVACIONES	76
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	77
ANEXOS	79

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Parámetros físicos de la botella de plástico de 500 mL	11
Tabla 2. Propiedades físicas y químicas del PET	11
Tabla 3. Características SML SG-F	20
Tabla 4. Lista de exigencias.....	24
Tabla 5. Resumen de parámetros de diseño	26
Tabla 6. Evaluación del concepto óptimo.....	35
Tabla 7. Evaluación técnica de los proyectos preliminares	42
Tabla 8. Evaluación económica de los proyectos preliminares	42
Tabla 9. Cálculos para la fuerza de corte.....	44
Tabla 10. Cálculos para el torque de corte.....	45
Tabla 11. Cálculos para la justificación de velocidad de giro	46
Tabla 12. Naturaleza y magnitud de las fuerzas internas.....	50
Tabla 13. Valores de esfuerzos medios y alternantes.	50
Tabla 14. Variables que definen los coeficientes de fatiga.....	51
Tabla 15. Esfuerzos calculados con los coeficientes de fatiga.	51
Tabla 16. Resumen de pasos para el cálculo de la faja de transmisión.	53
Tabla 17. Dimensiones de chaveta según DIN 6885.	54
Tabla 18. Cálculo de la vida útil del rodamiento 61805. Catálogo general SKF	55
Tabla 19. Cálculos para la potencia del motor.....	56
Tabla 20. Motores trifásicos jaula de ardilla de alta eficiencia SIEMENS	56
Tabla 21. Codificación de planos	68
Tabla 22. Especificaciones técnicas de la máquina picadora	68
Tabla 23. Costo de los componentes	70
Tabla 24. Costo de manufactura	72
Tabla 25. Costo total.....	73

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Polímero natural	5
Figura 2. Polímero sintético.....	5
Figura 3. Polibutadieno.....	6
Figura 4. Policloruro de vinilo.....	6
Figura 5. Polímeros de uso general (commodities)	7
Figura 6. Polímeros de ingeniería (policarbonato)	7
Figura 7. Clasificación de plásticos según su comportamiento termo mecánico	8
Figura 8. El tacho de basura se derrite por efectos del calor (termoplástico).....	9
Figura 9. Ligas elásticas (elastómeros).....	9
Figura 10. Botella de plástico PET	11
Figura 11. Compresión	14
Figura 12. Impacto.....	14
Figura 13. Cortado	15
Figura 14. Frotamiento o cizalla	15
Figura 15. Molino de cilindros dentados	17
Figura 16. Molino de cuchillas	18
Figura 17. Criba y cuchillas desmontadas	18
Figura 18. Máquina SML SG-F.....	19
Figura 19. Máquina RMZ 500-1000.....	20
Figura 20. Características RMZ 500-1000	21
Figura 21. Funcionamiento de máquina RMZ 500-1000	21
Figura 22. Trituradora PNSC.....	22
Figura 23. Esquema de la caja negra del proceso	29
Figura 24. Estructura de funciones	33
Figura 25. Matriz morfológica.....	34
Figura 26. Concepto de solución N°01	36
Figura 27. Concepto de solución N°02.....	37
Figura 28. Concepto de solución N°03.....	38
Figura 29. Sistema de transmisión - Proyecto preliminar.....	39
Figura 30. Proyecto preliminar 1	40
Figura 31. Vista Frontal - Proyecto preliminar 2.....	41

Figura 32. Diagrama de evaluación de proyectos preliminares.....	43
Figura 33. Sección triangular de cizallado.....	44
Figura 34. Diagrama de cuerpo libre plano x-y	47
Figura 35. Diagrama de cuerpo libre plano x-z	47
Figura 36. Eje con secciones donde se presentan concentradores de esfuerzo.....	49
Figura 37. Diagramas de fuerzas internas.....	50
Figura 38. Cámara de trituración	58
Figura 39. Paredes frontales de la cámara de trituración.....	58
Figura 40. Paredes laterales de la cámara de trituración.....	59
Figura 41. Cuchillas fijas de la cámara de trituración	59
Figura 42. Criba.....	60
Figura 43. Propiedades mecánicas del acero AISI D2.....	61
Figura 44. Cuchillas móviles	61
Figura 45. Cuchillas fijas.....	62
Figura 46. Disco portacuchillas vista isométrica	63
Figura 47. Disco portacuchillas vista frontal.....	63
Figura 48. Anillo de sujeción.....	64

INTRODUCCIÓN

Durante los últimos años la basta cantidad de residuos sólidos se ha elevado de manera considerable, entre ellos tenemos a los plásticos, vidrios, cartones, metales, etc. En adición a esto, muchos países no poseen un adecuado plan de tratamiento de desechos. Al año Perú produce 3500 millones de botellas de plástico, de las cuales menos del 50 % serían recicladas. El Perú tiene un grave problema debido a que el porcentaje de reciclaje es pequeño por lo que la contaminación causada por el uso de materiales descartables que no pueden ser reutilizados es una de las mayores fuentes de gases de efecto invernadero. En la actualidad este material plástico es el más utilizado en la industria de las bebidas no alcohólicas debido a su transparencia y moldeabilidad lo que lo hace que se le recicle muchas veces más en comparación con otros tipos de plástico. A nivel nacional existen más de 100 mil recicladores, pero su actividad está limitada por no tener un mercado de reusó de plásticos, esto se debe a políticas restrictivas e informalidad la cual siempre ha estado presente.

En Perú, casi la totalidad de botellas plásticas de todo tipo de bebidas representan un gran porcentaje de los residuos sólidos generados y están compuestas por los siguientes elementos: un recipiente, una tapa, un anillo de seguridad y la etiqueta. Cada uno de ellos es fabricado de distintos tipos de polímeros; sin embargo, el recipiente está hecho de polietilentereftalato (PET), el cual es un polímero 100% reciclable.

Así mismo, con el fomento de la industria del reciclaje de los plásticos de post-consumo local, no solo se otorgará valor agregado al material reciclado, sino también se generará empleo, beneficios sociales, educativos, ambientales, energéticos y económicos. En esta perspectiva, con este trabajo se pretende contribuir con la implementación de uno de los equipos necesarios para el reciclado de los productos de plástico de uso común; teniendo como referencia al PET como caso crítico para los cálculos de una máquina picadora.

Un adecuado reciclaje de los plásticos significaría un gran avance con respecto a la acumulación de residuos sólidos en nuestro país. Una forma de poder contribuir con dicho reciclado sería reducir el volumen de los objetos de plástico a reciclar, esto se podría hacer comprimiéndolos o moliéndolos en pedazos mucho más pequeños.

De acuerdo con información revisada sobre diferentes empresas recicladoras de desperdicios no orgánicos, estas reciben en promedio 200 kg/h de residuos, cantidad que se debe procesar en una jornada laboral de 8 horas, por lo que se estima un flujo de 25 kg/h en una planta de reciclado.

Por lo antes mencionado, el objetivo principal del presente trabajo es diseñar una máquina picadora de botellas de plástico recicladas, de 25 kg/h de capacidad, para producir hojuelas o escamas de tamaño reducido aptas para someterlas a procesos de fabricación de nuevos productos

Con este propósito se identificaron los siguientes objetivos específicos:

- Identificar los parámetros requeridos y la lista de exigencias para el diseño de la máquina picadora.
- Determinar el proyecto óptimo a partir de la evaluación técnico-económica de los proyectos preliminares propuestos.
- Dimensionar, calcular y seleccionar los componentes de la máquina de picado.
- Dibujar los planos de diseño necesarios para la fabricación de la máquina picadora: ensambles y despieces.
- Estimar los costos de fabricación de la máquina picadora.

Con este propósito, el diseño de la máquina picadora de plásticos reciclados se ha desarrollado en los siguientes tres capítulos:

En el primer capítulo, “Parámetros de diseño”, se evaluarán las características de los plásticos reciclados que serán triturados, en tanto que estas influirán directamente en el diseño de la máquina. Así mismo, se realizará una descripción del estado de la tecnología actual sobre máquinas que realizan la misma o una similar función. Finalmente, se identifican los parámetros requeridos, la lista de exigencias y deseos concebidos para el diseño de la máquina picadora.

En el segundo capítulo, “Diseño de la picadora de plástico reciclado”, se escoge el diseño del prototipo de la máquina picadora, la metodología empleada para este trabajo se basará en el método normalizado de diseño VDI 2221. En primer lugar, se lleva a cabo la

creación de la estructura de funciones, que abarca los distintos procedimientos relacionados con la trituración del material. Posteriormente, se desarrolla la matriz morfológica considerando las diversas formas de ejecutar un proceso. A partir de esta matriz, se esbozan los conceptos de solución, que son ideas preliminares fundamentadas en el estado actual de la tecnología. Luego, se selecciona uno de estos conceptos para definir el proyecto preliminar, llevando a cabo una evaluación técnico-económica con el fin de obtener la solución óptima. Finalmente, en base al proyecto óptimo seleccionado, se procede a realizar los cálculos y verificaciones necesarias para la construcción y selección de componentes del prototipo de picadora, tales como: fuerza de corte, potencia del motor, motor eléctrico, fajas de transmisión, material de los componentes, entre otros.

Finalmente, en el tercer capítulo, “Planos, costos de fabricación y especificaciones del equipo”, se presenta la lista de planos necesarios para la fabricación de la máquina, tanto planos de ensamble como planos de despiece. Además, se enuncian las especificaciones técnicas de la picadora. Finalmente se estimará el costo total aproximado para fabricar la máquina: costo de diseño, costo de componentes, costo de fabricación y por último el costo total.

CAPÍTULO 1

PARÁMETROS DE DISEÑO

En el primer capítulo, “Parámetros de diseño”, se evaluarán las características de la materia prima que ingresará a la máquina a diseñar, ya que esta influirá directamente en la selección de los aspectos técnicos de los demás componentes, considerando fuerza de corte, potencia requerida, velocidad de corte, etc. También se realizará una descripción del estado de la tecnología actual sobre máquinas que realizan la misma o una similar función. Además, se presenta una lista en la cual se detallan las exigencias y deseos concebidos para este proyecto y un resumen de los parámetros de diseño elegidos, ya que estos regirán la construcción de la máquina picadora.

1.1. Plásticos

Según Gómez (2014) el término “plástico” proviene del griego “plastikos” que significa algo que se puede moldear, esto se refiere a la maleabilidad que posee el material durante la fabricación, lo cual refleja la versatilidad que posee este material, pues se puede fundir, prensar o extruir para obtener diferentes formas, como láminas, fibras, tubos, botellas, cajas, etc. Los plásticos son materiales orgánicos, pues dentro de las materias primas que se utilizan para fabricarlos se encuentran la celulosa, el carbón, la sal y, por supuesto, el petróleo. El plástico se ha convertido en el material predilecto para muchas aplicaciones

porque logra equilibrar las necesidades de hoy en día con la protección del medio ambiente. Según Ondarse (2021) se puede clasificar a los polímeros de las cuatro siguientes maneras: según su origen, según su composición química, según la relación producción – costo y según su comportamiento termo – mecánico. Según su origen, se dividen en Naturales y Sintéticos, siendo los primeros de origen animal, vegetal o mineral como la lana, el algodón, el caucho natural o la celulosa; mientras que los polímeros sintéticos son productos derivados del petróleo como el polietileno (PE), el polipropileno (PP), el policloruro de vinilo (PVC), el poliestireno (PS), el nylon o poliamidas (PA), etcétera. Se puede observar en las **Figuras 1 y 2**, ejemplos de polímeros naturales y sintéticos.



Figura 1. Polímero natural

Fuente: [https://ingindustrialdotnet.wordpress.com/2012/03/27/1-algodon\](https://ingindustrialdotnet.wordpress.com/2012/03/27/1-algodon/)



Figura 2. Polímero sintético

Fuente: <https://www.envasesdelmediterraneo.com/blog/tipos-de-vasos-de-plastico/>

Según su composición química, se dividen en poliolefina (PE, PP, polibutadieno), los polímeros de cloruro de vinilo (PVC, policloruro de vinidileno, poliacetato de vinilo), los polímeros de estireno (poliestireno, polibutadieno-estireno, poliacrilonitrilo butadieno estireno), los polímeros fluorados (polifluoruro de vinilo, polidifluoruro de vinilo, politetrafluoro-etileno, policlorotrifluoro-etileno) y los heteropolimeros (poliamidas, polióxido de metileno, policarbonatos). En las **Figuras 3 y 4** se pueden observar ejemplos de algunos polímeros según esta clasificación.



Figura 3. Polibutadieno

Fuente: <https://www.mexpolimeros.com/polibutadieno.html>



Figura 4. Policloruro de vinilo

Fuente: <https://bertonigroup.es/producto/policloruro-de-vinilo-pvc/>

Según la relación volumen de producción/costo, es posible distinguir tres grandes grupos:

polímeros de uso general o commodities, son aquellos de gran volumen de consumo y precio bajo, por ejemplo, PE, PP, PS, PVC. Por otro lado, se tiene a los polímeros de ingeniería, los cuales son de bajo volumen de producción y alto precio, son productos de dimensiones precisas y estables con propiedades mecánicas altas a temperaturas superiores a 100°C ($\sigma > 40\text{ MPa}$). Entre los cuales se tiene a los poliacetales, a las poliamidas, al policarbonato, a los poliésteres y al polioxido de fenilo. Y finalmente, los polímeros especiales o avanzados, cuya relación producción/costo es menor que la de los plásticos de ingeniería, con propiedades especiales, tales como superficiales, electrónicas, conductiva eléctrica, etc. En las *Figuras 5 y 7*, se pueden observar polímeros de uso general y polímeros de ingeniería respectivamente.



Figura 5. Polímeros de uso general (commodities)

Fuente: <https://aceromafe.com/plasticos-commodities/>

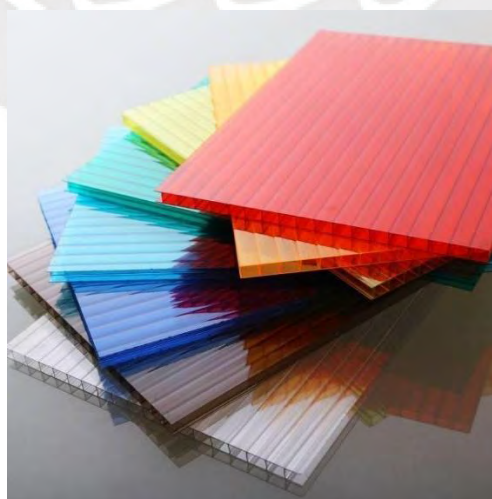


Figura 6. Polímeros de ingeniería (policarbonato)

Fuente: <https://vidrieraalejo.com.pe/products/policarbonato-glanze-6mm-2-10-x-5-80>

Según su comportamiento termo-mecánico, se clasifican en termoplásticos que son los plásticos típicos (>80%); en termoestables, son aquellos plásticos endurecibles y finalmente, los elastómeros conocidos también como cauchos. Siendo esta es la clasificación más empleada, pues se fundamenta básicamente en el comportamiento y procesabilidad de los polímeros frente al calor. Los termoplásticos son polímeros que al calentarse a determinadas temperaturas se convierten en fluidos, permitiendo su moldeo en la forma deseada que quedará preservada al enfriarse. Dicha operación puede realizarse múltiples veces y constituye el grupo más importante y de mayor uso comercial de los polímeros sintéticos. Según Gotro (2017) los termoestables son polímeros que no pueden fluir por efecto de la temperatura para ser remodelados, tienden a ser resinas de mucha rigidez y someterlos a temperaturas elevadas promueve la descomposición química del polímero. Por otro lado, los elastómeros son polímeros que poseen cadenas moleculares con mucha libertad de movimiento molecular, lo cual les ofrece flexibilidad. Su comportamiento se describe como el de una goma y pueden moldearse fácilmente, y puede promoverse cierto grado de entrecruzamiento sin que se pierda flexibilidad. Pueden estirarse ampliamente y luego recuperar su forma inicial al cesar la fuerza que lo deforma. En la **Figura 6**, se puede apreciar la clasificación antes mencionada.

	TIPOS MÁS COMUNES	USOS
TERMOPLÁSTICOS	POLIETILENOS	Bolsas, recipientes, contenedores...
	POLIÉSTERES SATURADOS	Botellas para bebidas, envases alimenticios...
	POLIESTIRENOS	Protectores en embalajes, planchas aislantes...
	POLIVINILOS	Tuberías de agua y gas, aislantes eléctricos, impermeables, antiguos discos de música...
TERMOESTABLES	POLIPROPILENOS	Cajas, estuches con tapa abatible, jeringuillas...
	FENOLES	Aislantes eléctricos, interruptores, bases de enchufe...
	AMINAS	Clavijas, interruptores, recubrimientos de tableros...
	RESINAS DE POLIÉSTER	Embarcaciones, piscinas, fibras y tejidos...
ELASTÓMEROS	RESINAS EPOXI	Material deportivo, alas de aviones, adhesivos...
	CAUCHOS	Neumáticos, mangueras, artículos de goma...
	NEOPRENOS	Trajes de submarinismo, rodilleras, correas...
	POLIURETANOS	Gomaespuma, piel artificial, guardabarros...
	SILICONAS	Prótesis, sondas y tubos de uso médico, cierres herméticos...

Figura 7. Clasificación de plásticos según su comportamiento termo mecánico

Fuente: <https://visjardinbotanico.blogspot.com/2015/10/por-que-es-importante.html>

En la **Figura 8**, se observa un ejemplo de termoplástico que por efecto del calor puede

moldearse sin llegar a degradarse



Figura 8. El tacho de basura se derrite por efectos del calor (termoplástico)

Fuente: <https://www.elportal.com.do/arizona-calor-tan-fuerte-derrite-plastico-los-animales-andan-zapatos/>

En la **Figura 9**, se puede ver un ejemplo de elastómero, estos tipos de polímeros son capaces de regresar a su posición inicial cuando la fuerza que los deforma deja de ser aplicada sobre ellos.

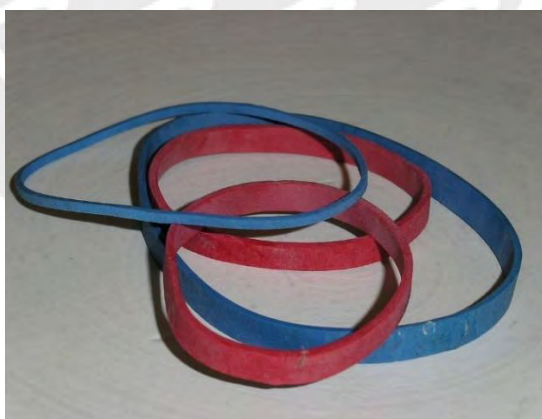


Figura 9. Ligas elásticas (elastómeros)

Fuente: <https://www.wikiwand.com/de/Elastomere>

Los usos que se le pueden dar al plástico son tan variados como importantes, desde aislamiento térmico y eléctrico, resistencia a la corrosión de muchas sustancias, hasta aplicaciones en dispositivos ópticos. Dada la gran ligereza que poseen los productos de

plástico y el relativo costo menor frente al uso de vidrio es que se los prefiere en muchos casos dentro de la industria. Es por ello que muchas de las nuevas soluciones a la manera de procesar los productos actuales deben enfocarse en productos plásticos, ya que son la materia prima más abundante en la industria.

1.2. Polietilentereftalato (PET)

Siguiendo todas las clasificaciones hechas anteriormente se observa que hay muchos tipos de plásticos con distintos comportamientos mecánicos y térmicos y es así como, dentro de los polímeros más importantes en la industria por su abundancia, facilidad de trabajo y propiedades mecánicas se encuentran el polietileno (PE), el polipropileno (PP) y el polietilentereftalato, más conocido como PET (Quimisor, 2023).

Por otro lado, con el fomento de la industria del reciclaje de los plásticos de post-consumo local, no solo se otorgará valor agregado al material reciclado, sino también se generará empleo, beneficios sociales, educativos, ambientales, energéticos y económicos. En esta perspectiva, con este trabajo se pretende contribuir con la implementación de uno de los equipos necesarios para el reciclado de los productos de plástico de uso común; teniendo como referencia al PET como caso crítico para los cálculos de una máquina picadora.

Es por esto que el diseño de la máquina está orientado a productos elaborados con PET, específicamente las botellas que son usadas para almacenar productos gaseosos, jugos o agua envasada, pues este polímero es seleccionado por tener buenas propiedades mecánicas, buena transparencia, resistencia a la temperatura, etc. y es el tipo de plástico más usado en este tipo de aplicaciones.

El diseño de la máquina se enfocará en la presentación de botellas de mayor demanda, la cual es la de medio litro, ya sea para bebidas gasificadas, jugos o agua embotellada. Dichas botellas constan de tres partes identificadas de la siguiente manera: tapa y anillo de seguridad, etiqueta y el recipiente plástico. Se puede apreciar en la *Figura 10*, una botella de medio litro para agua.



Figura 10. Botella de plástico PET

Fuente: <https://www.remsaplasticos.com/productos/botellas-pet/botella-pet-tornado-500ml>

Los parámetros físicos de las botellas de plástico son los siguientes enumerados en la **Tabla 1.**:

Tabla 1. Parámetros físicos de la botella de plástico de 500 mL

DIMENSIONES DE BOTELLA DE 500 ML	
Altura (mm)	210
Diámetro (mm)	64
Masa (g)	18.3

Fuente: <https://www.remsaplasticos.com/productos/botellas-pet/botella-pet-tornado-500ml>

Ya que se diseñará una máquina capaz de triturar el plástico PET a una determinada capacidad, es necesario conocer las propiedades físicas y mecánicas de este material para, en base a estas, determinar los parámetros de diseño. La información recolectada fue organizada en la **Tabla 2**, donde se muestran las propiedades físicas y químicas del PET.

Tabla 2. Propiedades físicas y químicas del PET

Propiedad	Valor	Unidad
Gravedad específica	1.41	g/cm ³
Resistencia a la tracción (fluencia)	12400	psi
Módulo de elasticidad a la tracción	460000	psi
Módulo de elasticidad a la flexión	490000	psi
Elongación por tracción en rotura	20	%
Esfuerzo de corte	8000	psi

Resistencia a la compresión	10000	psi
Dureza	Rockwell M94 – M101	
Resistencia al calor	80 – 120	°C

Fuente: <https://www.ensinger-pc.com/injection-molding-materials/our-plastic-stock-shapes/pet-thermoplastic-polyester/>

1.3. Proceso de reciclado del PET

El reciclado de plástico consiste en tratar, ya sea de forma mecánica o química, los residuos plásticos tanto para la reutilización directa, la creación de nueva materia prima o su conversión a combustible. Según Vasquez (2009) el proceso de reciclaje se descompone en las siguientes etapas: recepción, clasificación, trituración, lavado, secado y centrifugado.

Puesto que dentro del mercado actual los residuos por plásticos son tan voluminosos, se requiere realizar un eficiente proceso de reciclaje a estos y ya que no todos los plásticos son tan sencillos de reciclar, comienza la inclinación de la balanza hacia un cierto tipo de plásticos debido a la facilidad con la que estos son tratados.

El reciclaje de PET se encamina a ser parte fundamental del auge ambiental que se vive en la actualidad y, con esto, se está convirtiendo en una de las mayores oportunidades de negocio para toda la industria del plástico.

A pesar de las numerosas campañas sobre la reciclabilidad del PET como uno de sus más preciados beneficios, para la mayoría de los mercados la cantidad de material que va a parar a un relleno sanitario o vertedero aún supera a la cantidad que se recicla.

Por ejemplo, Japón, el país más avanzado en este campo, registró una tasa de reciclaje de botellas de PET (volumen total de recolección/volumen de botellas vendidas) de 84.9 % en 2017, según datos de la Comisión para el Fomento del Reciclaje de las Botellas de Plástico de ese país. Por su parte, Europa tiene cifras consolidadas de 48,3%, de acuerdo con la Asociación Europea de Reciclaje de Contenedores de PET (Petcore), y Estados Unidos de 28%, según la Asociación de Resinas de PET (Petra). Brasil es el líder con una tasa de 55,6%, seguido por Argentina con 34%, según reportes de la Asociación Brasileña de la Industria del PET (Abipet). De acuerdo con datos oficiales, en Perú se producen diariamente 21.658 toneladas de desechos. De esta cantidad, el 20,8% corresponde a

materiales reciclables y el 55,6% a residuos orgánicos. Durante el año 2020, se logró recuperar 59.021 toneladas de residuos a través de empresas u organizaciones formales. (Ortiz, 2022)

El manejo adecuado de los materiales reciclables es esencial para la industria del reciclaje en América Latina, donde la separación de los residuos en su origen no está arraigada culturalmente. A pesar de esto, las estadísticas de recuperación demuestran un notable potencial. Brasil, por ejemplo, se destaca como uno de los principales recicladores de PET a nivel mundial y se enorgullece de utilizar internamente todo el material que recupera, según el censo de reciclaje de 2010 publicado por Abipet.

El plástico PET puede someterse a varios ciclos de reciclaje, pero en el ámbito alimentario, solo se autoriza un primer proceso de reciclaje. Después de este primer ciclo, se emplea en la fabricación de diversos productos finales, como fibras textiles, rellenos para textiles, correas, y envases no alimentarios como botellas para detergentes y productos fitosanitarios.

1.3. Reducción de tamaño de partículas: trituración y molienda

Los procesos de trituración o molienda son algunos de los procesos más comunes dentro de industrias como la minería, alimentaria, o reciclaje. Siendo la trituración una operación en la cual se reduce la materia a tamaños de partículas más grandes y en la molienda, a tamaños más pequeños.

Según Colina (2016) la reducción de tamaño se basa en someter los trozos de material a esfuerzos de compresión, impacto, cortado, cizalladura o fricción, estas técnicas representan las principales formas para reducir el tamaño de las partículas y se aplican de forma combinada o individual según el equipo elegido, asegurando que el tamaño resultante cumpla con los estándares requeridos para el reciclaje adecuado. A continuación, se ofrecerá una breve descripción de estos métodos:

- **Compresión**

Las partículas son reducidas por el accionar de dos fuerzas diferentes entre dos superficies, este método es usado generalmente cuando el material es duro, tenaz o

muy abrasivo. Ver **Figura 11**.

- Impacto

En este caso la reducción del material se consigue sometiendo la partícula a una fuerza única y violenta, fracturándola. Puede ser mediante un impacto por gravedad o dinámico. Ver **Figura 12**.

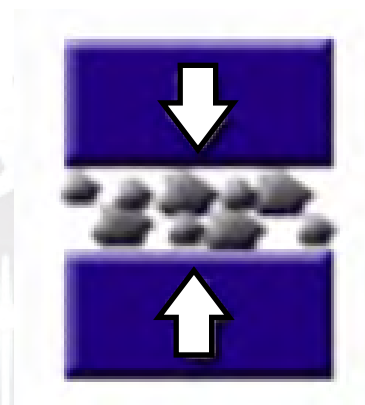


Figura 11. Compresión

Fuente: (Castelló et al, 2017)



Figura 12. Impacto

Fuente: (Castelló et al, 2017)

- Cortado

La separación se logra cuando dos fuerzas paralelas cizallan la partícula y logran separarla. Ver **Figura 13**.

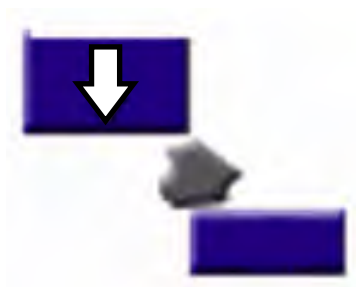


Figura 13. Cortado

Fuente: (Castelló et al, 2017)

- Fricción

El método de reducción se logra frotando la partícula entre dos superficies de mayor dureza, se usa cuando el material a reducir es poco abrasivo y friable. Ver **Figura 14.**

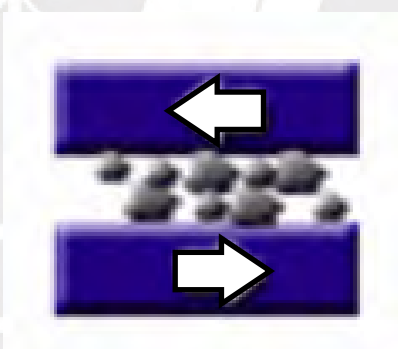


Figura 14. Frotamiento o cizalla

Fuente: (Castelló et al, 2017)

1.4. Máquinas de trituración y molienda

Actualmente en el mercado existen una gran variedad de máquinas usadas para la reducción de tamaño de partículas, en la **Tabla 1.3** se muestra su clasificación (Perry, 2001):

Tabla 1.3: Clasificación de máquinas de trituración y molienda.

Modo de operación	Operación continua
	Operación interrumpida
	Impacto con una superficie

Modo por el cual la fuerza es aplicada	Impacto entre partículas
	Compresión entre dos superficies solidas
	Frotando el material entre dos superficies
	Corte
Por el tamaño de alimentación y el producto	Grueso
	Intermedio
	Fino

Fuente: Perry (2001)

Puesto que el material a reducir es plástico PET y tomando en cuenta sus propiedades físicas (materiales dúctiles y fibrosos) y los requerimientos del producto final, se prestará atención a los siguientes equipos:

1.4.1. Molinos adecuados para la reducción de plásticos reciclados

Según la teoría sobre reducción de tamaño de partículas, los molinos más adecuados para fragmentar o reducir materiales dúctiles o fibrosos son aquellos donde la fuerza aplicada es de corte o cizallamiento.

A continuación, se presentarán y describirán algunos de estos molinos para tener una referencia para el diseño a tratar en este trabajo.

a) Molino de cilindros dentados

Este tipo de molinos (ver **Figura 15**) realizan la reducción de tamaño del material mediante la acción de fuerzas como corte y cizallamiento, usando para esto dos cilindros de ejes uno frente al otro y paralelos, que giran uno hacia otro. Los molinos de cilindros dentados están equipados con revestimientos especiales, que a su vez poseen una variedad de dientes o picas. Estos pueden tener diversas formas, desde protuberancias y cavidades alternas, hasta láminas de cuchillas, pasando por puntas, pirámides, dientes de tiburón, ondulaciones y estrías rectas o cruzadas, entre otros. La elección de estas formas depende del tipo de material que se va a triturar, el tamaño del material de entrada y la granulometría final deseada (Fueyo, 1999).

Los cilindros dentados pueden fabricarse de diferentes maneras:

- Camisas cilíndricas en acero sobre las cuales se colocan los dientes, pueden ser fundidos sobre la camisa o usando diferentes métodos de fijación.

- Camisas cilíndricas en fundición que sirven de soporte a anillos a manera de dientes.
- Un conjunto de segmentos a manera de placas dentadas colocadas a lo largo y alrededor de un alma cilíndrica o poligonal.

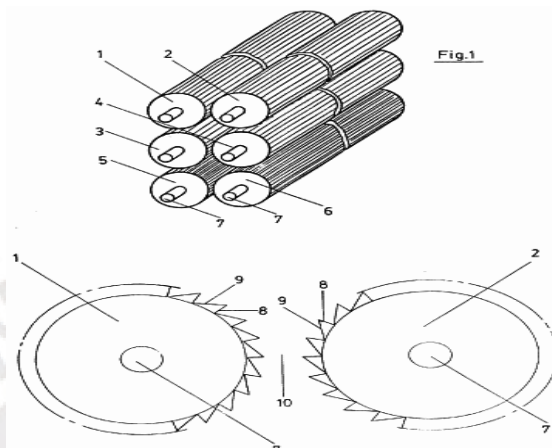


Figura 15. Molino de cilindros dentados

Fuente: <https://patentados.com/1992/molido-con-rodillos-dentados>

b) Molino de cuchillas

El molino de cuchillas es una máquina utilizada para disminuir el tamaño de las muestras. Consiste en cuchillas unidas a un rotor que rota a gran velocidad y una criba que, en función del tamaño, solo permite el paso de la granulometría deseada. Ver **Figura 16**. La forma del rotor se adapta según las características del material a procesar. Este molino se emplea para triturar una variedad de materiales, desde plásticos y metales hasta alimentos.



Figura 16. Molino de cuchillas

Fuente: https://www.kupindo.com/Masine-za-secenje/9850113_MLIN-ZA-MLEVENJE-PLASTIKE-RMA-200-4kW-ELDON

La ventaja de este modelo de molinos es la facilidad de reemplazo de cuchillas y cribas para ajustar y mejorar la granulometría requerida. En la siguiente *Figura 17*, se puede observar el desmontaje de la criba y de las cuchillas



Figura 17. Criba y cuchillas desmontadas

Fuente: <https://www.roweequipment.com/products/granulator/>

1.4.2. Equipos en el mercado

Actualmente también existen en el mercado máquinas que pueden ser usadas para este fin. Estas máquinas son comercializadas por diferentes empresas en el extranjero y algunas otras de carácter más rudimentario son comercializadas por empresas peruanas, existen modelos diseñados exclusivamente para triturar árboles o para distintos materiales, a continuación, se mostrarán algunas de ellas:

a) Molino para plástico SML SG-F

De la compañía argentina Eldan Electrónica, la serie de molinos SG de SML están diseñados tanto para una molienda central, como para utilizar en conjunto con las operaciones de inyección, soplado o extrusión. La estructura del molino es compacta para una operación sencilla, con un fácil mantenimiento y limpieza, mejorando la eficiencia de trabajo. Su principio de funcionamiento es a través de un cilindro con múltiples cuchillas que posteriormente almacena el material molido en un cajón contenedor. En la **Figura 18** y en la **Tabla 3**, se muestran esquemas y las características principales del equipo.



Figura 18. Máquina SML SG-F

Fuente: <https://www.mgmaquinaria.com/producto/sml-sg-230f/>

Tabla 3. Características SML SG-F

Modelo	Cámara de corte	Capacidad de molienda	Potencia del motor	Peso
SG-230F	200x230 mm	100-150 kg/h	5 hp	250 kg
SG-300F	200x300 mm	150-200 kg/h	7,5 hp	400 kg
SG-400F	235x400 mm	200-250 kg/h	10 hp	500 kg
SG-500F	290x500 mm	300-350 kg/h	15 hp	950 kg

Fuente: <https://www.mgmaquinaria.com/producto/sml-sg-230f/>

b) Trituradora RMZ 500-1000

Esta máquina perteneciente a la compañía alemana Reimbold, está diseñada de manera versátil para triturar materiales tales como plásticos duros, papel, madera, artículos electrónicos, textiles, etc,

Consta de 4 cilindros dentados para realizar el proceso, dos motores son los encargados de brindar el movimiento a los cuatro cilindros. Estas máquinas trituran sin esfuerzo cualquier resto o material. Resultan ideales para la reducción de volúmenes de material. En las *Figuras 19, 20 y 21*, se muestran esquemas y características del equipo.

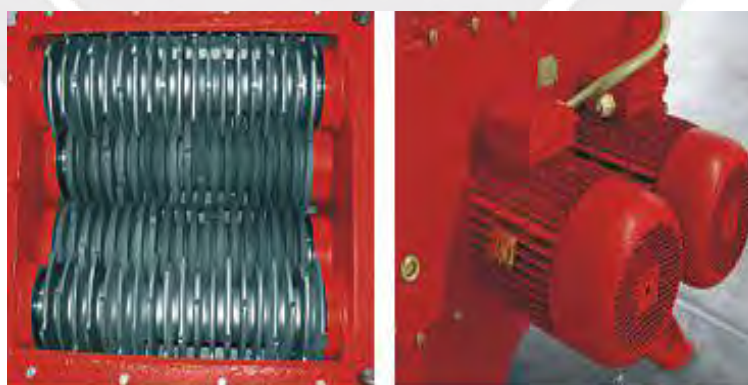


Figura 19. Máquina RMZ 500-1000

Fuente: <https://pdf.directindustry.es/pdf/reinbold-entsorgungstechnik/folleto-resumen/61691-103525.html>

Tipo	RMZ 500	RMZ 500 S	RMZ 700 S	RMZ 1000
Altura (mm)	1970	1970	1970	1980
Largo (mm)	1400	1550	1780	2250
Ancho (mm)	830	830	830	830

Figura 20. Características RMZ 500-1000

Fuente: <https://pdf.directindustry.es/pdf/reinbold-entsorgungstechnik/folleto-resumen/61691-103525.html>

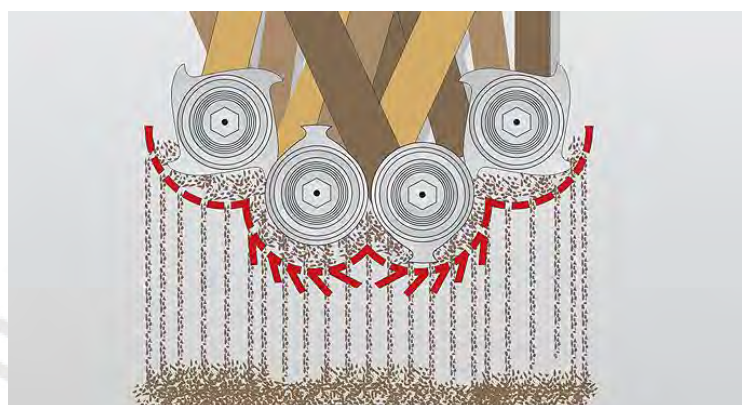


Figura 21. Funcionamiento de máquina RMZ 500-1000

Fuente: <https://pdf.directindustry.es/pdf/reinbold-entsorgungstechnik/folleto-resumen/61691-103525.html>

c) Trituradora PNSC

La trituradora PNSC de la empresa WANROOETECH es una opción muy versátil, económica y capaz dentro del mercado de máquinas trituradoras. Se ofrecen en varias capacidades desde 30 hasta 150 kg/h. Cuenta con un eje unitario en el cual están colocadas las cuchillas móviles y apernadas a la estructura se encuentran las cuchillas fijas. Además, cuenta con un arreglo helicoidal de cuchillas móviles lo que facilita el proceso del material haciendo que este recircule hasta que pase por los agujeros de la criba. Ver **Figura 22**.



Figura 22. Trituradora PNSC

Fuente: <https://www.wanrootech.com/es/products/maquina-trituradora/>

1.5. Parámetros de diseño

Antes de iniciar con el diseño propiamente dicho, se necesitan determinar los parámetros que regirán el diseño de la máquina junto a las exigencias y a los deseos, estos parámetros servirán como datos de entrada para poder calcular y seleccionar los distintos elementos de máquinas y accesorios que esta necesite.

Los parámetros de diseño son los siguientes:

1.5.1. Condiciones de la materia prima

Para la concepción de la máquina es importante conocer la forma en la que se reciben las botellas. Para el desarrollo de la máquina mencionada en este proyecto se contempla el ingreso de botellas limpias sin ningún residuo, sin etiquetas, sin las tapas ni los anillos de seguridad y se admiten botellas de capacidades de 500 mL.

1.5.2. Movilidad

Ya que no es necesario que la máquina se desplace es preferible que sea estacionaria para otorgarle mayor estabilidad.

1.5.3. Operación

Se operará la máquina semiautomática, es decir, existirá un motor eléctrico (o dos) que accionará los mecanismos internos. Este motor será comandado por un botón de inicio y otro de apagado, ubicados en un panel de control. El mecanismo principal de funcionamiento consistirá en un rotor con cuchillas que cortará el plástico en partes más pequeñas mediante el corte por cizalladura y se controlará la granulometría con una criba en la parte inferior. La transmisión de potencia se realizará mediante fajas y poleas para así obtener el torque requerido para el corte del PET.

1.5.4. Materiales

Dado que se cortará plástico y habrá tendencia a calentarse por la fricción, es posible que el diseño de las cuchillas, el rotor y la estructura sean de acero al carbono. Y para los recubrimientos de los mecanismos internos se pueden emplear planchas de aluminio o policarbonato puesto que no es necesario que ofrezcan una resistencia estructural considerable.

1.5.5. Capacidad de producción

La capacidad de la máquina fue determinada tomando en cuenta capacidades de producción de máquinas similares existentes en el mercado. Junto con la necesidad de desarrollar una máquina de uso de laboratorio, que no requiera de mucha potencia y con facilidad de fabricación, se determinó una capacidad de 25 kg/h.

1.5.6. Producto final

El tamaño del producto final, después de realizar el proceso de picado y de acuerdo con el estado de arte investigado en el presente capítulo, se determina que este será de 10 mm, puesto que con ese tamaño se obtiene un proceso de triturado eficiente y fluido.

1.6. Lista de exigencias

A continuación, en la **Tabla 4**, se muestran los requerimientos y exigencias que debe cumplir la máquina a diseñar.

Tabla 4. Lista de exigencias

LISTA DE EXIGENCIAS		Página 1 de 3	
		Edición: Rev. 01	
PROYECTO:		DISEÑO DE UNA MÁQUINA CORTADORA DE BOTELLAS DE PLÁSTICO	
		Revisado: J.A.S.	
Nº	Deseo o Exigencia	Descripción	Responsable
1	E	FUNCIÓN PRINCIPAL: • Cortar botellas de plástico PET en pedazos de 10 mm con un flujo másico de 25 kg/h.	A.O.S.
2	D	GEOMETRÍA: Se desea que la máquina sea compacta, ya que será usada dentro de un laboratorio. El equipo estará conformado por: tolva, cámara de picado, sistema de potencia, sistema de selección de tamaño de partícula, sistema de acopio de partículas picadas. La máquina debe ser rígida para resistir las cargas generadas por el proceso de corte. La tolva será diseñada para evitar que la gente pueda meter la mano por seguridad.	A.O.S.
3	E	CINEMÁTICA: Las velocidades máximas y mínimas de trabajo son: 400 y 300 revoluciones por minuto. Además, se tiene la posibilidad de hacer girar el eje en sentido horario y antihorario, en caso la maquina se trabe o se atore.	A.O.S.
4	E	FUERZAS: La fuerza de corte debe ser la necesaria para poder moler las botellas de manera que no se logre trabar. La fuerza de gravedad presente al momento de dosificar las botellas y al recibir las partículas picadas en el lugar de depósito.	A.O.S.
5	E	ENERGÍA: La máquina debe de conectarse a una red de suministro eléctrica trifásica de 220/440 V con una frecuencia de 60 Hz. Las condiciones estándar de baja tensión en Lima y en el territorio peruano (según Código Nacional de Electricidad, 2011).	A.O.S.

6	E	MATERIAL: Botellas de plástico PET (sin tapa ni etiqueta). La máquina puede trabajar con otros tipos de plástico, pero alcance del presente proyecto se enfoca en plástico PET.	A.O.S.
7	E	SEÑALES: Existirá una correcta señalización del botón de prendido, apagado, parada de emergencia en caso de atasco e indicador de nivel de llenado de recipiente de plástico picado. Además, se desea que la máquina emita una señal sonora y que se corte el suministro eléctrico cuando la cámara de picado sea abierta.	A.O.S.
8	E	FABRICACIÓN: La máquina podrá ser fabricada en talleres locales, con materiales de fácil adquisición en el mercado.	A.O.S.
9	D	ERGONOMÍA: Las dimensiones de la máquina deberán facilitar el acceso y manipulación del usuario. El tablero de control y el cable de conexión se ubicarán en una zona estratégica para evitar obstrucción durante el trabajo. De igual manera, se desea que	A.O.S.
10	E	MONTAJE: La máquina podrá ser montada y desmontada de manera fácil y sencilla con la posibilidad de ubicarla en distintos lugares.	A.O.S.
11	E	SEGURIDAD: El accionamiento y manipulación de la máquina no debe comprometer la integridad de ningún operario, ni a la máquina, ni al medio ambiente. La Organización Mundial de la Salud recomienda que el nivel más alto permisible de exposición al ruido en el lugar de trabajo sea de 85 dB durante un máximo de 8 horas al día, es por esto que se usarán revestimiento anti-ruido para mantener los niveles sonoros bajos. El diseño de la máquina debe impedir que las personas se lastimen al interactuar con la máquina.	A.O.S.
12	E	MANTENIMIENTO: Preventivos cada seis meses y correctivos según análisis de componentes. Se brindará la facilidad de acceso para limpieza, lubricación y cambios de piezas. La duración de cada mantenimiento realizado dependerá del desgaste de las piezas involucradas. La pintura exterior de la máquina será anticorrosiva. Las cuchillas deben ser de fácil montaje y desmontaje.	A.O.S.

1.7. Resumen de los parámetros de diseño

Para concluir el presente capítulo se presentará en la **Tabla 5**, un resumen con los

diferentes parámetros considerados en el diseño de la picadora de plástico desarrollada en este documento.

Tabla 5. Resumen de parámetros de diseño

Parámetro	Variables importantes	Explicación
Materia prima	PET reciclado	Se pretende contribuir con la implementación de uno de los equipos necesarios para el reciclado de los productos de plástico de uso común; teniendo como referencia al PET como caso crítico para los cálculos de una máquina picadora.
Operación	Semi automática	Se plantea que el diseño de la máquina consista en un motor que transmitirá la potencia mediante fajas y poleas al eje con cuchillas móviles, las encargadas de cortar las botellas. Este motor será accionado por un botón ubicado en el panel de control. No se hará uso de programación ni circuitos complejos.
Materiales a emplear	Aceros al carbono, planchas de aluminio o policarbonato	Debido a la fuerza necesaria para cortar el PET, así como el calor generado debido a la fricción, se optará por el uso de aceros al carbono. Las cuchillas requieren de un acero duro y la carcasa protectora de la estructura podría ser de planchas de aluminio o policarbonato, solo cumple la función de cubrir la máquina y no dejar escapar el plástico a cortar.
Dimensiones	Aprox 1 m de alto, 0.9 m de ancho y 0.9 m de largo	Las dimensiones aproximadas dejan como resultado una máquina de características ergonómicas, lo que facilitará el uso para todo público.
Rango de velocidades	Aproximadamente 300-400 rpm	La velocidad de funcionamiento viene delimitada por la producción requerida y las características mecánicas del producto. Se estima que para llegar a la capacidad de producción prevista y teniendo en cuenta que se necesita torque para realizar el corte del plástico, se empleará un motorreductor cuya velocidad no supere los 400 rpm.
Producto final (dimensiones)	Tamaño de grano aproximadamente 10 mm	De acuerdo con la información recabada sobre máquinas similares en la industria del reciclaje, asegurando de esta manera un flujo de alimentación constante.
Potencia	Máx. 5 HP	Se estima que la potencia no será muy elevada puesto que solo se piensa accionar el eje de cuchillas y un motor relativamente pequeño puede suplir la potencia requerida.
Capacidad de producción	25 kg/h	De acuerdo con información revisada sobre diferentes empresas recicladoras de desperdicios

	no orgánicos, estas reciben en promedio 200 kg/h de residuos, cantidad que se debe procesar en una jornada laboral de 8 horas, por lo que se estima un flujo de 25 kg/h en una planta de reciclado.
--	---



CAPÍTULO 2 DISEÑO DEL EQUIPO

La metodología empleada para este trabajo se basará en el método normalizado de diseño VDI 2221. En primer lugar, se lleva a cabo la creación de la estructura de funciones, que abarca los distintos procedimientos relacionados con la trituración del material. Posteriormente, se desarrolla la matriz morfológica considerando las diversas formas de ejecutar un proceso. A partir de esta matriz, se esbozan los conceptos de solución, que son ideas preliminares fundamentadas en el estado actual de la tecnología. Luego, se selecciona uno de estos conceptos para definir el proyecto preliminar, llevando a cabo una evaluación técnico-económica con el fin de obtener la solución óptima. Finalmente, en base al proyecto óptimo seleccionado, se procede a realizar los cálculos y verificaciones necesarias para la construcción y selección de componentes del prototipo de picadora, tales como: fuerza de corte, potencia del motor, motor eléctrico, fajas de transmisión, material de los componentes, entre otros.

2.1. Elaboración del proyecto óptimo

2.1.1. Estructura de funciones

En esta etapa del proyecto se seguirá un proceso de abstracción donde se representarán las funciones de la maquina en forma de caja negra o “*Black box*”.

Abstracción: Caja Negra (Black – box)

En primer lugar, determinamos las entradas y salidas deseadas de la máquina, con ello pretendemos generalizar la función de la máquina. Esto se puede apreciar en la *Figura 23* que se muestra a continuación:

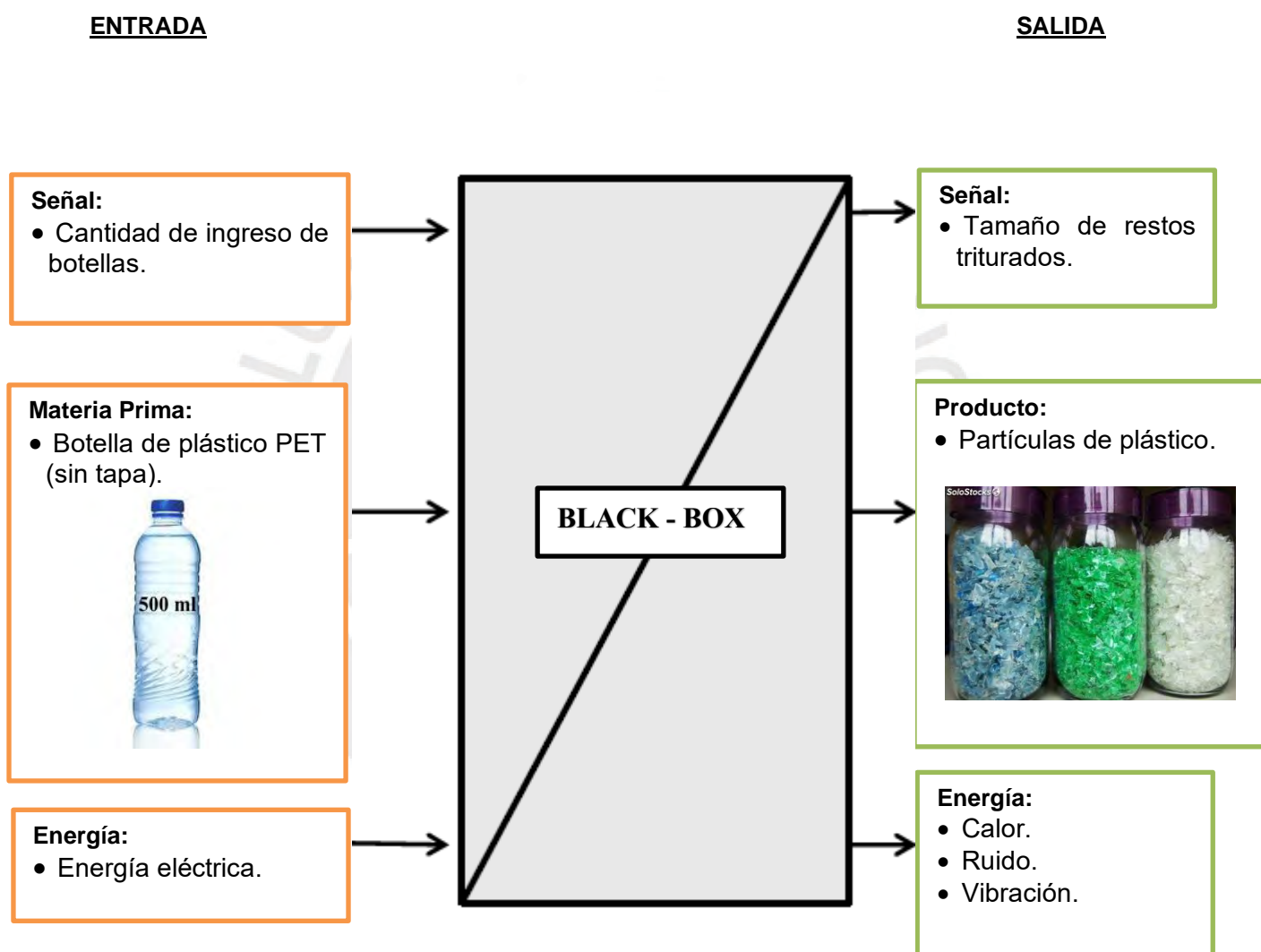


Figura 23. Esquema de la caja negra del proceso

Analizando la caja negra se puede identificar las entradas y salidas y de esa manera se procede a establecer la secuencia de operación.

Secuencia de operación

Una vez conocidas las entradas y salidas de la máquina, se describirá lo que se espera

que ocurra en el proceso aún desconocido en la caja negra.

1. Encender la máquina.
2. Dejar las tapas de las botellas fuera del proceso de triturado.
3. Introducir las botellas de plástico aplastadas y sin tapa por el espacio designado directo hacia las cuchillas del molino.
4. Prender la máquina para comenzar con el proceso de triturado.
5. Triturar la botella de plástico gracias a la fuerza de corte de las cuchillas.
6. Apagar la máquina cuando se desee dejar de triturar botellas de plástico.

Fases del proceso técnico

Las botellas de plástico PET serán introducidas a la máquina. Estas botellas se introducirán por el espacio designado para luego caer sobre las cuchillas del molino.

• PREPARACIÓN

- a) Quitar la tapa de la botella y alejar las tapas del proceso de trituración, ya que éstas no se contemplan como alcance del presente documento.
- b) Depositar la botella de plástico aplastada y sin tapa por el espacio designado.
- c) Colocar un recipiente debajo de las cuchillas del molino para recepcionar los pedazos triturados.

• EJECUCIÓN

- a) Seleccionar por tamaño antes de iniciar la trituración.
- b) Triturar la botella.

• CONTROL

- a) Verificar que las botellas de plástico ingresen en las condiciones iniciales.

- b) Encender la máquina e iniciar la rotura.
- c) Controlar que el triturado se realice de forma adecuada a simple inspección visual.
- d) Controlar la parada de emergencia en caso de atascos, haciendo uso del botón de apagado.
- e) Controlar el proceso de inicio a fin.

- **FASE FINAL**

- a) Apagar la máquina.
- b) Retirar el recipiente con los pedazos de botella que se han triturador.
- c) Reiniciar la secuencia de operaciones.

Determinación de principios tecnológicos

Se expondrán las alternativas de los procesos que permitirán a la máquina realizar la transformación deseada para la función total.

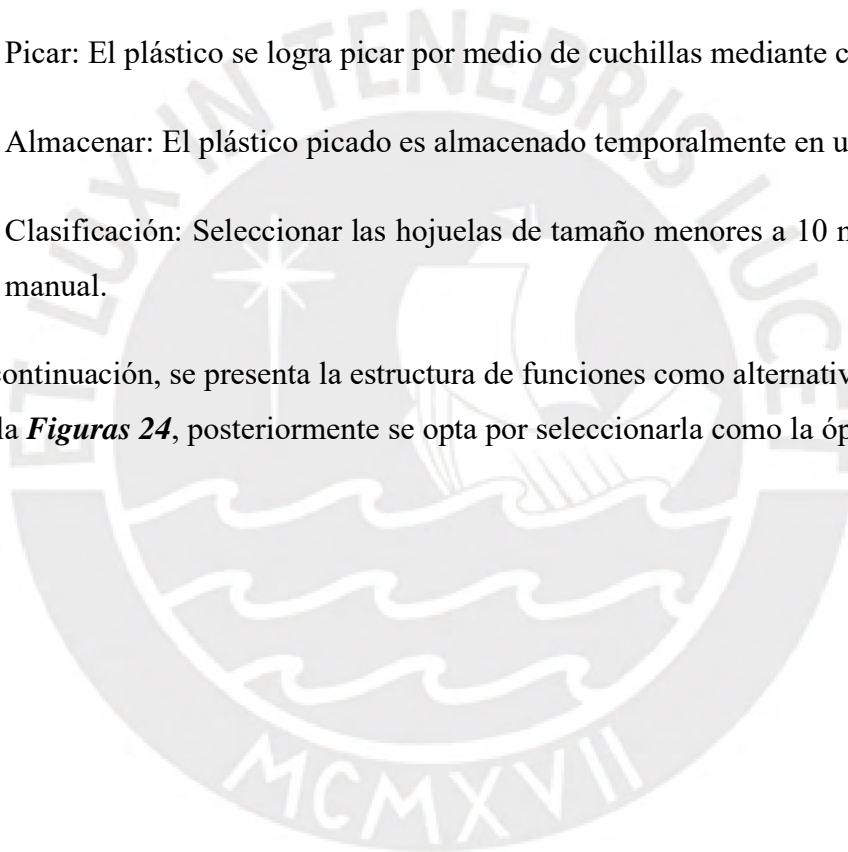
➤ Para generar los movimientos rotacionales:

Motor eléctrico: Estos motores son máquinas eléctricas rotatorias. Su funcionamiento es mediante la inducción de campos magnéticos (basados en la Ley de inducción de Faraday) que se dan por el estator debido a la circulación de la corriente en el conductor (bobinas de cobre). Esto produce fuerzas magnéticas (fuerzas de atracción y repulsión), basándose en la Ley de Lorentz, haciendo girar el rotor. En otros términos, esta máquina convierte la energía eléctrica en energía mecánica. Además, un motor eléctrico es económico, cómodo y da seguridad de funcionamiento. Ya que para las operaciones mencionadas se necesitará cierto torque, este se obtendrá reduciendo las revoluciones para aumentar el torque. Para esto se podría emplear sistemas de transmisión por medio de fajas, por medio de cadenas o por medio de engranajes, pero la opción más sencilla dado el gran avance tecnológico que han experimentado son los motorreductores.

Descripción de las funciones parciales:

- Dosificar: Se introducen las botellas de plástico a la máquina.
- Accionar: La energía es transmitida al mecanismo encargado de picar las botellas.
- Selección: Las botellas se seleccionan por tamaño previamente antes de comenzar la trituración.
- Picar: El plástico se logra picar por medio de cuchillas mediante cizalladura.
- Almacenar: El plástico picado es almacenado temporalmente en un depósito.
- Clasificación: Seleccionar las hojuelas de tamaño menores a 10 mm de manera manual.

A continuación, se presenta la estructura de funciones como alternativa de solución, en la **Figuras 24**, posteriormente se opta por seleccionarla como la óptima.



Estructura de funciones

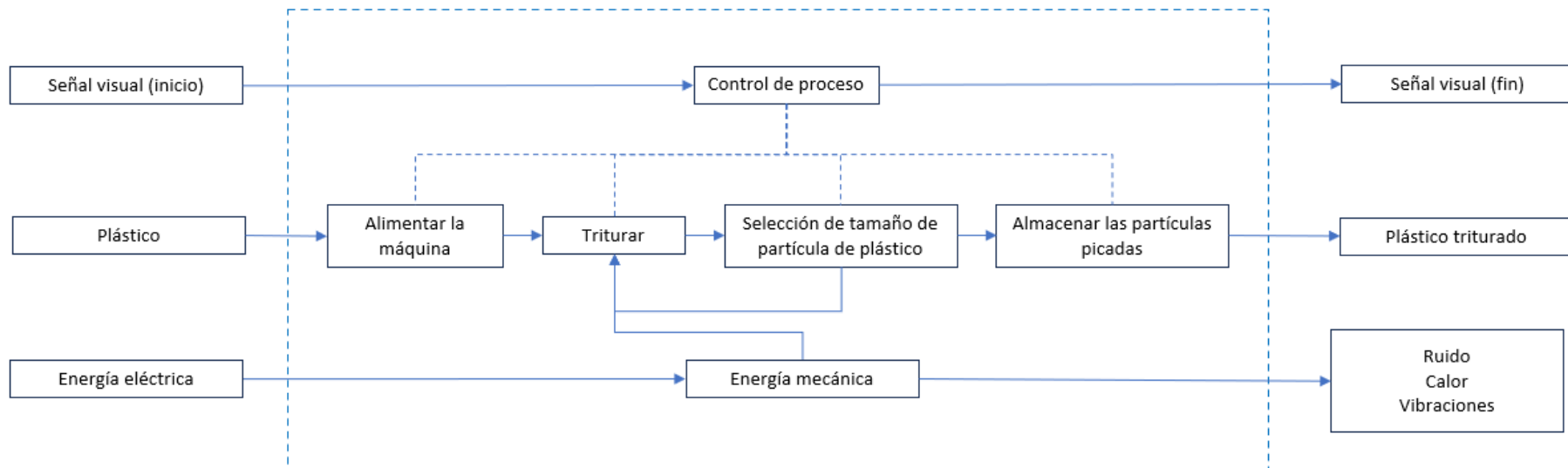


Figura 24. Estructura de funciones

2.2. Matriz morfológica

Para la búsqueda de la solución óptima se ordenarán las posibles soluciones usando la matriz morfológica de Zwicky, los diferentes caminos indicarán una solución distinta. En la **Figura 25** se muestra la matriz morfológica, la matriz morfológica también se mostrará en los anexos.









Matriz morfológica			
Funciones parciales	Alternativas		
	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Dosificar	 <p>Por tolva</p>		
Triturar	 <p>Un eje con múltiples cuchillas</p>	 <p>Dos ejes con múltiples cuchillas</p>	 <p>Un eje con cuchillas largas</p>
Seleccionar el tamaño de partícula	 <p>Por tamices</p>	 <p>Por acción neumática</p>	
Almacenar	 <p>Por gravedad</p>	 <p>Por acción neumática</p>	

Figura 25. Matriz morfológica

2.3. Conceptos de solución

De la matriz morfológica se llega a cuatro conceptos de solución, de los cuales, mediante una evaluación que contempla aspectos técnicos y económicos (ver **Tabla 6**), escogeremos el óptimo, el cual nos dará una idea aproximada de la disposición y la relación entre los elementos de la máquina. Los esquemas de los conceptos de solución se mostrarán en los anexos.

La evaluación se mostrará en la siguiente tabla y será según la siguiente puntuación:

0: Poco aceptable 2: Suficiente 4: Muy satisfactorio
 1: Poco satisfactorio 3: Satisfactorio

Tabla 6. Evaluación del concepto óptimo

Nº	Criterios técnicos y económicos	Conceptos de solución		
		1	2	3
1	Estabilidad	3	3	3
2	Numero de Operarios	3	2	2
3	Facilidad de manejo	3	2	2
4	Buen uso de fuerza	3	3	3
5	Costo de tecnología	3	2	2
6	Costo de operación	3	2	2
7	Seguridad	3	2	2
8	Rapidez	3	2	2
9	Posibilidad de automatización	3	1	1
10	Complejidad	3	3	3
	Suma Total	30	25	22

De la tabla se puede notar que el concepto que obtuvo la mayor puntuación fue el concepto número 1. Los conceptos de solución se muestran en las **Figuras 26, 27 y 28**:

2.3.1. Concepto solución 01

En el concepto de solución N° 01 se pueden observar un eje con varias cuchillas separadas entre sí y cuchillas fijas ensambladas en la estructura. De esta manera cuando cae una botella de plástico, esta es atrapada por la cuchilla móvil y la cuchilla fija.

Las ventajas de este concepto de solución son las siguientes:

- Mayor fuerza de corte debido a la presión generada entre las cuchillas.
- Menor recirculación de material que aún no ha sido picado.

Las desventajas de este concepto de solución son las siguientes:

- La separación de cuchillas debe ser precisa para evitar fricción entre ellas.
- Complejo de fabricar.

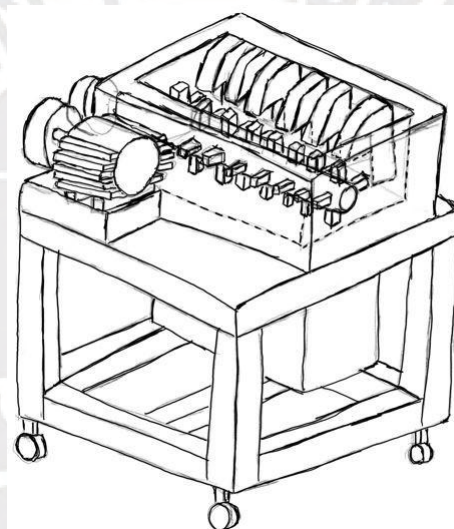


Figura 26. Concepto de solución N°01

2.3.2. Concepto solución 02

En el concepto de solución N° 02, se observa el uso de dos rodillos horizontales con múltiples cuchillas que al atrapar al plástico entre ellos comenzarían a picarlo en pequeños pedazos. Después con la ayuda de un ventilador se separarán los pedazos menos pesados, siendo estos el producto final. Y los pedazos que caigan por ser más pesados, se devolverán a la cámara de picado. La transmisión de potencia se realiza mediante una reducción de velocidad por medio de faja y polea.

Las ventajas de este concepto de solución son las siguientes:

- Se evita espacios muertos, ya que la cuchilla se encuentra en todo el largo del eje.

- Menor recirculación de material que aún no ha sido picado.

Las desventajas de este concepto de solución son las siguientes:

- Cuando una cuchilla pierda filo, comenzará a trabar el sistema de corte.

El costo de fabricación de las cuchillas que van a lo largo del eje.

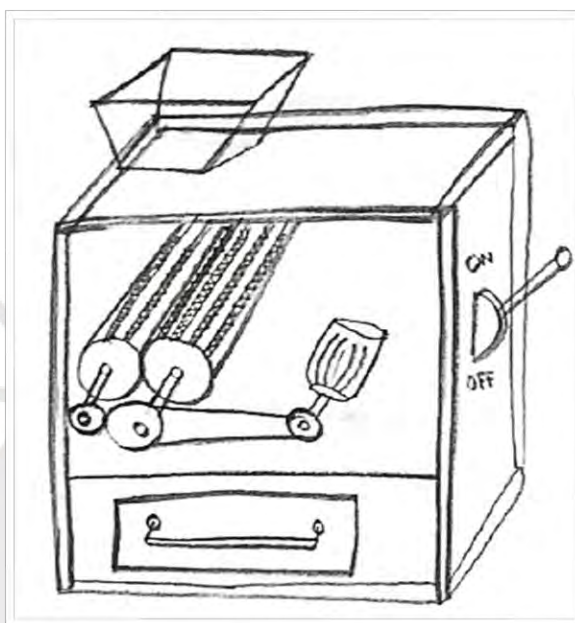


Figura 27. Concepto de solución N°02

2.3.3. Concepto solución 03

En el concepto de solución N° 03, se observa el uso de un rodillo horizontal con cuchillas longitudinales (cuchillas móviles) que, al golpear el plástico contra las cuchillas fijas incrustadas en la estructura a los costados, terminaría picando el plástico hasta que la criba deje pasar los restos. Dichos restos serían depositados en un contenedor. El funcionamiento de toda la máquina es iniciado por medio de botones y la transmisión de potencia se realiza mediante un motorreductor. Cabe mencionar que la máquina cuenta con una tolva por donde se alimentaría el plástico.

Las ventajas de este concepto de solución son las siguientes:

- Fácil fabricación.
- Cuchillas intercambiables.

Las desventajas de este concepto de solución son las siguientes:

- Probabilidad de desajuste.

Este el concepto solución que obtuvo la calificación más alta de acuerdo con la evaluación realizada páginas arriba

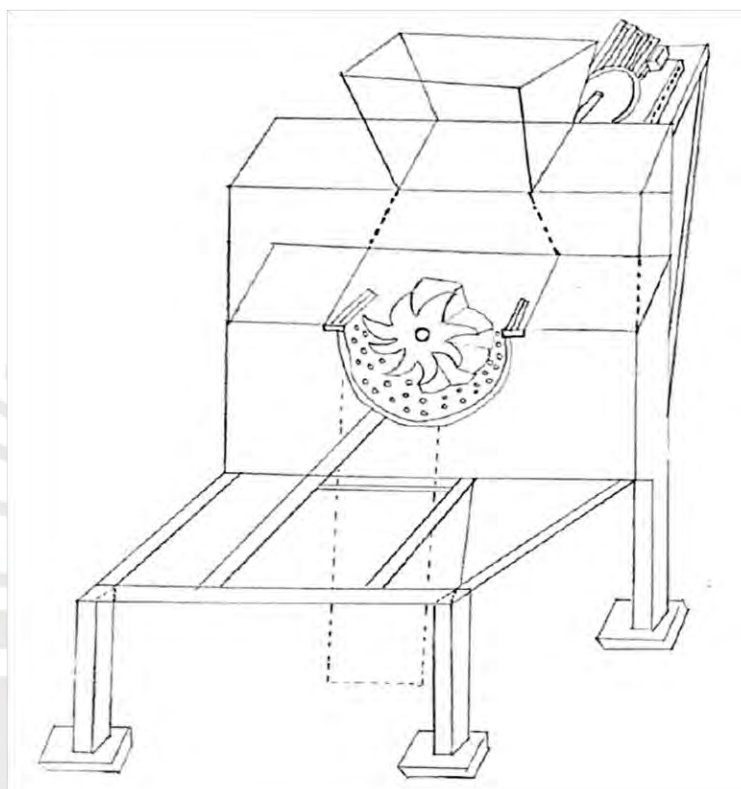


Figura 28. Concepto de solución N°03

2.4. Proyecto preliminar

En esta etapa del proyecto se busca determinar una descripción más elaborada del diseño, esto se logrará a partir del concepto de solución escogido, en base a este se desarrollarán los proyectos preliminares y finalmente el proyecto definitivo u óptimo. En las figuras siguientes se mostrarán y describirán los proyectos preliminares:

2.4.1. Proyecto preliminar 1

En el proyecto preliminar 1, el eje en el que irán las cuchillas móviles está apoyado sobre dos rodamientos cada uno con su respectiva chumacera tipo puente en cada extremo, el giro es accionado por un motor y la transmisión es por medio de correas,

como se puede ver en la **Figura 29**. Para este proyecto preliminar se seleccionaron cuchillas móviles. Así mismo, en esta misma imagen se puede ver que la cámara de picado también cuenta con cuchillas fijas; ambas cuchillas, fijas y móviles son las encargadas de la reducción del tamaño del plástico PET, posteriormente el plástico picado pasa por una criba, la cual solo deja pasar el tamaño solicitado, tal cual se muestra en la **Figura 30**. Esta criba se encuentra atornillada a la estructura de tal manera que puede ser retirada fácilmente cuando necesite ser descartada o si se desea modificar el tamaño de partícula necesitado. Finalmente, el plástico picado cae sobre un depósito de fácil extracción. Toda la maquina es soportada por una estructura hecha de perfiles estructurales unidos por medio de soldadura.

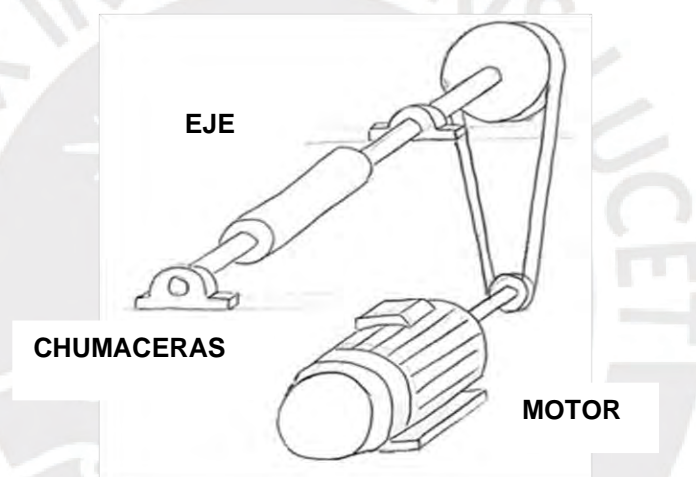


Figura 29. Sistema de transmisión - Proyecto preliminar

El sistema de transmisión constará de fajas y poleas para reducir el giro del motor, pues tentativamente se considerará un motor eléctrico de cuatro polos con una velocidad nominal de 1800 revoluciones por minuto, pero para el caso de la picadora se necesita torque y se plantea una reducción a 300 revoluciones por minuto. El eje o rotor donde irán atornilladas las cuchillas, se encuentra apoyado en dos chumaceras tipo puente.

En esta vista se pueden observar: la tolva de alimentación, las cuchillas móviles ajustadas al rotor mediante uniones atornilladas (lo cual facilita su extracción por desgaste), las cuchillas fijas van en la estructura aseguradas también por uniones atornilladas, el depósito contenedor de plástico picado y la criba atornillada a la estructura. Cabe mencionar que los elementos dibujados anteriormente representan

solo un posible arreglo, por lo cual, el número de cuchillas y la disposición irán variando conforme se desarrolle este proyecto.

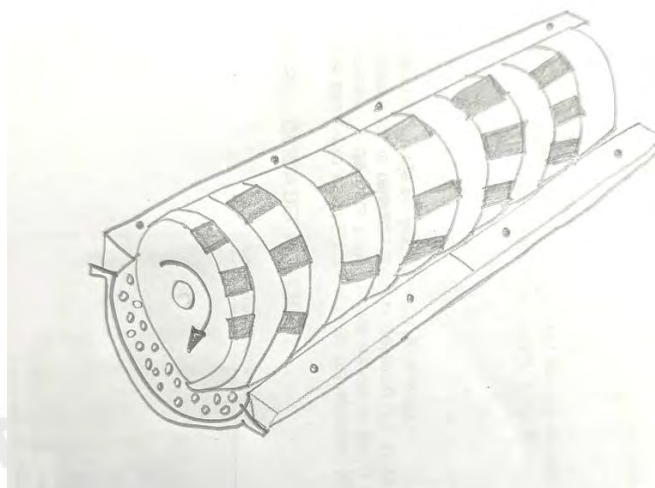


Figura 30. Proyecto preliminar 1

2.4.2. Proyecto preliminar 2

El proyecto preliminar 2 cuenta con el mismo sistema de alimentación y transmisión que el proyecto preliminar 1. En la **Figura 31** se puede notar que el eje cuenta con cuchillas a lo largo del eje, las cuales serán llamadas cuchillas móviles. Así mismo, en esta misma imagen se puede ver que la cámara de picado también cuenta con cuchillas fijas; ambas cuchillas, fijas y móviles son las encargadas de la reducción del tamaño del plástico PET, posteriormente el plástico picado pasa por una criba, la cual solo deja pasar el tamaño solicitado. Esta criba se encuentra atornillada a la estructura de tal manera que puede ser retirada fácilmente cuando necesite ser descartada o si se desea modificar el tamaño de partícula necesitado. Finalmente, el plástico picado cae sobre un depósito de fácil extracción. Toda la maquina es soportada por una estructura hecha de perfiles estructurales unidos por medio de soldadura.

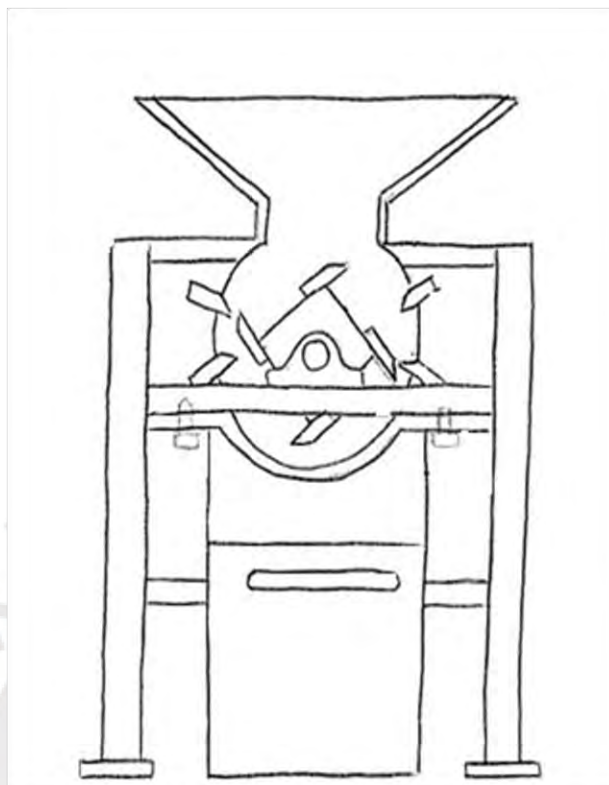


Figura 31. Vista Frontal - Proyecto preliminar 2

En esta vista se pueden observar: la tolva de alimentación, las cuchillas móviles ajustadas al rotor mediante uniones atornilladas (lo cual facilita su extracción por desgaste), las cuchillas fijas van en la estructura aseguradas también por uniones atornilladas, el depósito contenedor de plástico picado y la criba atornillada a la estructura. Cabe mencionar que los elementos dibujados anteriormente representan solo un posible arreglo, por lo cual, el número de cuchillas y la disposición irán variando conforme se desarrolle este proyecto.

2.5. Proyecto preliminar óptimo

Para determinar el proyecto preliminar óptimo, se presenta a continuación una evaluación técnica y una económica, en las tablas 2 y 3 respectivamente. Se tienen las siguientes consideraciones:

p: puntaje de 0 a 4 (según VDI 2225)

0= No satisface, 1= Casi aceptable, 2=Suficiente, 3= Bien, 4= Muy bien

g = el peso ponderado está en función de los criterios de evaluación

Se presenta las evaluaciones técnica y económica en las **Tablas 7 y 8** respectivamente.

Tabla 7. Evaluación técnica de los proyectos preliminares

DISEÑO MECÁNICO - EVALUACIÓN DE PROYECTOS								
Valor técnico								
Proyecto: PICADORA DE PLÁSTICO RECICLADO								
VARIANTES DE PROYECTOS			Solución 1		Solución 2		Solución ideal	
			S1		S2		S ideal	
N°	Criterios	g	p	gp	p	gp	p	gp
1	Función principal	10	3	30	2	20	4	40
2	Forma	6	3	18	3	18	4	24
3	Diseño	8	3	24	3	24	4	32
4	Seguridad	8	3	24	2	16	4	32
5	Ergonomía	6	3	18	3	18	4	24
6	Fabricación	7	3	21	3	21	4	28
7	Transporte	5	3	15	2	10	4	20
8	Montaje / Desmontaje	6	3	18	3	18	4	24
9	Potencia	6	3	18	3	18	4	24
10	Mantenimiento	8	3	24	2	16	4	32
Puntaje máximo		70	30	210	26	179	40	280
Orden			1ro		2do		Ideal	

Tabla 8. Evaluación económica de los proyectos preliminares

DISEÑO MECÁNICO - EVALUACIÓN DE PROYECTOS								
Valor económico								
Proyecto: PICADORA DE PLÁSTICO RECICLADO								
VARIANTES DE PROYECTOS			Solución 1		Solución 2		Solución ideal	
			S1		S2		S ideal	
N°	Criterios	g	p	gp	p	gp	p	gp
1	Función principal	7	3	21	3	21	4	28
2	Forma	7	3	21	3	21	4	28
3	Diseño	8	3	24	2	16	4	32
4	Seguridad	7	3	21	2	14	4	28
5	Ergonomía	6	2	12	3	18	4	24
6	Fabricación	9	3	27	2	18	4	36
7	Transporte	6	2	12	2	12	4	24
8	Montaje / Desmontaje	6	3	18	2	12	4	24
9	Potencia	8	3	24	2	16	4	32
10	Mantenimiento	8	2	16	2	16	4	32
Puntaje máximo		72	27	196	23	164	40	288
Orden			1ro		2do		Ideal	

En la **Figura 32**, se presenta el diagrama con las valoraciones de ambos proyectos; donde el proyecto preliminar 1 es el punto naranja, el proyecto preliminar 2 es el punto verde y la solución óptima es el punto azul; se determina que el proyecto óptimo es el proyecto preliminar 1, pues es el proyecto que se acerca más a la línea del proyecto ideal.

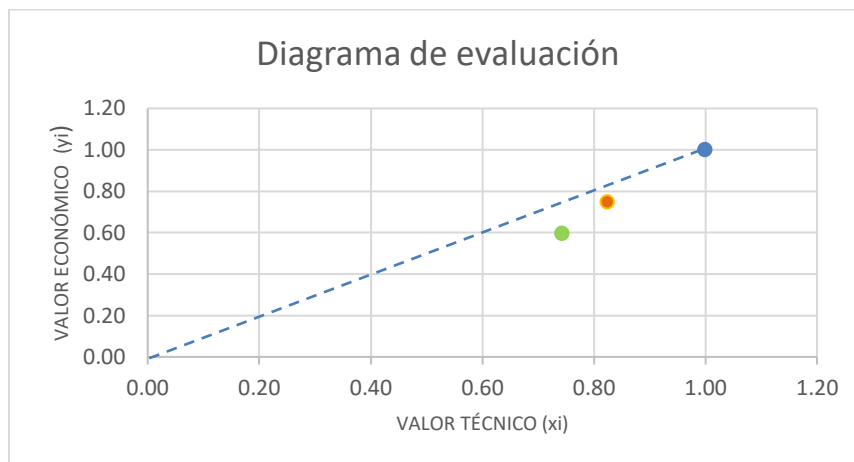


Figura 32. Diagrama de evaluación de proyectos preliminares

2.6. Cálculos y selección de componentes

A partir de los parámetros de diseño y el proyecto preliminar óptimo es posible calcular y seleccionar los elementos de máquinas y equipos necesarios para el proyecto.

2.6.1. Fuerza de corte para plástico

Según Dubbel (1994) y de acuerdo con información recabada en anteriores experimentos, en los cuales se prioriza la calidad en el acabado del corte, se establece que el ángulo de inclinación de las cuchillas varía en el siguiente rango:

$$\varphi = 5^{\circ} - 10^{\circ}$$

En la Figura 33, se aprecia representación de la sección de corte.

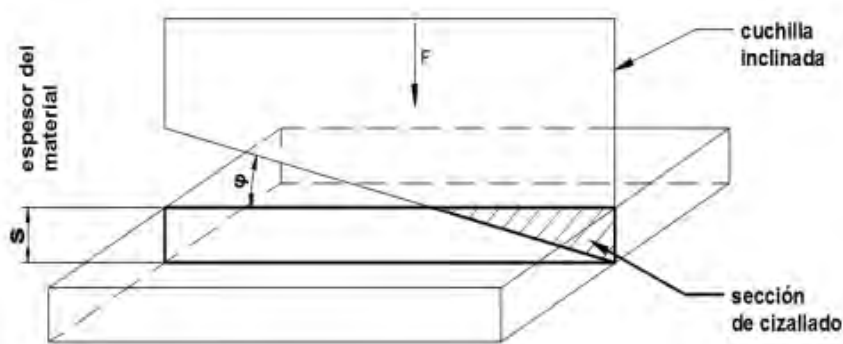


Figura 33. Sección triangular de cizallado.

Fuente: ESPE, Ecuador, Rehabilitación de la cizalla.,pág. 46. Disponible en: <http://repositorio.espe.edu.ec/xmlui/bitstream/handle/21000/10817/T-ESPE-049338.pdf>.

Al analizar la sección triangular de cizallado se obtiene el área triangular de cizallado en función del espesor del material y del ángulo de inclinación de la cuchilla y con ello se obtiene la fórmula para calcular la fuerza de corte.

$$F_{corte} = \frac{\tau * s^2}{2 * \tan(\varphi)}$$

Donde:

F_{corte} : Fuerza de corte.

τ : Resistencia al corte (esfuerzo de cizalladura).

s : Espesor del material.

φ : Ángulo de cizalla.

A medida que se aumenta el ángulo de inclinación (φ), se sabe que la fuerza de corte (F_{corte}) disminuye. Para este caso y como se observa en la **Tabla 9** se consideró:

Tabla 9. Cálculos para la fuerza de corte

FUERZA DE CORTE	
φ : Ángulo de inclinación de la cuchilla (°)	10
T: Esfuerzo de cizalladura del PET (Mpa)	55.2
s: Espesor del material PET (mm)	2

$$F_{corte} = \frac{55.2 \text{ MPa} * (2\text{mm})^2}{2 * \tan(10)}$$

$$F_{corte} \approx 625 \text{ N}$$

La fuerza necesaria para la ruptura de un trozo de PET con esas características sería de aproximadamente 625 N; sin embargo, se considera que la máquina corte dos filamentos de PET al mismo tiempo, lo cual implica que:

$$F_{corte} = 2 * 625 \text{ N} = 1250 \text{ N}$$

2.6.2. Torque de corte

Para calcular el torque de corte “T” es necesario definir el radio de giro de las cuchillas “R” y la fuerza de corte “ F_{corte} ”, teniendo en consideración que el diámetro de la botella es de 64 mm, se debe garantizar que el radio de giro del rotor de trituración permita un correcto agarre con la botella, para este fin se considera en el diseño un radio de 100 mm.

$$T = F_{corte} * R$$

Los datos para el cálculo del torque figuran en la **Tabla 10**.

Tabla 10. Cálculos para el torque de corte

TORQUE DE CORTE	
Fuerza de corte (N)	1250
Radio de giro de las cuchillas (m)	0.1
Torque de corte (Nm)	125.0

2.6.3. Velocidad de giro (revoluciones por minuto)

En este apartado se procedió a elegir la velocidad a la cual el eje girará para poder realizar el proceso de trituración del plástico. Dentro del mercado actual de máquinas picadoras y trituradoras de plástico PET y siguiendo las recomendaciones de Perry (2001), se recomienda que la velocidad adecuada para no sobre exigir la máquina y lograr buenos resultados sea entre 200 a 1000 rpm. Para seleccionar las revoluciones por minuto de funcionamiento, fue necesario relacionar estas con el flujo másico que

requiere la máquina para cumplir con la capacidad establecida. Teniendo en cuenta la masa de cada botella, el ancho de corte deseado y la cantidad de cortes por revolución, se establece una velocidad de giro de 300 revoluciones por minuto y se justifica con los siguientes cálculos expuestos en la Tabla:

Tabla 11. Cálculos para la justificación de velocidad de giro

REVOLUCIONES POR MINUTO		Unidades
Revoluciones por minuto	300	rpm
Cantidad de cortes por vuelta	10	
Ancho de corte deseado	10	mm
Número de cortes por segundo	50	Cortes/segundo
Número de cortes por botella	135	Cortes/botella
Tiempo por botella	2.7	Segundos
Cantidad de botellas por hora para cumplir los 25 kg	1367	
Tiempo para procesar 1367 botellas	3590.9	Segundos
Tiempo para procesar 1367 botellas	1.0	Horas

2.6.4. Sistema de transmisión de potencia

El sistema que brindará la potencia necesaria para triturar el plástico será definido en esta sección. Como se vio en los conceptos de solución este sistema estará conformado por un motor, el cual transmitirá la potencia necesaria para picar el plástico hacia un árbol mediante transmisión por fajas. Otros elementos mecánicos involucrados en el montaje del sistema, como anillos de retención, sellos mecánicos, etc., serán explicados finalizando esta sección.

a) Diseño tentativo del árbol de transmisión

Para realizar el diseño tentativo del árbol para esta máquina, se debe tener en cuenta los valores que se tienen disponibles, en este caso la potencia, la velocidad de giro y la fuerza de corte, además se sabe que el árbol trabaja a torsión y a flexión.

Como dimensiones preliminares se considera el largo del rodillo de cuchillas de 300mm. Teniendo en cuenta que los discos portacuchillas irán en el eje el cual tiene geometría hexagonal. El acero AISI 4340 ha sido elegido el material principal para el árbol conductor debido a su amplio uso en la fabricación de ejes y árboles, gracias a su alta resistencia a la tracción, a la torsión y a la flexión. El AISI 4340 es un tipo de acero que

ofrece buenas propiedades mecánicas y es comercial cuyas propiedades mecánicas se detallan en el Anexo 9.

Las fuerzas a las que se encuentra sometido el eje serían: las fuerzas de las cuchillas, el torque generado por las fuerzas de las cuchillas y las reacciones generadas por los rodamientos. Por lo tanto, se procede a realizar el diagrama de cuerpo libre del eje como se ve en las **Figura 34** y **Figura 35**.

Plano x-y

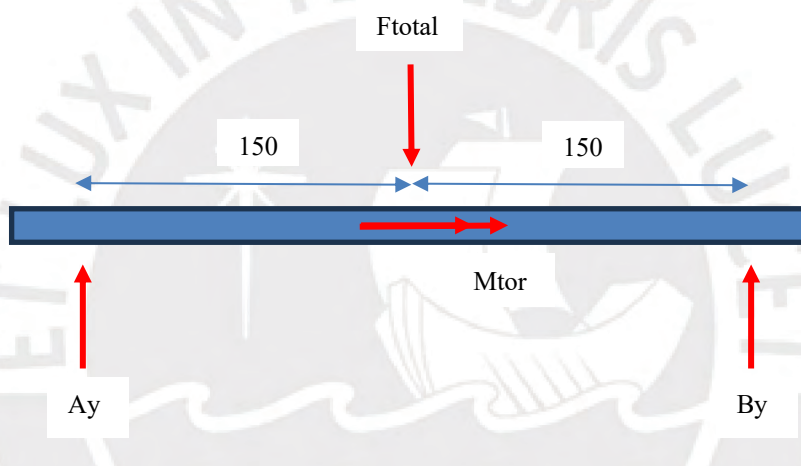


Figura 34. Diagrama de cuerpo libre plano x-y

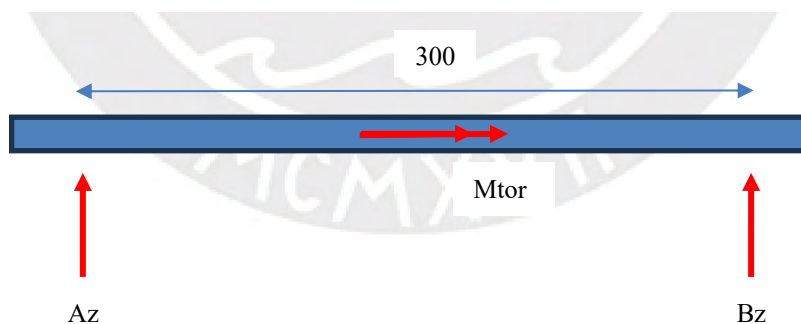


Figura 35. Diagrama de cuerpo libre plano x-z

- Longitud del eje entre apoyos (L_{eje}): 300 mm
- Posición donde se aplicará la fuerza total: 150 mm (caso más crítico)
- Fuerza de corte total (F_{total}): 1250 N

- Momento torsor aplicado sobre el eje (M_{tor}): 125 N.m

Al asumir como carga crítica, una carga puntual en el medio del eje, las reacciones sobre los apoyos son sencillas de calcular y se obtienen los siguientes resultados.

$$R_A=R_B = (F_{\text{total}} + \text{Peso}) * \text{Posición donde se aplicará la fuerza}/L_{\text{eje}}$$

$$R_A=R_B = 625 \text{ N}$$

A continuación, se dibujan los diagramas de fuerzas internas, momento flector y momento torsor, como se aprecia en la **Figura 36** con las cuales también se puede determinar cuál es la zona crítica del eje.

- Momento de flexión máximo (M): 93.75 N.m
- Momento de torsión máximo (T): 125 N.m
- Fuerza de corte máxima (F_{corte}): 1250 N

A continuación, se procede a realizar el diseño por esfuerzos principales normales.

$$\sigma_{A,B} = \frac{16M}{\pi d^3} + \sqrt{\left(\frac{16M}{\pi d^3}\right)^2 + \left(\frac{16T}{\pi d^3}\right)^2}$$

$$\sigma_1 = \frac{1273.2}{d^3}$$

$$\sigma_3 = \frac{-318.3}{d^3}$$

El material del eje será el acero AISI-SAE 4340 el cual es un acero especial de bonificación al cromo, níquel y molibdeno, cuyo esfuerzo de fluencia es de 885 MPa y el esfuerzo de rotura es de 1080 MPa, según el catálogo de Bohler (<https://www.bohlerperu.com/es/aceros-de-construccion/>). Para determinar el parámetro requerido se va a emplear la teoría de la Energía de la Distorsión para materiales dúctiles. Primero se debe hallar el valor de S_a que relaciona el esfuerzo de fluencia con los esfuerzos principales.

$$S_A = \frac{S_y}{\sqrt{1 + \frac{\sigma_3}{\sigma_1} + \frac{\sigma_3^2}{\sigma_1^2}}}$$

$$S_A = 981.8 \text{ MPa}$$

Por recomendación de Vidosic (1957), el factor de seguridad será 3.

$$F.S = \frac{S_A}{\sigma_1} = 3$$

Reemplazando los valores y despejando “d”, se obtiene:

$$d = 15.73 \text{ mm}$$

En la tesis se optará por elegir un diámetro de eje estándar disponible en el mercado para garantizar la viabilidad y facilidad de fabricación del diseño propuesto, tomando como valor $d=19 \text{ mm}$.

Con el cálculo de fluencia se determinó la dimensión más crítica del eje. Sin embargo, el enfoque de fluencia es del tipo estático por lo que este valor no es confiable al menos que sea verificado por fatiga. Para calcular los esfuerzos de fatiga, se tiene que identificar el tipo de fuerzas que participan, así como las zonas con los concentradores de esfuerzos, ya que estas serán las más críticas. Después de desarrollar tentativamente todas las secciones del eje y los canales chaveteros que este tenga, se escogen como zonas más críticas A y B, como se muestra en la **Figura 37**.

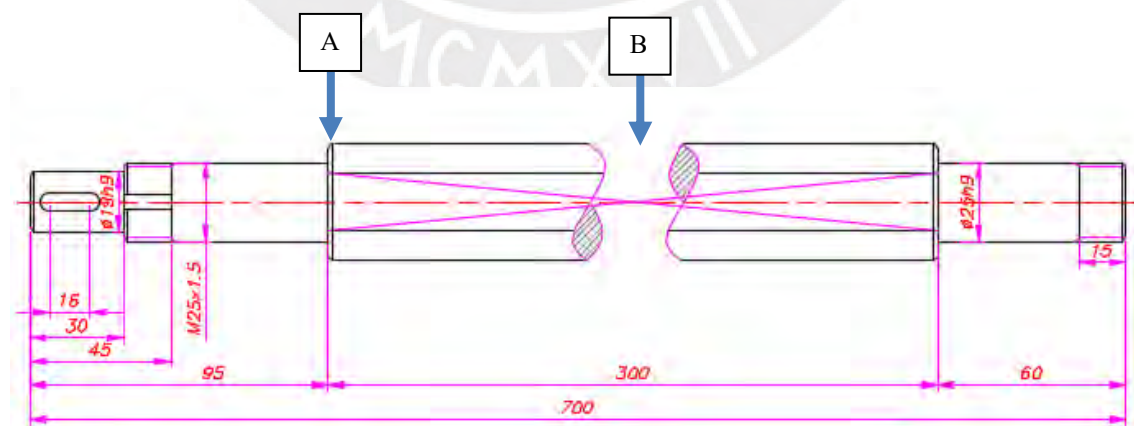


Figura 36. Eje con secciones donde se presentan concentradores de esfuerzo.

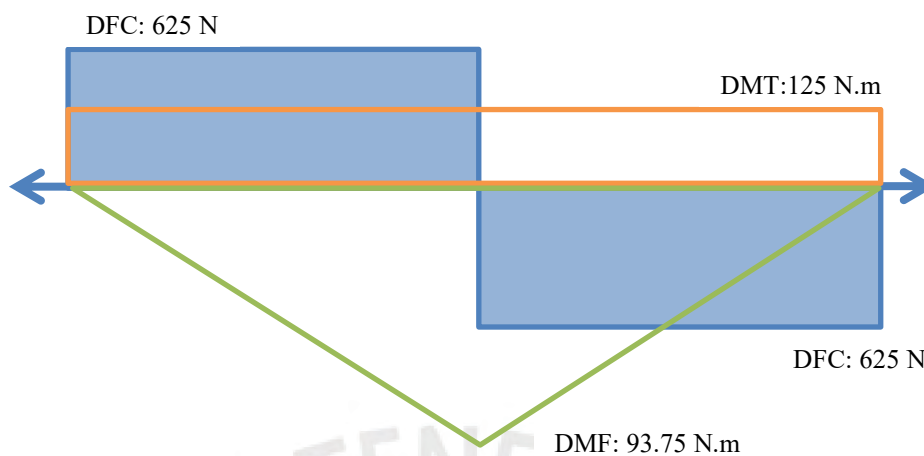


Figura 37. Diagramas de fuerzas internas.

En la Tabla 12, se muestran las fuerzas internas, así como su naturaleza, que afectan las zonas más críticas.

Tabla 12. Naturaleza y magnitud de las fuerzas internas

Carga	Simb.	Zona A	Zona B	Tipo de fuerza	C. media (Rm) – Zona A	C. media (Rm) – Zona B	C. altern. (Ra)	C. altern. (Ra)	Uni.	
1	Normal	Fn	-	-	Estát.	-	-	-	-	N
2	Cortante	Fc	625	625	Estát.	625	625	-	-	N
3	Flector	Mf	-	93.75	Alt. puro	-	-	-	93.75	N.m
4	Torsor	Mt	125	125	Pul. puro	62.5	62.5	62.5	62.5	N.m

En la **Tabla 13**, se muestra el valor de los esfuerzos medios y alternantes de dichas fuerzas.

Tabla 13. Valores de esfuerzos medios y alternantes.

Esfuerzo	Tipo de esfuerzo	Simb.	Ecuación Esf. medio	Ecuación Esf. altern.	Zona A	Zona B	Uni.
1	Flector	Medio	σ_{fm}	$\frac{32M_{fm}}{\pi d^3}$	-	-	N/mm ²
		Altern.	σ_{fa}	$\frac{32M_{fa}}{\pi d^3}$	-	29.1	
3	Torsor	Medio	τ_{tm}	$\frac{16M_{tm}}{\pi d^3}$	20.4	9.7	
		Altern.	τ_{ta}	$\frac{16M_{ta}}{\pi d^3}$	20.4	9.7	
5	E. Medio Equiv.	σ_{meq}	$\left[(\sigma_{fm})^2 + 3(\tau_{tm})^2 \right]^{1/2}$		35.3	16.8	

Por otra parte, se procede a calcular las variables que determinarán el valor de los coeficientes de fatiga. El valor de estas variables se especifica en la **Tabla 14**. Además, se asume que el esfuerzo alternante (σ_A) es la mitad del esfuerzo de tracción (σ_B) ya que este último es menor que 1400 N/mm² (Rodríguez, 2009).

Tabla 14. Variables que definen los coeficientes de fatiga.

Variable	Sim.	Valor	Referencia
1. Tipo de material	-	Acero especial VCN	Aceros Boehler del Perú
2. Temperatura referencia	T_R	20°C	-
3. Esfuerzo de tracción @ T_R	σ_B	1180 N/mm ²	Aceros Boehler del Perú
4. Esfuerzos alternantes @ T_R	σ_A	590 N/mm ²	$\sigma_A = 0.5 * \sigma_B$
5. Tipo de carga	T_F	Variable	-
6. P. Media de rugosidad	R_z	16 μ m	(Rodríguez, Fig. p.3-29, 2009)
7. Confiabilidad	R	90%	(Rodríguez, Fig. p.3-29, 2009)

Finalmente, en la **Tabla 15** se aprecian los esfuerzos calculados con los coeficientes de fatiga. Se observa que ninguna de las secciones críticas del eje, seleccionadas anteriormente, falla por esfuerzos de fatiga ya que el factor de seguridad (FS_f) es mucho mayor que 1.

Tabla 15. Esfuerzos calculados con los coeficientes de fatiga.

Coeficiente	Simb.	Ecuación	Flexión	Torsión		Referencia	
			Zona A	Zona A	Zona B		
1	Superficial	C_s	$f(R_z, \sigma_B)$	0.71	0.71	0.71	(Rodríguez, 2009)
2	Tamaño	C_t	$f(d, T_F)$	0.86	0.86	0.76	(Rodríguez, 2009)
3	Temperatura	C_T	$f(T_R)$	1.00	1.00	1.00	(Rodríguez, 2009)
4	Carga	C_{ca}	$f(T_c)$	0.59	0.59	0.59	(Rodríguez, 2009)
5	Confiabilidad	C_c	$f(R)$	0.87	0.87	0.87	(Rodríguez, 2009)
6	Concentrador	B_k	$f(T_F, \sigma_B)$	1.15	1.40	1.40	(Rodríguez, 2009)
7	Esf. real flexión alternante		$\sigma'_{fa} = \frac{B_K}{C_s C_t C_T C_{ca} C_c} \sigma_{fa}$	Zona A	0		
				Zona B	106.93		
8	Esf. real torsión alternante		$\tau'_{ta} = \frac{B_K}{C_s C_t C_T C_{ca} C_c} \tau_{ta}$	Zona A	91		
				Zona B	49.1		
9	Esf. real alternante equivalente		$\sigma'_{a eq} = ((\sigma'_{fa})^2 + 3(\tau'_{ta})^2)^{1/2}$	Zona A	157.61		
				Zona B	136.62		

10	Factor de seguridad a la fatiga	$FS_f = \left(\frac{\sigma'_{a\ eq}}{\sigma_A} + \frac{\sigma_{m\ eq}}{\sigma_B} \right)^{-1}$	Zona A	3.87
			Zona B	4.75

Otro dato relevante a la hora de diseñar es la deflexión máxima del eje debido a la posibilidad de que las cuchillas móviles colisionen con las cuchillas fijas. Para ello, se necesitan los siguientes datos:

- Constante de elasticidad del acero (E_{acero}): 205 GPa
- Longitud del eje entre apoyos (L_{eje}): 300 mm
- Fuerza de corte máxima (F_{corte}): 1654.2 N
- Momento de inercia del eje (I_{eje}): $\frac{\pi \cdot d^4}{64} = 51471.85 \text{ mm}^4$

$$f_{max} = \frac{F_{corte} * L_{eje}^3}{48 * E_{acero} * I_{eje}} = 0.088 \text{ mm}$$

La deflexión no debe superar los valores recomendados, los cuales según Shigley (2010), recomienda una deflexión máxima de 0,5 mm por cada metro de longitud entre apoyos por lo que se procede a realizar un cálculo para comprobar si la deflexión hallada es permitida.

$$v = \frac{v \text{ (mm)}}{\text{Longitud de la sección (m)}} < 0.5 \frac{\text{mm}}{\text{m}}$$

$$v = \frac{0.088 \text{ (mm)}}{0.3 \text{ (m)}} = 0.2933 \frac{\text{mm}}{\text{m}} < 0.5 \frac{\text{mm}}{\text{m}}$$

Siendo de esta manera comprobado que se cumple con la recomendación para deflexión máxima permisible.

b) Cálculo de las fajas trapezoidales

Como se vio en el proyecto preliminar óptimo el equipo contará con una transmisión por fajas trapezoidales, en este subcapítulo se definirá completamente las características de esta transmisión.

Las fajas trapezoidales se seleccionarán a partir de los pasos del manual Optibelt, cuyo resumen se encuentra en la **Tabla 16**:

Tabla 16. Resumen de pasos para el cálculo de la faja de transmisión.

	Coefficiente	Simb.	Fórmula	Valor	Uni.
1	Factor de carga	C_2	Manual - tabla 18	1.1	-
2	Potencia teórica	P_B	$P_B = P \cdot C_2$	4.101	kW
3	Perfil de la correa	-	Manual – diagrama 2	SPZ	-
4	Relación de transmisión	i	$i = N_1/N_2$	6	-
5	Diámetro de la polea motriz	d_{d1}	$d_{d1} > 2 * \text{diámetro eje motor}$	40	mm
6	Diámetro de la polea conducida	d_{d2}	$d_{d2} = d_{d1} * i$	240	mm
7	Distancia tentativa de ejes	a	$0,7 \cdot (d_{d1} + d_{d2}) < a < 2 \cdot (d_{d1} + d_{d2})$	350	mm
8	Desarrollo de referencia de la correa	L_{dth}	$L_{dth} = 2 * a + 1,57 * (d_{d1} + d_{d2}) + (d_{d2} - d_{d1})^2 / 4 * a$	1160.76	mm
9	Distancia entre ejes	a_{nom}	$a_{nom} = a + \frac{(L_{dst} - L_{dth})}{2}$	350.62	mm
10	Ajuste mínimo x	x	Manual - tabla 28	20	mm
11	Ajuste mínimo y	y	Manual - tabla 28	15	mm
12	Velocidad de las correas	v	$v = \frac{\phi_1 \cdot N_1}{19100}$	3.77	m/s
13	Frecuencia de las correas	f	$f = \frac{2.1000 \cdot v}{L_{dst}}$	6.49	s^{-1}
14	Arco de abrazo	β	Manual - tabla 22	146.46	°
15	Factor de corrección	C_1	Manual - tabla 22	0.98	-
16	Factor de desarrollo	c_3	Manual - tabla 24	0.9369	-
17	Potencia nominal por correas	P_N	Manual - tabla 21	2.49	kW
18	Numero de correas	z	$z = P \cdot C_2 / P_N \cdot C_1 \cdot C_3$	2	-

Por lo tanto, se usarán 02 fajas trapezoidales con perfil SPZ de 1162 mm de longitud, una polea motriz doble de diámetro primitivo 40 mm, una polea conducida doble de diámetro 240 mm.

c) Análisis del chavetero

Se empleará un chavetero para la transmisión del torque del motor al eje de trituración. Para la selección del ancho y alto de la chaveta se emplea las recomendaciones de la norma DIN 6885, como se observa en **Tabla 17**, para más información se puede revisar el Anexo 11. El diámetro del eje donde irá la chaveta tendrá un diámetro de 19 mm y el material empleado para la chaveta será el acero CK45, el cual es un acero resistente y común.

Tabla 17. Dimensiones de chaveta según DIN 6885.

Diámetro del eje (mm) desde-hasta	Medida chaveta mm		
	b=6	h=6	t1=3.5
17-22			

Fuente: DIN 6885A

A continuación, es necesario el cálculo de la longitud de la chaveta para lo cual se requiere la verificación por aplastamiento y se procede a elegir una longitud normada.

- Verificación por aplastamiento

Para la verificación por aplastamiento se necesita el diámetro del eje donde irá alojada la chaveta, el momento torsor y el esfuerzo de aplastamiento (fluencia) del material. Evaluando los valores en la siguiente fórmula, se obtiene el valor de la longitud de la chaveta.

$$L \geq \frac{2 * Mt}{\sigma_{aplast} * (h - t1) * \phi_{eje}}$$

$$L = 14.495 \text{ mm}$$

Se seleccionó una chaveta de longitud 16 mm. Finalmente, se obtiene una chaveta 6x6x16 mm.

2.6.5. Selección de rodamientos y chumaceras

Para la selección de rodamientos y chumaceras se buscó en el catálogo de la marca SKF, ya que es la marca más comercializada en el país y ofrece una amplia gama de

rodamientos, soportes y chumaceras de acuerdo con los requerimientos del usuario. Para poder seleccionar el rodamiento adecuado se tiene que conocer las fuerzas que serán aplicadas, las revoluciones por minuto a las que girarán los rodamientos y las condiciones de trabajo (temperatura, cantidad de polvo, etc). Con esos datos se puede seleccionar un modelo de rodamiento y se procede a calcular el tiempo de vida útil para comprobar la selección. En este caso se seleccionó el rodamiento rígido de una hilera de bolas 61805, los datos y fórmulas necesarias para el cálculo de la vida útil se encuentran en la **Tabla 18**:

Tabla 18. Cálculo de la vida útil del rodamiento 61805. Catálogo general SKF

Ítem	Símbolo	Ecuación	Valor	Unidad	
1	Diámetro interno	d	Pág. 306	25	mm
2	Diámetro externo	D	Pág. 306	42	mm
3	Diámetro medio	dm	$0.5*(d+D)$	33.5	mm
4	Capacidad de carga estática	Co	Pág. 306	4.3	kN
5	Capacidad de carga dinámica	C	Pág. 306	7.02	kN
6	Carga límite de fatiga	Pu	Pág. 306	0.212	kN
7	Viscosidad requerida	v1	Pág. 60	65	mm ² /s
8	Carga radial sobre el rodamiento	Rx	DCL	0.8271	kN
9	Factor de seguridad estático	So	Co/Rx	5.2	*
10	Carga dinámica equivalente del rodamiento	P	DCL	0.8271	kN
11	Velocidad de giro	n	Datos	300	RPM
12	Exponente de la ecuación de la vida	p	Pág. 52	3	-
13	Vida nominal (con un 90 % de fiabilidad), millones de revoluciones	L10	Pág. 52	611.4	10 ⁶ Rev
14	Vida nominal con 90% de fiabilidad (horas de funcionamiento)	L10h	Pág. 52	33967.6	h
15	Factor de seguridad estático recomendado	So req	Pág. 77	>1.5	-
16	Verificación de factor de seguridad estático	-	-	3.4>1.5	CUMPLE
17	Vida nominal recomendada	-	Pág. 72	20k-30k	
18	Verificación de vida nominal (horas de funcionamiento)	-	-	33967.6>30000	CUMPLE

El tipo de rodamiento siguiendo los requerimientos de la máquina va a ser un rodamiento rígido de bolas de una sola hilera, ya que son capaces de soportar cargas radiales y axiales, pueden trabajar a altas velocidades y son de operación de

silenciosa. El rodamiento seleccionado es el 61905.

d) Cálculo de la potencia del motor

Para el cálculo de la potencia del motor se tiene que la velocidad es de 300 REVOLUCIONES POR MINUTO y el torque es de 125 N.m. Por lo tanto, se procede a calcular la potencia con la siguiente ecuación y los valores se expresan en la **Tabla 19**:

$$P = W * T = \frac{RPM}{60} * 2 * \pi * \text{Torque de corte}$$

Tabla 19. Cálculos para la potencia del motor

POTENCIA DEL MOTOR	
Revoluciones por minuto	300
Velocidad angular (rad/s)	31.42
Potencia del motor (W)	3141.6

Se debe considerar que los motores eléctricos con un factor de servicio suministrado por el fabricante y para un motor trifásico jaula ardilla de alta eficiencia de uso general es de 1.15, con lo que finalmente optemos una potencia de:

$$P = 3141.6 \text{ w} * 1.15 = 3612.8 \text{ w} <> 4.8 \text{ HP}$$

Posteriormente se buscará en el catálogo de SIEMENS algún motor que coincida con lo solicitado y que posea una velocidad de 1800 revoluciones por minuto que es lo que se suele encontrar en el mercado local.

Tabla 20. Motores trifásicos jaula de ardilla de alta eficiencia SIEMENS

Descripción				Modelo		
Potencia en HP	Velocidad en RPM	Tensión a 60 Hz en Volts	Tamaño Armazón NEMA	RGZE Uso general Catálogo Spiridon	RGZESD Uso pesado Catálogo Spiridon	RGZZESD A prueba de explosión Catálogo Spiridon
5	3600	230/460	184T	1LA01842FE21	A7B10000014850	1MJ01842XE21
	1800	230/460	184T	1LA01844FE21	A7B10000014846	1MJ01844XE21
	1200	230/460	215T	1LA02156FE21	A7B10000014890	1MJ02156XE21
	900	230/460	254T	1LA02548FE21	A7B10000020191	1MJ02548XE21

Fuente. CATALOGO MOTORES SIEMENS [Sitio web] Colombia: selección de motores.

Disponible http://frq.cvg.utn.edu.ar/pluginfile.php/6825/mod_resource/content/1/Motores%20NNM.pdf

Para comprobar la selección del motor, se debe verificar que el motor sea capaz de mover la inercia del eje, la inercia de los componentes relacionados y la propia inercia del motor y alcanzar la velocidad nominal en menos de 5 segundos, este es el valor estimado para este tipo de motores eléctricos (Álvarez, 2017).

Con este fin, es necesario calcular la masa de todos los elementos que intervienen en la trituración: eje, cuchillas fijas, cuchillas móviles y discos de sujeción. Ese dato se obtiene del software Inventor con el que se diseñó el arreglo de trituración

Masa del arreglo de trituración = 41.2 kg

El momento de inercia del arreglo de trituración viene dado por la ecuación:

$$J_{arreglo} = 0.5 \times (M_{arreglo}) \times r^2 = 0.02109 \text{ kg.m}^2$$

A este valor se le suma la inercia del motor eléctrico y con ello se obtiene la inercia equivalente:

$$J_{eq} = J_{motor} + J_{arreglo} = 0.046 \text{ kg.m}^2$$

El tiempo de arranque se calcula usando la siguiente ecuación:

$$t_{arranque} = (J_{eq} * n) / T_{arranque} = 0,9 \text{ segundos}$$

Por lo tanto, sí se cumple con el tiempo de arranque para motores de estas características (Álvarez, 2017).

2.6.6. Diseño de la cámara de trituración

Como se pudo ver en el capítulo 01, apartado 1.2, las dimensiones de las botellas que ingresarán a la cámara de trituración tendrán en promedio una altura de 210 mm. Este dato servirá para establecer que la longitud de la cámara de trituración debe ser mayor, sino no se podría realizar el picado de una botella de esas características. Se establece una longitud de 300 mm para este diseño.

La cámara de trituración (ver **Figura 38**) será el conjunto de partes que encierren el sistema de corte para que el plástico no escape hacia el entorno, para su diseño será

tomando en cuenta la geometría del sistema de corte y se considerará el montaje de este. Las partes que componen la cámara de trituración son las paredes frontales y laterales, las cuchillas fijas y la criba.

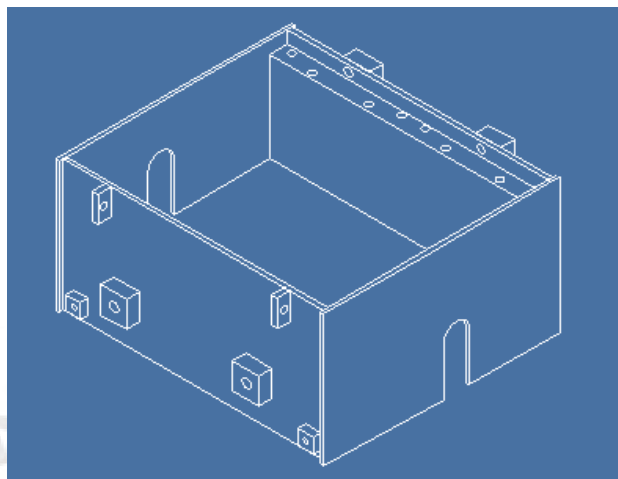


Figura 38. Cámara de trituración

a) Paredes de la cámara de trituración

Las paredes frontales y laterales de la cámara de picado serán hechas a base de planchas de acero ASTM A-36 de 6 mm de espesor para evitar cualquier salida de material. Las paredes se muestran en las **Figuras 39 y 40**.

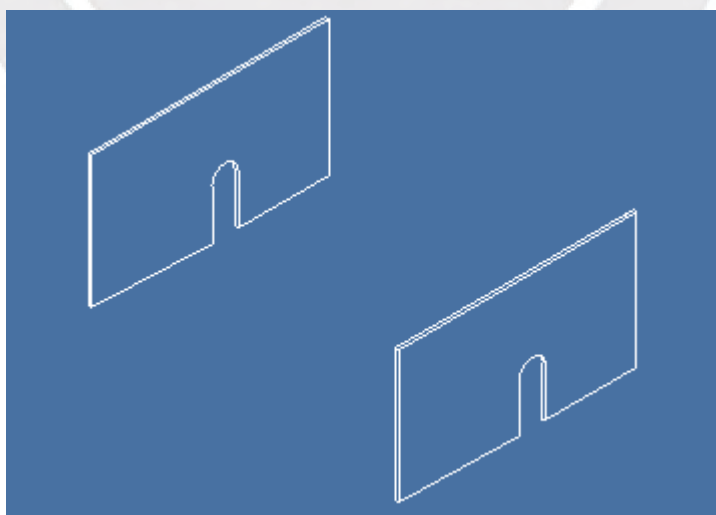


Figura 39. Paredes frontales de la cámara de trituración

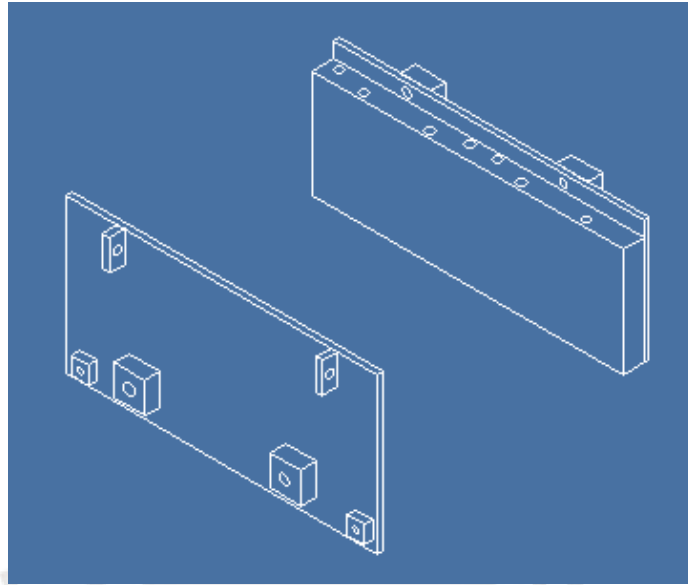


Figura 40. Paredes laterales de la cámara de trituración

b) Cuchillas fijas

Las cuchillas fijas tienen la función de hacer el efecto tijera al cortar el plástico con las cuchillas móviles, las cuchillas fijas y su posición se muestran en la **Figura 41**.

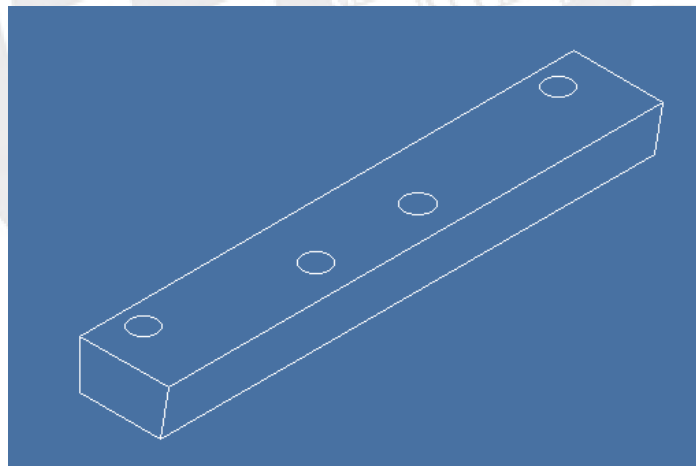


Figura 41. Cuchillas fijas de la cámara de trituración

c) Criba

Para completar el diseño de la cámara de picado, es necesario considerar un sistema que controle el tamaño del picado hasta que esta pueda descargarse, para este cometido se empleará una criba (ver **Figura 42**) que se colocará mediante uniones

atornilladas. La criba estará conformada por agujeros pasantes de 10 mm de diámetro.

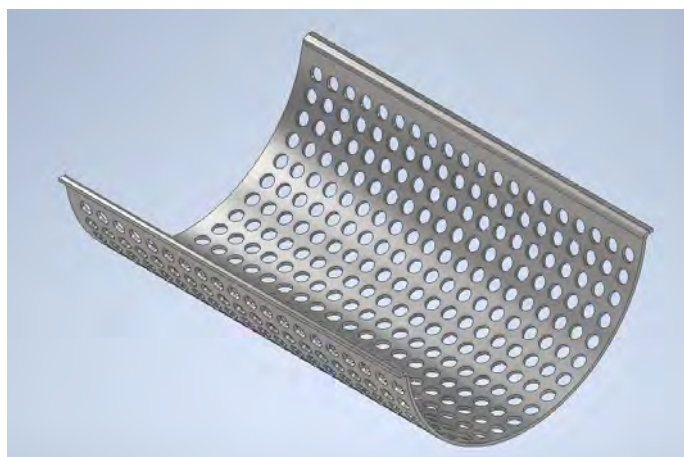


Figura 42. Criba

2.6.7. Geometría de cuchillas

Cada uno de los cinco discos porta cuchillas tendrán empernados en sí mismos tres cuchillas. Y los discos porta cuchillas estarán desfasados 12 grados entre sí para crear el efecto helicoidal y así arrastrar el material de un extremo al otro para hacer cizalla con las cuchillas fijas instaladas en la cámara de picado. Al seleccionar el material de las cuchillas es necesario tener en cuenta que estas deben poseer una gran dureza, resistencia al desgaste y tenacidad, por ende, tener poseer un alto contenido de carbono. Dentro de los aceros utilizados para realizar trabajos en frío, existe un grupo que incluye a los aceros con alto contenido de carbón y cromo, los cuales bajo la norma AISI están representados bajo la letra D. Dentro de este grupo, el acero AISI D2 con excelente rendimiento al corte y alta resistencia al desgaste, que además es apto para temple al aire. Entre las principales aplicaciones que tiene este acero se encuentra como herramienta para corte de piezas (punzado, desbastado y cizallado). En la **Figura 43**, se muestran las propiedades mecánicas del acero AISI -D2. Estas propiedades fueron obtenidas de Mayén et al (2010).

PRUEBA	UTS	E	SY	S. FRACTURA	DEFORMACIÓN	REDUCCIÓN DE ÁREA	DUREZA HV	DUREZA HRC
	(MPa)	(GPa)	(MPa)	(MPa)	(%)	(%)		
AISI-D2	1489.41	198.24	1385	1390	0.74	0	570	53.3

Figura 43. Propiedades mecánicas del acero AISI D2

Fuente: Mayén et al (2010)

Según la **Tabla 2.8**, para el acero AISI D2 se tiene un esfuerzo de fluencia de 1385 MPa, con lo cual queda descartado que puedan fallar pues las fuerzas aplicadas siendo puntuales y en el caso más crítico alcanzan los 625 N. Como dato adicional, las cuchillas fijas contarán con pernos de regulación que permite ajustar la distancia entre las cuchillas fijas y las cuchillas móviles, esto con el fin de mejorar la precisión y eficiencia del proceso de trituración. En las **Figuras 44 y 45**, se pueden observar las cuchillas móviles y fijas respectivamente.

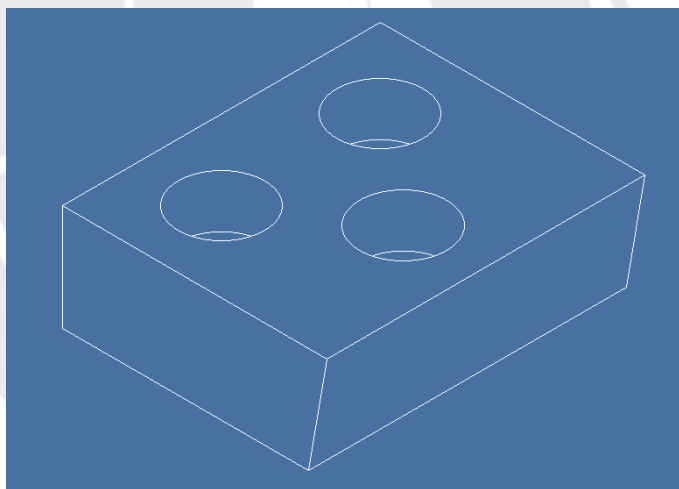


Figura 44. Cuchillas móviles

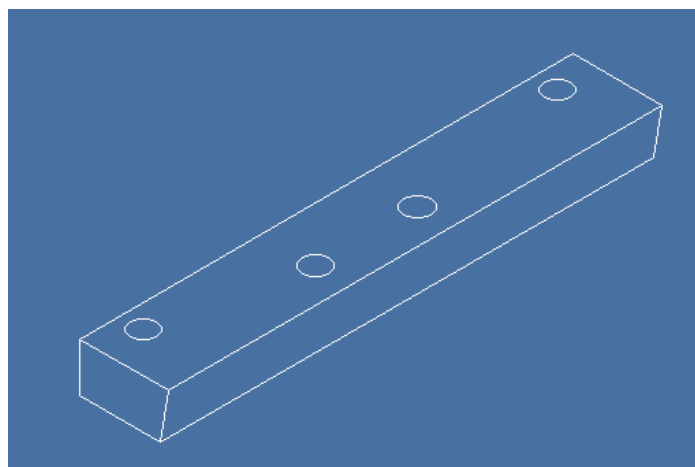


Figura 45. Cuchillas fijas

2.6.8. Diseño del portacuchillas

Los discos portacuchillas tendrán un espesor de 60 mm y serán 5 discos portacuchillas de manera que se cumpla con la longitud de la cámara de trituración, estos discos estarán desfasados entre sí 12 grados para crear el efecto helicoidal y así arrastrar el material de un extremo al otro para hacer cizalla con las cuchillas fijas instaladas en la cámara de picado. Los discos portacuchillas irán montados en el eje hexagonal por lo que tendrán el hexágono perforado en el centro de la pieza como se aprecia en las **Figura 46 y 47**. De igual manera, cabe mencionar que para que las cuchillas móviles coincidan con las cuchillas fijas en al menos 2 puntos por cada disco portacuchillas, se requiere que el eje se encuentre 10 mm por debajo de la línea de acción de las cuchillas fijas.

Los pernos de sujeción no requieren un cálculo detallado, pues no se presentan esfuerzos altos (como ya se vio en el apartado de fuerza de corte, la fuerza máxima a emplear es 625 N). Esta fuerza no va a crear un esfuerzo ni de tracción ni de corte que supere el esfuerzo máximo que pueda soportar un perno Allen M8 de grado 8 cuya resistencia a la tracción es de al menos 150 000 PSI < > 1035 MPa.

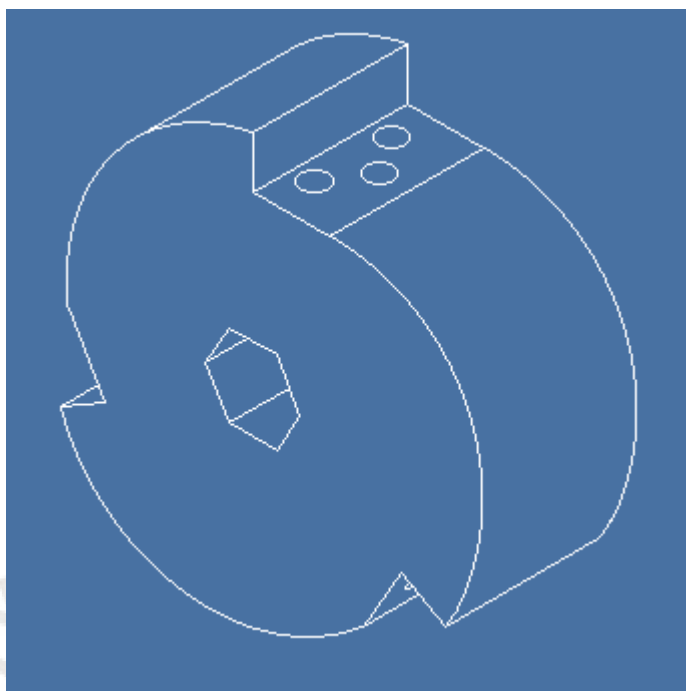


Figura 46. Disco portacuchillas vista isométrica

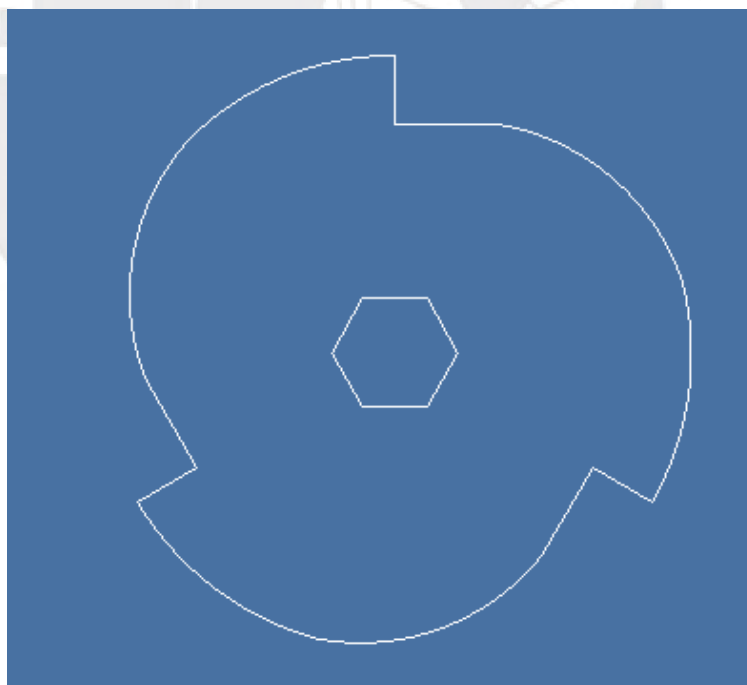


Figura 47. Disco portacuchillas vista frontal

Como parte del diseño de las portacuchillas, se implementan dos anillos de sujeción que cumplirán la función de evitar el desplazamiento axial del arreglo de trituración. Dichos

discos se muestran en la **Figura 48**.

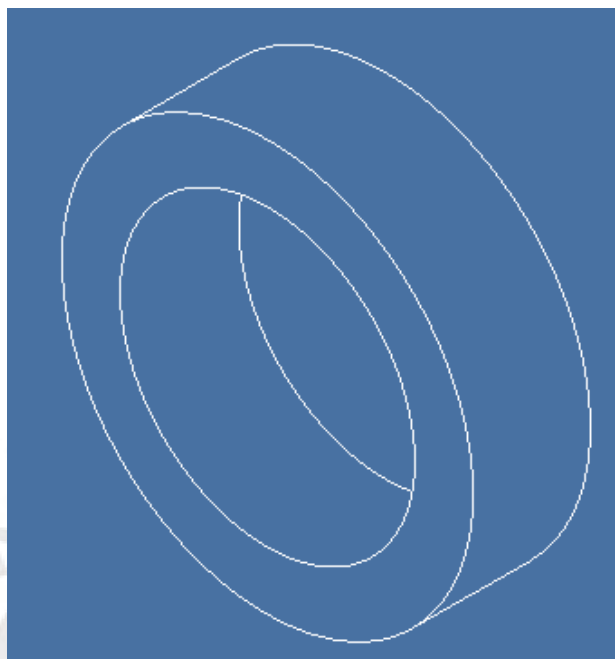


Figura 48. Anillo de sujeción

2.6.9. Evaluación del uso de una volante de inercia

En el diseño de la máquina picadora de botellas PET, se evaluó la necesidad de una volante para compensar las fluctuaciones en la velocidad angular entre cortes. Para que una volante sea necesaria, la caída de velocidad debe ser considerable y lo suficientemente rápida como para que el sistema no pueda compensarla con la energía cinética almacenada en las partes rotatorias del sistema, como el eje y las cuchillas

A continuación, se presenta, el análisis que demuestra que no es necesario añadir una volante, ya que el diseño actual es capaz de mantener la estabilidad de la velocidad sin afectar el rendimiento de la máquina.

a) Cálculo de las inercias

Inercia polea	20094.165	kg.mm ²
inercia de eje+cuchillas+disco portacuchillas	134624.764	kg.mm ²
inercia total (I_{total})	154718.929	kg.mm ²

b) Cálculo de la velocidad angular (ω)

$$\omega = \frac{2\pi}{60} * 300 \text{ rpm} = 31.42 \text{ rad/s}$$

c) Cálculo de energía cinética (E_k)

$$E_k = \frac{1}{2} * I_{total} * \omega^2$$

$$E_k = \frac{1}{2} * 0.1547 \text{ kg.m}^2 * \left(31.42 \frac{\text{rad}}{\text{s}}\right)^2 = 76.35 \text{ J}$$

Como ya se calculó, la energía cinética almacenada en el sistema es 76.35 J. Ahora, se evaluó si esta cantidad de energía es suficiente para contrarrestar las fluctuaciones típicas. En sistemas de corte de baja y media velocidad, las fluctuaciones suelen estar en el rango de un 5-10% de la velocidad angular, lo que implica una caída de aproximadamente 1.5-3 rad/s.

Para una caída de 3 rad/s en la velocidad angular, la energía necesaria se puede calcular utilizando la fórmula de energía cinética:

$$\Delta E_k = \frac{1}{2} * I_{total} * (\omega_0^2 - \omega_1^2)$$

Donde:

- $\omega_0=31.42\text{rad/s}$ es la velocidad inicial.
- $\omega_1=28.42\text{rad/s}$ es la velocidad después de la caída de 3 rad/s.
- $I_{total}=0.1547 \text{ kg.m}^2$.

Sustituyendo los valores:

$$\Delta E_k = \frac{1}{2} * 0.1547 \text{ kg.m}^2 * (31.42^2 - 28.42^2)$$

$$\Delta E_k = 13.89 \text{ J}$$

Esto significa que se necesitarían aproximadamente 13.89 J para compensar una caída de

3 rad/s en la velocidad angular. Comparando este valor con los 76.35 J, se concluye que el sistema ya tiene suficiente capacidad para mantener una rotación estable y suave entre cortes sin que se vean afectadas las fluctuaciones.



CAPÍTULO 3

PLANOS, COSTOS DE FABRICACIÓN Y ESPECIFICACIONES DEL EQUIPO

En el presente capítulo se presenta la lista de planos necesarios para la fabricación del prototipo, tanto planos de ensamble como planos de despiece. Además, se enuncian las especificaciones técnicas de la máquina picadora. Finalmente se obtendrá el costo total aproximado para elaborar dicho prototipo; el costo total se ha dividido en 4 categorías: costo de diseño, costo de componentes, costo de fabricación y por último el costo total.

3.1. Planos de fabricación para la máquina

El presente capítulo tiene por objetivo listar y describir los planos necesarios para la correcta fabricación de la máquina presentado en el este documento, los cuales fueron obtenidos luego de realizar los cálculos correspondientes y analizar las funciones que cada elemento cumple en conjunto. Dichos planos se encuentran listados y codificados en la **Tabla 21**.

Para cada tipo de plano se tienen definidos los objetivos específicos siguientes:

Planos de ensamble: muestra la disposición de todos los componentes empleados para la construcción de la máquina. Asimismo, muestran todas las vistas necesarias, secciones y detalles, para el correcto entendimiento del operador al momento del ensamble de los

componentes. Además, el plano de ensamble deberá poseer medidas generales para tener una visión aproximada sobre el tamaño total que ocupará la máquina.

Planos de despiece: muestran todas las dimensiones necesarias para la fabricación del componente. Señalizan las tolerancias dimensionales requeridas para lograr que todos los componentes de la maquina funcionen realizando sus labores de manera óptima, así como los acabados superficiales. Y, por último, se indica el material de la pieza y la escala del dibujo.

Tabla 21. Codificación de planos

ID	Código	Descripción	Tamaño de hoja
1	M-PL1-A0	Ensamble principal	A0
2	M-PL2-A3	Base estructural	A3
3	M-PL3-A2	Paredes laterales	A2
4	M-PL4-A3	Criba	A3
5	M-PL5-A1	Tolva	A1
6	M-PL6-A3	Eje principal	A3
7	M-PL7-A2	Cuchilla móvil de corte	A2
8	M-PL8-A2	Cuchilla fija de corte	A2
9	M-PL9-A4	Anillo de sujeción	A4
10	M-PL10-A3	Disco portacuchillas	A3
11	M-PL11-A2	Sub-ensamble trituración	A2

3.2. Especificaciones técnicas de la máquina picadora

A continuación, se presentan las especificaciones técnicas de la máquina picadora, que detallan los componentes clave y las características de rendimiento que aseguran su funcionamiento óptimo en el proceso de trituración.

Tabla 22. Especificaciones técnicas de la máquina picadora

Descripción	Unidad de medida	Valor
Capacidad de trituración de plásticos de uso común reciclados	kg/h	25
Potencia del motor	HP	5
Voltaje	V	220
Frecuencia	Hz	60
Velocidad angular	rpm	300
Cantidad de cuchillas fijas	Und	4
Cantidad de cuchillas móviles	Und	15

Alto	mm	1220
Ancho	mm	480
Largo	mm	730
Tamaño del producto final	mm	10

3.3. Costos de fabricación

El proyecto actual en su proceso de desarrollo ha atravesado diversas fases: el diseño del producto, la evaluación de los costos de los componentes y la estimación del costo de fabricación. Algunos de los componentes están valorados en dólares estadounidenses, por lo que se procederá a convertir el monto de los componentes a soles utilizando el tipo de cambio de \$1 igual a S/3,79.

3.3.1. Costo de diseño

El costo asociado al diseño incluye las horas dedicadas por el tesista, desde la investigación del estado de la tecnología hasta la propuesta del concepto de solución óptima, además de los cálculos y los planos de fabricación del equipo. A continuación, se muestra la tabla que detalla los costos por hora y el costo total del diseño.

- Costo por hora de diseño: S/ 30
- Número de semanas de trabajo: 6
- Número de horas de trabajo a la semana: 30

$$\text{Costo de diseño} = 30 \times 6 \times 30 = S/5400$$

3.3.2. Costo de los componentes

Este costo deriva de la combinación de componentes de maquinaria disponibles para adquisición en el mercado nacional y componentes importados. Dichos componentes no requieren fabricación interna, por lo tanto, se procede a su compra de acuerdo con los requisitos previamente establecidos en el capítulo 2. El detalle de los costos de componentes se puede apreciar en la **Tabla 23**.

Tabla 23. Costo de los componentes

Ítem	Elemento de máquina	Costo unitario (US\$)	Cantidad	Costo Total (US\$)	Costo Total (S/)
1	Motor trifásico SIEMENS 5 Hp	\$303.43	1	\$303.43	S/ 1,150.00
2	Chumacera SKF SNL 205	\$157.51	2	\$315.02	S/ 1,193.92
3	Rodamiento SKF 61905	\$7.00	2	\$14.00	S/ 53.06
4	Manguito de fijación SKF H306	\$15.96	2	\$31.92	S/ 120.98
5	Arandela de fijación SKF MB5	\$6.32	2	\$12.64	S/ 47.91
6	Tuerca de fijación SKF KM5	\$6.89	2	\$13.78	S/ 52.23
7	Pernos Allen M10x30	\$0.92	30	\$27.6	S/ 104.60
8	Chaveta 6x6x16	\$2.64	1	\$2.64	S/ 10.00
9	Tornillo hexagonal M10x70	\$0.50	2	\$1.00	S/ 3.79
10	Tornillo hexagonal M10x110	\$2.38	2	\$4.76	S/ 18.04
11	Tornillo hexagonal M10x35	\$0.21	4	\$0.84	S/ 3.18
12	Tornillo hexagonal M6x55	\$0.89	2	\$1.78	S/ 6.75
13	Tornillo hexagonal M4x25	\$2.38	8	\$19.04	S/ 72.16
14	Arandela plana M10	\$0.51	8	\$4.12	S/ 15.60
15	Arandela plana M6	\$0.32	4	\$1.29	S/ 4.90
16	Arandela plana M4	\$0.26	16	\$4.12	S/ 15.60

17	Tuerca hexagonal M10	\$2.08	4	\$8.34	S/ 31.60
18	Tuerca hexagonal M6	\$1.03	2	\$2.06	S/ 7.80
19	Tuerca hexagonal M4	\$1.03	8	\$8.23	S/ 31.20
20	Polea motriz perfil SPZ 40	\$8.55	1	\$8.55	S/ 32.40
21	Polea conducida perfil SPZ 236	\$28.84	1	\$28.84	S/ 109.30
22	Fajas de transmisión	\$16.00	2	\$32.00	S/ 121.28
Total		\$565.39		\$845.99	S/ 3,206.30

3.3.3. Costo de manufactura

Los costos de manufactura incluyen el valor de todas las operaciones necesarias, como torneado, fresado, taladrado, soldadura, rolado, corte de planchas, y cualquier otro proceso requerido para producir los componentes de la máquina. Además, el precio indicado fue determinado luego de evaluar los tiempos de fabricación, así como el costo horario promedio de los procesos necesarios a realizarse para obtener el componente. Los desgloses detallados de los costos de los componentes están disponibles en la **Tabla 24**.

Tabla 24. Costo de manufactura

	Procesos	Horas	Costo horario	Costo de fabricacion	Cantidades	Costo total de fabricacion
Estructura metálica	Corte de perfiles	1.5	S/ 60.00	S/ 90.00		
	Soldadura (ensamblaje)	1.5	S/ 70.00	S/ 105.00		
	Lijado y acabado	0.5	S/ 50.00	S/ 25.00		
			Costo total	S/ 220.00	1	S/ 220.00
Cámara de trituración	Corte de planchas metálicas	2	S/ 70.00	S/ 140.00		
	Soldadura (ensamblaje)	1.5	S/ 70.00	S/ 105.00		
	Lijado y ajuste	0.5	S/ 50.00	S/ 25.00		
			Costo total	S/ 270.00	1	S/ 270.00
Tolva	Corte de planchas metálicas	1.5	S/ 60.00	S/ 90.00		
	Doblado	0.5	S/ 50.00	S/ 25.00		
	Soldadura (ensamblaje)	0.5	S/ 70.00	S/ 35.00		
			Costo total	S/ 150.00	1	S/ 150.00
Eje principal	Torneado	1.5	S/ 90.00	S/ 135.00		
	Fresado	1	S/ 80.00	S/ 80.00		
	Rectificado	0.5	S/ 100.00	S/ 50.00		
			Costo total	S/ 265.00	1	S/ 265.00
Cuchillas móviles de corte	Corte	0.5	S/ 60.00	S/ 30.00		
	Fresado	1.5	S/ 80.00	S/ 120.00		
	Afilado	0.5	S/ 100.00	S/ 50.00		
	Perforado	0.5	S/ 60.00	S/ 30.00		
			Costo total	S/ 230.00	15	S/ 3,450.00
Cuchillas fijas de corte	Corte	0.5	S/ 60.00	S/ 30.00		
	Fresado	1.5	S/ 80.00	S/ 120.00		
	Afilado	0.5	S/ 100.00	S/ 50.00		
	Perforado	0.5	S/ 60.00	S/ 30.00		
			Costo total	S/ 230.00	4	S/ 920.00
Anillos de sujeción	Corte con sierra	0.2	S/ 60.00	S/ 12.00		
	Torneado exterior	0.3	S/ 90.00	S/ 27.00		
	Torneado interior	0.4	S/ 90.00	S/ 36.00		
	Desbaste y acabado de las caras	0.2	S/ 90.00	S/ 18.00		
			Costo total	S/ 93.00	4	S/ 372.00
Criba	Corte de plancha	1	S/ 70.00	S/ 70.00		
	Perforación de agujeros	2	S/ 60.00	S/ 120.00		
			Costo total	S/ 190.00	1	S/ 190.00
Discos portacuchillas	Corte de plancha	0.5	S/ 80.00	S/ 40.00		
	Fresado	2.5	S/ 100.00	S/ 250.00		
	Taladrado y roscado	1	S/ 90.00	S/ 90.00		
			Costo total	S/ 380.00	5	S/ 1,900.00
					COSTO TOTAL	S/ 7,737.00

3.3.4. Costo total

Se consolidan los costos de diseño, componentes y manufactura para determinar el costo total del equipo. Dentro de esta estimación se considera un gasto de ensamblaje de S/300 para que los operadores puedan montar la máquina. El detalle de los costos totales se puede apreciar en la **Tabla 25**.

Tabla 25. Costo total

Concepto	Subtotal (S/.)
Diseño	S/ 5,400.00
Componentes	S/ 3,121.70
Manufactura	S/ 2,460.00
Ensamble	S/ 300.00
Total	S/ 11,281.70



CONCLUSIONES

1. Se ha diseñado una máquina picadora de plásticos de uso común reciclados, con una capacidad de 25 kg/h para producir hojuelas o escamas de aproximadamente 10 mm. La potencia de la máquina picadora es de 5 HP y opera a una velocidad de 300 RPM. La máquina se desarrolló cumpliendo con la ergonomía que requiere una persona dentro de un ambiente de trabajo.
2. El proyecto óptimo cuenta con cuchillas móviles distribuidas a lo largo del eje principal y cortan el plástico en conjunto con las cuchillas fijas atornilladas a la cámara de trituración. El sistema de transmisión del motor eléctrico hacia eje principal se realiza mediante fajas y poleas. Para poder obtener el tamaño de hojuelas o escamas de plástico requeridas para procesos posteriores se usa una criba semicilíndrica con agujeros de 10 mm de diámetro.
3. El sistema de corte está compuesto por una serie de 15 cuchillas móviles, alojadas de 3 en 3, en 5 portacuchillas y colocadas a lo largo del eje principal con un desfase de 12° entre cada portacuchillas, formando una disposición similar a un tornillo sin fin. Con esta disposición se evita atascamientos al procesar considerables cantidades de material al mismo tiempo.
4. El eje principal es de sección hexagonal, con una distancia entre caras de 32 mm, de un acero AISI SAE 4340; para garantizar un acoplamiento más eficiente y minimizar el riesgo de desplazamiento radial, especialmente bajo condiciones de torsión y flexión a las que estará sometida la máquina durante su operación.
5. La máquina picadora es accionada por un motor eléctrico trifásico de 5 HP y 1800 RPM. El sistema de transmisión consta de fajas trapezoidales y un par de poleas para reducir la velocidad en una relación de 6 a 1. Se seleccionó 2 rodamientos de una hilera de bolas y sus respectivas chumaceras para los apoyos del eje.
6. Es factible fabricar la máquina picadora en un taller metalmecánico que cuente con maquinaria como fresadora, taladro, torno, soldadora eléctrica, entre otros equipos.

7. El costo estimado de la máquina picadora es S/ 12 208.00 y se divide en: costo de diseño, S/ 5 400.00; costo de componentes, S/ 3 122.00; costo de fabricación, S/ 3 386.00 y costo de ensamble, S/ 300.00.



OBSERVACIONES

1. Es importante llevar a cabo un mantenimiento periódico de la máquina, cuya frecuencia dependerá de la intensidad de uso. Se recomienda verificar regularmente el estado de los rodamientos y asegurarse de que las cuchillas estén afiladas correctamente. En caso de que alguna cuchilla requiera afilado, se puede extraer fácilmente para proceder con el afilado, permitiendo que la máquina continúe funcionando hasta que la cuchilla sea colocada de nuevo en su posición.
2. Si bien los cálculos se realizaron tomando como plástico crítico al PET, la máquina fue concebida para triturar plásticos reciclados de uso común, incluso puede triturar maderas blandas como el pino.
3. Es fundamental asegurar que el personal encargado de operar la máquina esté debidamente capacitado en su uso, mantenimiento y seguridad. La formación adecuada no solo maximiza la eficiencia operativa y prolonga la vida útil de la máquina, sino que también minimiza riesgos laborales, garantizando un entorno de trabajo seguro y productivo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Álvarez, F. (2017). Apuntes de clase del curso máquinas eléctricas. Lima, Perú.
- Budynas, Richard, Nisbett, J. (1989) Diseño en ingeniería mecánica de shigley (8va. Edición). México: Mc Graw Hill
- Castelló Gómez, ML.; Barrera Puigdollers, MC.; Pérez Esteve, E.; Betoret Valls, N. (2017). Reducción del tamaño de partícula y tamizado de partículas. <http://hdl.handle.net/10251/82132>
- Colina L. (2016). Reducción de tamaño de sólidos. Disponible en: http://sgpwe.izt.uam.mx/files/users/uami/mlci/red_tam_solidos_intro.pdf
- Dubbel, Heinrich (1994) Handbook of Mechanical Engineering. Michigan, Estados Unidos: Springer-Verlag
- Fueyo, Luis. (1999) Equipos de trituración, molienda y clasificaciones. Madrid, España: Editorial Rocas y Minerales
- Gómez, F. (2014). PROYECTO DE FORMACIÓN DE RECURSOS HUMANOS EN TECNOLOGÍA DE TRANSFORMACIÓN DE PLÁSTICO EN MÉXICO. Dirección General de Educación Tecnológica Industrial. https://openjicareport.jica.go.jp/pdf/12181996_01.pdf
- Gotro, J. and Prime, R.B. (2017). Thermosets. In Encyclopedia of Polymer Science and Technology, (Ed.). <https://doi.org/10.1002/0471440264.pst519.pub2>
- Mayén Chaires, J., Segura, J. Á., Serna Barquera, S. A., Molina Ocampo, A., Flores Cedillo, O., & Campillo Illianes, B. (2010). Evaluación de propiedades mecánicas de dos aceros grado herramienta AISI-O1, AISI-D2 y obtención de la concentración de esfuerzos en la geometría de mordazas de sujeción de especímenes compactos de tensión. Superficies y vacío, 23(), 10-14.
- Ondarse, D. (2021). Polímeros. Enciclopedia humanidades. Recuperado de <https://humanidades.com/polimeros/>





- Optibelt. (s.f.). TECHNICAL MANUAL V-BELT DRIVES. Recuperado de <https://www.optibelt.com/us/services/technical-manuals/>
- Ortiz, Bruno (2022). El poco avance del reciclaje en el Perú retrocedió debido a la pandemia. El Comercio. Recuperado de <https://elcomercio.pe/tecnologia/ciencias/yoreciclo-el-poco-avance-del-reciclaje-en-el-peru-retrocedio-debido-a-la-pandemia-noticia/>
- Perry, R. H., Green, D. W., & Maloney, J. O. (2001). Perry: manual del ingeniero químico / preparado por un equipo de especialistas bajo la dirección editorial de Robert H. Perry, Don W. Green, James O. Maloney (7a ed., 4a ed. esp). McGraw Hill.
- Quimisor (2023). Principales polímeros utilizados para el sector químico. Grupo QUIMISOR. Recuperado de <https://quimisor.com.mx/principales-polimeros-utilizados-para-el-sector-quimico/>
- Rodriguez, Jorge (2009). Resistencia de Materiales 2 (Edición corregida).
- Shigley, Joseph (2010) Mechanical Engineering Design. (Novena edición). London: McGraw-Hill Education- Europe.
- Vázquez Unanue, J. L. (2009). Determinación de los factores que influyen en la productividad de la planta de trituración de plásticos (Doctoral dissertation, Departamento Metalurgia-Química).
- Vidosic, Joseph (1957) Machine Design Projects. New York, Estados Unidos: The Ronald Press




ANEXOS

Anexo 1

edipesa
Lider en Maquinarias

Búsqueda de Productos...

SIGUENOS EN:    

CATEGORÍAS  HOME SUCURSALES **TIENDA** ZONA DE LIQUIDACIÓN CATALOGOS ANUNCIOS  SERVICIOS  CONTACTO

SIEMENS Motor eléctrico 7.5HP 1800RPM Blindado 4P IP55

SIEMENS Motor eléctrico trifásico 3HP 1800RPM Blindado 4P IP55


Volver a: Motores

SIEMENS
Motor eléctrico 5HP 3F 4P IP55 1800RPM Blindado

SKU: BME1030373
(Producto sujeto a disponibilidad de Stock)

S/ 1,115.00
(Precio Referencial)

Fabricante: **Siemens**
Compartir:



Haga una pregunta sobre este producto

Anexo 2

SKF SNL 205 Accesorio del cojinete

N.º de pieza del y N.º de parte: N.º de existencias de SNL 205 / RS: 73616324



Cantidad mínima: 1
Múltiplos de: 1



Precio unitario: **\$157.509 /Each**
Precio total: **\$157.51**

Hacia fuera - de - acción (puede ser dejado pendiente un pedido)

Precio

Cantidad	Precio estándar
1	\$157.509


Inventario adicional

Plomo Tiempo del fabricante: **semanas de 3** 

 3D símbolo del modelo/PWB

Imagen representativa. Ver ficha técnica con características para conocer detalles.

Anexo 3




Envío GRATIS en más de miles de artículos, disponible para todos nuestros clientes con pedido elegibles mayores a \$5.00. Fecha estimada de envío: 05/04/2024

Rodamiento 6005 2RSH/C3 SKF

\$7.00

In stock



Dimensiones

- **d** = 25 mm.
- **D** = 47 mm.
- **B** = 12 mm.
- **Velocidad Limite:** 9500 r/min.
- **Peso:** 0.08 kg.
- **Modelo:** 6005 2RSH/C3.
- **Marca:** SKF




Anexo 4


[Transmisión de energía mecánica](#) / [Extremos de Rod](#) / [Accesorios de extremo de varilla](#)

SKF MB 5 Arandela de cerradura del MB (L); MB 5

N.º de pieza del y N.º de parte: N.º de existencias de MB 5 / RS: 73231820



Qty del mínimo: 10
Múltiplos de: 10



Precio unitario: **\$6.320 /Each**
Precio total: **\$63.20**

Hacia fuera - de - acción (puede ser dejado pendiente un pedido)


Precio	
Cant.	Precio estándar
10	\$6.32


Inventario adicional

Anexo 5

H306 SKF (SVENSKA KULLAGERFABRIKEN AB)

SKF > Bearings > Spare Parts and Accessories > Adaptor and Withdrawal Sleeves > H306






REPRESENTATIVE PRODUCT IMAGE

SKF H306


25x45x7 mm

\$15,96  50+ uds. con envío de 1 a 3 días a Peru

Especificaciones

Alto	Diámetro interior	Diámetro exterior	Peso
7mm	25mm	45mm	110g

\$15,96

Stock  50+ uds.

Referencia H306

Fabricante SKF

Unidades	Precio / Unidad
1+	\$15,96

1+

\$15,96


- 1 +


Añadir a la cesta

Anexo 6

KM5 SKF (SVENSKA KULLAGERFABRIKEN AB)

SKF > Bearings > Spare Parts and Accessories > LockNuts > KM5






REPRESENTATIVE PRODUCT IMAGE

SKF KM5


25x38x7 mm

\$6,89  50+ uds. con envío de 1 a 3 días a Peru

Especificaciones

Alto	Diámetro interior	Diámetro exterior	Peso
7mm	25mm	38mm	26g

\$6,89

Stock  50+ uds.

Referencia KM5

Fabricante SKF

Unidades	Precio / Unidad
1+	\$6,89


1+


\$6,89


- 1 +

Añadir a la cesta

Dimensions


 Marcadores

 Contacto




Anexo 7

FERROPOLIS

Buscar en todos los productos...   CARRITO


INICIO CATÁLOGO

Inicio > PERNO ALLEN CABEZA CILINDRICA M8...



PERNO ALLEN CABEZA CILINDRICA M8 X 16 (xund)
PEAM816
S/. 2.50
Impuesto incluido.

Cantidad
- 1 +

 AGOTADO

Anexo 8

ABA

Inicio Unidades de Negocio Contáctanos La Empresa Catálogo  S/0.00 

INICIO / PLANCHAS / PLANCHAS METALICAS DE 3/8" E ESPESOR 40X40 CM2 CON ANCLAJE DE FIERRO TIPO J DE 15 CM DE LARGO DE 1" ASTM A36



**PLANCHA METALICA DE 3/8" E
ESPESOR 40X40 CM2 CON ANCLAJE
DE FIERRO Tipo J DE 15 CM DE LARGO
DE 1" ASTM A36**

S/79.80

Planchas de acero, también conocido como laminado en caliente (LAC) de acero en calidad A36. La plancha es una placa de acero estructural utilizado para la construcción en general y aplicaciones industriales

Anexo 9

1020 | APÉNDICE A Tablas útiles

Tabla A-20

Resistencias mínimas determinísticas a la tensión y a la fluencia ASTM de algunos aceros laminados en caliente (HR) y estirados en frío (CD) [Las resistencias listadas son valores ASTM mínimos estimados en el intervalo de tamaños de 18 a 32 mm (¾ a 1¼ pulg.). Estas resistencias resultan adecuadas para usarse con el factor de diseño definido en la sección 1-10, a condición que los materiales se ajusten a los requisitos ASTM A6 o A568 o que se requieran en las especificaciones de compra. Recuerde que un sistema de numeración no es una especificación] Fuente: 1986 SAE Handbook, p. 2.15.

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

Anexo 10

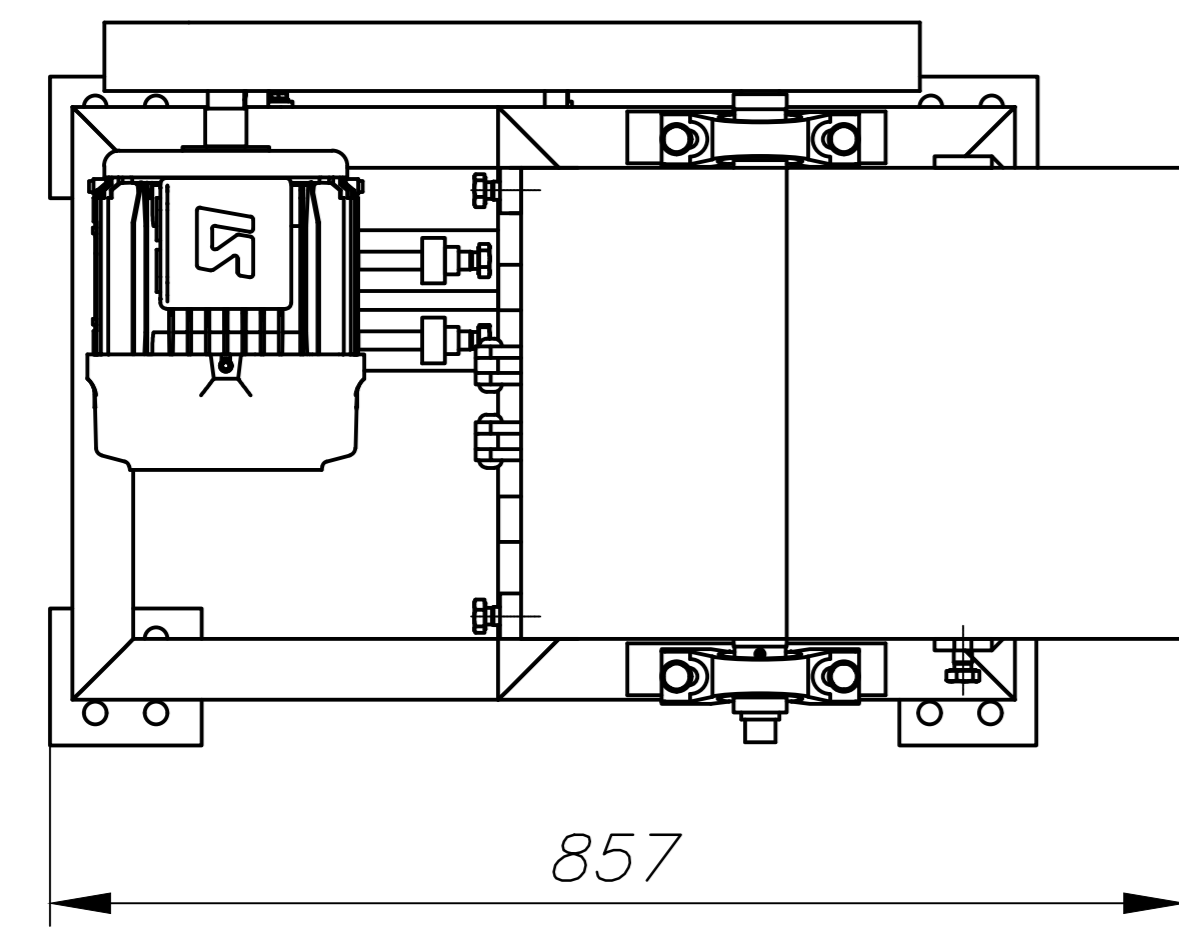
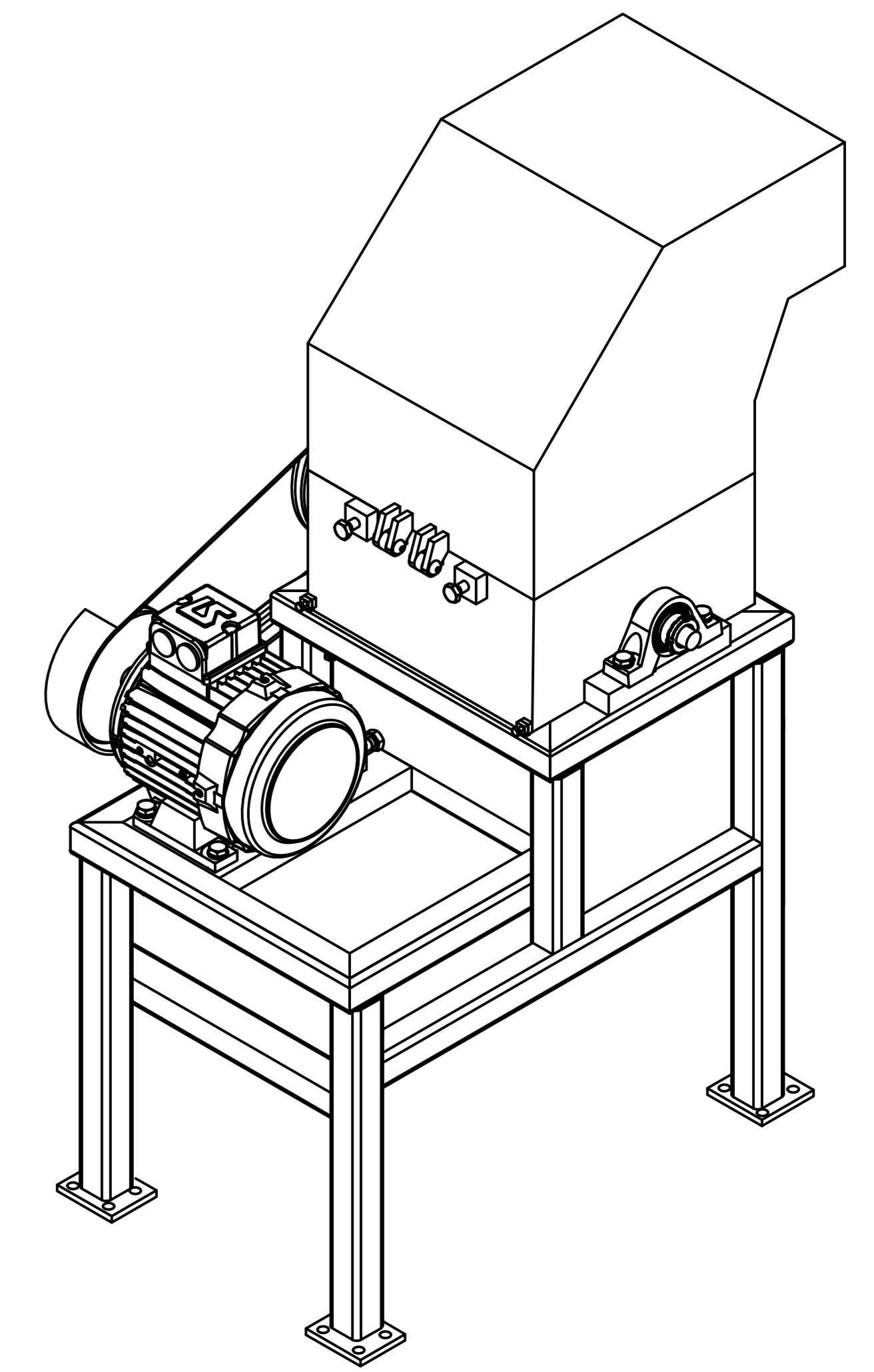
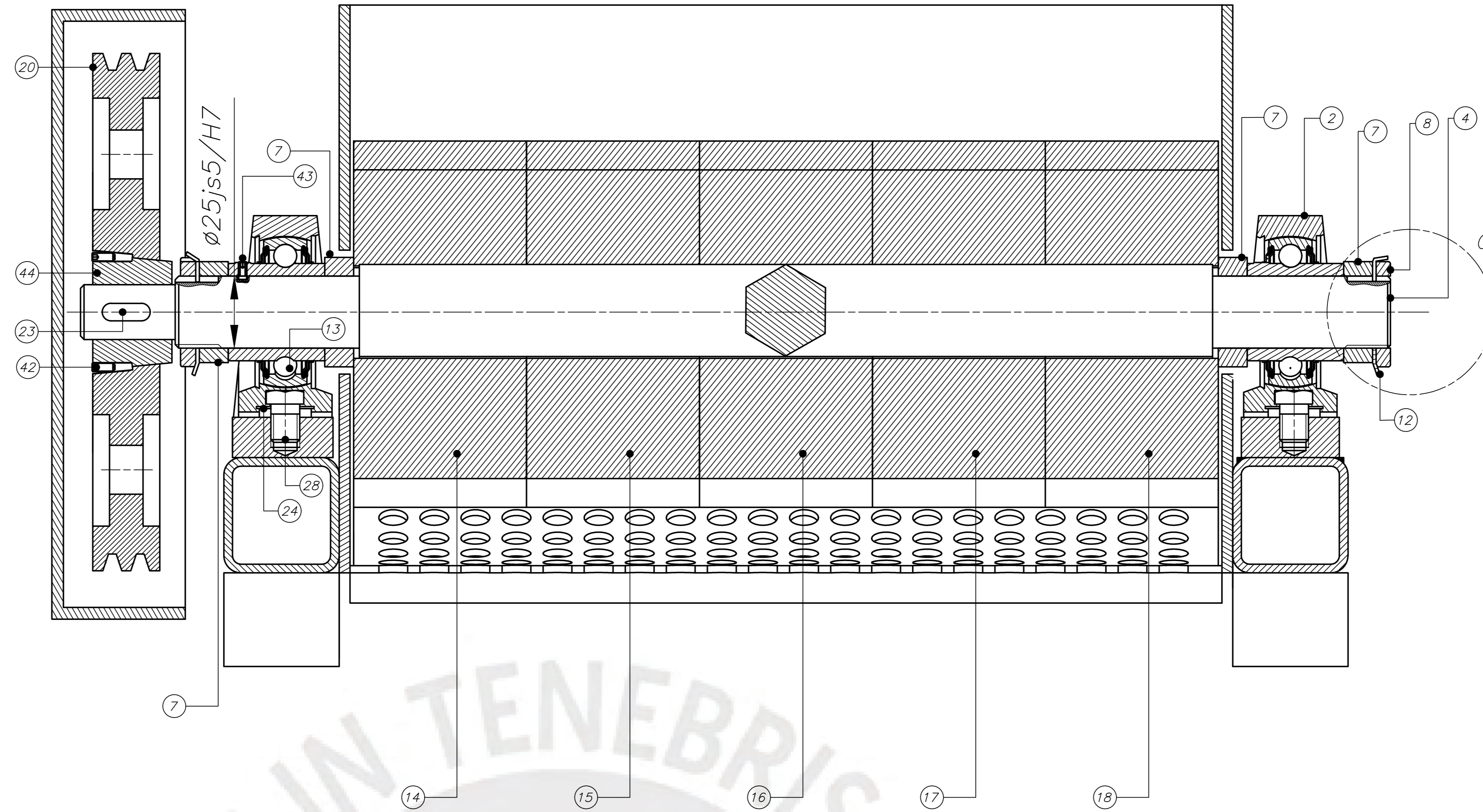
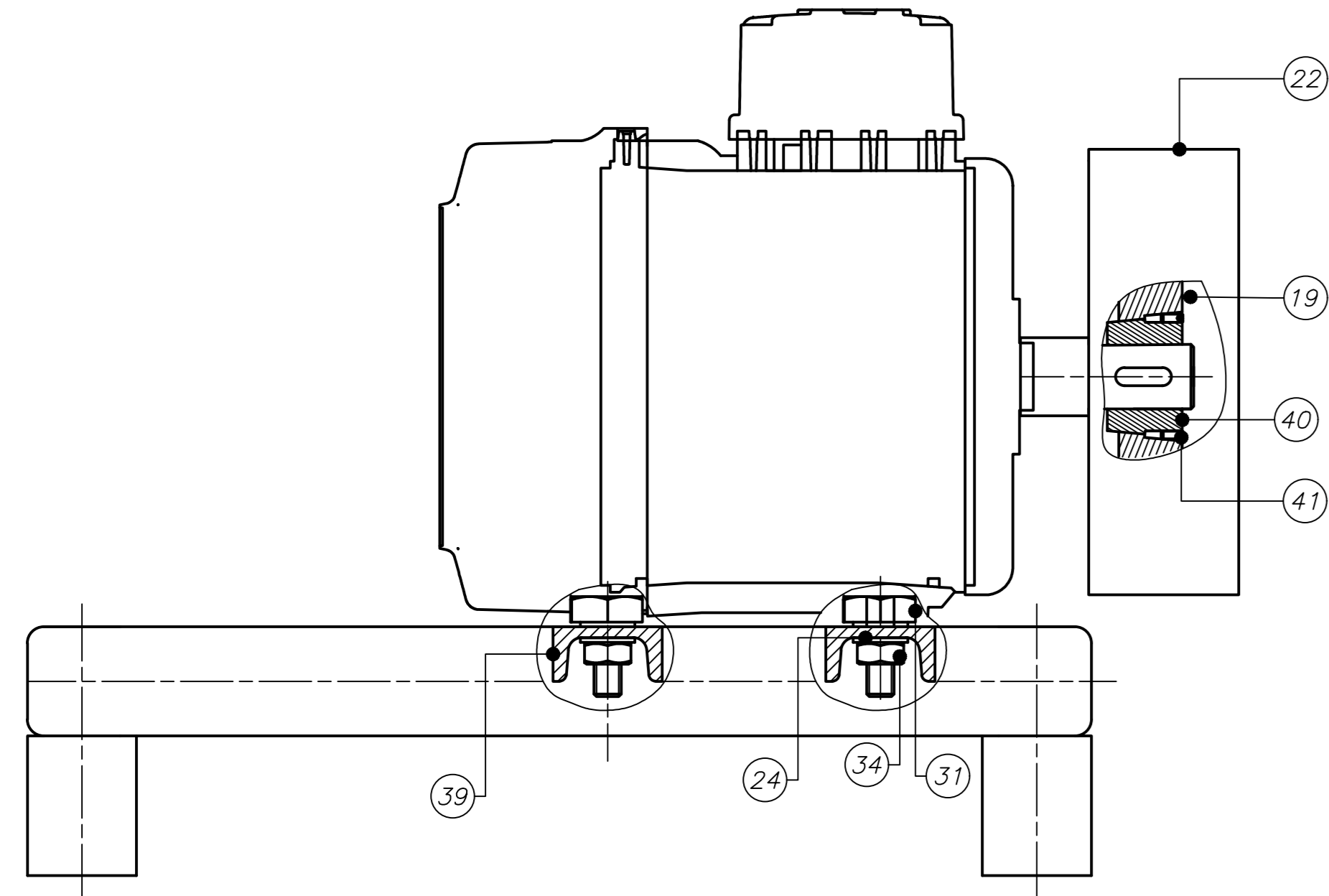
The screenshot shows the RUBIX website interface. At the top, there is a navigation bar with the RUBIX logo, a search bar, and a 'Log in or register' button. Below the navigation bar, there is a main header with 'Our products' and 'SERVICES' tabs. The main content area displays the product 'Narrow V-belt DIN / ISO Optibelt SPZ 1162'. The product details include a reference number 'optibelt SK SPZ', a technical drawing of the belt, and a table of technical specifications:

TECHNICAL SPECIFICATIONS	
PROFILE	SPZ
BELT DESIGNATION	SPZ1162
PITCH LENGTH	1162 mm

On the right side of the product page, there is a price tag showing '€15.03' per unit, with a note 'In stock! Shipping estimated 24-48h'. There are also buttons for 'SELECT QUANTITY (1)' and 'ADD TO CART'.

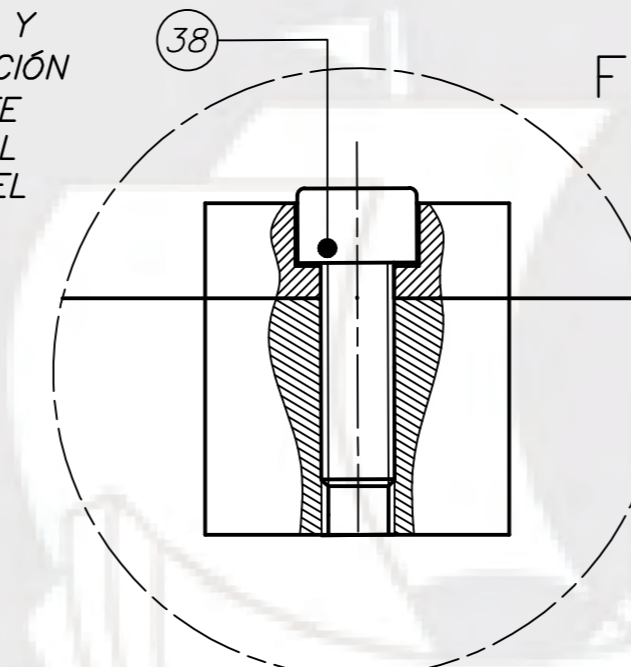
B-B (1 : 1)

A-A (1 : 2)

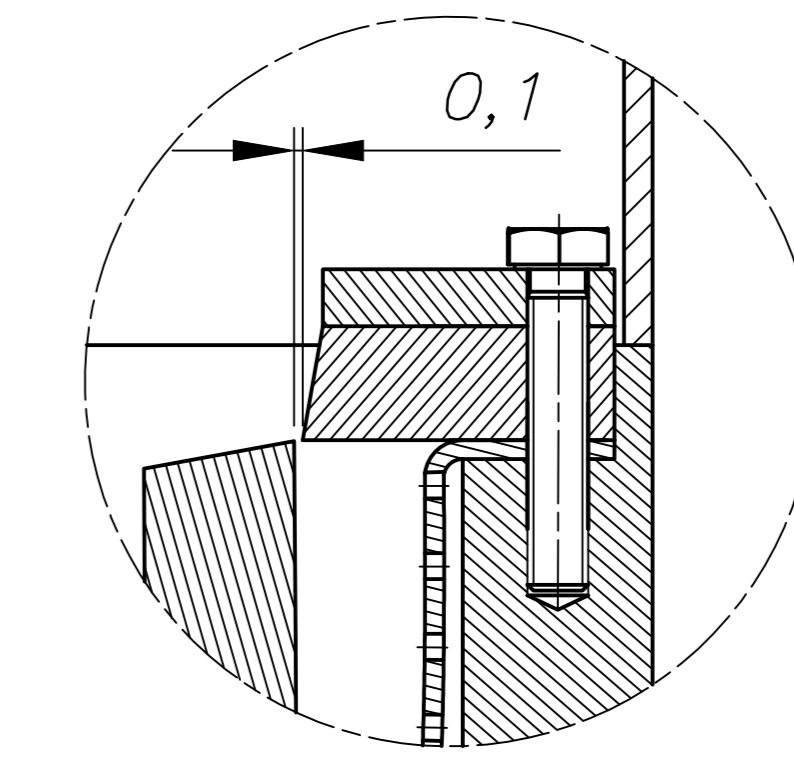
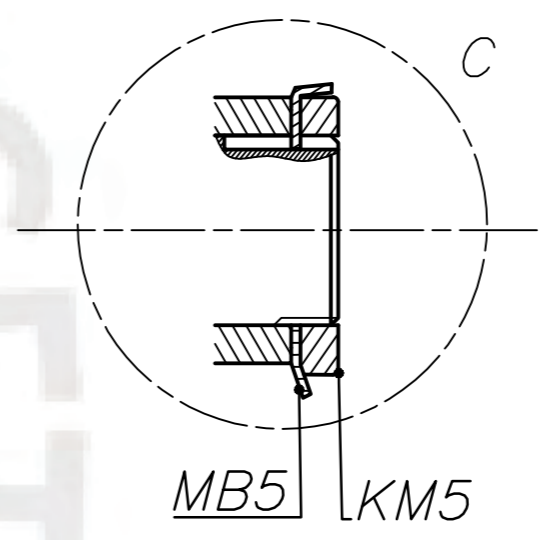


LA UNIÓN DE LA TOLVA Y LA CÁMARA DE TRITURACIÓN SE ASEGURARÁ MEDIANTE UN TORNILLO ALLEN, TAL COMO SE APPRECIÁ EN EL DETALLE F.

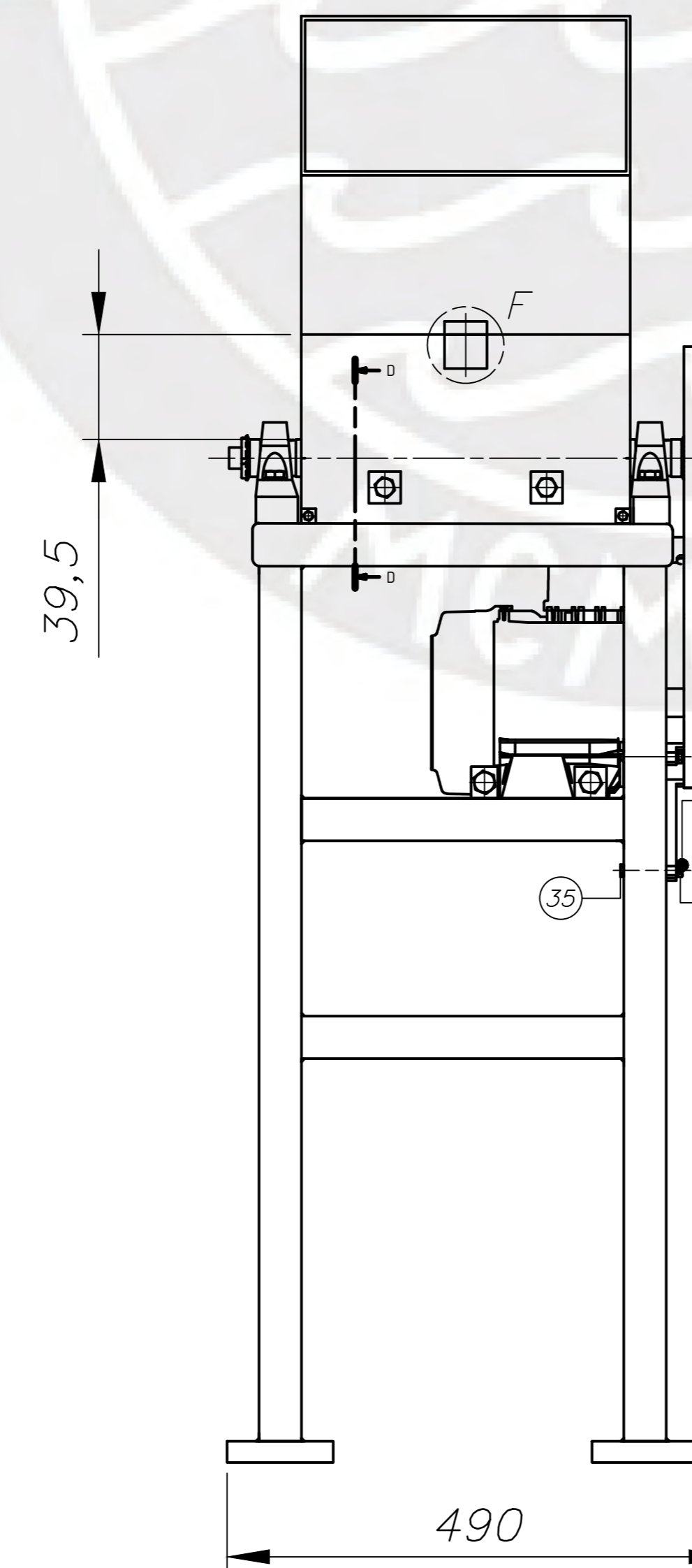
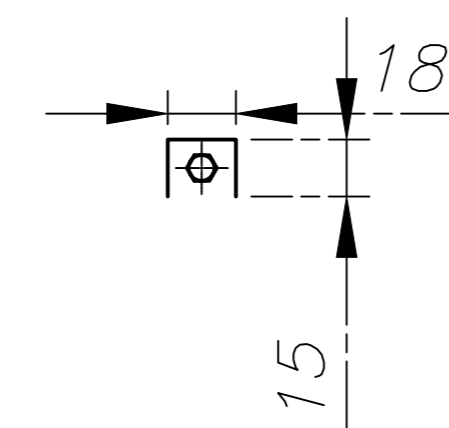
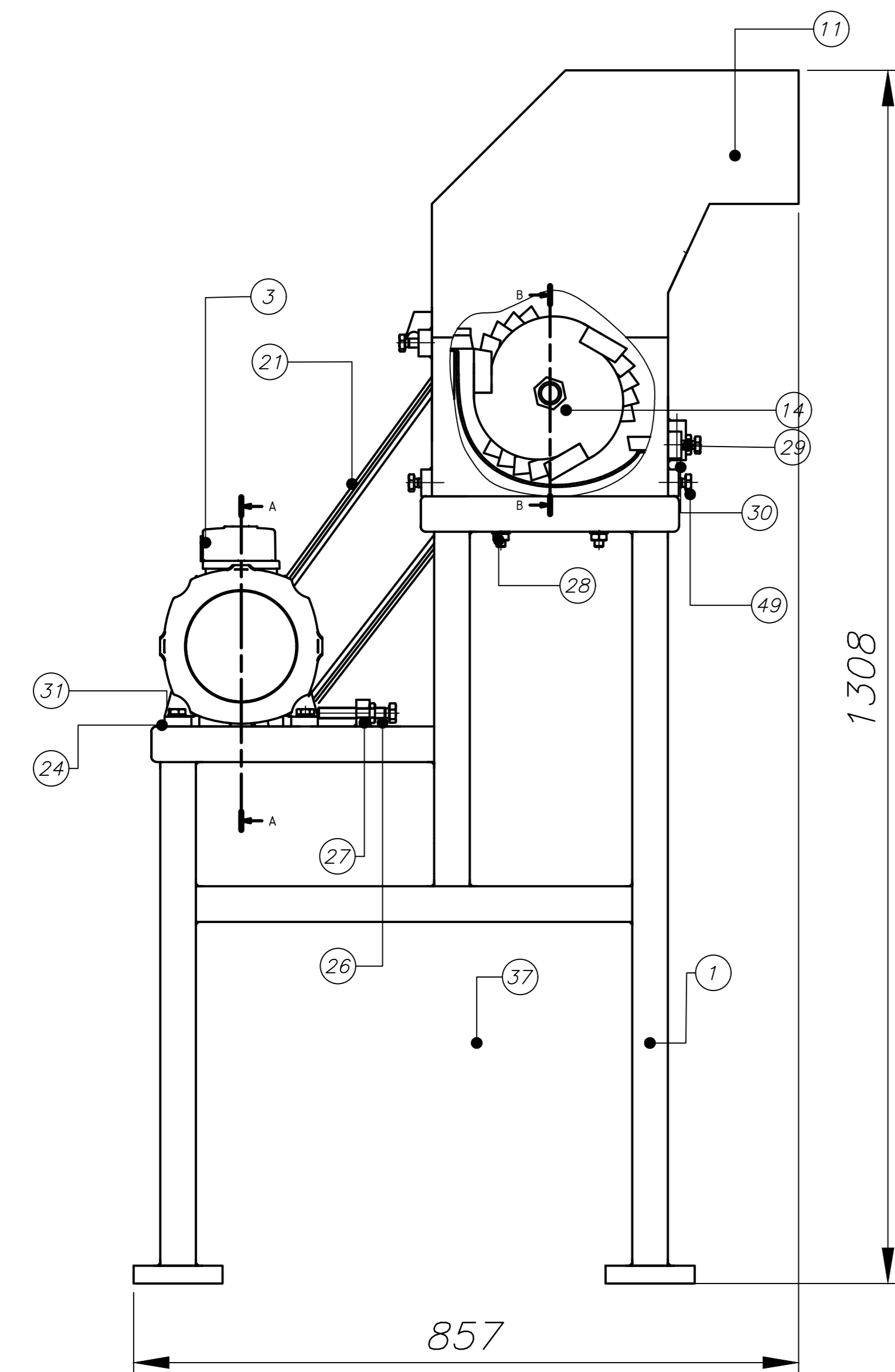
F (1 : 1)



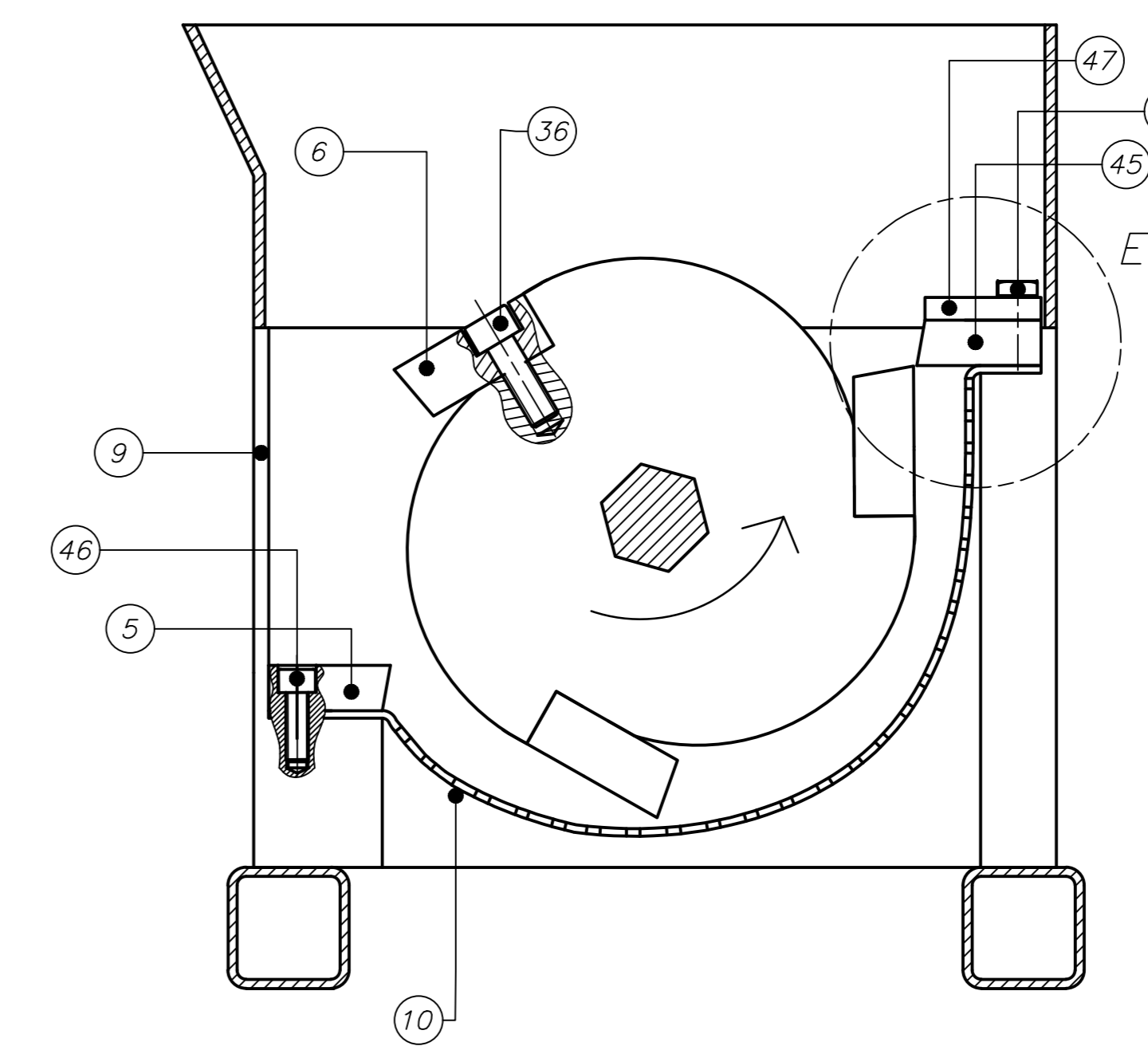
C (1 : 1)



DETALLE E (1 : 1)



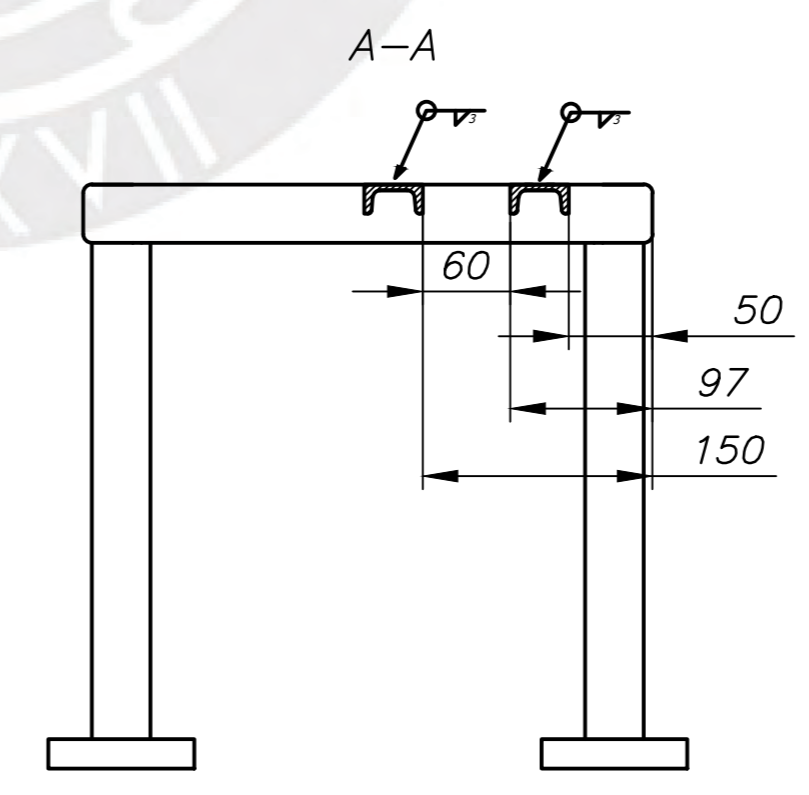
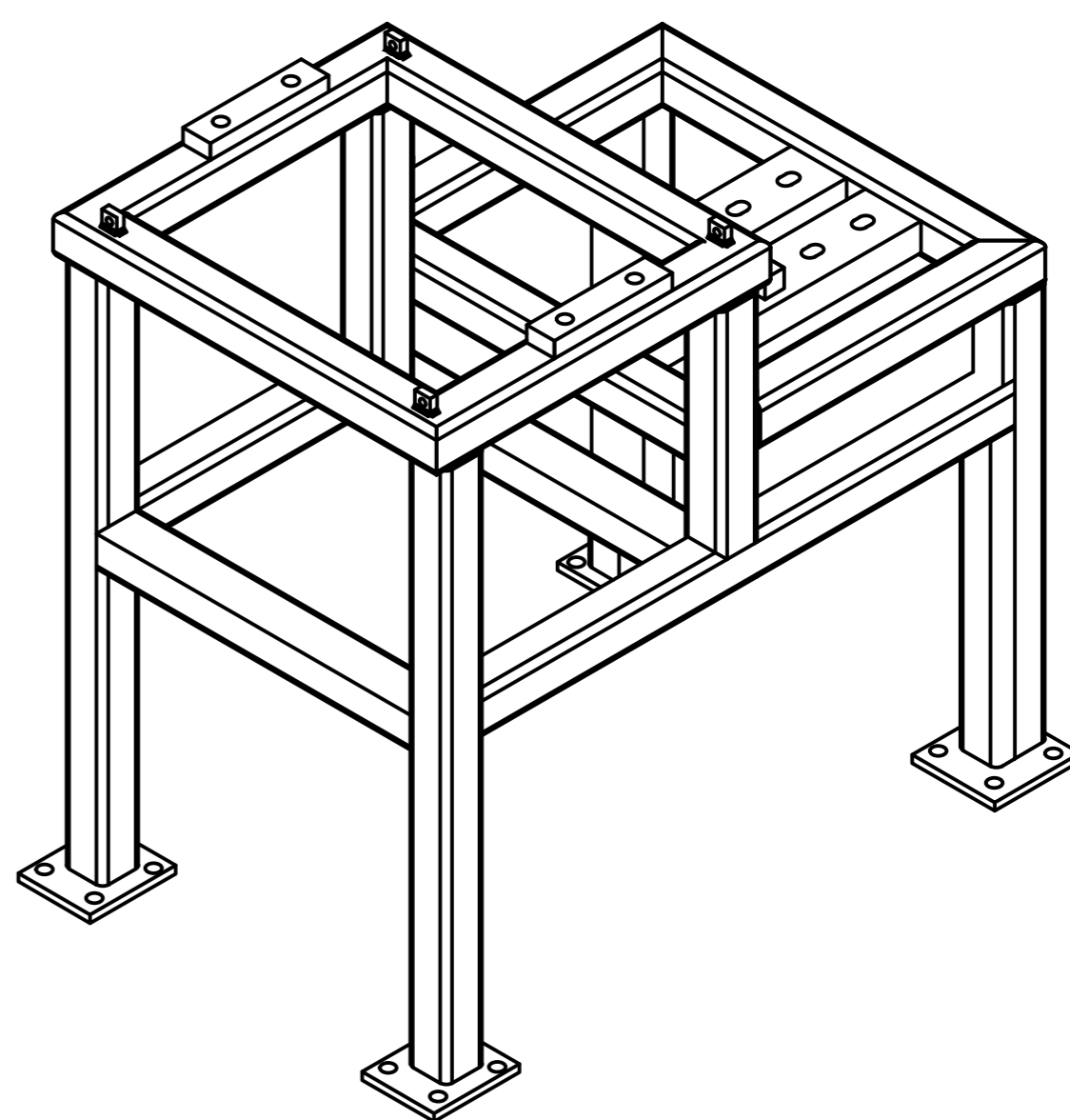
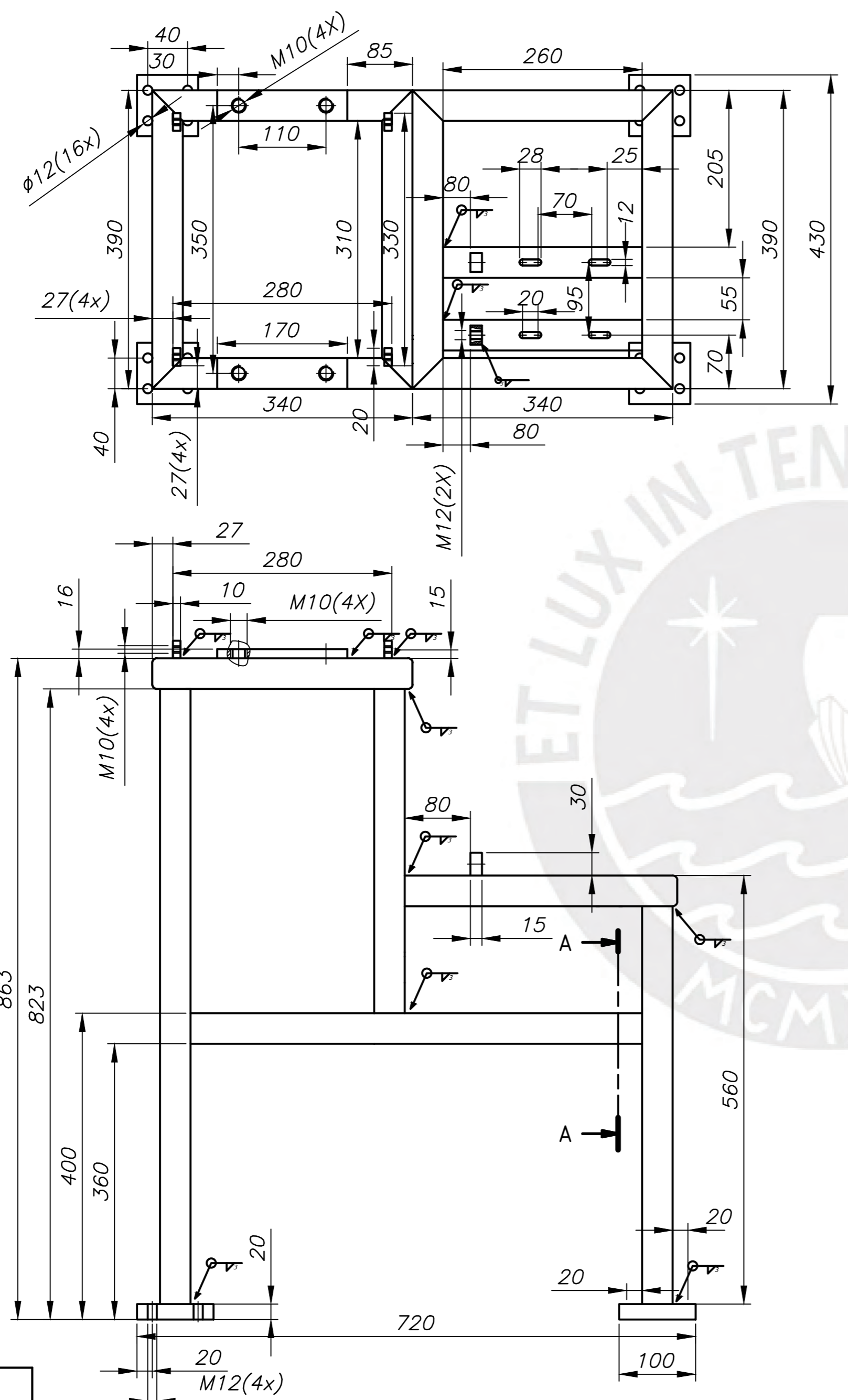
D-D (1 : 2)



50	4	PERNO DE CABEZA HEXAGONAL M10x30	DIN 933	8.8	
49	2	PERNO DE CABEZA HEXAGONAL M10x5	DIN 933	8.8	
48	8	TOPES CÁMARA DE TRITURACIÓN		ASTM A36	
47	1	PLACA DE SUJECIÓN		ASTM A36	
46	8	TORNILLO ALLEN M6x35	DIN 912	8.8	
45	2	CUCHILLAS FIRMAS SUPERIORES DE CORTE		ASI 02	
44	1	BUSHING TAPER-LOCK CÓNICO			MODELO 1108
43	2	PRISIONERO ALLEN M6x8	DIN 916	45H	
42	2	PRISIONERO ALLEN M6x10	DIN 916	45H	
41	2	PRISIONERO ALLEN M3x8	DIN 916	45H	
40	1	BUSHING TAPER-LOCK CÓNICO			MODELO 1008
39	2	PERFIL U 40x20x4 mm		ASTM A36	
38	1	TORNILLO ALLEN M12x40	DIN 912	8.8	
37	1	RECIPIENTE DE DESCARGA		ASTM A36	
36	45	TORNILLO ALLEN M10x30	DIN 912	8.8	
35	2	TUERCA HEXAGONAL M6	DIN 934	8	
34	12	TUERCA HEXAGONAL M10	DIN 934	8	
33	2	PERNO DE CABEZA HEXAGONAL M6x55	DIN 933	8.8	
32	8	PERNO DE CABEZA HEXAGONAL M6x35	DIN 933	8.8	
31	4	PERNO DE CABEZA HEXAGONAL M10x35	DIN 933	8.8	
30	4	CONTRA TUERCA DE CABEZA HEXAGONAL M10	DIN 439-2		
29	4	PERNO DE CABEZA HEXAGONAL M10x35	DIN 933	8.8	
28	4	PERNO DE CABEZA HEXAGONAL M10x30	DIN 933	8.8	
27	1	CONTRA TUERCA DE CABEZA HEXAGONAL M12	DIN 439-2		
26	2	PERNO DE CABEZA HEXAGONAL M12x80	DIN 933	8.8	
25	4	ARANDELA PLANA M6	DIN 125	S1	
24	24	ARANDELA PLANA M10	DIN 125	S1	
23	1	CHAVETA EX6x16	DIN 6885	DIN CK45	
22	1	COBERTOR DE POLEAS		ASTM A36	
21	2	FAM TRAPEZOIDAL PERFIL SPZ			LONGITUD 1162 MM
20	1	POLEA CONDUCCIÓN DOBLE, PERFIL SPZ			DIÁMETRO 240 MM
19	1	POLEA MOTRIZ DOBLE, PERFIL SPZ			DIÁMETRO 40 MM
18	1	DISCO PORTA CUCHILLAS 5		ASI SAE 4140	
17	1	DISCO PORTA CUCHILLAS 4		ASI SAE 4140	
16	1	DISCO PORTA CUCHILLAS 3		ASI SAE 4140	
15	1	DISCO PORTA CUCHILLAS 2		ASI SAE 4140	
14	1	DISCO PORTA CUCHILLAS 1		ASI SAE 4140	
13	2	RODAMIENTO DE UNA HELESA DE BOLAS		61805, MARCA SKF	
12	2	ARANDELA DE FIJACIÓN	ISO 2982		M6x5, MARCA SKF
11	1	TOLVA DE ALIMENTACIÓN		ASTM A36	
10	1	CRIBA		ASTM A36	
9	1	CAMA DE TRITURACIÓN		ASTM A36	
8	2	TUERCA DE FIJACIÓN	ISO 2982		M6x5, MARCA SKF
7	4	ANILLO DE SUJECIÓN		DIN CK45	
6	15	CUCHILLAS MÓVILES DE CORTE		ASI 02	
5	2	CUCHILLAS FIRMAS INFERIORES DE CORTE		ASI 02	
4	1	EJE DE TRANSMISIÓN		ASI 4340	
3	1	MOTOR ELÉCTRICO SHP 1800 RPM			SIEMENS
2	2	CONJUNTO DE PIE			D=25mm, MARCA SKF
1	1	ESTRUCTURA DE LA BASE		ASTM A36	

POS.	CANT.	DESCRIPCIÓN	NORMA	MATERIAL	OBSERVACIONES
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL PERU					
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERIA - ESPECIALIDAD: ING. MECANICA					
METODO DE PROYECCION: PROYECTO DE TESIS					
ESCALA: 1:5					
ALUMNO		ORTIZ SAENZ, ANDRES EDUARDO		FECHA: 25.04.2024	
ASESOR		ACOSTA SULLICHAMAMAN, JULIO ARRIBASPLATA SEGUIN, ADAN		LAMINA: AD	

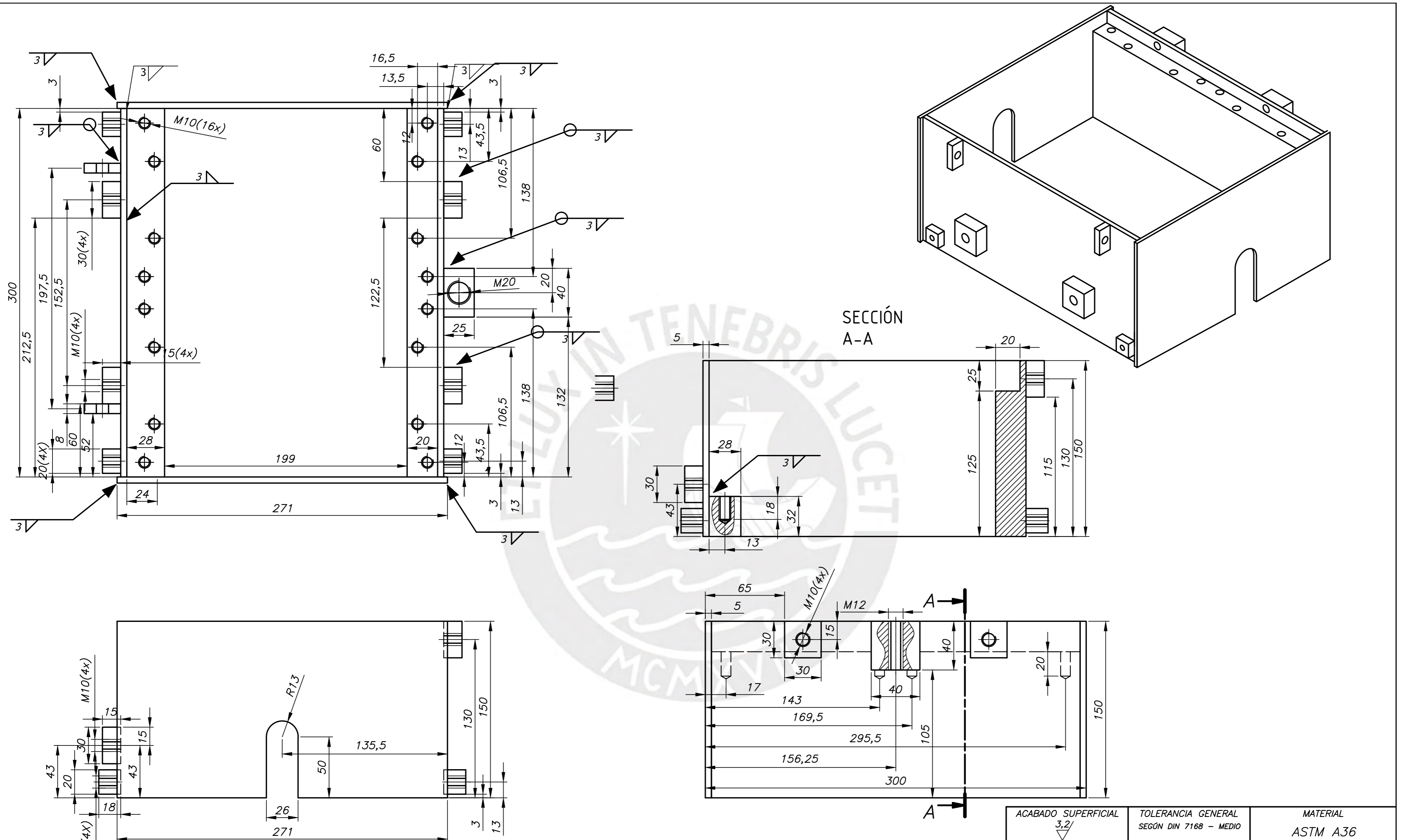
32H6	32,029	32,013
32H7	32,021	32,000
25H5	25,005	24,995
25H7	25,021	25,000
COTA NOMINAL	COTA MAXIMA	COTA MINIMA



MEDIDAS SEGÚN PERFILES CUADRADOS 40X40X3 MM
 PARA EVITAR DAÑOS EN EL PISO Y PARA ANCLAR LA MÁQUINA AL PISO, SE SOLDARÁN CUATRO PLACAS DE ACERO A LAS PATAS CON CUATRO AGUJEROS M12 POR PLACA.
 COMO SOPORTE DEL MOTOR, SE INSTALARÁN 2 PERFILES TIPO U 40X20X4 MM DE 260 MM

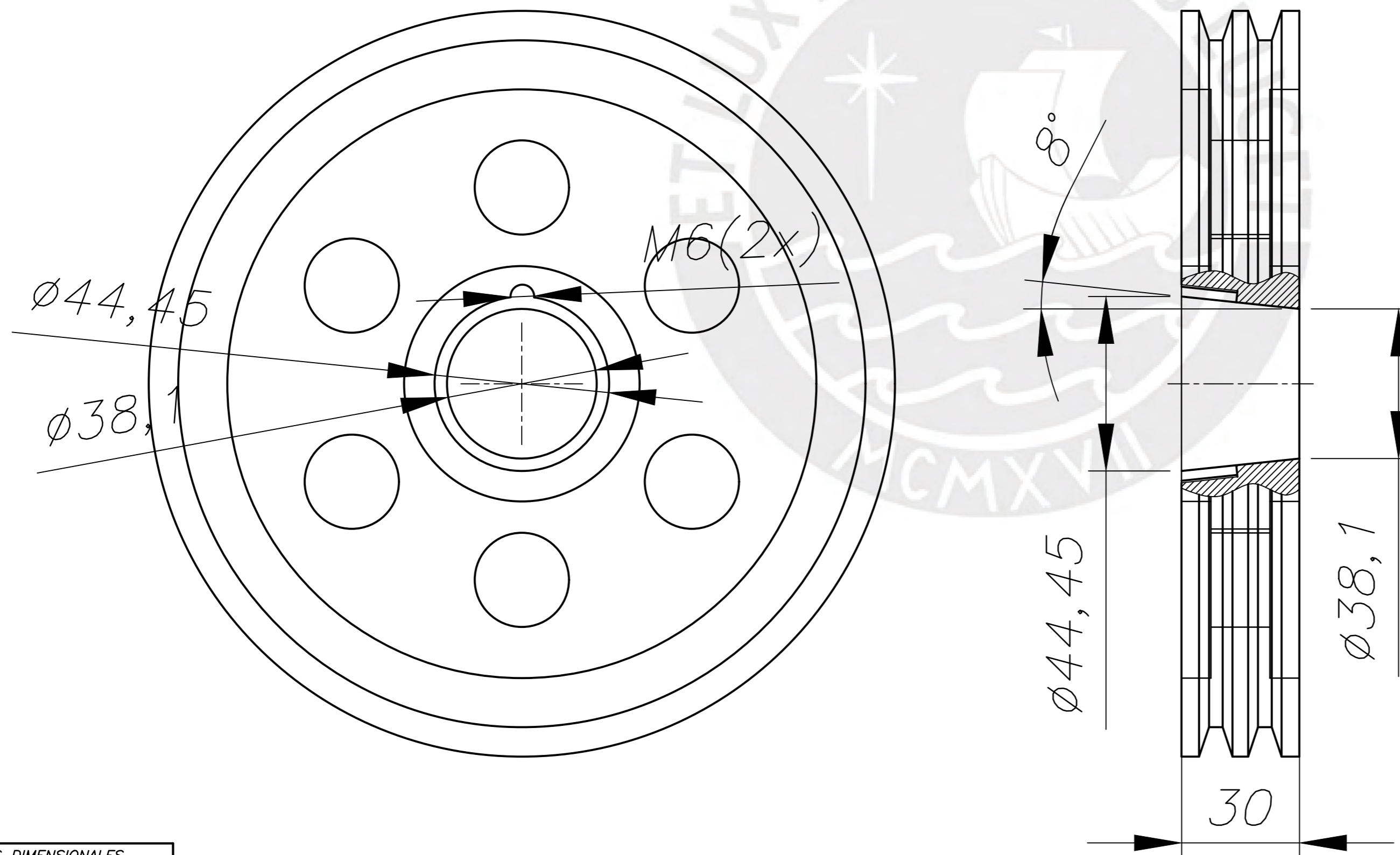
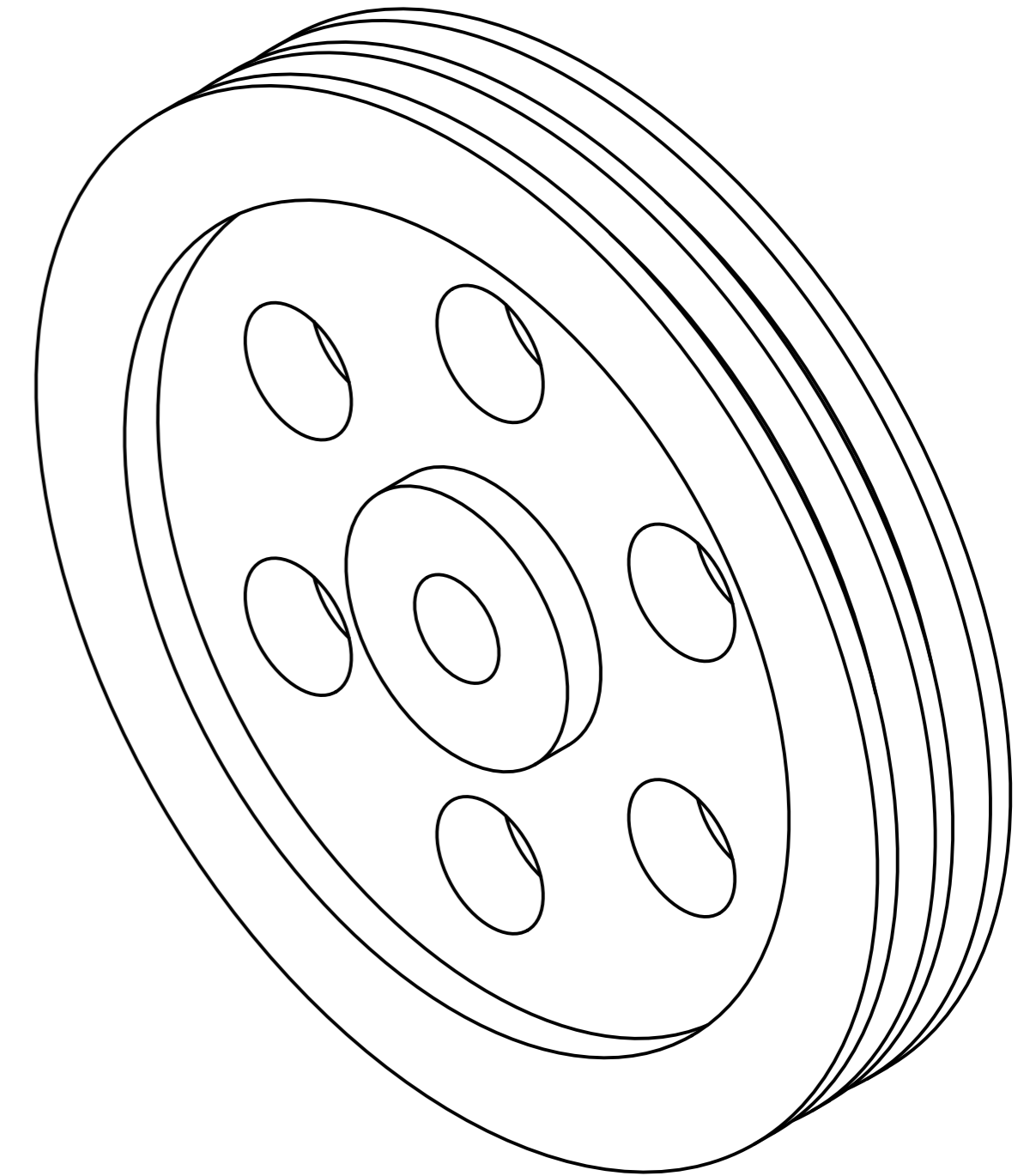
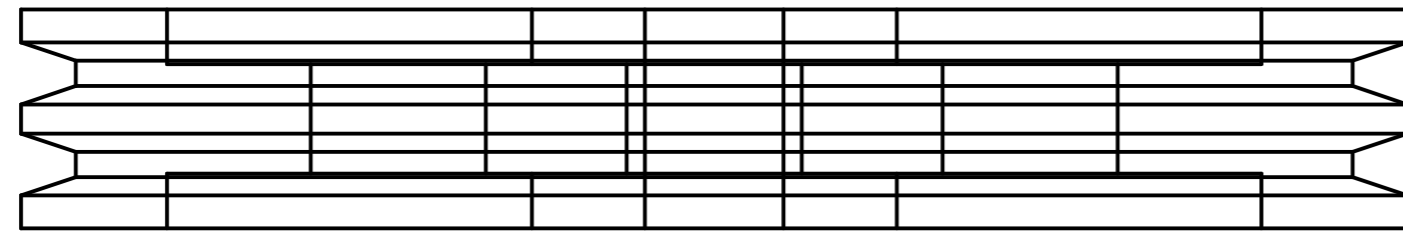
TOLERANCIAS DIMENSIONALES SEGUN DIN 7168					
GRADO DE EXACTITUD	Más de 0,5 hasta 3	Más de 3 hasta 6	Más de 6 hasta 30	Más de 30 hasta 120	Más de 120 hasta 400
MEDIO	±0,1	±0,1	±0,2	±0,3	±0,5

ACABADO SUPERFICIAL	TOLERANCIA GENERAL	MATERIAL
		ASTM A36
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA – ESPECIALIDAD: ING. MECÁNICA		
METODO DE PROYECCION	PROYECTO DE TESIS	ESCALA
	BASE ESTRUCTURAL	1:5
ALUMNO	ORTIZ SÁENZ, ANDRÉS EDUARDO	FECHA: 25.04.2024
ASESORES	ACOSTA SULLCAHUAMAN, JULIO ARRIBASPLATA SEGUIN, ADAN	LAMINA: A2



TOLERANCIAS DIMENSIONALES SEGUN DIN 7168					
GRADO DE EXACTITUD	Más de 0,5 hasta 3	Más de 3 hasta 6	Más de 6 hasta 30	Más de 30 hasta 120	Más de 120 hasta 400
MEDIO	±0,1	±0,1	±0,2	±0,3	±0,5

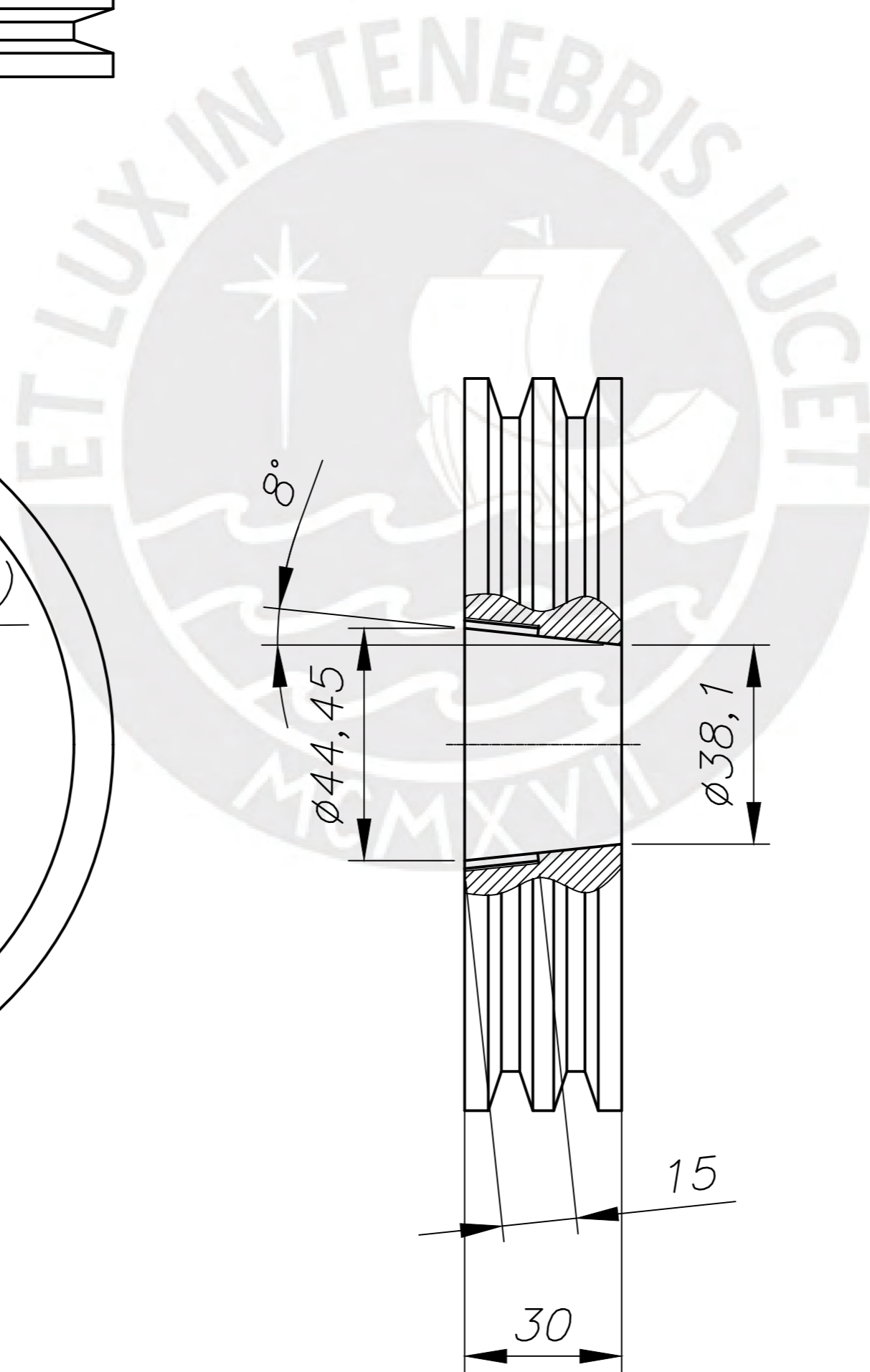
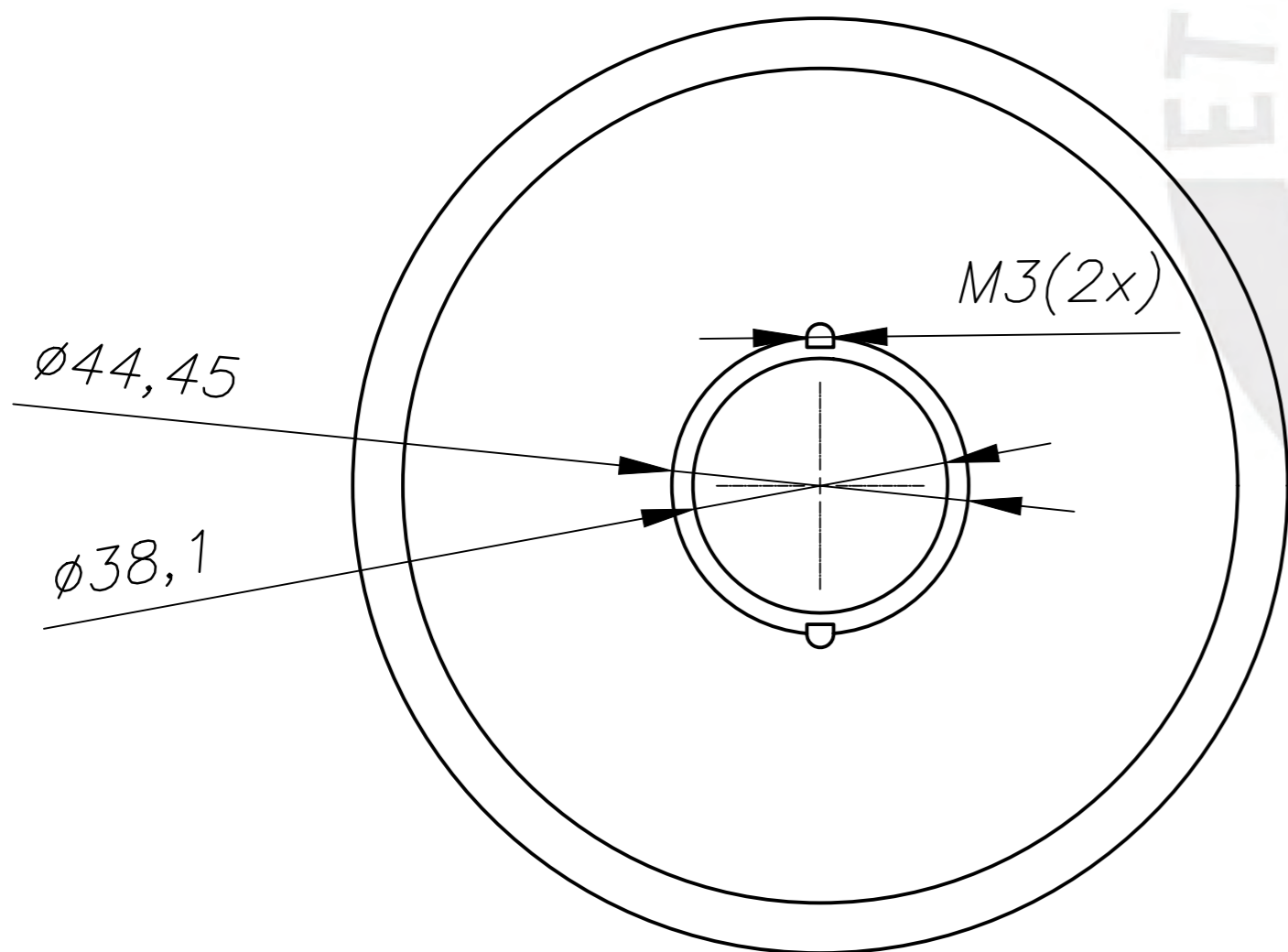
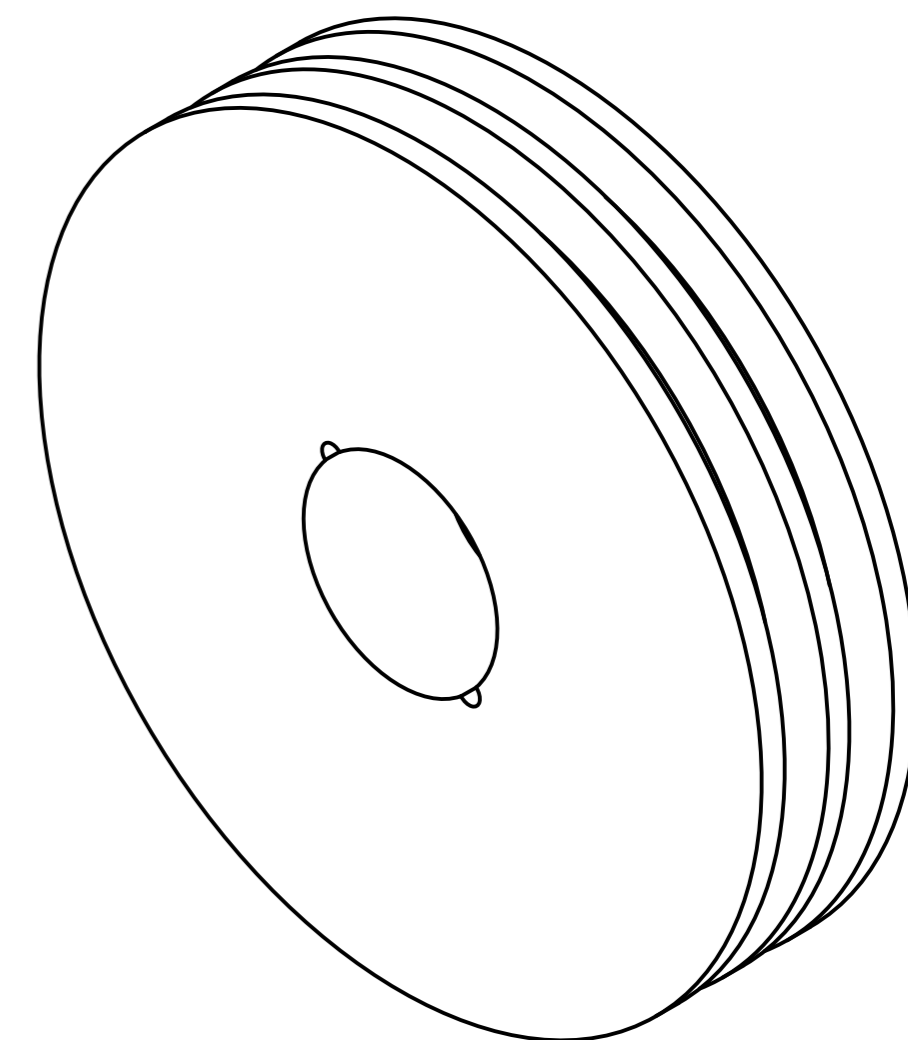
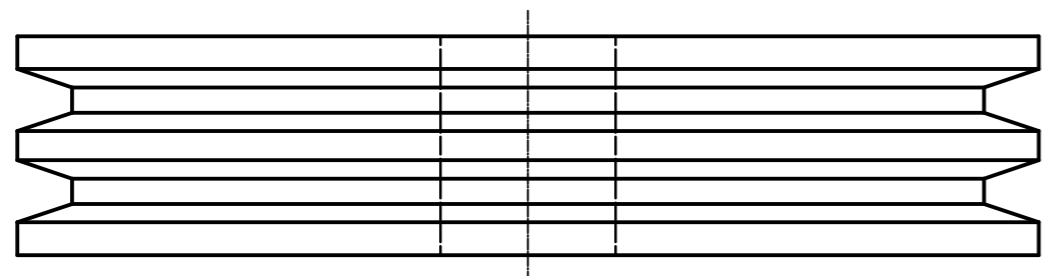
ACABADO SUPERFICIAL 3,2	TOLERANCIA GENERAL SEGUN DIN 7168 - MEDIO	MATERIAL ASTM A36
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERIA - ESPECIALIDAD: ING. MECÁNICA		
METODO DE PROYECCION 	PROYECTO DE TESIS	ESCALA
	CÁMARA DE TRITURACIÓN	1:1
ALUMNO	ORTIZ SÁENZ, ANDRÉS EDUARDO	FECHA: 25.04.2024
ASESORES	ACOSTA SULLCAHUAMAN, JULIO ARRIBASPLATA SEGUIN, ADAN	LAMINA: A2



EL TRABAJO DE MECANIZADO DEL ASIENTO DEL BUSHING TAPER LOCK SE REALIZARÁ SOBRE LA POLEA CONDUCTORA QUE SERÁ COMPRADA SEGÚN LAS NECESIDADES DEL SISTEMA.

TOLERANCIAS DIMENSIONALES SEGUN DIN 7168					
GRADO DE EXACTITUD	Más de 0,5 hasta 3	Más de 3 hasta 6	Más de 6 hasta 30	Más de 30 hasta 120	Más de 120 hasta 400
MEDIO	$\pm 0,1$	$\pm 0,1$	$\pm 0,2$	$\pm 0,3$	$\pm 0,5$

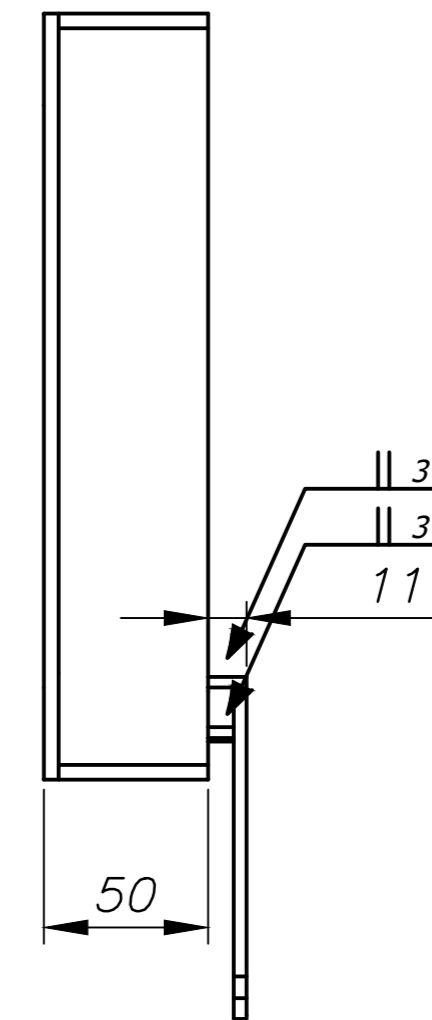
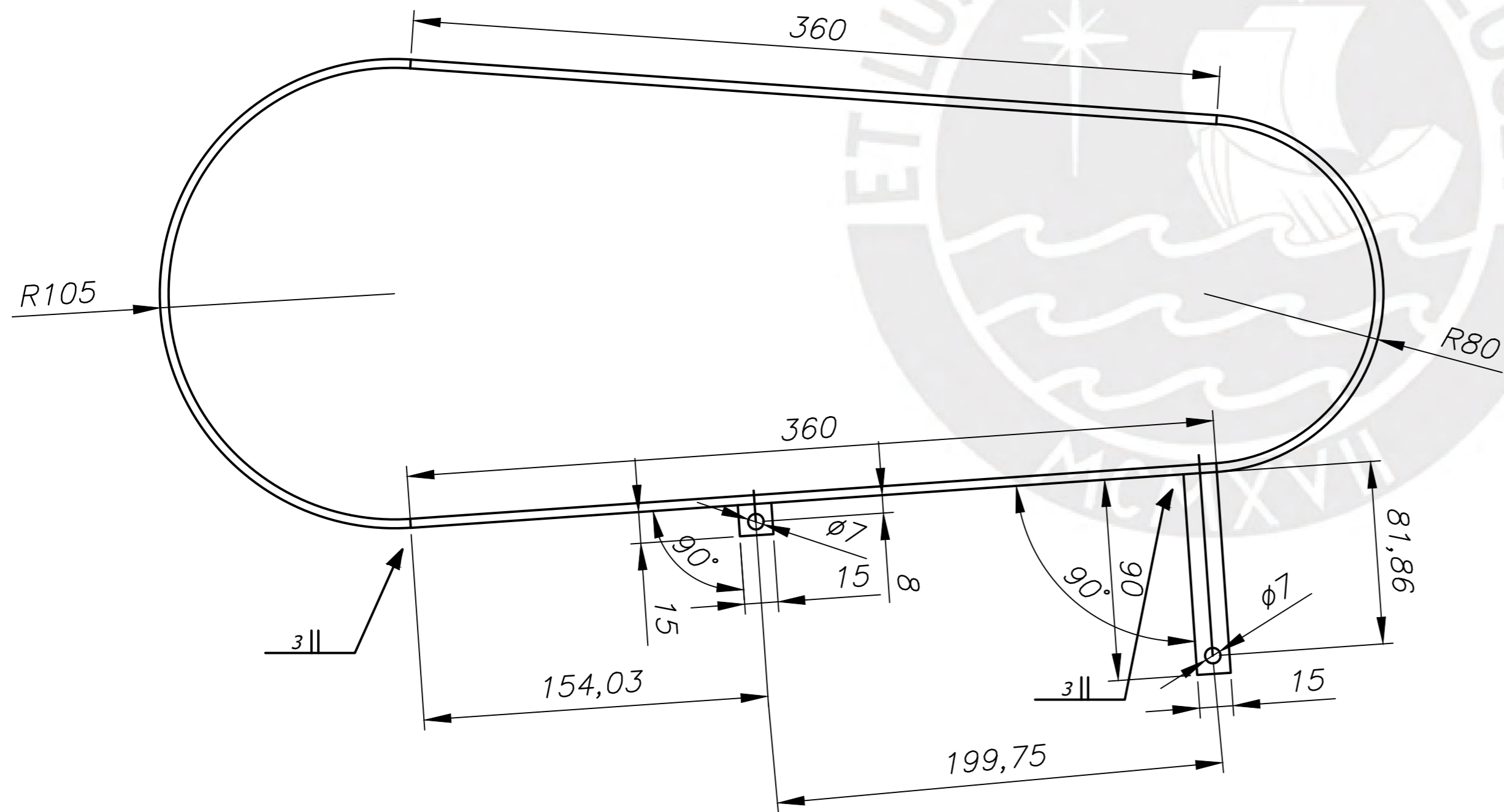
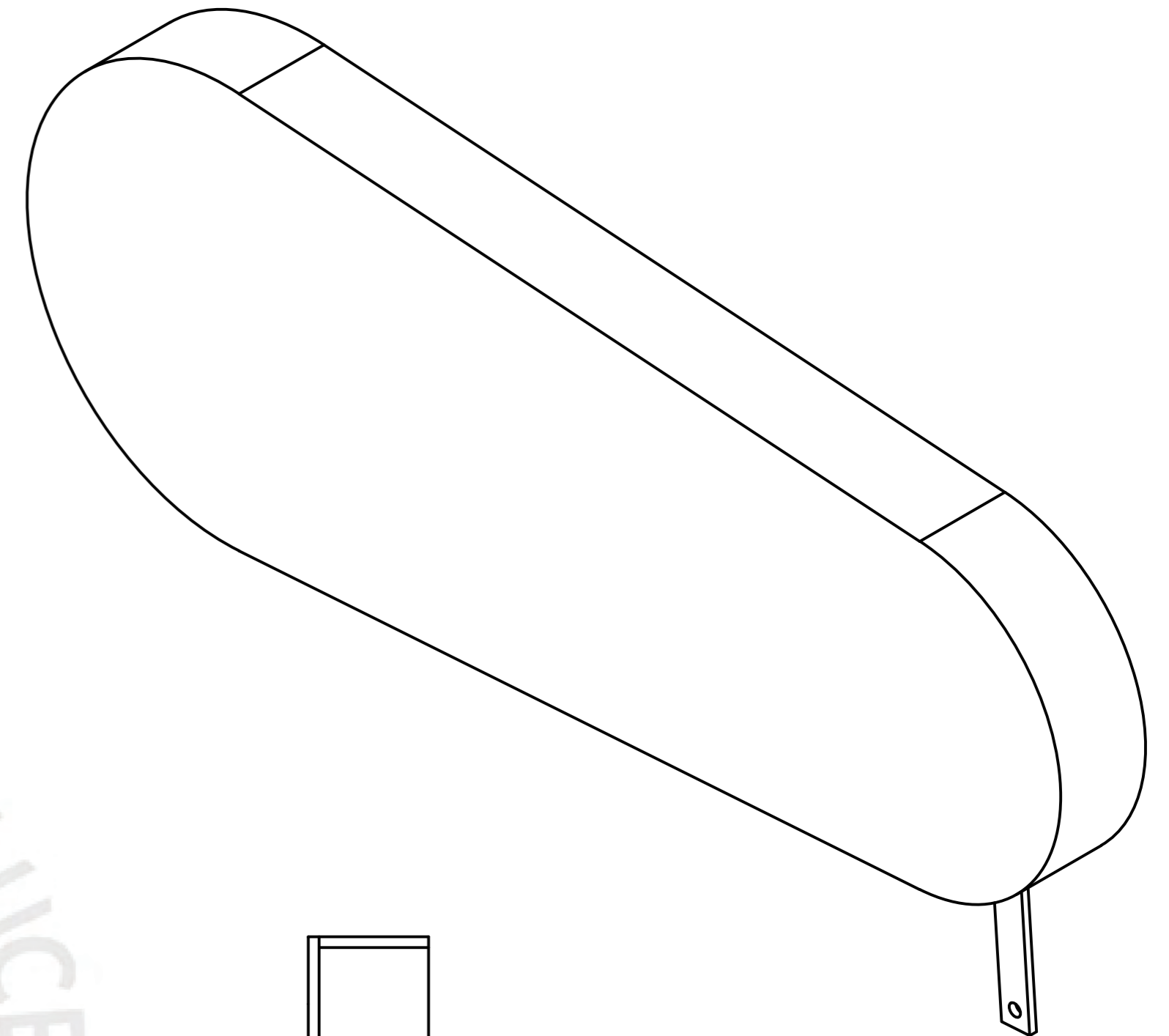
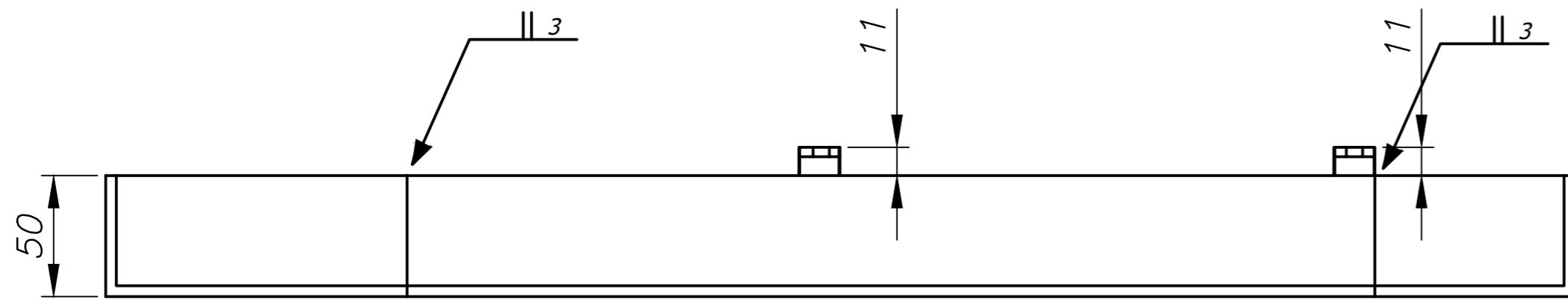
ACABADO SUPERFICIAL	TOLERANCIA GENERAL SEGUN DIN 7168 - MEDIO	MATERIAL
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA - ESPECIALIDAD: ING. MECÁNICA		
METODO DE PROYECCION	PROYECTO DE TESIS	ESCALA
	POLEA CONDUCTORA	1:1
ALUMNO	ORTIZ SÁENZ, ANDRÉS EDUARDO	FECHA: 25.04.2024
ASESORES	ACOSTA SULLCAHUAMAN, JULIO ARRIBASPLATA SEGUIN, ADAN	LAMINA: A2



EL TRABAJO DE MECANIZADO DEL ASIENTO DEL BUSHING TAPER LOCK SE REALIZARÁ SOBRE LA POLEA MOTRIZ QUE SERÁ COMPRADA SEGÚN LAS NECESIDADES DEL SISTEMA.

TOLERANCIAS DIMENSIONALES SEGUN DIN 7168					
GRADO DE EXACTITUD	Más de 0,5 hasta 3	Más de 3 hasta 6	Más de 6 hasta 30	Más de 30 hasta 120	Más de 120 hasta 400
MEDIO	$\pm 0,1$	$\pm 0,1$	$\pm 0,2$	$\pm 0,3$	$\pm 0,5$

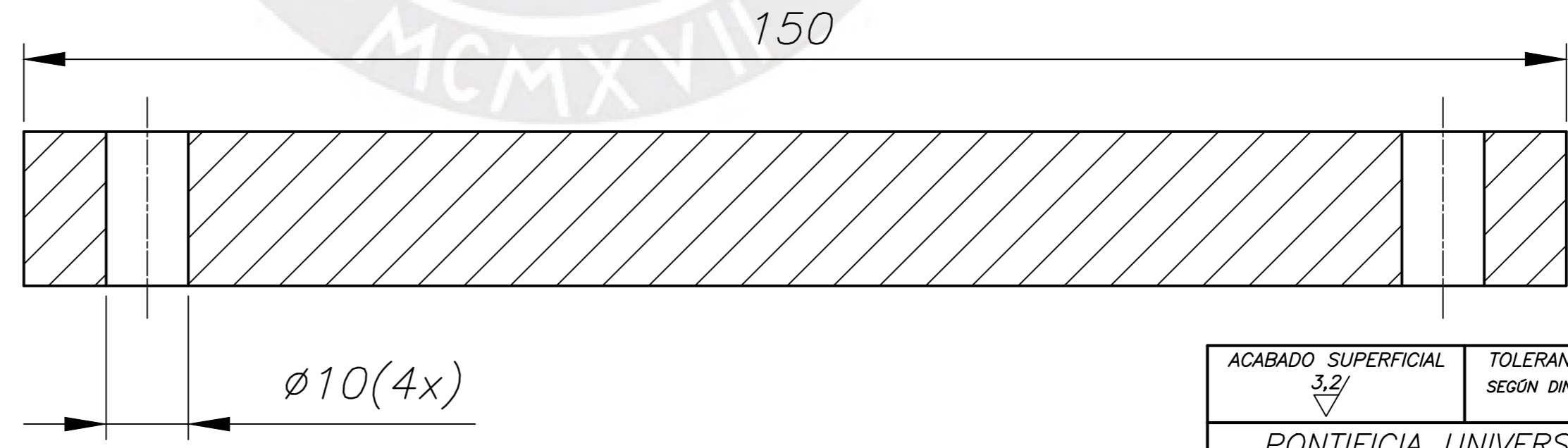
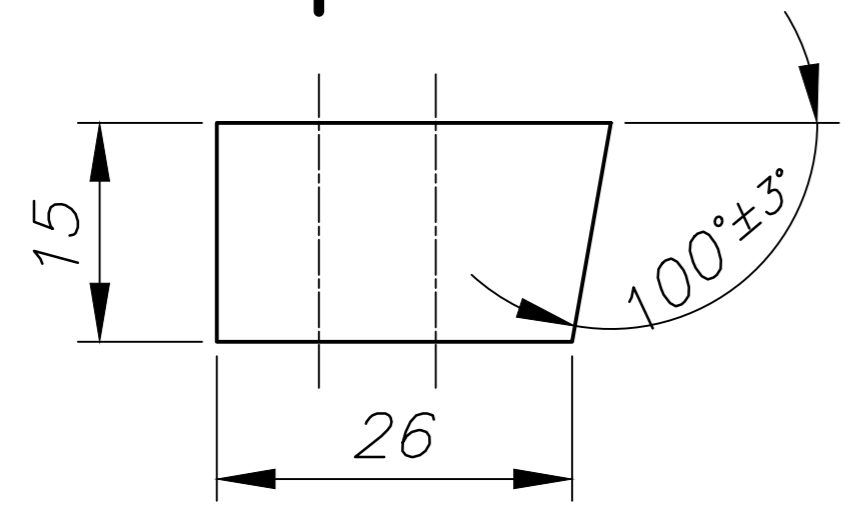
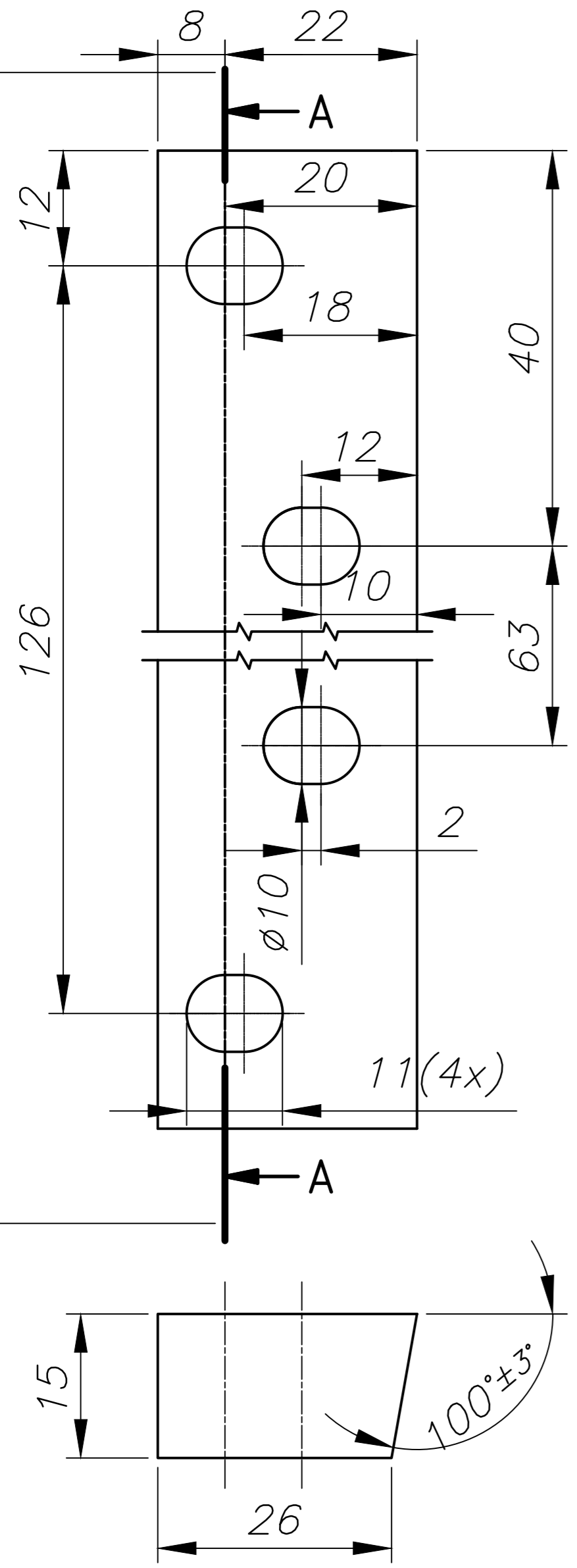
ACABADO SUPERFICIAL	TOLERANCIA GENERAL SEGUN DIN 7168 - MEDIO	MATERIAL
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA - ESPECIALIDAD: ING. MECÁNICA		
METODO DE PROYECCION	PROYECTO DE TESIS	ESCALA
	POLEA MOTRIZ	1:1
ALUMNO	ORTIZ SÁENZ, ANDRÉS EDUARDO	FECHA: 25.04.2024
ASESORES	ACOSTA SULLCAHUAMAN, JULIO ARRIBASPLATA SEGUIN, ADAN	LAMINA: A2



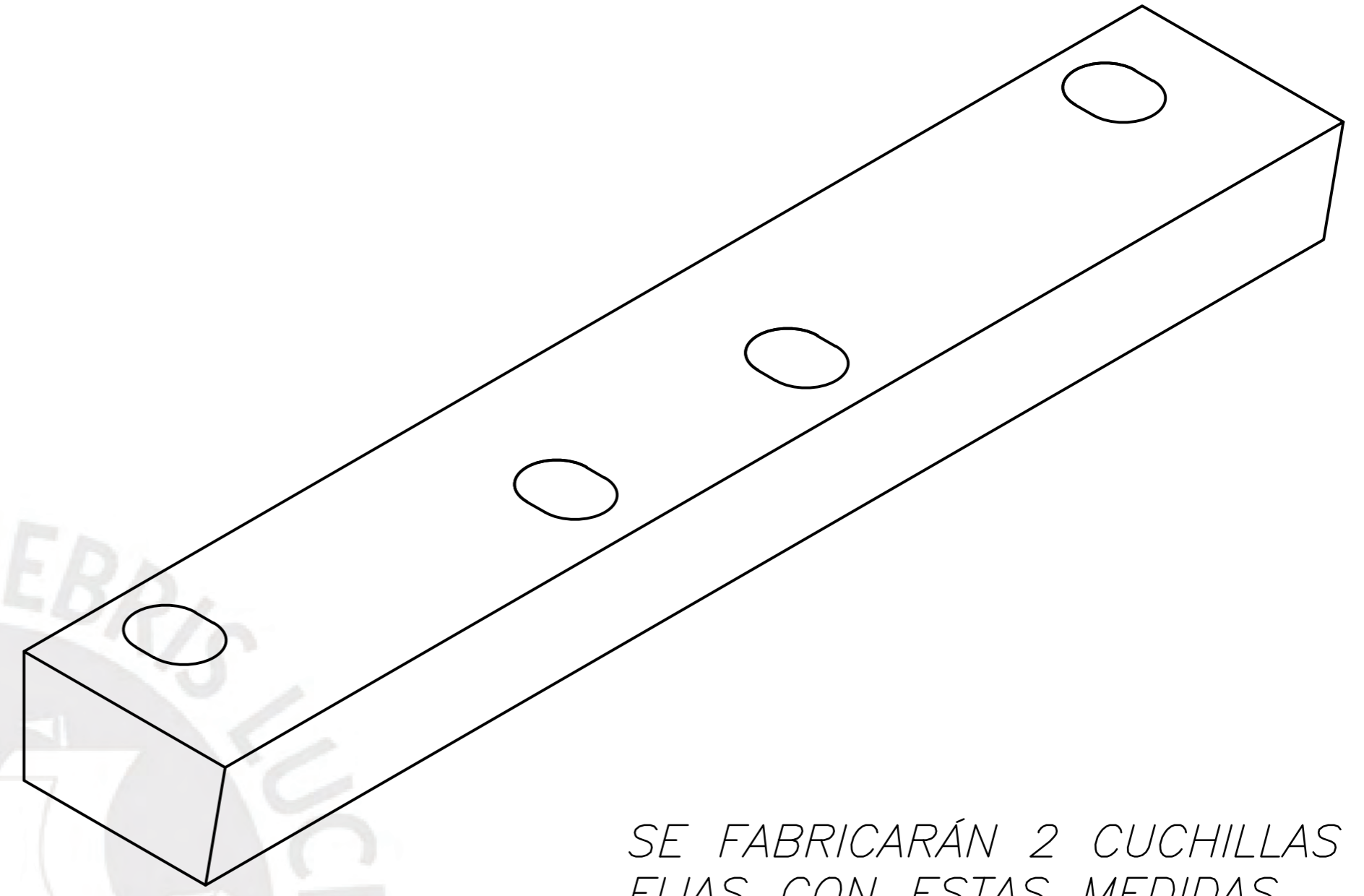
TODAS LAS PLANCHAS
USADAS SON DE 4mm
DE ESPESOR

TOLERANCIAS DIMENSIONALES SEGUN DIN 7168					
GRADO DE EXACTITUD	Más de 0,5 hasta 3	Más de 3 hasta 6	Más de 6 hasta 30	Más de 30 hasta 120	Más de 120 hasta 400
MEDIO	±0,1	±0,1	±0,2	±0,3	±0,5

ACABADO SUPERFICIAL	TOLERANCIA GENERAL SEGUN DIN 7168 - MEDIO	MATERIAL ASTM A36
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERIA - ESPECIALIDAD: ING. MECÁNICA		
METODO DE PROYECCION	PROYECTO DE TESIS	ESCALA
	GUARDA DE FAJAS Y POLEAS	1:2
ALUMNO	ORTIZ SÁENZ, ANDRÉS EDUARDO	FECHA: 25.04.2024
ASESORES	ACOSTA SULLCAHUAMAN, JULIO ARRIBASPLATA SEGUIN, ADAN	LAMINA: A2



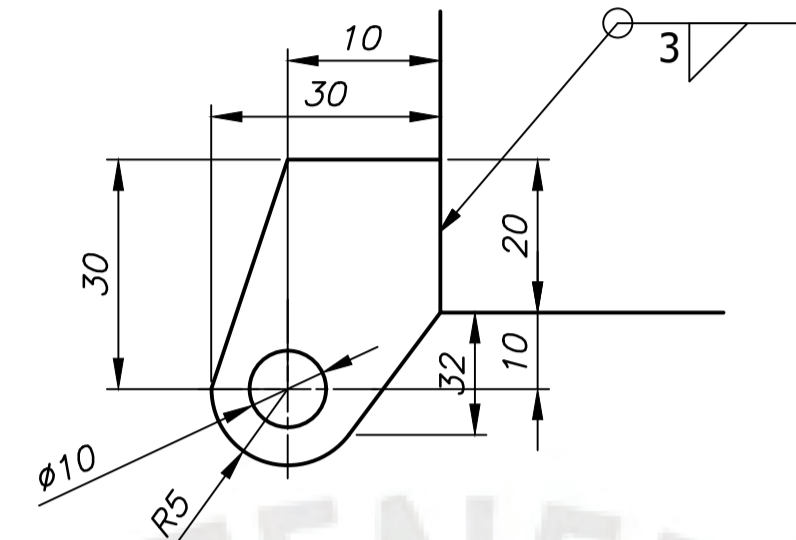
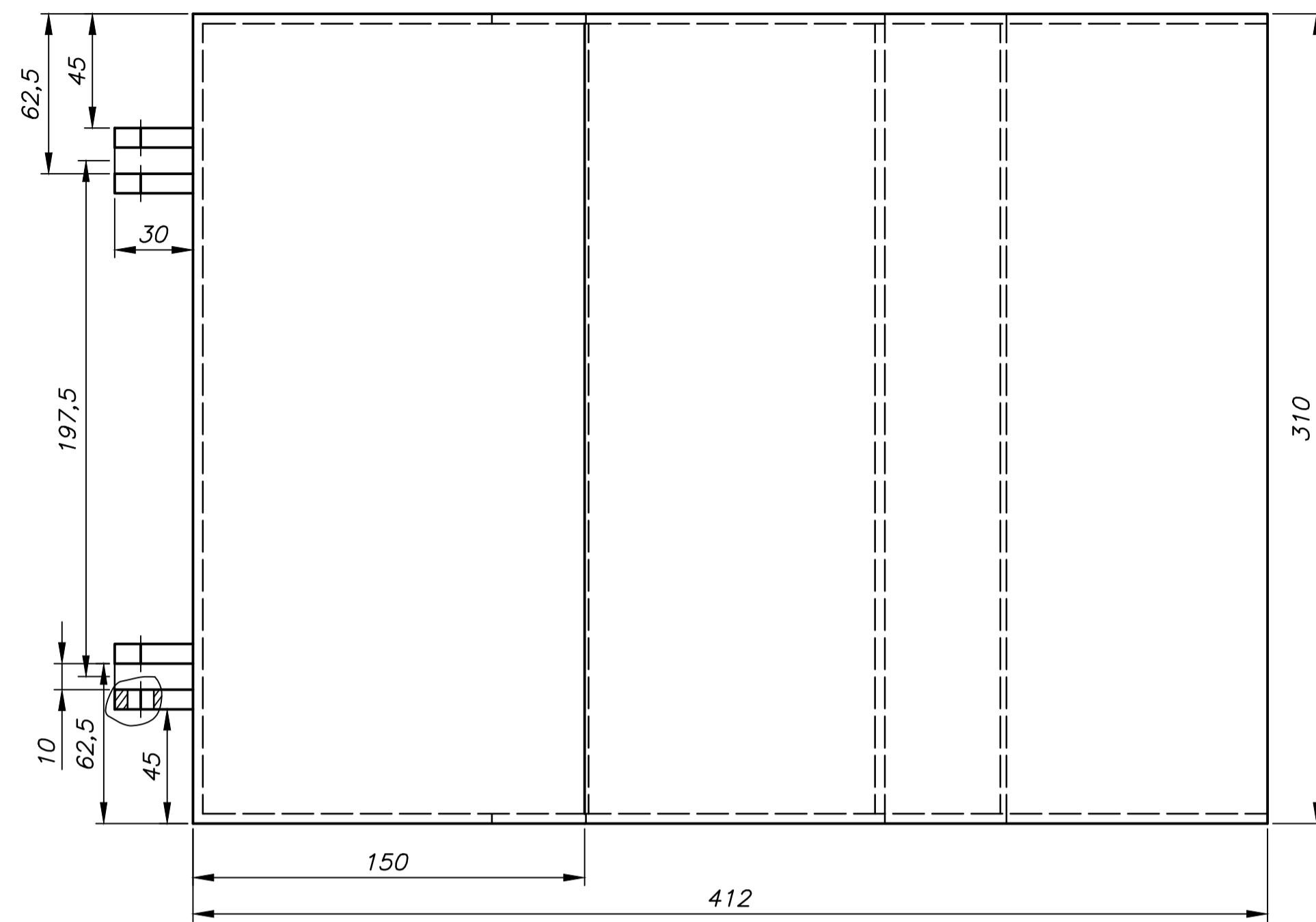
SECCIÓN A-A



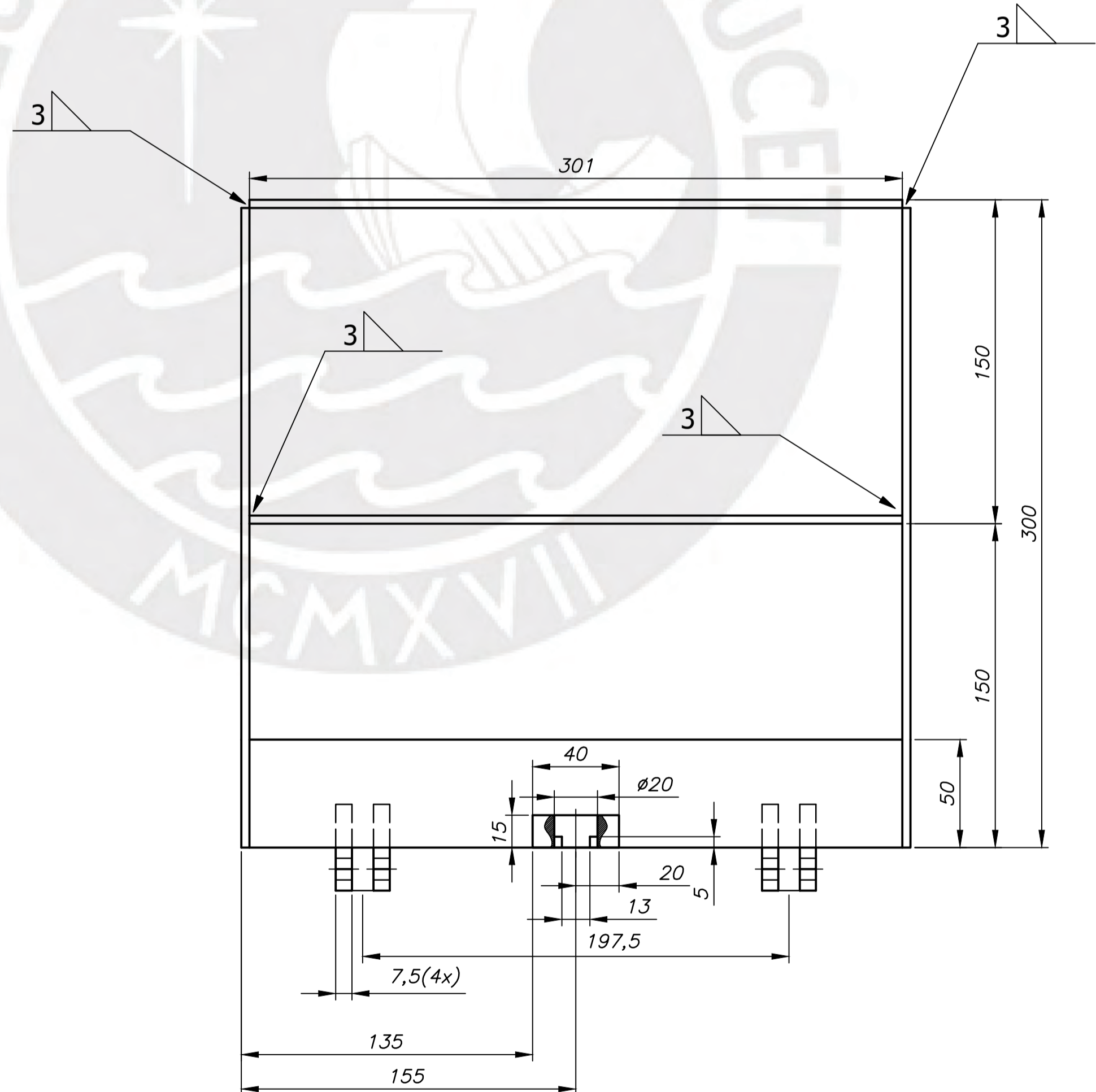
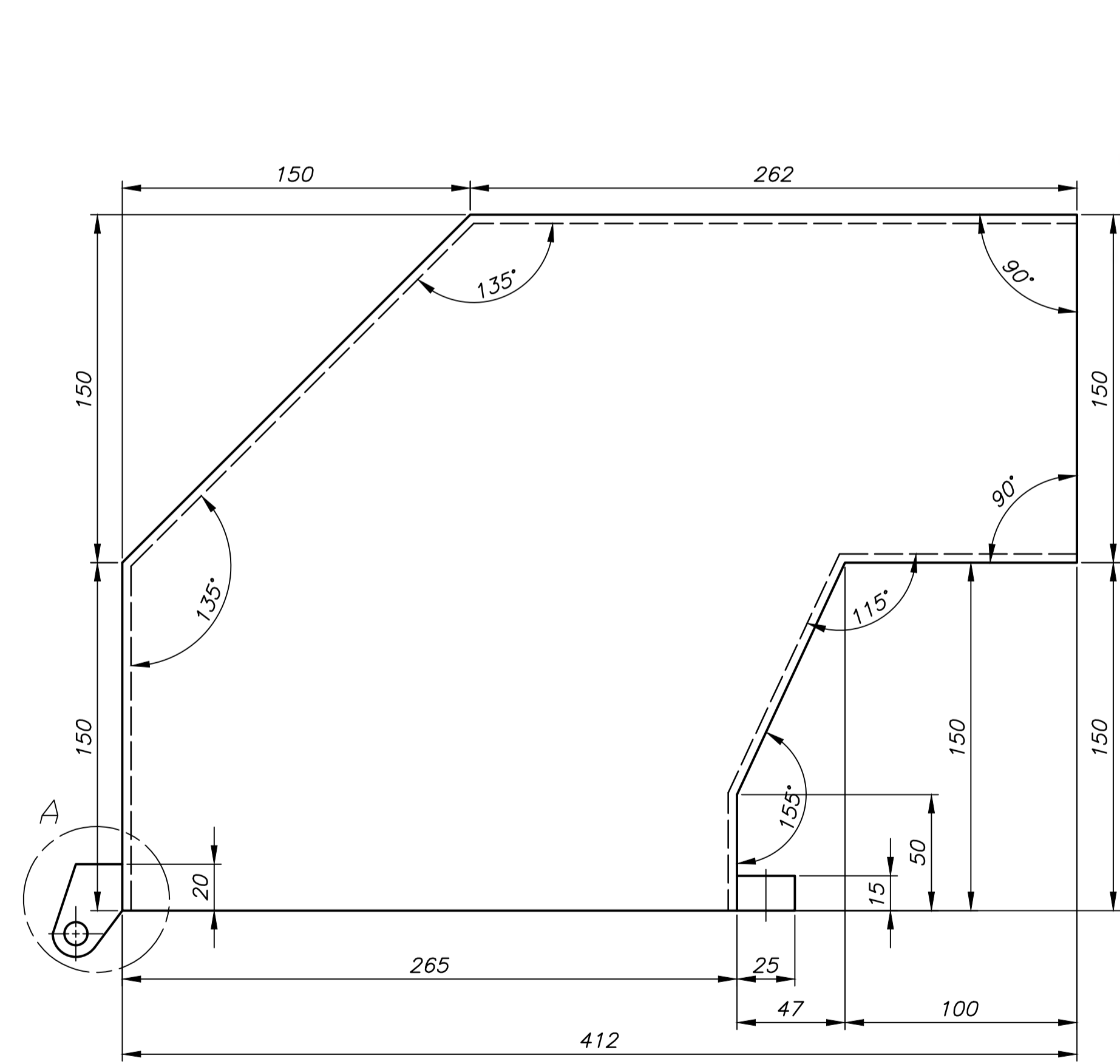
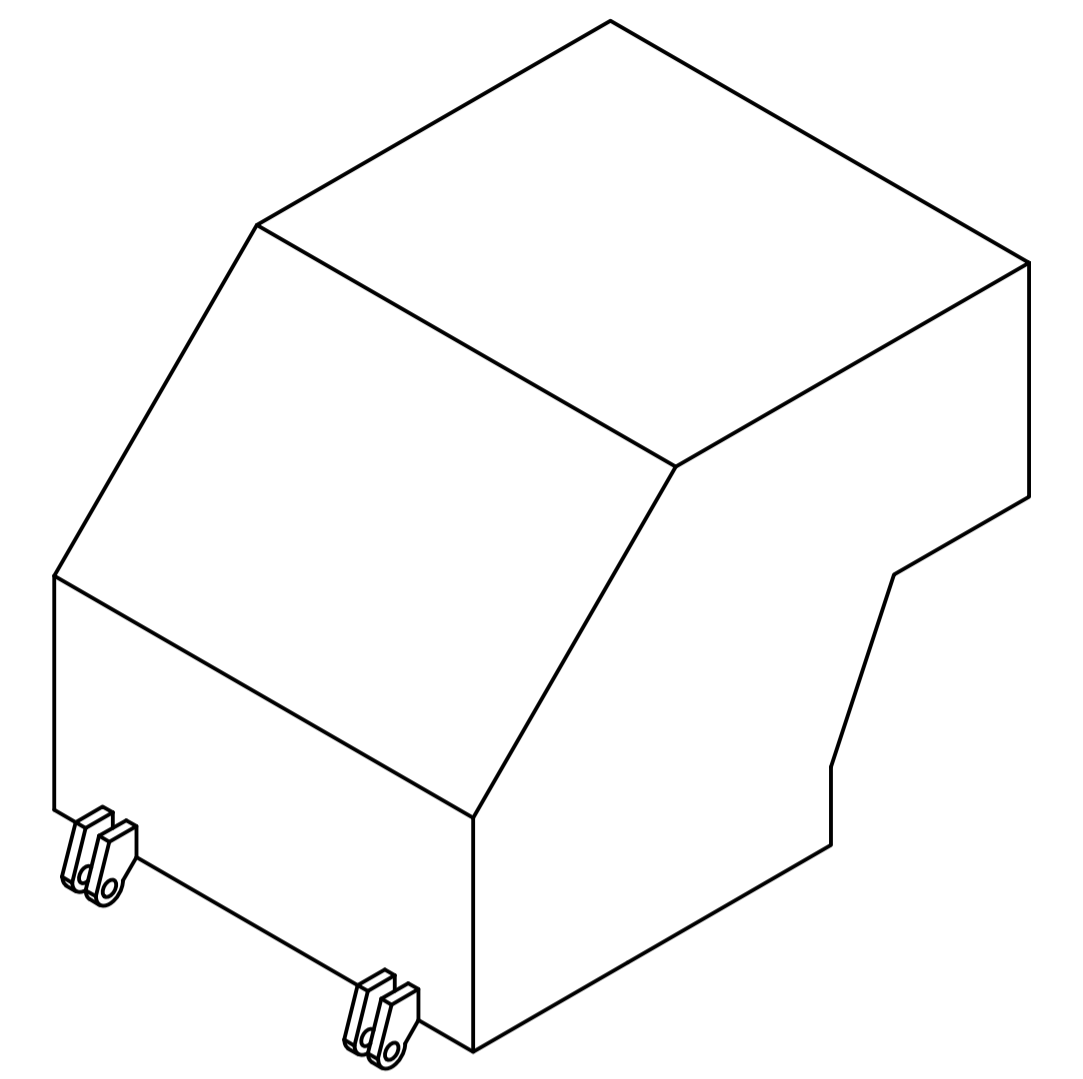
SE FABRICARÁN 2 CUCHILLAS FIJAS CON ESTAS MEDIDAS. LUEGO DE SER MECANIZADAS LAS PIEZAS, ESTAS SERÁN SOMETIDAS A UN TRATAMIENTO TÉRMICO DE TEMPLADO Y REVENIDO

TOLERANCIAS DIMENSIONALES SEGUN DIN 7168					
GRADO DE EXACTITUD	Más de 0,5 hasta 3	Más de 3 hasta 6	Más de 6 hasta 30	Más de 30 hasta 120	Más de 120 hasta 400
MEDIO	±0,1	±0,1	±0,2	±0,3	±0,5

ACABADO SUPERFICIAL 3,2/	TOLERANCIA GENERAL SEGUN DIN 7168 - MEDIO	MATERIAL AISI SAE D2
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERIA - ESPECIALIDAD: ING. MECÁNICA		
METODO DE PROYECCION 	PROYECTO DE TESIS CUCHILLA FIJA SUPERIOR	ESCALA 2:1
ALUMNO	ORTIZ SÁENZ, ANDRÉS EDUARDO	FECHA: 25.04.2024
ASESORES	ACOSTA SULLCAHUAMAN, JULIO ARRIBASPLATA SEGUIN, ADAN	LAMINA: A2



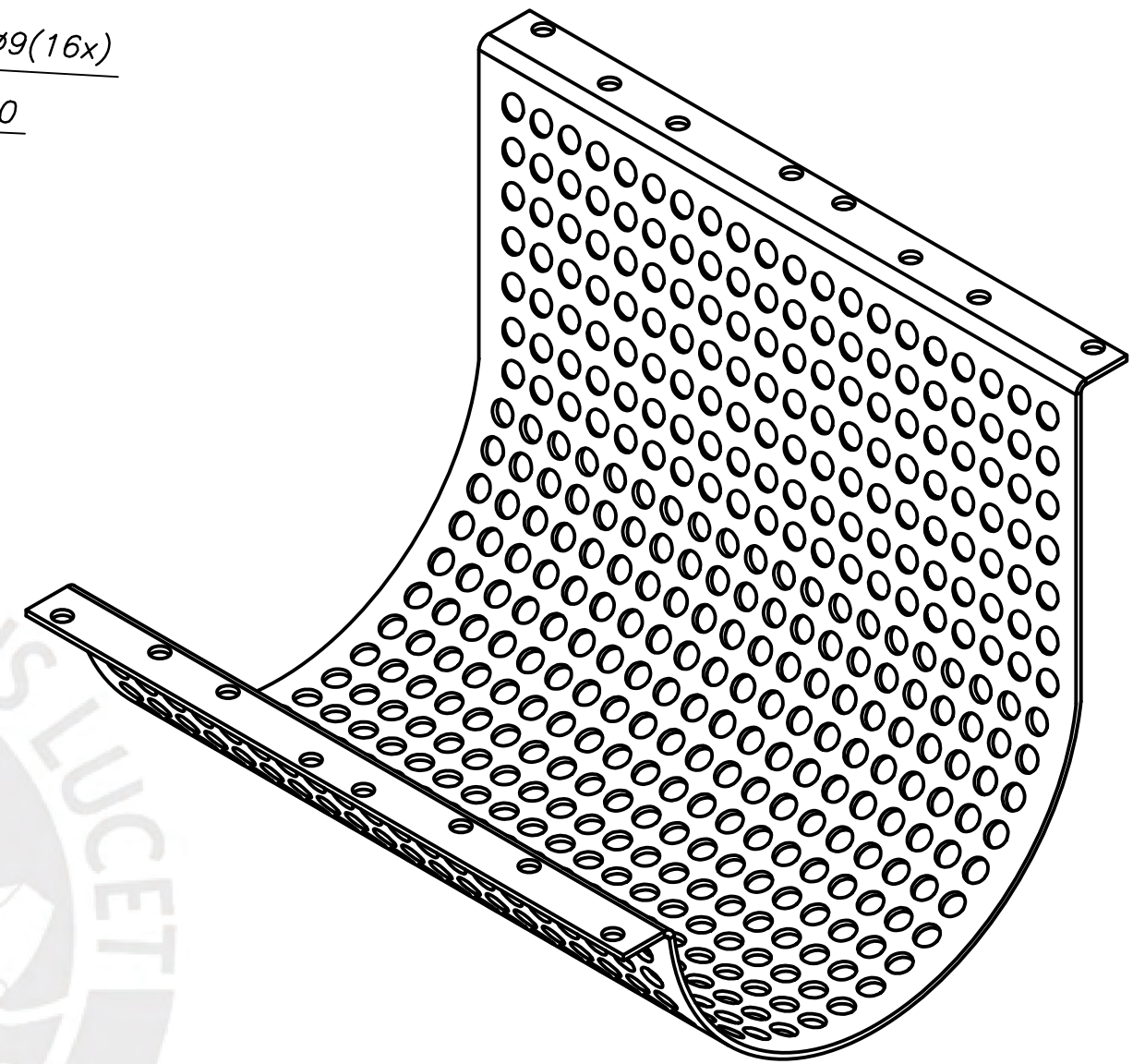
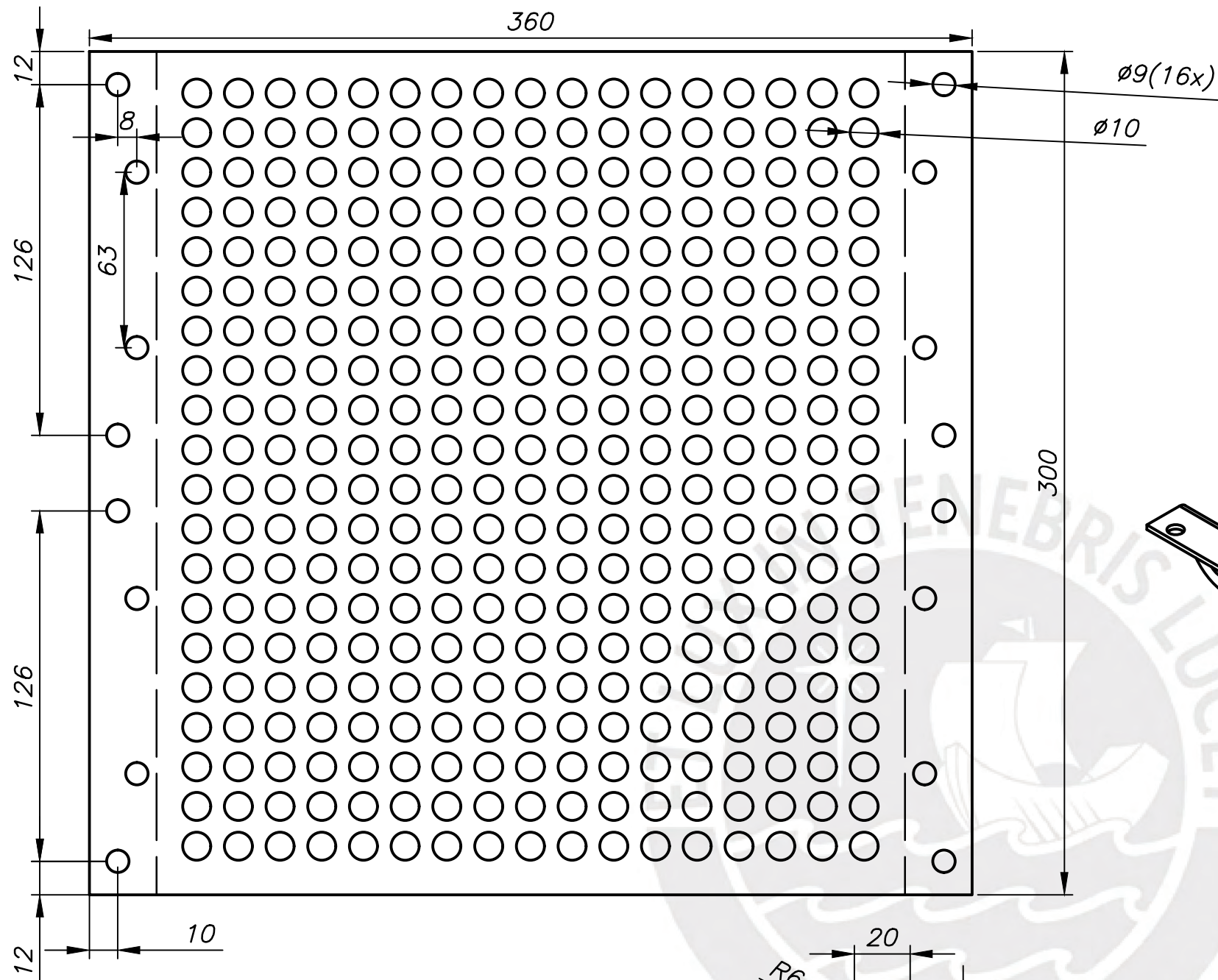
DETALLE A
ESCALA 1:1



TODAS LAS PLANCHAS SON DE 4.5 MM DE ESPESOR

TOLERANCIAS DIMENSIONALES SEGUN DIN 7168					
GRADO DE EXACTITUD	Más de 0,5 hasta 3	Más de 3 hasta 6	Más de 6 hasta 30	Más de 30 hasta 120	Más de 120 hasta 400
MEDIO	±0,1	±0,1	±0,2	±0,3	±0,5

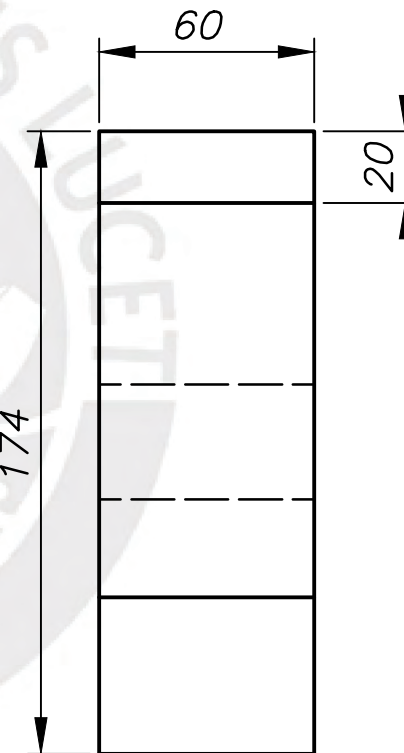
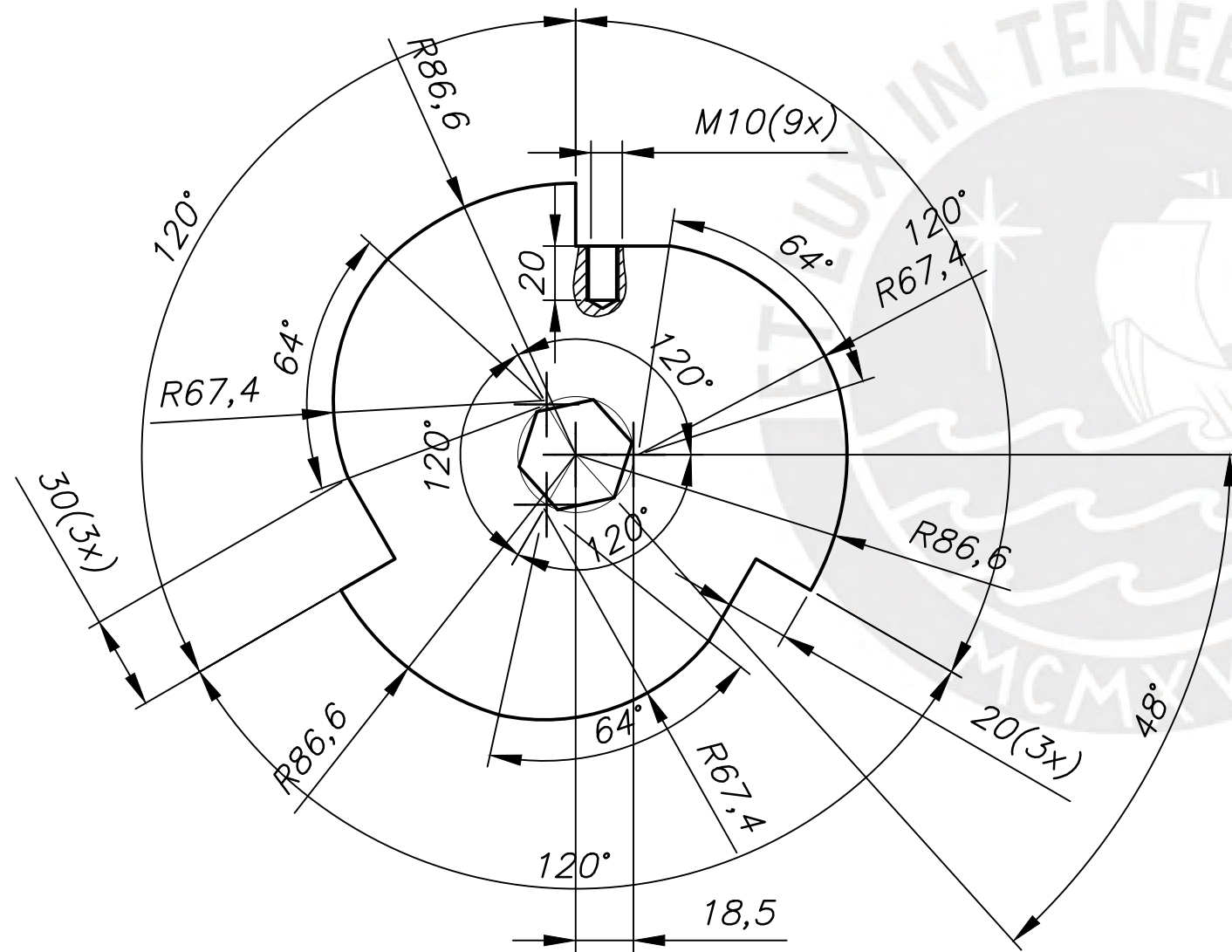
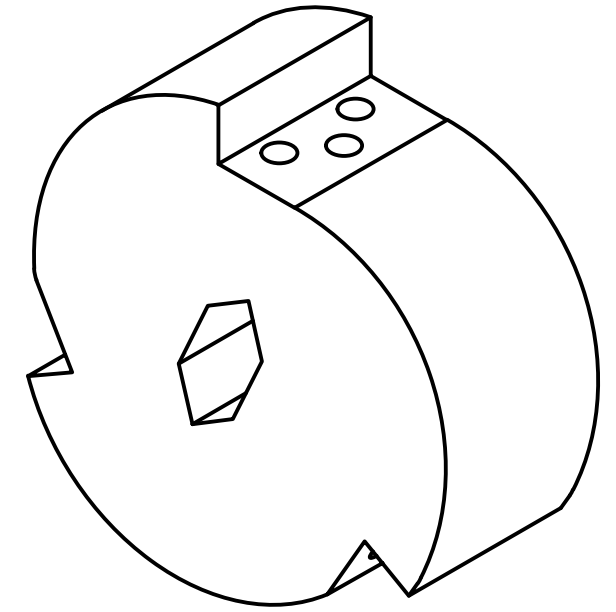
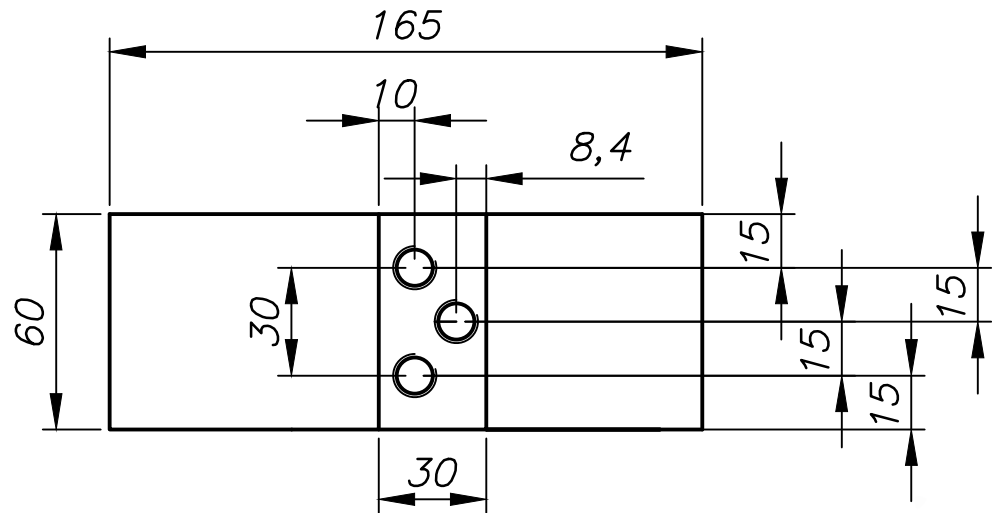
ACABADO SUPERFICIAL 3,2/√	TOLERANCIA GENERAL SEGUN DIN 7168 - MEDIO	MATERIAL ASTM A36
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERIA - ESPECIALIDAD: ING. MECÁNICA		
METODO DE PROYECCION First Angle Projection	PROYECTO DE TESIS TOLVA	ESCALA 1:2
ALUMNO	ORTIZ SÁENZ, ANDRÉS EDUARDO	FECHA: 25.04.2024
ASESORES	ACOSTA SULLCAHUAMAN, JULIO ARRIBASPLATA SEGUIN, ADAN	LAMINA: A1



Medidas según plancha perforada 360x300x3 mm

TOLERANCIAS DIMENSIONALES SEGUN DIN 7168					
GRADO DE EXACTITUD	Más de 0,5 hasta 3	Más de 3 hasta 6	Más de 6 hasta 30	Más de 30 hasta 120	Más de 120 hasta 400
MEDIO	±0,1	±0,1	±0,2	±0,3	±0,5

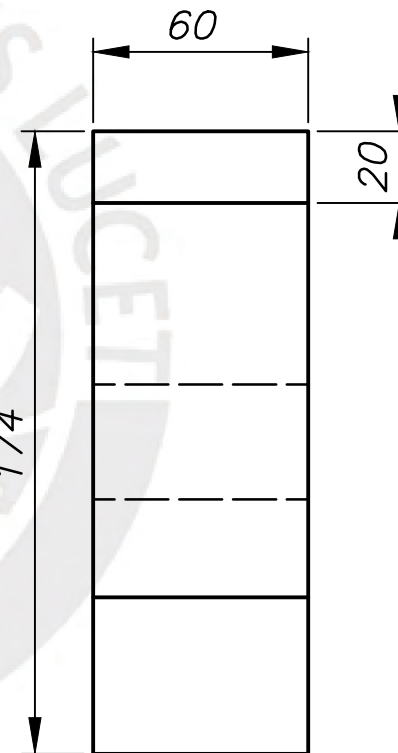
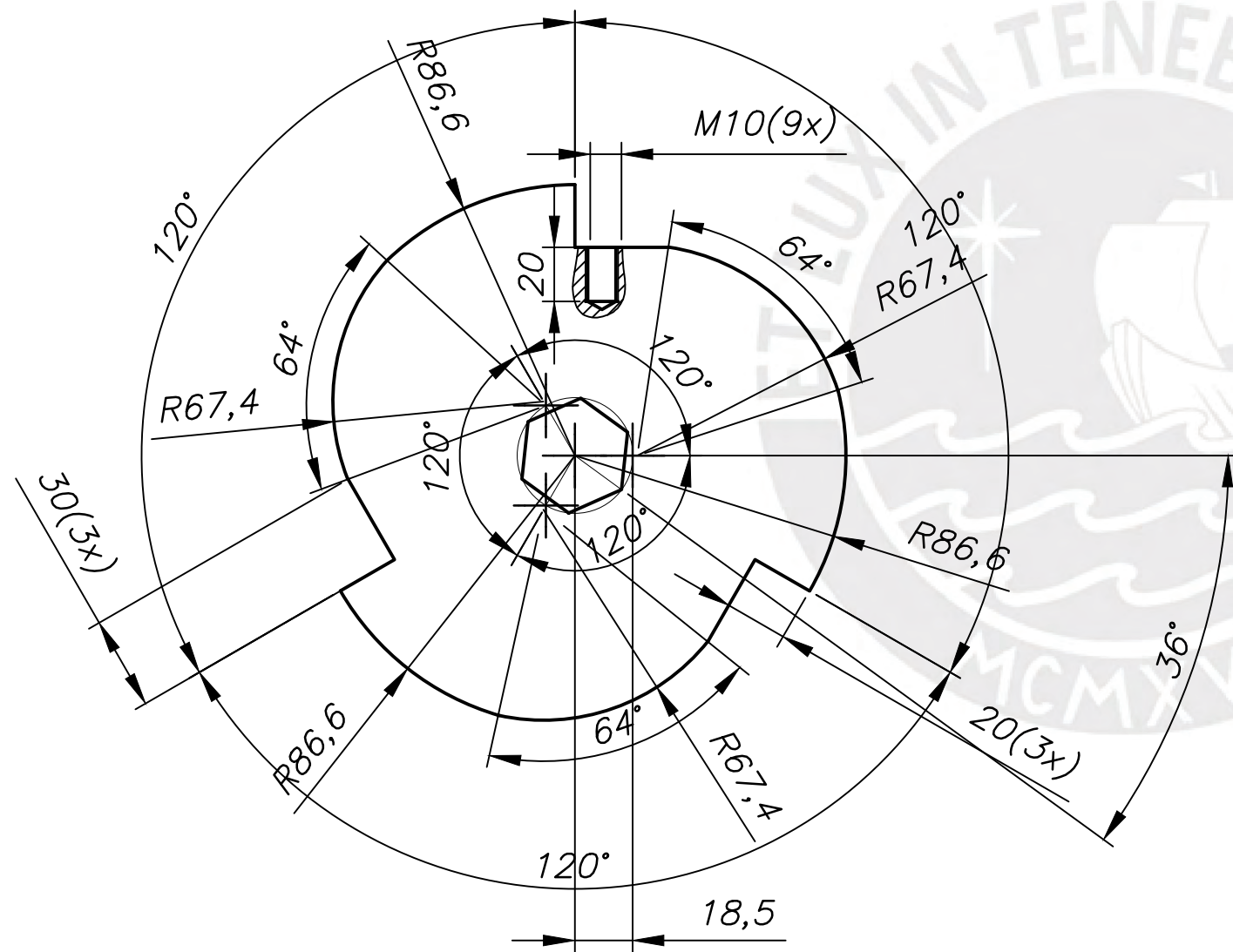
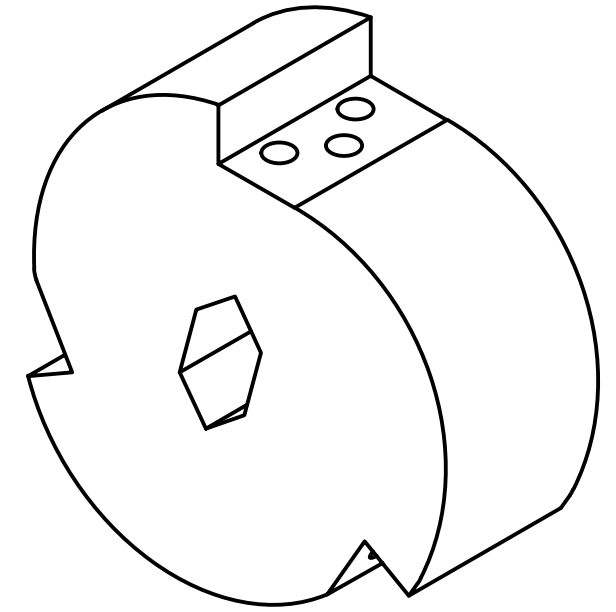
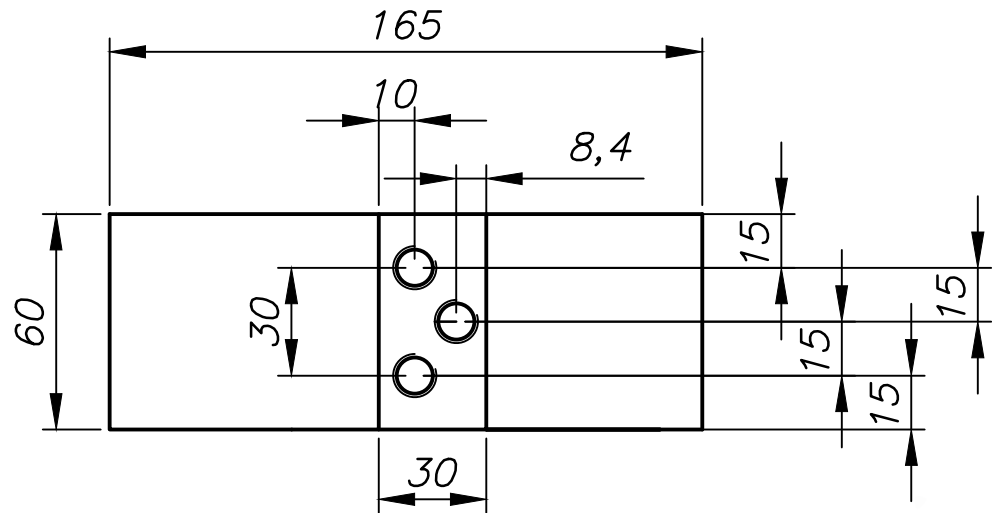
ACABADO SUPERFICIAL	TOLERANCIA GENERAL SEGUN DIN 7168 - MEDIO	MATERIAL AISI SAE 1020
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ ESTUDIOS GENERALES CIENCIAS - ESPECIALIDAD: ING. MECÁNICA		
METODO DE PROYECCIÓN	PROYECTO DE TESIS	ESCALA
	CUCHILLA FIJA	1:2
ALUMNO	ORTIZ SÁENZ, ANDRÉS EDUARDO	FECHA: 25.04.2024
ASESORES	ACOSTA SULLCAHUAMAN, JULIO ARRIBASPLATA SEGUIN, ADAN	LAMINA: A3



DESPUÉS DE UBICAR EL CENTRO Y TENIENDO EL RADIO DEL HEXÁGONO SE TRAZA UNA LÍNEA HORIZONTAL Y SE ROTA 48°, ESE NUEVO PUNTO SERÁ UNO DE LOS VÉRTICES DEL HEXÁGONO.

TOLERANCIAS DIMENSIONALES SEGUN DIN 7168					
GRADO DE EXACTITUD	Más de 0,5 hasta 3	Más de 3 hasta 6	Más de 6 hasta 30	Más de 30 hasta 120	Más de 120 hasta 400
MEDIO	±0,1	±0,1	±0,2	±0,3	±0,5

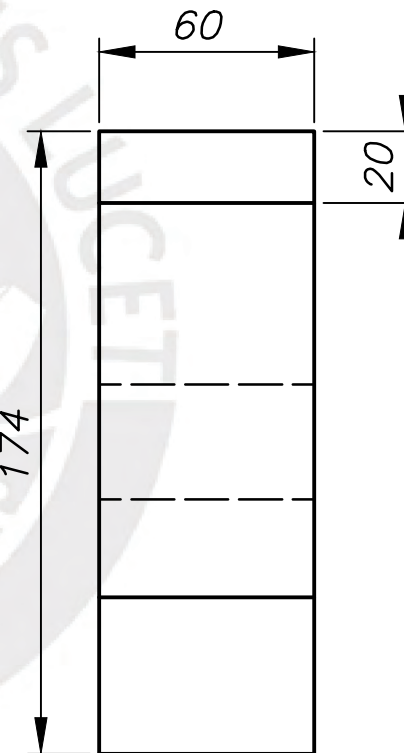
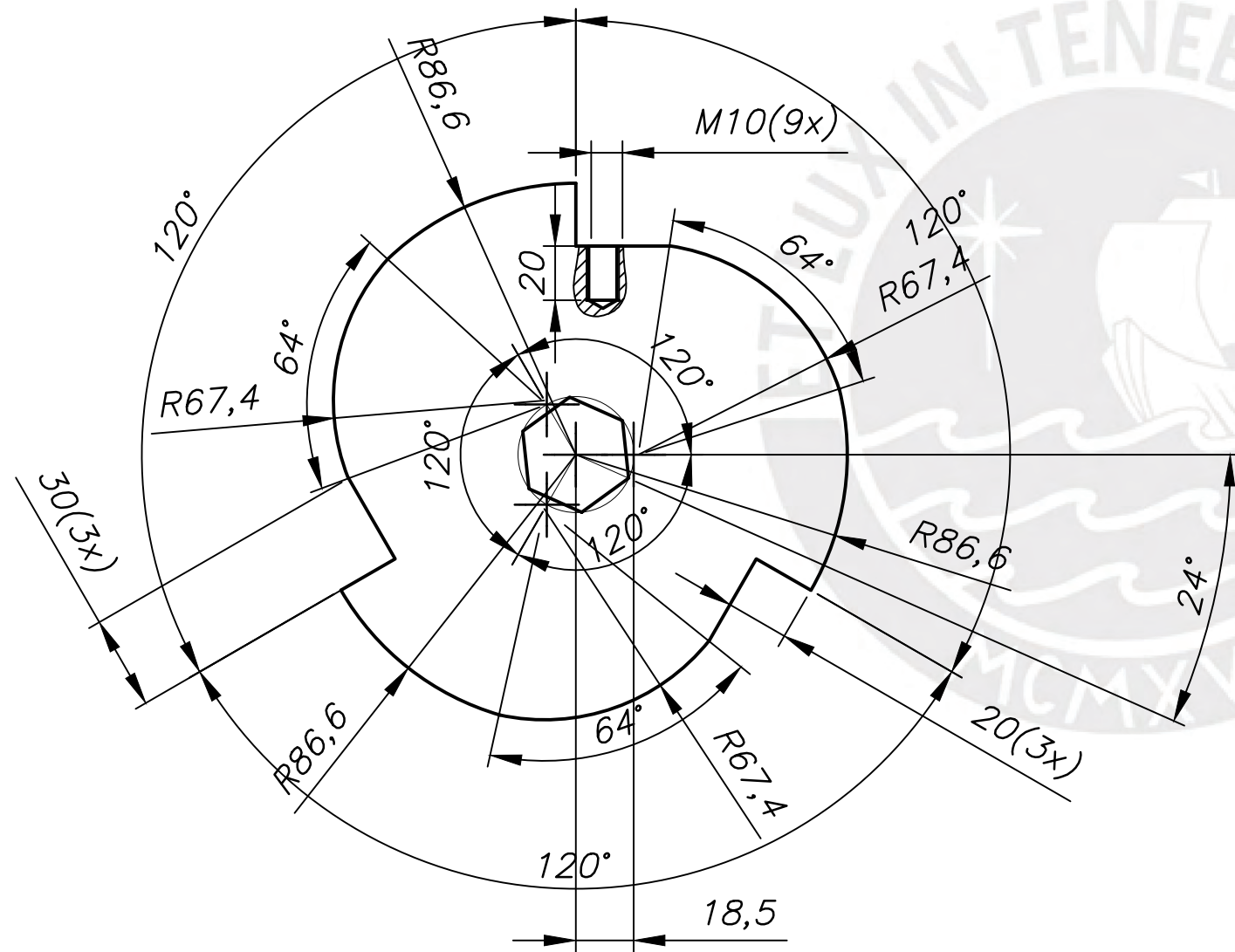
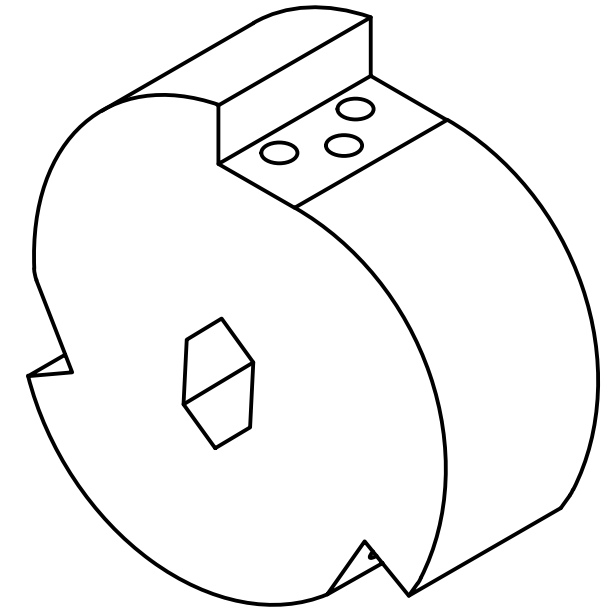
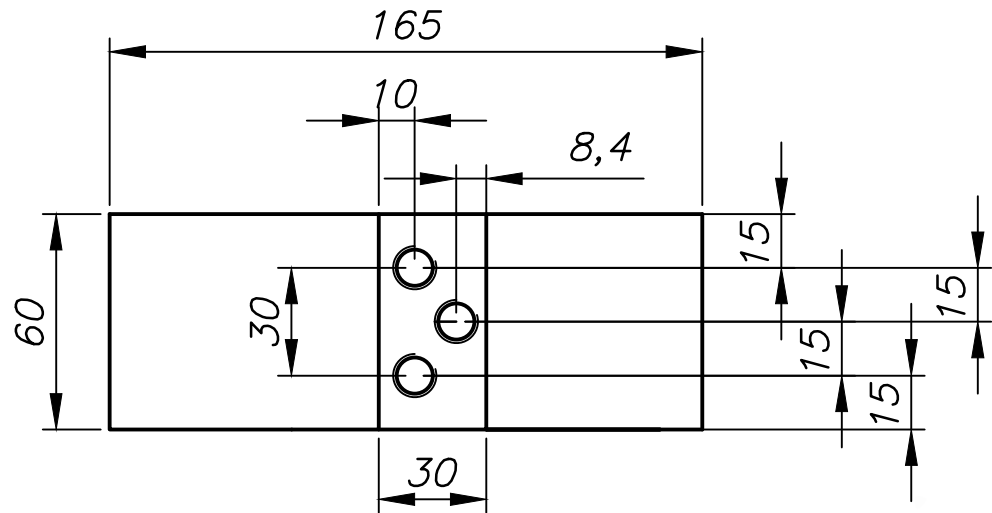
ACABADO SUPERFICIAL	TOLERANCIA GENERAL SEGUN DIN 7168	MATERIAL AISI 4140
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERIA – ESPECIALIDAD: ING. MECÁNICA		
METODO DE PROYECCIÓN	PROYECTO DE TESIS	ESCALA
	PORTA CUCHILLAS 5	1:2
ALUMNO	ORTIZ SÁENZ, ANDRÉS EDUARDO	FECHA: 04.08.2024
ASESORES	ACOSTA SULLCAHUAMAN, JULIO ARRIBASPLATA SEGUIN, ADAN	LAMINA: A3



DESPUÉS DE UBICAR EL CENTRO Y TENIENDO EL RADIO DEL HEXÁGONO SE TRAZA UNA LÍNEA HORIZONTAL Y SE ROTA 36°, ESE NUEVO PUNTO SERÁ UNO DE LOS VÉRTICES DEL HEXÁGONO.

TOLERANCIAS DIMENSIONALES SEGUN DIN 7168					
GRADO DE EXACTITUD	Más de 0,5 hasta 3	Más de 3 hasta 6	Más de 6 hasta 30	Más de 30 hasta 120	Más de 120 hasta 400
MEDIO	±0,1	±0,1	±0,2	±0,3	±0,5

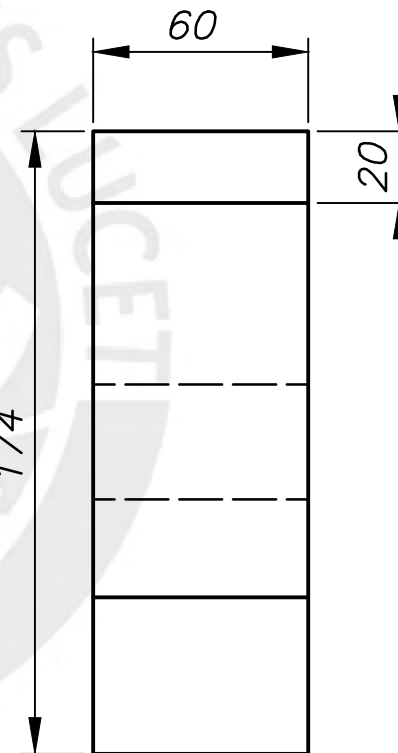
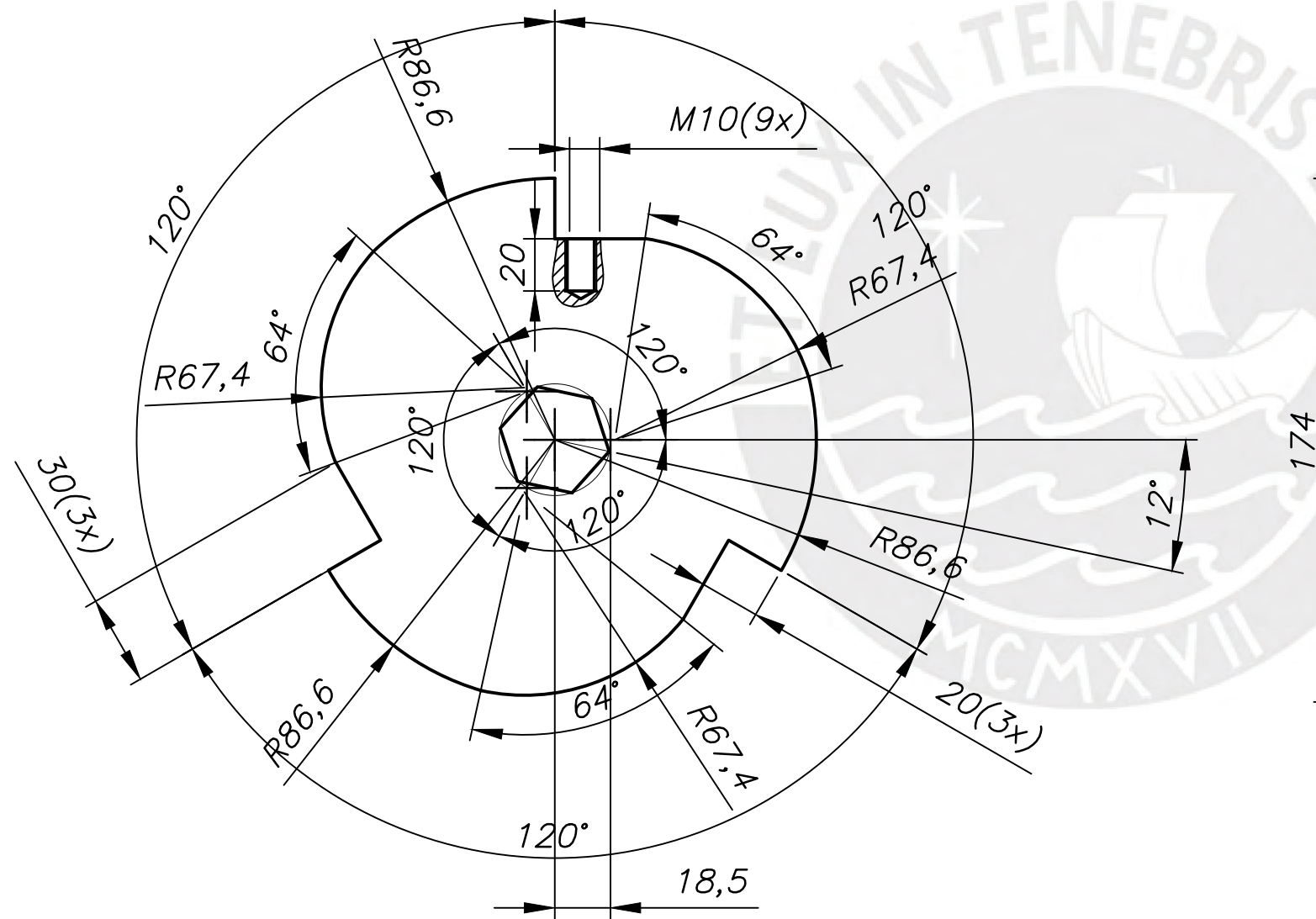
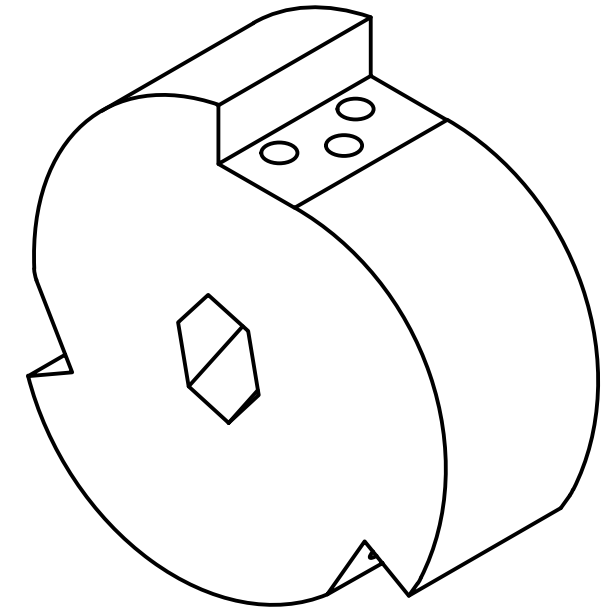
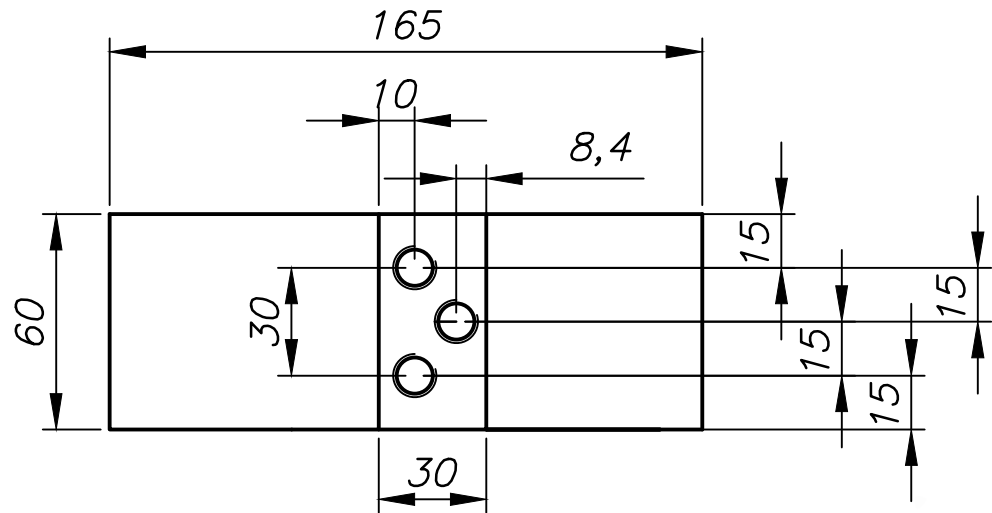
ACABADO SUPERFICIAL	TOLERANCIA GENERAL SEGUN DIN 7168	MATERIAL AISI 4140
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERIA – ESPECIALIDAD: ING. MECÁNICA		
METODO DE PROYECCIÓN	PROYECTO DE TESIS	ESCALA
	PORTA CUCHILLAS 4	1:2
ALUMNO	ORTIZ SÁENZ, ANDRÉS EDUARDO	FECHA: 04.08.2024
ASESORES	ACOSTA SULLCAHUAMAN, JULIO ARRIBASPLATA SEGUIN, ADAN	LAMINA: A3



DESPUÉS DE UBICAR EL CENTRO Y TENIENDO EL RADIO DEL HEXÁGONO SE TRAZA UNA LÍNEA HORIZONTAL Y SE ROTA 24°, ESE NUEVO PUNTO SERÁ UNO DE LOS VÉRTICES DEL HEXÁGONO.

TOLERANCIAS DIMENSIONALES SEGUN DIN 7168					
GRADO DE EXACTITUD	Más de 0,5 hasta 3	Más de 3 hasta 6	Más de 6 hasta 30	Más de 30 hasta 120	Más de 120 hasta 400
MEDIO	±0,1	±0,1	±0,2	±0,3	±0,5

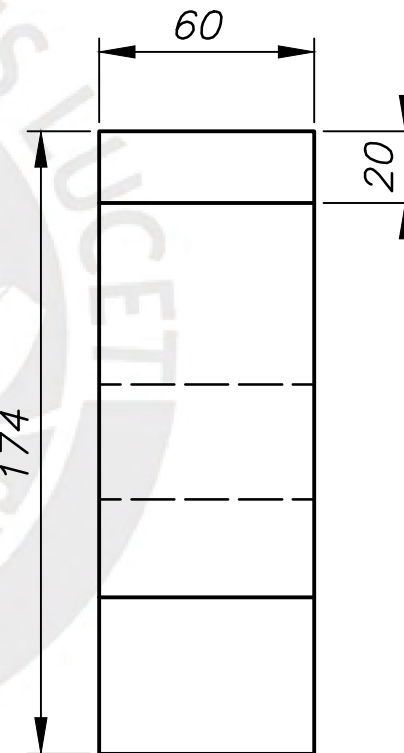
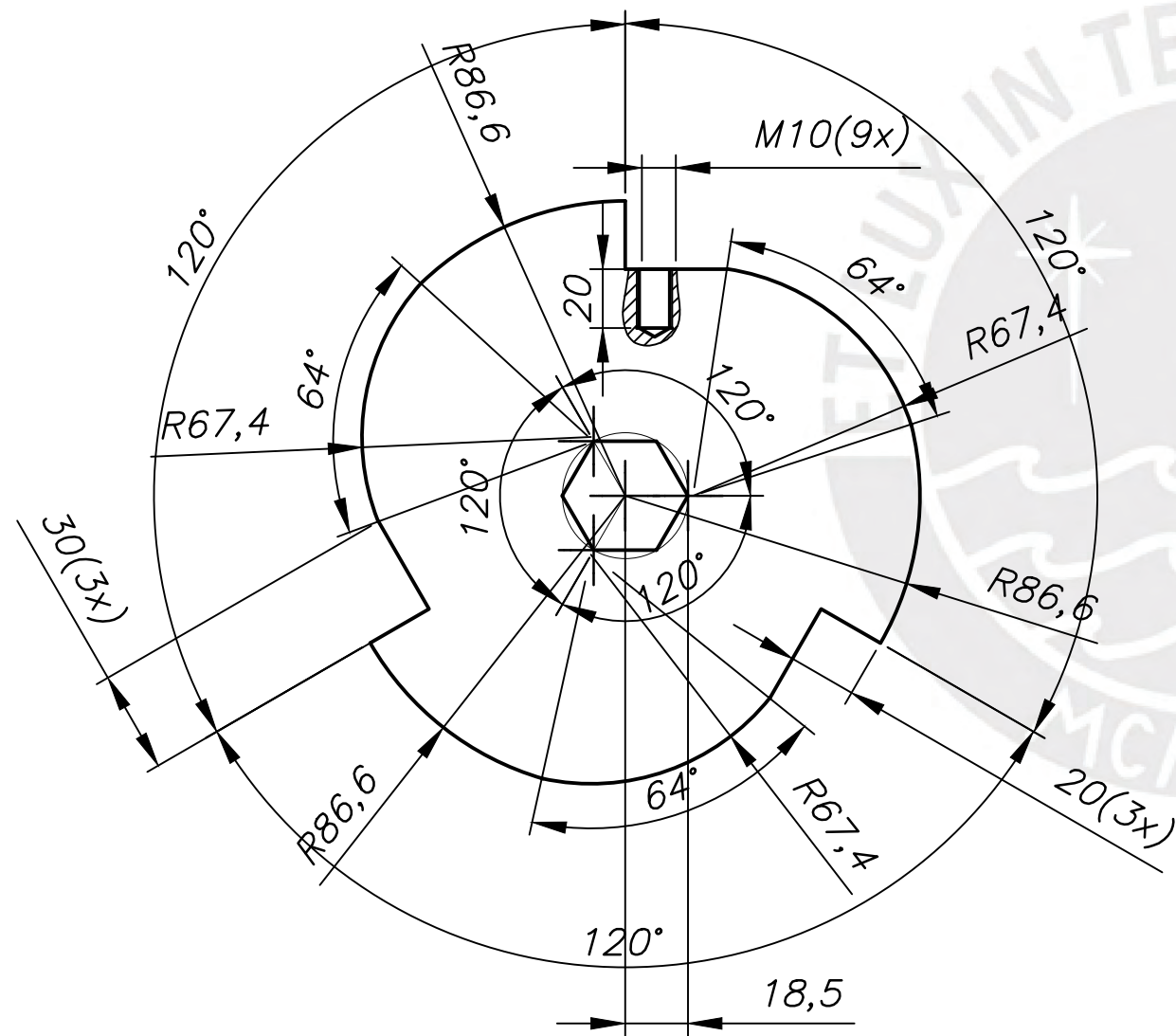
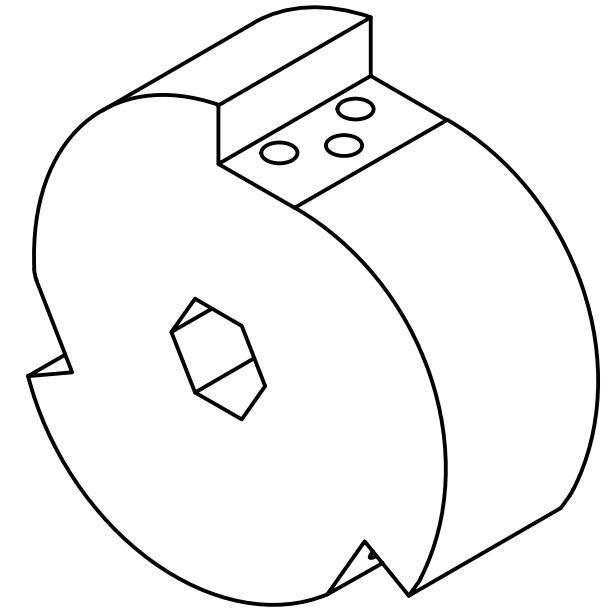
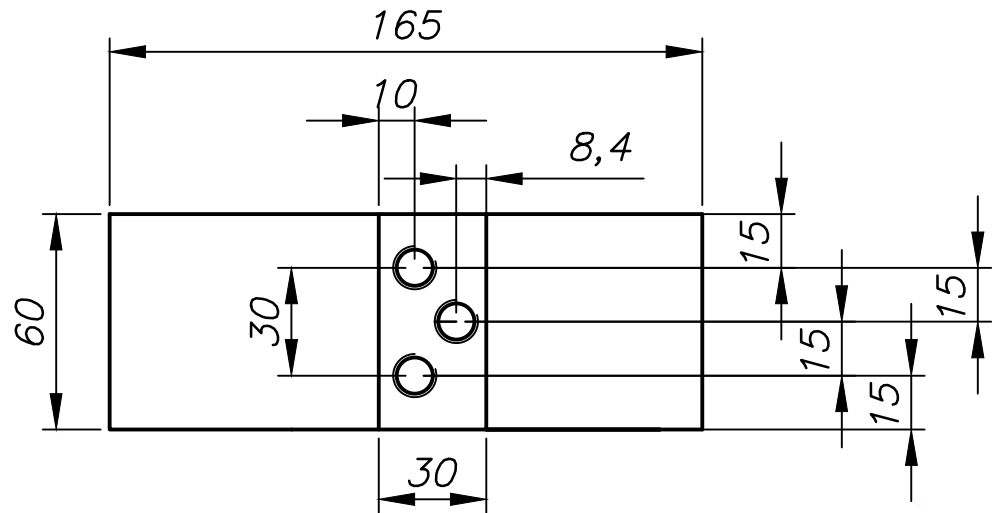
ACABADO SUPERFICIAL	TOLERANCIA GENERAL SEGUN DIN 7168	MATERIAL AISI 4140
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERIA – ESPECIALIDAD: ING. MECÁNICA		
METODO DE PROYECCIÓN	PROYECTO DE TESIS	ESCALA
	PORTA CUCHILLAS 3	1:2
ALUMNO	ORTIZ SÁENZ, ANDRÉS EDUARDO	FECHA: 04.08.2024
ASESORES	ACOSTA SULLCAHUAMAN, JULIO ARRIBASPLATA SEGUIN, ADAN	LAMINA: A3



DESPUÉS DE UBICAR EL CENTRO Y TENIENDO EL RADIO DEL HEXÁGONO SE TRAZA UNA LÍNEA HORIZONTAL Y SE ROTA 12°, ESE NUEVO PUNTO SERÁ UNO DE LOS VÉRTICES DEL HEXÁGONO.

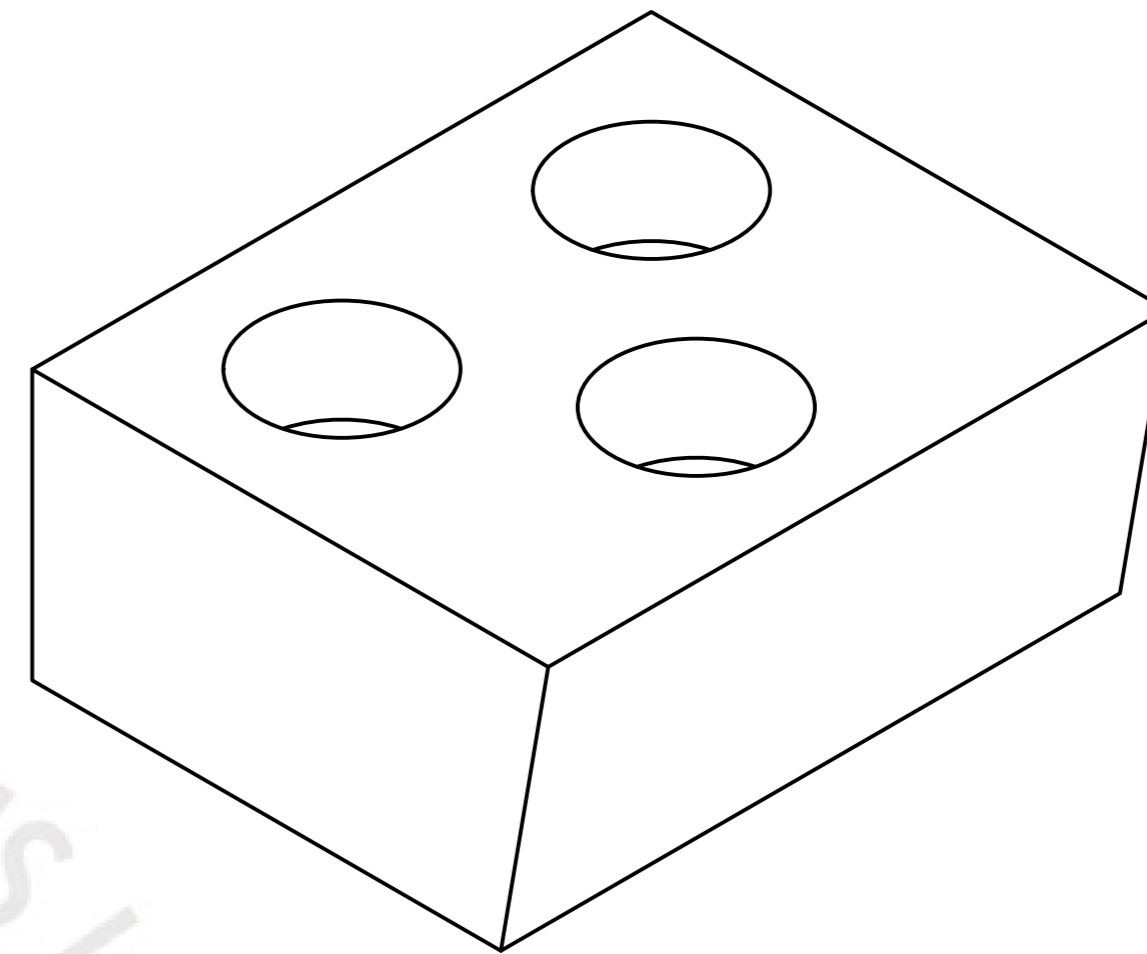
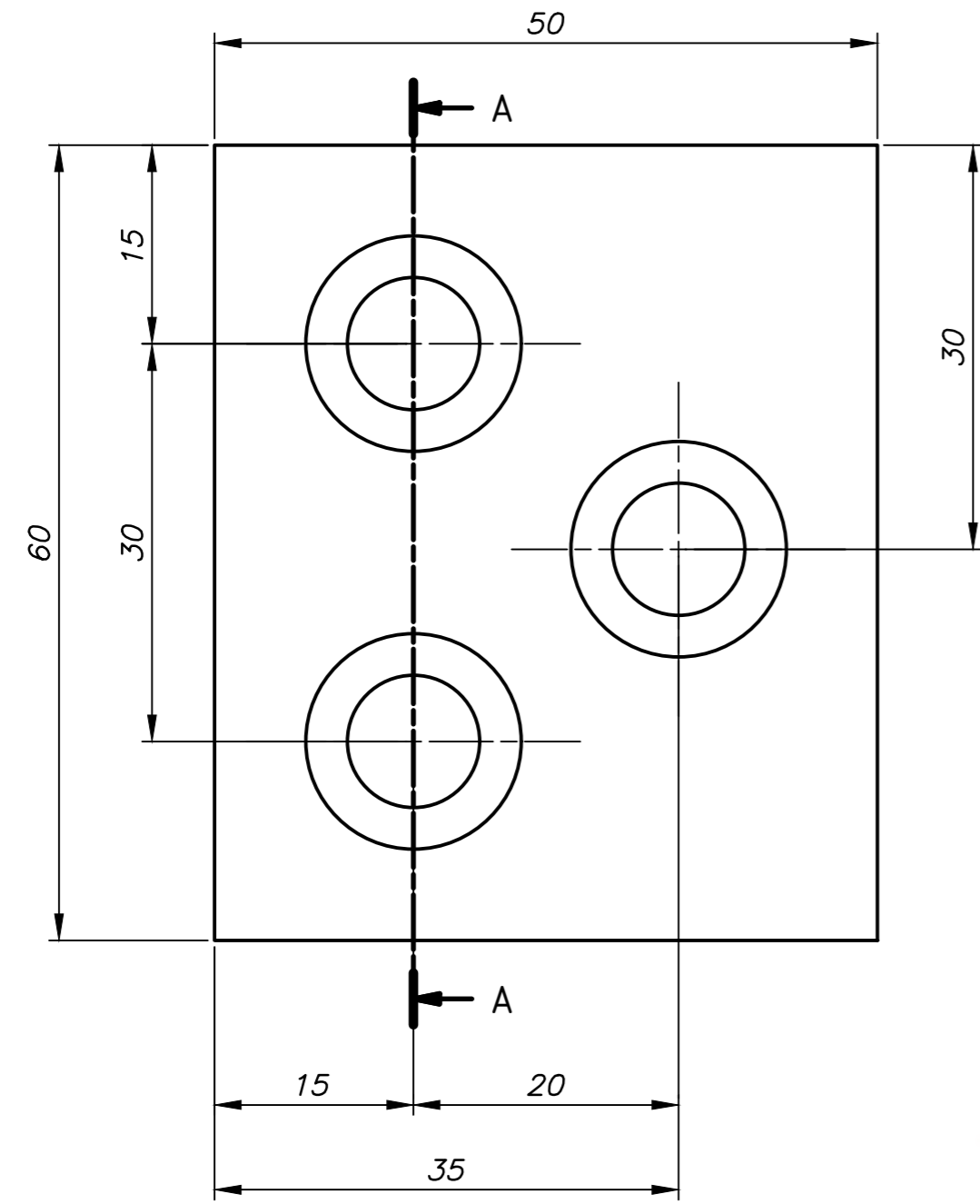
TOLERANCIAS DIMENSIONALES SEGUN DIN 7168					
GRADO DE EXACTITUD	Más de 0,5 hasta 3	Más de 3 hasta 6	Más de 6 hasta 30	Más de 30 hasta 120	Más de 120 hasta 400
MEDIO	±0,1	±0,1	±0,2	±0,3	±0,5

ACABADO SUPERFICIAL	TOLERANCIA GENERAL SEGUN DIN 7168	MATERIAL AISI 4140
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERIA – ESPECIALIDAD: ING. MECÁNICA		
METODO DE PROYECCIÓN	PROYECTO DE TESIS	ESCALA
	PORTA CUCHILLAS 2	1:2
ALUMNO	ORTIZ SÁENZ, ANDRÉS EDUARDO	FECHA: 04.08.2024
ASESORES	ACOSTA SULLCAHUAMAN, JULIO ARRIBASPLATA SEGUIN, ADAN	LAMINA: A3

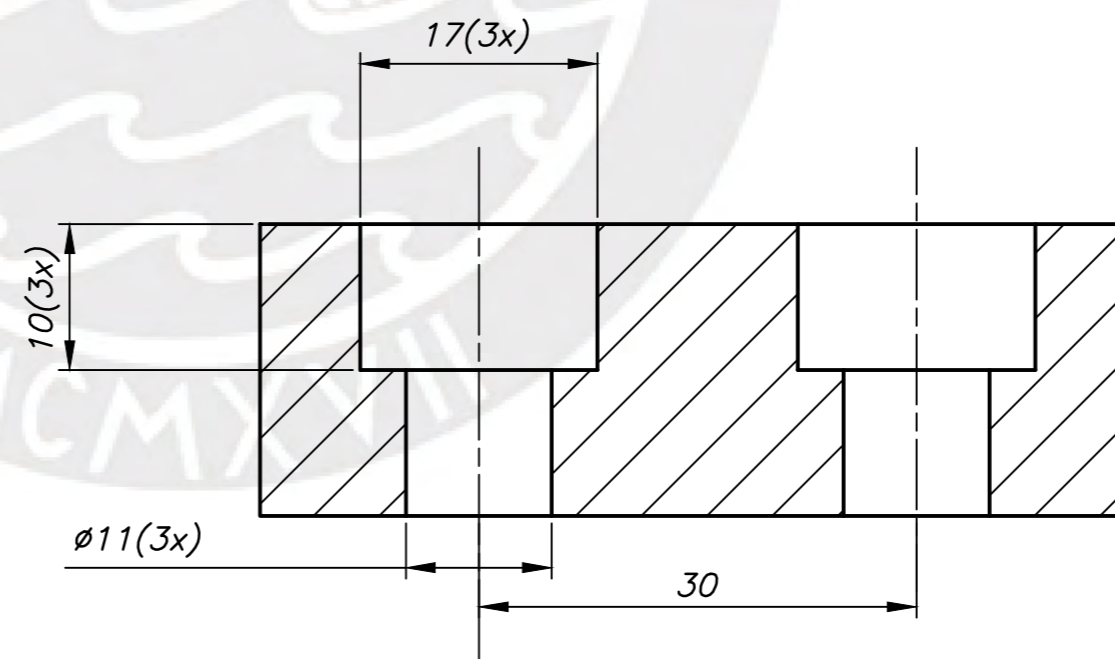
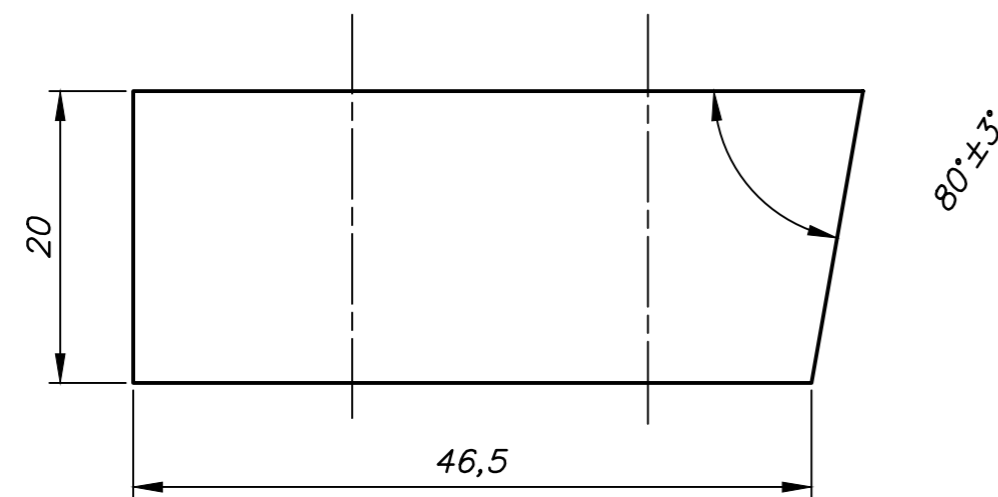


TOLERANCIAS DIMENSIONALES SEGUN DIN 7168					
GRADO DE EXACTITUD	Más de 0,5 hasta 3	Más de 3 hasta 6	Más de 6 hasta 30	Más de 30 hasta 120	Más de 120 hasta 400
MEDIO	±0,1	±0,1	±0,2	±0,3	±0,5

ACABADO SUPERFICIAL	TOLERANCIA GENERAL SEGUN DIN 7168	MATERIAL AISI 4140
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERIA – ESPECIALIDAD: ING. MECÁNICA		
METODO DE PROYECCIÓN	PROYECTO DE TESIS	ESCALA
	PORTA CUCHILLAS 1	1:2
ALUMNO	ORTIZ SÁENZ, ANDRÉS EDUARDO	FECHA: 04.08.2024
ASESORES	ACOSTA SULLCAHUAMAN, JULIO ARRIBASPLATA SEGUIN, ADAN	LAMINA: A3



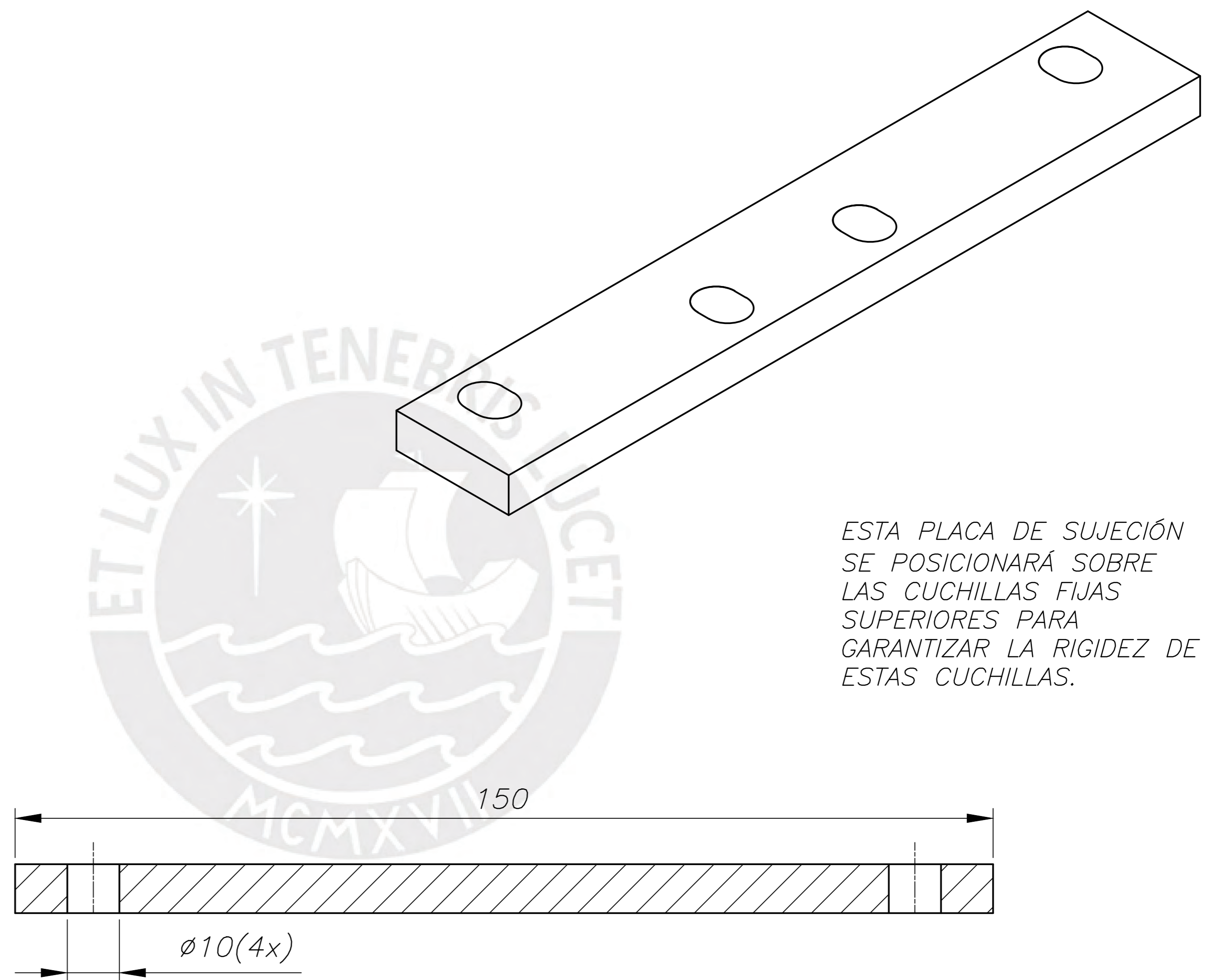
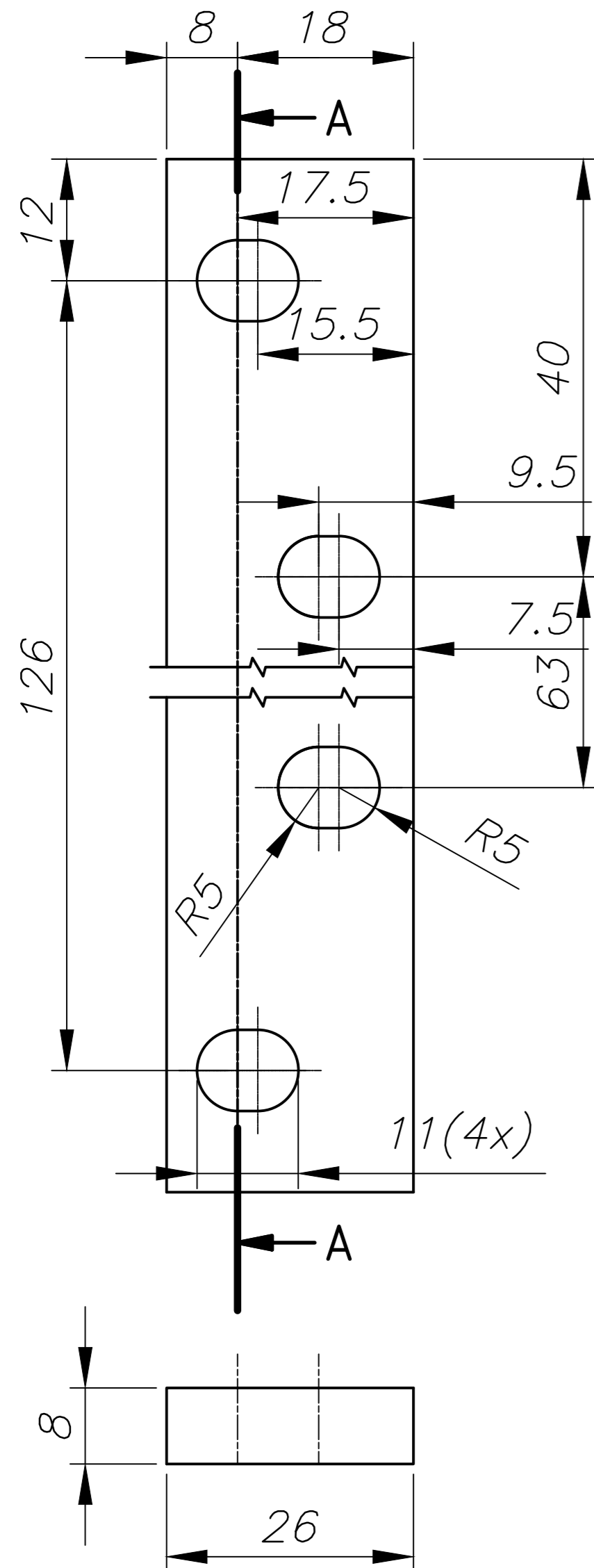
SE FABRICARÁN 15
CUCHILLAS MÓVILES
CON ESTAS MEDIDAS



SECCIÓN A-A

TOLERANCIAS DIMENSIONALES SEGUN DIN 7168					
GRADO DE EXACTITUD	Más de 0,5 hasta 3	Más de 3 hasta 6	Más de 6 hasta 30	Más de 30 hasta 120	Más de 120 hasta 400
MEDIO	±0,1	±0,1	±0,2	±0,3	±0,5

ACABADO SUPERFICIAL 3,2/	TOLERANCIA GENERAL SEGUN DIN 7168 - MEDIO	MATERIAL AISI SAE D2
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERIA - ESPECIALIDAD: ING. MECÁNICA		
METODO DE PROYECCION 	PROYECTO DE TESIS CUCHILLA MÓVIL	ESCALA 2:1
ALUMNO	ORTIZ SÁENZ, ANDRÉS EDUARDO	FECHA: 25.04.2024
ASESORES	ACOSTA SULLCAHUAMAN, JULIO ARRIBASPLATA SEGUIN, ADAN	LAMINA: A2

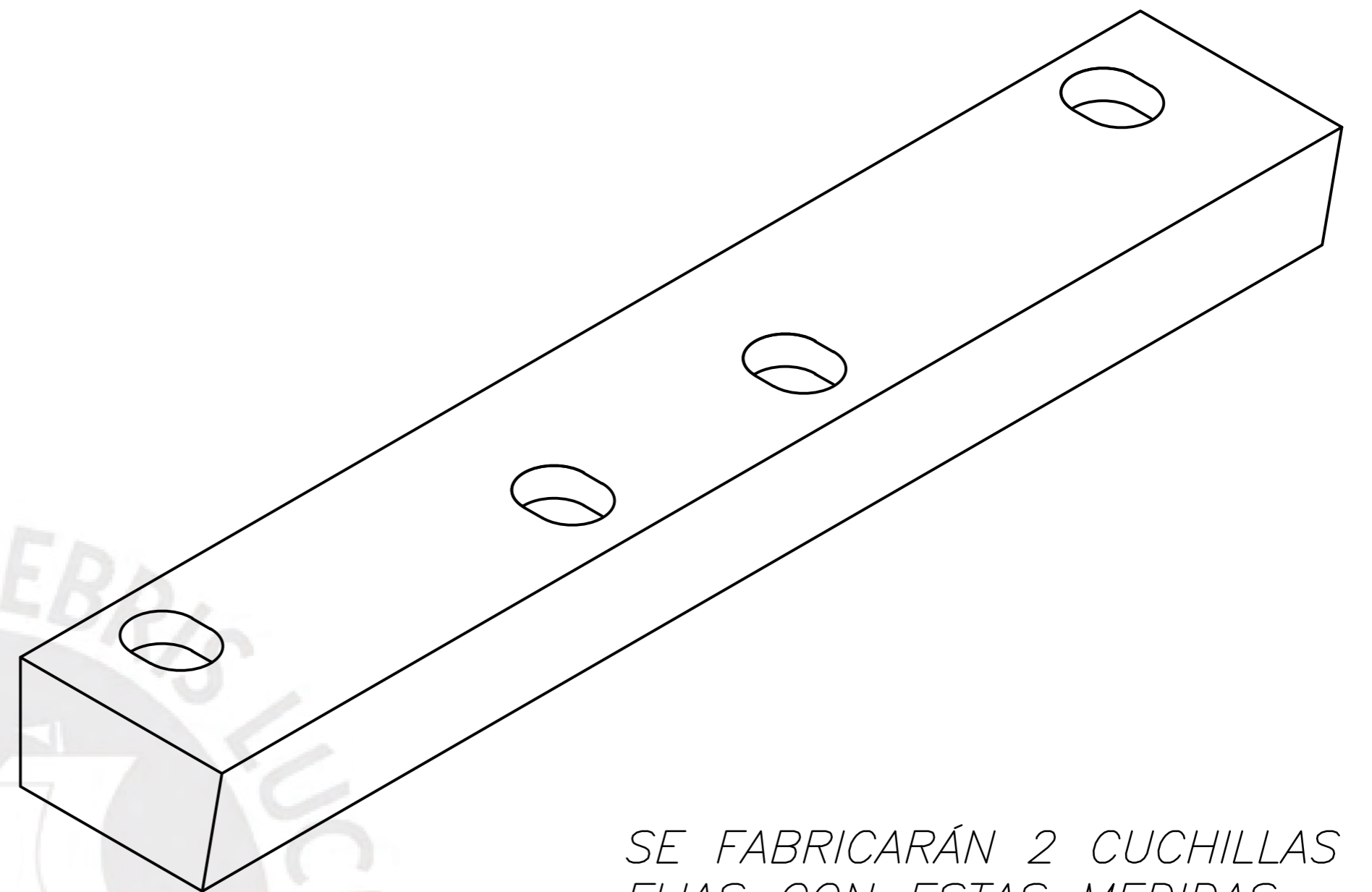
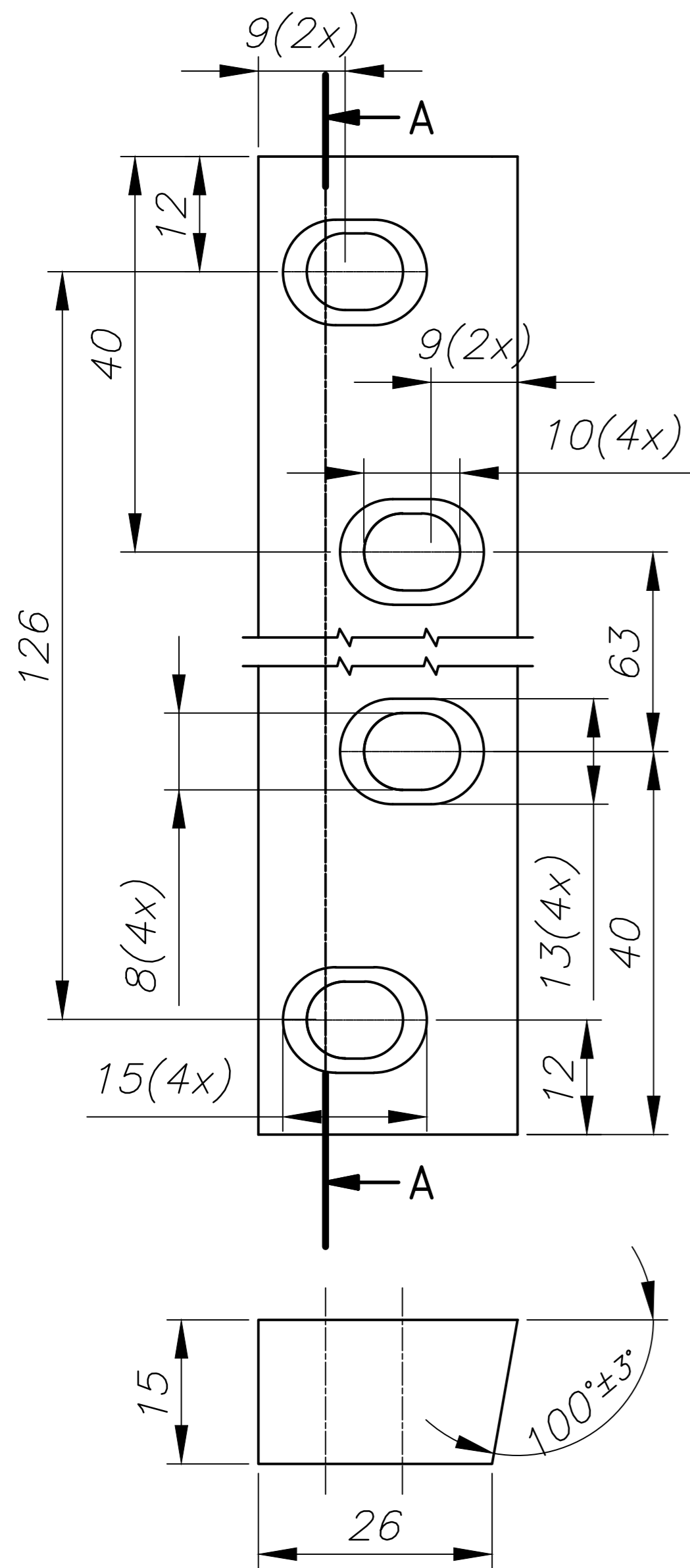


ESTA PLACA DE SUJECIÓN SE POSICIONARÁ SOBRE LAS CUCHILLAS FIJAS SUPERIORES PARA GARANTIZAR LA RIGIDEZ DE ESTAS CUCHILLAS.

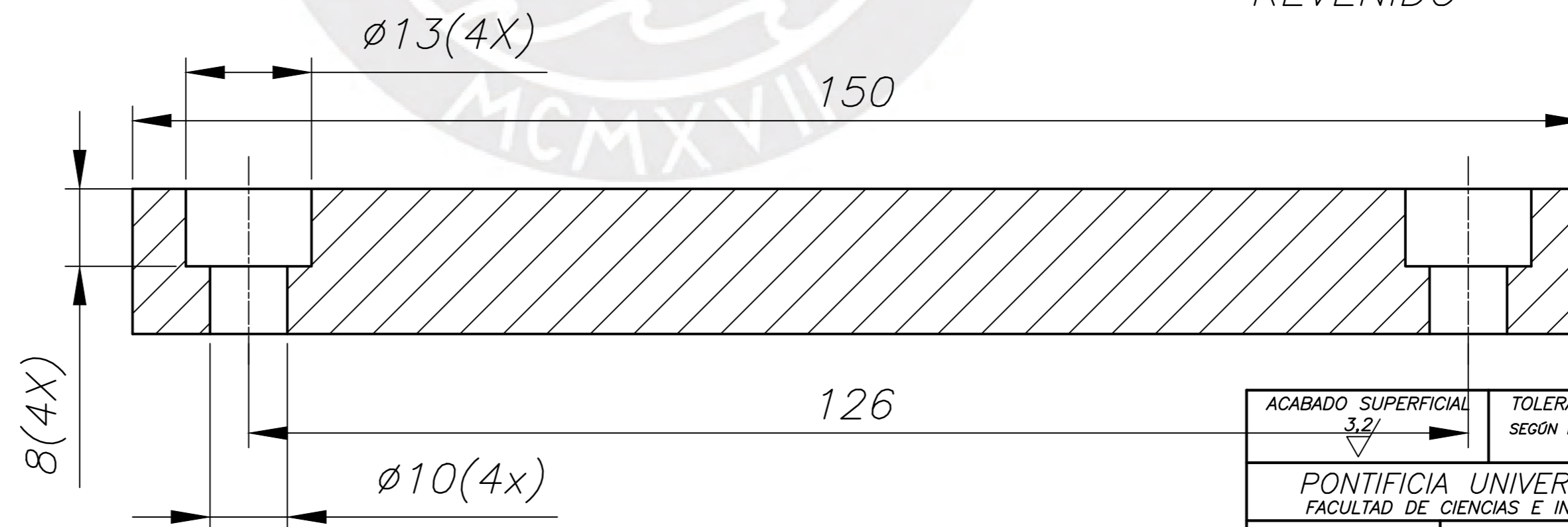
SECCIÓN A-A

TOLERANCIAS DIMENSIONALES SEGUN DIN 7168					
GRADO DE EXACTITUD	Más de 0,5 hasta 3	Más de 3 hasta 6	Más de 6 hasta 30	Más de 30 hasta 120	Más de 120 hasta 400
MEDIO	±0,1	±0,1	±0,2	±0,3	±0,5

ACABADO SUPERFICIAL	TOLERANCIA GENERAL	MATERIAL ASTM A36
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA - ESPECIALIDAD: ING. MECÁNICA		
METODO DE PROYECCION	PROYECTO DE TESIS	ESCALA
	PLACA DE SUJECIÓN	2:1
ALUMNO	ORTIZ SÁENZ, ANDRÉS EDUARDO	FECHA: 25.04.2024
ASESORES	ACOSTA SULLCAHUAMAN, JULIO ARRIBASPLATA SEGUIN, ADAN	LAMINA: A2

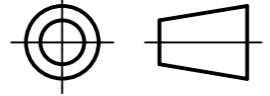


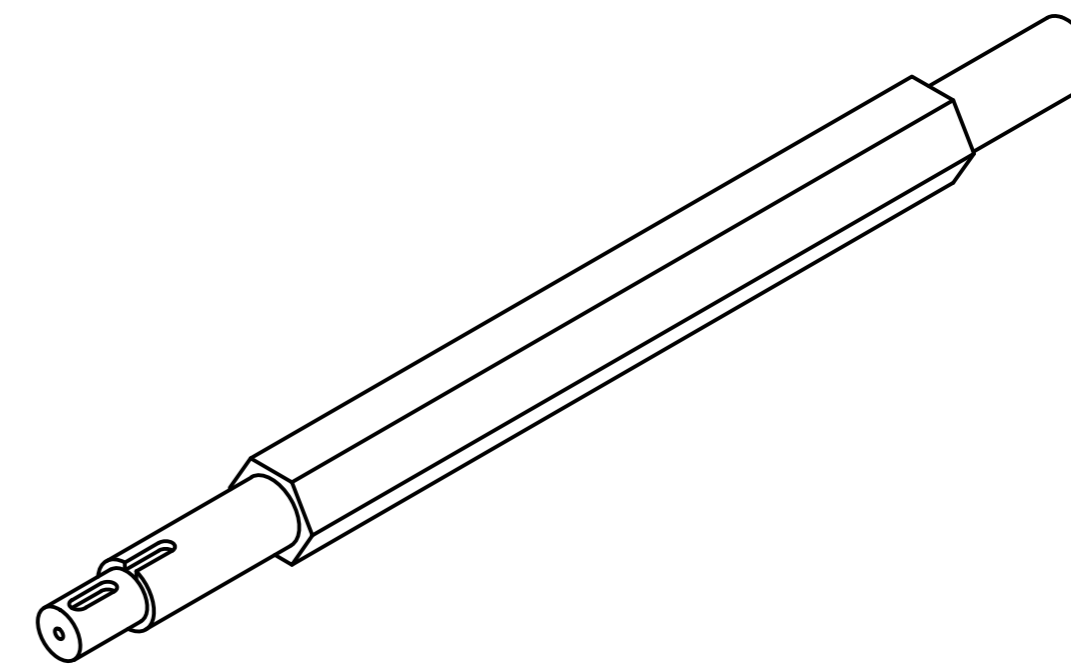
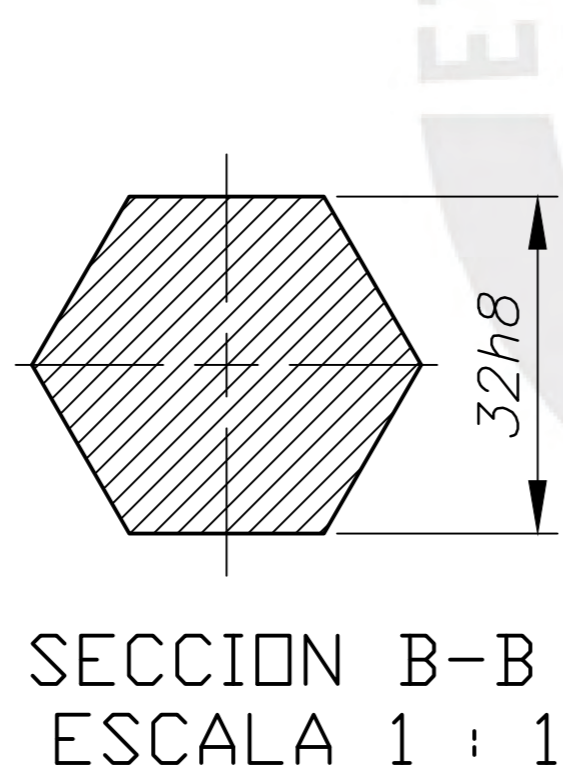
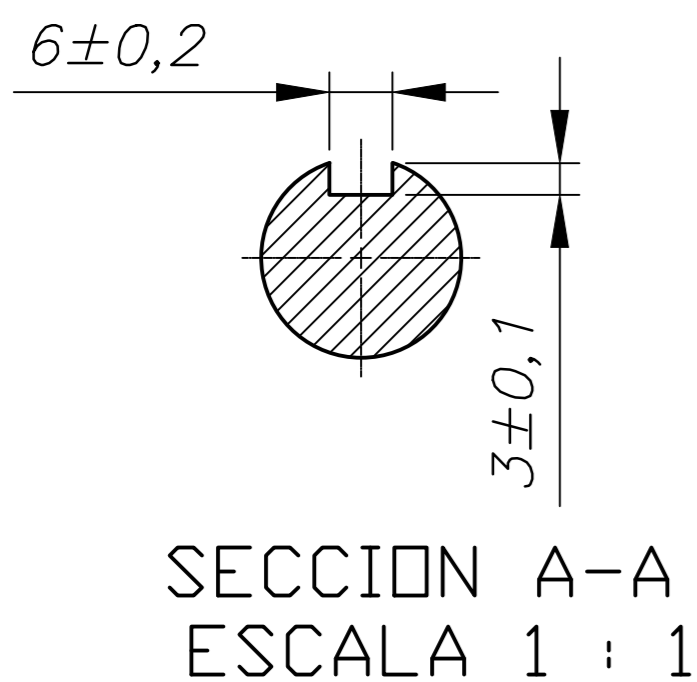
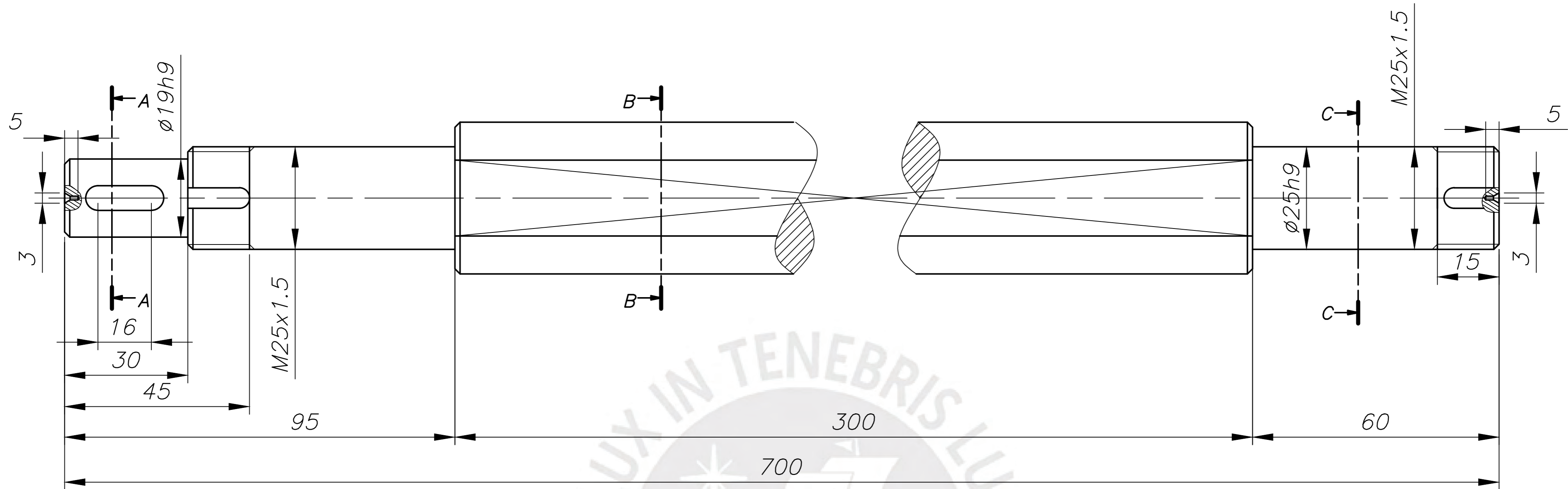
SE FABRICARÁN 2 CUCHILLAS FIJAS CON ESTAS MEDIDAS. LUEGO DE SER MECANIZADAS LAS PIEZAS, ESTAS SERÁN SOMETIDAS A UN TRATAMIENTO TÉRMICO DE TEMPLADO Y REVENIDO



SECCIÓN A-A

TOLERANCIAS DIMENSIONALES SEGUN DIN 7168					
GRADO DE EXACTITUD	Más de 0,5 hasta 3	Más de 3 hasta 6	Más de 6 hasta 30	Más de 30 hasta 120	Más de 120 hasta 400
MEDIO	±0,1	±0,1	±0,2	±0,3	±0,5

ACABADO SUPERFICIAL 3,2/	TOLERANCIA GENERAL SEGUN DIN 7168 - MEDIO	MATERIAL AISI SAE D2
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERIA - ESPECIALIDAD: ING. MECÁNICA		
METODO DE PROYECCION 	PROYECTO DE TESIS CUCHILLA FIJA INFERIOR	ESCALA 2:1
ALUMNO	ORTIZ SÁENZ, ANDRÉS EDUARDO	FECHA: 25.04.2024
ASESORES	ACOSTA SULLCAHUAMAN, JULIO ARRIBASPLATA SEGUIN, ADAN	LAMINA: A2



TODOS LOS CHAFLANES SON DE 2x45°

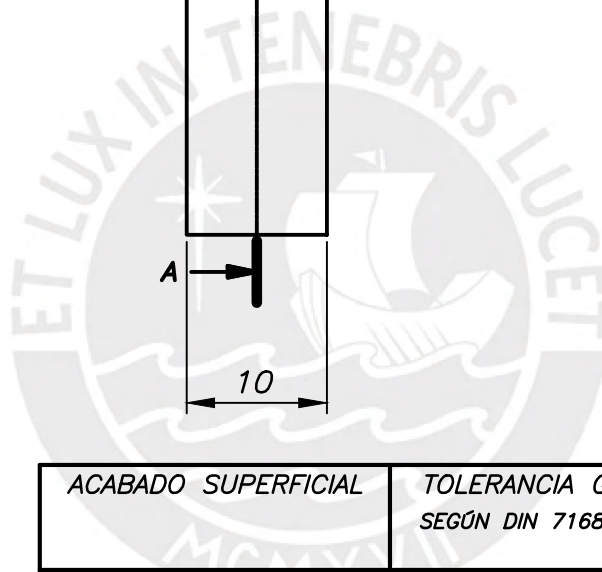
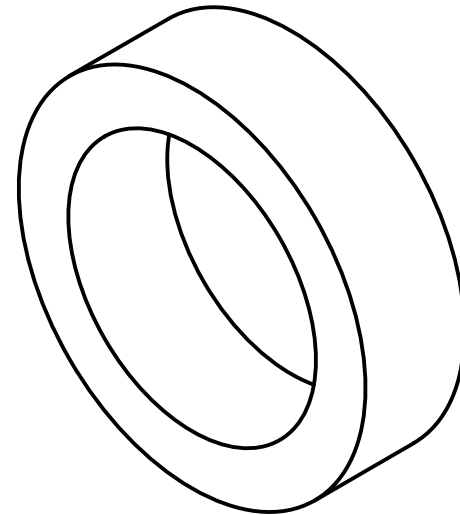
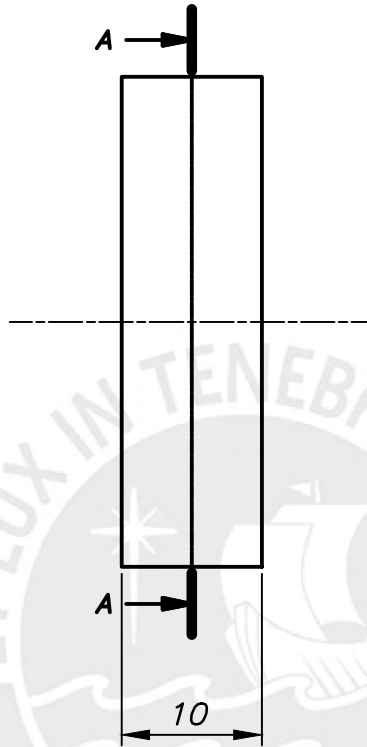
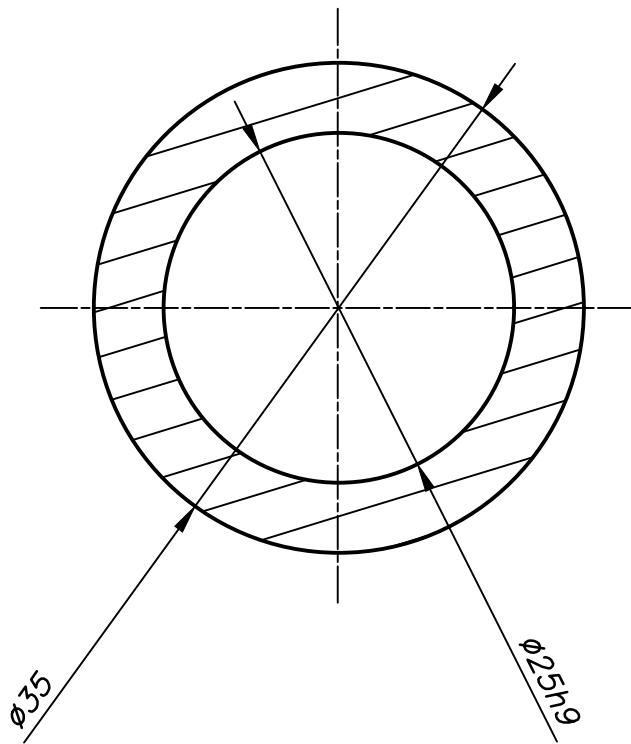
LAS BROCAS DE CENTRO EMPLEADAS FUERON DIN 333-A HSS 60°, D1 = 3 mm, ÁNGULO DE PUNTA 118°

TOLERANCIAS DIMENSIONALES SEGUN DIN 7168

GRADO DE EXACTITUD	Más de 0,5 hasta 3	Más de 3 hasta 6	Más de 6 hasta 30	Más de 30 hasta 120	Más de 120 hasta 400
MEDIO	±0,1	±0,1	±0,2	±0,3	±0,5

25h9	25,000	24,948
19h9	19,000	18,948
COTA NOMINAL	COTA MAXIMA	COTA MINIMA

ACABADO SUPERFICIAL 3,2/	TOLERANCIA GENERAL SEGUN DIN 7168 - MEDIO	MATERIAL AISI SAE 4340
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERIA - ESPECIALIDAD: ING. MECÁNICA		
METODO DE PROYECCIÓN 	PROYECTO DE TESIS EJE PRINCIPAL	ESCALA 1:2
ALUMNO	ORTIZ SAENZ, ANDRÉS EDUARDO	FECHA: 25.04.2024
ASESORES	ACOSTA SULLCAHUAMAN, JULIO ARRIBASPLATA SEGUIN, ADAN	LAMINA: A3



SE FABRICARÁN 4 ANILLOS DE SUJECIÓN CON ESTAS MEDIDAS

ACABADO SUPERFICIAL	TOLERANCIA GENERAL SEGÚN DIN 7168 - MEDIO	MATERIAL AISI SAE 1020
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA – ESPECIALIDAD: ING. MECÁNICA		
METODO DE PROYECCIÓN	PROYECTO DE TESIS	ESCALA
	ANILLO DE SUJECIÓN	2:1
ALUMNO	ORTIZ SÁENZ, ANDRÉS EDUARDO	FECHA: 25.04.2024
ASESORES	ACOSTA SULLCAHUAMAN, JULIO ARRIBASPLATA SEGUIN. ADAN	LAMINA: A4

TOLERANCIAS DIMENSIONALES
SEGUN DIN 7168

GRADO DE EXACTITUD	Más de 0,5 hasta 3	Más de 3 hasta 6	Más de 6 hasta 30	Más de 30 hasta 120	Más de 120 hasta 400
MEDIO	±0,1	±0,1	±0,2	±0,3	±0,5

25h9	25,000	24,948
COTA NOMINAL	COTA MAXIMA	COTA MINIMA