



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**

**Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas**

**Carrera de Ingeniería en Mecatrónica**

**Máquina Productora de Filamento Reciclado de Botellas Plásticas a Pequeña Escala con  
Sistema de Trituración y Extrusión**

**Trabajo de grado previo a la obtención del título de Ingeniero en Mecatrónica**

Autor:

Antony Fabricio Robalino López

Director:

MSc. Valencia Aguirre Fernando Vinicio

Ibarra - Ecuador

2023



## Universidad Técnica del Norte

### Biblioteca Universitaria

## Cesión de derechos de autor a favor de la Universidad Técnica del Norte

### Identificación de la Obra

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

<b>Datos de Autor</b>			
Cédula de identidad	1004159354		
Apellidos y Nombres	Antony Fabricio Robalino López		
Dirección	Av. 13 de Abril y Guayas		
Email	afrobalinol@utn.edu.ec		
Teléfono fijo	Teléfono móvil	0969847868	
<b>Datos de la Obra</b>			
Tema	Máquina Productora de Filamento Reciclado de Botellas Plásticas a Pequeña Escala con Sistema de Trituración y Extrusión		
Apellidos y Nombres	Antony Fabricio Robalino López		
Fecha	13 de diciembre de 2023		
Programa	Pregrado		
Título por el que opta	Ingeniero en Mecatrónica		
Director	MSc. Valencia Aguirre Fernando Vinicio		

## 2. CONSTANCIAS

El autor (es) manifiesta (n) que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto la obra es original y que es (son) el (los) titular (es) de los derechos patrimoniales, por lo que asume (n) la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá (n) en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 13 días del mes de diciembre de 2023

### EL AUTOR:

(Firma).....

Nombre: Robalino López Antony Fabricio

## CERTIFICACIÓN DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

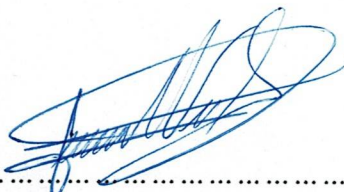
Ibarra, 13 de diciembre de 2023

MSc. Fernando Vinicio Valencia Aguirre

DIRECTORA DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

CERTIFICA:

Haber revisado el presente informe final del trabajo de titulación, el mismo que se ajusta a las normas vigentes de la Unidad Académica de la Universidad Técnica del Norte; en consecuencia, autorizo su presentación para los fines legales pertinentes.



(f) .....  
*MSc. Fernando Vinicio Valencia Aguirre*  
C.C.:1003188669

## **Dedicatorias**

Quiero dedicar este trabajo a las personas que me supieron brindar su ayuda y tiempo incondicional a lo largo de esta etapa universitaria.

A mis padres por ser un ejemplo de perseverancia y brindarme toda la ayuda necesaria para poder cumplir mis metas haciéndome saber que puedo contar con ellos.

A mis hermanas que me han apoyado y han estado ahí cuando necesitaba un consejo o una palabra de aliento.

A mis amigos que han estado en mi etapa universitaria, por las aventuras y momentos de calidad que compartimos, haciendo mi etapa universitaria más llevadera.

## **Agradecimientos**

Expreso mi agradecimiento a la Universidad Técnica del Norte por brindarme la oportunidad de cursar la carrera de Macarrónica. Agradezco a las autoridades y profesores de la carrera, por el apoyo, ayuda y orientación que me brindaron durante toda mi formación académica. También agradezco al MSc. Fernando Valencia y MSc. Víctor Erazo por su guía, confianza y paciencia como tutor y cotutor a lo largo de este proyecto para alcanzar buenos resultados.

# Índice general

<b>Cesión de derechos de autor a favor de la Universidad Técnica del Norte</b>	<b>II</b>
<b>Declaración</b>	<b>III</b>
<b>Certificación del director del trabajo de grado</b>	<b>IV</b>
<b>Dedicatorias</b>	<b>V</b>
<b>Agradecimientos</b>	<b>VI</b>
<b>Índice general</b>	<b>VII</b>
<b>Índice de figuras</b>	<b>X</b>
<b>Índice de tablas</b>	<b>XIII</b>
<b>Resumen</b>	<b>XVI</b>
<b>Abstract</b>	<b>1</b>
<b>Introducción</b>	<b>2</b>
<b>I. Marco referencial</b>	<b>7</b>
1.1. Antecedentes . . . . .	7
1.2. Tereftalato de polietileno (PET) . . . . .	8
1.2.1. PET antecedentes . . . . .	9
1.2.2. Propiedades del PET . . . . .	9
1.2.3. Codificación de los plásticos . . . . .	11

1.3.	Impresora 3D . . . . .	11
1.3.1.	Tecnologías de impresión 3D . . . . .	12
1.3.2.	Modelado por deposición fundida (FDM) . . . . .	13
1.3.3.	Filamento para impresión 3D . . . . .	13
1.4.	Máquina trituradora . . . . .	14
1.4.1.	Tipos de máquina trituradora . . . . .	14
1.4.2.	Elementos de una máquina trituradora . . . . .	18
1.4.3.	Alternativas en el mercado de trituradoras para plástico . . . . .	21
1.5.	Máquina extrusora . . . . .	21
1.5.1.	Tipos de extrusión según su configuración de trabajo . . . . .	22
1.5.2.	Elementos de máquina extrusora . . . . .	22
1.5.3.	Extrusoras en el mercado para filamento de impresoras 3D . . . . .	27
<b>II. Marco metodológico</b>		<b>28</b>
2.1.	Modelo de investigación . . . . .	28
2.2.	Diseño de la investigación . . . . .	28
2.2.1.	Fase 1: Establecimiento de los parámetros para la extrusión y enrollado del filamento . . . . .	29
2.2.2.	Fase 2: Diseño del sistema de producción de filamento . . . . .	29
2.2.3.	Fase 3: Construcción del sistema de producción de filamento . . . . .	30
2.2.4.	Fase 4: Pruebas de funcionamiento . . . . .	30
2.3.	Diagrama de flujo de máquina . . . . .	30
<b>III. Resultados y análisis de resultados</b>		<b>32</b>
3.1.	Parámetros de diseño . . . . .	32
3.2.	Matriz morfológica para el análisis de alternativas . . . . .	33
3.2.1.	Opción 1 . . . . .	33
3.2.2.	Opción 2 . . . . .	33
3.2.3.	Opción 3 . . . . .	34
3.2.4.	Evaluación de Soluciones . . . . .	34
3.3.	Diseño y selección de sistemas . . . . .	35
3.3.1.	Calculo de la fuerza de corte . . . . .	37



3.3.2.	Torque requerido . . . . .	37
3.3.3.	Potencia de salida . . . . .	38
3.3.4.	Potencia de Entrada . . . . .	38
3.3.5.	Factor de servicio . . . . .	38
3.3.6.	Diseño de cuchillas de trituración . . . . .	39
3.3.7.	Diseño del eje de la trituradora . . . . .	44
3.3.8.	Cámara de triturado . . . . .	50
3.4.	Ingreso y salida de material triturado . . . . .	50
3.4.1.	Diseño del tornillo de extrusión (husillo) . . . . .	52
3.4.2.	Selección de material del husillo . . . . .	60
3.4.3.	Potencia del husillo y selección de motor . . . . .	66
3.4.4.	Fuerzas y presión en el husillo . . . . .	67
3.4.5.	Cálculos del barrel o cilindro . . . . .	71
3.4.6.	Potencia de las resistencias eléctricas . . . . .	71
3.4.7.	Tolva de alimentación de extrusora . . . . .	72
3.4.8.	Selección de sistema de enfriamiento y enrollado . . . . .	72
3.5.	Control de motores . . . . .	74
3.6.	Base . . . . .	74
3.7.	Fabricación y ensamble . . . . .	78
3.7.1.	Trituradora . . . . .	78
3.7.2.	Extrusora . . . . .	81
3.7.3.	Piscina de enfriado . . . . .	82
3.7.4.	Mecanismo de enrollado . . . . .	83
3.7.5.	Panel de control . . . . .	84
3.7.6.	Ensamble completo . . . . .	84
3.8.	Análisis de resultados . . . . .	84
3.8.1.	Pruebas realizadas . . . . .	84
3.8.2.	Puesta a prueba de impresión . . . . .	87
<b>IV. Conclusiones, recomendaciones y trabajo a futuro</b>		<b>89</b>
4.1.	Conclusiones . . . . .	89

4.2.	Recomendaciones . . . . .	90
0.1.	Anexo 1: Tabla propiedades Acero inoxidable 304 . . . . .	95
0.2.	Anexo 2: Tabla propiedades Acero 1018 . . . . .	96
0.3.	Anexo 3: Tablas de factores de Marín . . . . .	97
0.4.	Anexo 4: Momento de Inercia . . . . .	98
0.5.	Anexo 5: Propiedades acero AISI 4140 . . . . .	99
0.6.	Anexo 6: Tubo cuadrado . . . . .	100
0.7.	Anexo 7: Características de variador de frecuencia . . . . .	101
0.8.	Anexo 8: Planos . . . . .	107
0.9.	Anexo 9: Manual de usuario . . . . .	150

# Índice de figuras

1.1. Contaminación de mares con botellas plásticas. . . . .	10
1.2. Tecnología de impresión FDM. a) Primera capa de adherencia a la cama de impresión, b) Impresión de perfiles del modelo, c) Impresión de relleno, d) Pieza 3D terminada. . . . .	14
1.3. Trituradora de martillo. . . . .	15
1.4. Trituradora de rodillo. . . . .	16
1.5. Trituradora de doble eje. . . . .	17
1.6. Trituradora de un eje. . . . .	18
1.7. Partes de una trituradora. . . . .	19
1.8. Eje y cuchillas de una trituradora. . . . .	20
1.9. Eje y cuchillas de una trituradora. . . . .	20
1.10. Cribas con diferentes diámetro de agujero. . . . .	20
1.11. Componentes de una máquina extrusora. . . . .	22
1.12. Extrusión directa. . . . .	23
1.13. Extrusión indirecta. . . . .	23
1.14. Husillo de una extrusora. . . . .	24
1.15. Husillo de tres secciones. . . . .	24
1.16. Sistema de calentamiento. . . . .	25
1.17. Cabezal. . . . .	26
1.18. Boquilla para perfiles tubulares. . . . .	26
2.1. Diagrama de flujo de construcción de máquina. . . . .	31
3.1. Diseño de la máquina productora de filamento . . . . .	36
3.2. Diseño de cuchilla . . . . .	39

3.3. Ángulo de desface de las cuchillas. . . . .	41
3.4. Fuerzas en la cuchilla. . . . .	41
3.5. Esfuerzo de Von Mises . . . . .	42
3.6. Desplazamiento . . . . .	42
3.7. Desplazamiento . . . . .	43
3.8. Desplazamiento . . . . .	43
3.9. Desplazamiento . . . . .	43
3.10. Diseño de eje para trituradora . . . . .	44
3.11. Diagrama de cuerpo libre . . . . .	44
3.12. Diagrama de fuerzas cortantes . . . . .	45
3.13. Diagrama de momento flector . . . . .	45
3.14. Diámetros del eje . . . . .	48
3.15. Fuerzas sobre el eje . . . . .	48
3.16. Esfuerzo de Von Mises . . . . .	49
3.17. Factor de seguridad . . . . .	49
3.18. Análisis de Convergencia . . . . .	49
3.19. Ancho de botella de 3L aplastada . . . . .	50
3.20. Cámara de trituración . . . . .	51
3.21. Tolva superior . . . . .	51
3.22. Criba . . . . .	52
3.23. Partes de un tornillo extrusor . . . . .	52
3.24. Intervalos de velocidad de cortadura . . . . .	56
3.25. Intervalos de velocidad de cortadura . . . . .	57
3.26. Diagrama de fuerzas del husillo . . . . .	60
3.27. vista lateral del alma, zona de alimentación . . . . .	61
3.28. vista lateral del alma, zona de compresión . . . . .	61
3.29. vista lateral del alma, zona de dosificación . . . . .	62
3.30. Sección de un diente en la zona de alimentación . . . . .	63
3.31. Sección de un diente en la zona de compresión . . . . .	63
3.32. Sección de un diente en la zona de dosificación . . . . .	65
3.33. Diagrama de fuerzas del husillo . . . . .	67

3.34. Tolva extrusora . . . . .	72
3.35. Piscina de enfriamiento de filamento . . . . .	73
3.36. Dispositivo para enrollar filamento . . . . .	73
3.37. Dispositivo para jalar filamento. . . . .	74
3.38. Variadores de frecuencia Powtran PI150 1R5G1Z . . . . .	75
3.39. Base de la máquina . . . . .	75
3.40. Fuerzas que interactúan en la estructura . . . . .	76
3.41. Desplazamiento en la estructura . . . . .	77
3.42. Factor de seguridad . . . . .	77
3.43. Cuchillas ensambladas . . . . .	78
3.44. Criba . . . . .	79
3.45. Tolva superior . . . . .	79
3.46. Cámara ensamblada . . . . .	80
3.47. Sistema ensamblado en la estructura . . . . .	80
3.48. Husillo . . . . .	81
3.49. Sistema ensamblado en la estructura . . . . .	81
3.50. Sistema ensamblado en la estructura . . . . .	82
3.51. Sistema ensamblado en la estructura . . . . .	82
3.52. Piscina de enfriamiento . . . . .	83
3.53. Mecanismos de enrollado . . . . .	83
3.54. Gabinete eléctrico . . . . .	84
3.55. Máquina ensamblada . . . . .	85
3.56. Material triturado . . . . .	85
3.57. Filamento con material húmedo . . . . .	86
3.58. Diámetro del filamento . . . . .	86
3.59. Filamento embobinado . . . . .	87
3.60. Engranajes impresos con filamento PET. . . . .	88
3.61. Piezas impresas con filamento PET. . . . .	88

# Índice de tablas

1.1. Propiedades Físicas. . . . .	10
1.2. Propiedades Mecánicas. . . . .	10
1.3. Propiedades Térmicas. . . . .	11
1.4. Propiedades Químicas. . . . .	11
1.5. Códigos de Reciclaje de los Plásticos. . . . .	12
1.6. Tecnologías de impresión 3D. . . . .	13
1.7. Características trituradora de martillo. . . . .	15
1.8. Características trituradora de rodillo. . . . .	16
1.9. Características trituradora de doble eje. . . . .	17
1.10. Características trituradora de un eje. . . . .	18
1.11. Comparación de características de trituradoras en el mercado . . . . .	21
1.12. Comparación de características de extrusoras en el mercado. . . . .	27
3.1. Dimensiones de las botellas . . . . .	32
3.2. Matriz morfológica de los sistemas de la máquina. . . . .	33
3.3. Ventajas y desventajas de opción 1 . . . . .	34
3.4. Ventajas y desventajas de opción 2 . . . . .	34
3.5. Ventajas y desventajas de opción 3 . . . . .	34
3.6. Parámetros de evaluación . . . . .	34
3.7. Evaluación del criterio : Dimensión de la máquina . . . . .	35
3.8. Evaluación del criterio : Precio de la máquina . . . . .	35
3.9. Evaluación del criterio : Mantenimiento de la máquina . . . . .	35
3.10. Evaluación del criterio : Producción de la máquina . . . . .	35
3.11. Selección de alternativa . . . . .	36

3.12. Factor de servicio . . . . .	39
3.13. Aceros para herramienta . . . . .	40
3.14. Características principales del husillo . . . . .	55
3.15. Tabla de muestreo de diámetro de filamento. . . . .	87

## **Resumen**

En la actualidad, la contaminación por desechos plásticos es uno de los principales problemas medioambientales. Este ha generado soluciones de reciclaje que ayudan a reducir la contaminación y producen beneficios extra de utilizar plásticos reciclados como materia prima. En el presente documento, se detalla el proceso para la construcción de una máquina recicladora y productora de filamento para impresoras 3D a partir de botellas plásticas. Con este objetivo, se parte desde la investigación de propiedades y clasificación, las botellas plásticas, tipos de máquinas trituradoras y extrusoras, pasando también por los requerimientos de extrusión de Plástico PET para proceder con el diseño de los sistemas de trituración y extrusión de la máquina. Con el propósito de obtener una solución adecuada se seleccionaron los parámetros de la máquina a partir de los requerimientos que debe cumplir la misma. Seguidamente, se procede con la selección de potencia de los motores y selección de los dispositivos de enrollado del filamento resultante. En el software “SolidWorks” se realiza el diseño y simulación de esfuerzos de los componentes cruciales para poder obtener un material adecuado para la fabricación de estos. Finalmente, se implementa el diseño mediante la construcción de los diferentes sistemas y ensamble para realizar las pruebas respectivas de funcionamiento. En las pruebas se obtiene un producto con una buena calidad y que su calidad depende del tratamiento de las botellas antes de ser trituradas.



## **Abstract**

Today, plastic waste pollution is one of the major environmental problems. This has generated recycling solutions that help reduce pollution and produce extra benefits from using recycled plastics as raw material. In this document, the process for the construction of a recycling machine and producer of filament for 3D printers from plastic bottles is detailed. With this objective, we start from the investigation of properties and classification of plastic bottles, types of shredder and extrusion machines, also going through the requirements of extrusion of PET plastic to proceed with the design of the shredder and extrusion systems of the machine. In order to obtain a suitable solution, the machine parameters were selected on the basis of the requirements to be met by the machine. Then, we proceeded with the selection of the motor power and the selection of the resulting filament winding devices. In the "SolidWorks" software, the design and stress simulation of the crucial components is carried out in order to obtain a suitable material for the manufacture of these components. Finally, the design is implemented through the construction of the different systems and assemblies in order to carry out the respective function tests. In the tests, a product with a good quality is obtained and its quality depends on the treatment of the bottles before they are shredded.

# Introducción

## Planteamiento del problema

El uso y desperdicio de las botellas plásticas es un factor en tomar en cuenta para el cuidado del medio ambiente, pues según Miranda D. El 42 % del plástico utilizado en el mundo se destina al empaquetado de alimentos y productos manufacturados [1]. Por lo que las botellas solo serán usadas por unos minutos y luego serán arrojadas a la basura, así se tiene que 8 millones de toneladas de residuos plásticos acaban en los océanos cada año [2].

Para la etapa de prototipado y producto final, en la actualidad uno de los procesos que ha salido en auge es la impresión 3D. De manera general este proceso lo que hace es convertir filamento de plástico en una pieza sólida. La impresión 3D usa una variedad de plásticos y materiales para imprimir, entre ellos está el PET (material de las botellas). Este proceso es usado hoy en días en el área automotriz, ya que se puede imprimir piezas o accesorios difíciles de conseguir tanto por su precio como por su escasez. Para la impresión de estas piezas se usa PET, pero para el prototipado y por errores técnicos como mecánicos se puede generar varias

impresiones fallidas o se puede llegar a desperdiciar material en los soportes de las piezas, esto hace que el producto final tenga un costo más elevado de lo esperado, en algunos casos se ha optado por imprimir con plástico reciclado de botellas, para poder abaratar costos y probar los prototipos. Si bien es un proceso de reciclaje es fácil y factible, se desperdicia un 20 % a 30 % aproximado del plástico de la botella ya que solo se usa la parte plana de la botella.

Para poder solucionar este problema se propone el diseño de una máquina trituradora y extrusora de filamento, esta máquina será capaz de utilizar toda la botella o los residuos de las impresiones anteriores para la creación de filamento. De esta manera se pretende abaratar costos y reciclar tanto las botellas como el material que se desperdicia en la impresión (soportes e impresiones fallidas), además que se busca que este proceso sea automático para poder optimizar tiempos. Además, esta máquina de forma general se pretende ayudar con el reciclado de los plásticos para poder reducir la contaminación. Y en el área de la impresión contribuye con la reutilización de material y la baja de costos de las piezas, prototipos o accesorios impresos.

## **Objetivos**

### **Objetivo general**

Desarrollar un prototipo funcional de una máquina productora de filamento reciclado para las impresoras 3D.

## Objetivos específicos

- Establecer los principales parámetros para la extrusión y enrollado del filamento PET.
- Diseñar el sistema de producción de filamento.
- Construir el sistema de producción de filamento.
- Validar el sistema.

## Justificación

Hoy en día la contaminación por plástico es un problema y un desafío para resolver ya que esto afecta a todo el medio ambiente y más a los animales que viven en el océano. Según Lapeña y Sánchez en 2025 nuestros océanos tendrán 1 TONELADA DE PLÁSTICO POR CADA 3 DE PESCADO, y en 2050 serán más los plásticos que los peces [3]. Así que con la construcción de esta máquina se pretende incentivar al reciclado ya que se les dará una segunda vida a las botellas que por lo general son utilizadas un par de minutos y luego arrojadas a la basura.

Con el uso de la impresión 3D se ha podido simplificar o facilitar la obtención de piezas plásticas, ya que estas impresoras son muy versátiles pudiendo imprimir casi cualquier forma que se desee, además que ya salen listas para poder ser usadas una vez se acabe de imprimir. En la impresión 3D se puede encontrar algunos problemas, entre ellos esta el desperdicio de material que genera ya sea por alguna falla al momento de imprimir una pieza o por si el

resultado final no fue el requerido o no se asemejaba al diseño principal [4]. Si bien en el mercado se puede encontrar máquinas para la extrusión de filamento reciclado, estas suelen desperdiciar una gran cantidad del material de las botellas que se recicla, y la extrusión del filamento no es continuo ya que solo se extruirá uno por uno el material que se extraiga de cada botella por lo que puede ser un proceso tedioso y tardado. Con la creación de esta máquina busca abaratar costos de fabricación de piezas para el área automotriz, si bien ya la impresión de algunas piezas difíciles de conseguir o que tienen precios elevados; con la creación de filamento reciclado se podrá mejorar todavía más los costos de fabricación de las piezas. Esto se debe a que el prototipado y las mismas piezas finales serán impresas en el filamento reciclado el cual por la maquina tendrá un costo más bajo en comparación a los filamentos del mismo material comprados de alguna marca específica.

## **Alcance**

La máquina productora de filamento estará diseñada para triturar y extruir PET tanto de las botellas de plástico como de los materiales no usados de la impresión. Para esto se pretende investigar los parámetros técnicos para la extrusión de este material, para posteriormente diseñar el sistema de trituración y extrusión a baja escala, tomando en cuenta el tamaño del material que se obtendrá para la alimentación de la extrusora. También se considerará la fuerza de empuje del

tornillo de extrusión y la temperatura del material para que el producto final tenga el diámetro requerido. Para poder calibrar estos parámetros se realizará pruebas de función.

# Capítulo I

## Marco referencial

En este capítulo se presenta conceptos previos a la construcción de la máquina, mediante los antecedentes se revisara casos concretos con referencia a las máquinas de producción de filamento y reciclaje. Con la revisión bibliográfica se identificara la partes fundamentales de cada sistema y mediante búsquedas en el mercado se observara dispositivos con similares características.

### 1.1. Antecedentes

Al convertirse en un problema mundial la contaminación por plástico, el movimiento Precious Plastic [5] brinda a su comunidad varias alternativas para el reciclaje. Entre las alternativas que se puede encontrar hay: trituradoras, extrusoras, compactadoras e inyectoras. De este modo, incentivan al reciclaje y a la creación de nuevos emprendimientos, ya que en su página oficial no solo brindan estas alternativas, sino que se puede encontrar una gran comunidad que comparte sus experiencias y sus máquinas o piezas basadas en las que presenta Precious Plastic. Para la fabricación de las máquinas ya mencionadas, el movimiento da información acerca de estas y ayuda a la construcción mediante guías y vídeos demostrativos, además da acceso a información relevante del reciclaje y como se puede generar un negocio mediante la generación de espacios de trabajo con el plástico reciclado.

Por otra parte, Cutipa Mamani y Rodríguez Flores, en su trabajo de grado “Diseño de extrusora para la fabricación de filamento a base de polímeros termoplásticos utilizados en el Fab Lab de la Universidad Continental Arequipa-2020” [4], menciona la necesidad de su Universidad de una extrusora con un sistema de trituración, puesto que con base a su trabajo de investigación

el laboratorio desperdicia un 20 % de material de merma de PLA. El método convencional de extrusión no ayudaría a reutilizar el material que se desprecia, ya que estas extrusoras necesitan materia prima que se encuentre en pequeños gránulos (pellets) para poder ser procesada. Por lo tanto, integro el sistema de trituración a esta máquina para poder reutilizar la merma y las piezas obsoletas. Con relación a los costos, estos se reducirán por el hecho de que se tiene la alternativa de la extrusora que reutiliza las piezas impresas fallidas o que ya no cumplen su función.

Parra en su trabajo de grado realizo un “Diseño de extrusora de filamento para impresión 3D a partir de plásticos reciclados” [6] con la finalidad de la reutilización de material desechado de la impresión 3D. Su materia prima para la investigación, es la que provienen de impresiones fallidas o material sobrante de los procesos de impresión. Para este proceso utilizo una trituradora la cual se referenció en Precious Plastic y una extrusora para poder convertir estos modelos en filamento reutilizable. Los atributos de su máquina según la recomendación de los Ingenieros de su universidad son: capas de trabajar con PLA y ABS, trabajar con plástico triturado, permite el control de las dimensiones, filamento sin aire en el interior, permite enrollar el filamento, entre otros. Para esto su trabajo fue dividido en dos partes que es el sistema de trituración del material plástico y el sistema de extrusión y embobinado.

Sandoya en su trabajo de grado realizo “Diseño Y Construcción De Un Equipo Triturador-Extrusor De Material Plástico Reutilizable Tipo Tereftalato De Polietileno (Pet) Para La Elaboración De Filamento Para Impresoras 3D” [7] con la finalidad de reducir la contaminación causada por los plásticos y reutilizarlos para generar pellets. Para este estudio uso la metodología de diseño de productos de Ulrich Eppinifer, con esto genero diversas alternativas que se evaluaron para escoger la correcta, una vez escogida se realizó los cálculos respectivos de las partes de la máquina. Consiguió una máquina que tritura y por medio de un tornillo sin fin manda el material triturado a la extrusora que genera los pellets. Su máquina cumplió las expectativas y genera 1 kg de pellets en 30 minutos, teniendo en cuenta que el material a procesar debe ser limpiado posteriormente.

## **1.2. Tereftalato de polietileno (PET)**

Gracias a sus propiedades tensiles y de impacto, buena rigidez, aislante eléctrico y muy buena barrera a los gases, el PET se usa mucho en las industrias de empaquetado y de electrónica [8]. Estas cualidades favorables hacen que sea una opción más adecuada que otros tipos de empaquetados como los envases de vidrio. El tereftalato de polietileno se basa en una polimerización por condensación de dos componentes, el primero es el ácido tereftálico (TPA) y el etilenglicol (EG). Estos procesos se lo hace a altas temperaturas, entre 285 – 300 °C a 1 – 2 Torr de presión [9]. Una vez que se forman las cadenas de moléculas largas y uniformes de este polímero se prosigue a un proceso de deshidratación para eliminar cualquier exceso de agua



que se encuentre, luego se extruye, enfría y se corta en pequeños gránulos que servirán para la fabricación de diferentes productos.

### **1.2.1. PET antecedentes**

La producción de envases ha tenido una gran acogida, desde sus inicios 1976 y la producción del PET (Tereftalato de Polietileno) en 1977. Hasta la actualidad esta producción se ha desarrollado muy satisfactoriamente, siendo una de las mejores opciones para empaquetar [10]. De manera que se tiene que aproximadamente el 60 % de los alimentos se encuentran empaquetados con plástico [11]. Uno de los plásticos más usados es el PET, por las características y propiedades que presenta, por lo que de este material se producen las botellas plásticas para ser usadas con varios tipos de bebidas en diferentes presentaciones y portes, generando una gran versatilidad para el consumidor.

Con referencia a la economía, se encuentra que los envases plásticos son uno de los productos más usados a nivel mundial, por lo que representan una gran parte en la economía mundial [12]; así pues, se encuentra un gran número de fábricas dedicadas a la producción en serie de este tipo de envases. Sus características como: resistencia para moldear, baja densidad, alta resistencia química, aislante, hacen de este producto muy utilizable y común en la industria alimenticia, pasando su demanda de 2 millones de toneladas en 1950, a aproximadamente 400 millones de toneladas en 2018 [3].

Por otra parte, se genera una gran cantidad de desechos y contaminación debido a que este material no es degradable, es producido en masa y se utiliza por periodos breves tiempos. Así mismo, se tiene que de todo el plástico acumulado desde el inicio de su producción solo el 9 % se ha reciclado [3]. Esto genera que la producción de plástico se vuelva un gran problema a nivel mundial, ya que es un contaminante de mares (figura 1.1) y ríos y se trate de incentivar a reciclar los plásticos.

### **1.2.2. Propiedades del PET**

El PET es usado frecuentemente en varias industrias, esto se debe a las propiedades que tienen este polímero, haciendo de este material perfecto para aplicaciones, desde envases y botellas hasta piezas automotrices y textiles. A continuación, se presentará alguna de las propiedades:

- Propiedades físicas, entre las propiedades más importantes de este material se encuentran en la tabla 1.1.
- Propiedades mecánicas, entre las propiedades más relevantes para la fabricación de envases y botellas se encuentran en la tabla 1.2:
- Propiedades térmicas, en la tabla 1.3 se presenta las propiedades térmicas más relevantes:



Figura 1.1: Contaminación de mares con botellas plásticas.

Fuente: Obtenida de [13].

- Propiedades químicas, en la tabla 1.4 se presenta las propiedades más significativas que muestran porque el PET puede ser usado en casi cualquier envase.

Tabla 1.1: Propiedades Físicas.

<b>Propiedades</b>	<b>Símbolo</b>	<b>Valor</b>
Absorción de agua	[ %]	<0,7
Densidad	[gr/cm <sup>3</sup> ]	1,3 – 1,4
Índice de refracción	[n]	1,58 – 1,64
Inflamabilidad	HB	Auto extingüible
Resistencia Ultravioleta	UVA	Buena

Fuente: Tomada de [9].

Tabla 1.2: Propiedades Mecánicas.

<b>Propiedades</b>	<b>Símbolo</b>	<b>Valor</b>
Dureza - Rockwell	HR	M 94 - 101
Resistencia a la compresión	[MPa]	76 – 128
Resistencia de Tracción	[MPa]	50
Resistencia al Corte	[MPa]	6

Fuente: Recuperada de [14], [15], [16].

Tabla 1.3: Propiedades Térmicas.

Propiedades	Símbolo	Valor
Calor Especifico	$[J * g^{-1} * K^{-1}]$	0,2 – 1,2 – 1-3
Coefficiente de Expansión Térmica	$[x10^{-1} K^{-1}]$	20 – 80
Conductividad Térmica	$[W * m^{-1} * K^{-1}]$	0,15 – 0,4
Temperatura Máxima de Utilización	°C	115 – 170
Temperatura Mínima de Utilización	°C	-40 – -60

Fuente: Tomada de [9].

Tabla 1.4: Propiedades Químicas.

Propiedades	Descripción
Ácidos concentrados	Resiste a la mayoría de los ácidos.
Álcalis	Resiste a la mayoría de los álcalis diluidos y es sensible a los concentrados.
Alcoholes	Resiste a los alcoholes dependiendo la concentración y temperatura.
Grasas y aceites	Generalmente es resistente.
Halógenos	Aceptable.
Hidrocarburos aromáticos	Por lo general es resistente, aunque varía según su concentración.

Fuente: Obtenida de [9].








### 1.2.3. Codificación de los plásticos

En 1988 la Sociedad de Industria del plástico (SPI) estableció un sistema de clasificación de los diferentes tipos de plástico para su correcto reciclaje, por lo que se tiene una clasificación de 7 tipos de plástico [17]. En la tabla 1.5 se presenta la clasificación de los plásticos y su uso.

## 1.3. Impresora 3D

La impresión 3D produce un objeto a través de un modelo 3D, esto se hace mediante un proceso de adición de material en capa que corresponde a la sección transversal del modelo. Para este proceso se suele usar plásticos y aleaciones de metales, aunque existen máquinas que pueden utilizar otros tipos de materiales. Este proceso de manufactura es eficaz para la creación de piezas únicas con geometrías complejas que en otros procesos no se las podría desarrollar [18]. Los modelos 3D se los diseña en software CAD donde posteriormente el archivo es usado el proceso de impresión.

Tabla 1.5: Códigos de Reciclaje de los Plásticos.

Símbolo	Abreviatura	Nombre	Usos	Reciclable
	PETE o PET	Tereftalato de polietileno	Botellas, frascos medicinales, tarros de mantequilla, tarros de gelatina, peines, sogas, bolsas, alfombras, fibra de relleno.	Si
	HDPE	Polietileno de alta densidad	Envases de leche, bolsas de supermercado, contenedores de aceite, botellas de shampoo, juguetes, contenedores de detergente.	Si
	PVC	Cloruro de polivinilo	Tuberías, tejas, películas adhesivas, marcos de ventana.	Si, mayor dificultad.
	LDPE	Polietileno de baja densidad	Bolsas de sándwich, botellas comprimibles, bolsas, tapas de contenedores.	Si, mayor dificultad.
	PP	Polipropileno	Pañales, tarrinas, envases de yogur, tapas de botellas, contenedores de vasos y plásticos desechables.	NO
	PS	Poliestireno	Tazas de café, cajas de comida, cubiertos, espuma de embalaje.	NO
	N/A	Otros	CD y DVD, biberones, contenedores de almacenamiento, anteojos, accesorios.	No, depende material.

Fuente: Adaptada de [17].

### 1.3.1. Tecnologías de impresión 3D

En la industria existen varias tecnologías de impresión 3D, estas de diferencias por la técnica de deposición del material que utilizan. El uso de uno u otra depende de las necesidades que se presente, como la velocidad de fabricación, los costos y el material o color [19]. En la tabla 1.6 se presenta algunas de estas tecnologías.

Dado que el PET es un termoplástico, la investigación toma como proceso de impresión 3D a la tecnología FDM que es la que se utiliza con este material.

Tabla 1.6: Tecnologías de impresión 3D.

<b>Tipos</b>	<b>Tecnología</b>	<b>Materiales</b>
Extrusión	Modelado por deposición fundida (FDM)	Termoplásticos, aleaciones de metales y materiales comestibles.
	Sistetizado láser directo de metal (LMD)	Casi cualquier aleación de metal.
Granulado	Fusión por haz de electrones (EBM)	Aleaciones de titanio
	Sintetizado selectivo por calor (SHS)	Polvo termoplástico
	Sintetizado selectivo por calor láser (SLS)	Termoplásticos, polvos metálicos y cerámicos.
	Proyección aglutinante (DSPC)	Yeso
Laminado	Laminado de capas (LOM)	Papel, hoja metálica, capa de plástico.
Fotopolimerizado	Estereolitografía (SLA)	Fotopolímeros
	Procesamiento digital de luz	Resina líquida

Fuente: Recuperada de [19].

### 1.3.2. Modelado por deposición fundida (FDM)

Este es un proceso de depositar material fundido (filamento) sobre una base plana (figura 1.2 a ) mediante una boquilla la cual se encuentra a temperatura de fundición del material, como se muestra en la figura 1.2 b , las capas que se van aplicando una sobre la otra con una altura determinada pro el usuario, al entrar en contacto con el aire, se van solidificando y adquiriendo la forma de la pieza 3D (figura 1.2 c), este ciclo de deposición se realiza hasta completar el modelo a imprimir (figura 1.2, d). En esta tecnología se utiliza varios materiales, entre ellos están: PLA, ABS, PETG. PET, PCL, Policarbonato y otras combinaciones de materiales con los termoplásticos [19].

### 1.3.3. Filamento para impresión 3D

Normalmente los filamentos para impresión 3D son hilos de termoplástico de diámetros que van desde 1,75 mm, el más común, a 3 mm y se encuentran almacenados en bobinas de 1 kg. Para ser usados en las impresoras FDM, estos filamentos son calentados en el cabezal de extorsión a una temperatura de fusión acorde al material del cual están hechos.

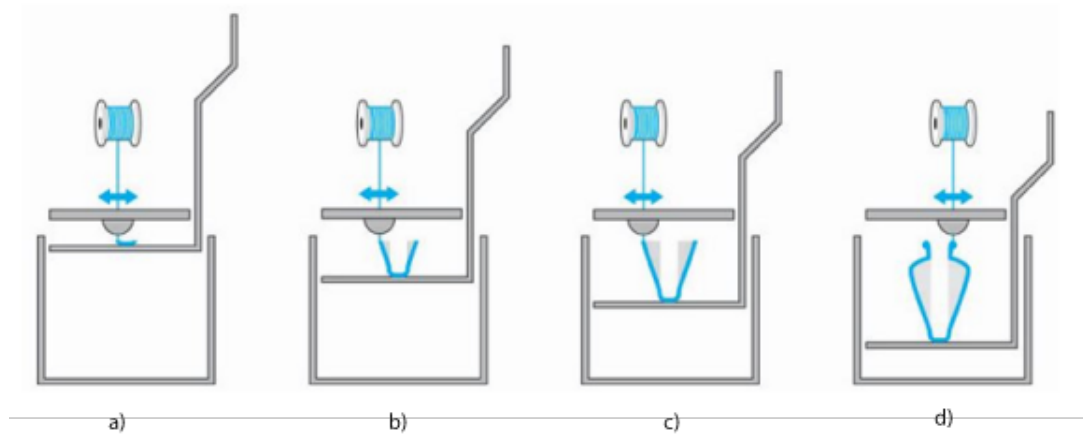


Figura 1.2: Tecnología de impresión FDM. a) Primera capa de adherencia a la cama de impresión, b) Impresión de perfiles del modelo, c) Impresión de relleno, d) Pieza 3D terminada.

Fuente: Obtenida de [20].

## 1.4. Máquina trituradora

Las trituradoras tienen como objetivo procesar un material. De tal modo que reduce el tamaño de este a partículas más pequeñas que posteriormente pueden ser usadas en otro tipo de procesos. De modo general, las trituradoras constan de las cuchillas o martillos que Trituran el material, un motor que está conectado al eje de las cuchillas y brinda la fuerza para el movimiento de las cuchillas [21]. En el caso de los plásticos, este sistema pretende reducir el volumen de los envases reciclados para poder mejorar la capacidad de almacenamiento o a su vez ser usados en el siguiente trabajo de este (Extrusión, Inyección, Moldeado).

### 1.4.1. Tipos de máquina trituradora

Estas máquinas se las puede encontrar de varios tipos, sus dimensiones y forma varia dependiendo de algunos factores como cantidad de triturado, material a triturar, espesor de entrada y espesor de salida. Los principales tipos que se puede encontrar se los nombrara a continuación.

#### Trituradora de martillo

El mecanismo de estas trituradoras emplea martillos rotativos los cuales impactan en el material para destruir y desintegrar en partículas más pequeñas, el producto luego pasa por una criba o tamiz según el tamaño que se necesite del material [22]. Los martillos se encuentra sujetos al eje y la distancia entre ellos dependerá de la materia prima, la cual se pretenderá triturar. En la figura 1.3 se muestra el diagrama de la máquina con sus partes.

Este tipo de triturados se utilizan para procesos que demanden poco consumo de energía,

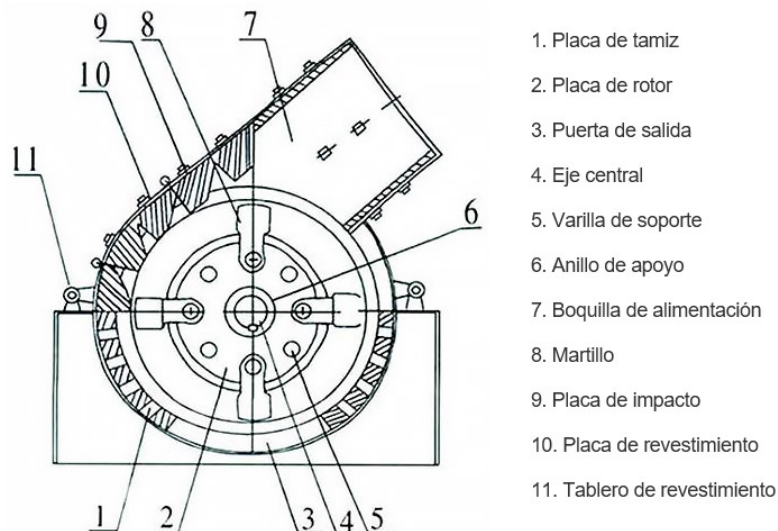


Figura 1.3: Trituradora de martillo.

Fuente: Recuperada de [23].

entre las características más relevantes se encuentra enumeradas en la tabla 1.7.

Tabla 1.7: Características trituradora de martillo.

Detalle	Descripción
Campo de aplicación	Usado para triturar plástico, cartón, vidrio y en la industria alimenticia.
Materiales para triturar	Delgado, medio, seco.
Capacidad de triturado	5 – 10 (t/h)
Granulometría inicial	< 100 (mm)
Granulometría final	< 15 (mm)
Potencia de motor	4 – 11 (kW)
Ejes	1
Costo	\$4500 dependiendo el modelo
Mantenimiento	Bajo
Peso	0,8 (t)

Fuente: Tomada de [12].

### Trituradora de rodillo

En este tipo de mecanismo se tiene dos rodillos que están acoplados a unos ejes que giran en direcciones opuestas para que el material se introduzca en la mitad de estos dos rodillos y así se reduzca su tamaño [12]. Para triturar el material en este tipo de máquinas se usa fuerza de compresión y cizallamiento, en la figura 1.4 se observa un diagrama de esta máquina.

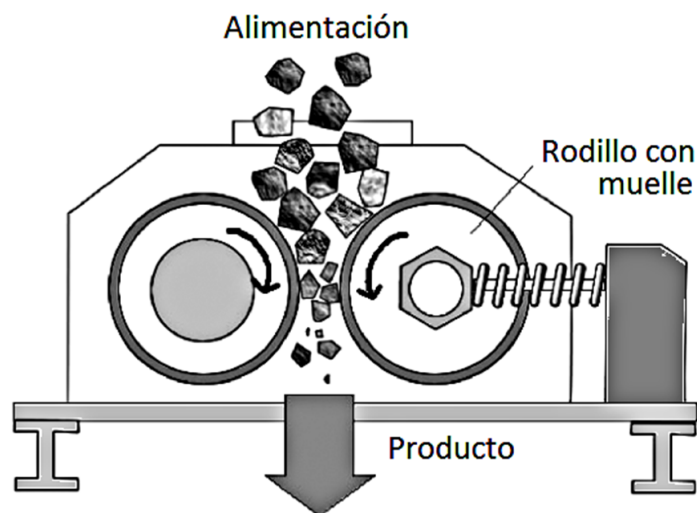


Figura 1.4: Trituradora de rodillo.

Fuente: Recuperada de [24].

Alguna de las características generales de este tipo de máquinas a nivel industrial se encuentra en la tabla 1.8, recalando que estas características cambiaran dependiendo del fabricante y del tamaño de esta.

Tabla 1.8: Características trituradora de rodillo.

Detalle	Descripción
Campo de aplicación	Procesos de minería, pétreos, químicos y metalúrgicos.
Materiales para triturar	Granulo fino, medio, seco.
Capacidad de triturado	2 – 10 (t/h)
Granulometría inicial	< 35 (mm)
Granulometría final	< 2 - 8 (mm)
Potencia de motor	2x 5,5 (kW)
Ejes	2
Costo	\$3500 dependiendo el modelo
Mantenimiento	Medio
Peso	1,3 (t)

Fuente: Tomada de [12].

### Trituradora de doble eje

Este tipo de máquinas es de las más usadas para la trituración de plástico o papel, consta de dos ejes que giran en sentido contrario, y las cuchillas de cada eje se encargan de triturar el material [25]. En este sistema las cuchillas rotativas de los dos ejes deben ser colocadas precisamente, ya que la separación entre ellas es muy poca, además, que se necesita las hojas



fijas a los lados. En la figura 1.5 se puede observar como se compone una trituradora de doble eje.



Figura 1.5: Trituradora de doble eje.

Fuente: Obtenida de [26].

Esta máquina se caracteriza por ser de baja velocidad, alto torque y silenciosas, además, se las puede encontrar en tamaños industriales o para oficinas. Sus características se pueden observar en la tabla 1.9.

Tabla 1.9: Características trituradora de doble eje.

<b>Detalle</b>	<b>Descripción</b>
Campo de aplicación	Materiales de oficina, plásticos, cartón, papel, vidrio, desperdicios farmacéuticos.
Materiales para triturar	Granulo fino, medio, seco.
Capacidad de triturado	300Kg/h dependiendo del material.
Granulometría inicial	< 6 (mm)
Granulometría final	< 3 - 5(mm)
Potencia de motor	2 HP
Ejes	2
Costo	\$1000 - \$2800 dependiendo el modelo.
Mantenimiento	Bajo
Peso	450kg dependiendo el modelo.

Fuente: Obtenida de [12].

### **Trituradora de un eje**

Estas trituradoras son similares a las de doble eje, la diferencia se encuentra en que cuentan con un solo eje, en este se encuentran acopladas las cuchillas móviles y en los laterales de la cámara de triturado, se encuentran acopladas las cuchillas fijas. El corte del material se produce

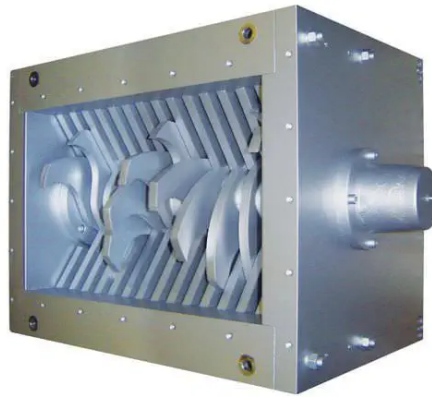


Figura 1.6: Trituradora de un eje.

Fuente: Tomada de [27].

al entrar en contacto con las superficies de las cuchillas y la fuerza de corte gracias a el eje rotatorio [12]. La figura 1.6 muestra como está conformada la trituradora de un eje.

Estas trituradoras suelen usarse para bajas producciones, material con baja resistencia de corte o para usos en oficina dependiendo su tamaño, algunas de las características generales se las puede observar en la tabla 1.6

Tabla 1.10: Características trituradora de un eje.

<b>Detalle</b>	<b>Descripción</b>
Campo de aplicación	Materiales de oficina, plásticos, cartón, papel, desechos plásticos.
Materiales para triturar	Granulo fino, medio, seco.
Capacidad de triturado	200Kg/h dependiendo del material.
Granulometría inicial	8 - 25 (mm)
Granulometría final	3 - 5(mm)
Potencia de motor	2,2 - 5,5 kW
Ejes	1
Costo	\$500 - \$2000 dependiendo el modelo.
Mantenimiento	Bajo
Peso	30kg dependiendo el modelo.

Fuente: Obtenida de [12].

### 1.4.2. Elementos de una máquina trituradora

Si bien la trituradora tiene varias partes como se muestra en la figura 1.7, se puede dividir en tres partes fundamentales: alimentación, cámara de triturado y Elemento de potencia.

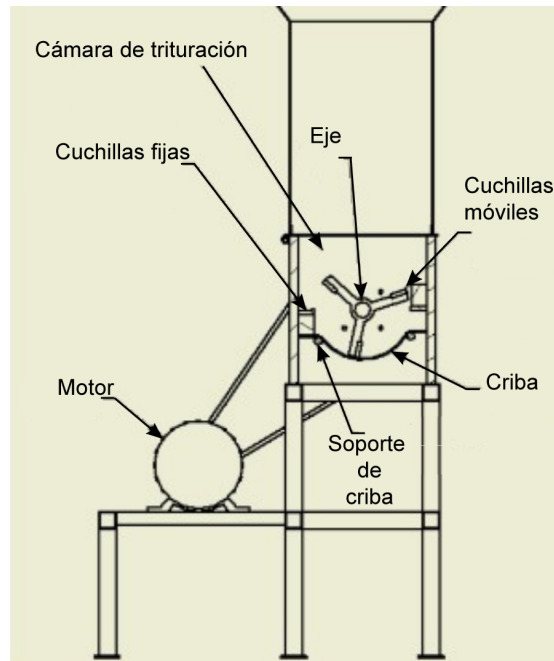


Figura 1.7: Partes de una trituradora.  
Fuente: Adaptada de [25].

### Tolva de alimentación

Es conocida como boca de entrada o tolva de alimentación, en esta zona se introduce el material a triturar, asimismo sirve como barrera para que los materiales triturados no salgan expulsados hacia el exterior [28].

### Cámara de triturado

Esta zona se compone por varios elementos que son los que trituran y dejan pasar el material reducido de tamaño. Los elementos que se encuentran son:

- Eje y Cuchillas móviles (figura 1.8): estos elementos se encuentran en el interior de la cámara, son los que se mueven con ayuda del motor y realizan el corte del material en conjunto con las cuchillas fijas o las otras cuchillas móviles si la trituradora es de doble eje.
- Cuchillas fijas (figura 1.9): estas permaneces a los lados de las cuchillas móviles y tiene dos finalidades, una es la de no dejar pasar las partículas que no están trituradas por los laterales y la otra es triturar el material en conjunto con las cuchillas móviles (trituradora de un eje).
- Criba o tamiz (figura 1.10): este elemento se encuentra en la parte inferior, su trabajo es dejar pasar las partículas ya trituradas, el tamaño de los orificios de la malla depende de las dimensiones de gránulos que deje pasar al exterior [28].

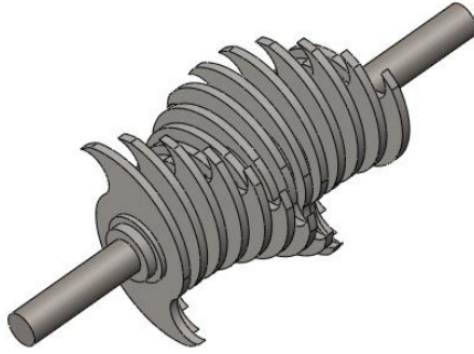


Figura 1.8: Eje y cuchillas de una trituradora.  
Fuente: Obtenida de [28].

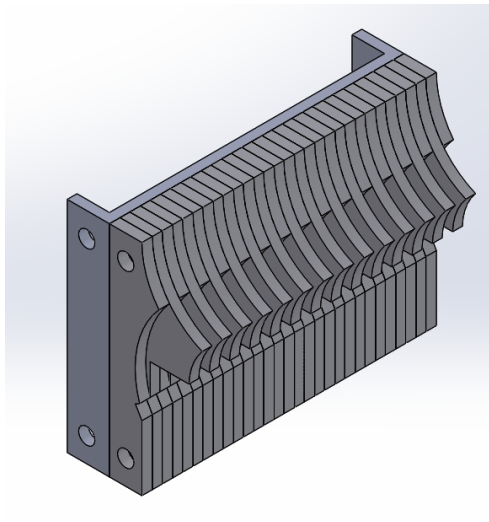


Figura 1.9: Eje y cuchillas de una trituradora.

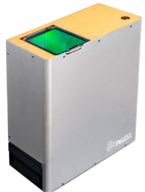

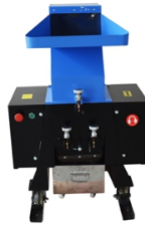



Figura 1.10: Cribas con diferentes diámetro de agujero.  
Fuente: Tomada de [28].

### 1.4.3. Alternativas en el mercado de trituradoras para plástico

En el mercado se puede encontrar una variedad de alternativas de trituradoras de plástico y de otros materiales según su capacidad y tamaño. Sin embargo, en la tabla 1.11 se realiza una comparativa de alguna de las alternativas de trituradoras que están fabricadas para tratar botellas o plástico en pequeñas cantidades.

Tabla 1.11: Comparación de características de trituradoras en el mercado

Características	FELFIL-750	GP20 Hybrid	INTBUYING Plastic Shredder	JARVIS Mini Shredder
Máquina				
Precio	\$ 1678,88	\$ 14467,05	\$ 2127,00	\$ 5057,98
Tamaño	379x323x 148 mm	950x750x 1320 mm	630x520x 950 mm	510 x 464 x 745 mm
Peso	15 kg	85 kg	120 kg	60 kg
Voltaje	110/230 V	120/240 V	220 V	230 V
Capacidad	4 kg/h	12-13.3 kg/h	50-100 kg/h	1-5 kg/h
Consumo	0,625 kW	1,5/1,2 kW	1,5/2,2 kW	1,1 kW
N° Cuchillas	12	14	11	1 Martillo

Fuente: Tomada de [29], [30], [31], [32].

### 1.5. Máquina extrusora

La máquina extrusora es utilizada en la fabricación de algunos productos, tales como: plásticos, alimentos y otros materiales. Su funcionamiento consiste en empujar el material que se encuentra por lo general a presión y calor a través de una boquilla. Con relación al plástico, para poder ser extruido, la máquina es alimentada con este material granulado (pellets), el cual pasa por las tres secciones en las que se divide el husillo para posteriormente ser transformado en el producto extruido final [6]. En la figura 1.11 se puede observar algunas partes de la extrusora y las tres secciones del tornillo, las cuales hacen que los gránulos de plástico se conviertan en una masa uniforme para ser extruida.

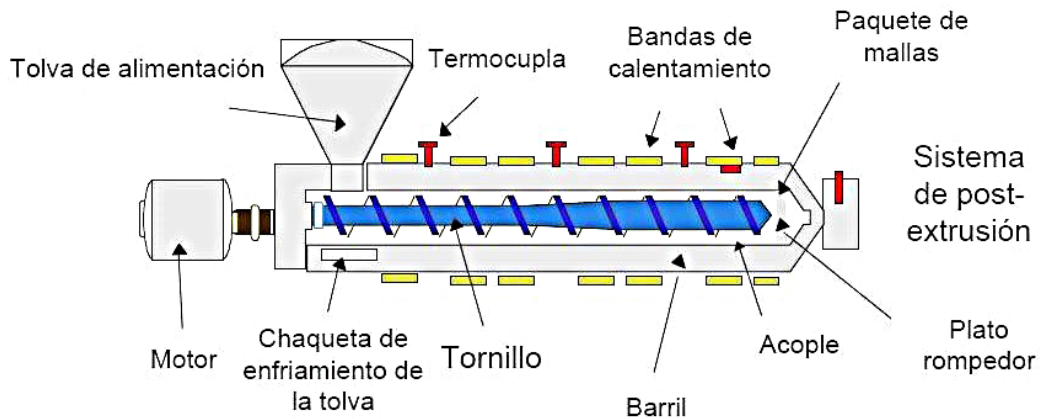


Figura 1.11: Componentes de una máquina extrusora.

Fuente: Tomada de [33].

### 1.5.1. Tipos de extrusión según su configuración de trabajo

Los tipos de extrusoras se pueden dividir por su tornillo, configuración y disposición. A continuación, se presenta la clasificación por su configuración de trabajo.

#### Extrusión directa

Este tipo de extrusión es llamada también extrusión hacia adelante y es de los procesos más comunes que existe en la industria de plástico. Para este proceso se carga el material en un recipiente y un pistón o tornillo lo comprime, forzando la salir por la abertura de la boquilla, que se encuentra al final del recipiente, tomado así la forma final del material [6]. Los equipos de este tipo de extrusión (figura 1.12) pueden ser horizontales o verticales, siendo los más comunes los horizontales. Un punto positivo de este proceso es que permite que el material extruido sea continuo y su extrusión dure un periodo indefinido de tiempo y una desventaja, es que fuerza de extrusión debe ser alta para romper la fricción que hay entre el material y el contenedor.

#### Extrusión indirecta

En este tipo de extrusión la boquilla se encuentra acoplada en el pistón, como se muestra en la figura 1.13, al empujar el pistón hueco sobre el material fuerza que este pase a través de la abertura tomando la forma que tiene el orificio. El problema de este tipo de extrusión es que la longitud máxima de extrusión es limitada por la columna del soporte que tendrá el pistón.

### 1.5.2. Elementos de máquina extrusora

Los componentes de una extrusora de un solo husillo o tornillo son los siguientes:

- Husillo o tornillo

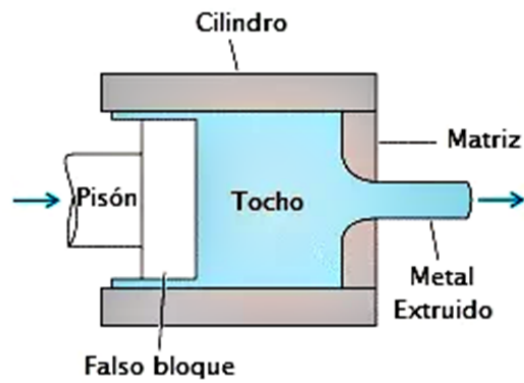


Figura 1.12: Extrusión directa.

Fuente: Obtenido de [34].

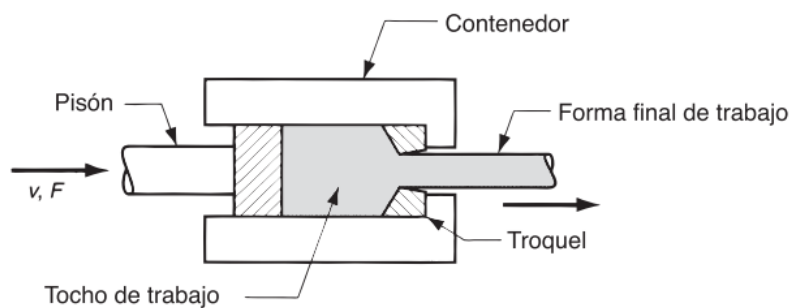


Figura 1.13: Extrusión indirecta.

Fuente: Recuperado de [35].

- Barril
- Tolva de alimentación
- Sistema de calentamiento y enfriamiento
- Cabezal
- Placa rompedora
- Boquilla
- Motor

### Husillo (Screw)

Este elemento es el alma de la extrusora, ya que es la parte más importante de la máquina. La función de este elemento es transportar, comprimir y extruir el material, el transporte y la homogeneización del material es gracias al movimiento del husillo al interior del barril [36].

Los parámetros más importantes que se tiene que tomar en cuenta para el diseño del husillo y la calidad del proceso son: Longitud (L), Diámetro (D), Ángulo del Filete ( $\emptyset$ ) y paso de rosca (w), la figura 1.14 muestra estos parámetros [6].

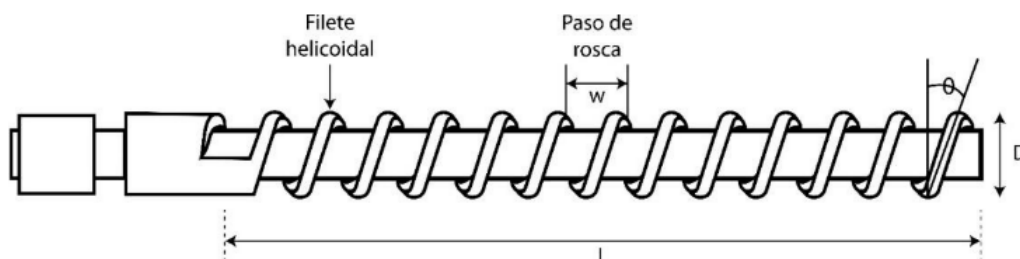


Figura 1.14: Husillo de una extrusora.

Fuente: Tomado de [6].

Igualmente, la longitud y profundidad de los canales en sus tres secciones, como lo muestra la figura 1.15 es una parte importante al momento de escoger el tipo de plástico que se desea extruir. L1 representa la sección de alimentación, L2 la sección de compresión, L3 la sección de dosificación o extrusión, h1 el ancho del canal de alimentación y h3 ancho del canal de dosificación [36].

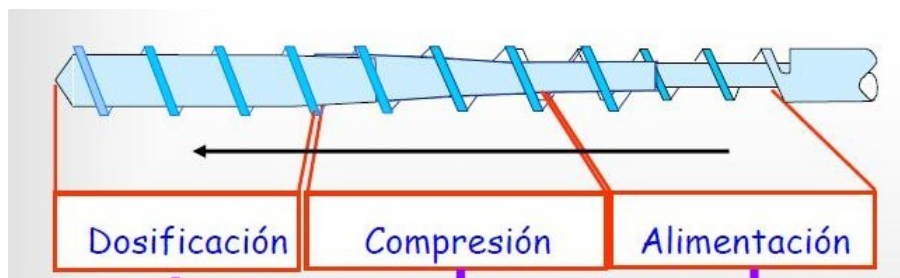


Figura 1.15: Husillo de tres secciones.

Fuente: Obtenida de [36].

## Barril (Barrel)

El barril es el cilindro que aloja al husillo, el conjunto de estos dos elementos conforma la cámara de fusión y bombeo del material. Este cilindro debe presentar una dureza considerable para que el material a extruir no se desgaste [6]. El barril debe ser capaz de poseer una alta transferencia de calor, tener una pequeña holgura con el husillo y ser resistente al desgaste y a los materiales abrasivos [35].



## **Tolva (Hopper)**

Al igual que en la trituradora, la tolva se encarga de alimentar a la extrusora con el material a extruir, que en este caso suelen ser pellets plásticos. El tamaño de esta depende de la cantidad de material y el tiempo de extrusión que se necesite.

## **Sistema de calentamiento y enfriamiento (Heaters, Coolers)**

La temperatura de trabajo es importante, ya que de esta dependerá que la extrusión de los diferentes materiales sea adecuada. Aquí es donde entra el sistema de control de temperatura tanto en la parte del cilindro que es usado para calentar el material, como en la parte de enfriamiento para que se solidifique del material correctamente [6]. Este sistema puede tener una o varias etapas (figura 1.16), para controlar de mejor manera la temperatura del material desde su alimentación hasta su solidificación [37].

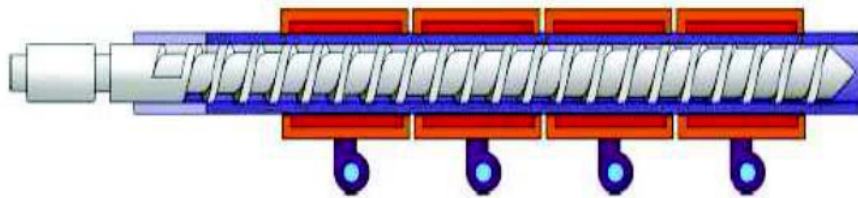


Figura 1.16: Sistema de calentamiento.

Fuente: Tomado de [37].

## **Cabezal**

Es la pieza que se encuentra al final del cilindro, en esta pieza se encuentran acopladas la placa rompedora y la boquilla. Su función es encaminar el flujo del material de manera homogénea hacia la boquilla [6]. La figura 1.17 muestra un esquema de un cabezal usado para realizar tubos.

## **Placa rompedora y filtro**

Este elemento es una placa rígida que contiene pequeños agujeros axiales. Su función es filtrar contaminantes y grumos que se generan en la extrusión, generar presión en la sección de dosificación y cambiar el movimiento circular del material a un movimiento laminar [36].

## **Boquilla (Die)**

Es la parte final de la extrusora, esta se encuentra en el cabezal y su función es dar la forma final al material extruido. Dependiendo la forma que se necesita el material final, la boquilla

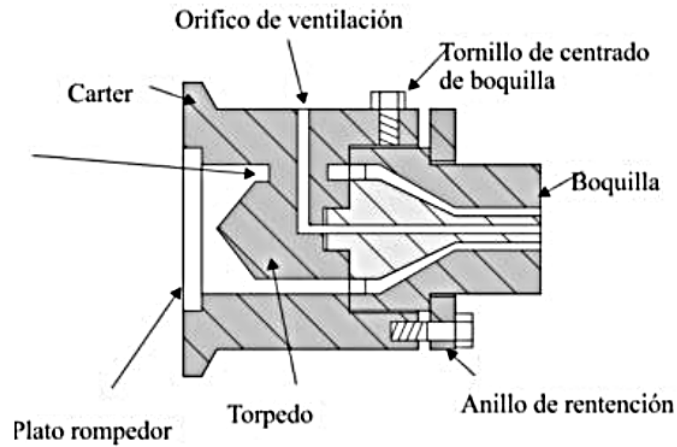


Figura 1.17: Cabezal.

Fuente: Recuperado de [38].

adquirirá una forma similar. [6]. Las boquillas (figura 1.18) son intercambiables y se fabrican o se modifican de acuerdo con el perfil que se necesite.

Sección de la zona de sujeción del torpedo

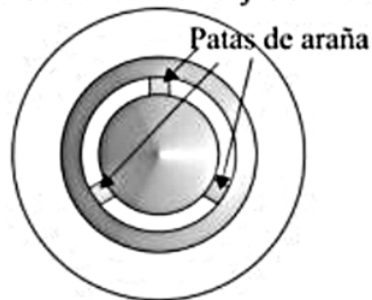


Figura 1.18: Boquilla para perfiles tubulares.

Fuente: Recuperado de [38].


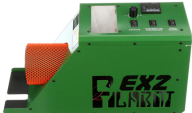


### Sistema de motor (Driver)

El motor es el componente que suministra la energía al husillo girar dentro del barril, con el movimiento rotacional, el material pasa desde la zona de alimentación hasta la zona extrusión en la boquilla. Dependiendo de la configuración y velocidad de la extrusora el motor puede llevar un moto reductor para poder acoplarse a la velocidad y fuerza necesaria para mover el material. Dependiendo de la aplicación que se le dé, lo más recomendable es que se diseñe con 1 hp por cada 4,5 a 7 Kg/h de material extruido [6].

### 1.5.3. Extrusoras en el mercado para filamento de impresoras 3D

Se puede encontrar algunas alternativas para fabricar filamento 3D desde el hogar. Sin embargo, se tiene algunos problemas, uno de ellos es que se tiene que comprar los pellets que suelen ser de su propia marca, otro problema es que estas máquinas pueden llegar a ser exageradamente caros sin contar con la importación. Por último, estos equipos no resuelven el problema de los residuos de impresión 3D o ayudan al reciclaje de los plásticos. A continuación, en la Tabla 1.12 se muestra una comparativa de las características más relevantes de extrusoras.

Tabla 1.12: Comparación de características de extrusoras en el mercado.

Características	Filastruder	Filabot EX2	ProtoCycler	Noztek Pro
Máquina				
Precio	\$ 299,99	\$ 2842,00	\$ 3999,00	\$ 1608,18
Material reciclado	No	No especifica	Si	No especifica
Tamaño	457,2x152,4x 104,6 mm	457,5x177,8x 228,6 mm	381x356x 229 mm	300x300x 800 mm
Potencia	60 W	500 W	400 W	No especifica
Temperatura de trabajo Máxima	260 °C	450 °C	250 °C	300 °C
Volumen de alimentación	Expandible	426, 1cm <sup>3</sup>	Expandible	No especifica
Capacidad de producción	0,2 kg/h	0,91 kg/h	0,5 kg/h	0,5 kg/h
Diámetro de extrusión	1,75 - 3,0 mm	1,75 – 2,85 mm	1,75 - 3,0 mm	1,75 - 3,0 mm
Voltaje	110 - 240 V	110 - 220 V	110 - 220 V	110 - 220 V

Fuente: Tomada de [39], [40], [41], [42].

# Capítulo II

## Marco metodológico

En este capítulo se presenta la metodología utilizada para desarrollar esta investigación, con la finalidad de llevar un proceso ordenado para poder cumplir los objetivos para la construcción de la maquina productora de filamento.

### 2.1. Modelo de investigación

Para el cumplimiento de los objetivos se desarrolla 3 tipos de investigación, la primera es la investigación documental, que se basa búsqueda de información relevante para poder determinar las características del material a utilizar en la máquina y las características y requerimientos de los distintos sistemas, de tal forma que se pueda detectar los puntos claves para el correcto funcionamiento del proceso de producción del filamento. Por otra parte, la investigación descriptiva se desarrolla con el objetivo de especificar las características y propiedades importantes del proceso de producción. Con estas características se obtiene los parámetros de funcionamiento de la máquina en su totalidad.

Por último, la investigación experimental está presente en la recopilación de todos los datos importantes obtenidos para poder construir la máquina con las características y especificaciones definidas. De esta manera, es posible obtener resultados que satisfagan las necesidades y metas establecidas.

### 2.2. Diseño de la investigación

En esta sección se describe las actividades a cumplir con la finalidad de cumplir con los objetivos específicos. Se detalla de manera secuencial los procesos desarrollados para el diseño y construcción de la máquina productora de filamento reciclado de botellas plásticas.

### **2.2.1. Fase 1: Establecimiento de los parámetros para la extrusión y enrollado del filamento**

Con el uso de la investigación documental, se extrae información importante y relevante para entender de mejor manera el proceso a seguir para escoger los parámetros y diseñar la máquina.

- **Actividad 1:** Recopilación de los antecedentes relacionados con máquinas de reciclado de plásticos que tengan relación con la producción de filamento para impresoras 3D .
- **Actividad 2:** Obtener información acerca del PET, antecedentes, propiedades, mecánicas, químicas, térmicas y como se lo puede distinguir de los otros plásticos que se encuentra en uso.
- **Actividad 3:** Explicación de los sistemas que conforman la máquina de producción de filamento y los tipos de estos sistemas que se pueden encontrar. También se presenta los elementos más importantes de cada sistema y alternativas que se encuentran en el mercado.
- **Actividad 4:** Presentar información de la impresión 3D, su clasificación y el tipo de filamento que se utiliza.

### **2.2.2. Fase 2: Diseño del sistema de producción de filamento**

En esta sección se describe los procesos que tiene como objetivo el diseño de los sistemas de trituración y extrusión, además, se escoge los mecanismos para enfriar y enrollar el filamento.

- **Actividad 1:** Establecer los parámetros de diseño más relevantes para cada sistema; temperatura de trabajo, diámetro de filamento, producción por hora entre otros.
- **Actividad 2:** Análisis de las posibles soluciones mediante una matriz morfológica para la solución de los sistemas de trituración, extrusión y enrollado.
- **Actividad 3:** Obtención de los cálculos necesarios para poder definir parámetros de diseño tales como geometría y material, además se escoge el sistema de enrollado según las necesidades y velocidad del sistema de extrusión.
- **Actividad 4:** Diseño de los sistemas de la máquina y se acoplan los dispositivos que se escogió para enfriar y enrollar el filamento, finalmente se realiza las simulaciones correspondientes para los componentes o partes de la máquina que se necesite.
- **Actividad 5:** Dibujo de los planos de conjunto y de piezas de la máquina mediante software CAD bajo normas INEN.

### 2.2.3. Fase 3: Construcción del sistema de producción de filamento

- **Actividad 1:** Selección de los elementos necesarios para el ensamble de los sistemas de la máquina. Se tendrá en cuenta la material prima, elementos mecánicos estándar y elementos eléctricos.
- **Actividad 2:** Fabricación del sistema de trituración de plástico, realizando las modificaciones necesarias según se necesite.
- **Actividad 3:** Fabricación del sistema de extrusión de plástico con su sistema de calefacción y los sistemas de enfriado y enrollado del filamento.
- **Actividad 4:** Ensamble de conjunto de los sistemas y configuración de los parámetros de producción.

### 2.2.4. Fase 4: Pruebas de funcionamiento

Esta etapa final incluye las pruebas y los resultados de cada sistema, así como también cómo se utilizó la máquina completa para lograr los objetivos.

- **Actividad 1:** Pruebas del sistema de triturado de plástico para poder obtener los datos del tamaño de las partículas y cantidad de plástico triturado por hora. De este modo se calibra la trituración según los parámetros requeridos.
- **Actividad 2:** Pruebas del sistema de extrusión de plástico para poder obtener los datos de diámetro del filamento y producción por hora. Con los datos obtenidos se calibra para acoplar el sistema de trituración y satisfacer los requerimientos.
- **Actividad 3:** Análisis de resultado final de la máquina con los resultados que se obtiene desde la trituración hasta la salida del filamento ya en el carrete. Además, se probará el filamento con impresiones de muestra para comprobar la validez del filamento.

## 2.3. Diagrama de flujo de máquina

En la figura 2.1 Se muestra un diagrama de flujo para el proceso que se tomó para el diseño y la construcción de la máquina, comenzando desde los parámetros para cada sistema hasta las pruebas de funcionamiento de la máquina completa.

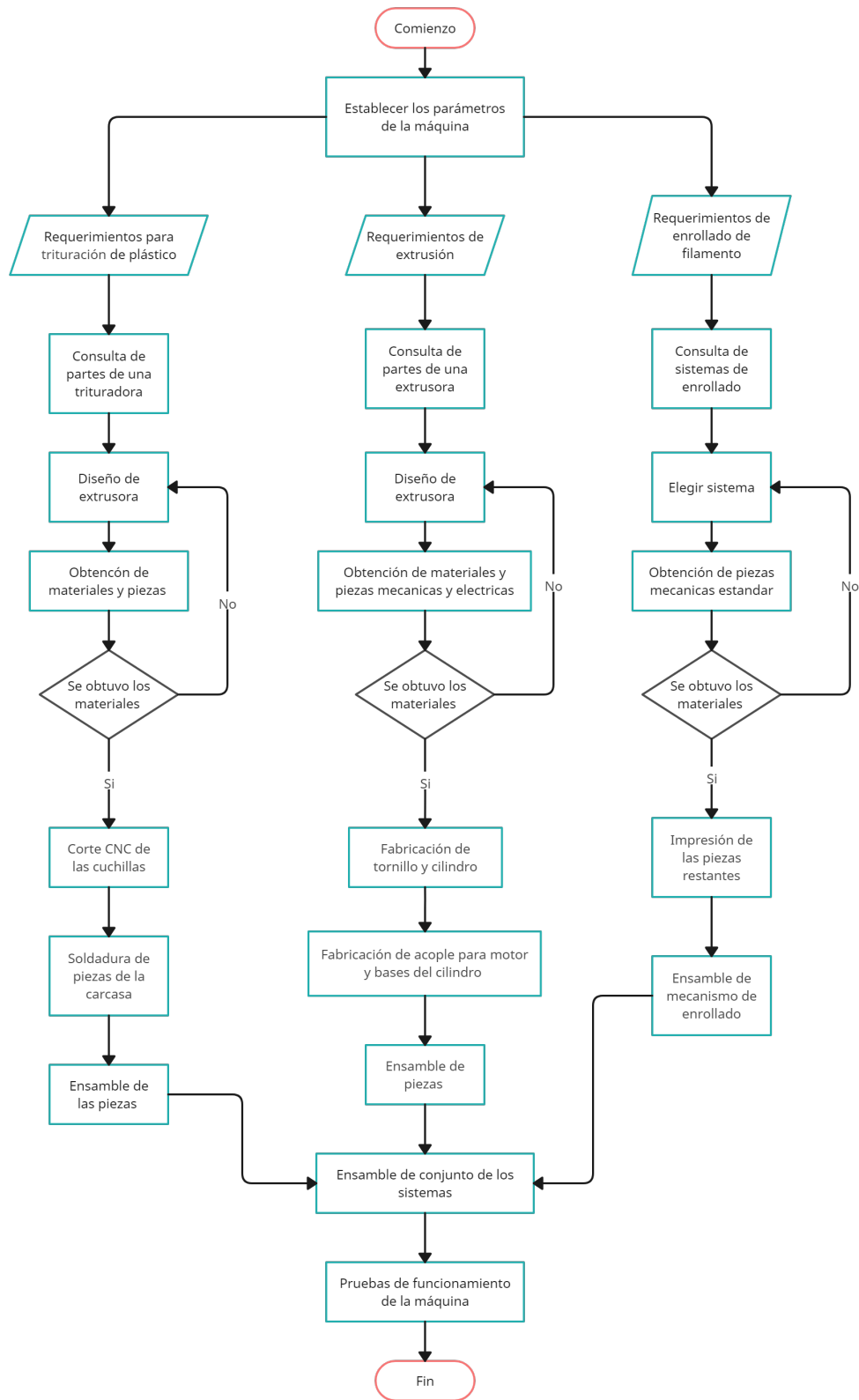


Figura 2.1: Diagrama de flujo de construcción de máquina.

# Capítulo III

## Resultados y análisis de resultados

En el siguiente capítulo se discute los requisitos para construir la máquina productora de filamentos para impresoras 3D, teniendo en cuenta las limitaciones y especificaciones que deben cumplirse para que el producto final sea funcional. Seguidamente se presenta el criterio que se usó para escoger las diferentes partes de la máquina según las especificaciones. También se realiza el diseño de los diferentes sistemas y simulación de esfuerzos para la base de toda la máquina. Finalmente se presenta las pruebas, los resultados obtenidos y las pruebas de impresión con el filamento.

### 3.1. Parámetros de diseño

A continuación, se presentara los parámetros más relevantes para el diseño y construcción de la máquina productora de filamento.

- **Materia prima:** La máquina debe trabajar con botellas de plástico tipo PET las cuales pueden tener un volumen máximo de 3 litros, las medidas de las botellas se puede observar en la tabla 3.1.

Tabla 3.1: Dimensiones de las botellas

Capacidad (ml)	Longitud (cm)	Diámetro (cm)
250	17	6
500	22	7
1000	28	8,5
3000	36,5	11

- **Desmontable:** Para la limpieza y mantenimiento de la máquina debe ser desmontable hasta cierto grado, teniendo en cuenta que tolvas, criba, resistencias calefactoras y boquillas sean de fácil extracción.



- **Dimensiones del filamento:** Las dimensiones del filamento o producto final debe ser de 1.75 mm con un error de 0.05 mm máximo.
- **Embobinado:** La máquina debe ser capaz de enrollar el filamento en el carrete evitando que el material se superponga ocasionando nudos.

### 3.2. Matriz morfológica para el análisis de alternativas

Para la matriz morfológica se toma en cuenta las partes principales de la máquina, las cuales se las divide en sistema de trituración, sistema de extrusión, sistema de enfriado y sistema de enrollado. Se muestra algunas alternativas a estos sistemas y se escoge la mejor opción para cumplir con los requerimientos.

Tabla 3.2: Matriz morfológica de los sistemas de la máquina.

Funciones	Soluciones		
Trituración de las botellas	Trituradora mono eje		Trituradora de doble eje
Extrusión del filamento	Doble tornillo de extrusión	Simple tornillo de extrusión	Tornillo de extrusión de tres secciones
Enfriamiento del filamento	Aire		Agua
Enrollado del filamento	Manual		Eléctrico
	Opción 1	Opción 2	Opción 3

#### 3.2.1. Opción 1

Acorde a las dimensiones que se les da a todas las opciones, esta opción comprende una máquina de producción lenta debido a su trituradora mono eje que su producción no es alta, la extrusión con un husillo simple no tiene gran eficiencia y para poder enfriar por aire con ventiladores necesita que la salida del filamento no sea rápida.

#### 3.2.2. Opción 2

Comprende una máquina más automatizada, ya que es totalmente eléctrica, además por sus características de doble eje tanto de trituración como de extrusión esta máquina cuenta con una producción alta y eficiente.

Tabla 3.3: Ventajas y desventajas de opción 1

Ventajas	Desventajas
- Fácil fabricación de piezas	- Poco eficiente
- Fácil manejo	- Baja producción
- Fácil mantenimiento	- Poco precisa
- Costo moderado	

Tabla 3.4: Ventajas y desventajas de opción 2

Ventajas	Desventajas
- Mayor producción	- Difícil fabricación
- Alta eficiencia	- Difícil mantenimiento
- Un producto más homogéneo	- Costosa

### 3.2.3. Opción 3

Comprende una máquina de producción media, ya que su trituradora como extrusora son mono eje. Todos sus sistemas son eléctricos, la forma del husillo de extrusión permite que el material salga más homogéneo.

Tabla 3.5: Ventajas y desventajas de opción 3

Ventajas	Desventajas
- Mecanismo simple	- Manufactura compleja del tornillo extrusor
- Sistemas fácil de usar	- Cálculos complejos
- Fácil mantenimiento	

### 3.2.4. Evaluación de Soluciones

En la tabla 3.6 se muestra las ponderaciones de las características más importantes de la máquina para poder realizar el respectivo análisis de las opciones presentadas anteriormente.

Tabla 3.6: Parámetros de evaluación

	Dimensión	Precio	Mantenimiento	Producción	$\sum +1$	Ponderación
Dimensión		0,5	0	0	1,5	0,15
Precio	0,5		0,5	0,5	2,5	0,25
Mantenimiento	1	0,5		0,5	3	0,3
Producción	1	0,5	0,5		3	0,3
				Total	10	1,0

Tabla 3.7: Evaluación del criterio : Dimensión de la máquina

	Opción 1	Opción 2	Opción 3	$\sum +1$	Ponderación
Opción 1		1	0,5	2,5	0,417
Opción 2	0		0	1	0,167
Opción 3	0,5	1		2,5	0,417
Total				6	1

Tabla 3.8: Evaluación del criterio : Precio de la máquina

	Opción 1	Opción 2	Opción 3	$\sum +1$	Ponderación
Opción 1		1	0,5	2,5	0,417
Opción 2	0		0	1	0,167
Opción 3	0,5	1		2,5	0,417
Total				6	1

Tabla 3.9: Evaluación del criterio : Mantenimiento de la máquina

	Opción 1	Opción 2	Opción 3	$\sum +1$	Ponderación
Opción 1		1	0,5	2,5	0,417
Opción 2	0		0	1	0,167
Opción 3	0,5	1		2,5	0,417
Total				6	1

Tabla 3.10: Evaluación del criterio : Producción de la máquina

	Opción 1	Opción 2	Opción 3	$\sum +1$	Ponderación
Opción 1		0	0,5	1,5	0,25
Opción 2	1		0,5	2,5	0,417
Opción 3	0,5	0,5		2	0,333
Total				6	1

Con los parámetros y ponderaciones de las tablas 3.7, 3.8, 3.9 y 3.10, se obtiene la tabla 3.11, la cual muestra según las ponderaciones que la opción 3 es la más adecuada, ya que esta consta con un sistema de trituración mono eje, extrusión de husillo de 3 secciones y bobinado eléctrico lo cual da una producción media y poco mantenimiento.

### 3.3. Diseño y selección de sistemas

El diseño de la máquina productora de filamento se subdivide en cuatro partes, las cuales son: el sistema de extrusión, el sistema de trituración, el sistema de refrigeración y enrollado,

Tabla 3.11: Selección de alternativa

	Dimensión	Precio	Mantenimiento	Producción	$\Sigma$	Ponderación
Opción 1	0,15x0,42	0,25x0,42	0,3x0,42	0,3x0,25	0,367	
Opción 2	0,15x0,17	0,25x0,17	0,3x0,17	0,3x0,42	0,242	
Opción 3	0,15x0,42	0,25x0,42	0,3x0,42	0,3x0,33	0,392	GANA
Total				10	1,0	

sistema eléctrico y como ultimo la base donde se monta todos los componentes. para poder realizar el diseño se tomo como referencia las características de opción escogida en el anterior apartado. En la figura 3.1 se puede observar el diseño de la máquina.

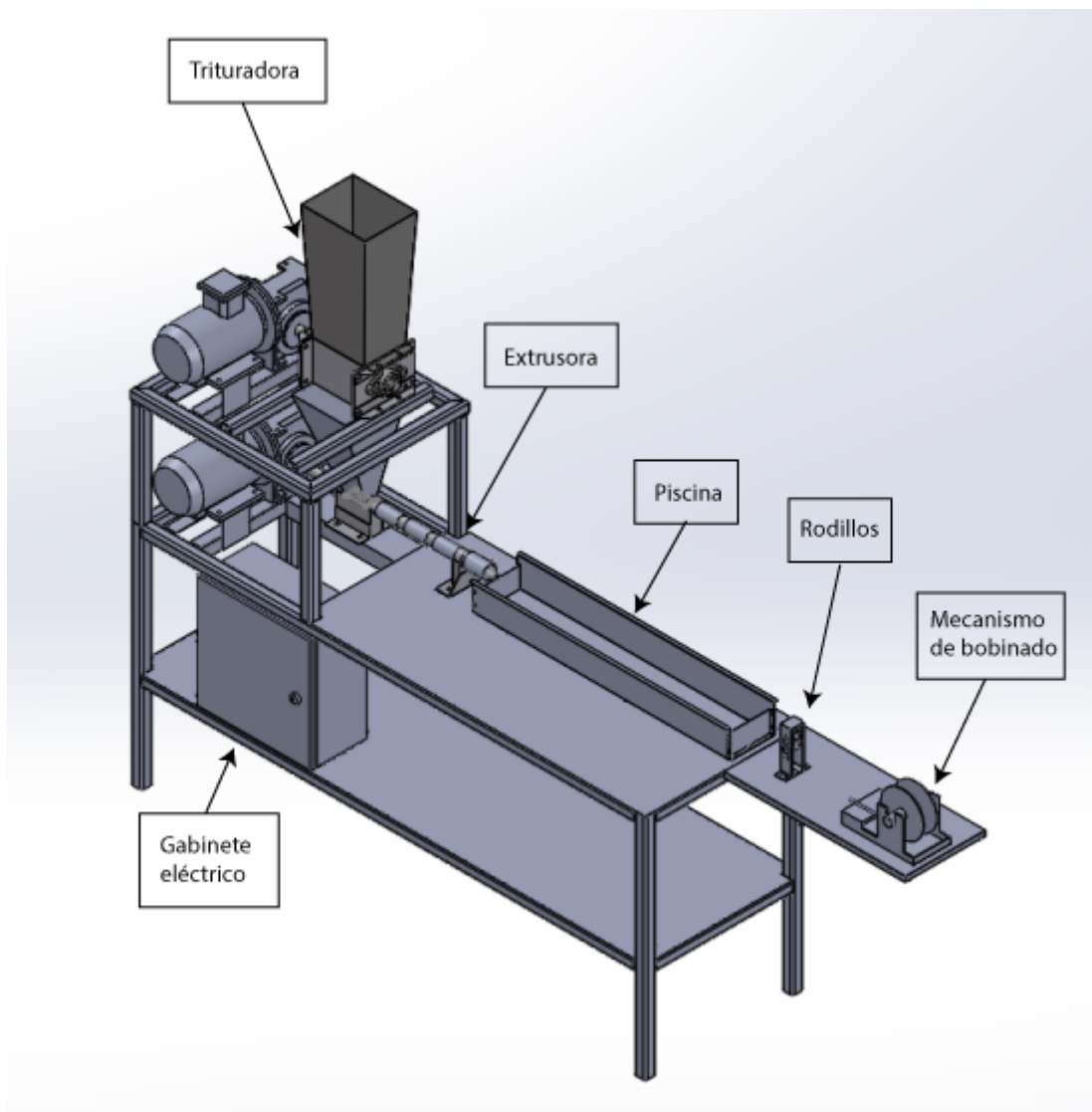


Figura 3.1: Diseño de la máquina productora de filamento

### 3.3.1. Cálculo de la fuerza de corte

Para calcular la fuerza total de corte se parte por obtener el espesor máximo de las botellas de PET. El espesor máximo de una botella se encuentra en la parte de la rosca, por lo que se tiene un valor de 3mm de espesor máximo. La fuerza de corte esta dada por la siguiente ecuación [43]:

$$P = \frac{l * s}{2} * \tau_{PET} \quad (3.1)$$

Donde:

P = fuerza de corte, en kg

l = longitud de cuchillas

s = espesor de la botella

$\tau_{PET}$  = resistencia al corte en  $kg/mm^2$

El filo de corte del diseño esta dispuesto en una abertura  $\gamma$  de  $8^\circ$ , teniendo presente que l es:

$$s = l * \tan \gamma \quad (3.2)$$

$$l = \frac{s}{\tan \gamma}$$

La resistencia al corte del PET es 6 MPa (tabla 1.2) que es igual a  $0,61 kg/mm^2$  y al simplificar la ecuación se tiene::

$$P = 7,12 * s^2 * \tau_{PET} \quad (3.3)$$

$$P = 7,12 * (3mm)^2 * (0,61kg/mm^2)$$

$$P = 39,1kg$$

Pasado a Newton se tiene como fuerza total de corte para el PET:

$$F_c = 383,57N \quad (3.4)$$

### 3.3.2. Torque requerido

Para calcular el torque se toma el radio de las cuchillas partiendo del diámetro, en este caso el diámetro es igual a 120mm, además se toma la fuerza calculada de la ecuación 3.4.

$$T_{cuchilla} = F_c * r \quad (3.5)$$

$$T_{cuchilla} = 383,57N * \frac{120mm}{2}$$

$$T_{cuchilla} = 23014,2Nmm$$

El torque total en el eje se multiplica por 3, ya que este es el número de cuchillas que entran en contacto con el material al mismo tiempo.

$$T_t = 23014,2Nmm * 3$$

$$T_t = 69042,6Nmm$$

### 3.3.3. Potencia de salida

Para calcular la potencia de salida o la potencia que se necesita para triturar una botella se usa la siguiente formula:

$$P_s = \frac{T * n_N}{9550} \quad (3.6)$$

Donde:

$P_s$  = Potencia de salida (Kw)

$n_N$  = Revoluciones nominales, en rpm

T = Torque requerido (Nm)

$$P_s = \frac{69,04Nm * 85rpm}{9550}$$

$$P_s = 0,61Kw = 0,82hp$$

### 3.3.4. Potencia de Entrada

Para calcular la potencia de entrada se toma en cuenta la eficiencia del motor, en este caso el motor tiene un 82,8 % de eficiencia.

$$P_e = P_s / eficiencia$$

$$P_e = 0,82hp / 0,828$$

$$P_e = 0,99hp$$

### 3.3.5. Factor de servicio

Para seleccionar la potencia de un motor primero se toma en cuenta el factor de servicio, ya que el motor lleva un reductor y en la practica, el reductor no trabajara en condiciones ideales. La revista Electro Industria [44] propone una tabla (3.12) según el trabajo del motor.

Debido a que el motor tienen una entrada constante, trabaja 10 horas aproximadamente y tiene un choque medio, se utiliza el el valor de 1,25 de factor de servicio (fs). Para encontrar el momento requerido para el motor se multiplica el fs por el torque.

Tabla 3.12: Factor de servicio

Tipo de motor que acciona el reductor	horas/día	Tipo de carga		
		Uniforme	Media	Con choque
Motor de eléctrico entrada constante	2	0,9	1,1	1,5
	10	1,0	1,25	2,75
	24	1,25	1,50	2,0
Medianamente impulsiva	2	1,0	1,35	1,75
	10	1,25	1,50	2,00
	24	1,50	1,75	2,50

Fuente: Tomada de [44].

$$P = 1,25 * 0,99hp$$

$$P = 1,24hp$$

La potencia necesaria para el motor sera de 1,24 hp, por temas de adquisición se opta por un motor de 2 hp con su respectivo moto reductor.

### 3.3.6. Diseño de cuchillas de trituración

Para el diseño de las cuchillas se toma en cuenta la fuerza del corte del PET, la longitud máxima de una botella de 3 litros y el número de dientes de la cuchilla, ya que, a mayores dientes, los fragmentos tienen una menor dimensión. Por ende, se escoge un diseño de 3 dientes con flancos curvos los cuales presentan una menor deformación según Moyano [45] y un diámetro de 120 mm.



Figura 3.2: Diseño de cuchilla

## Material

Para el material de las cuchillas hay que tomar en cuenta algunos factores:

- El diámetro de las cuchillas debe ser de 120 mm.
- Ya que existen cargas dinámicas el factor de seguridad debe comprender rangos mayores de 2,5.
- En el máximo esfuerzo realizado, la deformación debe comprender valores inferiores a 0.1 mm para que no exista una afectación en el material.
- El material debe tener una dureza mayor a 58 [46].
- Resistente al desgaste.

Por ende, para el material de las cuchillas, se utiliza acero de trabajo en frío con alta resistencia al desgaste y con dureza elevada, esto se debe a las condiciones de trabajo que estarán sometidas las cuchillas y a los factores antes mencionados. Además el material debe venderse en el mercado nacional. Por lo tanto, se escoge el acero k100 de la tabla 3.13 con 6mm de espesor para el diseño de la cuchilla.

Tabla 3.13: Aceros para herramienta

Material	Descripción
K100	Acero ledeburítico al 12 % de cromo, de alta resistencia al desgaste. Ejemplo: Matrices y punzones.
K110	Acero similar al k100 con mayor tenacidad y resistencia al desgaste.
K245	Acero de excelente elasticidad y buena resistencia al desgaste. Para herramientas de fijación como pinzas, boquillas y mordazas.
k329	Acero de excelente tenacidad y buena resistencia al desgaste. Para herramientas como cizallas de alto rendimiento, cuchillas chiperas, cuchillas planas y circulares.

Fuente: Tomada de [46].

## Disposición de las cuchillas

Se diseña tres cuchillas las cuales tienen un desfase de 20° en el ángulo de ataque y están dispuestas en espiral a lo largo del eje. De esta manera, se garantiza que el número máximo de filos que trabajan al mismo tiempo sean 3.

En la figura 3.3 se observa la cuchilla B tiene un ángulo de desface de 20° con respecto a la cuchilla A y de la misma forma se observa que la cuchilla C tienen el mismo ángulo de desface con respecto a la cuchilla B.



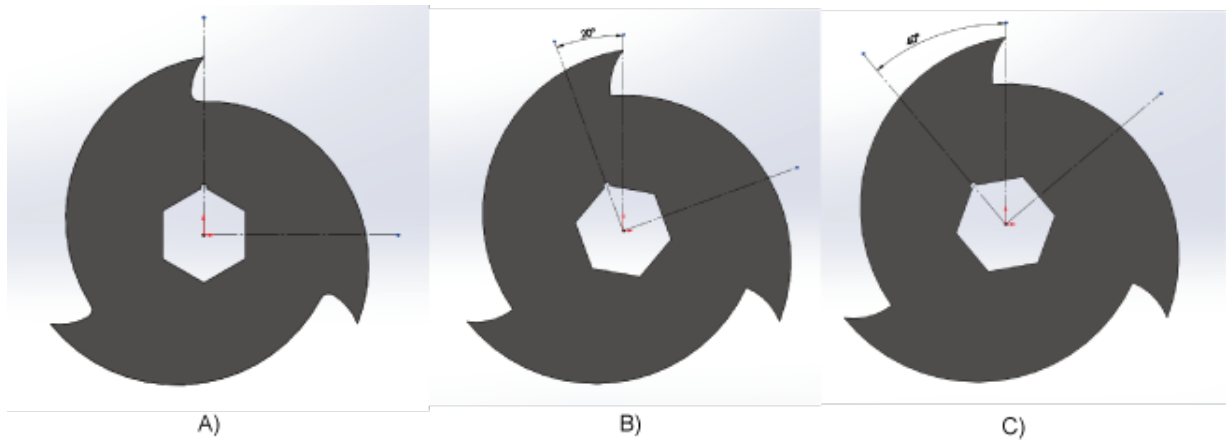


Figura 3.3: Ángulo de desface de las cuchillas.

### Simulación y resultados

Para la simulación se toma en cuenta la fuerza ejercida en la cuchilla (morado) para cortar el PET y el toque transmitido por el eje (azul) como se muestra en la figura 3.4. Para el mallado se realiza un análisis de convergencia para poder obtener el esfuerzo de Von Mises, el desplazamiento y el factor de seguridad.

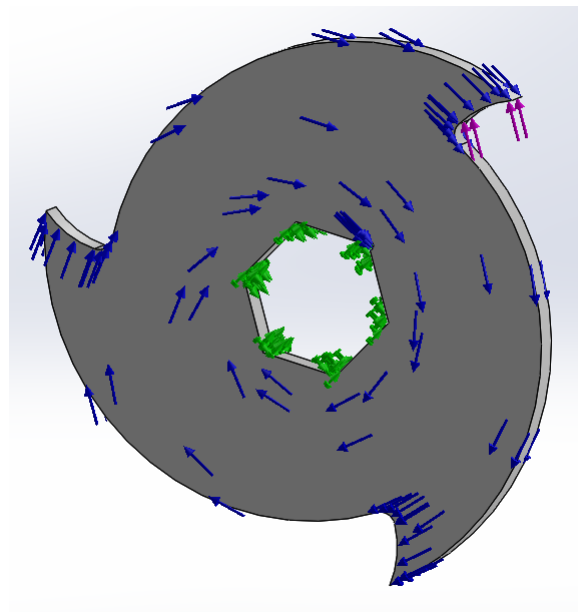


Figura 3.4: Fuerzas en la cuchilla.

Como se observa en la figura 3.5 el máximo esfuerzo se encuentra en la base de la punta de corte, por otra parte el máximo desplazamiento sucede en la punta de corte como se aprecia en la figura 3.6.

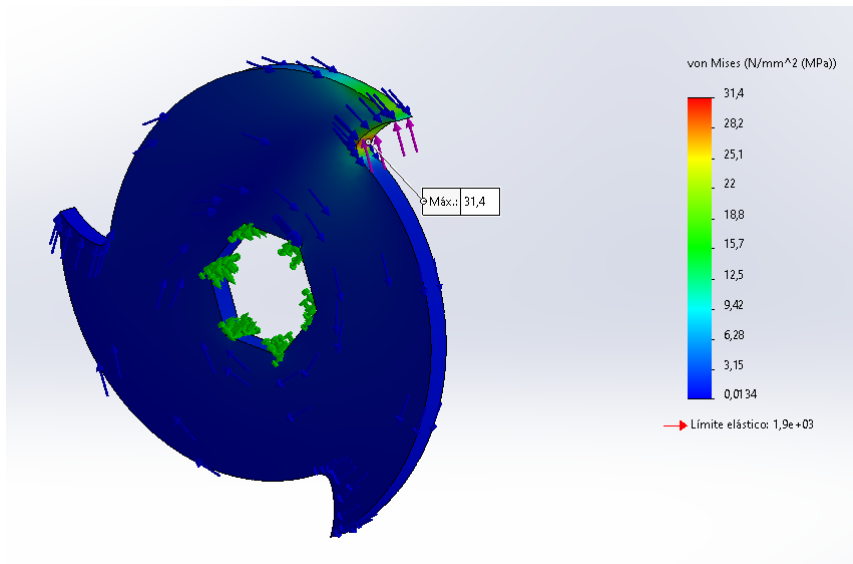


Figura 3.5: Esfuerzo de Von Mises

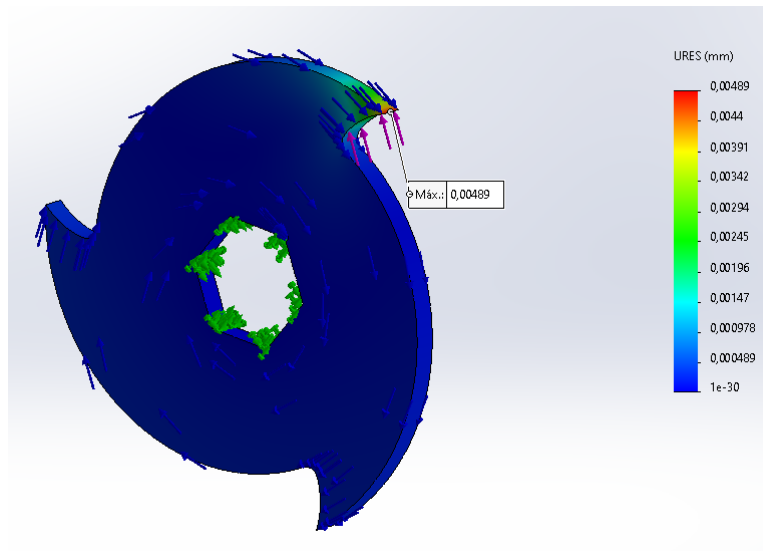


Figura 3.6: Desplazamiento

EN la figura 3.7 se observa el análisis de convergencia para los esfuerzos de Von Mises, como resultado se tiene un esfuerzo de 34 MPa. Para el desplazamiento máximo (figura 3.8) se muestra en el la curva que los valores mas estables están aproximadamente en 0,0049 mm de desplazamiento. Por ultimo para el factor de seguridad (figura 3.9) se tiene un valor de 59 aproximadamente. Con esto se cumplen los requerimientos para el material por lo que es factible el acero k100 para las cuchillas.

N Nodos	Von Mises (MPa)
89199	33,7
66166	34,4
58492	33,6
44921	33,2
26005	32
16253	31,4
12887	28,5
9330	29,1
7350	29
6088	27,3

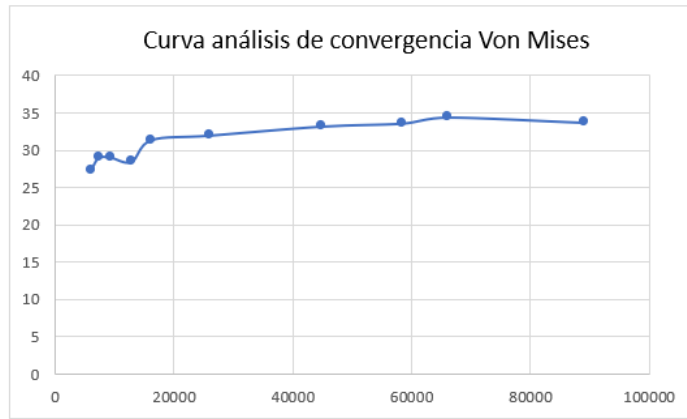


Figura 3.7: Desplazamiento

N Nodos	Desplazamiento (mm)
89199	0,005
66166	0,0049
58492	0,0049
44921	0,0049
26005	0,00488
16253	0,00489
12887	0,00483
9330	0,0048
7350	0,00474
6088	0,00471

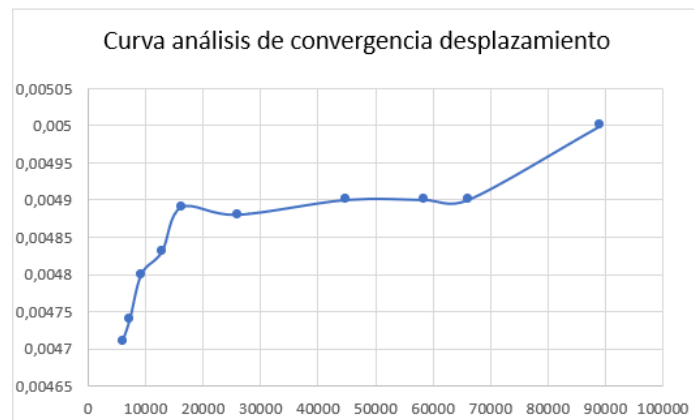


Figura 3.8: Desplazamiento

N Nodos	FDS
89199	56,3
66166	55,2
58492	56,4
44921	57,1
26005	59,3
16253	60,5
12887	66,5
9330	65,2
7350	65,4
6088	69,5

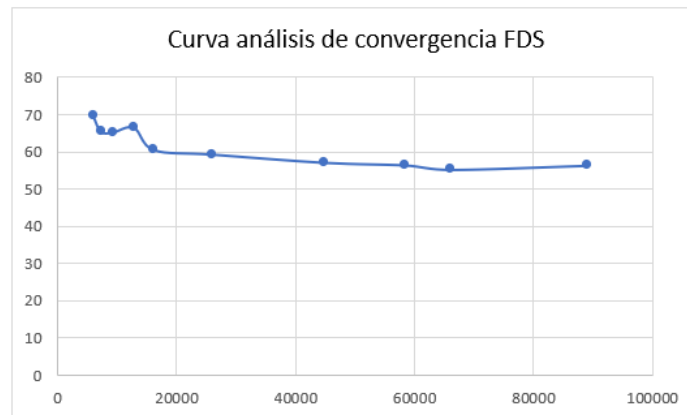


Figura 3.9: Desplazamiento

### 3.3.7. Diseño del eje de la trituradora

Para el diseño del eje se tienen en cuenta que esta formado por tres secciones, dos circulares, donde van acoplados los rodamientos y el acople al motor y una sección hexagonal donde van acopladas las cuchillas y los separadores (figura 3.10).

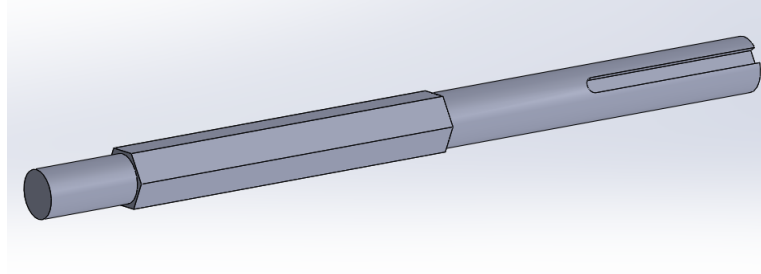


Figura 3.10: Diseño de eje para trituradora

El material utilizado para el eje es el acero AISI 1018 por lo que se tiene una resistencia a la tensión ( $S_{ut}$ ) de 465 MPa y la resistencia a la fluencia ( $S_y$ ) de 235 MPa. Con estos datos se procede a calcular el diámetro mínimo aplicando parámetros de análisis de fatiga.

#### Diagrama de cuerpo libre

En el diagrama se realiza la representación de las cargas que actúan sobre el eje como se puede apreciar en la figura 3.11.

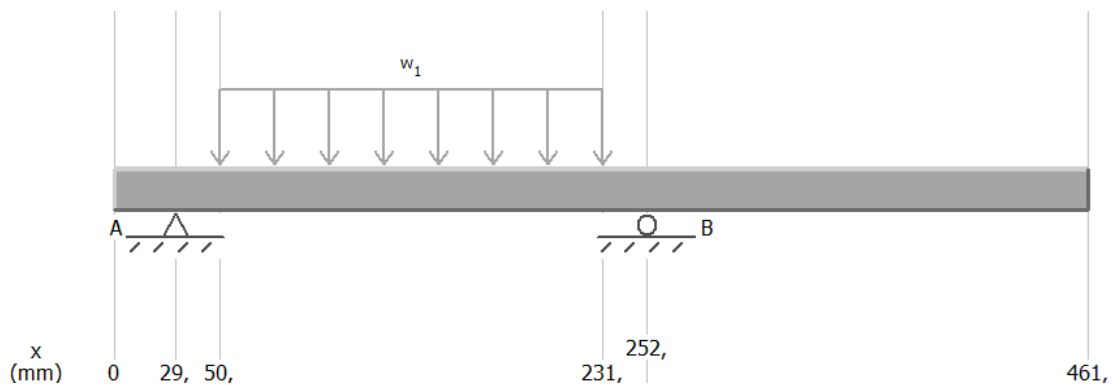


Figura 3.11: Diagrama de cuerpo libre

Donde:

$W_1$ : Carga distribuida, peso total de las cuchillas y separadores = 7,33 Kg

$$P = 7,33Kg + 9,81 = 71,9N$$

$$W_1 = P/0,181m = 397,24N/m$$

$T_c$ : Torque necesario para triturar el PET (23,014 Nm)

A y B: reacciones generadas por los apoyos (rodamientos).

### Diagramas de fuerzas cortantes y momento flector

En el diagrama ( figura 3.12 ) se muestra las fuerza cortante sobre el eje y las reacciones en los apoyos A y B. La reacción en el punto A y B son de 35,95N

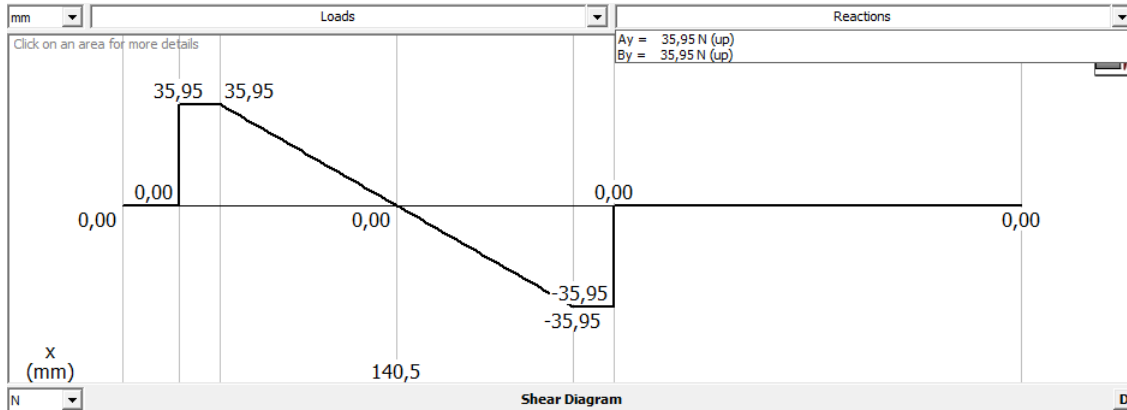


Figura 3.12: Diagrama de fuerzas cortantes

Como se muestra en el diagrama de momentos (figura 3.13), el momento máximo flector sobre el eje es de 2,38 Nm y el momento mínimo es -2,38 Nm.

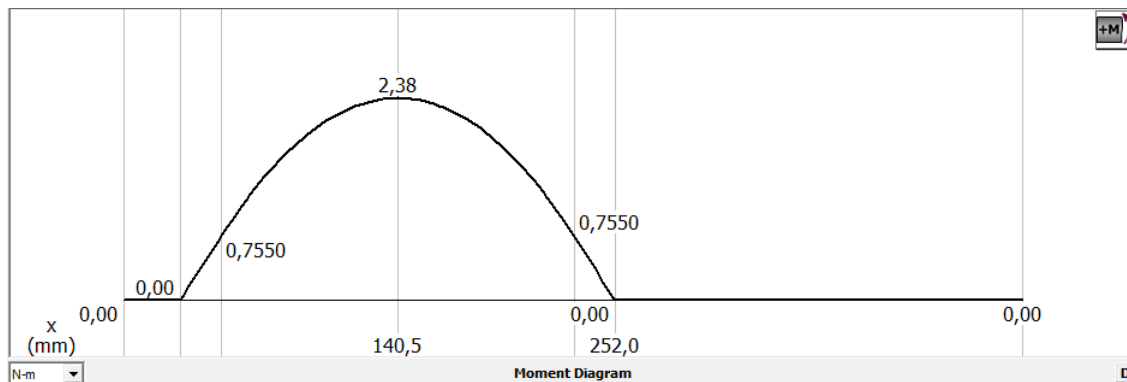


Figura 3.13: Diagrama de momento flector

### Momento torsor

Para el momento torsor máximo se toma el torque necesario para cortar el PET con las tres cuchillas ( $T=69,043\text{Nm}$ ) mientras el momento torsor mínimo sera cero.

## Diámetro del eje

Con los valores obtenidos se procede a calcular el diámetro del eje con la teoría de energías de distorsión, por el criterio de Soderberg.

$$d = \left\{ \frac{16n}{\pi} \left[ 4 \left( \frac{K_f M_a}{S_e} \right)^2 + 3 \left( \frac{K_{fs} T_a}{S_e} \right)^2 + 4 \left( \frac{K_f M_m}{S_y} \right)^2 + 3 \left( \frac{K_{fs} T_m}{S_y} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \right\}^{\frac{1}{3}} \quad (3.7)$$

Donde:

$M_a$  : Momento alternante

$$M_a = \frac{M_{max} - M_{min}}{2} = \frac{2,38Nm - (-2,38Nm)}{2} = 2,38Nm$$

$M_m$ : Momento medio  $M_m = 0$

$T_a$ : Torque alternante

$$T_a = \frac{T_{max} - T_{min}}{2} = \frac{69,043Nm - (0)}{2} = 34,5215Nm$$

$T_m$ : Torque medio

$$T_m = \frac{T_{max} + T_{min}}{2} = \frac{69,043Nm + (0)}{2} = 34,5215Nm$$

$K_f$  y  $K_{fs}$  :Factor de concentrador de esfuerzos cargas cíclicas

Considerar:  $K_f = 1,6$  y  $K_{fs} = 1,4$

$S_y$ : Resistencia a la fluencia (465 MPa)

$S_e$ : Limite de fatiga

Para calcular el limite de fatiga se realiza de la siguiente manera:

$$S_e = k_a k_b k_c k_d k_e S'_e \quad (3.8)$$

Donde:

$S_e$ : Limite de fatiga [MPa]

$k_a$ : Factor de superficie

$k_b$ : Factor de tamaño

$k_c$ : Factor de modificación de carga

$k_d$ : Factor de temperatura

$k_e$ : Factor de confiabilidad

$S'_e$ : Limite de resistencia a la fatiga en la viga rotatoria

Para encontrar los factores de Marin se utiliza las tablas y gráficos del anexo 0.3.

$$S_{ut} = 465 \text{ MPa}$$

$$S_y = 235 \text{ MPa}$$

$$k_a = 4,51(465)^{-0,265} = 0,89$$

Para el factor de tamaño se asume un factor de:

$$k_b = 0,88$$

Ya que esta sometido a flexión el factor de modificación de cargas es:

$$k_c = 1$$

Temperatura de trabajo = 86°F, condiciones normales

$$k_d = 1$$

Asumiendo una confiabilidad de 99 %

$$k_e = 0,814$$

Para calcular  $S'_e$

$$S'_e = 0,5 * S_{ut} \quad (3.9)$$

$$S'_e = 0,5 * 465 \text{ MPa} = 232,5 \text{ MPa}$$

Entonces

$$S_e = 0,89 * 0,88 * 1 * 1 * 0,814 * 232,5 \text{ MPa} = 148,22 \text{ MPa}$$

Por ultimo

$$d = \left\{ \frac{16 * 2,5}{\pi} \left[ 4 \left( \frac{1,6 * 2380 \text{ Nmm}}{148,22 \text{ N/mm}^2} \right)^2 + 3 \left( \frac{1,4 * 34521,5 \text{ Nmm}}{148,22 \text{ N/mm}^2} \right)^2 + 3 \left( \frac{1,4 * 34521,5 \text{ Nmm}}{235 \text{ N/mm}^2} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \right\}^{\frac{1}{3}}$$

$$d = 20,43 \text{ mm}$$

Como resultado para cargas dinámicas y con un factor de seguridad de 2.5 se obtiene que el diámetro mínimo es de 20,43mm. Por otra parte, debido a el diámetro de rodamientos y de la entrada para el reductor se opta por diseñar el eje como se muestra en la figura 3.14, teniendo

como un diámetro mínimo de 25mm, el cual tiene un factor de seguridad de 4,5 y un diámetro de 28mm para acoplar al reductor. Además, se tiene que el diámetro inscrito del hexágono donde se acoplan las cuchillas es de 28mm.

$$\frac{1}{n} = \frac{16}{\pi * 25mm^3} \left[ 4 \left( \frac{1,6 * 2380Nmm}{148,22N/mm^2} \right)^2 + 3 \left( \frac{1,4 * 34521,5Nmm}{148,22N/mm^2} \right)^2 + 3 \left( \frac{1,4 * 34521,5Nmm}{235N/mm^2} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$n = 4,5$$

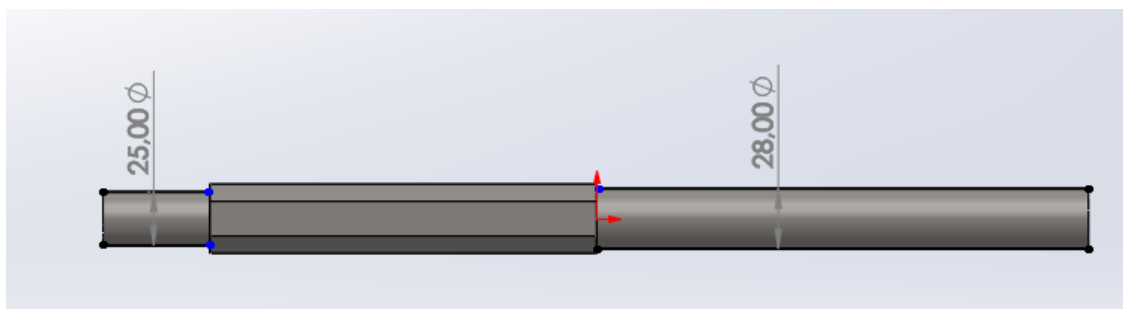


Figura 3.14: Diámetros del eje

### Simulación y resultados

Para la simulación (figura 3.15) se colocó las sujeciones (verde), el peso de las cuchillas sobre el eje (morado) y el momento torsor necesario para el corte de las botellas (azul). Como resultados se obtuvo un esfuerzo máximo de 51,8 MPa (figura 3.16) y un factor de seguridad de 4 (figura 3.17).

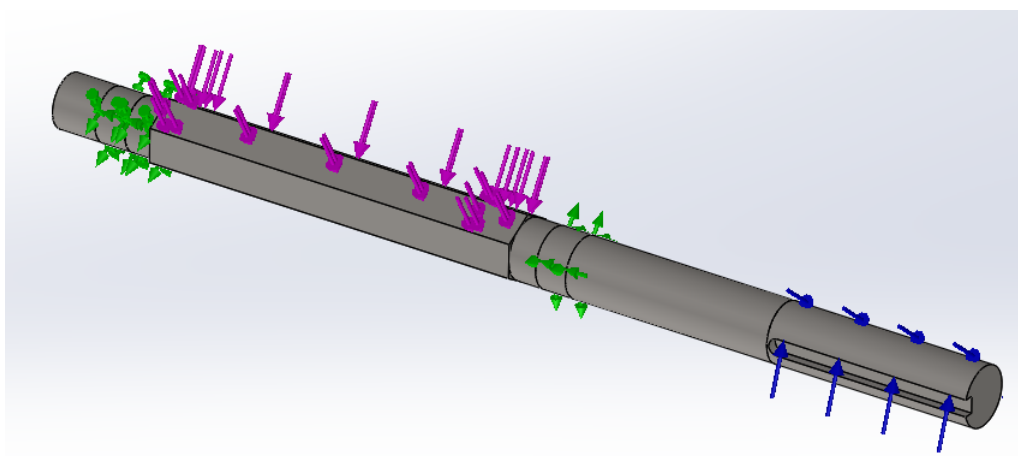


Figura 3.15: Fuerzas sobre el eje



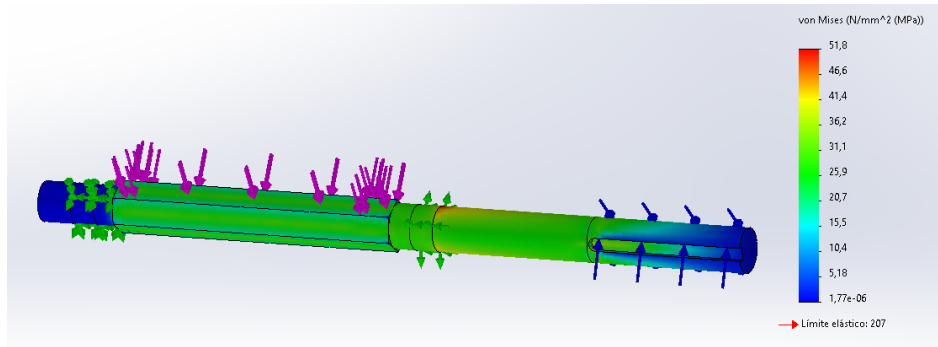


Figura 3.16: Esfuerzo de Von Mises

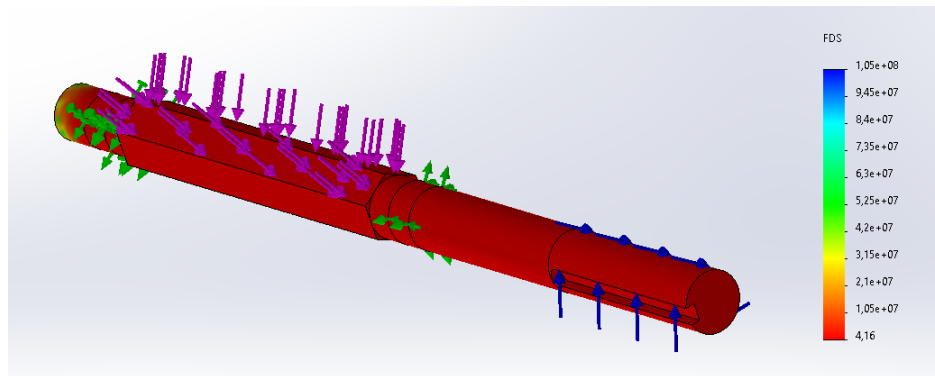


Figura 3.17: Factor de seguridad

Realizando un análisis de convergencia se obtiene la gráfica 3.18 en la cual se puede observar la relación del número de nodos de la malla con el factor de seguridad y se encuentra que el valor de factor de seguridad es de 3.8 aproximadamente. Comparado con el factor de seguridad obtenido del cálculo se tiene un 15,6% de diferencia, sigue estando en los rangos aceptables permisibles.

N Nodos	FDS
42132	3,37
38619	3,61
34956	3,58
28263	3,35
26436	3,72
23692	3,59
19850	3,87
16059	4,14
12233	4,17
10460	4,16
8214	4,23
6968	3,72

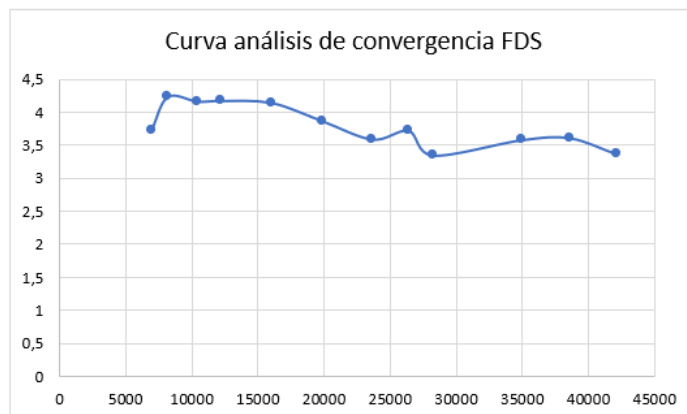


Figura 3.18: Análisis de Convergencia

### 3.3.8. Cámara de triturado

La cámara de triturado es la encargada de sostener al eje con las cuchillas y donde se ubican las cuchillas fijas que con las cuchillas móviles realizan el cizallado. Para el diseño se toma en cuenta las medidas de las botellas de la tabla 3.1), y el largo total de una botella de 3 litros aplastada (figura 3.19).



Figura 3.19: Ancho de botella de 3L aplastada

#### Medidas de la cámara de triturado

El ancho de una botella de 3 litros aplastada es aproximadamente 17 mm, con esta medida se puede definir una medida mínima para el largo de la cámara. Además, tomando en cuenta las medidas de las cuchillas y los separadores, 6mm y 6,5mm respectivamente, se tiene un largo de 181,5 mm y un ancho de 143 mm (figura 3.20). Las cuchillas de la cámara están fijadas por medio de dos tornillos que pasan a lo largo de la caja, además se apoyan en la placa trasera que a su vez esta unida a los laterales mediante tornillos.

### 3.4. Ingreso y salida de material triturado

En este apartado se presenta el diseño de la tolva por donde ingresan las botellas, así mismo se presenta el diseño de la criba que se encarga de tamizar el producto.

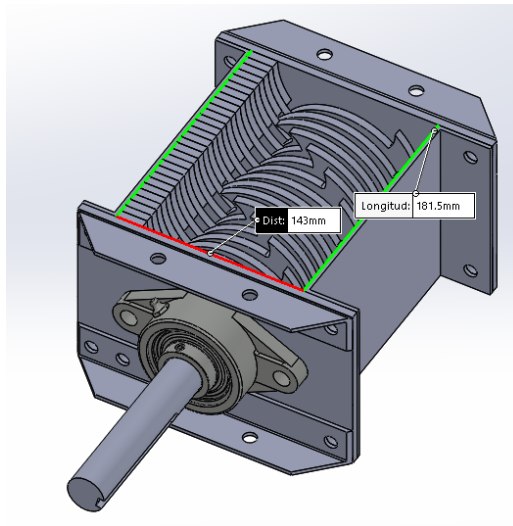


Figura 3.20: Cámara de trituración

### Tolva

Para la tolva (figura 3.21) de la trituradora se tiene en cuenta las medidas del alto de la botella de 3 litros que es la botella más alta que ingresa a triturar, además, se toma las medidas del área de la cámara de trituración para la tolva de la base.

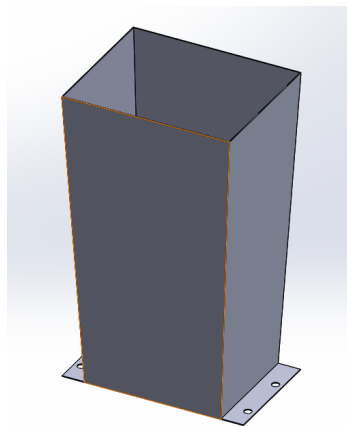


Figura 3.21: Tolva superior

### Criba

La criba se diseña con la misma curva del recorrido de las cuchillas para la retroalimentación del material que no atraviesa el tamiz, también se tiene en cuenta que sea de fácil remoción. El diseño se observa en la figura 3.22.

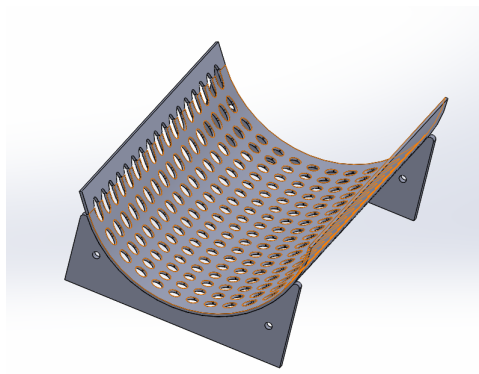


Figura 3.22: Criba

### 3.4.1. Diseño del tornillo de extrusión (husillo)

En este apartado se realiza los cálculos respectivos para determinar los parámetros de funcionamiento de la extrusora tales como: diámetro, longitud, holgura y flujo volumétrico. Para el diseño se tomo en cuenta las sugerencias dadas por Savgordny [36], dividiendo el sistema en diseño de husillo-barrel, tolva y sistema de calentamiento.

#### Parámetros de tornillo extrusor

El husillo es la parte fundamental de una extrusora, para esta pieza se toma medidas estándar para extrusión de propósito general. Los parámetros que se puede observar en la figura 3.23 son de gran importancia ya que de esto depende la producción del filamento.

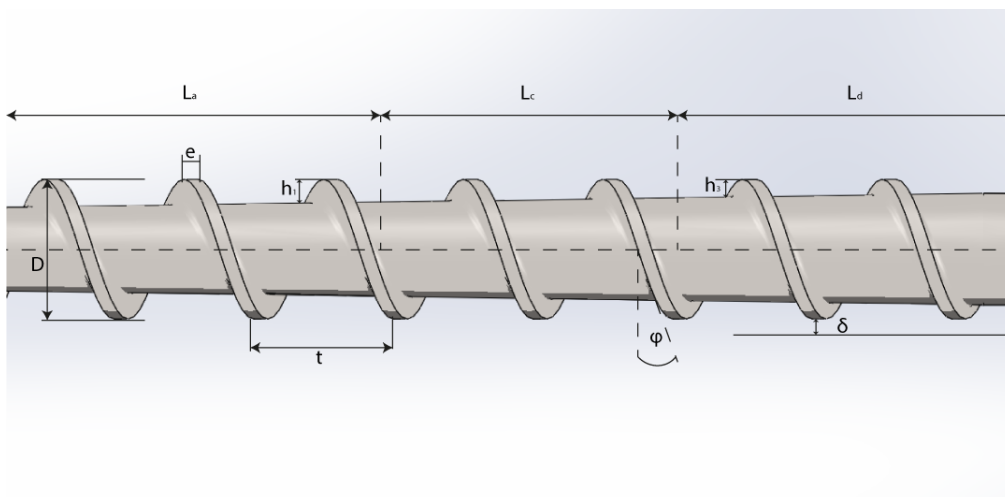


Figura 3.23: Partes de un tornillo extrusor

Se toma como relación longitud al diámetro ( $L:D$ ) la recomendada por Savgordny [36]

y un diámetro de 25mm. De esta forma permite cumplir con los requerimientos establecidos anteriormente.

$$\frac{L}{D} = \frac{20}{1} \quad (3.10)$$

L = Largo de trabajo del husillo

D = Diámetro de husillo = 25 mm

$$L = 20 * D = 20 * 25mm = 500mm$$

Teniendo la relación L:D se procede a calcular las longitudes de las tres secciones usando las siguientes ecuaciones:

$$L_a = 8 * D \quad (3.11)$$

$$L_c = 7 * D \quad (3.12)$$

$$L_d = 5 * D \quad (3.13)$$

Donde:

$L_a$  = largo de la sección de alimentación

$L_c$  = largo de la sección de compresión

$L_d$  = largo de la sección de dosificación

D = Diámetro del husillo

$$L_a = 8 * 25mm = 200mm$$

$$L_c = 7 * 25mm = 175mm$$

$$L_d = 5 * 25mm = 125mm$$

Para la profundidad de canal de alimentación:

$$h_1 = 0,2 * D \quad (3.14)$$

Donde:

$h_1$  = Profundidad de canal de alimentación

D = Diámetro del husillo

$$h_1 = 0,2 * 25mm = 5mm$$

La profundidad de canal de dosificación esta dada por la ecuación:

$$h_3 = \frac{h_1}{i} \quad (3.15)$$

Donde:

$h_3$  = Profundidad de canal de dosificación

$i$  = Grado de compresión (entre 2 y 3 para propósito general)

$$h_3 = \frac{5mm}{2} = 2,5mm$$

Para el cálculo de la anchura del diente se usa la ecuación:

$$e = 0,1 * D \quad (3.16)$$

Donde:

$e$  = Anchura de diente

$$e = 0,1 * 25mm = 2,5mm$$

Para el paso del husillo se toma la misma medida del diámetro:

$$t = 25mm$$

El número de filetes se obtiene mediante la relación L:D que se usa para el husillo entonces se tiene que el número de filetes es:

$$N_f = 20$$

Para la holgura del husillo/cilindro que es la medida entre la cresta del filete del husillo y la superficie interior del cilindro se emplea la ecuación:

$$\delta = 0,002D \quad (3.17)$$

Donde:

$\delta$  = Holgura

$$\delta = 0,003 * 25mm = 0,075mm$$

Para el cálculo del ángulo de hélice se realiza con la siguiente ecuación:

$$\varphi = \arctan\left(\frac{t}{\pi * D}\right) \quad (3.18)$$

Donde:

$\varphi$  = Ángulo de hélice

t = paso del husillo

$$\varphi = \arctan\left(\frac{25mm}{\pi * 25mm}\right) \approx 18^\circ$$

Tabla 3.14: Características principales del husillo

<b>Características</b>	<b>Magnitud</b>
Longitud total ( $L_t$ )	600 mm
Longitud de trabajo (L)	500 mm
Longitud de alimentación ( $L_a$ )	200 mm
Longitud de compresión ( $L_c$ )	175 mm
Longitud de dosificación ( $L_d$ )	125 mm
Diámetro (D)	25 mm
Profundidad de canal de alimentación ( $h_1$ )	5 mm
Profundidad de canal de dosificación ( $h_3$ )	2,5 mm
Paso (t)	25 mm
Ancho de diente (e)	2,5 mm
Holgura ( $\delta$ )	0,075 mm
Ángulo de hélice ( $\varphi$ )	18°

### Intervalos de velocidad de cortadura

El intervalo de velocidad de cortadura para el proceso de extrusión se encuentra limitado como se puede observar en la figura 3.24, para los elastómeros con diferentes tipos de procesamiento se tiene unos intervalos entre 100 y 1000  $s^{-1}$  [47].

### Viscosidad efectiva

Se obtiene en función de la velocidad de cortadura mediante diagramas de cada tipo de material y a la temperatura que se encuentre. La viscosidad de los termoplásticos decrece al calentar el material o al disminuir su peso molecular.

Con referencia a la figura 3.25 se toman los datos correspondientes a la viscosidad para posteriores cálculos, se toma una velocidad aproximada de 100  $s^{-1}$  que se encuentra en los rangos de velocidad de cortadura para el proceso de extrusión y una temperatura entre 180°C a 235°C. con estos valores se obtiene una viscosidad efectiva de 750 Pa.s aproximadamente.

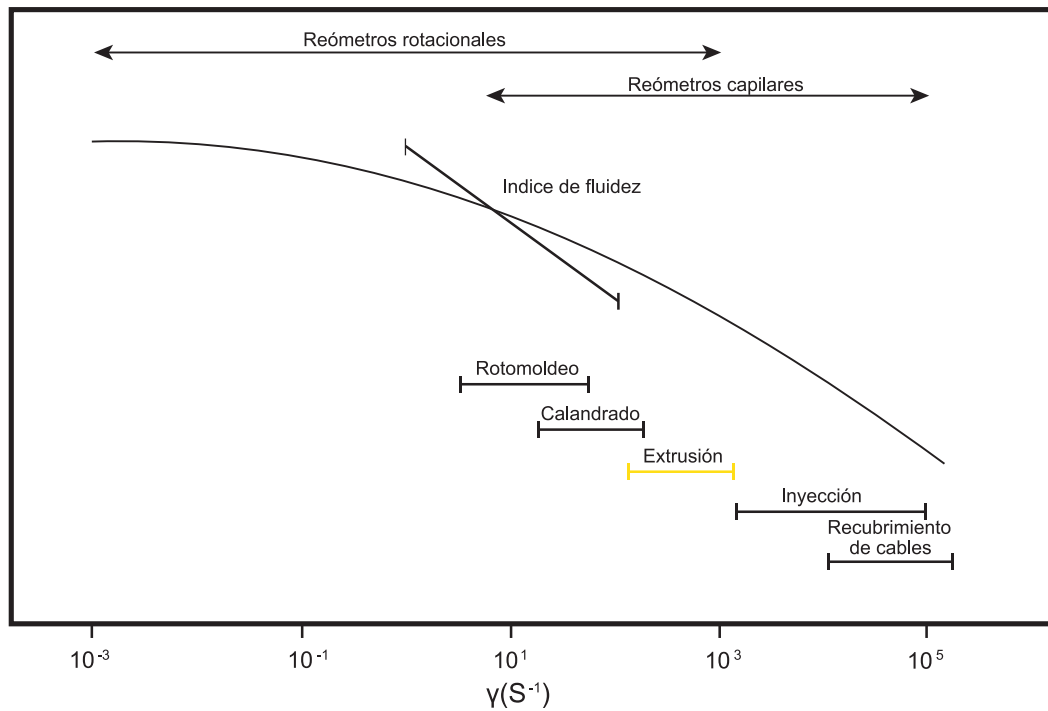


Figura 3.24: Intervalos de velocidad de cortadura

Fuente: Adaptado [48].

## Producción

Para la producción de la extrusora se expresa como el flujo volumétrico ( $Q$ ), para poder calcular este flujo, se determina tres tipos de flujo. El flujo de arrastre ( $\alpha$ ), este flujo es el que se produce gracias al movimiento del husillo. El flujo de presión ( $\beta$ ), es el flujo que se opone a la salida del material y por último se tiene el flujo de filtración ( $\gamma$ ), el cual es producido por la holgura entre el cilindro y el husillo [36]. Para poder determinar cada uno de estos flujos se usa ecuaciones que se relaciona con las dimensiones del husillo con algunas variables de la máquina a construir [36].

### Volumen unitario del flujo de arrastre

$$\alpha = \frac{\pi * m * D * h_1 * (\frac{t}{m} - e) \cos^2(\varphi)}{2} \quad (3.19)$$

Donde:

$D$  = Diámetro del husillo

$h_1$  = Profundidad del canal de alimentación

$\varphi$  = Ángulo de la hélice



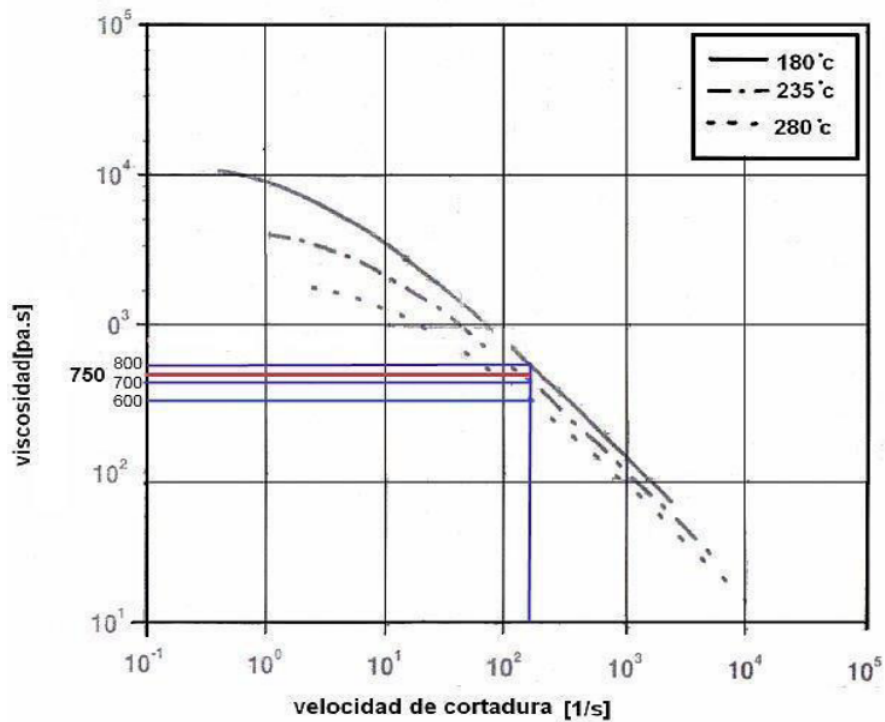


Figura 3.25: Intervalos de velocidad de cortadura

Fuente: Obtenido [47].

$m$  = Número de canales del husillo

$e$  = Anchura del diente

$t$  = paso del husillo

$\cos(\varphi)$  = Función trigonométrica del coseno del ángulo

$$\alpha = \frac{\pi * 1 * 25mm * 5mm * \left(\frac{25mm}{1} - 2,5mm\right) \cos^2(18)}{2}$$

$$\alpha = 3,996 * 10^3 mm^3$$

### Volumen unitario del flujo de presión

$$\beta = \frac{m * h_1^3 * \left(\frac{t}{m} - e\right) \sin(\varphi) * \cos(\varphi)}{12 * L} \quad (3.20)$$

Donde:

$L$  = Longitud de trabajo

$$\beta = \frac{1 * (5mm)^3 * \left(\frac{25mm}{1} - 2,5mm\right) \sin(18) * \cos(12)}{12 * 500mm}$$

$$\beta = 0,1378 mm^3$$

## Volumen unitario del flujo de filtración

$$\gamma = \frac{\pi^2 * D^2 * \delta^3 * \tan(\varphi)}{10 * e * L} \quad (3.21)$$

Donde:

$\delta$  = Holgura entre el husillo y el cilindro

$$\gamma = \frac{\pi^2 * (25mm)^2 * (0,075mm)^3 * \tan(18)}{10 * 2,5mm * 500mm}$$
$$\gamma = 6,76 * 10^{-5} mm^3$$

Para la constante K que es el coeficiente de la forma geométrica del cabezal se divide en zonas de diferente configuración según la forma del cabezal [36].

### K1 para canal de cilíndrico

$$k_1 = \frac{\pi * D^4}{128L_c} \quad (3.22)$$

Donde:

$L_c$  = Largo del canal

$$k_1 = \frac{\pi * (25mm)^4}{128 * 3mm}$$
$$k_1 = 3195,8mm^3$$

### K2 para canal de cónico (cono cabezal)

$$k_2 = \frac{3 * \pi * d_e^3 * d_s^3}{128L_{c2} * (d_e^2 + d_e d_s + d_s^2)} \quad (3.23)$$

Donde:

$L_{c2}$  = Largo del canal cónico

$d_e$  = Diámetro de entrada

$d_s$  = Diámetro de salida

$$k_2 = \frac{3 * \pi * (25mm)^3 * (1,58mm)^3}{128 * (20mm) * ((25mm)^2 + (25mm)(1,58mm) + (1,58mm)^2)}$$
$$k_2 = 0,34mm^3$$

### K3 para canal de cilíndrico del cabezal

$$k_3 = \frac{\pi * D^4}{128L_{c3}} \quad (3.24)$$

Donde:

$L_{c3}$  = Largo del canal del cabezal

$$k_3 = \frac{\pi * (6mm)^4}{128 * 5mm}$$
$$k_3 = 6,36mm^3$$

### K4 para canal de cilíndrico (boquilla)

$$k_4 = \frac{\pi * D^4}{128L_{c4}} \quad (3.25)$$

Donde:

$L_{c4}$  = Largo del canal del cabezal

$$k_4 = \frac{\pi * (1,58mm)^4}{128 * 10mm}$$
$$k_4 = 0,015mm^3$$

### Constante común del cabezal (K)

Una vez que se calcula todas las constantes individuales se procede a calcular la constante común del cabezal (K) con la siguiente ecuación:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{k_1} + \frac{1}{k_2} + \frac{1}{k_3} + \frac{1}{k_4}} \quad (3.26)$$

$$K = \frac{1}{\frac{1}{3195,8mm^3} + \frac{1}{0,34mm^3} + \frac{1}{6,36mm^3} + \frac{1}{0,015mm^3}}$$

$$K = 0,015mm^3$$

### Flujo volumétrico (Q)

El flujo volumétrico unitario se puede encontrar con la siguiente ecuación:

$$Q = \left( \frac{\alpha * K}{K * \beta * \gamma} \right) n * \rho \quad (3.27)$$

Donde:

$Q$  = flujo volumétrico

$n$  = rpm del husillo

$\rho$  = densidad del PET ( $1,35 * 10^{-6} kg/mm^3$ )

$$Q = \left( \frac{(3,996 * 10^3 mm^3) * 0,015 mm^3}{0,015 mm^3 * 0,1378 mm^3 * (2,004 * 10^{-5} mm^3)} \right) 10 rpm * 1,35 * 10^{-6} kg/mm^3$$

$$Q = 0,0317 kg/min = 1,9 kg/hr$$

Con la ecuación de flujo volumétrico y el funcionamiento de la máquina a distintas velocidades de obtiene la gráfica presentada en la figura 3.26.

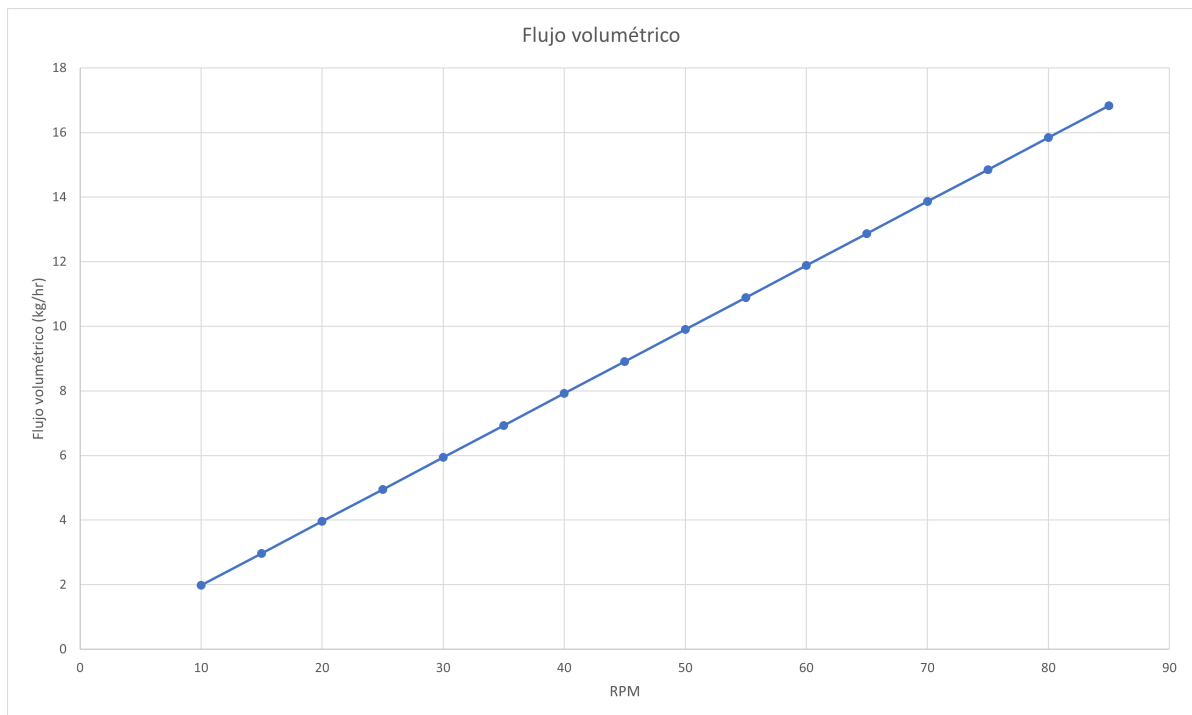


Figura 3.26: Diagrama de fuerzas del husillo

### 3.4.2. Selección de material del husillo

Para poder seleccionar un material adecuado se toma en cuenta algunos factores tales como: resistencia química, mecánica, fuerzas que actúan sobre el husillo, temperatura y maquinabilidad.

Teniendo en cuenta las diferentes opciones del mercado y los requerimientos del husillo se opta por el acero 4140 (Anexo 0.5) ya que este material tiene una dureza bastante alta, buena

resistencia a la corrosión, resiste a temperaturas de más de 540°C sin perder sus propiedades y tiene una buena maquinabilidad.

### Volumen del alma del husillo en la zona de alimentación

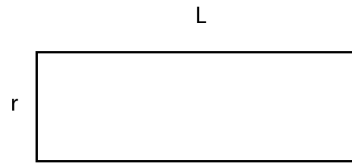


Figura 3.27: vista lateral del alma, zona de alimentación

$$L = 0.2 \text{ m}$$

$$r = 0.0075 \text{ m}$$

$$A = \pi * r^2 \tag{3.28}$$

$$A = \pi * (0,0075m)^2$$

$$A = 0,000177m^2$$

$$V_1 = A * L \tag{3.29}$$

$$V_1 = 0,000177m^2 * 0,2m$$

$$V_1 = 3,54 * 10^{-5}m^3$$

### Volumen de alma en la zona de compresión

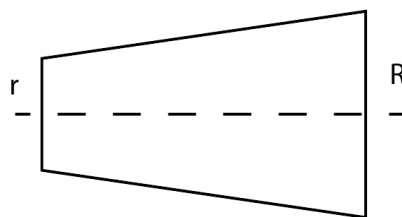


Figura 3.28: vista lateral del alma, zona de compresión

Esta geometría es un cono truncado por lo que se usa la siguiente formula:

$$V_2 = \frac{\pi}{3} * L_2 * (r^2 + r * R + R^2) \tag{3.30}$$

$$V_2 = \frac{\pi}{3} * 0,175m * ((0,0075m)^2 + 0,0075 * 0,01m + (0,01m)^2)$$

$$V_2 = 4,24 * 10^{-5} m^3$$

### Volumen de alma en la zona de dosificación

Ya que su geometría es un cilindro se opera igual que la zona de alimentación

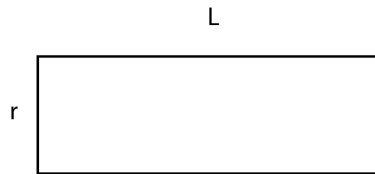


Figura 3.29: vista lateral del alma, zona de dosificación

$$L = 0.125 \text{ m}$$

$$r = 0.01 \text{ m}$$

$$A_3 = \pi * (0,01m)^2$$

$$A_3 = 0,000314m^2$$

$$V_3 = 0,000314m^2 * 0,125m$$

$$V_3 = 3,93 * 10^{-5} m^3$$

### Volumen total del alma del husillo

Con los tres valores obtenidos se realiza la operación para conseguir el total del volumen del alma del husillo

$$V_{ta} = 3,54 * 10^{-5} m^3 + 4,24 * 10^{-5} m^3 + 3,93 * 10^{-5} m^3$$

$$V_{ta} = 1,171 * 10^{-4} m^3$$

### Volumen de los dientes en la zona de alimentación

Se procede calculando la longitud del diente con la siguiente ecuación:

$$b = \sqrt{(\pi * D)^2 + D^2} \quad (3.31)$$

$$b = \sqrt{(\pi * 0,025)^2 + 0,025^2}$$

$$b = 0,0824m$$

Luego se procede a calcular el volumen de un diente del husillo

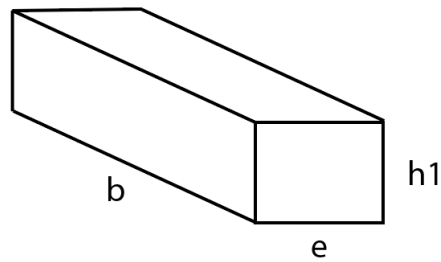


Figura 3.30: Sección de un diente en la zona de alimentación

$$V_1 = e * b * h_1 \quad (3.32)$$

Donde:

e = ancho del diente

$h_1$  = Profundidad del canal de alimentación

b = longitud del diente

$$V_1 = (0,0025m) * (0,0824m) * (0,005m)$$

$$V_1 = 1,03 * 10^{-6}m^3$$

Para calcular el volumen total de los dientes en la zona de alimentación se multiplica por el número de dientes de esa sección.

$$V_{1t} = 1,03 * 10^{-6}m^3 * 8$$

$$V_{1t} = 8,24 * 10^{-6}m^3$$

### Volumen de los dientes en la zona de compresión

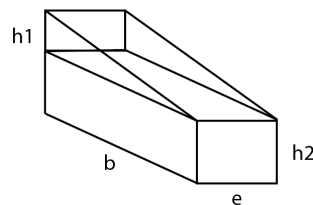


Figura 3.31: Sección de un diente en la zona de compresión

Ya que esta zona es una variación entre el diámetro de la zona de alimentación y de dosificación se procede de la siguiente forma.

Con la primeare parte se determina el volumen como en la zona de alimentación

$$V_{2-1} = (0,0025m) * (0,0824m) * (0,0025m)$$

$$V_{2-1} = 5,15 * 10^{-7}m^3$$

Para el volumen total de esta parte se multiplica para el número de dientes

$$V_{2-1t} = 5,15 * 10^{-7}m^3 * 7$$

$$V_{2-1t} = 3,605 * 10^{-6}m^3$$

Para la sección triangular se calcula el área con la siguiente formula:

$$A_{2-2} = \frac{b * (h_1 - h_2)}{2} \quad (3.33)$$

$$A_{2-2} = \frac{(0,0824m) * (0,005m - 0,0025m)}{2}$$

$$A_{2-2} = 1,03 * 10^{-4}m^2$$

El volumen de la sección triangular se multiplica por el ancho del diente.

$$V_{2-2} = 1,03 * 10^{-4}m^2 * 0,0025m$$

$$V_{2-2} = 2,575 * 10^{-7}m^3$$

El volumen total de los dientes se da multiplicando por el número de dientes

$$V_{2-2t} = 2,575 * 10^{-7}m^3 * 7$$

$$V_{2-2t} = 1,8025 * 10^{-6}m^3$$

El volumen total de esta zona se obtiene sumando los dos volúmenes calculados

$$V_{2t} = V_{2-1t} + V_{2-2t} \quad (3.34)$$

$$V_{2t} = V_{2-1t} + V_{2-2t} = 2,575 * 10^{-7}m^3 * 7$$

$$V_{2t} = 5,4075 * 10^{-6}m^3$$



### Volumen de los dientes en la zona de dosificación

Ya que esta sección es igual a la de alimentación se procede a calcular con las ecuaciones presentadas en ese apartado.

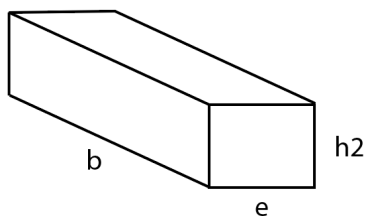


Figura 3.32: Sección de un diente en la zona de dosificación

$$V_3 = (0,0025m) * (0,0824m) * (0,0025m)$$

$$V_3 = 5,15 * 10^{-7}m^3$$

Para calcular el volumen total de los dientes en la zona de dosificación se multiplica por el número de dientes de esa sección.

$$V_{3t} = 5,15 * 10^{-7}m^3 * 5$$

$$V_{3t} = 2,575 * 10^{-6}m^3$$

### Volumen total de los dientes

La suma de los valores encontrados anteriormente da como resultado el volumen total de los dientes.

$$V_{ta} = 8,24 * 10^{-6}m^3 + 5,4075 * 10^{-6}m^3 + 2,575 * 10^{-6}m^3$$

$$V_{ta} = 1,6223 * 10^{-5}m^3$$

### Volumen total

Por ultimo para poder obtener el volumen total del husillo se suma tanto el volumen del alma total como de los dientes totales.

$$V_{ta} = 1,171 * 10^{-4}m^3 + 1,6223 * 10^{-5}m^3$$

$$V_{ta} = 1,333 * 10^{-4}m^3$$

## Peso del husillo

Con el volumen total obtenido y con la densidad del husillo teniendo en cuenta que es un acero 4140 ( $\rho = 7700kg/m^3$ ) se procede a calcular el peso del husillo.

$$m = \rho * V \quad (3.35)$$

$$m = 7700kg/m^3 * 1,333 * 10^{-4}m^3$$

$$m = 1,03kg$$

### 3.4.3. Potencia del husillo y selección de motor

La potencia es el trabajo por unidad de tiempo, para poder determinar el trabajo se sabe que es igual a la fuerza por la distancia. Por otra parte, se conoce que la velocidad rotacional es igual a las rpm (1/min) entonces se tiene que la potencia es igual a  $FxD/60seg$  [36].

Con el diámetro del husillo, el factor de proporcionalidad ( $K=66.7$ ) y el número de revoluciones que se utiliza se puede obtener la potencia requerida.

$$N = \frac{n * \pi * D^3}{K^2} \quad (3.36)$$

Esta fórmula se desarrolla tanto para las revoluciones mínimas y máximas del proceso de extrusión, en este caso se utiliza 10 rpm y 85 rpm respectivamente.

$$n_1 = 10rpm$$

$$N_1 = \frac{(10rpm) * \pi * (25mm)^3}{66,7^2}$$

$$N_1 = 110,34vatios = 0,15hp$$

$$n_2 = 85rpm$$

$$N_1 = \frac{(85rpm) * \pi * (25mm)^3}{66,7^2}$$

$$N_1 = 937,86vatios = 1,26hp$$

Conociendo la potencia, la velocidad máxima y mínima se puede determinar que, para el correcto funcionamiento de la extrusora se necesita un motor con una salida de 85 rpm y una potencia de 2 hp, ya que los motores en el mercado se los encuentran de 1.5 hp o de 2 hp, pero debido a la eficiencia de estos se genera pérdida de potencia y el motor de 1.5 hp no cumpliría con la potencia requerida. Entonces, con 2 hp se cumpliendo el valor de la potencia

requerida y se deja un margen de potencia debido a la eficiencia del motor.

### 3.4.4. Fuerzas y presión en el husillo

#### Presión máxima

Para el cálculo de la presión en la extrusora se toma en cuenta las revoluciones por segundo máximas que se usa en la extrusora que es de 1.4166 rps (85rpm) y la viscosidad efectiva que es de 750 Pa\*s [36].

Para efectos de cálculo se toma  $Q = 0$  (sin flujo de arrastre) y se calcula la presión para la velocidad de operación de la máquina [36].

$$P_{max} = \frac{6 * \pi * D * L * n * \mu}{h_3^2 * \tan \varphi} \quad (3.37)$$

$$P_{max} = \frac{6 * \pi * 0,025 * 0,125 * 1,4166rps * 750Pa * s}{0,0025^2 * \tan(18)}$$

$$P_{max} = 30,81MN/m^2$$

#### Fuerzas en el husillo

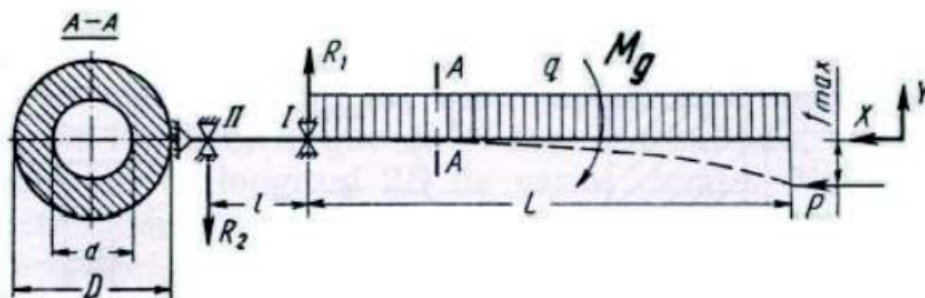


Figura 3.33: Diagrama de fuerzas del husillo

Fuente: Obtenido [37].

En primer lugar, para conseguir las fuerzas que actúan sobre el husillo se calcula el torque, que es la fuerza que se aplica sobre una palanca para poder hacer girar un objeto. El torque se mide en fuerza aplicada por distancia ( $T=F \times D$ ) y su magnitud es Newton por metro [36].

$$T = 9550 \frac{N}{n} \quad (3.38)$$

Donde:

T = Torque

N = Potencia del motor  
n = Revoluciones del motor

$$T = 9550 \frac{1,4914kw}{85rpm}$$

$$T = 167,56N * m$$

Otro factor a calcular es la relación de diámetros en el husillo:

$$u = \frac{d_a}{d_d} \quad (3.39)$$

Donde:

u = Relación de diámetros entre la zona de alimentación y dosificación

$d_a$  = Diámetro de zona alimentación

$d_d$  = Diámetro de zona dosificación

$$u = \frac{0,015m}{0,02m}$$

$$u = 0,75$$

Para la sección transversal en el tonillo (S) en el segmento A-A se calcula:

$$S = \frac{\pi * D^2}{4} (1 - u^2) \quad (3.40)$$

$$S = \frac{\pi * (0,025)^2}{4} (1 - (0,75)^2)$$

$$S = 2,15 * 10^{-4} m^2$$

A continuación se calcula el momento de inercia (J):

$$J = \frac{\pi * D^4}{64} (1 - u^4) \quad (3.41)$$

$$J = \frac{\pi * (0,025)^4}{64} (1 - (0,75)^4)$$

$$J = 1,31 * 10^{-8} m^4$$

Luego se calcula el radio de inercia(Ri) para determinar los esfuerzos:

$$Ri = \sqrt{\frac{J}{S}} \quad (3.42)$$

$$Ri = \sqrt{\frac{1,31 * 10^{-8} m^4}{2,15 * 10^{-4} m^2}}$$

$$Ri = 7,81 * 10^{-3}m$$

Conociendo la sección transversal del husillo se procede a calcular la fuerza axial. Esta fuerza depende del número de revoluciones del sistema, por lo que se calcula esta fuerza con la potencia máxima anteriormente calculada.

$$F = S * P_{max} \quad (3.43)$$

$$F = 2,15 * 10^{-4}m^2 * 30,81 * 10^6 N/m^2$$

$$F = 6624N$$

La tensión tangencial ( $\tau$ ) que actúa sobre la superficie del husillo se obtiene con la ecuación:

$$\tau = \frac{16 * T}{\pi * D^3(1 - u^4)} \quad (3.44)$$

$$\tau = \frac{16 * (167,56N * m)}{\pi * (0,025m)^3(1 - (0,75)^4)}$$

$$\tau = 79,9MN/m^2$$

Para determinar la carga repartida q, se usa la ecuación:

$$q = \frac{pesodelhusillo}{longituddelhusillo} \quad (3.45)$$

$$q = \frac{1,03kg * 9,81m/s^2}{0,5m}$$

$$q = 20N/m$$

La tensión normal ( $\sigma$ ) es dada por:

$$\sigma = \frac{F}{S} + \frac{Mf}{W_o} \quad (3.46)$$

Donde

El momento de flexión máximo es:

$$Mf = \frac{q * L^2}{2} \quad (3.47)$$

$$Mf = \frac{20N/m * (0,5m)^2}{2}$$

$$Mf = 2,5N * m$$

El momento de inercia con respecto al eje neutro:

$$W_o = \frac{\pi * D^3}{32} (1 - u^3) \quad (3.48)$$

$$W_o = \frac{\pi * (0,025m)^3}{32} (1 - (0,75)^3)$$

$$W_o = 8,87 * 10^{-7} m^3$$

Entonces

$$\sigma = \frac{F}{S} + \frac{Mf}{W_o} = \frac{6624N}{2,15 * 10^{-4} m^2} + \frac{2,5N * m}{8,87 * 10^{-7} m^3}$$

$$\sigma = 33,62 MN/m^2$$

La solidez del husillo es:

$$\sigma_T = \sqrt{\sigma^2 + 4 * \tau^2} \quad (3.49)$$

$$\sigma_T = \sqrt{(33,62 MN/m^2)^2 + 4 * (79,9 MN/m^2)^2} \quad (3.50)$$

$$\sigma_T = 163,3 MN/m^2 \quad (3.51)$$

Por último, se tiene la deflexión máxima del husillo:

$$df_{max} = \frac{q * L^4}{8 * E * J} \quad (3.52)$$

Donde

E = módulo de elasticidad del material (acero 4140 =  $207 * 10^9 Pa$ )

$$df_{max} = \frac{(20N/m) * (0,5m)^4}{8 * (207 * 10^9 Pa) * (1,31 * 10^{-8} m^4)}$$

$$df_{max} = 5,76 * 10^{-5} m$$

A partir del valor obtenido se puede observar que es menor a la holgura anteriormente calculada. De este modo se cumple con la condición de elección del material, ya que la deflexión máxima es menor a la holgura radial [36].

$$0,0057mm < 0,0075mm$$

### Cálculo del factor de seguridad

Para el acero 4140  $S_y = 427MPa$  pero al no ser certificado se toma un 80 % de este valor

$$\eta_s = \frac{S_y}{\sigma} \quad (3.53)$$

$$\eta_s = \frac{415MPa * 0,8}{33,62MN/m^2}$$

$$\eta_s = 9,9$$

Teniendo en cuenta el factor de seguridad y la holgura que existe entre husillo y cilindro se encuentra que el acero AISI 4140 es adecuado para la fabricación del husillo.

### 3.4.5. Cálculos del barrel o cilindro

El calculo del barrel se da conforme a las formulas de Savgorodny [36], para esto se usa como referencia el Acero AISI 1020.

$$D_i = D + 2 * \varphi \quad (3.54)$$

Donde:

$\varphi$  = Holgura

$D_i$  = Diámetro interno del barrel

D = Diámetro del husillo

$$D_i = 25mm + 2 * 0,075mm$$

$$D_i = 25,15mm$$

El espesor minimo del barrel esta dado por la siguiente formula:

$$e_{min} = \frac{ri * P_{max}}{\sigma_T - 2} \quad (3.55)$$

Donde:

$e_{min}$  = Espesor de la pared del cilindro (m)

ri = Radio interno del cilindro (m)

$P_{max}$  = Presión interna del cilindro (MPa)

$\sigma_T$  = Esfuerzo máximo de fluencia del material (AISI 1020) = 350 MN/m<sup>2</sup>

$$e_{min} = \frac{0,0126m * (30,81MN/m^2)}{(350MN/m^2)}$$

$$e_{min} = 0,0011m = 1,1mm$$

### 3.4.6. Potencia de las resistencias eléctricas

Las resistencias eléctricas son de tipo abrazadera diseñadas para las medidas exteriores del cilindro. Estas resistencias se conectan por zonas y están conectadas con termocuplas a un controlador de temperatura PID. Las resistencias están divididas a lo largo de la zona de compresión

y dosificación. Según recomendación del fabricante, se coloca tres en el cilindro y una en el cabezal de extrusión. estas resistencias cuentan con una potencia de 250W cada resistencia situada en el cilindro y 300W la resistencia situada en el cabezal. La potencia total de estas de estos elementos es de 1050W.

### 3.4.7. Tolva de alimentación de extrusora

El diseño de la tolva esta restringido por las medidas del cilindro de la extrusora y las medidas de salida del material de la trituradora. La tolva tiene un lado más inclinación la cual sirve para poder observar el nivel del material triturado. Debido a que es un sistema continuo de triturado y extrusión no se necesita considerar el volumen de la tolva. En la figura 3.34 se puede observar el diseño de la tolva.

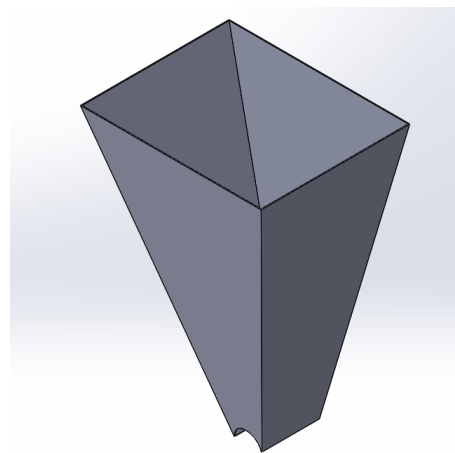


Figura 3.34: Tolva extrusora

### 3.4.8. Selección de sistema de enfriamiento y enrollado

- **Sistema de enfriamiento:** Con la capacidad de producción calculada de la ecuación 3.27, se opto por una piscina de agua para poder enfriar el filamento, ya que al poder regular la velocidad de salida del filamento, el enfriamiento por agua genera buenos resultados. La piscina consta de un ancho de 150mm y 900 mm de largo. En la figura 3.35 se puede observar el diseño de la piscina.
- **Sistema de enrollado** Para este sistema se imprime un mecanismo que brinda la comunidad de impresión 3D (figura 3.36). Este mecanismo se compone de 7 rodamientos y piezas impresas de soporte y mecánicas, este sistema permite la regulación de guía del hilo y permite usar cualquier marca de carrete para filamento. El carrete de filamento es



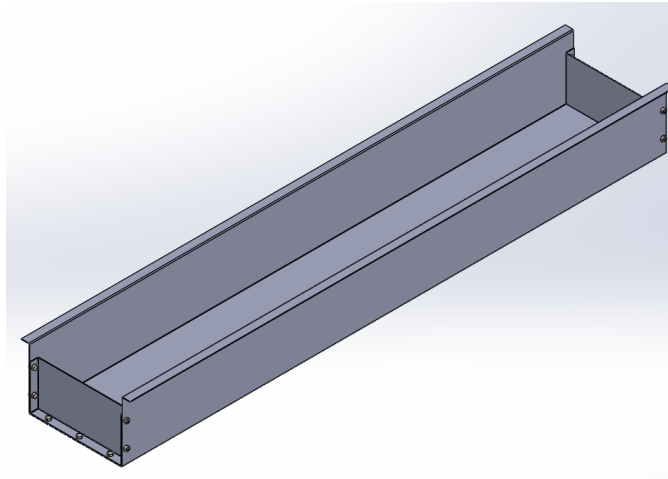


Figura 3.35: Piscina de enfriamiento de filamento

colocado mediante un tornillo con engrane y se mueve mediante engranajes los cuales están conectados en serie a la bandeja móvil inferior que guía el filamento y un juego de engranes en paralelo que esta conectado al motor.



Figura 3.36: Dispositivo para enrollar filamento

Fuente: Obtenido de [49].

A la vez se utiliza un dispositivo el cual mantienen una velocidad constante al tirar del filamento (figura 3.37) con la finalidad mantener un diámetro fijo del material, debido a que, al enrollar el filamento a medida que el carrete aumenta la velocidad de enrollado varia. Este mecanismo se compone de dos rodillos los cuales son presionados por un resorte, en un extremo del rodillo inferior se conecta el motor que da una velocidad constante de jale y el filamento es introducido por medio de estos dos rodillos para posteriormente entrar en el sistema de enrollado. La velocidad de jale se puede regular para obtener el diámetro que se desea.

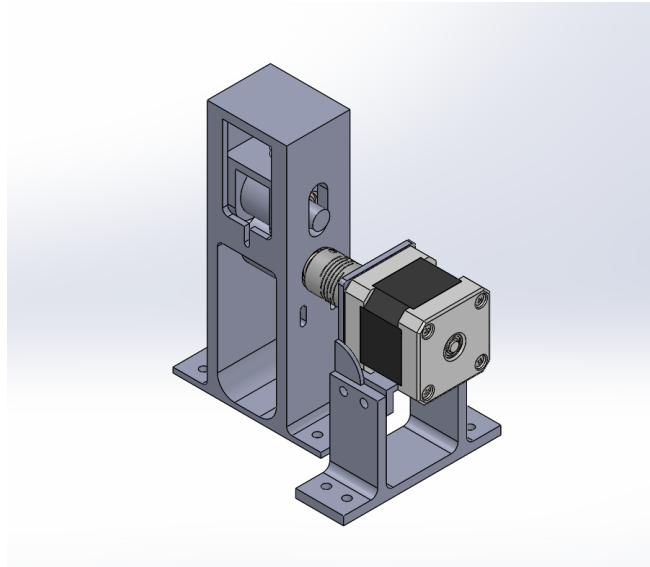


Figura 3.37: Dispositivo para jalar filamento.

### 3.5. Control de motores

Para poder controlar los motores, tanto el de la extrusora como el de la trituradora se seleccionaron variadores de frecuencia los cuales brindan ventajas como: un control eficaz de las velocidades de los motores, permite el cambio de giro, contienen control de errores, facilitan la conexión de los motores, ya que convierten la alimentación de 220 V monofásica a trifásica, reducen el consumo energético, fácil instalación y varias ventajas más.

Entonces, con los cálculos realizados anteriormente se encontró que la potencia de los dos motores es de 2 hp, por lo que se opta por variadores de frecuencia de 2 hp alimentación monofásica de 220 V a 60HZ (figura 3.38). Las características del variador de frecuencia que se escoge se puede encontrar en el anexo 0.7, La selección de estos variadores se las hizo ya que se requiere que el motor sea capaz de regular su velocidad y pueda cambiar el sentido de giro, además se necesita un control de torque manejar las cargas en la trituradora como en la extrusora.

### 3.6. Base

El diseño de la base consta de tres niveles, el superior para la trituradora, el medio para la extrusora, los sistemas de enfriamiento y enrollado y la parte inferior para la gabinete eléctrico y espacio para materiales. Por ende, se realiza una base tipo mesa con un nivel superior para la trituradora y su motor, de esta manera se permite colocar los sistemas de tal manera que el flujo de material no se corte. En la figura (3.39) se puede observar el diseño de la base de la máquina.



Figura 3.38: Variadores de frecuencia Powtran PI150 1R5G1Z

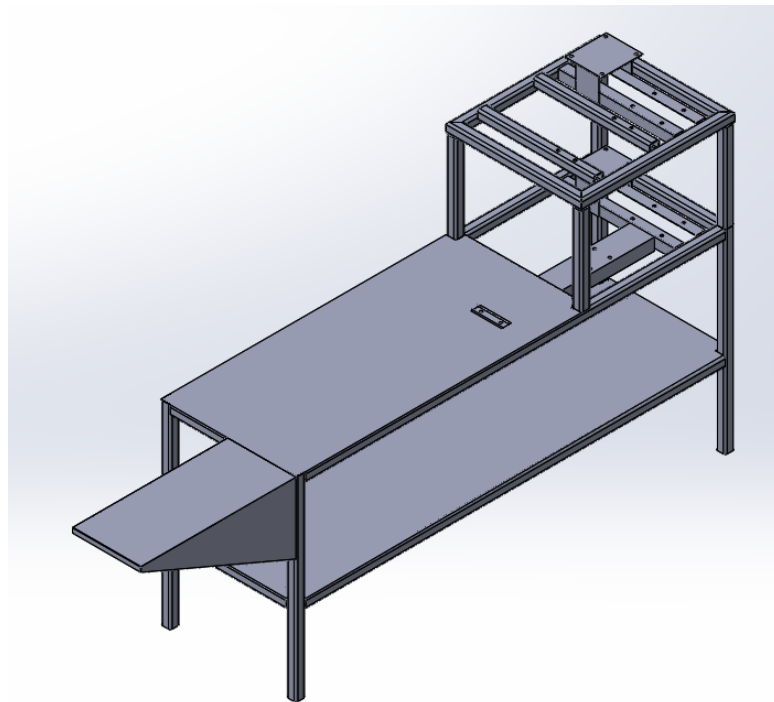


Figura 3.39: Base de la máquina

### Fuerzas en la estructura

Para realizar el análisis de esfuerzos en el software SolidWorks de la base se tienen en cuenta todas las fuerzas que interactúan sobre la estructura. Por otra parte, para facilitar el análisis de esfuerzos se realiza la simulación sobre la estructura teniendo en cuenta las fuerzas que

interactuaran en cada viga y que la estructura esta conformada por tubos cuadrados 40x40x3mm de acero A36.

Por lo tanto se tiene el peso del motorreductor y de la trituradora en la parte superior, el peso de la extrusora y su motorreductor en la la primera sección media y el peso de los mecanismos y piscina en el lateral de la estructura. Las fuerzas sobre la estructura se puede observar en la figura 3.40.

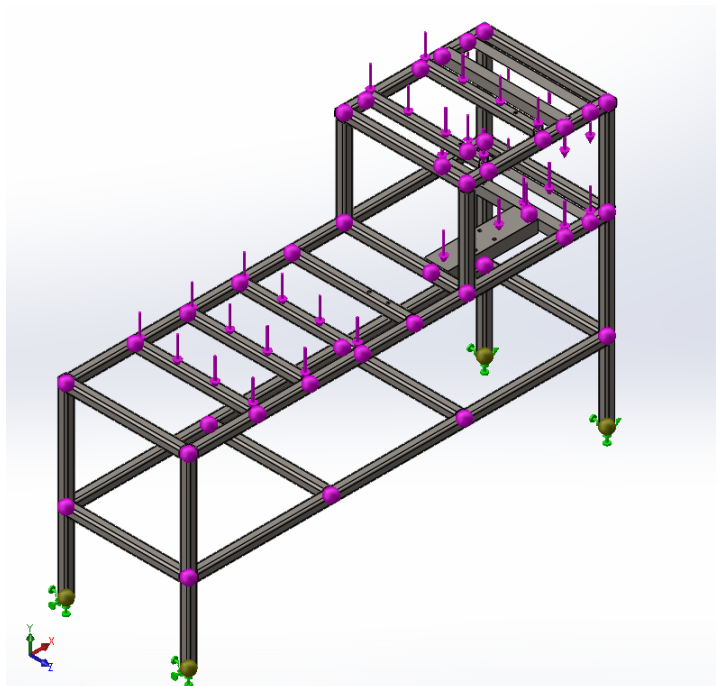


Figura 3.40: Fuerzas que interactúan en la estructura

### Resultados de análisis

Como se puede observar en la figura 3.41 genera un desplazamiento máximo de 0.4mm el cual sucede en una esquina superior de la estructura y se traslada hasta la estructura inferior debido a el largo de la estructura y esta no consta con pilares en medio de la estructura, este desplazamiento se debe a el peso de la cámara de trituración y de uno de los soportes de la extrusora, sin embargo, este desplazamiento no afecta al buen funcionamiento de la trituradora ni de la extrusora.

Por último, como se muestra en la figura 3.42 el factor de seguridad en la superficie donde están presentes las fuerzas es de 19.9, esto significa que la estructura soportara las fuerzas sin fallar, por lo que el acero A36 del cual está conformado la estructura (Anexo 0.6) puede soportar la carga real sin experimentar ningún problema.

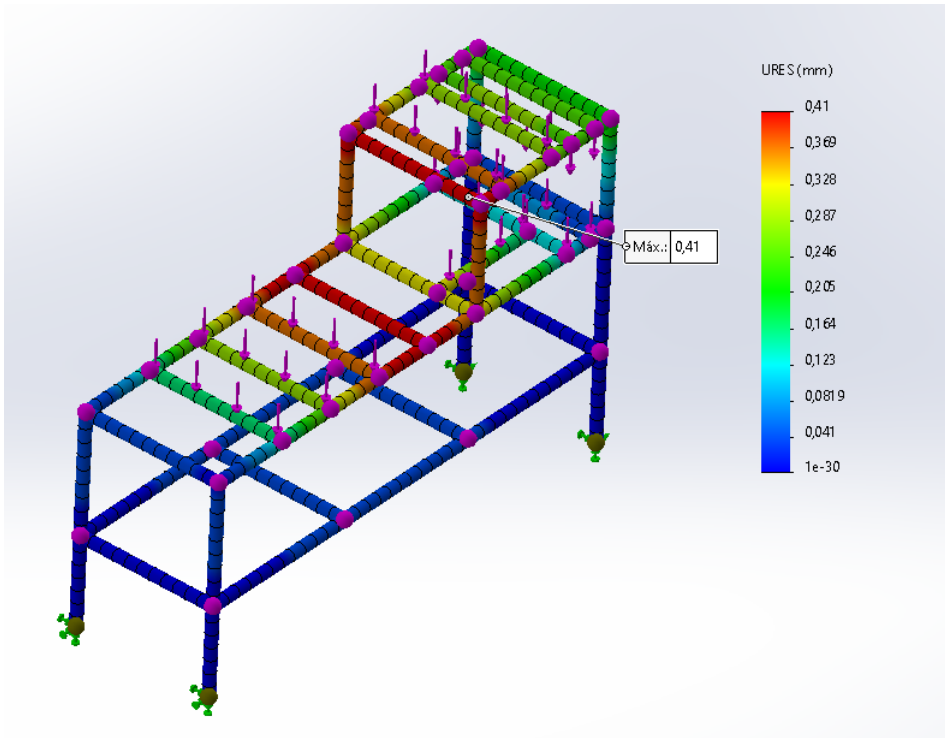


Figura 3.41: Desplazamiento en la estructura

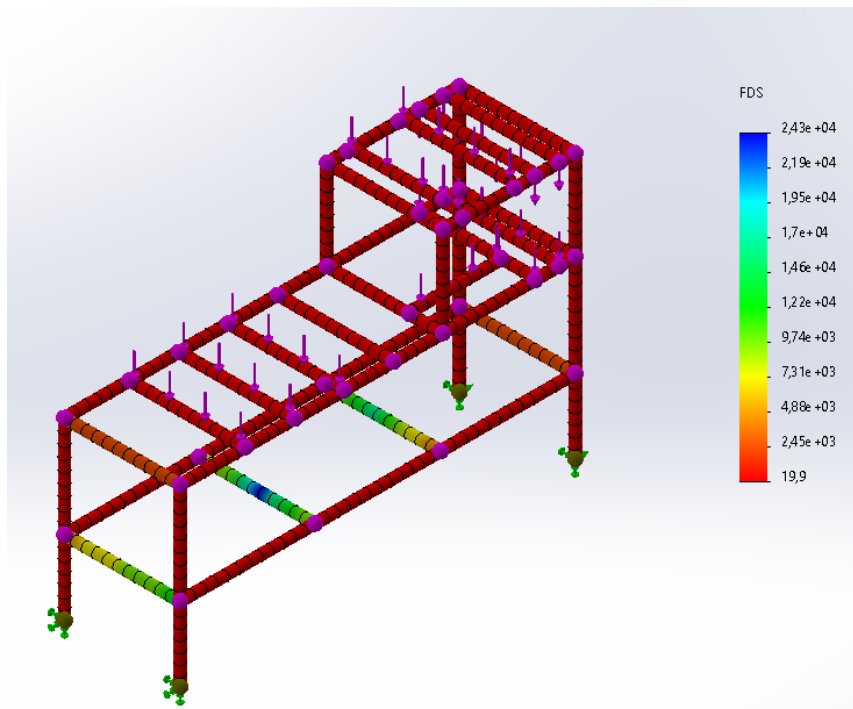


Figura 3.42: Factor de seguridad

## 3.7. Fabricación y ensamble

A continuación, se muestra los elementos y resultado de fabricación de los sistemas que comprenden la máquina productora de filamento.

### 3.7.1. Trituradora

En este apartado se presentara los elementos que comprenden el sistema de trituración. Debido a problemas de obtención de material se opto por realizar las cuchillas en hacer inoxidable anexo 0.1 teniendo una máquina semi funcional.

#### Cuchillas

En la figura 3.43 se presenta las cuchillas ensambladas sobre el eje con una disposición de espiral.



Figura 3.43: Cuchillas ensambladas

#### Criba

En la figura 3.44 se muestra la criba lista para ensamblar en la cámara de la trituradora. Esta cuenta con agujeros de 7 mm para filtrar el material.

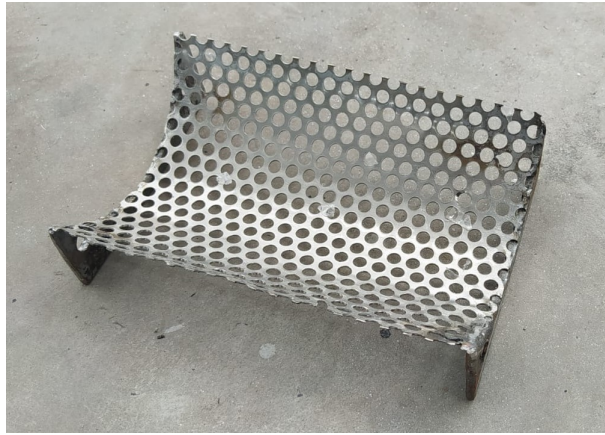


Figura 3.44: Criba

### **Tolva superior**

La tolva superior se puede observar en la figura 3.45 la cual esta hecha en acero galvanizado, el área de la tolva permite la entrada de las botellas de 3 litros.



Figura 3.45: Tolva superior

### **Cámara de triturado**

En la figura 3.46 se muestra la cámara de triturado ensamblada y colocada en la parte superior de la estructura.



Figura 3.46: Cámara ensamblada

### Sistema de triturado

En la figura 3.47 se puede observar el sistema de triturado en con su respectivo motor reductor en la base superior de la mesa. El sentido de giro del motor es controlado desde el gabinete eléctrico.



Figura 3.47: Sistema ensamblado en la estructura



### 3.7.2. Extrusora

En este apartado se muestra los elementos que conforman el sistema de extrusión que va colocado sobre la base.

#### Husillo

En la figura 3.48 se muestra el husillo manufacturado en acero AISI 4140 con las dimensiones anteriormente calculadas.



Figura 3.48: Husillo

#### Elementos calentadores

Los elementos calentadores se los puede observar ensamblados en el barrel de la extrusora en la figura 3.49. Estas resistencias tienen un largo de 7.5 cm cada una, en la segunda resistencia y en la cuarta se encuentran las termocuplas las cuales se encargan de censar la temperatura.



Figura 3.49: Sistema ensamblado en la estructura

#### Tolva inferior

La tolva inferior (figura 3.50) esta hecha de acero galvanizado, esta tiene una altura de 33cm la cual permite la conexión entre la trituradora y extrusora.



Figura 3.50: Sistema ensamblado en la estructura

### **Ensamble sistema de extrusión**

En la figura 3.51 se puede observar el sistema de extrusión ensamblada en la mesa con sus respectivo motor reductor. La velocidad del husillo y la temperatura de las resistencia sera controlado desde el gabinete eléctrico.

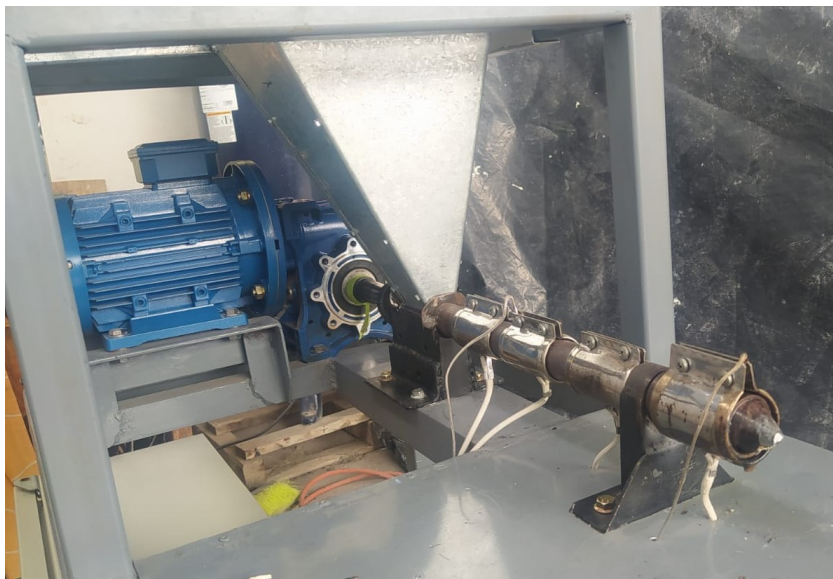


Figura 3.51: Sistema ensamblado en la estructura

### **3.7.3. Piscina de enfriado**

La elaboración de la piscina se realizo con acero galvanizado y una dimensión de 90cm de largo como se puede observar en la figura 3.52.



Figura 3.52: Piscina de enfriamiento

#### 3.7.4. Mecanismo de enrollado

Los mecanismos de enrollado fue impreso con filamento PLA con capaz de 0.2mm. este mecanismo se divide en dos partes, la primera que son los rodillos que jalan el filamento y el mecanismo que permite enrollar el el material en el rodillo (figura 3.53).



Figura 3.53: Mecanismos de enrollado

### 3.7.5. Panel de control

El gabinete consta de unas medidas de 40x40x20 es cual contiene los elementos eléctricos y de control de la máquina (Figura 3.54).

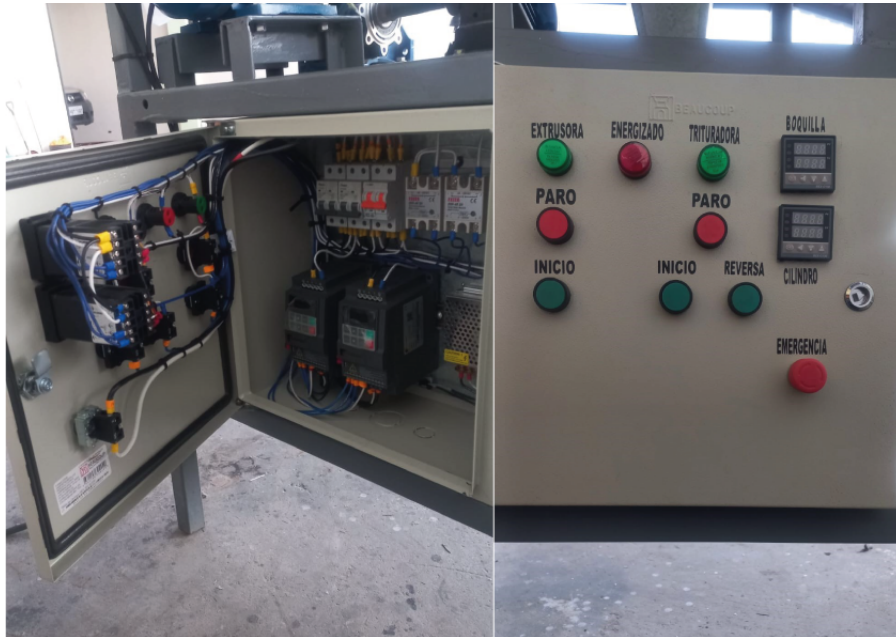


Figura 3.54: Gabinete eléctrico

### 3.7.6. Ensamble completo

En la figura 3.55 se observa el ensamble total de la máquina ya funcional.

## 3.8. Análisis de resultados

En este apartado se detalla los resultados obtenidos en las pruebas de funcionamiento.

### 3.8.1. Pruebas realizadas

Para las pruebas de funcionamiento se limpia las botellas, se retiran las etiquetas y las tapas se desechan ya que están formadas por otro material.

#### **Triturado**

Para el triturado, se colocó botella por botella en la tolva superior. La velocidad de las cuchillas es de 85 rpm para un buen funcionamiento. En la figura 3.56 se puede ver el resultado final del material ya triturado y filtrado. Las partículas trituradas tienen una longitud máxima de 10 mm y un ancho de 5 mm.



Figura 3.55: Máquina ensamblada



Figura 3.56: Material triturado

### **Extrusión**

Para este material se utilizó temperaturas entre 245 y 250°C el cual brinda una buena consistencia para posteriormente ser enrollado. En estas pruebas se obtienen que un material húmedo perjudica la calidad del filamento ya que se producen micro burbujas al interior de este (figura

3.57). Además, si la temperatura es muy alta también se puede obtener micro burbujas o a su vez, tendrá una consistencia cristalina la cual no es apta para la impresión.



Figura 3.57: Filamento con material húmedo

Por otra parte al usar material sin humedad se produce un filamento con un diámetro entre 1,69 mm a 1,81 mm y una calidad aceptable apto para las impresoras 3D, sin embargo el filamento no tiene la misma transparencia de las botellas. Además, el color puede variar dependiendo del tipo de botella y color de estas. En la Figura 3.58 se muestra la medida del diámetro del filamento.



Figura 3.58: Diámetro del filamento

La medición del filamento se hizo en diferentes muestras, obteniendo la tabla 3.15. El error

porcentual se toma como referencia el diámetro de 1,75 mm que es el diámetro estándar en las impresoras convencionales.

Tabla 3.15: Tabla de muestreo de diámetro de filamento.

<b>Muestras</b>	<b>Diámetro (mm)</b>	<b>Error absoluto</b>	<b>Error porcentual ( %)</b>
Muestra 1	1,74	0,01	0,57
Muestra 2	1,71	0,04	2,29
Muestra 3	1,75	0,00	0,00
Muestra 4	1,81	0,06	3,43
Muestra 5	1,76	0,01	0,57
Muestra 6	1,75	0,00	0,00
Muestra 7	1,73	0,02	1,14
Muestra 8	1,77	0,02	1,14
Muestra 9	1,69	0,06	3,43
Muestra 10	1,77	0,02	1,14

### **Enrollado**

Como se aprecia en la figura 3.59, el filamento extruido tiene una buena distribución a lo largo del carrete, evitando que este se enrede al momento de imprimir.

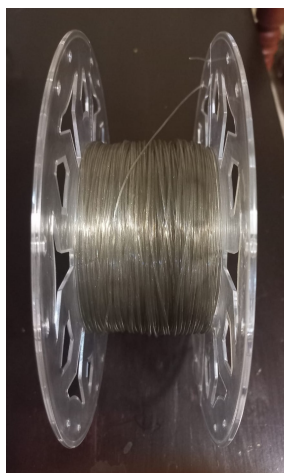


Figura 3.59: Filamento embobinado

### **3.8.2. Puesta a prueba de impresión**

Para las pruebas de impresión se uso una temperatura de 255°C para la boquilla y una temperatura de 75°C para la cama, con estas temperaturas se consigue buenos resultados, teniendo en la pieza capas uniformes, medidas con tolerancias de 0.2 mm y adherencia entre ellas. En la figura 3.60 y 3.61 se puede observa la pieza impresa con el filamento reciclado.



Figura 3.60: Engranés impresas con filamento PET.



Figura 3.61: Piezas impresas con filamento PET.



# Capítulo IV

## Conclusiones, recomendaciones y trabajo a futuro

### 4.1. Conclusiones

- Mediante el sistema de diseño planteado, se selecciona la mejor opción para los diferentes sistemas que componen la máquina. El sistema de trituración está conformado por la cámara de triturado en acero AISI 1018 y las cuchillas rotativas con acero inoxidable 304, ambos con un factor de seguridad mayor a 2, este sistema está conectado a un motor de 2 hp el cual está controlado por un variador de frecuencia permitiendo gestionar el sentido de giro para retirar posibles atascos. Por otro lado, el sistema de extrusión está construido por un husillo de acero AISI 4140 con un factor de seguridad de 9 y el barrel de acero AISI 1020. Este husillo está conectado a un motor de 2 hp, que también se encuentra conectado a un variador de frecuencia para regular la velocidad de funcionamiento. Con respecto al sistema de enfriado y enrollado, la piscina de 900 mm de largo proporciona un adecuado enfriamiento del filamento ya que se solidifica sin cristalizarse y manteniendo flexibilidad antes de ingresar al sistema de enrollado seleccionado, el cual funciona de manera excelente, permitiendo que el hilo se enrolle en el carrete sin mayores dificultades. En conjunto, estos componentes proporcionan una solución factible y versátil para el proceso de obtención de filamento para impresoras 3D.
- El sistema de trituración cumple su cometido, alimentando la extrusora con un flujo constante de material de aproximadamente 3 kg/hr. Gracias a la criba que filtra el material, deja caer hojuelas con una dimensión máxima de 8 x 10 mm, mientras que las hojuelas más grandes recirculan en la trituradora hasta ser filtradas por la criba.
- El sistema de extrusión mantiene un flujo constante del hilo de plástico el cual tiene una capacidad de producción de 1,45 kg/hr con 10 rpm y una capacidad de 5,6 kg/hr a 40 rpm,

produciendo un máximo de 5 carretes de material por hora. Tomando como referencia 10 rpm, el valor con el que se realizó las pruebas, se tiene una producción de 1,45 kg/hr, teniendo un error porcentual de 23,68 % con respecto al valor teórico de 1,9 kg/hr, esto sucede debido a errores de mecanizado y holgura entre el cilindro y el husillo.

- El filamento producido tiene un diámetro entre 1,69 mm y 1,81 mm el cual cumple con la medida apta para usar en las impresoras 3D. Este material mantiene buena flexibilidad, redondez y no se quiebra siempre y cuando las botellas trituradas no contengan humedad ya que el material húmedo hace que en el filamento se encierren micro burbujas en su interior. Para quitar la humedad de las botellas se las seca en un horno durante 20 minutos aproximadamente a una temperatura de 100°C, hasta que esta se torne de un color blanquecino.

## 4.2. Recomendaciones

- Para un correcto funcionamiento de la trituradora hay que tomar en cuenta que las separaciones entre las cuchillas sean de 0,5 mm y 1 mm, ya que, si están muy holgadas, la acción de triturado no se cumplirá y las botellas se estancan en los espacios con holgura, por otra parte si la distancia entre cuchillas es inferior a 0,5 mm, estas pueden chocar entre si y genera impurezas por la fricción del material.
- En el caso de la extrusora es necesario verificar que los componentes estén disponibles en el mercado, puesto que estos tienen que ser a la medida y si se los rectifica estos tienden a quedar con errores que pueden entorpecer el proceso de extrusión o pueden dañar las demás partes.
- En el proceso de enfriado y enrollado del filamento hay que tener en cuenta el diámetro de la boquilla ya que este es uno de los factores claves que marca la velocidad que deben tener los mecanismos de enrollado.
- Para purgar la extrusora se recomienda utilizar velocidades más baja y temperaturas más altas que las utilizadas para la extrusión, esto permitirá que salga el material restante alojado en el interior del cilindro de extrusión.
- Para una buena calidad de filamento después de limpiar las botellas es necesario verificar que estas no se encuentren mojadas y en lo posible secar las botellas para que no exista humedad y el filamento no salga con micro burbujas.

# Bibliografía

- [1] D. Miranda, “20 datos sobre el problema del plástico en el mundo,” 2023.
- [2] M. Harpur, “8 millones de toneladas de residuos plásticos llegan al océano anualmente,” 2020.
- [3] A. Lapeña and P. Sánchez, “Contaminación por plásticos. Uno de los mayores desafíos ambientales del siglo XXI.,” 2019.
- [4] O. Cutipa Mamani and E. Rodriguez Flores, *Diseño de extrusora para la fabricación de filamento a base de polímeros termoplásticos utilizados en el Fab Lab de la Universidad Continental Arequipa-2020*. PhD thesis, Universidad Continental, 2020.
- [5] Precious Plastic, “A Big Bang for Plastic Recycling,” 2023.
- [6] R. N. Parra Brito, *Diseño de extrusora de filamento para impresión 3D a partir de plásticos reciclados*. PhD thesis, Universidad Técnica Federico Santa María, 2017.
- [7] D. G. Sandoya Lara and C. M. Macias Coello, “Diseño y Construcción de un equipo triturador-extrusor de material plástico reutilizable tipo tereftalato de polietileno (PET) para la elaboración de filamento para impresoras 3D.,” no. 593, p. 227, 2021.
- [8] C. Guerrero, L. Tomás, G. Virgilio, and A. Eliud, “Morfología y Propiedades de Politereftalato de Etilen-Glicol y Polietileno de Alta Densidad,” vol. IV, p. 10, 2003.
- [9] A. Guapisaca and F. Pintado, *Valoración de métodos químicos para obtener ácido tereftálico a partir del tereftalato de polietileno PET*. PhD thesis, 2019.
- [10] A. L. Carvajal Vargas, *Análisis del Proceso de Fabricación de Envases de PET y su Incidencia en la Producción de la Empresa Insoplast*. PhD thesis, 2017.
- [11] J. G. Gómez Serrato, *Diagnóstico del Impacto del Plástico - Botellas sobre el Medio Ambiente: Un Estadodel Arte*. PhD thesis, 2016.

- [12] L. A. Cushicondor Quinga and V. S. Monta Guaña, *Diseño y Construcción de un Prototipo de Máquina Trituradora para Botellas Plásticas PET Reciclables con Capacidad de 5Kg/H*. PhD thesis, 2021.
- [13] Heura, “¿Quién es responsable de los desechos plásticos en el océano?. [Fotografía].,” nov 2022.
- [14] L. M. Freire Cárdenas, C. J. González Mosquera, and W. Ortiz, “Diseño Y Construcción De Un Equipo Triturador De Botellas Plásticas Tipo Pet,” *Escuela Superior Politécnica de Chimborazo*, pp. 0–84, 2013.
- [15] “Recycling of PET,” *European Polymer Journal*, vol. 41, 2005.
- [16] J. Chavez Lopez and S. Hidalgo Brito, “Comparación de la Resistencia al Esfuerzo Cortante entre el PET y Maderas utilizadas en Fortificación Minera,” 2019.
- [17] A. Mertes, “What Are the Different Types of Plastic?,” 2020.
- [18] Autodesk, “¿Qué es la impresión 3D? | Programa para impresora 3D | Autodesk,” 2023.
- [19] C. Gutierrez and L. Vargas, “Diseño y fabricación de una máquina extrusora para crear el filamento de la impresora 3D a partir de material plástico,” p. 138, 2017.
- [20] TAICED, “¿Qué es una Impresora 3D?, Tipos y como funciona,” 2022.
- [21] J. A. Robayo Florez, *Implementación de un prototipo triturador de botellas y captador de nivel de residuos para un sistema de catalogación automática de botellas PET*. PhD thesis, 2019.
- [22] VEYCO, “Molinos de martillo,” 2023.
- [23] DASWELL, “Trituradora de Martillo de Gran Capacidad en Venta |,” 2023.
- [24] V. Yepes Piqueras, “Tamaño máximo del material que puede alimentar a una trituradora de cilindros lisos. [Ilustración].,” 2022.
- [25] E. Y. Luque Mendoza, *Diseño de un prototipo de máquina trituradora de botellas PET*. PhD thesis, Universidad Tecnológica del Perú, 2019.
- [26] SOYU, “Trituradora de Doble Eje | Trituradora Industrial de Residuos | SOYU,” 2023.
- [27] Mercador GmbH, “Trituradora de residuos de plástico - E-ZM 1/44. [Fotografía].,” 2023.
- [28] J. A. Clever Angulo, “Diseño de una trituradora de PET como herramienta de apoyo para las asignaturas de ingeniería de UNICATÓLICA,” p. 116, 2020.

- [29] Filament2print, “Trituradora de plástico Felfil | Filament2Print,” 2023.
- [30] 3devo, “GP20 Plastic Shredder Hybrid | 3devo,” 2023.
- [31] INTBUYING, “INTBUYING Electric Plastic Shredder Disintegrator Bottle Cardboard Grinder Mill Crusher Electric Chipper Granulator Grinding Machine 220V.”
- [32] QITECH, “JARVIS Shredder,” 2023.
- [33] Departamento de instalaciones frigoríficas Hesperides, “ ESTRUSION EN MATERIALES PLASTICOS,” 2016.
- [34] Gestión De Compras, “Extrusión directa. Proceso y Productos. [Ilustración].,” 2023.
- [35] M. P. Groover, *FUNDAMENTOS DE MANUFACTURA MODERNA. Materials, Processes and Systems*. 2007.
- [36] V. K. Savgorodny, *Transformación de Plásticos*. 1978.
- [37] R. X. Morales Iles, *Diseño Y Construcción De Una Máquina Recicladora Y Extrusora De Plástico Para El Observatorio Astronómico De Quito De La Epn*. PhD thesis, Escuela Politécnica Nacional, 2018.
- [38] C. Piñeros and B. Acosta, “Rediseño de una máquina extrusora para reciclaje de plástico producido en la Facultad Tecnológica de la UD,”
- [39] Filastruder, “Filastruder Kit,” 2023.
- [40] Filabot, “Filabot EX2 Filament Extruder,” 2023.
- [41] ReDeTec, “ProtoCycler+ Filament Maker and Recycler | ReDeTec,” 2023.
- [42] Noztek, “Noztek Pro & Pro HT - Noztek Extrusion Systems,” 2023.
- [43] M. Rossi, “Estampado en frío de la chapa,” *TermodinamicaEditorial Dossat*, 1979.
- [44] E. Industria, “Reductores de velocidad,” 2007.
- [45] J. R. Moyano Arévalo, E. M. Naranjo Vargas, and A. G. Tenicota García, “Diseño y selección de cuchillas para el proceso de trituración de neumáticos y análisis de costos de fabricación,” *ConcienciaDigital*, vol. 3, 2020.
- [46] “Acero de trabajo en frío,” 2023.
- [47] J. F. Barbosa Paredes, “Diseño de una maquina extrusora de plástico para los productores de manguera de ocaña,” *Tesis*, pp. 1–49, 2017.

- [48] J. J. Gómez Gómez and J. E. Gutiérrez Bedoya, “Diseño de una extrusora para plásticos,” 2004.
- [49] M. Kiszely, “Filament Spool Switcher,” 2023.

# Anexos

## 0.1. Anexo 1: Tabla propiedades Acero inoxidable 304

### PLANCHAS ACERO INOXIDABLE

#### Norma: AISI 304

#### Especificaciones Generales:

ESPEORES	desde 0.40-1.5mm
DIMENSIONES	1220 x 2440mm (estándar)
	1220 x otros largos (especial)

DESCRIPCIÓN DE ACUERDO A NORMA	JIS	SUS 304
	ASTM	304
	DIN	4301



Descripción: Acero inoxidable aleado al cromo y níquel, muy resistente a la corrosión intergranular y a los ataques químicos del medio ambiente. Posee una buena resistencia a la corrosión del agua, ácidos y soluciones alcalinas si se emplea con superficie pulida a espejo. Se la puede encontrar con acabado ASTM 2B y 1.

COMPOSICIÓN QUÍMICA (%)								
C Max	Si Max	Mn	P Max	S Max	Ni	Cr	Mo	Otros
0,08	1	2	0,04	0,03	8 - 10,5	18 - 20	XX	XX

PROPIEDADES MECÁNICAS						
RESISTENCIA MECÁNICA		PUNTO DE FLUENCIA		Elongación % Min.	PRUEBAS DE DUREZA (MAX)	
Kg/mm <sup>2</sup>	Psi	Kg/mm <sup>2</sup>	Psi		ROCKWELL B	VICKERS
49	69500	18	25500	40	81,7	160

## 0.2. Anexo 2: Tabla propiedades Acero 1018



COMPOSICIÓN QUÍMICA				
%C	%Si	%Mn	%P	%S
0 - 0,20	0 - 0,25	0 - 0,70	0 - 0,04	0 - 05

PROPIEDADES MECÁNICAS			
RESISTENCIA MECÁNICA (N/mm <sup>2</sup> )	PUNTO DE FLUENCIA (N/mm <sup>2</sup> )	Elongación % Min.	DUREZA ROCKWELL B
410 - 520	235	20	143

### DIMENSIONES

DIÁMETRO
3/8"
1/4"
5/8"
3/4"
7/8"
1"
1-1/4"
1-1/2"
1-3/4"
2"
2-1/4"
2-1/2"
2-3/4"
3"
3-1/2"
4"
4-1/2"
5"
6"



### 0.3. Anexo 3: Tablas de factores de Marín

Factor de acabado superficial

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

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

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

## 0.4. Anexo 4: Momento de Inercia

### Parte 1 Propiedades de las secciones

$A$  = área

$G$  = ubicación del centroide

$I_x = \int y^2 dA$  = segundo momento de área con respecto al eje  $x$

$I_y = \int x^2 dA$  = segundo momento de área con respecto al eje  $y$

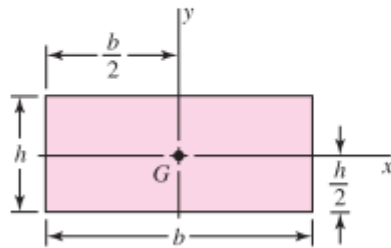
$I_{xy} = \int xy dA$  = momento mixto de área con respecto a los ejes  $x$  y  $y$

$J_G = \int r^2 dA = \int (x^2 + y^2) dA = I_x + I_y$

= segundo momento polar de área con respecto al eje que pasa por  $G$

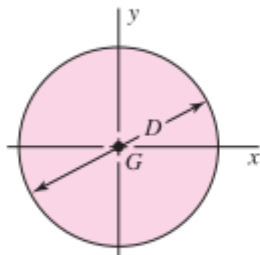
$k_x^2 = I_x/A$  = radio de giro al cuadrado con respecto al eje  $x$

Rectángulo



$$A = bh \quad I_x = \frac{bh^3}{12} \quad I_y = \frac{b^3h}{12} \quad I_{xy} = 0$$

Círculo



$$A = \frac{\pi D^2}{4} \quad I_x = I_y = \frac{\pi D^4}{64} \quad I_{xy} = 0 \quad J_G = \frac{\pi D^4}{32}$$

## 0.5. Anexo 5: Propiedades acero AISI 4140



HACEMOS PRESENCIA A NIVEL NACIONAL SERVICIO Y CALIDAD  
www.ferrocortes.com.co

**BARRAS DE BAJA Y MEDIA ALEACIÓN AISI / SAE 4140**

**Ferrocortes**  
Soluciones con el acero S.A.S

FT 02\_001

### Estado de suministro

Negro - Bonificado, tolerancia DIN 1013

Laminado con tratamiento térmico de bonificado, tolerancia DIN 1013 (Torneado - Calibrado)

Premaquinado

Forjado

### Formas y color:



### Composición química (% en peso)

%C	%Si	%Mn	%P	%S	%Cr	%Mo
0.38	0.15	0.75	-	-	0.80	0.15
0.43	0.35	1.00	0.035	0.040	1.10	0.25

Densidad: 7.87 g/cm<sup>3</sup> (0.284 lb/in<sup>3</sup>)

### Propiedades mecánicas mínimas estimadas SAE J1397

Tipo de proceso y acabado	Resistencia a la tracción		Límite de Fluencia		Alarga/ en 2" (%)	Reducción de área (%)	Dureza (HB)	Relación de maquinabilidad 1212 EF =100%
	MPa	PSI	MPa	PSI				
Caliente y maquinado	614	89000	427	62000	26	57	187	70
Estirado en frío	703	102000	620	90000	18	50	223	
Templado y revenido*	1172	170000	1096	159000	16	50	341	-

\* Sólo como guía, pues dependen de variables como composición química real, temperaturas de tratamiento, diámetro de la barra.

### Tratamientos térmicos recomendados (Valores en °C)

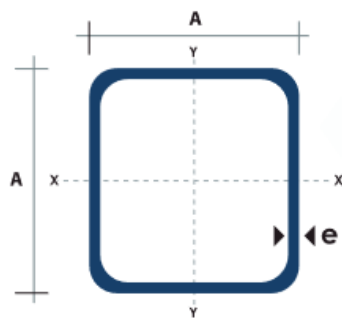
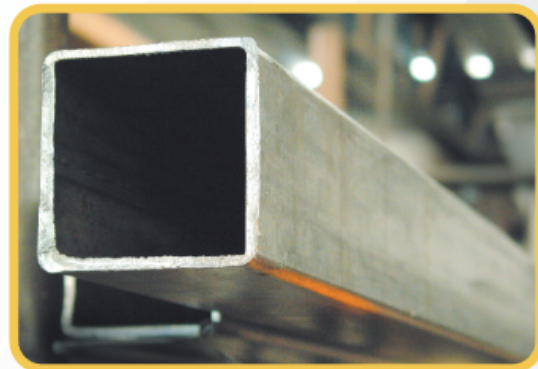
Forjado	Normalizado	Recocido		Templado	Revenido	°T Crítica aproximada	
		Ablanda/.	Regeneración			Ac1	Ac3
1050-1200	870 - 900	680 - 720	815 - 850 Enfriar en horno	830-850 Agua/Aceite	500 - 650	750	790

## 0.6. Anexo 6: Tubo cuadrado

### TUBO ESTRUCTURAL CUADRADO

#### Especificaciones Generales:

Norma:	NTE INEN 2415
Calidad:	SAE J 403 1008
Acabado:	Acero negro o Galvanizado
Largo Normal:	6.00m y medidas especiales
Dimensiones:	Desde 20mm a 100mm
Espesores:	Desde 1,20mm a 5,00mm



Dimensiones			Área	Ejes X-Xe Y-Y		
A mm	Espesor mm (e)	Peso Kg/m	Área cm <sup>2</sup>	I cm <sup>4</sup>	W cm <sup>3</sup>	i cm <sup>3</sup>
20	1.2	0.72	0.90	0.53	0.53	0.77
20	1.5	0.88	1.05	0.58	0.58	0.74
20	2.0	1.15	1.34	0.69	0.69	0.72
25	1.2	0.90	1.14	1.08	0.87	0.97
25	1.5	1.12	1.35	1.21	0.97	0.95
25	2.0	1.47	1.74	1.48	1.18	0.92
30	1.2	1.09	1.38	1.91	1.28	1.18
30	1.5	1.35	1.65	2.19	1.46	1.15
30	2.0	1.78	2.14	2.71	1.81	1.13
40	1.2	1.47	1.80	4.38	2.19	1.25
40	1.5	1.82	2.25	5.48	2.74	1.56
40	2.0	2.41	2.94	6.93	3.46	1.54
40	3.0	3.54	4.44	10.20	5.10	1.52
50	1.5	2.29	2.85	11.06	4.42	1.97
50	2.0	3.03	3.74	14.13	5.65	1.94
50	3.0	4.48	5.61	21.20	4.48	1.91
60	2.0	3.66	3.74	21.26	7.09	2.39
60	3.0	5.42	6.61	35.06	11.69	2.34
75	2.0	4.52	5.74	50.47	13.46	2.97
75	3.0	6.71	8.41	71.54	19.08	2.92
75	4.0	8.59	10.95	89.98	24.00	2.87
100	2.0	6.17	7.74	122.99	24.60	3.99
100	3.0	9.17	11.41	176.95	35.39	3.94
100	4.0	12.13	14.95	226.09	45.22	3.89
100	5.0	14.40	18.36	270.57	54.11	3.84

## **0.7. Anexo 7: Características de variador de frecuencia**

## Introducción a la operación del teclado



### Indicadores del teclado

Luz Indicadora		Nombre
estado Luz	RUN	Luz indicadora de funcionamiento * ON: El variador está funcionando * OFF: El variador se detiene
	FWD / REV	Luz de marcha adelante / atrás * ON: En estado de avance * OFF: En estado de inversión
	Hz	Indicador de frecuencia
	A	Indicador de corriente

### Descripción de botones del panel

	Nombre	Función
	Configuración de parámetros / tecla ESC	* Entrar en el estado modificado del menú principal; * ESC de la modificación de parámetros funcionales; * ESC submenú o menú funcional al menú de estado.
	Tecla Shift	* Elija el parámetro visualizado circularmente en la interfaz de ejecución o parada; elegir la posición modificada del parámetro cuando se modifica el parámetro
	Tecla creciente	* Número de parámetro o función aumentando
	Tecla decreciente	* Número de parámetro o función decreciente
	Tecla de ejecución	* Para iniciar la ejecución en el modo de estado de control del teclado
	Tecla de parada / reinicio	* Para detener la ejecución en el estado de ejecución; para restablecer la operación en estado de alarma de falla. La función de la tecla está sujeta a F6.00
	Tecla Enter	* Poso a poso en la pantalla del menú, configure los parámetros para confirmar.
	Tecla multifunción rápida	* Esta función de tecla está determinada por el código de función F6.21

## Especificaciones

Función		Especificaciones		
Potencia de entrada	Tensión nominal	AC 1PH 220V (-15%) ~ 240V (+ 10%) AC 3PH 220V (-15%) ~ 240V (+ 10%) AC 3PH 380V (-15%) ~ 440V (+ 10%) AC 3PH 480V (-15%) ~ 480V (+ 10%)		
	Frecuencia de entrada	50Hz / 60Hz		
	fluctuaciones permitidas	Voltoje continuo volatilidad $\pm 10\%$	Menos del 3% de la tasa de desequilibrio de voltoje 3%;	
		frecuencia de entrada: $\pm 5\%$	cumple con la norma IEC61800-2	
Sistema de control	Sistema de Control	control variador de control vectorial de alto rendimiento basado en DSP		
	Método de control	V/F, control vectorial W / O PG		
	Función de torque automático	Realiza un control de torque de salida de baja frecuencia (1Hz) y gran salida bajo el V/F modo de control.		
	Control de aceleración / deceleración	Modo recto o curva en S. Cuatro veces disponible y el rango de tiempo es 0.0 ~ 6500.0s.		
	Modo de curva V/F	Lineal, raíz cuadrada / m-ésima potencia, curva V/F personalizada		
	Capacidad de sobrecarga	Tipo G: Corriente nominal 150% - 1 minuto, corriente nominal 180% - 2 segundos		
	Frecuencia máxima	1. Control vectorial: 0 ~ 300Hz; 2. Control V/F: 0 ~ 3200Hz		
	Frecuencia portadora	0.5 ~ 16kHz; ajusta automáticamente la frecuencia portadora de acuerdo con las características de carga.		
	Frecuencia de entrada Resolución de	Configuración digital: 0,01 Hz mínimo analógico: Frecuencia máxima * 0,025%.		
	Torque de arranque	tipo G: 0,5 Hz / 150% (control vectorial sin PG)		
	Rango de velocidad	1: 100 (control vectorial sin PG)		
	Precisión de velocidad constante	Precisión de velocidad constante Control vectorial sin PG: $\leq \pm 0,5\%$ (velocidad sincrona nominal)		
	Respuesta de torque	$\leq 40\text{ms}$ (control vectorial W / O PG)		
	Refuerzo de torque	Refuerzo de torque automático Refuerzo de torque manual (0,1% - 30,0%)		
	Frenado CC	El PID incorporado ajusta la corriente de frenado para garantizar un torque de frenado suficiente sin desbordamiento. Frecuencia de frenado CC: 0,0 Hz a máx. frecuencia, tiempo de frenado: 0.0 ~ 100.0 segundos, valor de corriente de frenado: 0.0% ~ 100.0%		
	Control de JOG	Rango de frecuencia de jog: 0.00Hz a máx. frecuencia; jog Ac / tiempo de desaceleración: 0.0 ~ 6500.0s.		
	PID incorporado	Sistema de control de circuito cerrado fácil de realizar para el control del proceso.		
	Regulación automática de voltaje (AVR)	Mantiene automáticamente un voltaje de solida constante cuando cambia el voltaje de la red eléctrica.		
	Método de seguimiento de velocidad	Rastrea automáticamente la velocidad actual del motor cuando se inicia el variador		
	Autoinspección de	Después de encender, equipos periféricos llevará a cabo pruebas de		

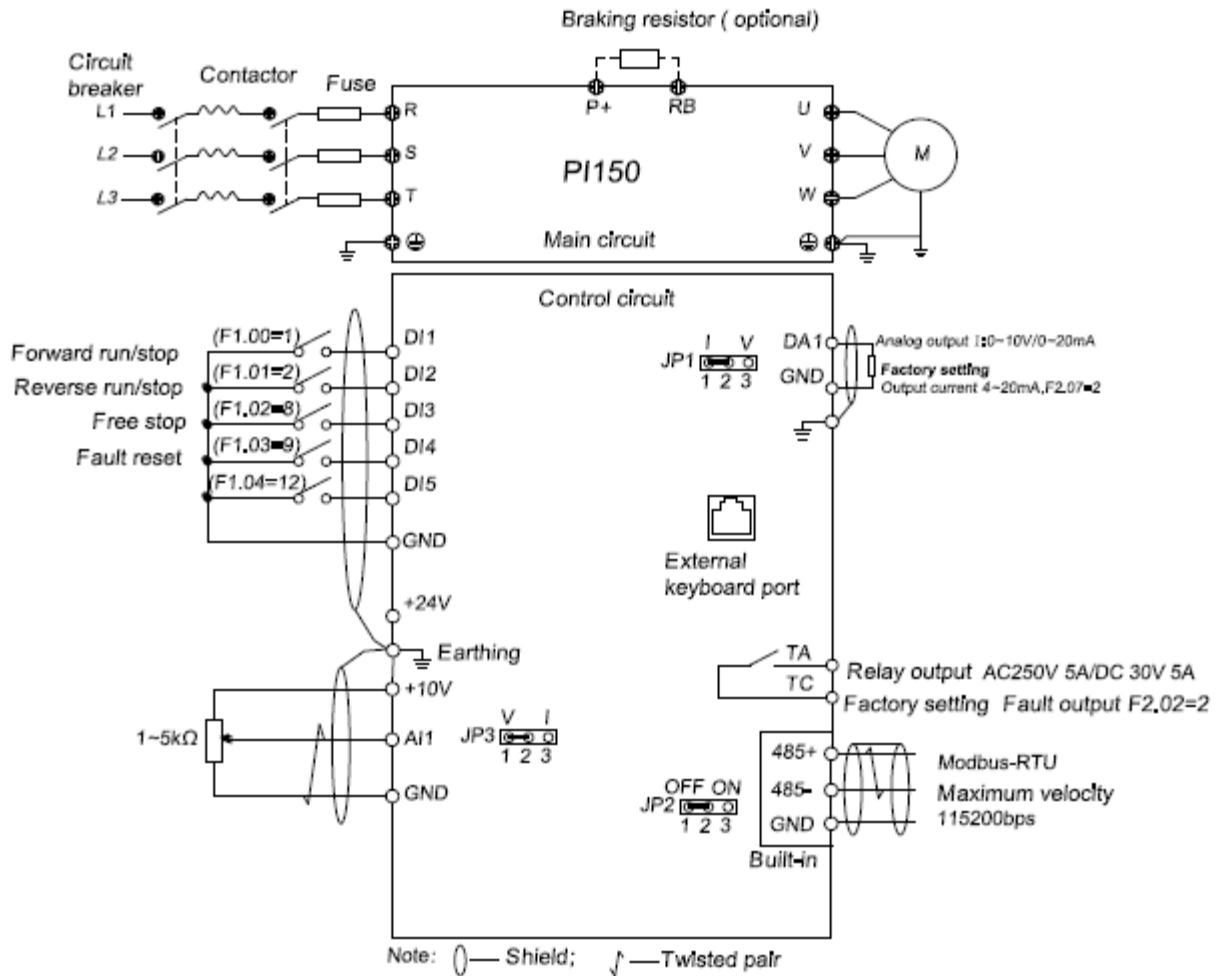
Función de personalización	periféricos tras el encendido	seguridad, tal como tierra, cortocircuito, etc.
	Limitador rápido de corriente	El algoritmo de limitación de corriente se usa para reducir la probabilidad de sobrecorriente y mejorar la capacidad anti-interferencia.
	Control de Tiempo	Función de control de tiempo: rango de ajuste de tiempo (0 m ~ 6500 m)
Señal de entrada	Terminales de entrada DI	5 terminales de entrada digitales
	Terminales de entrada AI	1 Entrada analógica AI1 seleccionable de 0 ~ 10V o 0 ~ 20mA

Elementos		Especificaciones	
Funcionamiento	Señal de entrada	Multi-velocidad	16 velocidades (Ejecutar usando los terminales multifunción o el programa)
		Parada de emergencia	Salida del controlador de interrupción
		Restablecimiento de fallos	Cuando la función de protección está activa, puede restablecer automática o manualmente la condición de falla.
		PID	Señal de retroalimentación Incluyendo CC (0 - 10 V), CC (0 - 20 mA)
	Señal de salida	Terminal	de salida Terminal de salida de relé de 1 vía; Terminal de salida analógica DA1 de 1 vía Salida de
		relé	Hay 40 tipos de señales para elegir en cada sentido. Capacidad de contacto del relé: contacto normalmente abierto 5A / AC 250V;5A / DC 30V
		Salida analógicaDA1	1 vía, puede seleccionar 16 tipos de señales como frecuencia, corriente, voltaje, etc. El rango de la señal de salida se puede configurar arbitrariamente entre 0 - 10V / 0 - 20mA.
	Canal de comando	Tres canales: Panel de operación, terminales de control y puerto de comunicación serial. Se pueden combinar de varias formas.	
	Fuente de frecuencia	Total de 7 fuentes de frecuencia: digital, voltaje analógico, multivelocidad y puerto serie.	
	Función de Encendido	Frecuencia límite, frecuencia de salto, compensación de frecuencia, autoajuste, control PID	
Protección del variador	Protección contra sobretensiones, protección de mínima tensión, protección de sobrecorriente, protección contra sobrecarga, protección contra sobrecalentamiento, protección de bloqueo de sobrecorriente, protección de bloqueo de sobretensión, la protección de falta de fase (Opcional), error de comunicación, anomalías en la señal de retroalimentación PID y protección contra cortocircuitos a tierra.		
Visualización	Pantalla	Funcionamiento	Objetos de supervisión que incluyen: frecuencia de funcionamiento, frecuencia establecida, voltaje del bus, voltaje de salida, corriente de salida, potencia de salida, torque de salida, estado del terminal de entrada, estado del terminal de salida, valor analógico AI1, motor Velocidad de funcionamiento real, porcentaje del valor establecido de PID, porcentaje del valor de retroalimentación de PID.
		Error	Como máximo guarda tres mensajes de error, y se puede consultar la hora, el tipo, el voltaje, la corriente, la frecuencia y el estado de trabajo cuando se produce la falla.
	Bloqueo de teclas y selección de funciones	Bloquear parte o todas las teclas, definir el alcance de la función de algunas teclas para evitar un mal uso.	
	Temperatura de IGBT	Muestra la temperatura actual de IGBT dentro del variador.	



Comunicación		incorporado 485
Ambiente	Temperatura ambiente	-10 ~ 40 °C (La temperatura ambiente en 40 ~ 50 °C, por favor reduzca el uso)
	Temperatura de almacenamiento	-20 ~ 65 °C
	Humedad	Humedad ambiental Menos del 90% de HR, sin condensación.
	Vibración	debajo de 5,9 m / s <sup>2</sup> (= 0,6 g)
	Ubicación	Interiores donde no haya luz solar o gases corrosivos, explosivos y vapor de agua, polvo, gas inflamable, neblina de aceite, vapor de agua, goteo o sal, etc.
	Altitud	Usar por debajo de 1000 m sin reducción de potencia, 1% por cada 100 m que aumenta por encima de 1000 m, la altitud máxima es 3000 m
	Nivel de protección	IP20
Estándares	Estándar de seguridad.	IEC61800-5-1: 2007
	Estándar de EMC.	IEC61800-3: 2005
Método de refrigeración		Aire forzado
instalación		Montaje en riel, montaje en pared

## Diagrama de cableado



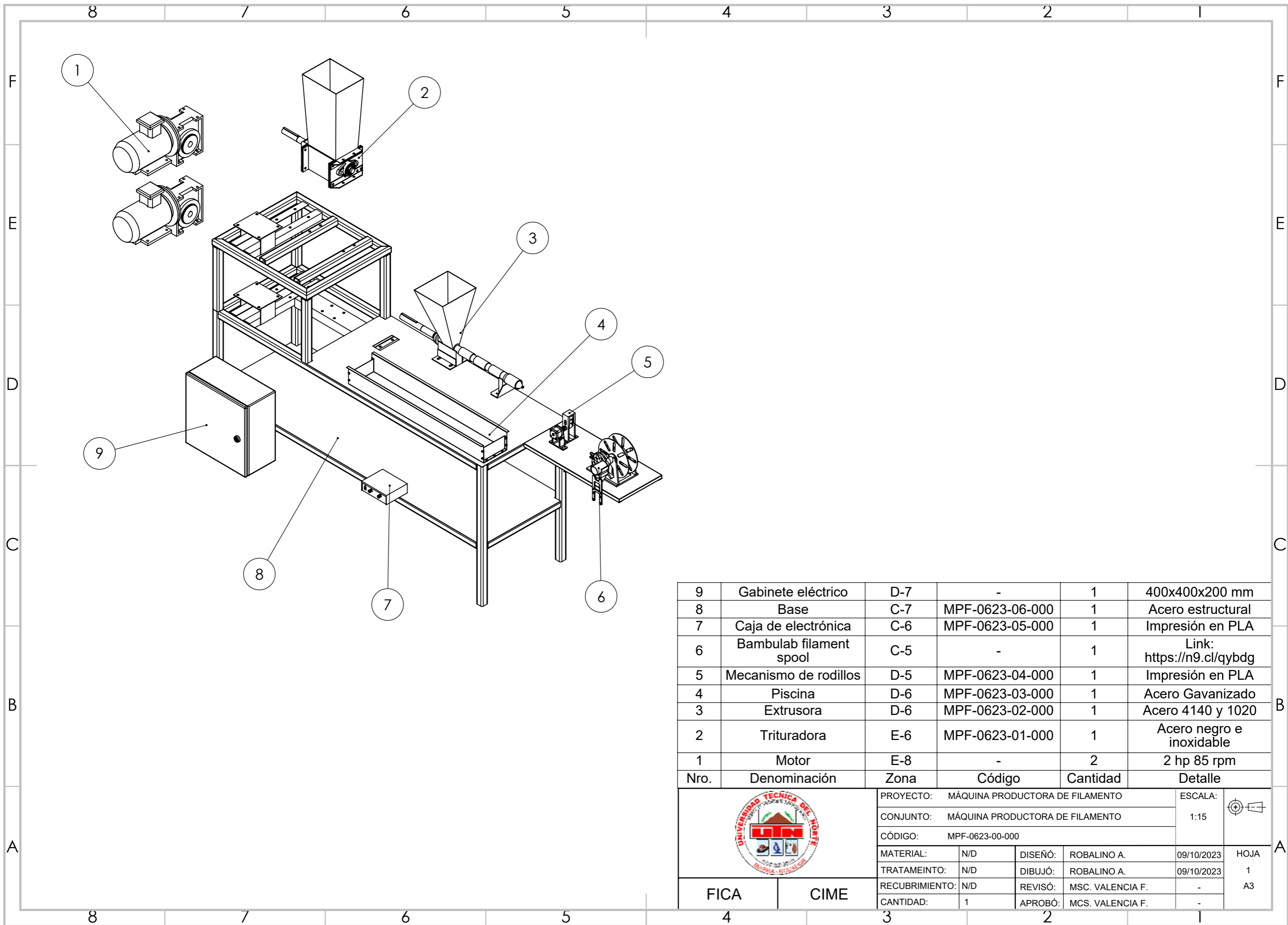
### Notas en el cableado del circuito principal

- (1) Especificaciones de cableado, implemente el cableado de acuerdo con las regulaciones eléctricas.
- (2) No conecte CA a la salida del convertidor de frecuencia (U, V, W), de lo contrario, el convertidor de frecuencia se dañará.
- (3) Power cableado de alimentación, intenta utilizar la línea de aislamiento y la tubería, y la línea de aislamiento o extremos de tubería a tierra.
- (4) El cable de conexión a tierra del variador de frecuencia no se puede conectar a tierra junto con la máquina de soldar, el motor de alta potencia o la carga de alta corriente, por favor, conecte a tierra solo;
- (5) Conexión a tierra, por favor, conecte a tierra correctamente, resistencia de conexión a tierra inferior a 10 Ω.

### Notas en el circuito de control de cableado

- (1) Separe la línea de señal de control de la línea del circuito principal y otras líneas eléctricas; (2) Para evitar un mal funcionamiento causado por interferencias, utilice cables trenzados o con doble blindaje, especificación 0,5 ~ 2 mm<sup>2</sup>;
- (3) Asegúrese de que las condiciones permitidas de cada terminal, como la fuente de alimentación, la corriente máxima permitida, etc.
- (4) Los requisitos de cableado del terminal, selección correcta de accesorios, como: voltímetro, fuente de alimentación de entrada, etc.
- (5) Después de completar el cableado, verifíquelo correctamente y asegúrese de que sea correcto antes de encenderlo.

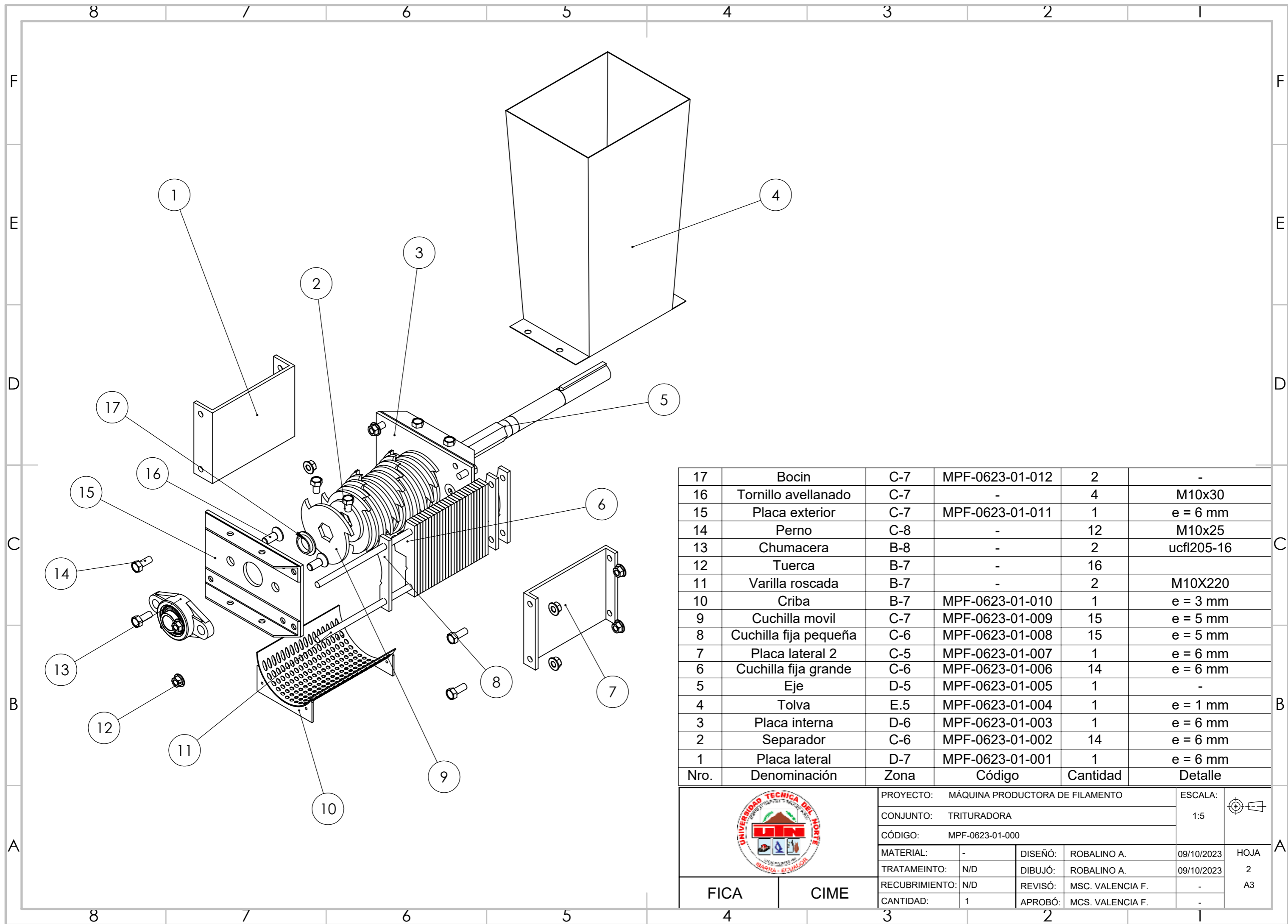
## **0.8. Anexo 8: Planos**



9	Gabinete eléctrico	D-7	-	1	400x400x200 mm
8	Base	C-7	MPF-0623-06-000	1	Acero estructural
7	Caja de electrónica	C-6	MPF-0623-05-000	1	Impresión en PLA
6	Bambulab filament spool	C-5	-	1	Link: <a href="https://n9.cl/qybdg">https://n9.cl/qybdg</a>
5	Mecanismo de rodillos	D-5	MPF-0623-04-000	1	Impresión en PLA
4	Piscina	D-6	MPF-0623-03-000	1	Acero Gavanizado
3	Extrusora	D-6	MPF-0623-02-000	1	Acero 4140 y 1020
2	Trituradora	E-6	MPF-0623-01-000	1	Acero negro e inoxidable
1	Motor	E-8	-	2	2 hp 85 rpm

Nro.	Denominación	Zona	Código	Cantidad	Detalle
		PROYECTO: MÁQUINA PRODUCTORA DE FILAMENTO			ESCALA: 1:15 
		CONJUNTO: MÁQUINA PRODUCTORA DE FILAMENTO			
		CÓDIGO: MPF-0623-00-000			
MATERIAL:	N/D	DISEÑO:	ROBALINO A.	09/10/2023	HOJA 1 A3
TRATAMEINTO:	N/D	DIBUJÓ:	ROBALINO A.	09/10/2023	
RECUBRIMIENTO:	N/D	REVISÓ:	MSC. VALENCIA F.	-	
CANTIDAD:	1	APROBÓ:	MCS. VALENCIA F.	-	

FICA CIME



17	Bocin	C-7	MPF-0623-01-012	2	-
16	Tornillo avellanado	C-7	-	4	M10x30
15	Placa exterior	C-7	MPF-0623-01-011	1	e = 6 mm
14	Perno	C-8	-	12	M10x25
13	Chumacera	B-8	-	2	ucfl205-16
12	Tuerca	B-7	-	16	
11	Varilla roscada	B-7	-	2	M10X220
10	Criba	B-7	MPF-0623-01-010	1	e = 3 mm
9	Cuchilla movil	C-7	MPF-0623-01-009	15	e = 5 mm
8	Cuchilla fija pequeña	C-6	MPF-0623-01-008	15	e = 5 mm
7	Placa lateral 2	C-5	MPF-0623-01-007	1	e = 6 mm
6	Cuchilla fija grande	C-6	MPF-0623-01-006	14	e = 6 mm
5	Eje	D-5	MPF-0623-01-005	1	-
4	Tolva	E.5	MPF-0623-01-004	1	e = 1 mm
3	Placa interna	D-6	MPF-0623-01-003	1	e = 6 mm
2	Separador	C-6	MPF-0623-01-002	14	e = 6 mm
1	Placa lateral	D-7	MPF-0623-01-001	1	e = 6 mm
Nro.	Denominación	Zona	Código	Cantidad	Detalle

	PROYECTO: MÁQUINA PRODUCTORA DE FILAMENTO			ESCALA:	
	CONJUNTO: TRITURADORA			1:5	
	CÓDIGO: MPF-0623-01-000				
	MATERIAL:	-	DISEÑO:	ROBALINO A.	09/10/2023
TRATAMIENTO:	N/D	DIBUJÓ:	ROBALINO A.	09/10/2023	2
RECUBRIMIENTO:	N/D	REVISÓ:	MSC. VALENCIA F.	-	A3
CANTIDAD:	1	APROBÓ:	MCS. VALENCIA F.	-	

FICA CIME

4 3 2 1

F

F

E

E

D

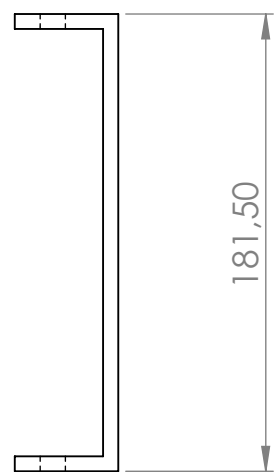
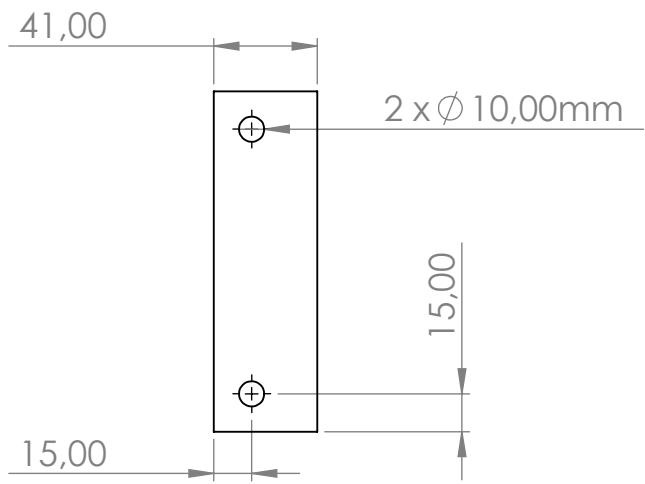
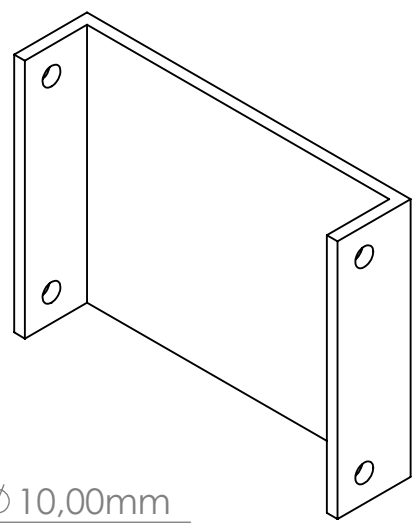
D

C

C

B

B



A

A



PROYECTO: MÁQUINA PRODUCTORA DE FILAMENTO				ESCALA: 1:3		
PARTE: PLACA LATERAL						
CÓDIGO: MPF-0623-01-001				TOLERANCIA:		
MATERIAL:	AISI 1018	DISEÑO:	ROBALINO A.	09/10/2023	HOJA 3 A4	
TRATAMIENTO:	N/D	DIBUJÓ:	ROBALINO A.	09/10/2023		
RECUBRIMIENTO:	N/D	REVISÓ:	MSC. VALENCIA F.	-		
CANTIDAD:	1	APROBÓ:	MSC. VALENCIA F.	-		

FICA

CIME

4 3 2 1

4 3 2 1

F

F

E

E

D

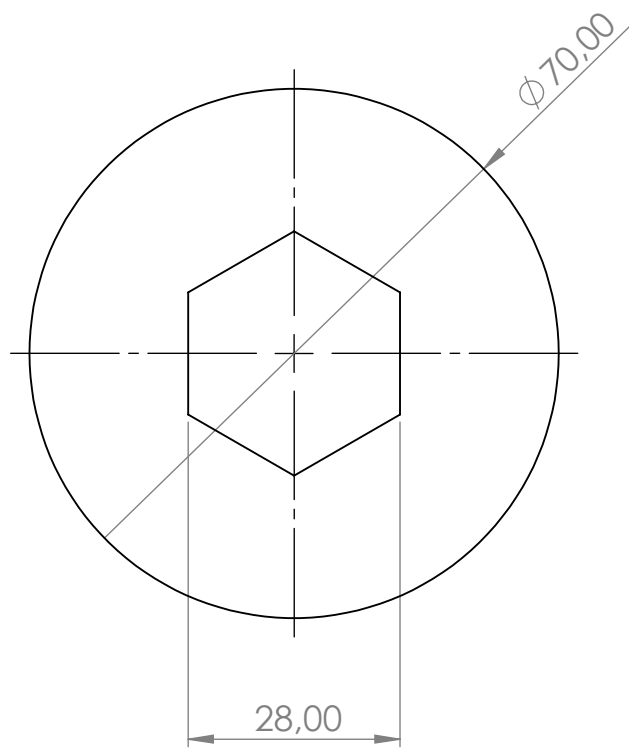
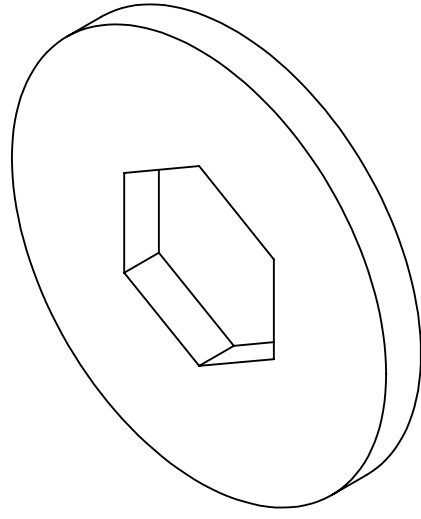
D

C

C

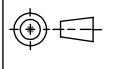
B

B



PROYECTO: MÁQUINA PRODUCTORA DE FILAMENTO

ESCALA:



PARTE: SEPARADOR

1:1

CÓDIGO: MPF-0623-01-002

TOLERANCIA:

MATERIAL: AISI 1018

DISEÑO: ROBALINO A.

09/10/2023

HOJA

TRATAMIENTO: N/D

DIBUJÓ: ROBALINO A.

09/10/2023

4

FICA

CIME

RECUBRIMIENTO: N/D

REVISÓ: MSC. VALENCIA F.

-

A4

CANTIDAD: 14

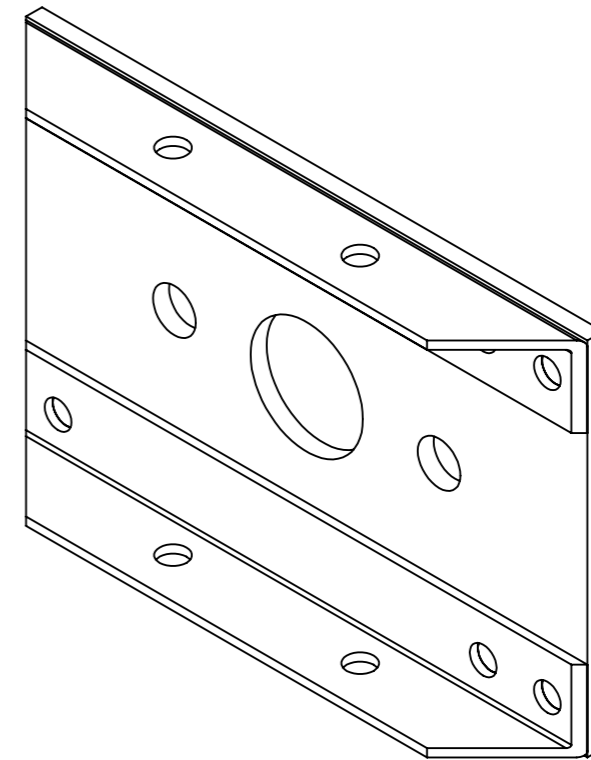
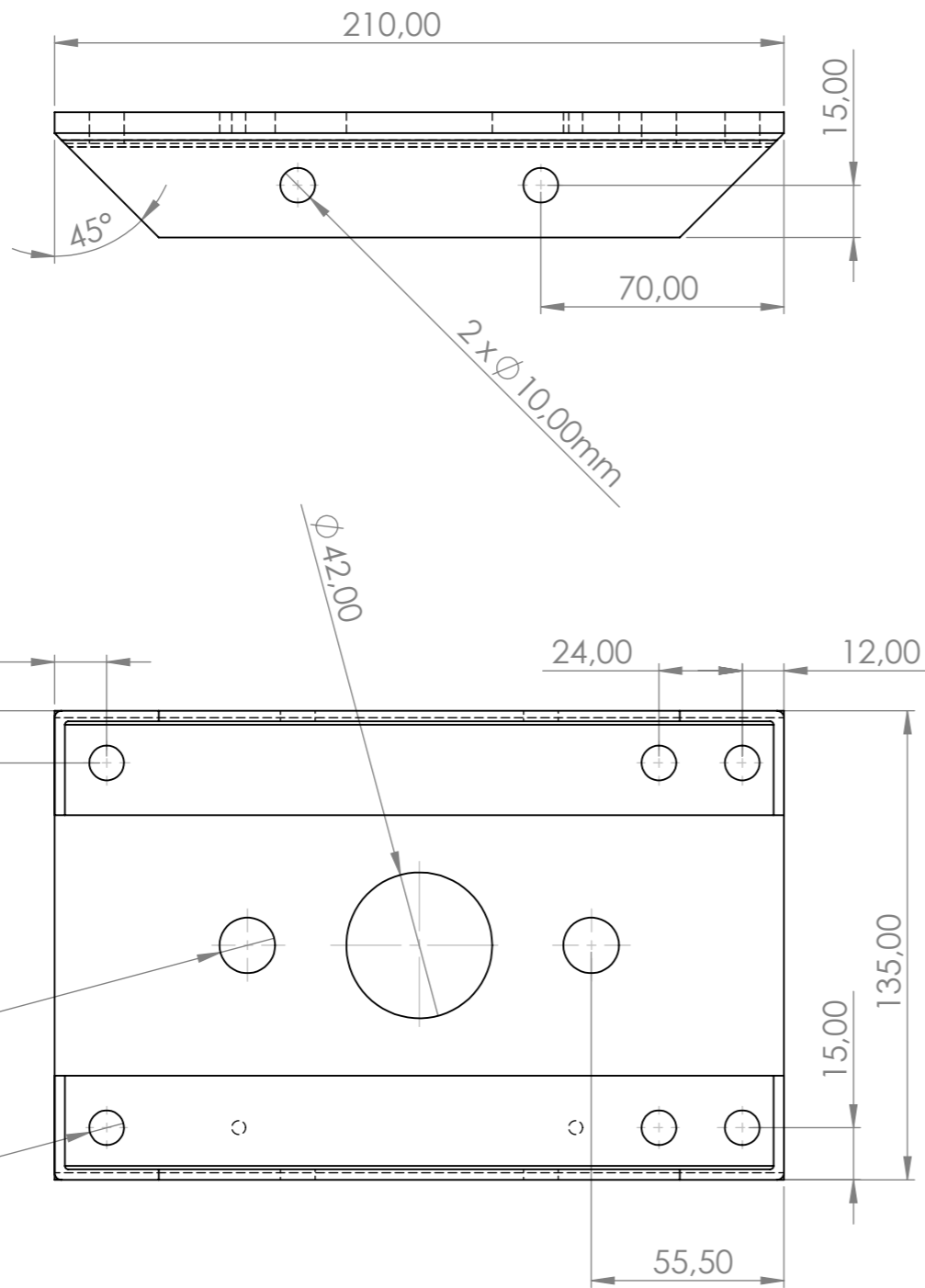
APROBÓ: MSC. VALENCIA F.

-

4 3 2 1

A

A

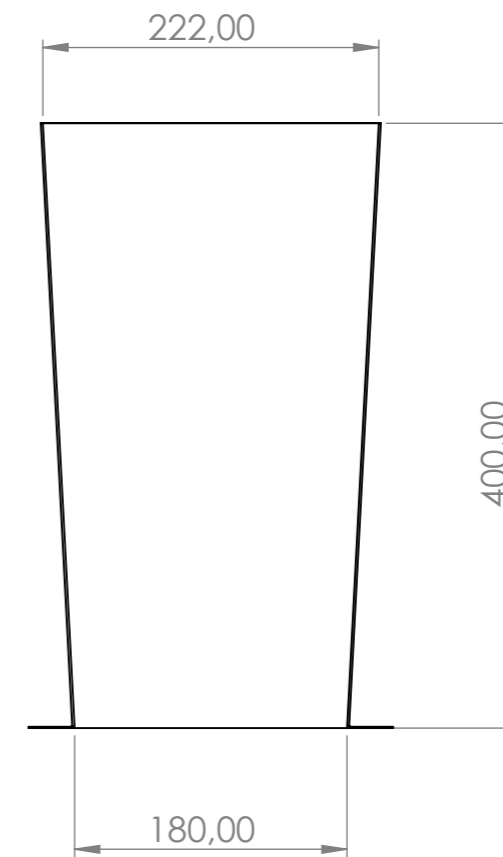
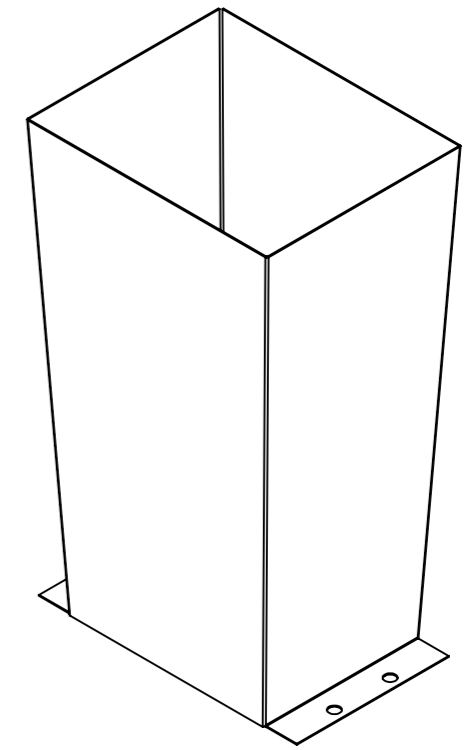
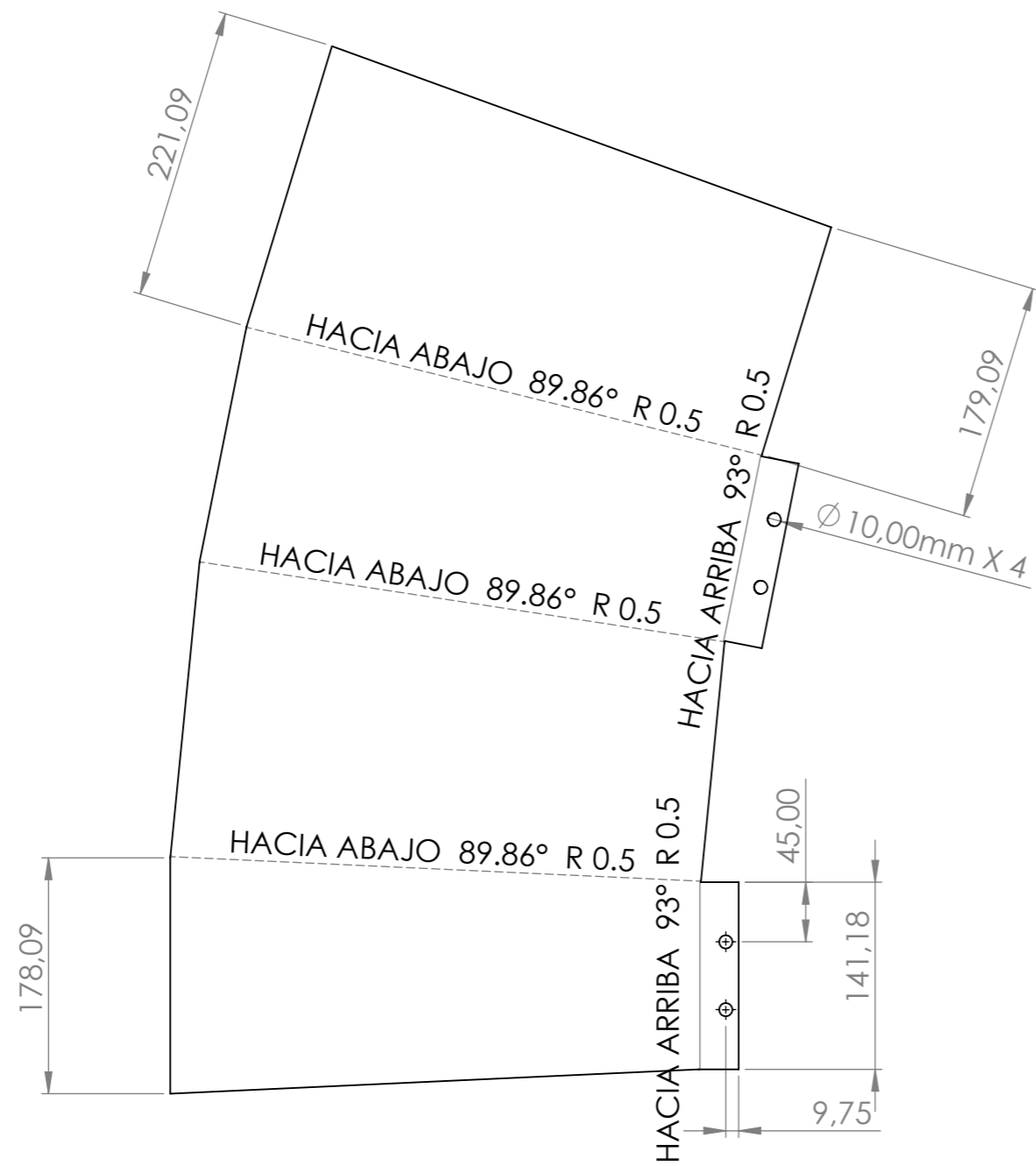


Nota: Perfil L 30 x 30 x 3 mm en los extremos



				PROYECTO: MÁQUINA PRODUCTORA DE FILAMENTO		ESCALA:	
				PARTE: PLACA INTERNA		1:2	
FICA      CIME				CÓDIGO: MPF-0623-01-003		TOLERANCIA:	
				MATERIAL: AISI 1018	DISEÑO: ROBALINO A.	09/10/2023	HOJA
4		3		TRATAMIENTO: N/D	DIBUJÓ: ROBALINO A.	09/10/2023	5
				RECUBRIMIENTO: N/D	REVISÓ: MSC. VALENCIA F.	-	A3
				CANTIDAD: 1	APROBÓ: MSC. VALENCIA F.	-	

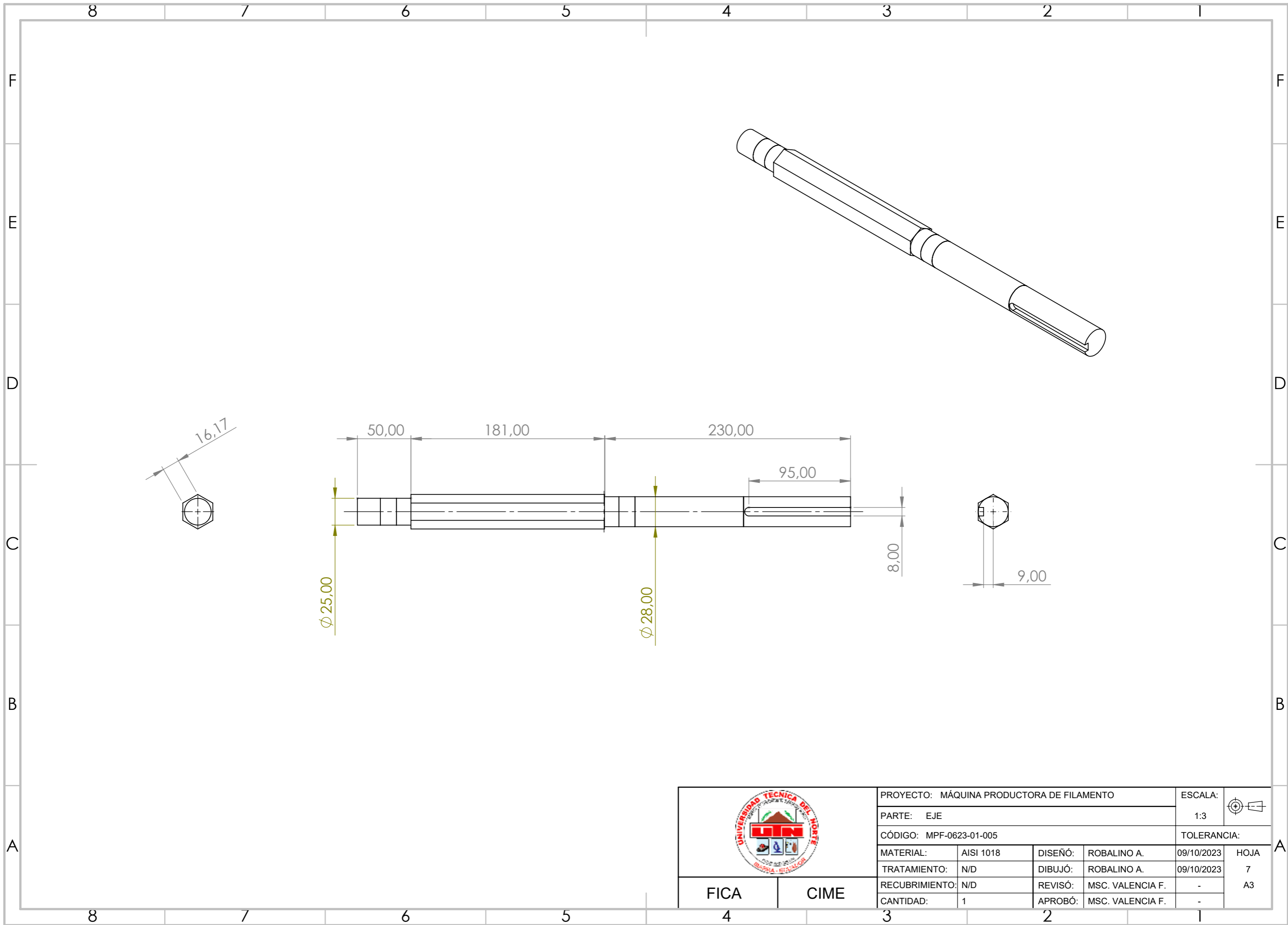




				PROYECTO: MÁQUINA PRODUCTORA DE FILAMENTO		ESCALA:	
				PARTE: TOLVA		1:5	
CÓDIGO: MPF-0623-01-004				TOLERANCIA:			
MATERIAL:	GALVANIZADO	DISEÑO:	ROBALINO A.	09/10/2023	HOJA	A	
TRATAMIENTO:	N/D	DIBUJÓ:	ROBALINO A.	09/10/2023	6	A3	
RECUBRIMIENTO:	N/D	REVISÓ:	MSC. VALENCIA F.	-			
CANTIDAD:	1	APROBÓ:	MSC. VALENCIA F.	-			

FICA

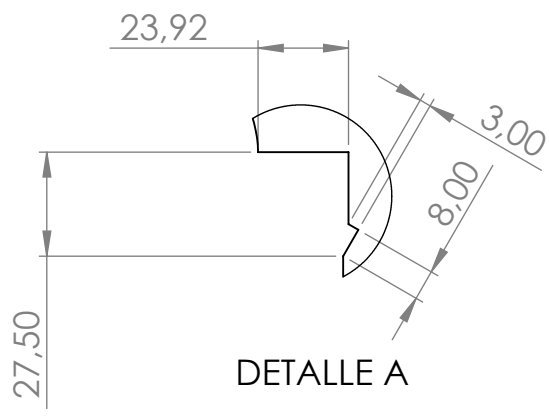
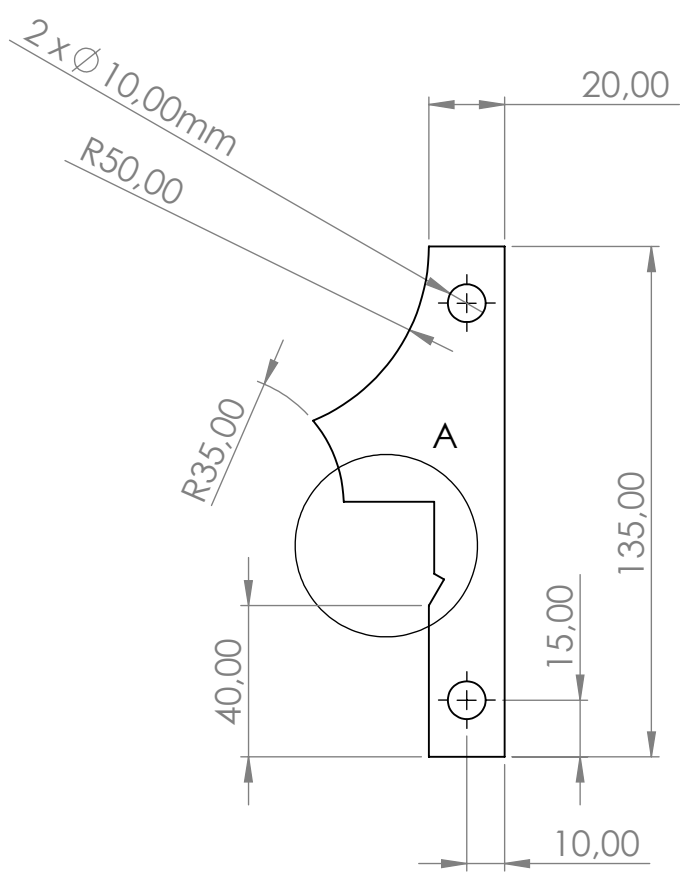
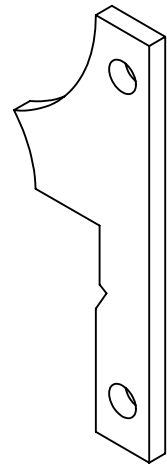
CIME



	PROYECTO: MÁQUINA PRODUCTORA DE FILAMENTO			ESCALA:		
	PARTE: EJE			1:3		
	CÓDIGO: MPF-0623-01-005			TOLERANCIA:		
	MATERIAL:	AISI 1018	DISEÑO:	ROBALINO A.	09/10/2023	HOJA
	TRATAMIENTO:	N/D	DIBUJÓ:	ROBALINO A.	09/10/2023	7
RECUBRIMIENTO:	N/D	REVISÓ:	MSC. VALENCIA F.	-	A3	
CANTIDAD:	1	APROBÓ:	MSC. VALENCIA F.	-		

FICA

CIME



DETALLE A



PROYECTO: MÁQUINA PRODUCTORA DE FILAMENTO				ESCALA: 1:2		
PARTE: CUCHILLA FIJA GRANDE						
CÓDIGO: MPF-0623-01-006				TOLERANCIA:		
MATERIAL:	AI 304	DISEÑO:	ROBALINO A.	09/10/2023	HOJA 8 A4	
TRATAMIENTO:	N/D	DIBUJÓ:	ROBALINO A.	09/10/2023		
RECUBRIMIENTO:	N/D	REVISÓ:	MSC. VALENCIA F.	-		
CANTIDAD:	14	APROBÓ:	MSC. VALENCIA F.	-		

FICA CIME

A

A

4 3 2 1

F

F

E

E

D

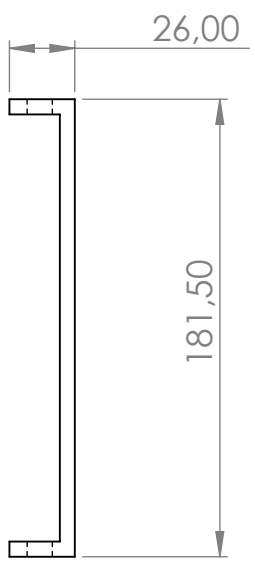
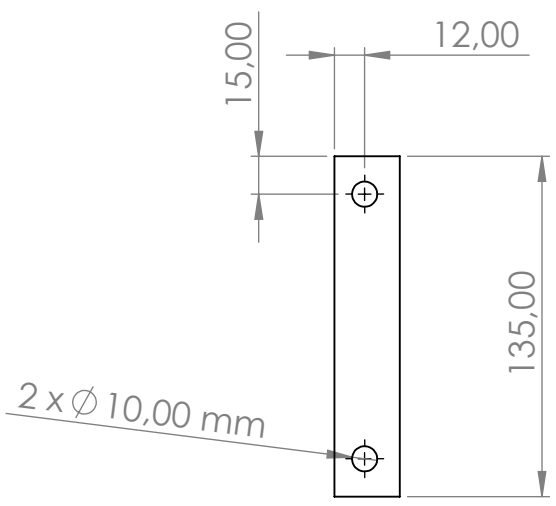
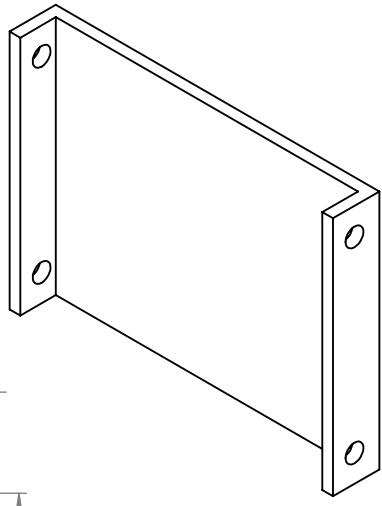
D

C

C

B

B



A

A

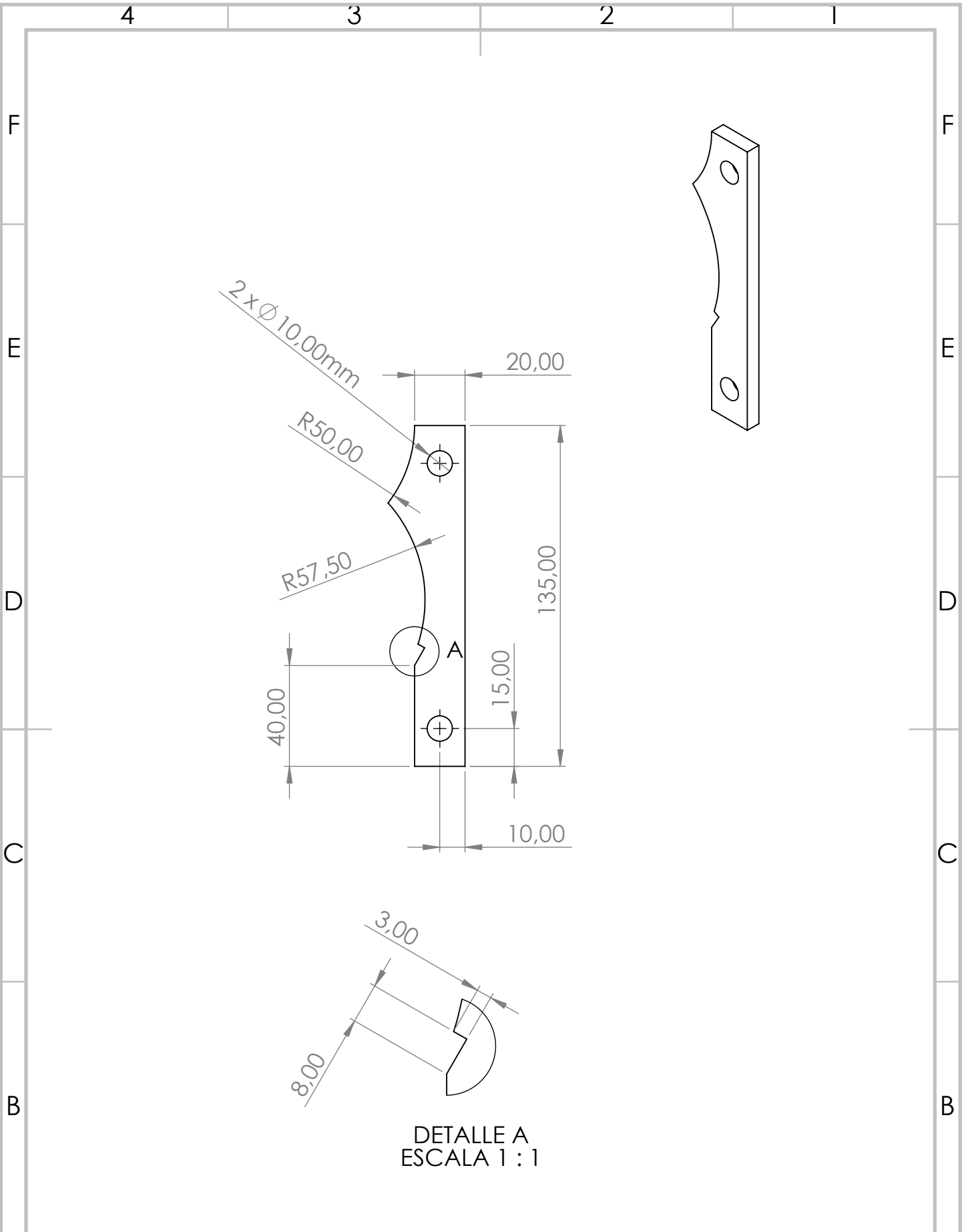


PROYECTO: MÁQUINA PRODUCTORA DE FILAMENTO				ESCALA: 1:3	
PARTE: PLACA LATERAL 2					
CÓDIGO: MPF-0623-01-007					
MATERIAL:	AISI 1018	DISEÑO:	ROBALINO A.	09/10/2023	HOJA 9 A4
TRATAMIENTO:	N/D	DIBUJÓ:	ROBALINO A.	09/10/2023	
RECUBRIMIENTO:	N/D	REVISÓ:	MSC. VALENCIA F.	-	
CANTIDAD:	1	APROBÓ:	MSC. VALENCIA F.	-	



FICA

CIME

4 3 2 1



DETALLE A  
ESCALA 1 : 1

	PROYECTO: MÁQUINA PRODUCTORA DE FILAMENTO				ESCALA: 1:2 	
	PARTE: CUCHILLA FIJA PEQUEÑA					
	CÓDIGO: MPF-0623-01-008				TOLERANCIA:	
	MATERIAL:	AISI 1018	DISEÑO:	ROBALINO A.	09/10/2023	HOJA 10 A4
	TRATAMIENTO:	N/D	DIBUJÓ:	ROBALINO A.	09/10/2023	
RECUBRIMIENTO:	N/D	REVISÓ:	MSC. VALENCIA F.	-		
CANTIDAD:	15	APROBÓ:	MSC. VALENCIA F.	-		
FICA	CIME					

4 3 2 1

F

F

E

E

D

D

C

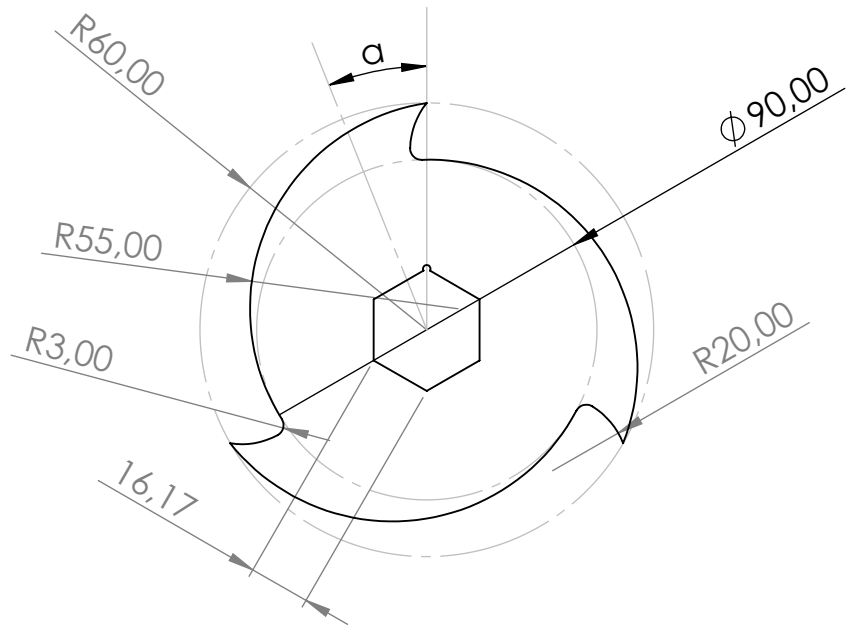
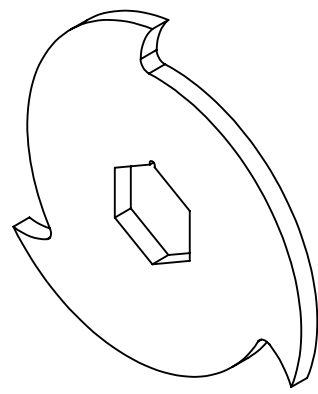
C

B

B

A

A



Cuchilla 3	40°	5
Cuchilla 2	20°	5
Cuchilla 1	0°	5
Pieza	a	Cantidad

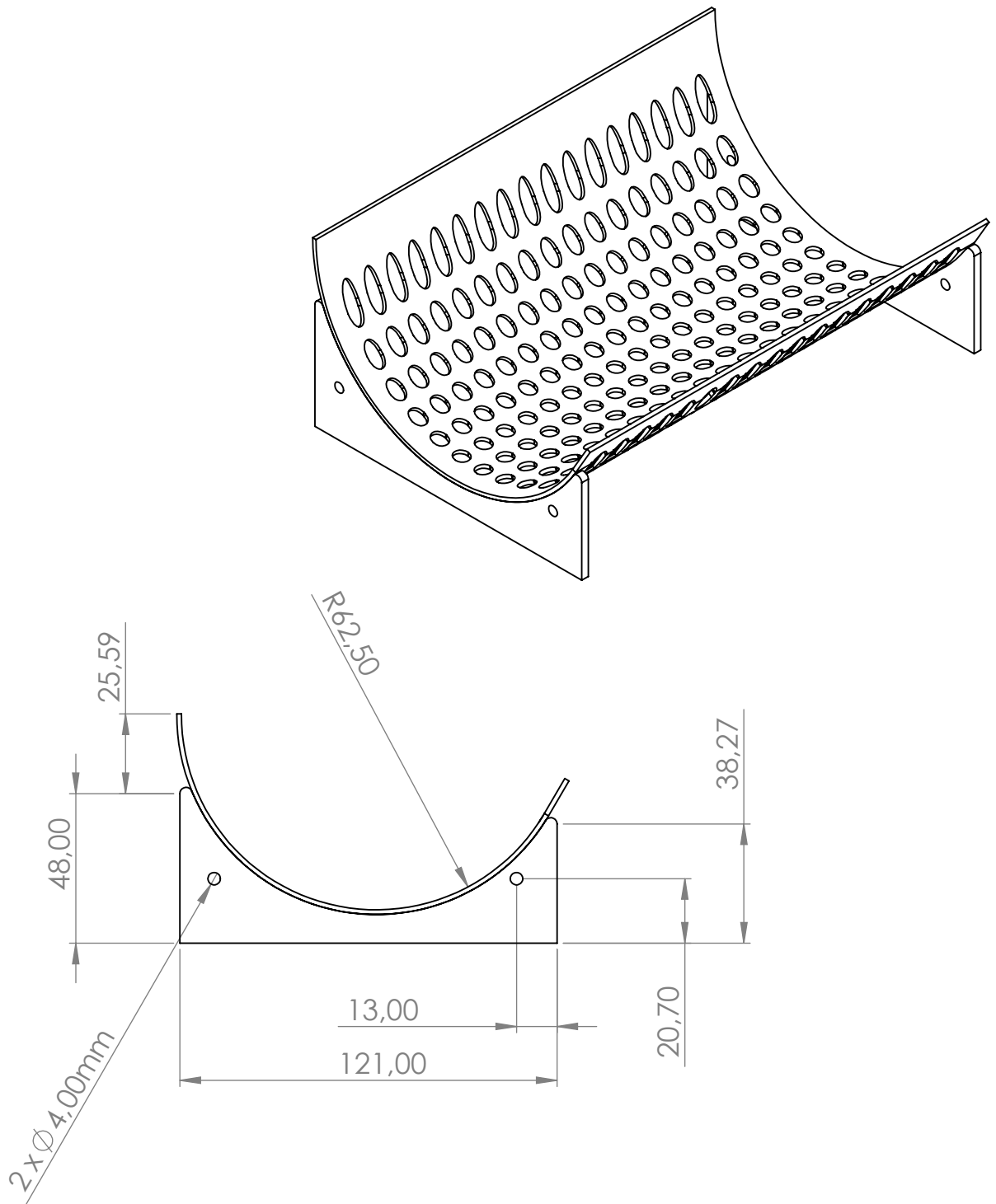
Nota: Existen 3 variaciones de la cuchilla con respecto al ángulo del agujero hexagonal



PROYECTO: MÁQUINA PRODUCTORA DE FILAMENTO				ESCALA: 1:2	
PARTE: CUCHILLA MOVIL					
CÓDIGO: MPF-0623-01-009					
MATERIAL:	AI 304	DISEÑO:	ROBALINO A.	09/10/2023	HOJA 11 A4
TRATAMIENTO:	N/D	DIBUJÓ:	ROBALINO A.	09/10/2023	
RECUBRIMIENTO:	N/D	REVISÓ:	MSC. VALENCIA F.	-	
CANTIDAD:	15	APROBÓ:	MSC. VALENCIA F.	-	

FICA CIME

4 3 2 1

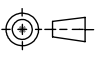


Nota: hoja de 181 x 178 x 2 mm y horificiós de 7mm



PROYECTO: MÁQUINA PRODUCTORA DE FILAMENTO

ESCALA:



PARTE: CRIBA

1:2

CÓDIGO: MPF-0623-01-010

TOLERANCIA:

MATERIAL:

Al 304

DISEÑO:

ROBALINO A.

09/10/2023

HOJA

TRATAMIENTO:

N/D

DIBUJÓ:

ROBALINO A.

09/10/2023

12

RECUBRIMIENTO:

N/D

REVISÓ:

MSC. VALENCIA F.

-

A4

CANTIDAD:

1

APROBÓ:

MSC. VALENCIA F.

-

FICA

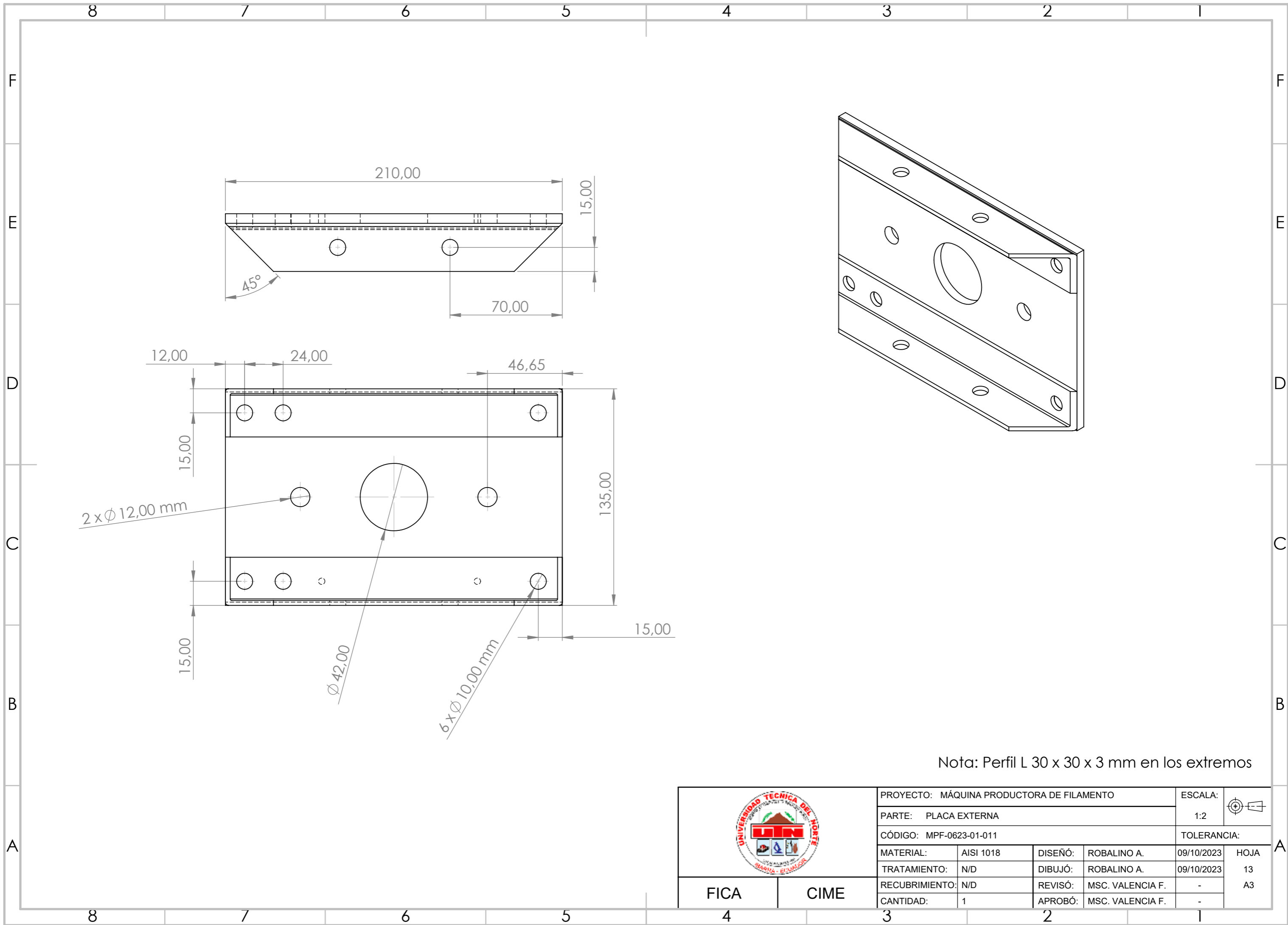
CIME

4

3

2

1



Nota: Perfil L 30 x 30 x 3 mm en los extremos

	PROYECTO: MÁQUINA PRODUCTORA DE FILAMENTO				ESCALA:	
	PARTE: PLACA EXTERNA				1:2	
	CÓDIGO: MPF-0623-01-011				TOLERANCIA:	
	MATERIAL:	AISI 1018	DISEÑO:	ROBALINO A.	09/10/2023	HOJA
	TRATAMIENTO:	N/D	DIBUJÓ:	ROBALINO A.	09/10/2023	13
RECUBRIMIENTO:	N/D	REVISÓ:	MSC. VALENCIA F.	-	A3	
CANTIDAD:	1	APROBÓ:	MSC. VALENCIA F.	-		

FICA CIME



4 3 2 1

F

F

E

E

D

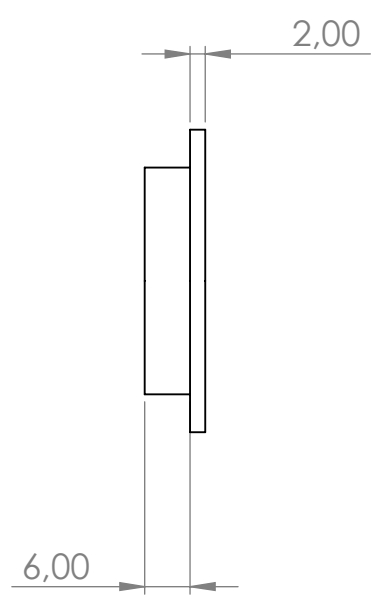
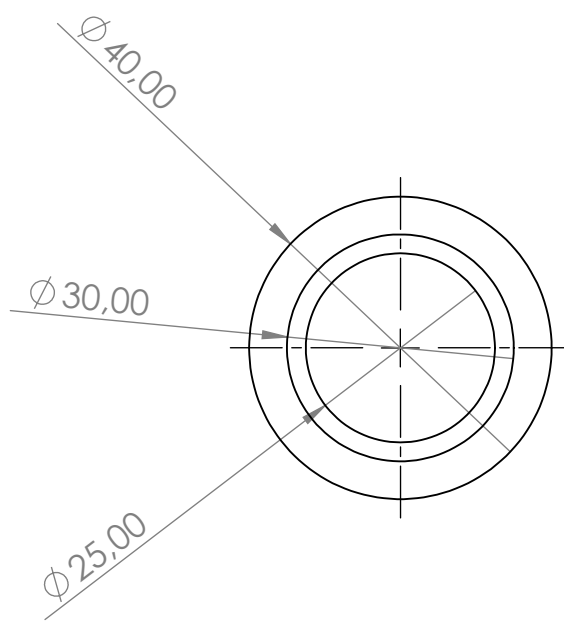
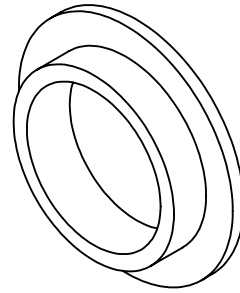
D

C

C

B

B



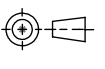
A

A



PROYECTO: MÁQUINA PRODUCTORA DE FILAMENTO

ESCALA:



PARTE: BOCIN

1:1

CÓDIGO: MPF-0623-01-012

TOLERANCIA:

MATERIAL: AISI 1018

DISEÑO: ROBALINO A.

09/10/2023

HOJA

TRATAMIENTO: N/D

DIBUJÓ: ROBALINO A.

09/10/2023

14

FICA

CIME

RECUBRIMIENTO: N/D

REVISÓ: MSC. VALENCIA F.

-

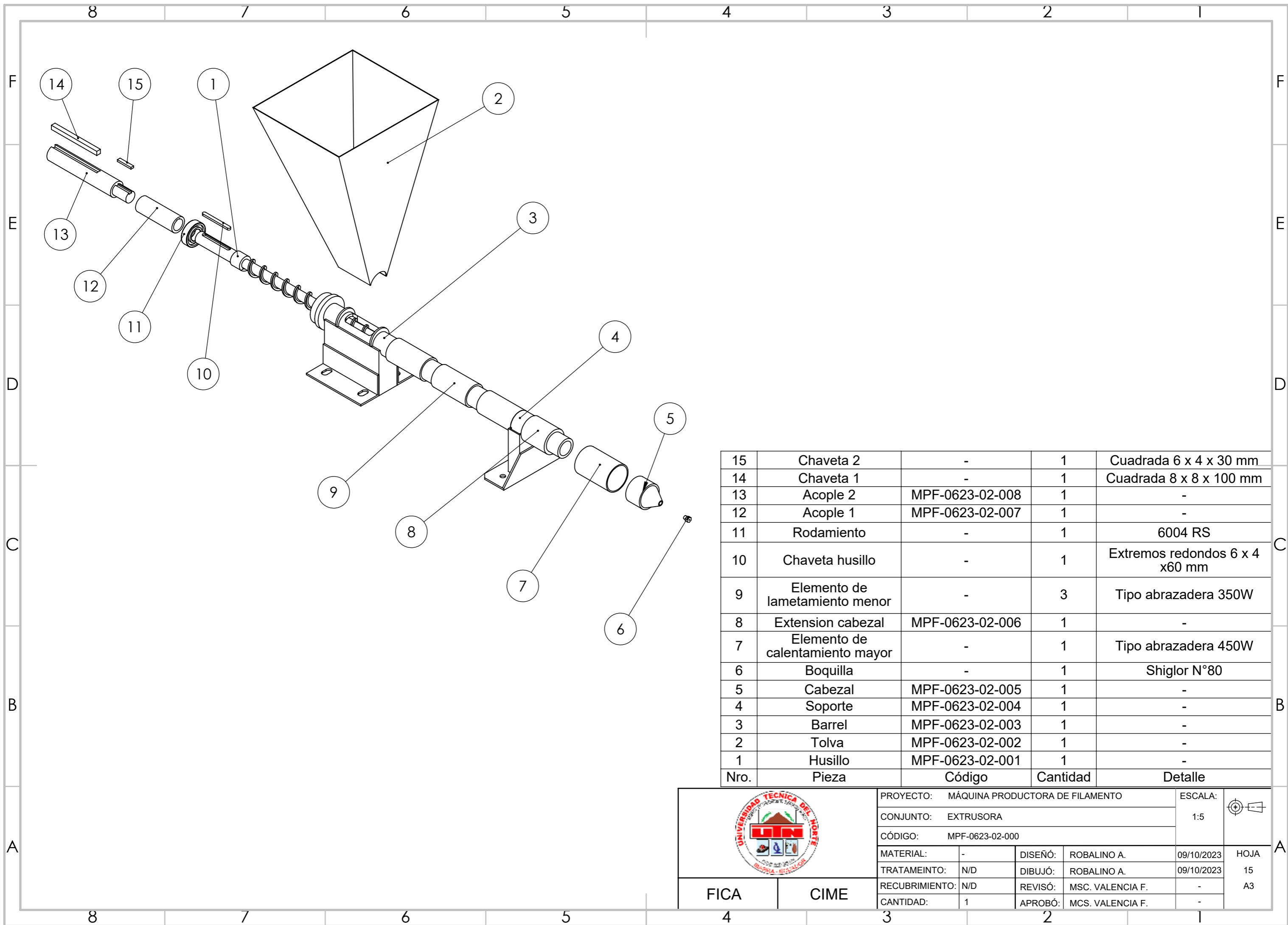
A4

CANTIDAD: 2

APROBÓ: MSC. VALENCIA F.

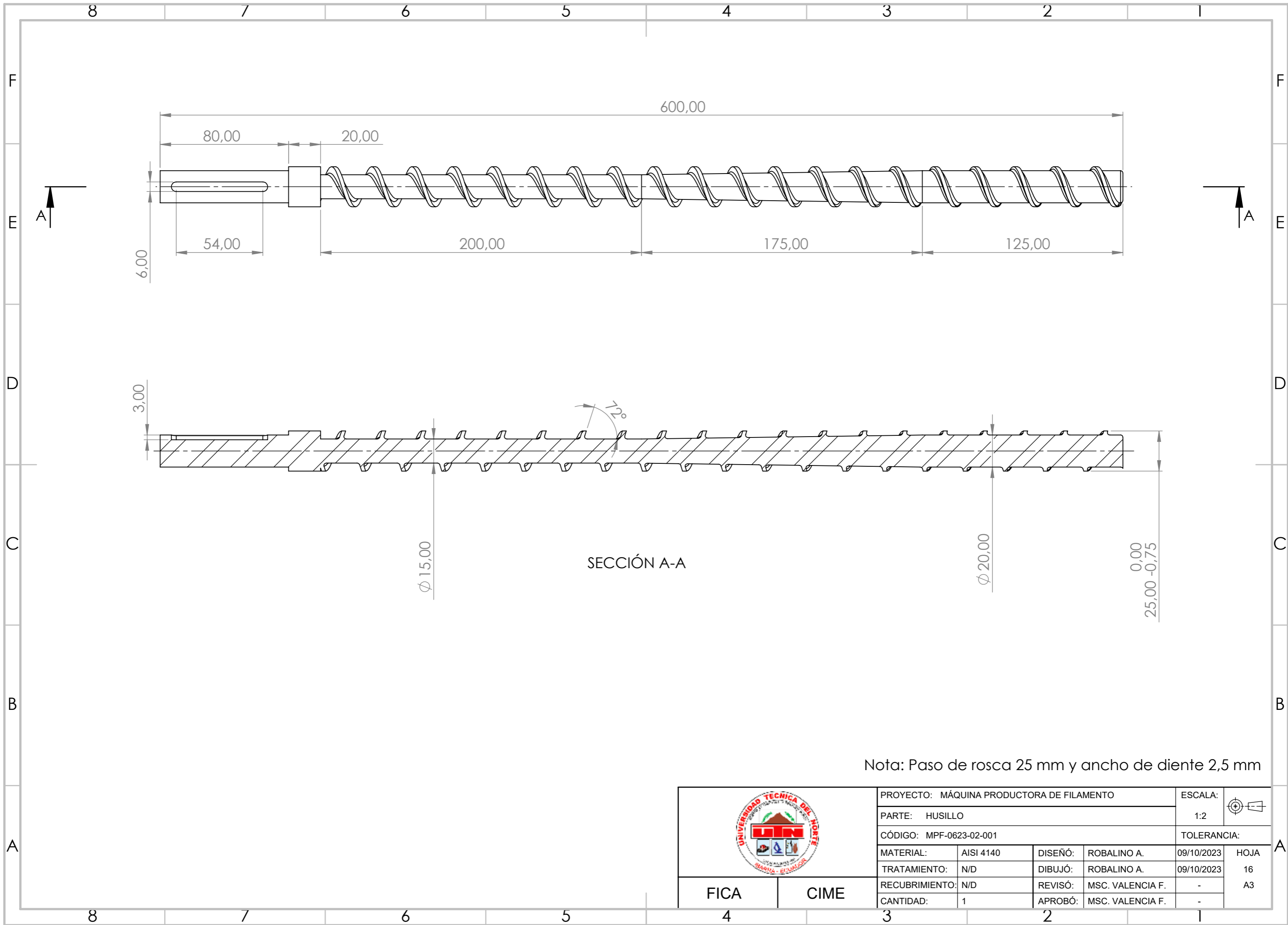
-

4 3 2 1



15	Chaveta 2	-	1	Cuadrada 6 x 4 x 30 mm
14	Chaveta 1	-	1	Cuadrada 8 x 8 x 100 mm
13	Acople 2	MPF-0623-02-008	1	-
12	Acople 1	MPF-0623-02-007	1	-
11	Rodamiento	-	1	6004 RS
10	Chaveta husillo	-	1	Extremos redondos 6 x 4 x60 mm
9	Elemento de lametamiento menor	-	3	Tipo abrazadera 350W
8	Extension cabezal	MPF-0623-02-006	1	-
7	Elemento de calentamiento mayor	-	1	Tipo abrazadera 450W
6	Boquilla	-	1	Shiglor N°80
5	Cabezal	MPF-0623-02-005	1	-
4	Soporte	MPF-0623-02-004	1	-
3	Barrel	MPF-0623-02-003	1	-
2	Tolva	MPF-0623-02-002	1	-
1	Husillo	MPF-0623-02-001	1	-
Nro.	Pieza	Código	Cantidad	Detalle

	PROYECTO: MÁQUINA PRODUCTORA DE FILAMENTO			ESCALA: 1:5		
	CONJUNTO: EXTRUSORA					
CÓDIGO: MPF-0623-02-000			MATERIAL: -	DISEÑO: ROBALINO A.	09/10/2023	HOJA 15 A3
			TRATAMIENTO: N/D	DIBUJÓ: ROBALINO A.	09/10/2023	
			RECUBRIMIENTO: N/D	REVISÓ: MSC. VALENCIA F.	-	
			CANTIDAD: 1	APROBÓ: MCS. VALENCIA F.	-	
FICA		CIME				



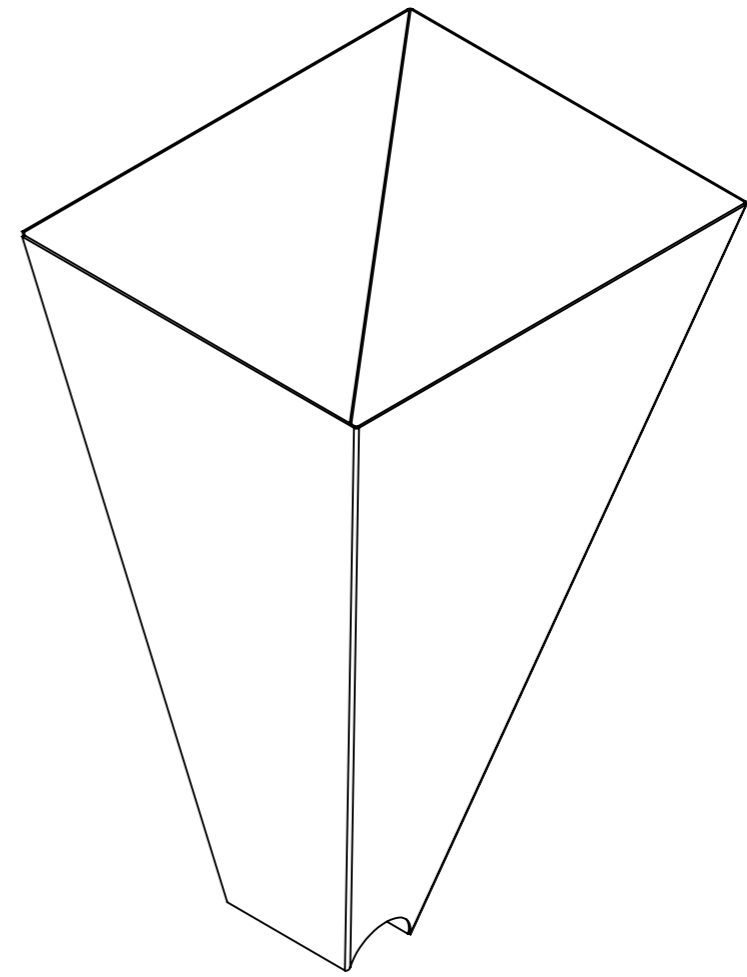
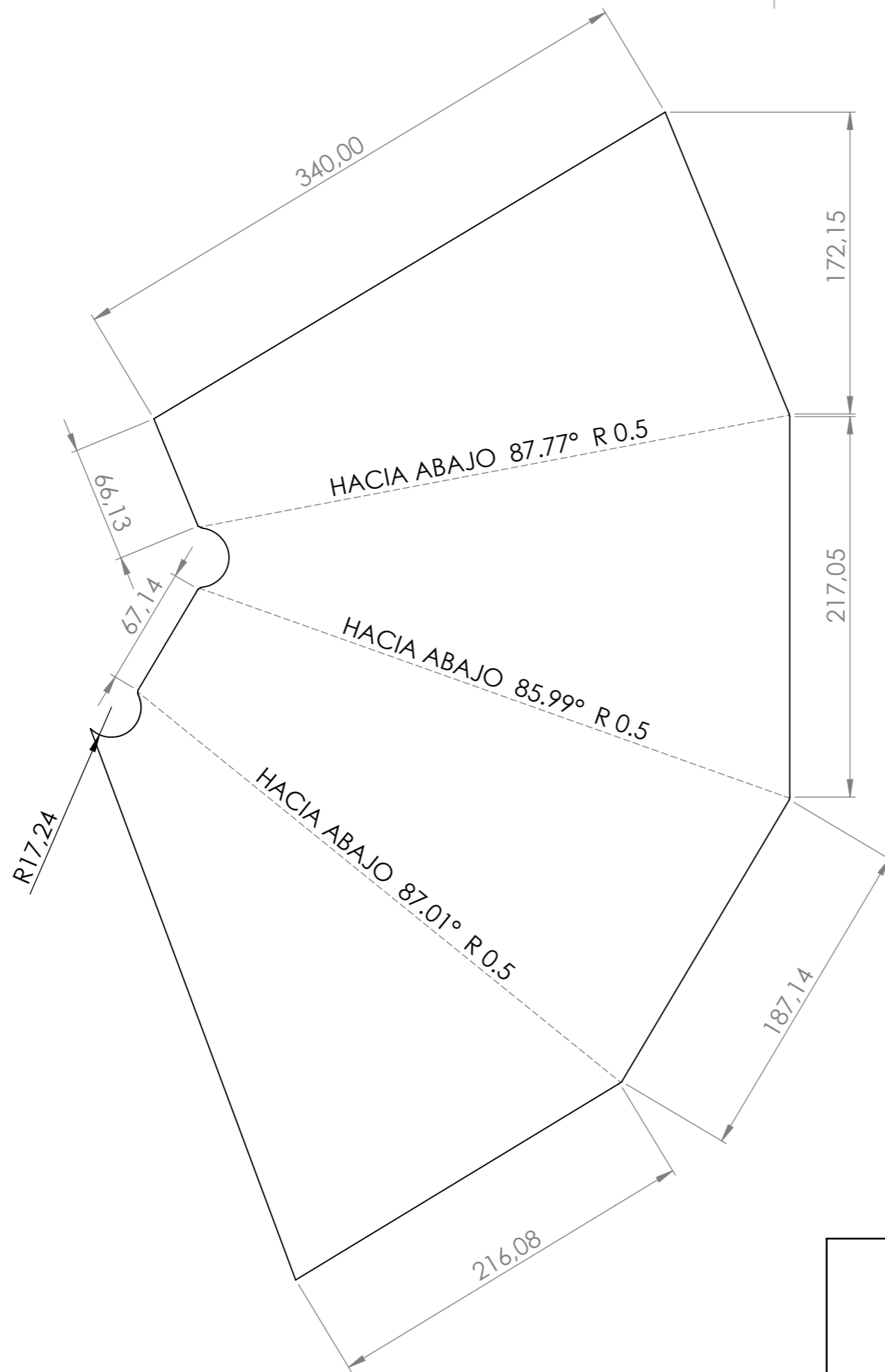
SECCIÓN A-A

Nota: Paso de rosca 25 mm y ancho de diente 2,5 mm

	PROYECTO: MÁQUINA PRODUCTORA DE FILAMENTO			ESCALA:		
	PARTE: HUSILLO			1:2		
	CÓDIGO: MPF-0623-02-001			TOLERANCIA:		
	MATERIAL:	AISI 4140	DISEÑO:	ROBALINO A.	09/10/2023	HOJA
	TRATAMIENTO:	N/D	DIBUJÓ:	ROBALINO A.	09/10/2023	16
RECUBRIMIENTO:	N/D	REVISÓ:	MSC. VALENCIA F.	-	A3	
CANTIDAD:	1	APROBÓ:	MSC. VALENCIA F.	-		

FICA

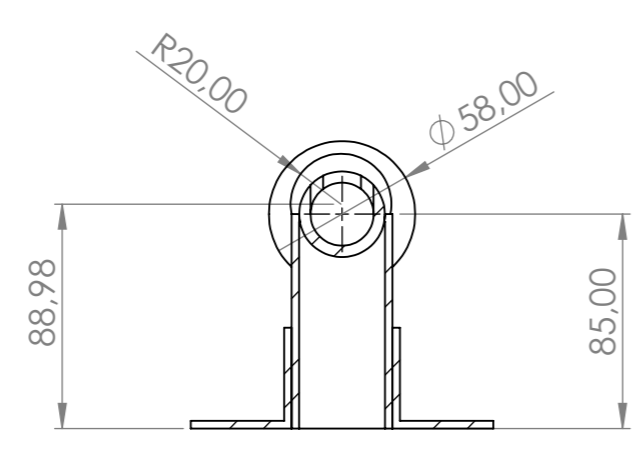
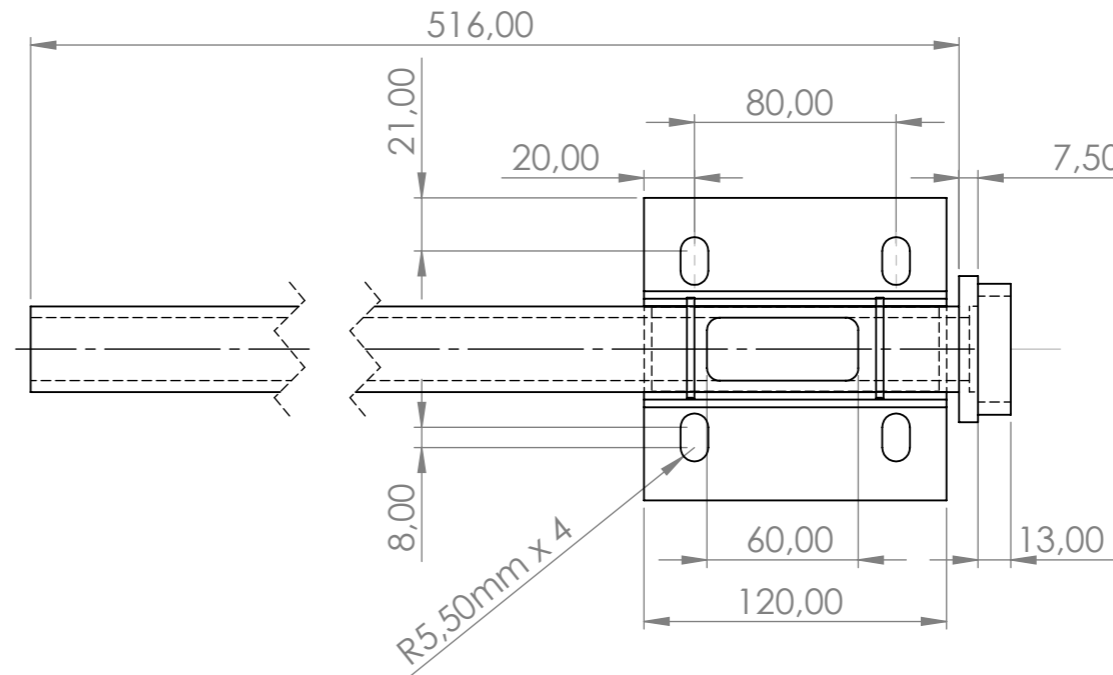
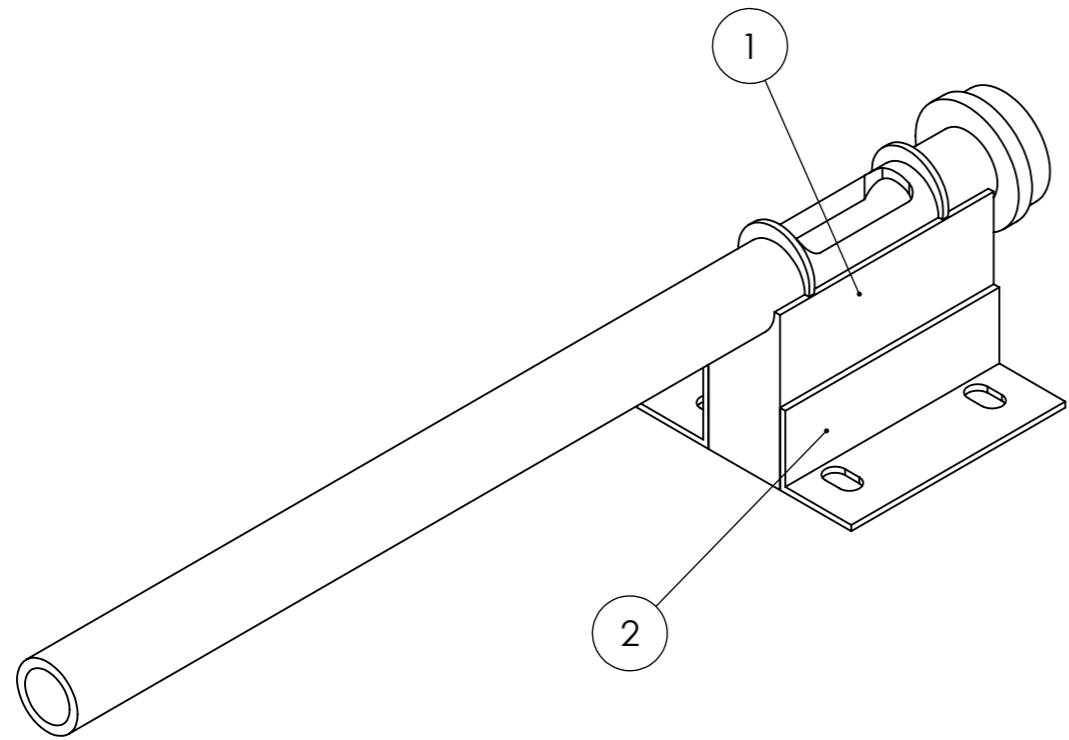
CIME



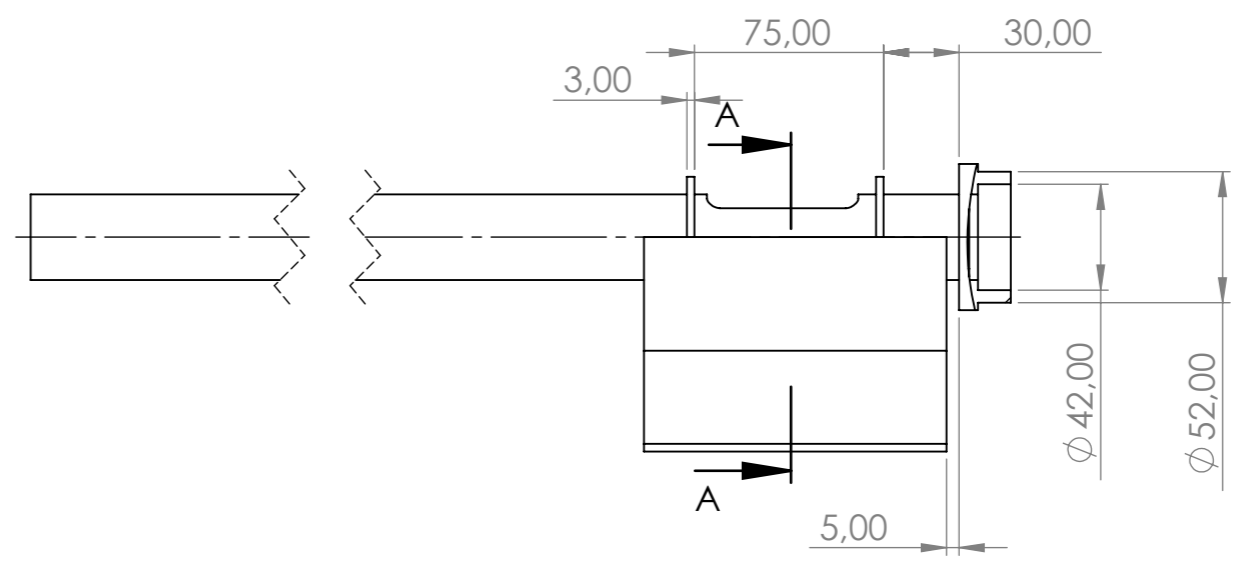
PROYECTO: MÁQUINA PRODUCTORA DE FILAMENTO				ESCALA:	
PARTE: TOLVA				1:3	
CÓDIGO: MPF-0623-02-002				TOLERANCIA:	
MATERIAL:	GALVANIZADO	DISEÑO:	ROBALINO A.	09/10/2023	HOJA
TRATAMIENTO:	N/D	DIBUJÓ:	ROBALINO A.	09/10/2023	17
RECUBRIMIENTO:	N/D	REVISÓ:	MSC. VALENCIA F.	-	A3
CANTIDAD:	1	APROBÓ:	MSC. VALENCIA F.	-	

FICA

CIME

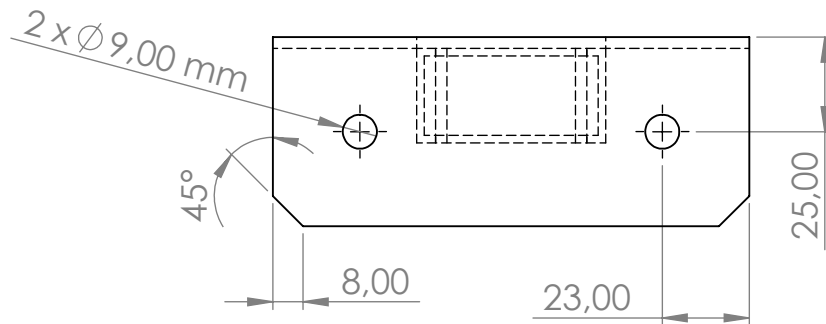
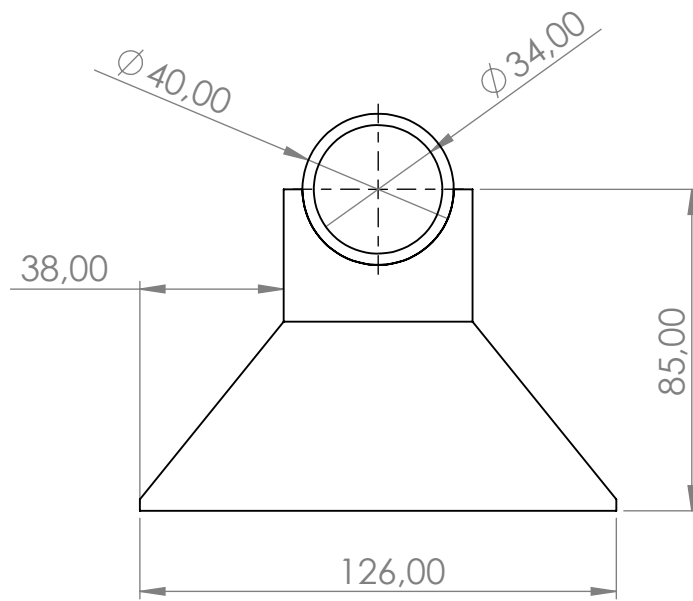
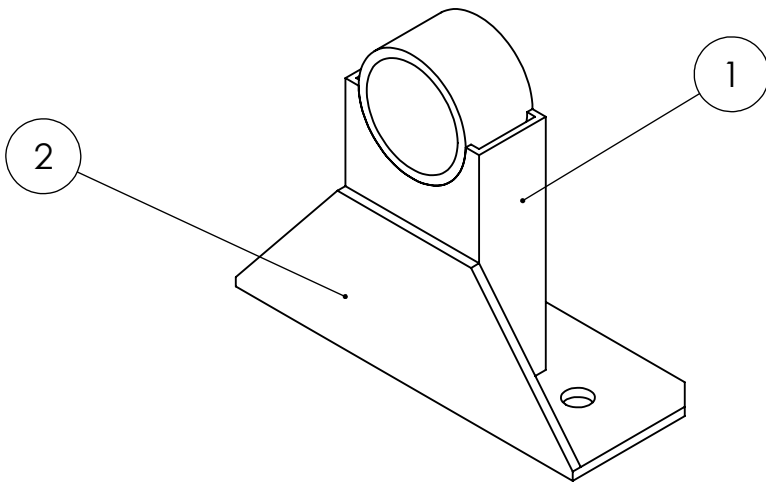


SECCIÓN A-A



2	Perfil L 40 x 40 x 3 mm
1	Tubo rectangular 120 x 40 x 2 mm
Nro.	Pieza

	PROYECTO: MÁQUINA PRODUCTORA DE FILAMENTO				ESCALA:	
	PARTE: BARREL				1:3	
	CÓDIGO: MPF-0623-01-003				TOLERANCIA:	
	MATERIAL:	AISI 1020	DISEÑO:	ROBALINO A.	09/10/2023	HOJA
	TRATAMIENTO:	N/D	DIBUJÓ:	ROBALINO A.	09/10/2023	18
	RECUBRIMIENTO:	N/D	REVISÓ:	MSC. VALENCIA F.	-	A3
CANTIDAD:	1	APROBÓ:	MSC. VALENCIA F.	-		
FICA	CIME					

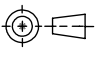


2	Ángulo L 50 x 50 x 3 mm
1	Tubo rectangular 25 x 50 x 2 mm
Nro.	Pieza



PROYECTO: MÁQUINA PRODUCTORA DE FILAMENTO

ESCALA:



PARTE: SOPORTE

1:2

CÓDIGO: MPF-0623-02-004

TOLERANCIA:

MATERIAL:

SAE A36

DISEÑO:

ROBALINO A.

09/10/2023

HOJA

TRATAMIENTO:

N/D

DIBUJÓ:

ROBALINO A.

09/10/2023

19

RECUBRIMIENTO:

N/D

REVISÓ:

MSC. VALENCIA F.

-

A4

CANTIDAD:

1

APROBÓ:

MSC. VALENCIA F.

-

FICA

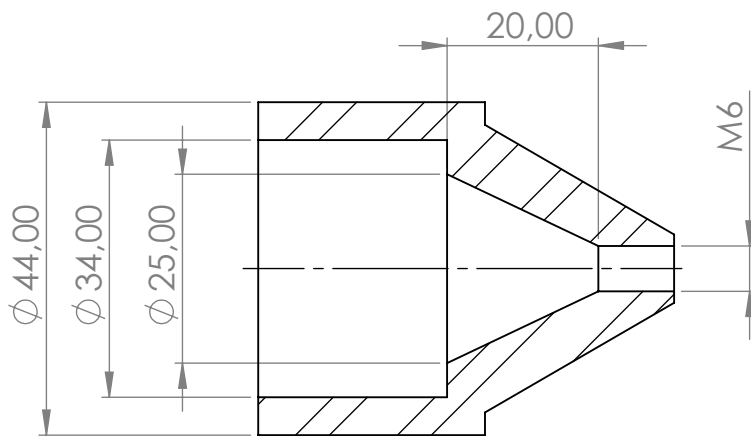
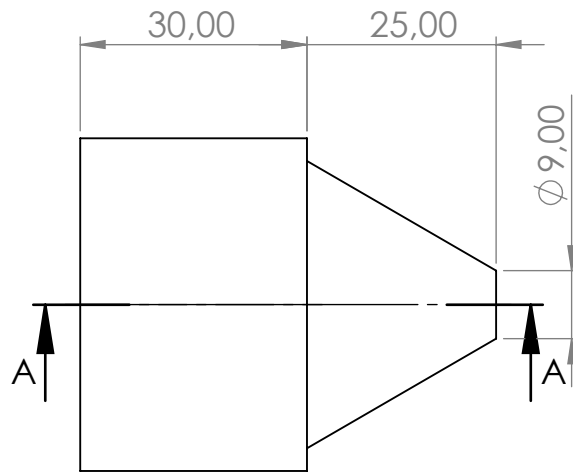
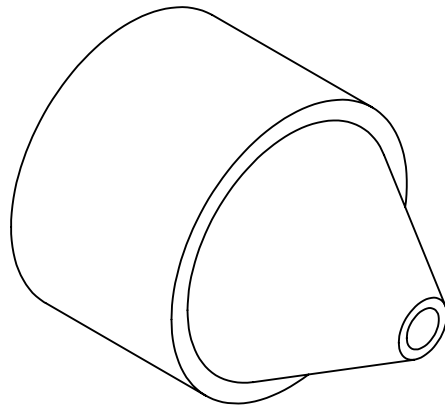
CIME

4

3

2

1

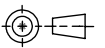


SECCIÓN A-A



PROYECTO: MÁQUINA PRODUCTORA DE FILAMENTO

ESCALA:



PARTE: CABEZAL

1:1

CÓDIGO: MPF-0623-02-005

TOLERANCIA:

MATERIAL:	AISI 1018	DISEÑO:	ROBALINO A.	09/10/2023	HOJA 20 A4
TRATAMIENTO:	N/D	DIBUJÓ:	ROBALINO A.	09/10/2023	
RECUBRIMIENTO:	N/D	REVISÓ:	MSC. VALENCIA F.	-	
CANTIDAD:	1	APROBÓ:	MSC. VALENCIA F.	-	

FICA

CIME

4

3

2

1

4 3 2 1

F

F

E

E

D

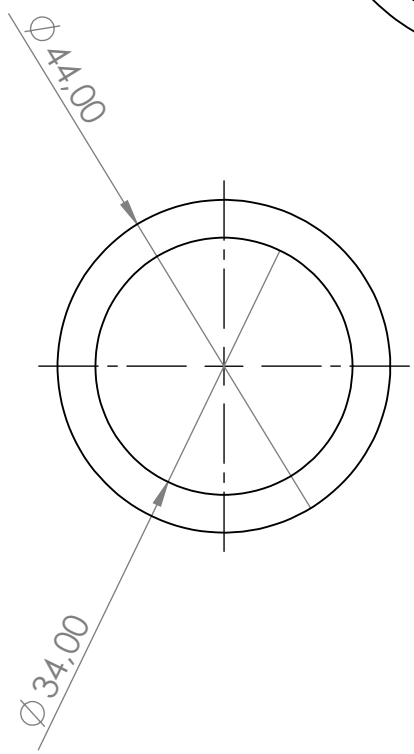
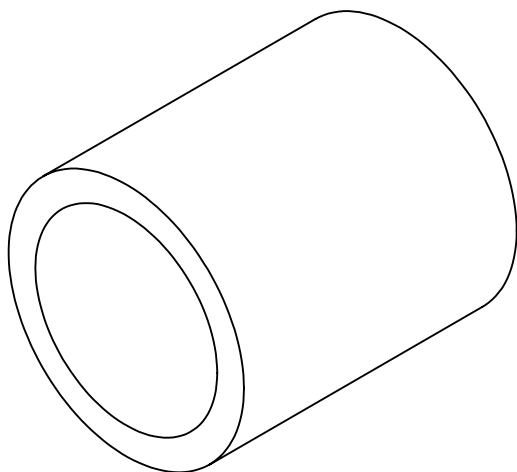
D

C

C

B

B



A

A



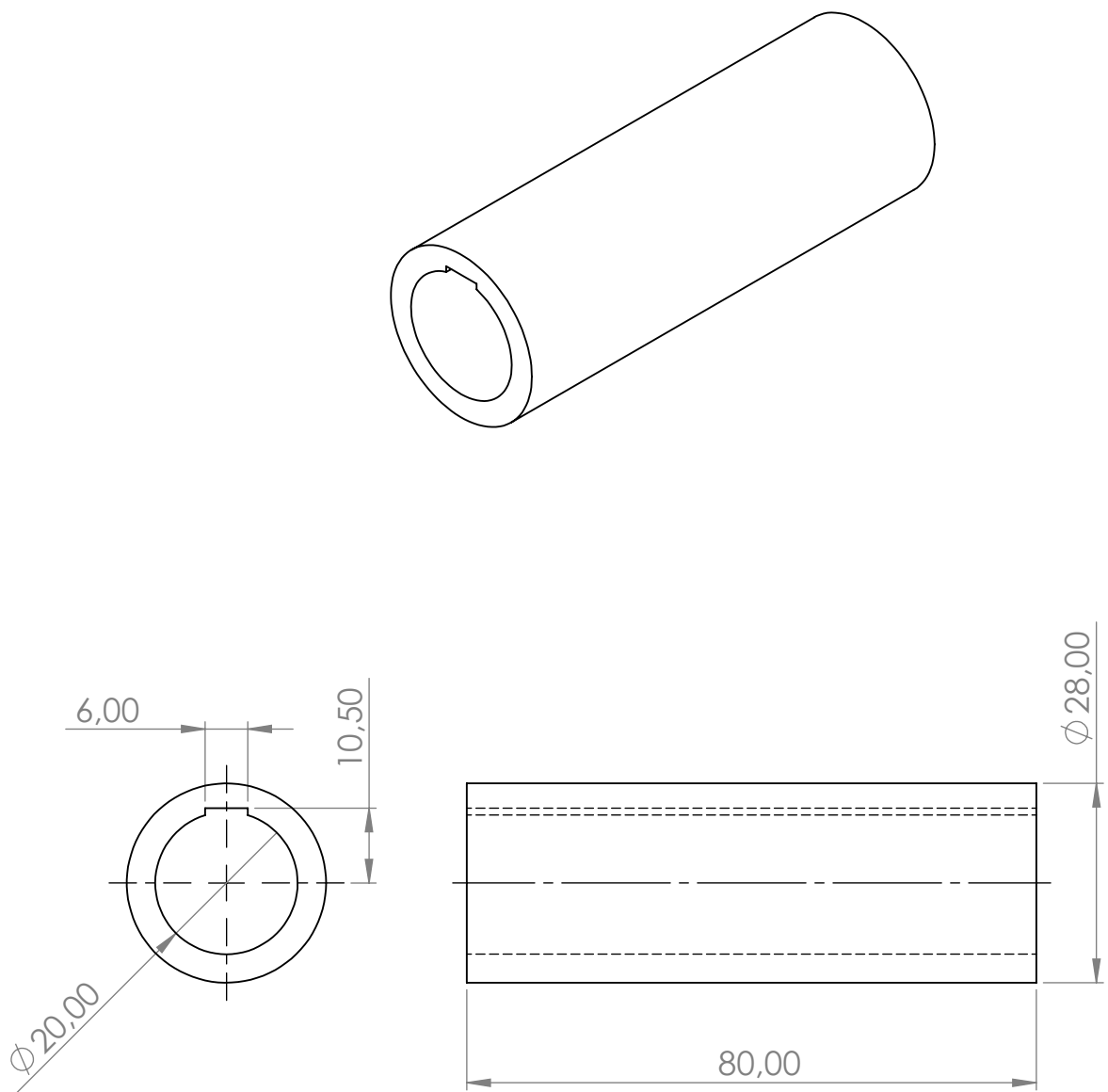
PROYECTO: MÁQUINA PRODUCTORA DE FILAMENTO				ESCALA: 1:1	
PARTE: EXTENSION CABEZAL					
CÓDIGO: MPF-0623-02-006				TOLERANCIA:	
MATERIAL:	AISI 1018	DISEÑO:	ROBALINO A.	09/10/2023	HOJA 21 A4
TRATAMIENTO:	N/D	DIBUJÓ:	ROBALINO A.	09/10/2023	
RECUBRIMIENTO:	N/D	REVISÓ:	MSC. VALENCIA F.	-	
CANTIDAD:	1	APROBÓ:	MSC. VALENCIA F.	-	

FICA

CIME

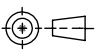
4 3 2 1





PROYECTO: MÁQUINA PRODUCTORA DE FILAMENTO

ESCALA:



PARTE: ACOPLE 1

1:1

CÓDIGO: MPF-0623-02-007

TOLERANCIA:

MATERIAL:	AISI 1018	DISEÑO:	ROBALINO A.	09/10/2023	HOJA 22 A4
TRATAMIENTO:	N/D	DIBUJÓ:	ROBALINO A.	09/10/2023	
RECUBRIMIENTO:	N/D	REVISÓ:	MSC. VALENCIA F.	-	
CANTIDAD:	1	APROBÓ:	MSC. VALENCIA F.	-	

FICA

CIME

4

3

2

1

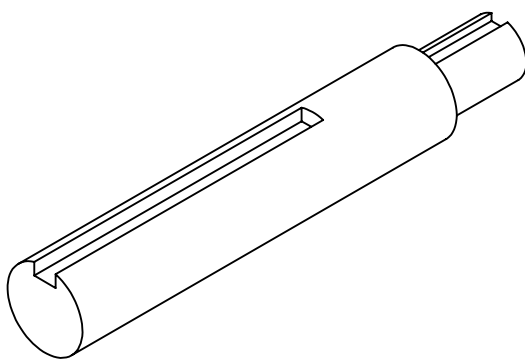
4 3 2 1

F

F

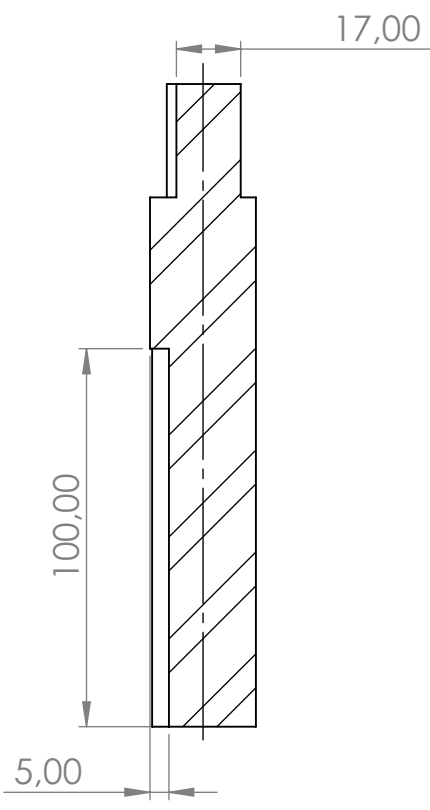
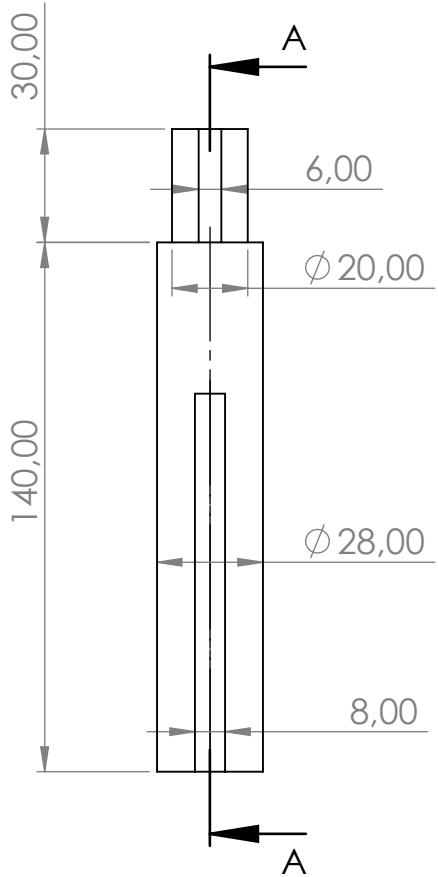
E

E



D

D



SECCIÓN A-A

C

C

B

B

A

A



PROYECTO: MÁQUINA PRODUCTORA DE FILAMENTO				ESCALA: 1:2	
PARTE: ACOPLÉ 2					
CÓDIGO: MPF-0623-02-008					
MATERIAL:	AISI 1018	DISEÑO:	ROBALINO A.	09/10/2023	HOJA 23 A4
TRATAMIENTO:	N/D	DIBUJÓ:	ROBALINO A.	09/10/2023	
RECUBRIMIENTO:	N/D	REVISÓ:	MSC. VALENCIA F.	-	
CANTIDAD:	1	APROBÓ:	MSC. VALENCIA F.	-	

FICA

CIME

4 3 2 1

4 3 2 1

F

F

E

E

D

D

C

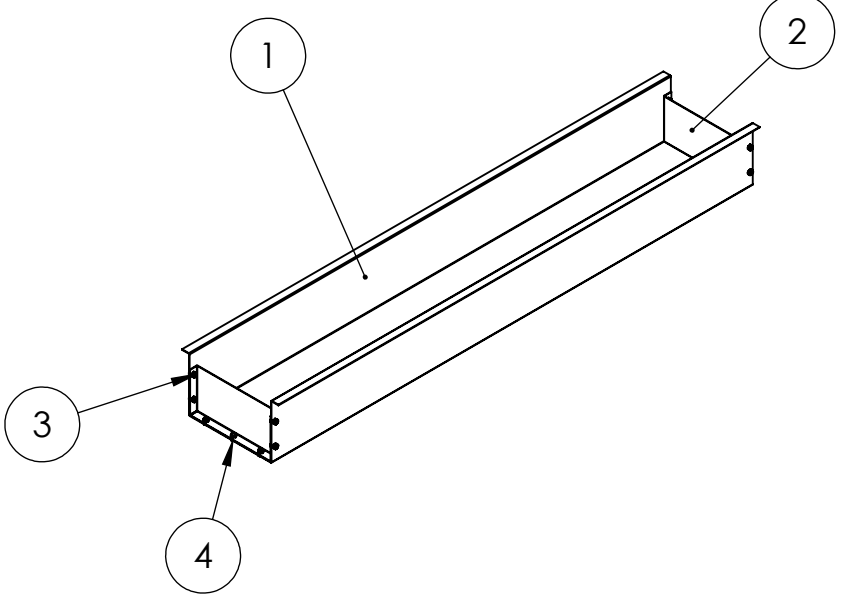
C

B

B

A

A



4	Tuerca	D-3	-	14	M4
3	Tornillo	D-4	-	14	M4
2	Lateral	E-2	MPF-0623-03-002	2	e = 1.5mm
1	Base	E-3	MPF-0623-03-001	1	e = 1,5 mm
Nro.	Pieza	Zona	Código	Cantidad	Detalle

	PROYECTO: MÁQUINA PRODUCTORA DE FILAMENTO				ESCALA: 1:10 	
	PARTE: PISCINA					
	CÓDIGO: MPF-0623-03-000					
	MATERIAL:	-	DISEÑO:	ROBALINO A.	09/10/2023	HOJA 24 A4
	TRATAMIENTO:	N/D	DIBUJÓ:	ROBALINO A.	09/10/2023	
RECUBRIMIENTO:	N/D	REVISÓ:	MSC. VALENCIA F.	-		
CANTIDAD:	1	APROBÓ:	MSC. VALENCIA F.	-		
FICA	CIME					

4 3 2 1

4 3 2 1

F

F

E

E

D

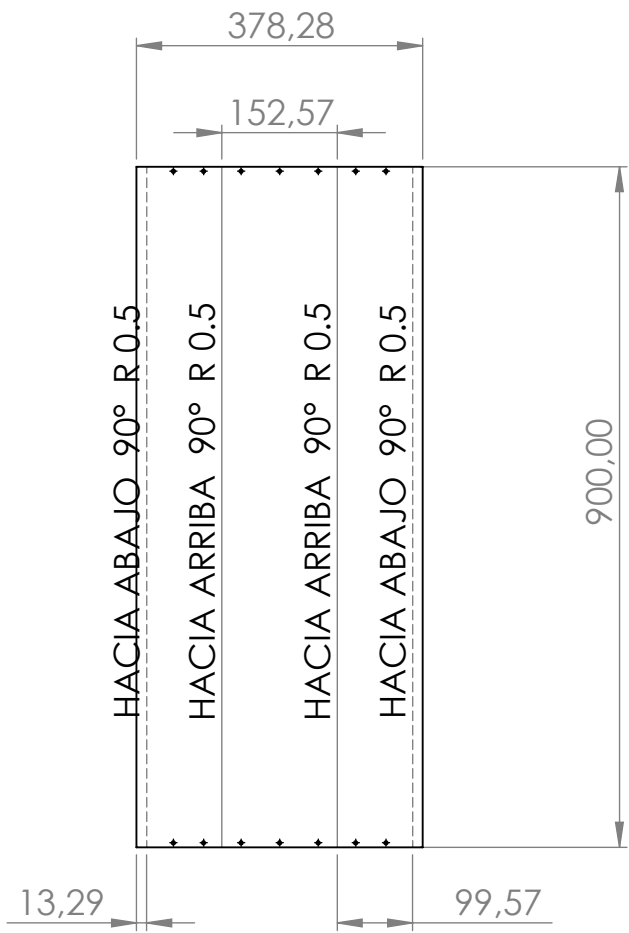
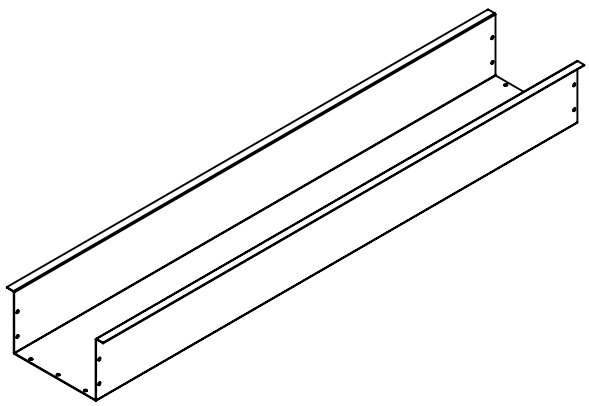
D

C

C

B

B



A

A



PROYECTO: MÁQUINA PRODUCTORA DE FILAMENTO				ESCALA:	
PARTE: BASE				1:10	
CÓDIGO: MPF-0623-03-001				TOLERANCIA:	
MATERIAL:	GALVANIZADO	DISEÑO:	ROBALINO A.	09/10/2023	HOJA 25 A4
TRATAMIENTO:	N/D	DIBUJÓ:	ROBALINO A.	09/10/2023	
RECUBRIMIENTO:	N/D	REVISÓ:	MSC. VALENCIA F.	-	
CANTIDAD:	1	APROBÓ:	MSC. VALENCIA F.	-	

FICA

CIME

4 3 2 1

4 3 2 1

F

F

E

E

D

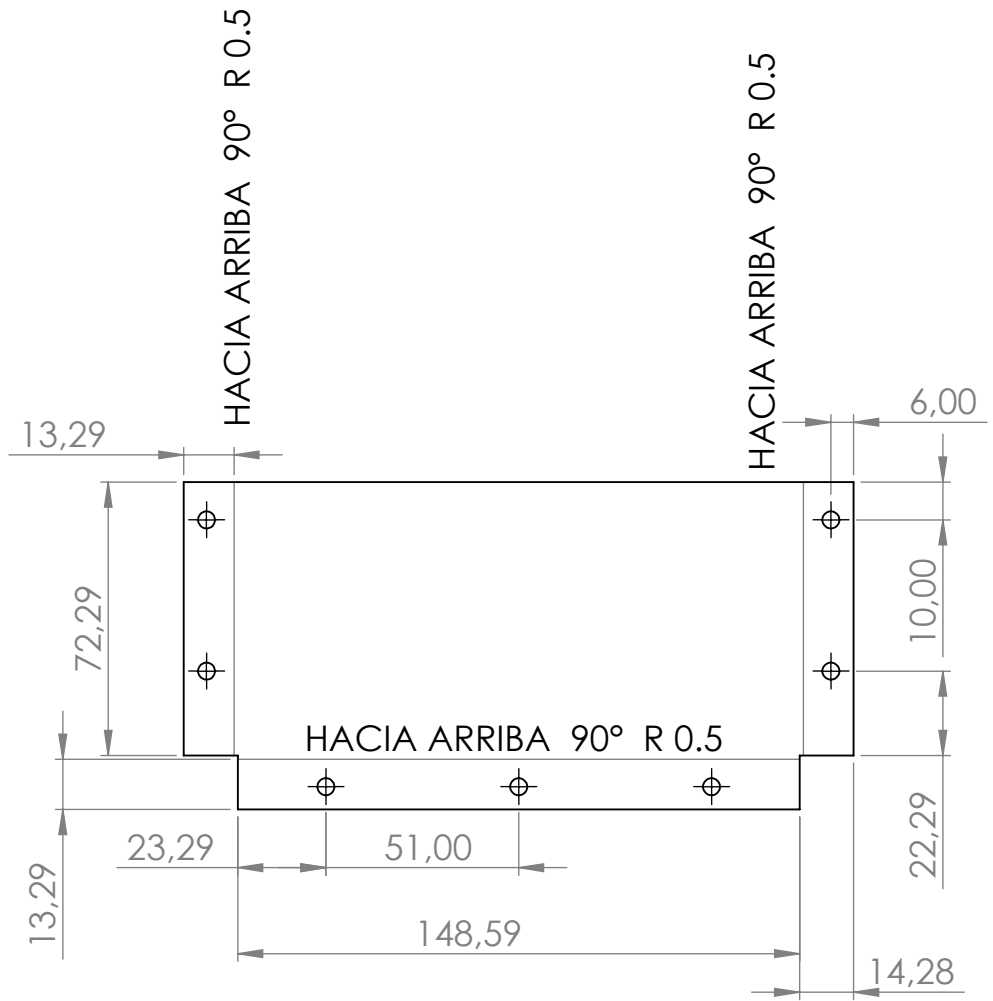
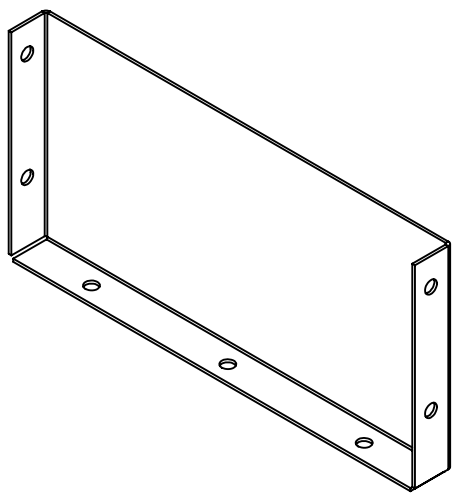
D

C

C

B

B



A

A

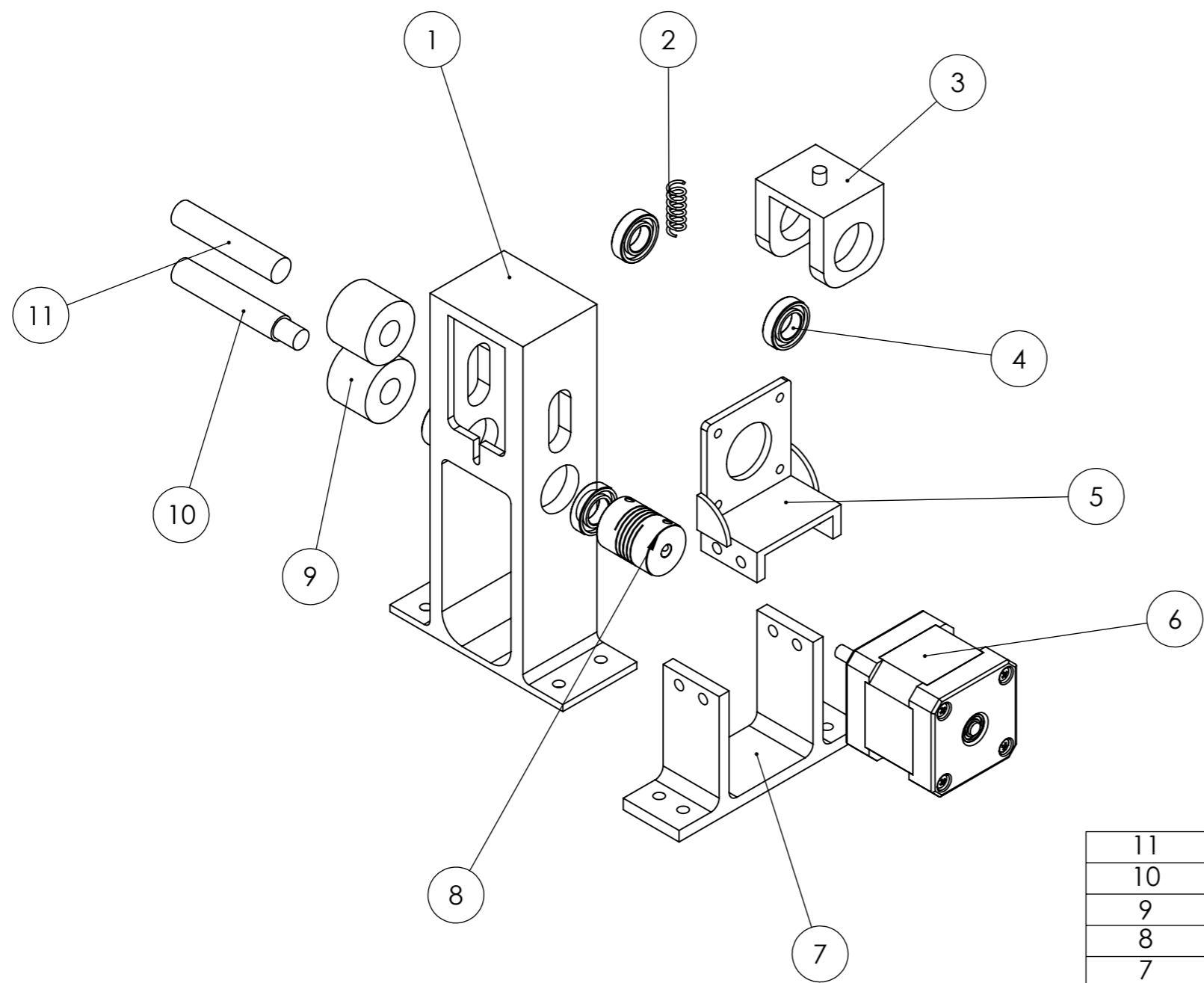


PROYECTO: MÁQUINA PRODUCTORA DE FILAMENTO				ESCALA: 1:2	
PARTE: LATERAL					
CÓDIGO: MPF-0623-03-002					
MATERIAL:	GALVANIZADO	DISEÑO:	ROBALINO A.	09/10/2023	HOJA 26 A4
TRATAMIENTO:	N/D	DIBUJÓ:	ROBALINO A.	09/10/2023	
RECUBRIMIENTO:	N/D	REVISÓ:	MSC. VALENCIA F.	-	
CANTIDAD:	2	APROBÓ:	MSC. VALENCIA F.	-	

FICA

CIME

4 3 2 1



11	Eje superior	-	1	Ø 10 x 50 mm
10	Eje inferior	MPF-0623-04-006	1	Impresion 3D.
9	Rodillo	MPF-0623-04-005	2	-
8	Acople flexible	-	1	5 a 8 mm
7	Base inferior	MPF-0623-04-004	1	Impresión 3D.
6	Motor nema 17	-	1	-
5	Base nema	MPF-0623-04-003	1	Impresión 3D.
4	Rodamiento	-	4	6900RS
3	Soporte superior	MPF-0623-04-002	1	Impresión 3D.
2	Resorte	-	1	-
1	Cámara	MPF-0623-04-001	1	Impresión 3D.
Nro.	Pieza	Código	Cantidad	Detalle



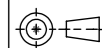
PROYECTO: MÁQUINA PRODUCTORA DE FILAMENTO

CONJUNTO: mECANISMO DE RODILLOS

CÓDIGO: MPF-0623-05-000

ESCALA:

1:2



MATERIAL: -

DISEÑO: ROBALINO A.

09/10/2023

HOJA

TRATAMIENTO: N/D

DIBUJÓ: ROBALINO A.

09/10/2023

27

RECUBRIMIENTO: N/D

REVISÓ: MSC. VALENCIA F.

-

A3

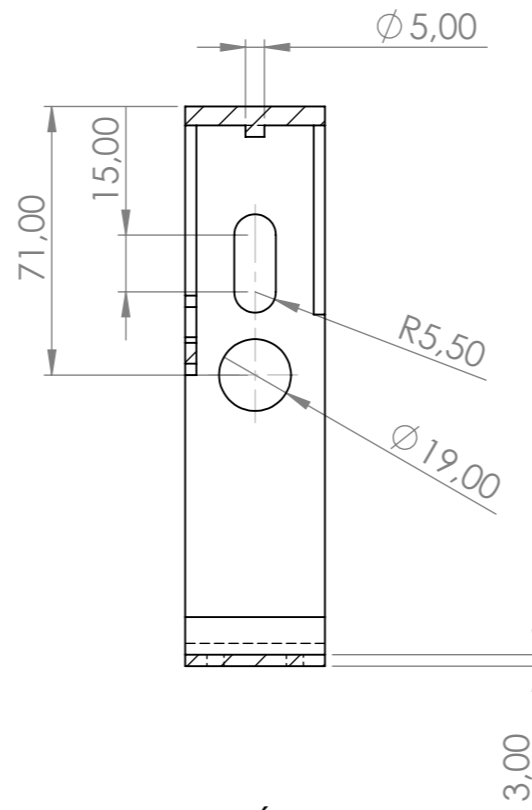
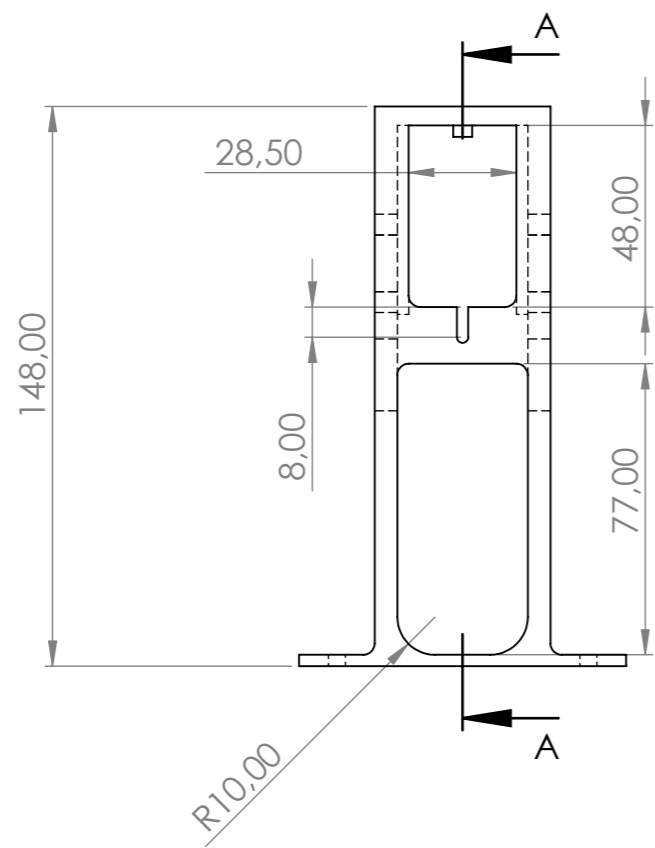
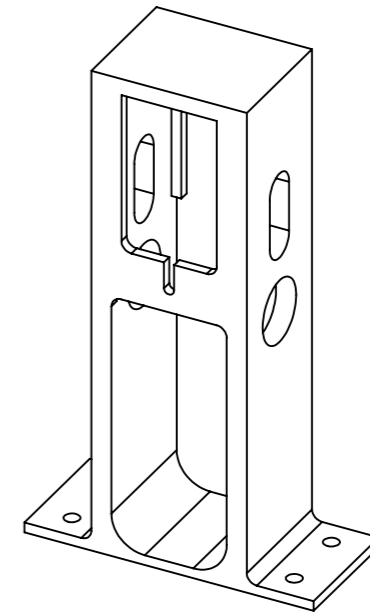
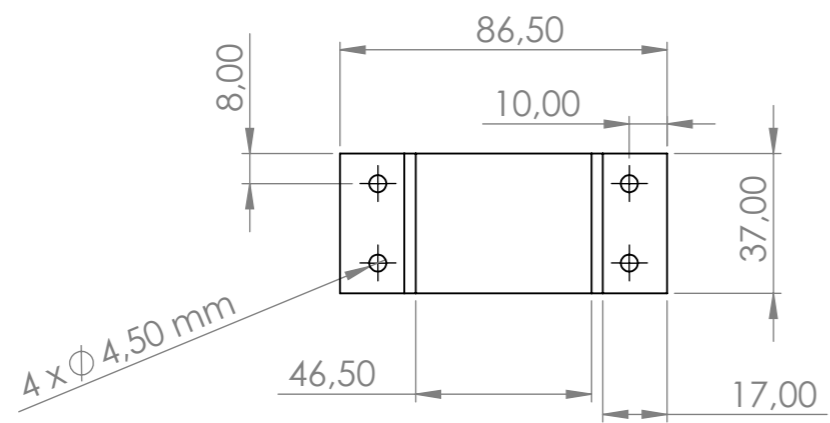
CANTIDAD: 1

APROBÓ: MCS. VALENCIA F.

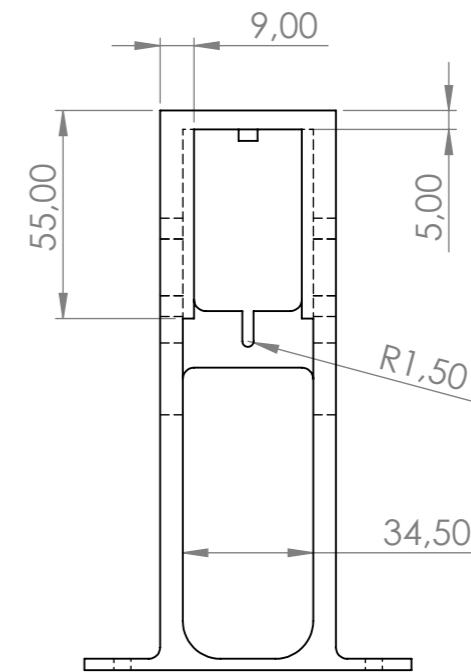
-

FICA

CIME



SECCIÓN A-A



Nota: Espesor de paredes y redondeos de 3 mm



PROYECTO: MÁQUINA PRODUCTORA DE FILAMENTO				ESCALA:	
PARTE: CÁMARA				1:2	
CÓDIGO: MPF-0623-05-001				TOLERANCIA:	
MATERIAL:	PLA	DISEÑO:	ROBALINO A.	09/10/2023	HOJA
TRATAMIENTO:	N/D	DIBUJÓ:	ROBALINO A.	09/10/2023	28
RECUBRIMIENTO:	N/D	REVISÓ:	MSC. VALENCIA F.	-	A3
CANTIDAD:	1	APROBÓ:	MSC. VALENCIA F.	-	

FICA

CIME

4 3 2 1

F

F

E

E

D

D

C

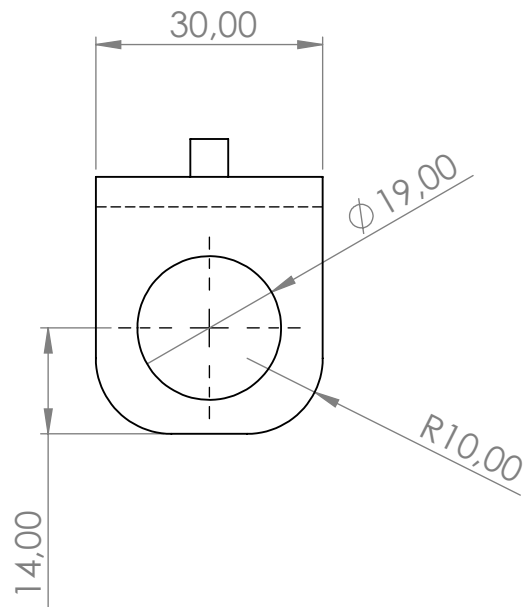
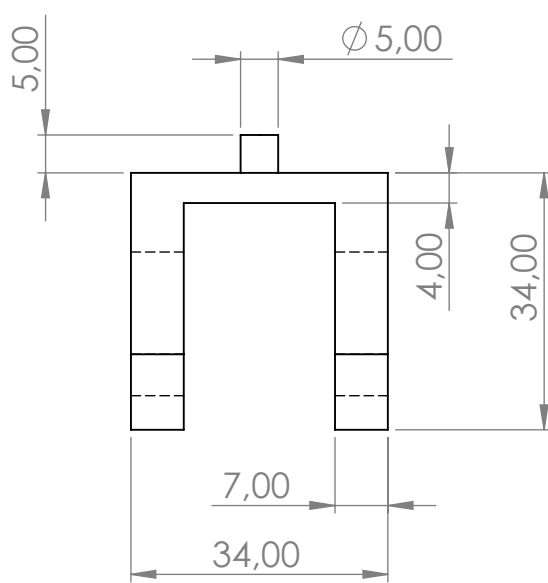
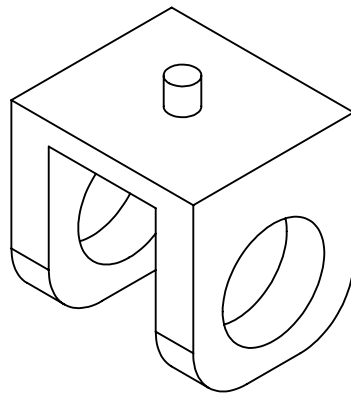
C

B

B

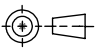
A

A



PROYECTO: MÁQUINA PRODUCTORA DE FILAMENTO

ESCALA:



PARTE: SOPORTE SUPERIOR

1:1

CÓDIGO: MPF-0623-05-002

TOLERANCIA:

MATERIAL:

PLA

DISEÑO:

ROBALINO A.

09/10/2023

HOJA

TRATAMIENTO:

N/D

DIBUJÓ:

ROBALINO A.

09/10/2023

29

RECUBRIMIENTO:

N/D

REVISÓ:

MSC. VALENCIA F.

-

A4

CANTIDAD:

1

APROBÓ:

MSC. VALENCIA F.

-

FICA

CIME

4

3

2

1



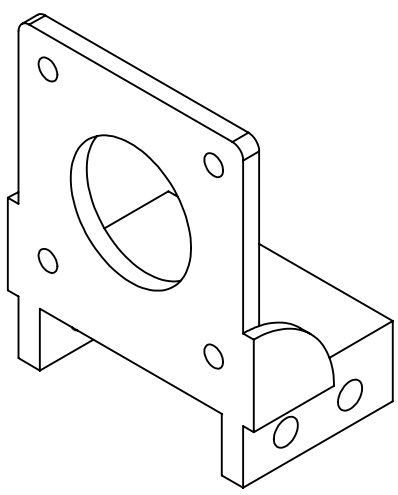
4 3 2 1

F

F

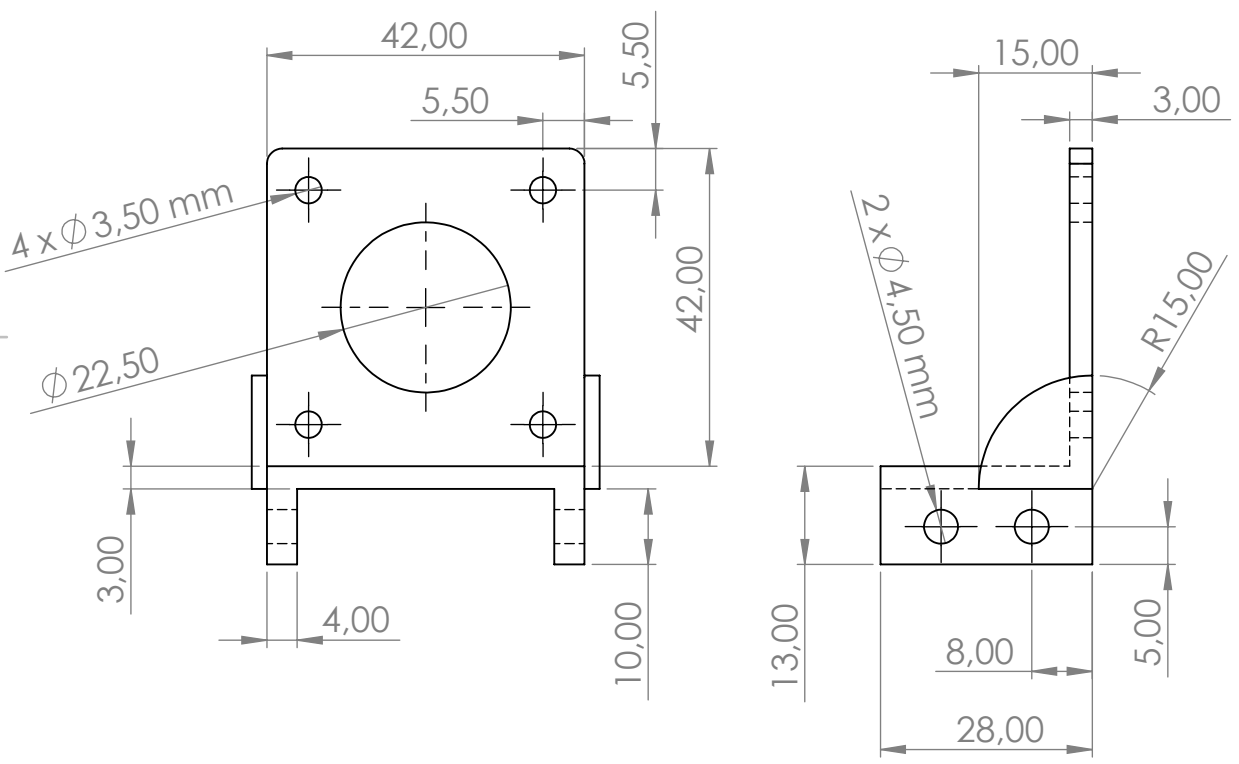
E

E



D

D



C

C

B

B

A

A

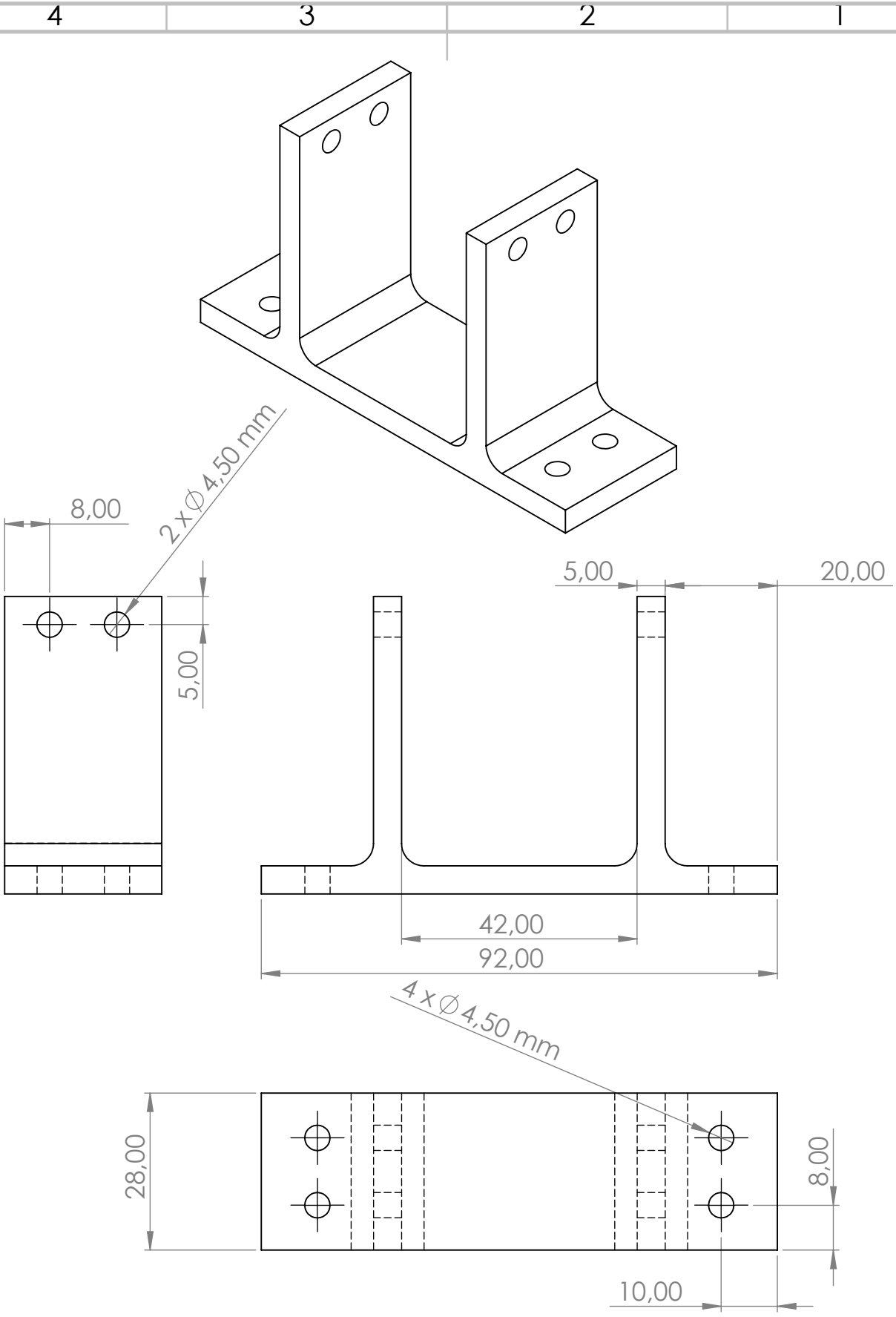


PROYECTO: MAQUINA PRODUCTORA DE FILAMENTO				ESCALA: 1:1		
PARTE: BASE NEMA						
CÓDIGO: MPF-0623-05-003				TOLERANCIA:		
MATERIAL:	PLA	DISEÑO:	ROBALINO A.	09/10/2023	HOJA	
TRATAMIENTO:	N/D	DIBUJÓ:	ROBALINO A.	09/10/2023	30	
RECUBRIMIENTO:	N/D	REVISÓ:	MSC. VALENCIA F.	-	A4	
CANTIDAD:	1	APROBÓ:	MSC. VALENCIA F.	-		

FICA

CIME

4 3 2 1



Nota: Redondeos de 2 mm



PROYECTO: MÁQUINA PRODUCTORA DE FILAMENTO				ESCALA: 1:1	
PARTE: BASE INFERIOR				TOLERANCIA:	
CÓDIGO: MPF-0623-05-004					
MATERIAL:	PLA	DISEÑO:	ROBALINO A.	09/10/2023	HOJA 31 A4
TRATAMIENTO:	N/D	DIBUJÓ:	ROBALINO A.	09/10/2023	
RECUBRIMIENTO:	N/D	REVISÓ:	MSC. VALENCIA F.	-	
CANTIDAD:	1	APROBÓ:	MSC. VALENCIA F.	-	

FICA CIME

4 3 2 1

4 3 2 1

F

F

E

E

D

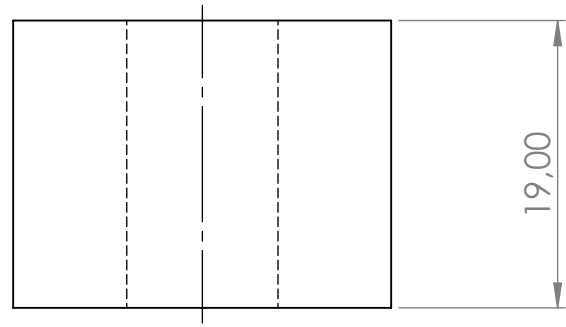
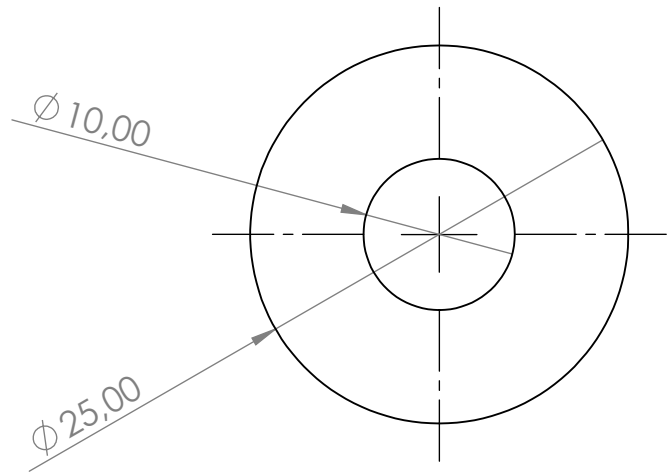
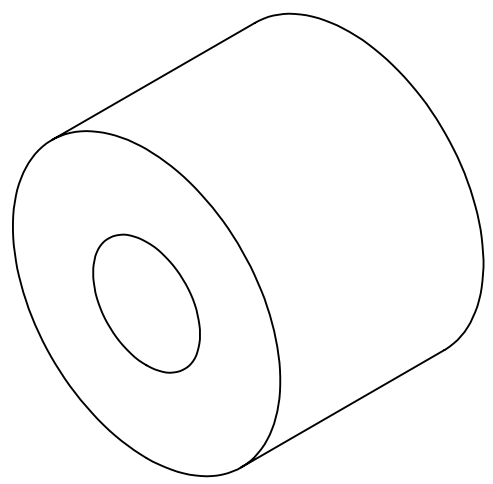
D

C

C

B

B



A

A



PROYECTO: MÁQUINA PRODUCTORA DE FILAMENTO				ESCALA:	
PARTE: RODILLO				2:1	
CÓDIGO: MPF-0623-05-005				TOLERANCIA:	
MATERIAL:	GOMA	DISEÑO:	ROBALINO A.	09/10/2023	HOJA 32 A4
TRATAMIENTO:	N/D	DIBUJÓ:	ROBALINO A.	09/10/2023	
RECUBRIMIENTO:	N/D	REVISÓ:	MSC. VALENCIA F.	-	
CANTIDAD:	2	APROBÓ:	MSC. VALENCIA F.	-	

FICA

CIME

4 3 2 1

4 3 2 1

F

F

E

E

D

D

C

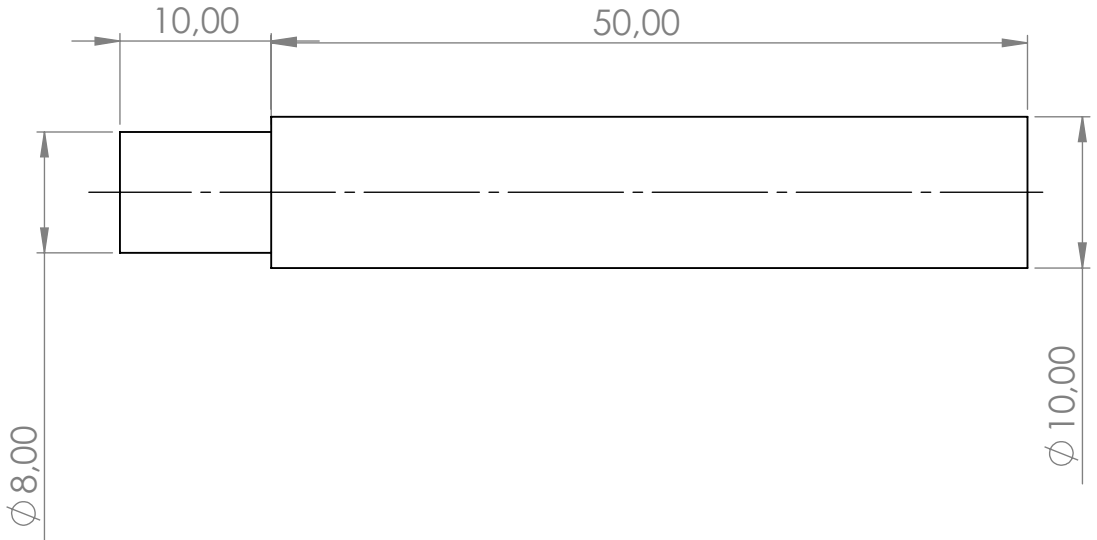
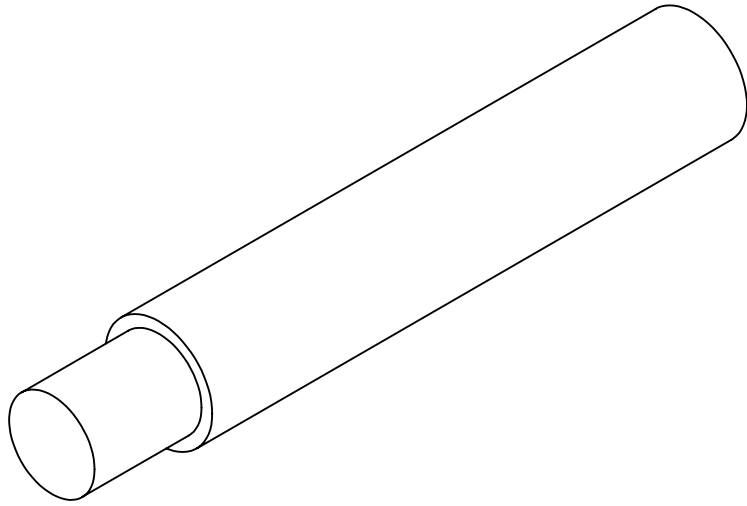
C

B

B

A

A

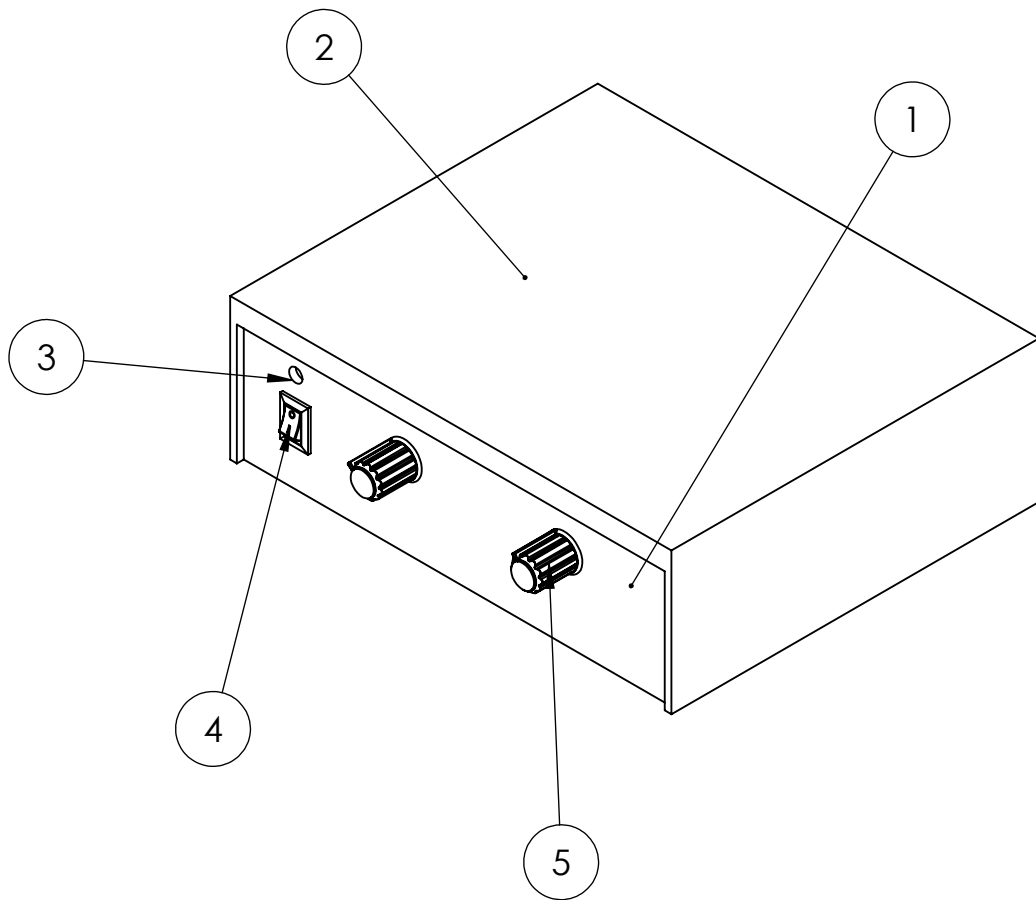


PROYECTO: MÁQUINA PRODUCTORA DE FILAMENTO				ESCALA: 2:1		
PARTE: EJE INFERIOR				TOLERANCIA:		
CÓDIGO: MPF-0623-05-006				HOJA		33 A4
MATERIAL:	PLA	DISEÑO:	ROBALINO A.	09/10/2023		
TRATAMIENTO:	N/D	DIBUJÓ:	ROBALINO A.	09/10/2023		
RECUBRIMIENTO:	N/D	REVISÓ:	MSC. VALENCIA F.	-		
CANTIDAD:	1	APROBÓ:	MSC. VALENCIA F.	-		

FICA

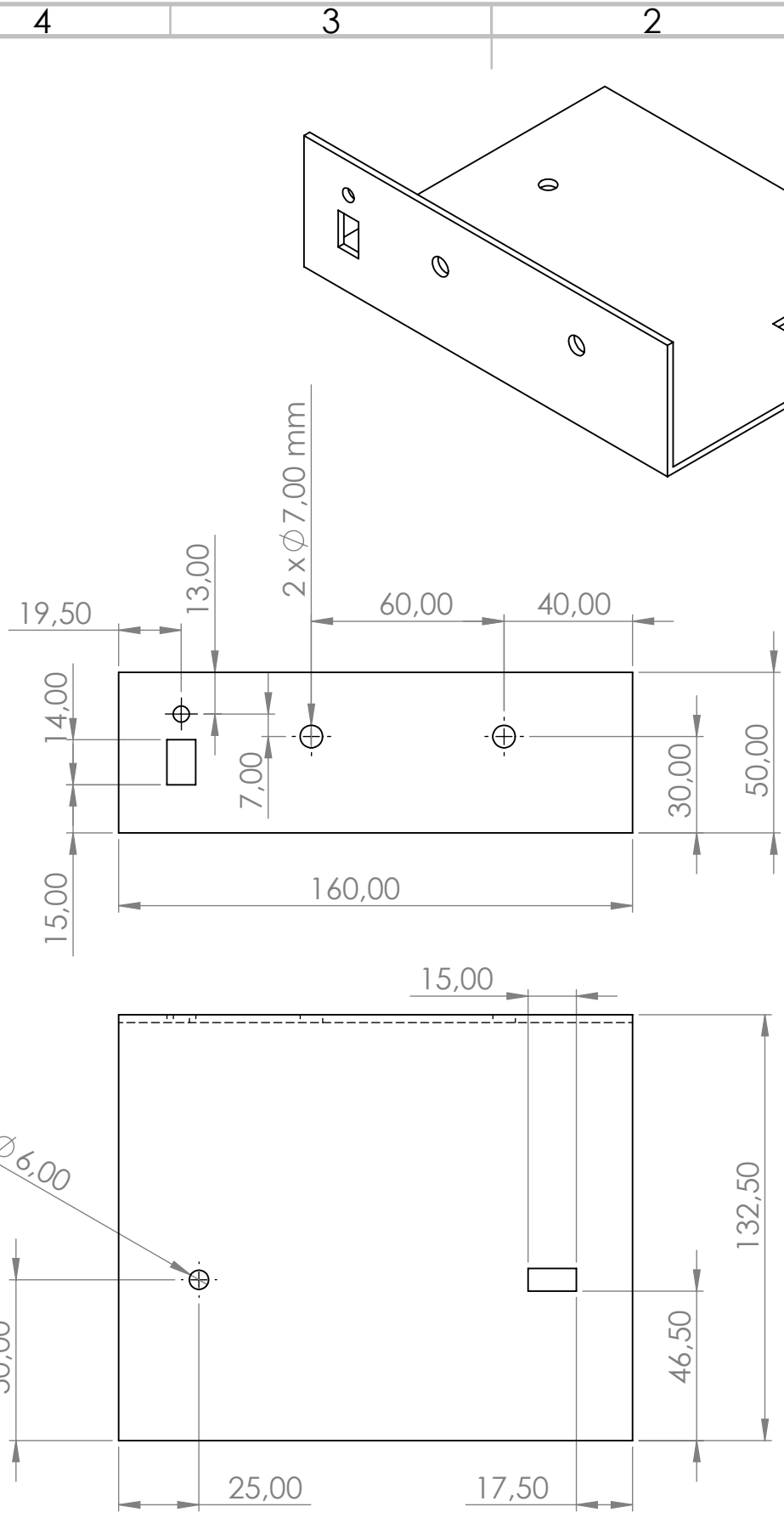
CIME

4 3 2 1



5	Variador de velocidad	-	2	Variador pwm 6-24 V 5 A	
4	Switch	-	1	-	
3	Led	-	1	Led verde 5 V	
2	Tapa	MPF-0623-05-002	1	Impresión PET	
1	Base	MPF-0623-05-001	1	Impresión PET	
B	Nro.	Denominación	Código	Cantidad	Detalle

A		PROYECTO: MÁQUINA PRODUCTORA DE FILAMENTO			ESCALA: 1:2		
		PARTE: CAJA DE ELECTRÓNICA					
		CÓDIGO: MPF-0623-05-000					
		MATERIAL:	-	DISEÑO:	ROBALINO A.	09/10/2023	HOJA 34 A4
		TRATAMIENTO:	N/D	DIBUJÓ:	ROBALINO A.	09/10/2023	
RECUBRIMIENTO:	N/D	REVISÓ:	MSC. VALENCIA F.	-			
CANTIDAD:	1	APROBÓ:	MSC. VALENCIA F.	-			
	FICA	CIME					



PROYECTO: MÁQUINA PRODUCTORA DE FILAMENTO				ESCALA: 1:2	
PARTE: BASE				TOLERANCIA:	
CÓDIGO: MPF-0623-05-001					
MATERIAL:	PET	DISEÑO:	ROBALINO A.	09/10/2023	HOJA 35 A4
TRATAMIENTO:	N/D	DIBUJÓ:	ROBALINO A.	09/10/2023	
RECUBRIMIENTO:	N/D	REVISÓ:	MSC. VALENCIA F.	-	
CANTIDAD:	1	APROBÓ:	MSC. VALENCIA F.	-	

FICA CIME

A

A

4 3 2 1

4 3 2 1

F

F

E

E

D

D

C

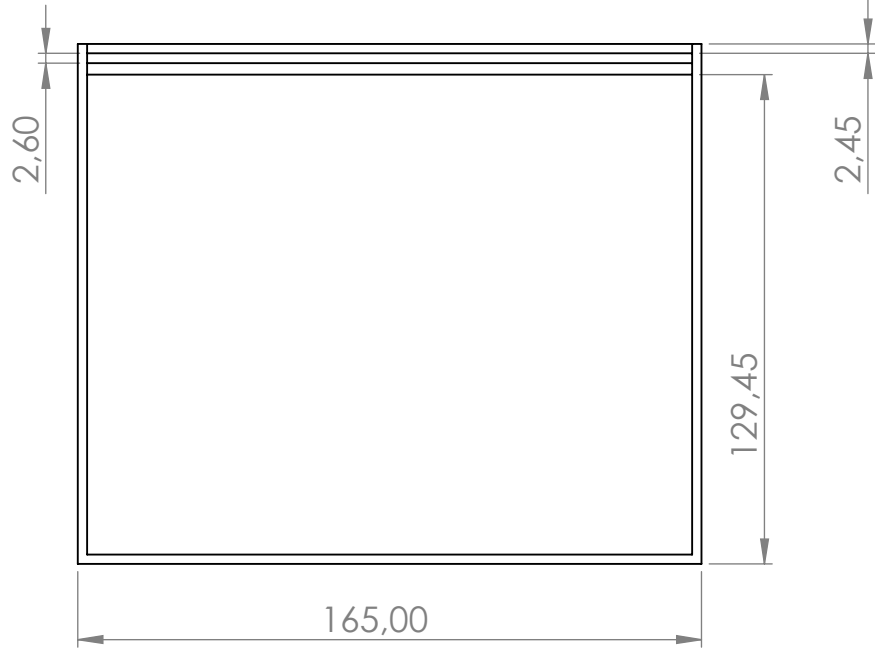
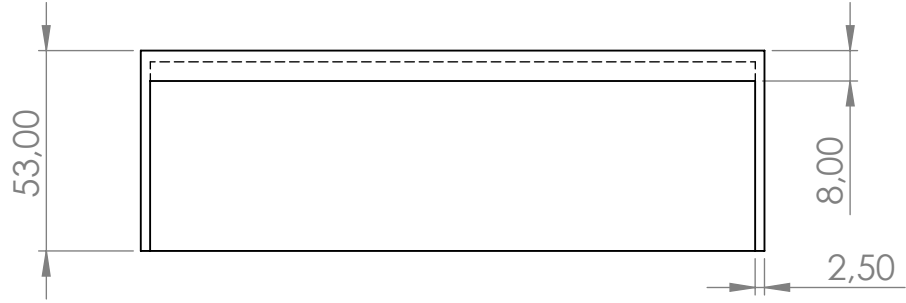
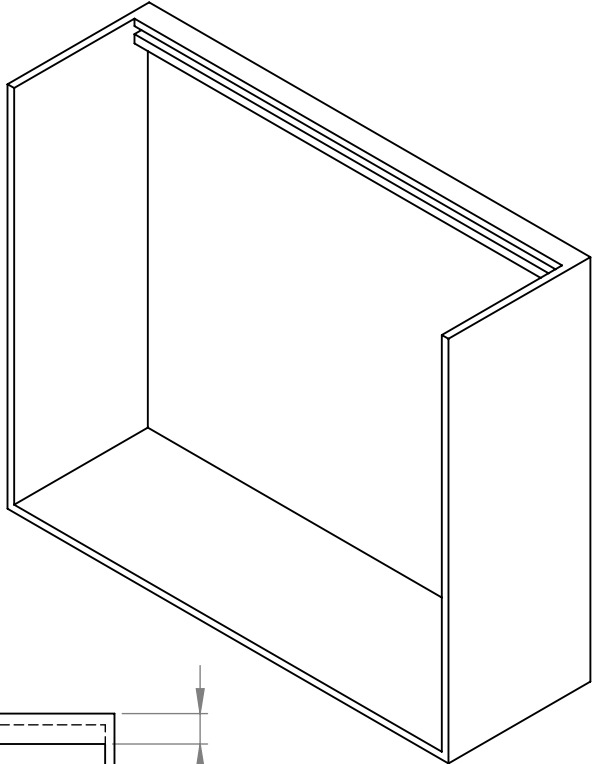
C

B

B

A

A

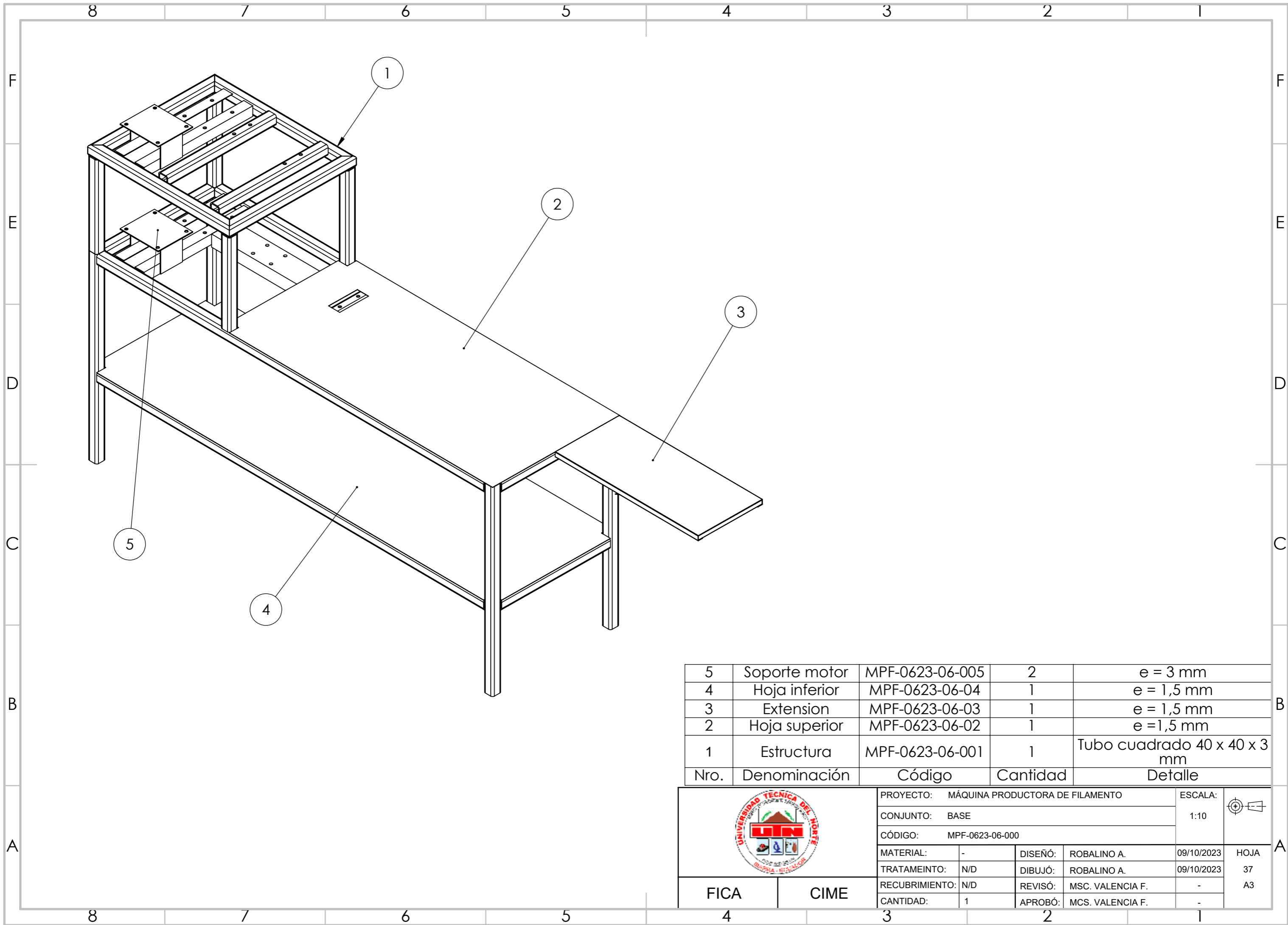


PROYECTO: MÁQUINA PRODUCTORA DE FILAMENTO				ESCALA:	
PARTE: TAPA				1:2	
CÓDIGO: MPF-0623-05-002				TOLERANCIA:	
MATERIAL:	PET	DISEÑO:	ROBALINO A.	09/10/2023	HOJA 36 A4
TRATAMIENTO:	N/D	DIBUJÓ:	ROBALINO A.	09/10/2023	
RECUBRIMIENTO:	N/D	REVISÓ:	MSC. VALENCIA F.	-	
CANTIDAD:	1	APROBÓ:	MSC. VALENCIA F.	-	

FICA

CIME

4 3 2 1



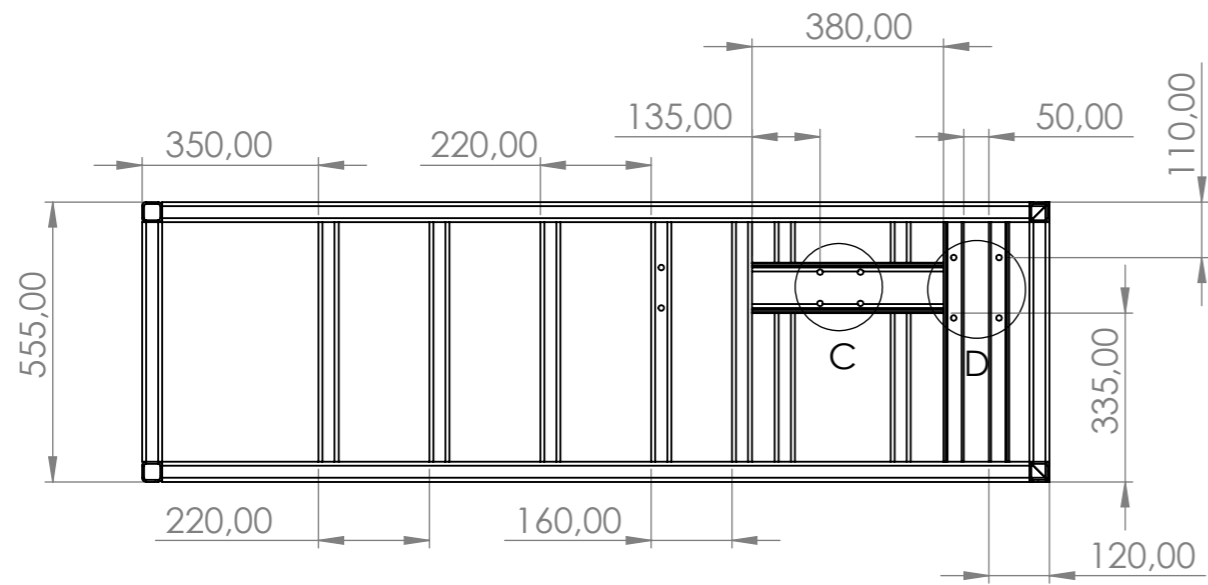
5	Soporte motor	MPF-0623-06-005	2	e = 3 mm
4	Hoja inferior	MPF-0623-06-04	1	e = 1,5 mm
3	Extension	MPF-0623-06-03	1	e = 1,5 mm
2	Hoja superior	MPF-0623-06-02	1	e = 1,5 mm
1	Estructura	MPF-0623-06-001	1	Tubo cuadrado 40 x 40 x 3 mm
Nro.	Denominación	Código	Cantidad	Detalle

	PROYECTO: MÁQUINA PRODUCTORA DE FILAMENTO			ESCALA: 1:10		
	CONJUNTO: BASE					
	CÓDIGO: MPF-0623-06-000					
	MATERIAL:	-	DISEÑO:	ROBALINO A.	09/10/2023	HOJA 37
	TRATAMIENTO:	N/D	DIBUJÓ:	ROBALINO A.	09/10/2023	A3
RECUBRIMIENTO:	N/D	REVISÓ:	MSC. VALENCIA F.	-		
CANTIDAD:	1	APROBÓ:	MCS. VALENCIA F.	-		

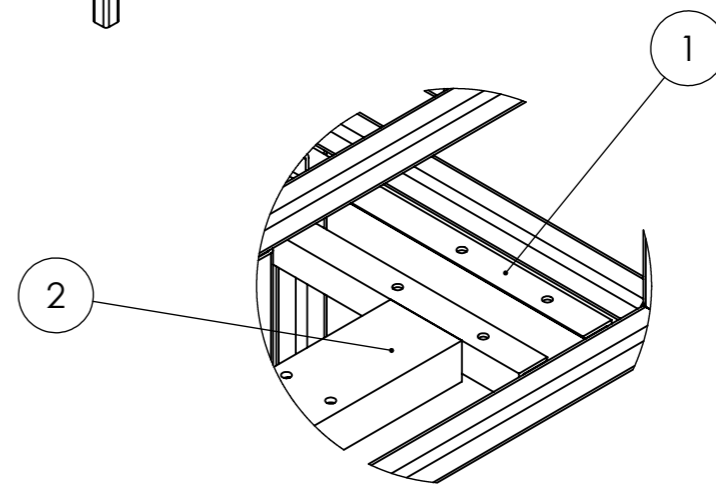
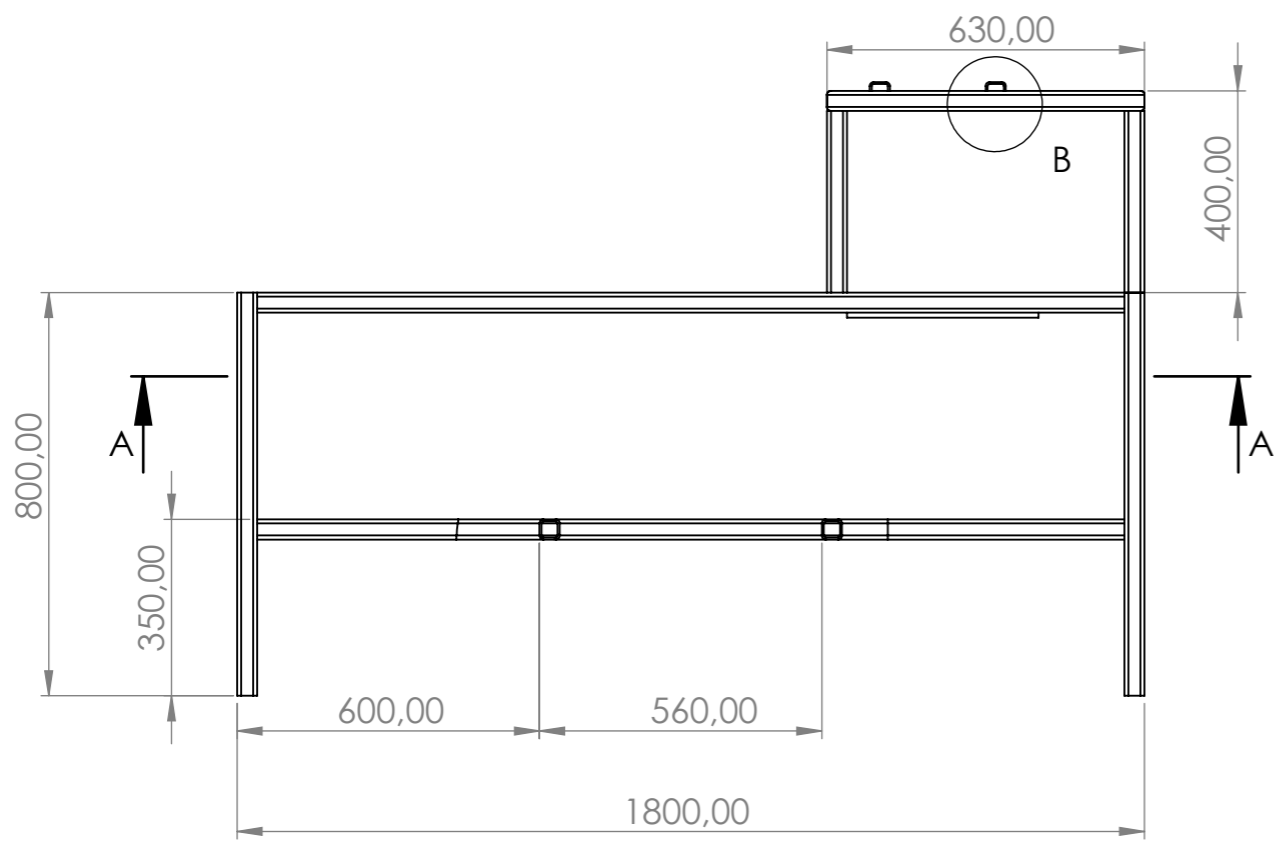
FICA

CIME

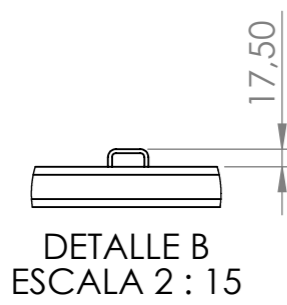




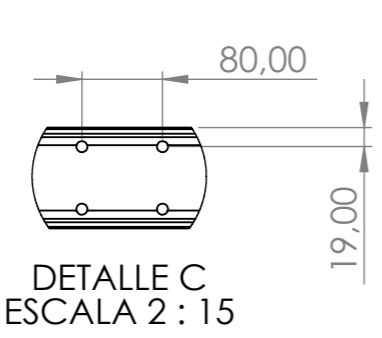
SECCIÓN A-A



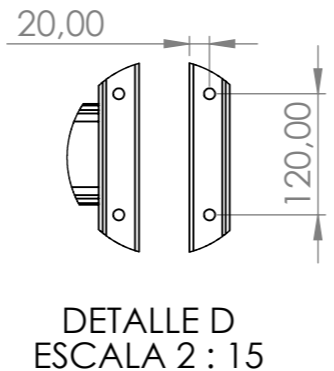
DETALLE F  
ESCALA 2 : 15



DETALLE B  
ESCALA 2 : 15



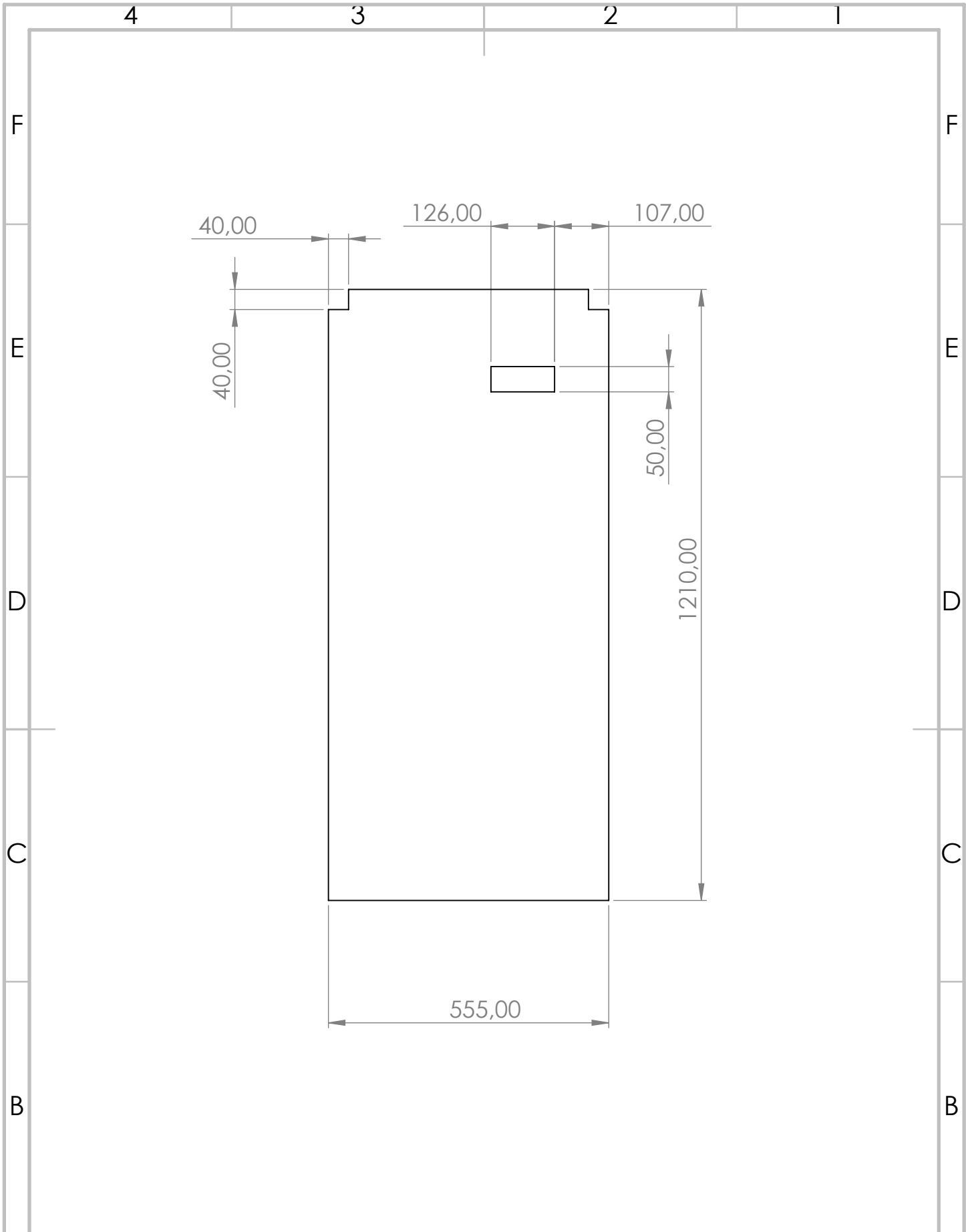
DETALLE C  
ESCALA 2 : 15



DETALLE D  
ESCALA 2 : 15

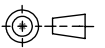
Nota: Los soportes de motor (1) inferior y superior son perfiles L 40 x 40 x 3 mm y el elemento 2 es un canal U 100 x 50 x 3 mm

	PROYECTO: MÁQUINA PRODUCTORA DE FILAMENTO				ESCALA:	
	PARTE: ESTRUCTURA				1:15	
	CÓDIGO: MPF-0623-06-001				TOLERANCIA:	
	MATERIAL:	ASTM A36	DISEÑO:	ROBALINO A.	09/10/2023	HOJA
	TRATAMIENTO:	N/D	DIBUJÓ:	ROBALINO A.	09/10/2023	38
	RECUBRIMIENTO:	N/D	REVISÓ:	MSC. VALENCIA F.	-	A3
CANTIDAD:	1	APROBÓ:	MSC. VALENCIA F.	-		
FICA	CIME					



PROYECTO: MÁQUINA PRODUCTORA DE FILAMENTO

ESCALA:



PARTE: HOJA SUPERIOR

1:10

CÓDIGO: MPF-0623-06-002

TOLERANCIA:

MATERIAL:

ASTM A36

DISEÑO:

ROBALINO A.

09/10/2023

HOJA

TRATAMIENTO:

N/D

DIBUJÓ:

ROBALINO A.

09/10/2023

39

RECUBRIMIENTO:

N/D

REVISÓ:

MSC. VALENCIA F.

-

A4

CANTIDAD:

1

APROBÓ:

MSC. VALENCIA F.

-

FICA

CIME

4

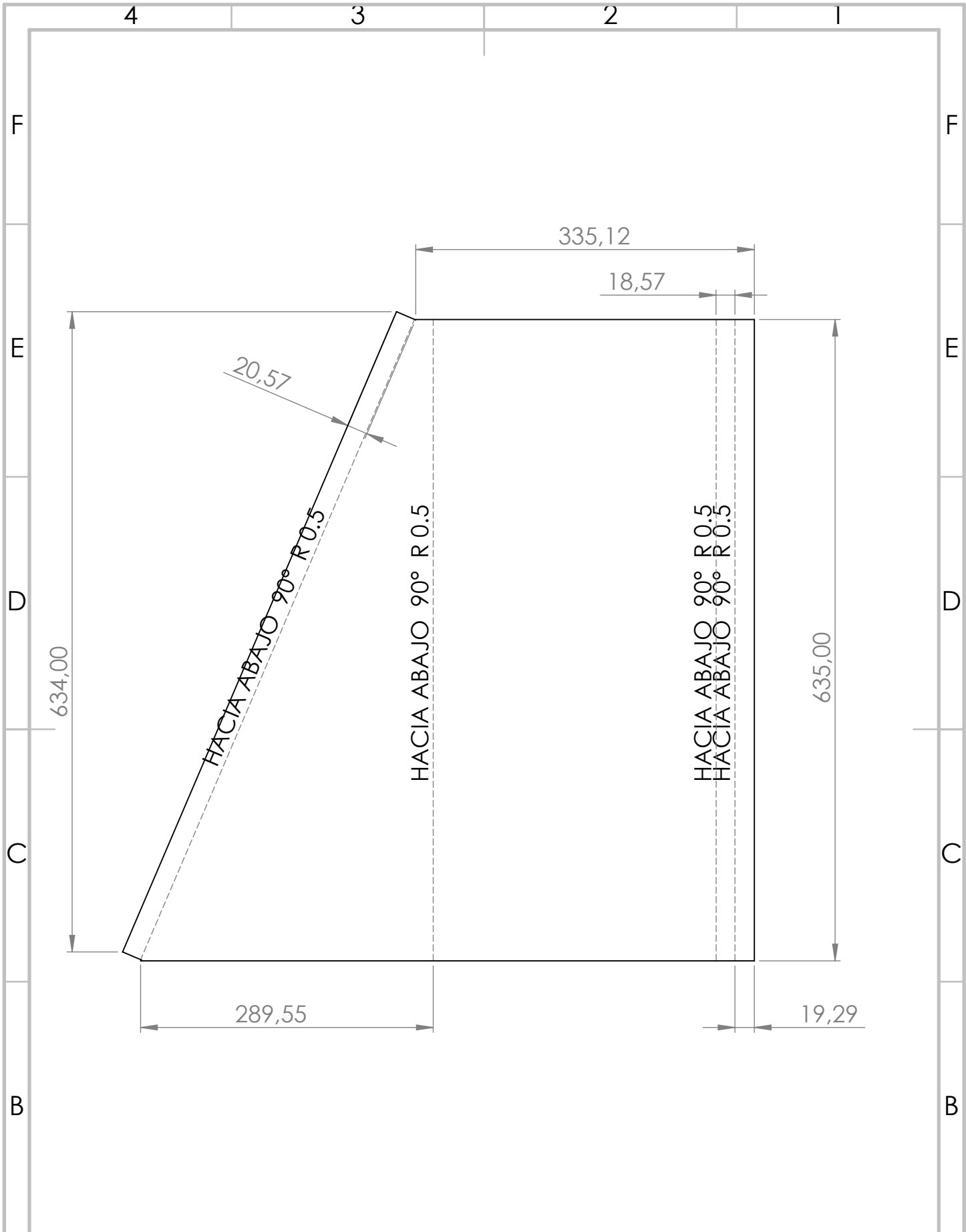
3

2

1

A

A



PROYECTO: MÁQUINA PRODUCTORA DE FILAMENTO				ESCALA: 1:5		
PARTE: EXTENSION				TOLERANCIA:		
CÓDIGO: MPF-0623-06-003				MATERIAL: ASTM A36		HOJA 40 A4
MATERIAL:		ASTM A36	DISEÑO:	ROBALINO A.	09/10/2023	
TRATAMIENTO:		N/D	DIBUJÓ:	ROBALINO A.	09/10/2023	
RECUBRIMIENTO:		N/D	REVISÓ:	MSC. VALENCIA F.	-	
CANTIDAD:		1	APROBÓ:	MSC. VALENCIA F.	-	

FICA

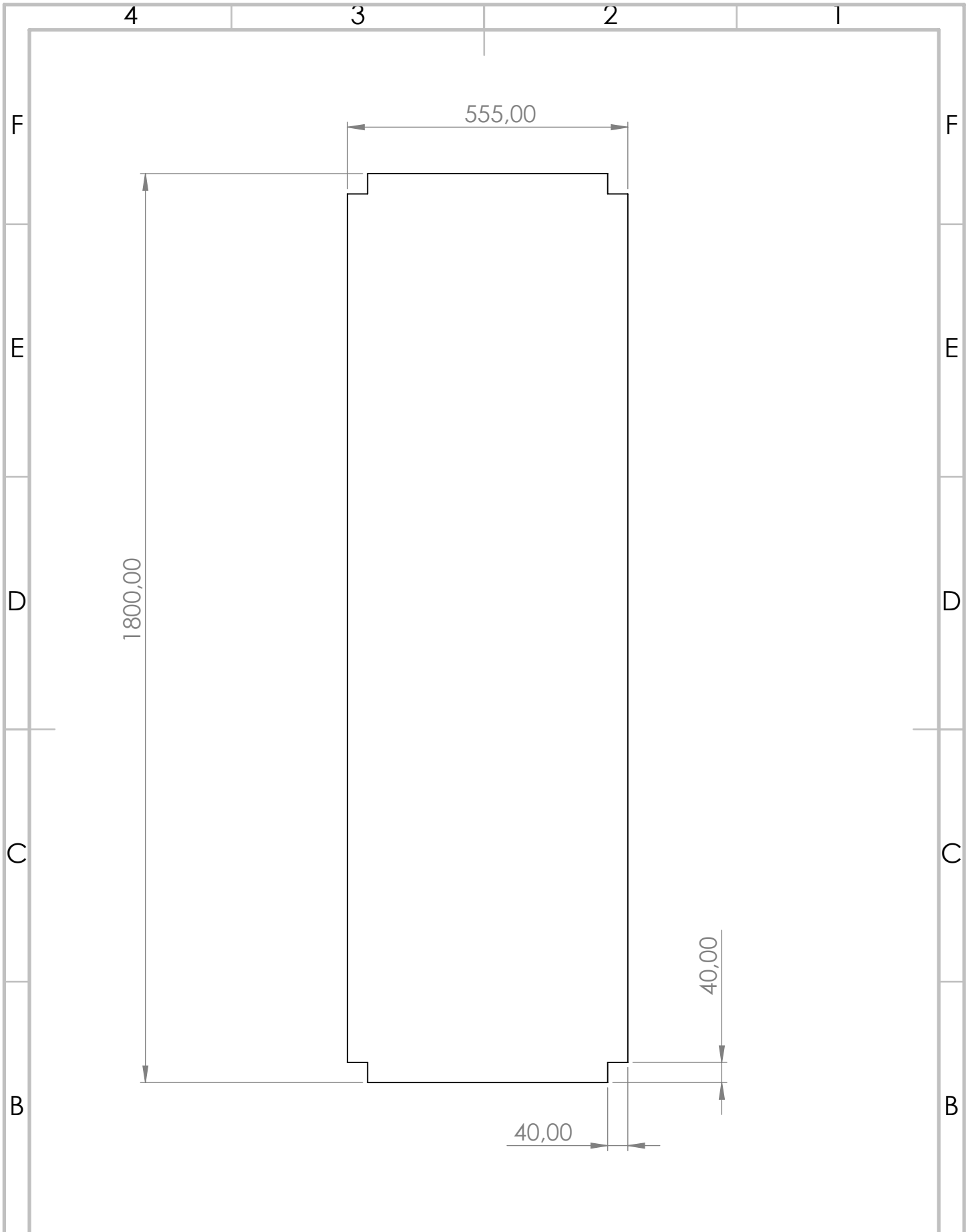
CIME

4

3

2

1



PROYECTO: MÁQUINA PRODUCTORA DE FILAMENTO				ESCALA:	
PARTE: HOJA INFERIOR				1:10	
CÓDIGO: MPF-0623-06-004				TOLERANCIA:	
MATERIAL:	ASTM A36	DISEÑO:	ROBALINO A.	09/10/2023	HOJA 41 A4
TRATAMIENTO:	N/D	DIBUJÓ:	ROBALINO A.	09/10/2023	
RECUBRIMIENTO:	N/D	REVISÓ:	MSC. VALENCIA F.	-	
CANTIDAD:	1	APROBÓ:	MSC. VALENCIA F.	-	

FICA

CIME

4

3

2

1

4 3 2 1

F

F

E

E

D

D

C

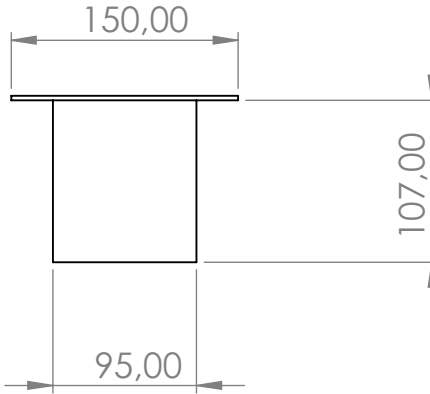
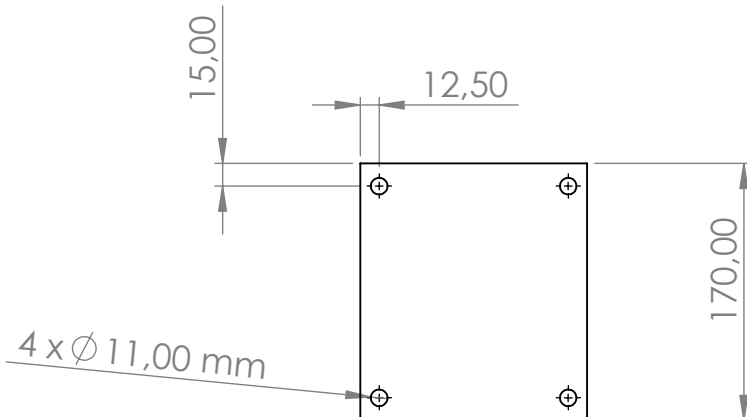
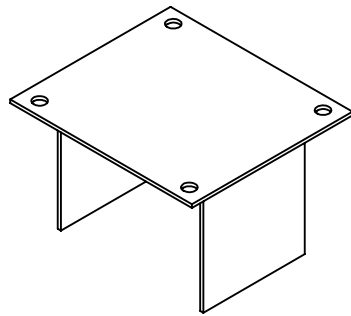
C

B

B

A

A



PROYECTO: MÁQUINA PRODUCTORA DE FILAMENTO				ESCALA: 1:5		
PARTE: SOPORTE MOTOR				TOLERANCIA:		
CÓDIGO: MPF-0623-06-005				MATERIAL: ASTM A36		HOJA 42 A4
DISEÑO: ROBALINO A.		09/10/2023		DIBUJÓ: ROBALINO A.		
TRATAMIENTO: N/D		09/10/2023		REVISÓ: MSC. VALENCIA F.		
RECUBRIMIENTO: N/D		-		APROBÓ: MSC. VALENCIA F.		
CANTIDAD: 2		-				

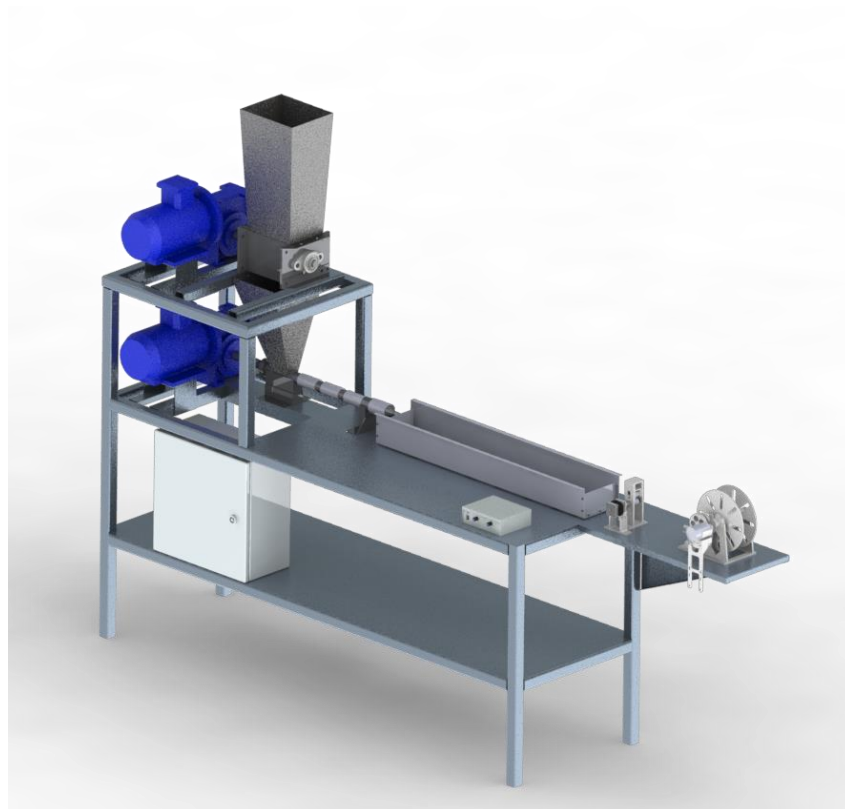
FICA

CIME

4 3 2 1

## **0.9. Anexo 9: Manual de usuario**

# Manual de usuario



## Introducción

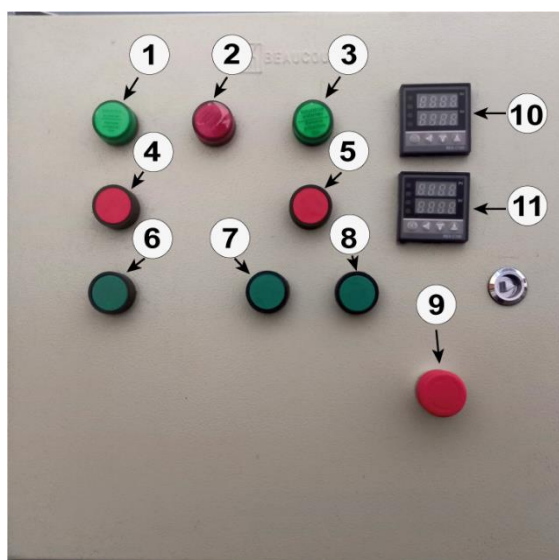
La máquina productora de filamento PET es un equipo que se encarga de triturar botellas de plástico PET y extruir para obtener filamento para impresoras 3D. Este manual tiene como propósito el ayudar a utilizar la máquina de manera segura y eficiente.

## Datos técnicos

Tamaño de botellas	250 ml a 3 lt
Alimentación	220 v 60Hz
Potencia trituradora	2 hp
Potencia extrusora	2 hp
Tiempo de uso recomendado	3 h

## Panel de control

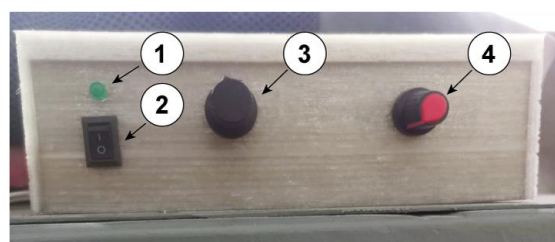
### Control de potencia



1. Luz verde 1: Permanece encendida mientras el motor de la extrusora este encendido.
2. Luz roja: Indica que la máquina esta conectada a la alimentación.
3. Luz verde 2: Permanece encendida mientras el motor de la trituradora este encendido.
4. Pulsador rojo 1: Botón de para de motor de extrusora.
5. Pulsador rojo 2: Botón de para de motor de trituradora.

6. Pulsador verde 1: Botón de arranque de extrusora.
7. Pulsador verde 2: Botón de arranque de trituradora.
8. Pulsador verde 3: Botón de reversa de trituradora.
9. Pulsador seta: Paro de emergencia.
10. Control de temperatura 1: Control de temperatura de boquilla.
11. Control de temperatura 2: Controla la temperatura del barrel.

### Control de electrónica



1. Led verde: Enciende mientras los motores están energizados.
2. Switch de encendido: Energiza los motores.
3. Potenciómetro 1: Regula la velocidad del mecanismo de rodillos.
4. Potenciómetro 2: Regula la velocidad del mecanismo de enrollado.

## Indicaciones de seguridad

- No utilizar accesorios colgantes
- Recoger el cabello largo
- Utilizar gafas de seguridad cuando se esté triturando.
- Utilizar tapones de oídos al utilizar la trituradora
- No topar la extrusora cuando este encendida.

## Instrucciones de uso

### Ingreso de botellas

- Lavar bien las botellas y quitar todos los residuos del interior.
- Retirar la tapa y la etiqueta.



- Colocar las botellas con la boca hacia abajo para que quede en contacto con las cuchillas.

### Extrusión de filamento

- Esperar que la temperatura llegue a 215 °C en la boquilla.
- Encender el motor y esperar a que se purgue la extrusora.
- Encender los motores de los mecanismos de enrollado.
- Direccional el filamento por la piscina hacia los rodillos.
- Regular la velocidad de los rodillos según el diámetro de filamento deseado.
- Esperar a que el filamento se constante.
- Cortar el sobrante de filamento, ingresar el filamento en el mecanismo de embobinado y regular la velocidad.

No sale filamento	- Obstrucción en la boquilla - Baja temperatura	- Retirar el plástico quemado de la boquilla - Subir la temperatura de la boquilla
El filamento no es constante	- Baja temperatura - Material con humedad	- Subir la temperatura de la boquilla - Secar correctamente las botellas antes de usar

### Limpieza de máquina

Para la limpieza de la máquina asegurarse que no este conectada a la corriente y presionado el paro de emergencia.

Para la limpieza de la cámara de trituración quitar la tolva superior, inferior y la criba.

Limpiar con aire a presión y con una brocha la cámara.

Para limpiar los residuos de plástico de la boquilla de la extrusora, aplicar aire caliente y limpiar con papel.

### Tabla de detección de fallas

Falla	Posible razón	Soluciones
La máquina no enciende	- Breakers abajo - Para de emergencia presionado - No se encuentra correctamente conectada a la alimentación	- Abrir la tapa dele panel y restablecer los breakers - Desactivar el paro de emergencia - Asegurarse de que la máquina se encuentre bien conectada
El motor de la trituradora se para	- Existe un atasco de material en las cuchillas	- Reiniciar el motor y revertir el sentido de giro