

DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE PULTRUSIÓN QUE UTILIZA FIQUE Y RESINA BIODEGRADABLE
PARA GENERAR UN MATERIAL COMPUESTO AMIGABLE CON EL AMBIENTE

JHAN CARLOS MORENO ORTIZ
FREDY YAMITH VEGA CORREA

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

INGENIERÍA MECÁNICA

BUCARAMANGA

2024

DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE PULTRUSIÓN QUE UTILIZA FIQUE Y RESINA BIODEGRADABLE
PARA GENERAR UN MATERIAL COMPUESTO AMIGABLE CON EL AMBIENTE

JHAN CARLOS MORENO ORTIZ

FREDY YAMITH VEGA CORREA

Trabajo de grado para optar al título de ingeniero mecánico

Director

ALBERTO DAVID PERTUZ COMAS

PhD. Ingeniería mecánica

Codirector

JORGE GUILLERMO DÍAZ RODRÍGUEZ

PhD. Ingeniería mecánica

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
INGENIERÍA MECÁNICA
BUCARAMANGA

2024

DEDICATORIA

Dedico esta tesis, en primer lugar, a Dios, agradeciendo su compañía constante en cada paso. Ha sido el guionista de mi trayectoria, abriendo siempre una luz cuando el camino parecía no tener salida.

A mis amados padres, quienes a lo largo de sus vidas me han enseñado la importancia del esfuerzo, el compromiso y la persistencia. Su dedicación y trabajo insaciable para otorgarme una educación constituyen una deuda moral incalculable para cualquier ingeniero. Esta tesis es el reflejo de su sacrificio y amor, y un recordatorio constante de la importancia de la unión familiar.

A mi querido hermano, cuyo apoyo incondicional y aliento han sido fundamentales en el camino hacia mi título profesional. Su amor y confianza me han impulsado a alcanzar mis metas. Gracias por ser mi fuente de inspiración constante.

Jhan Carlos Moreno Ortiz

A mis padres, cuyo sacrificio y dedicación han sido la brújula que me guio en este viaje académico. Su fe en mis capacidades ha sido mi motor más poderoso, y cada logro que celebro es un reflejo de la base sólida que ustedes construyeron para mí.

A mis hermanos, quienes han compartido risas, alegrías y desafíos a lo largo de los años. En cada página de esta tesis, encuentro el eco de nuestra complicidad y el respaldo que siempre me han brindado.

A la familia Orostegui Cala cuya generosidad y apoyo incondicional ha iluminado mi camino en momentos cruciales, su acogida y aliento han sido un regalo preciado y la profesión que he alcanzado lleva consigo el agradecimiento profundo de un corazón lleno de gratitud. A Cecilia, Sonia, Patricia y Julián, gracias por ser mi segunda familia y por compartir este viaje conmigo.

A la Ingeniera Lorena Calderón Gómez, por su amor, paciencia y comprensión durante las largas horas dedicadas a este proyecto y a mi carrera. Este proyecto no solo representa mi esfuerzo académico, sino también nuestra perseverancia compartida. Tu apoyo fue mi mayor motivación.

Fredy Yamith Vega Correa

AGRADECIMIENTOS

Deseamos expresar nuestro sincero agradecimiento al director, Alberto David Pertuz Comas, por confiarnos la responsabilidad de llevar a cabo este proyecto. Este esfuerzo se inserta dentro de una serie de proyectos fundamentales que contribuirán significativamente a la consolidación de un macroproyecto en el futuro. Su confianza en nuestro equipo no solo nos impulsa, sino que también refleja un compromiso compartido hacia el éxito y el crecimiento continuo.

A nuestro codirector, Jorge Guillermo Díaz Rodríguez, por su inquebrantable apoyo y colaboración a lo largo de nuestro proyecto. Su disposición para ofrecer ayuda, tanto técnica como personal, ha sido invaluable. Su liderazgo ejemplar ha contribuido significativamente al éxito de nuestro equipo, creando un entorno propicio para la resolución eficiente de desafíos.

A Juan Sebastián León Becerra, PhD. MSc. Ingeniería mecánica, quien fue una ficha primordial al otorgarnos sus conocimientos relacionados al tema y proporcionarnos material de investigación significativo que no solo enriqueció nuestro entendimiento, sino que también guio de manera invaluable el desarrollo óptimo de nuestro trabajo de investigación.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN.....	14
1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.....	15
2. OBJETIVOS.....	16
2.1 OBJETIVO GENERAL.....	16
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	16
3. JUSTIFICACIÓN.....	17
4. MARCO TEÓRICO.....	18
4.1 ANTECEDENTES.....	18
4.1.1 Antecedentes a nivel global.....	18
4.1.2 Antecedentes a nivel nacional.....	19
4.1.3 Antecedentes a nivel regional.....	19
4.2 REFERENTES.....	19
4.2.1 Materiales compuestos.....	19
4.2.1.1 Tipo de matriz.....	20
4.2.1.2 Clasificación.....	21
4.2.2 Fibras naturales.....	21
4.2.2.1 Fibra de fique.....	23

4.2.3 Pultrusión.....	24
5. DISEÑO METODOLÓGICO.....	25
5.1 ENFOQUE Y TIPO DE ESTUDIO.....	25
5.2 FASES, TÉCNICAS Y ESTRATEGIAS PARA EL DESARROLLO DE LOS OBJETIVOS	25
5.2.1 Fase 1: Influencia de los parámetros del compuesto.....	27
5.2.2 Fase 2: Caracterización de las variables del diseño y factores críticos del proceso	27
5.2.3 Fase 3: Diseño y análisis estructuras	27
5.2.4 Fase 4: Análisis técnico económico	28
5.2.5 Fase 5: Manual de operación.....	28
6. RESULTADOS.....	29
6.1 CARACTERIZACIÓN ESTÁTICA	30
6.2 CARACTERIZACIÓN DEL PROTOTIPO DE PULTRUSIÓN	34
6.2.1 Dosificación de la fibra	39
6.2.2 Transferencia de calor en el molde (curado).....	42
6.2.2.1 Zona de precalentado	43
6.2.2.2 Zona de curado	44
6.2.2.3 Transformación de la energía	44
6.2.3 Sistema de impregnación.....	47
6.2.4 Cálculo de la potencia consumida por el troquel.....	50
6.2.5 Selección del motor	52
6.2.6 Selección de rodillos	53
6.3 MODELADO CAD DEL PROTOTPO DE LA MÁQUINA DE PULTRUSIÓN	54

6.3.1 Simulación	54
6.3.2 Tensiones Von Moises.....	55
6.3.3 Análisis de desplazamiento.....	55
6.3.4 Factor de seguridad	56
6.3.1 Percepción del diseño.....	57
6.4 ANÁLISIS TÉCNICO ECONÓMICO	58
6.4.1 Costo de producción (inversión)	58
6.4.2 Costos operativos	65
6.4.3 Valor Actual Neto (VAN)	66
6.5 MANUAL DE OPERACIÓN.....	67
6.5.1 Símbolos	68
6.5.2 Información técnica.....	69
6.5.3 Funciones principales	69
6.5.4 Instalación.....	70
6.5.5 Sistema de control	72
6.5.5.1 Circuito de control	73
7. CONCLUSIONES	79
8. RECOMENDACIONES.....	80
BIBLIOGRAFÍA	81
ANEXOS	84

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Clasificación de materiales compuestos.	20
Figura 2. Morfología de compuestos reforzados con fibra.	21
Figura 3. Clasificación de la fibra de fique.	22
Figura 4. Descripción general de los pasos que tienen lugar dentro de la matriz de un proceso RIP termoestable con una cámara de impregnación cónica.	24
Figura 5. Fases, técnicas y estrategias para el desarrollo del proyecto.	26
Figura 6. Sección transversal de una fibra de fique cruda.	29
Figura 7. Curvas de laminado manual para resina Biopoxy, Biopoxy-Fique, Biopoxy-Yute y Biopoxy-Lino.	31
Figura 8. Curvas medias de envasado al vacío para Biopoxy-Fique.	32
Figura 9. Curvas tensión vs deformación de compuestos, obtenidas mediante ensayos de flexión.	34
Figura 10. Desarrollo de módulo de resina en función del curado y la temperatura.	35
Figura 11. Grados de curado previstos a varias velocidades de tracción para la placa plana.	36
Figura 12. Temperaturas previstas a varias velocidades de tracción para la placa plana.	37
Figura 13. Zonas de precalentado y secado mediante resistencias.	38
Figura 14. Resistencia de tira mica.	46
Figura 15. Sistema de impregnación de resina.	47
Figura 16. Motor Bemonoc ajustable monofásico de 110 V.	53
Figura 17. Sistema de tracción.	53
Figura 18. Simulación estática de la estructura de soporte.	54
Figura 19. Simulación CAD de la tensión Von Mises.	55
Figura 20. Desplazamiento estático de la estructura.	56
Figura 21. Factor de seguridad de la estructura.	57
Figura 22. Distribución de cargas.	57
Figura 23. Ajuste del troque.	70
Figura 24. Ensamble del troquel.	70
Figura 25. Ensamble de placa de orificio.	71

Figura 26. Reservorio de fique.....	71
Figura 27. Eje de reservorio de fique.....	72
Figura 28. Sistema de potencia y control.....	72
Figura 29. Sistema de control.....	73
Figura 30. Parada de emergencia.....	74
Figura 31. Resistencias y sensores de temperatura.....	74
Figura 32. Selectores.....	75
Figura 33. Selectores tres posiciones.....	76
Figura 34. Sistema de control de alarmas.....	77
Figura 35. Sensor de temperatura.....	78
Figura 36. Alimentación en rollo para proceso de pultrusión.....	86
Figura 37. Impregnación de resina mediante método de inyección.....	87
Figura 38. Impregnación de resina mediante método de bañado.....	88
Figura 39. Ensayo de tracción.....	89
Figura 40. Péndulo de Charpy.....	89
Figura 41. Probetas normalizadas tipo I.....	90
Figura 42. Resistencia eléctrica industrial.....	91
Figura 43. Sistema de tracción por rodillos.....	92
Figura 44. Herramienta de corte con disco (esmeril industrial).....	93
Figura 45. Boceto de concepto del prototipo de pultrusión.....	95

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Propiedades de algunas fibras naturales	23
Tabla 2. Características de la fibra de fique	23
Tabla 3. Comparación de propiedades de las resinas	30
Tabla 4. Comparación de las propiedades estáticas del compuesto Biopoxy-Fique	33
Tabla 5. Láminas de acero inoxidable	49
Tabla 6. Cotización de los elementos de la máquina	59
Tabla 7. Simbología del manual de operación	68
Tabla 8. Matriz QFD para el prototipo de la máquina de pultrusión	85
Tabla 9. Ponderación final de alternativas	94

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo A. Requerimientos de diseño del prototipo.....	84
Anexo B. Planteamiento de alternativas.....	84
Anexo C. Planos del prototipo.....	96

RESUMEN

TÍTULO: DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE PULTRUSIÓN QUE UTILIZA FIQUE Y RESINA BIODEGRADABLE PARA GENERAR UN MATERIAL COMPUESTO AMIGABLE CON EL AMBIENTE*

AUTORES: FREDY YAMITH VEGA CORREA, JHAN CARLOS MORENO ORTIZ**

PALABRAS CLAVE: PULTRUSIÓN, RESINA BIODEGRADABLE, FIQUE, MATERIAL COMPUESTO.

DESCRIPCIÓN:

El presente proyecto representa un avance significativo hacia la fabricación de materiales compuestos, integrando investigación técnica, diseño innovador y análisis económico para ofrecer una solución sostenible y prometedora en el campo de la fabricación de materiales. Se llevó a cabo un análisis del estudio de las propiedades de los materiales compuestos, centrándose en la utilización de fique como refuerzo y resina biodegradable para promover la sostenibilidad ambiental, evidenciando en la literatura, una tensión máxima de 34.3 ± 1.75 [MPa], una deformación máxima de 2.87 ± 0.64 [%] y un módulo de Young de 2.82 ± 0.64 [GPa].

La investigación se fundamenta en la selección de materiales idóneos para el diseño de un prototipo de máquina de pultrusión, respaldada por cálculos detallados que garantizan la viabilidad de los componentes, donde se parte de probetas de 65% de fique en su composición volumétrica, de dimensiones $200 \times 30 \times 3.18$ [mm]. Para ello, se diseñó un prototipo de pultrusión con restricciones en tamaño de hasta 2 m de largo y hasta 1.0 m de ancho, así como temperaturas de secado entre 25 y 200 °C.

Se realizó un análisis mediante el método de elementos finitos, que permitió validar la estructura y funcionalidad del prototipo, asegurando su rendimiento bajo distintas condiciones operativas. El enfoque multidisciplinario de este proyecto incluye un análisis técnico-económico integral, en el cual se evaluaron costos de producción y mantenimiento, demostrando la viabilidad y sostenibilidad económica del proceso de fabricación de estos materiales compuestos ecológicos en comparación con alternativas convencionales.

Por último, se desarrolló manual detallado de operación para el uso adecuado y seguro de la máquina de pultrusión, proporcionando pautas y procedimientos que garantizan la eficacia y durabilidad del prototipo.

* Trabajo de grado.

** Facultad de ingenierías fisicomecánicas. Escuela de ingeniería mecánica. Ingeniería mecánica. Director: Alberto David Pertuz Comas. PhD. Ingeniería mecánica. Codirector: Jorge Guillermo Díaz Rodríguez. PhD. Ingeniería mecánica.

ABSTRACT

TITLE: DESIGN OF A PULTRUSION PROTOTYPE USING FIQUE AND BIODEGRADABLE RESIN TO GENERATE AN ENVIRONMENTALLY FRIENDLY COMPOSITE MATERIAL*

AUTHOR: FREDY YAMITH VEGA CORREA, JHAN CARLOS MORENO ORTIZ**

KEY WORDS: PULTRUSION, BIODEGRADABLE RESIN, FIQUE, COMPOSITE MATERIAL.

DESCRIPTION:

This project represents a significant advance towards the manufacture of composite materials, integrating technical research, innovative design and economic analysis to offer a sustainable and promising solution in the field of materials manufacturing. An analysis of the study of the properties of composite materials was carried out, focusing on the use of fique as reinforcement and biodegradable resin to promote environmental sustainability, showing a maximum stress of 34.3 ± 1.75 [MPa], a maximum deformation of 2.87 ± 0.64 [%] and a Young's modulus of 2.82 ± 0.64 [GPa].

The research is based on the selection of suitable materials for the design of a prototype pultrusion machine, backed up by detailed calculations that guarantee the viability of the components, where the starting point is specimens of 65% of fique in their volumetric composition, with dimensions $200 \times 30 \times 3.18$ [mm]. For this purpose, a pultrusion prototype was designed with size restrictions of up to 2 m in length and up to 1.0 m in width, as well as drying temperatures between 25 and 200 °C.

An analysis was carried out using finite element methods, which validated the structure and functionality of the prototype, ensuring its performance under different operating conditions. The multidisciplinary approach of this project includes a comprehensive technical-economic analysis, in which production and maintenance costs were evaluated, demonstrating the feasibility and economic sustainability of the manufacturing process of these environmentally friendly composite materials compared to conventional alternatives.

Finally, a detailed operation manual was developed for the proper and safe use of the pultrusion machine, providing guidelines and procedures that guarantee the efficiency and durability of the prototype.

* Bachelor Thesis

** Facultad de ingenierías fisicomecánicas. Escuela de ingeniería mecánica. Ingeniería mecánica. Director: Alberto David Pertuz Comas. PhD. Ingeniería mecánica. Codirector: Jorge Guillermo Díaz Rodríguez. PhD. Ingeniería mecánica.

INTRODUCCIÓN

En la búsqueda continua de materiales sostenibles y amigables con el medio ambiente, el desarrollo de compuestos utilizando fibras naturales y resinas biodegradables ha emergido como una alternativa prometedora en la industria de nuevos materiales. Este proyecto se centra en la concepción y desarrollo de un prototipo de máquina de pultrusión adaptada para la fabricación de perfiles de materiales compuestos empleando fique como refuerzo y resinas biodegradables como matriz.

La pultrusión, como técnica de fabricación continua, ofrece la posibilidad de producir perfiles de alta resistencia y durabilidad, y su adaptación para la incorporación de materiales sostenibles como el fique y las resinas biodegradables representa un avance significativo hacia la creación de productos más ecológicos y responsables con el entorno. El fique, una fibra natural procedente de la planta de agave, se ha seleccionado por su disponibilidad, bajo costo y propiedades mecánicas que lo hacen idóneo como refuerzo en materiales compuestos. Además, la utilización de resinas biodegradables no solo reduce la dependencia de polímeros convencionales no sostenibles, sino que también permite la degradación del material final, minimizando su impacto ambiental.

El propósito principal de este proyecto es diseñar y evaluar un prototipo funcional de máquina de pultrusión que integre eficazmente el fique y las resinas biodegradables para la producción de perfiles compuestos de alta calidad. Este trabajo pretende contribuir al avance de la tecnología de fabricación de materiales compuestos, ofreciendo una alternativa viable y ecoamigable para diversas aplicaciones industriales.

1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Los bosques hacen parte de los elementos fundamentales para la supervivencia del ser humano, ya que otorgan gran cantidad de servicios los cuales actúan benéficamente en el planeta. Estos ecosistemas enfrentan una serie de problemáticas que amenazan su conservación y su capacidad para proveer importantes servicios ambientales y económicos. Según el IDEAM³, Colombia es considerado un país forestal debido a que posee 59,5 millones de hectáreas de bosque natural, lo que representa el 52,1% de la superficie continental e insular.

Por ello, desarrollaremos el diseño de un prototipo de una máquina de pultrusión que pretende originar una alternativa sostenible enfocada en el cuidado del medio ambiente, utilizando dos materiales naturales como son el fique y una resina biodegradable en reemplazo de polímeros y fibras basados en hidrocarburos que no son renovables.

En países de América Latina, como Ecuador, México, Perú, Brasil y Colombia, el fique tiene un importante valor económico en su economía. Esta planta se siembra de manera abundante con el fin de producir fibra natural. Además, el fique es una planta resistente y sencilla de cultivar, por lo que se considera una alternativa sostenible y ecológica a otras fibras sintéticas y no renovables.

Este trabajo apunta a aprovechar la cadena productiva del fique al proponer un equipo que usa la fibra como refuerzo de materiales compuestos.

Uno de los principales inconvenientes para fortalecer la tradición del fique y su auge, recae en el amplio desconocimiento de sus propiedades, por ende, la subvaloración de su potencial. Si se combina el fique con productos específicos puede representar un nuevo material que contenga una alta resistencia y prolongada durabilidad, sin embargo, consolidar dos componentes requiere de elementos especializados, razón por la cual surge la pregunta de investigación: ¿Qué características esenciales debe tener el diseño de un prototipo que utiliza fique y resina biodegradable por medio de un proceso de pultrusión para la elaboración de un material compuesto amigable con el ambiente?

³ Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible [Sitio web]. Se reduce y se contiene la deforestación en Colombia durante los últimos cuatro años. Bogotá. [Consulta: 15 de julio 2022]. Disponible en: <<https://www.minambiente.gov.co/bosques-biodiversidad-y-servicios-ecosistemicos/se-reduce-y-se-contiene-la-deforestacion-en-colombia-durante-los-ultimos-cuatro-años/>>.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

- Diseñar y analizar estructuralmente un prototipo a escala laboratorio de una máquina de pultrusión que utilice fique como fibra de refuerzo en una matriz de resina biodegradable para fabricar un material compuesto amigable con el ambiente.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Evaluar la influencia de los parámetros del proceso de pultrusión en placas planas de hasta 300 [mm] de longitud y 170 [mm] de ancho, por medio de ensayos mecánicos de fibras naturales que poseen hasta 20% en peso de fique cuando son utilizados como refuerzos en matriz de resina biodegradable, con el fin de seleccionar los componentes de la máquina que brinden la mejor respuesta mecánica.
- Diseñar un prototipo al que se le establecerán los parámetros técnicos y las limitaciones de acuerdo con la matriz QFD que además contengan las siguientes especificaciones:
 1. Dimensiones del prototipo de hasta 1.5 m de largo y hasta 1.0 m de ancho.
 2. Probetas generadas de mínimo 60% y máximo 90% de fique en su composición volumétrica.
 3. Temperaturas de secado de entre 25 y 200 °C.
- Realizar un análisis técnico económico del diseño propuesto, con el fin evaluar los costos asociados al diseño, fabricación y operación del prototipo para validar la viabilidad del mismo.
- Desarrollar un manual de operación para el adecuado funcionamiento y uso del prototipo de máquina de pultrusión.

3. JUSTIFICACIÓN

El diseño de un prototipo de una máquina de pultrusión aporta múltiples beneficios en diferentes áreas de la ingeniería mecánica. En términos de sostenibilidad, el uso de materiales biodegradables reduce la dependencia de materiales no renovables y disminuye la generación de residuos, lo que contribuye a la reducción del impacto ambiental. Además, la combinación de fique y resina biodegradable puede dar lugar a compuestos con características únicas y potenciales, lo que podría mejorar la calidad de los materiales y ofrecer nuevas alternativas para la fabricación de piezas con características específicas.

El proyecto también promueve la recuperación de la cultura tradicional en torno a la siembra de fique y genera un nuevo mercado a base de fique y resina, lo que podría aumentar los ingresos de las familias indígenas y campesinas a través de la siembra, cosecha y tratamiento de esta nueva aplicación para este material. El diseño de este prototipo podría contribuir al aumento de la eficiencia y velocidad en la creación de piezas y elementos, lo que mejoraría la productividad de las empresas y la economía local. Además, el desarrollo de nuevos productos requeriría la contratación de mano de obra calificada y no calificada, lo que podría generar oportunidades de empleo.

En términos bioéticos, el proyecto cumple con los principios de la beneficencia y la responsabilidad, ya que busca el beneficio mutuo sin daños ni perjuicios y se centra en el cuidado y conservación de la naturaleza tanto en el presente como en el futuro. El uso de materiales biodegradables reduce la emisión de gases de efecto invernadero y otros contaminantes relacionados con su extracción y producción.

Adicionalmente, al ser biodegradable su descomposición es más rápida que materiales a base de hidrocarburos.

El diseño del prototipo también abre la posibilidad de obtener nuevos elementos de estudio al combinar otros materiales naturales como la fibra de la piña, el algodón, el yute y el lino, lo que permitiría estudiar diferentes grados de dureza, elasticidad, resistencia, ductilidad y otros factores físicos.

4. MARCO TEÓRICO

En este apartado contiene las bases teóricas más importantes del proyecto, la cual se desarrolló a partir de una fase de investigación realizada en el diseño de máquinas de pultrusión y sus materias primas. Estas investigaciones abarcan ámbitos internacionales, nacionales y regionales, esto con el fin de contextualizar y fundamentar el enfoque de aplicación, desarrollo e innovación que se busca dar a este proyecto.

4.1 ANTECEDENTES

A continuación, se presentan los principales antecedentes investigativos que darán apoyo a este trabajo, resaltando proyectos empleados a nivel regional, nacional y global relacionados con la caracterización de materiales reforzados con fique y resina para el mejoramiento de las propiedades mecánicas. En la información consultada no se encontró ningún antecedente referente a máquinas de pultrusión basadas en la utilización de fibras naturales para el desarrollo de dicho proceso.

4.1.1 Antecedentes a nivel global. El proyecto de investigación llevado a cabo en Quito Ecuador por Sánchez & Jiménez⁴, a través de la Escuela Politécnica Nacional, se enfocó en determinar las variables que maximizan el proceso de pultrusión en la obtención de perfiles estructurales con forma "O", con el objetivo de minimizar defectos. El diseño se desarrolló utilizando la ingeniería concurrente y se llevaron a cabo análisis funcionales y experimentales para obtener un perfil con las características físicas deseadas, empleando elementos tales como resinas de poliéster isoftálico, catalizadores, acelerantes y tejido de fibra de vidrio roving. Finalmente, se realizaron ensayos de tracción y flexión para verificar la calidad del perfil obtenido. Se enfatizó la importancia de variables como la disposición de los hilos, el contenido de resina, la temperatura de la matriz y la velocidad de tracción durante el proceso, para obtener resultados óptimos. Se encontró que optimizar las propiedades mecánicas de flexión en el perfil requería la utilización de una única dirección de hilos.

⁴ SÁNCHEZ CARRIÓN, Edgar; JIMÉNEZ GONZÁLES, Jonathan. Diseño y construcción de un prototipo de máquina de pultrusión y estudio experimental de las variables para la obtención de perfiles "O" de material compuesto con matriz termoestable. Trabajo de Maestría. Quito, Ecuador: Universidad Politécnica Nacional, 2017. 180 p.

4.1.2 Antecedentes a nivel nacional. Mediante el estudio desarrollado por Linero⁵, se obtuvo un material compuesto de fibra natural (fique) reforzado con resina epóxica para mejorar sus propiedades mecánicas y destacarse en la competencia industrial. Se utilizaron pruebas de flexión, ensayos de fatiga y resistencia al impacto, y se analizaron mediante un software de elementos finitos para simular el comportamiento del material. El material se comportó de manera plástica debido al refuerzo con fibra natural, lo que lo hace más resistente a la fractura. Además, el material desarrollado demostró buena capacidad para soportar ciclos de carga repetitivos sin experimentar degradación, delaminación, fisuras o variaciones abruptas en las dimensiones.

4.1.3 Antecedentes a nivel regional. Según Gómez⁶, proyecto de investigación se centra en caracterizar materiales reforzados con fibras naturales, fabricados mediante la técnica de infusión en vacío, cuyo propósito es analizar la incidencia de las capas de fique en los parámetros modales. Se utilizaron matrices termoestables, bio-bases y refuerzos naturales con distribución de fibras en forma tejida y aleatoria. Los resultados demostraron que la rigidez y resistencia aumentan en proporción al número de fibras empleadas, y que los tejidos de bio-compuestos de fique mostraron un comportamiento mecánico superior a los que tenían una disposición aleatoria. Esto puede ser útil en el proceso de diseño y análisis de materiales que se deseen obtener mediante la pultrusión, considerando una producción de un material amigable a nivel ambiental.

4.2 REFERENTES

4.2.1 Materiales Compuestos. A continuación, se describen las propiedades de los materiales compuestos, incluyendo su clasificación según el tipo de matriz que poseen y el papel que desempeña la fibra de fique en ellos. También se define la interfaz y se explican sus características más relevantes.

Según Khayal⁷, un material compuesto se define como una combinación de dos o más materiales diferentes que buscan mejorar sus propiedades individuales. A diferencia de las aleaciones, cada material mantiene

⁵ LINERO LLANES, Arturo. Compuesto de fibra de fique reforzado con resina epóxica. Trabajo de grado. Bogotá D.C.: Universidad de los Andes, 2010. 55 p.

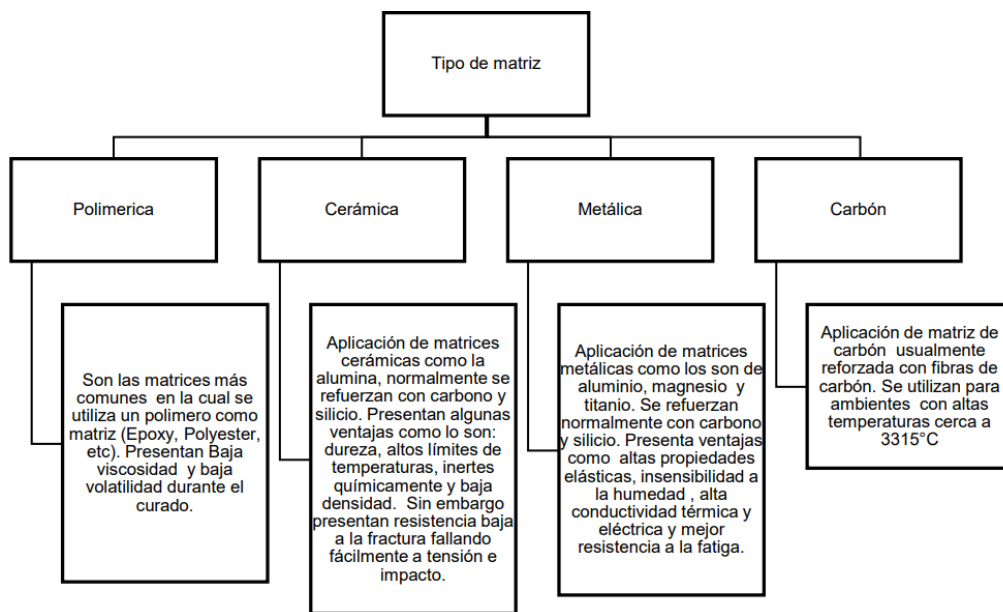
⁶ GÓMEZ SUÁREZ, Sergio. Caracterización dinámico-mecánica de materiales biocompuestos reforzados con fibras de fique. Trabajo de Maestría. Pamplona -Norte de Santander: Universidad de Pamplona, 2017. 132 p.

⁷ KHAYAL, Osama Mohammed. Literature review on imperfection of composite laminated plates. En: *Journal of Microscopy and Ultrastructure*. 2017, vol. 5, nro. 3, pp. 119-122. DOI: 10.1016/j.mau.2017.011.001

sus propiedades químicas, físicas y mecánicas por separado. Estos materiales constan de una matriz y un refuerzo, lo que les confiere una ventaja importante en términos de resistencia y rigidez con un peso reducido.

4.2.1.1 Tipo de matriz. La clasificación de los materiales compuestos puede variar en función del tipo de matriz que se emplee, como se muestra en la figura 1. De acuerdo con Kaw⁸, existen varios tipos de materiales compuestos, tales como los compuestos de matriz polimérica (PMC), los compuestos de matriz metálica (MMC) y los compuestos de matriz cerámica (CMC). Para el proyecto en cuestión, se utilizará una matriz polimérica (PMC), y el autor proporciona un esquema para una mejor comprensión de los conceptos.

Figura 1. Clasificación de materiales compuestos.

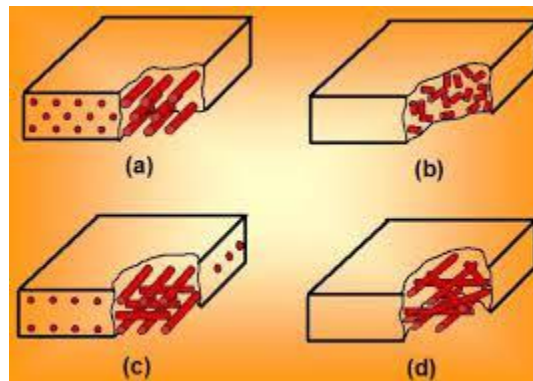


Fuente: KAW, Autar. Mechanics of Composite Materials. 2 ed. Blacksburg, Virginia: CRC Press, 2002. Vol. 29. ISBN 0-8493-1343-0

⁸ KAW, Autar. Mechanics of Composite Materials. 2a ed. Blacksburg, Virginia: CRC Press, 2002. 270 p.

4.2.1.2 Clasificación. Delgado⁹ ha propuesto una clasificación de los materiales compuestos en dos tipos: reforzados con fibra (compuestos fibrosos) y compuestos reforzados con partículas (compuestos particulados). La figura 2 muestra la clasificación y la dirección de las fibras o partículas, que incluye las opciones a) Reforzado con fibra continua (alineado), b) reforzado con partículas dispersas, c) reforzado con fibra continua (alineado con un ángulo de orientación de fibra de 0– 90°), y d) continuo reforzado con fibra (ángulo de orientación de fibra multidireccional). Para el proyecto en cuestión, se ha elegido la opción a), con la fibra de fique como refuerzo.

Figura 2. Morfología de compuestos reforzados con fibra.



Fuente: RENGIFO, César. Producción de un material compuesto de fibra de carbono con matriz abs. Trabajo de grado Ingeniero Mecánico. Santiago de Cali.: Universidad del Valle. Facultad de ingeniería, 2019. 38p.

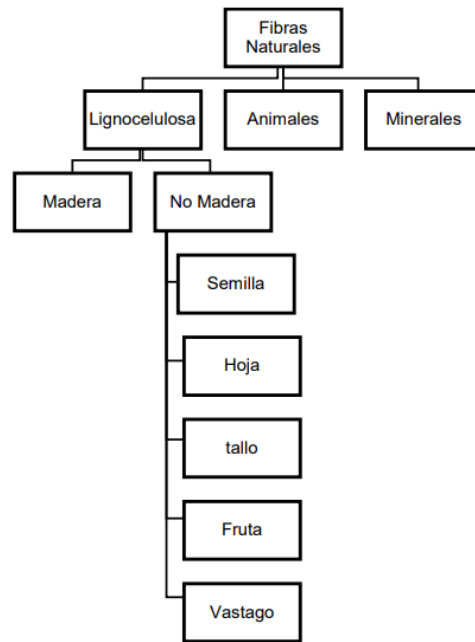
4.2.2 Fibras naturales. Se entiende por material biocompuesto a una combinación de materiales que poseen propiedades biodegradables, entre ellos fibras naturales, con una matriz que se deriva del petróleo o de un polímero que es biodegradable.

Majeed¹⁰ propone que las fibras naturales pueden ser clasificadas en tres categorías principales según su origen: plantas (lignocelulosas y no maderas), animales y minerales. A su vez, las fibras lignocelulosas se dividen en fibras de madera y de no maderas, siendo estas últimas las que incluyen las fibras de semillas, hojas, frutas, tallos y vástagos. Esta clasificación se puede visualizar en la figura 3.

⁹ DELGADO, J.M.P.Q. Industrial and Technological Applications of Transport in Porous Materials. Porto, Portugal: Springer, 2013, vol. 36. ISBN: 978-3-642-37468-5.

¹⁰ MAJEED, Khalid. Potential materials for food packaging from nanoclay/natural fibres filled hybrid composites. En: *Materials & Design*. 2011, Vol. 46, pp. 391-410. DOI: 10.1016/j.matdes.2012.10.044

Figura 3. Clasificación de la fibra de fique.



Fuente: GÓMEZ SUÁREZ, Sergio. Caracterización dinámico-mecánica de materiales biocompuestos reforzados con fibras de fique. Trabajo de Maestría. Pamplona -Norte de Santander: Universidad de Pamplona, 2017. 132 p.

El uso de fibras naturales en materiales compuestos tiene ventajas como baja densidad, bajo costo, disponibilidad, renovabilidad, resistencia a la corrosión y biodegradabilidad. Sin embargo, Hidalgo et al.¹¹ señalan que el uso de fibras naturales presenta dificultades de compatibilidad con la matriz debido a sus características hidrofílicas y la hidrofobicidad de la matriz, lo que afecta las propiedades mecánicas del compuesto. Además, Kaith et al.¹² mencionan que las fibras naturales tienen una temperatura de degradación promedio de alrededor de 200°C, lo que limita su uso con matrices que tienen altas temperaturas de curado o con polímeros termoplásticos que tienen altas temperaturas de fusión.

¹¹ HIDALGO, Miguel; MUÑOZ, Mario y QUINTANA, Karen. Desempeño mecánico del compuesto polietileno aluminio reforzado con agro fibras continuas de fique. En: *Revista Latinoamericana de Metalurgia y Materiales*. 2011, vol. 31, nro. 2, pp. 187-194. ISSN 0255-6952.

¹² KAITH, Balbir; KALIA, Susheel; y KAUR, Inderjeet. Pretreatments of natural fibres and their application as reinforcing material in polymer composites. En: *Polymer Engineering and Science*. 2009, vol. 49, nro. 7, pp. 131-135. DOI: 10.1002/pen.21328

Tabla 1. Propiedades de algunas fibras naturales.

Properties	Fibres							
	E-glass	Hemp	Jute	Ramie	Coir	Sisal	Flax	Cotton
Density g/cm ³	2.55	1.48	1.46	1.5	1.25	1.33	1.4	1.51
Tensile strength (MPa)	2400	550-900	400-800	500	220	600-700	800-1500	400
E-Modulus (GPa)	73	70	10-30	44	6	38	60-80	12
Specific (E/d)	29	47	7-21	29	5	29	26-46	8
Elongation at failure (%)	3	1.6	1.8	2	15-25	2-3	1.2-1.6	3-10
Moisture absorption (%)	-	8	12	12-17	10	11	7	8-25

Fuente: WAMBUA, Paul; IVENS, Jan y VERSPOEST, Ignass. Natural fibres: can they replace glass in fibre reinforced plastics. En: *Composites Science and Technology*. 2003, nro 63, pp.1259-1264. DOI: 10.1016/S0266-3538(03)00096-4

4.2.2.1 Fibra de fique: El fique es una fibra vegetal versátil y sostenible que tiene muchas aplicaciones en diferentes industrias. Gracias a sus propiedades, como su resistencia y biodegradabilidad, el fique se ha convertido en una alternativa ecológica a otros materiales sintéticos en el mercado.

En la tabla 2 se presentan las características principales de la fibra de fique.

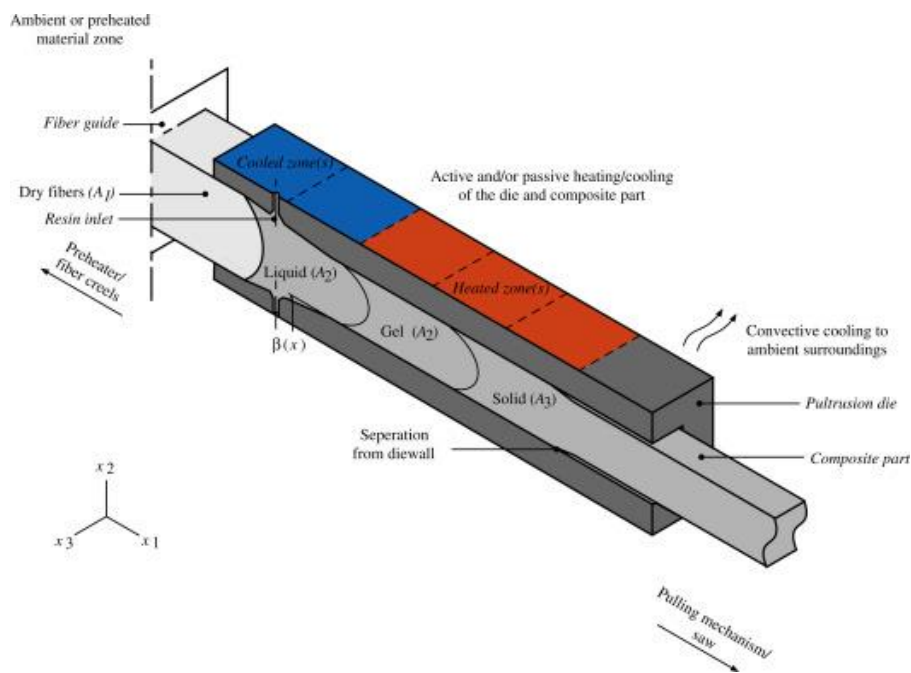
Tabla 2. Características de la fibra de fique.

Característica	Fique	Media
Diámetro equivalente (mm)	0,160 - 0,420	0,24
Densidad aparente (g/cm ³)	0,72	----
Densidad específica (g/cm ³)	1,74	----
Absorción de agua (%)	60	
Resistencia máxima a la tensión (MPa)	43 - 571	132,4
Elongación última (%)	9,8	
Módulo de elasticidad	8,200 - 9,100	

Fuente: HIDALGO SALAZAR, Miguel; MINA HERNÁNDEZ, José y MUÑOZ VÉLEZ, Mario. Fibras de fique una alternativa para el reforzamiento de plásticos. Influencia de la modificación superficial. En: *Bioteología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*. 2014. vol. 12, nro. 2, pp. 60-70. ISSN 1692-3561.

4.2.3 Pultrusión. Según Sandberg *et al*¹³, la pultrusión es un proceso de fabricación en cadena que utiliza materiales compuestos de un polímero termoestable y una fibra, como fibra de vidrio o carbono. El proceso implica la preparación de las fibras, la impregnación con resina y la dirección hacia la matriz de conformado. El compuesto se somete a procesos de preformado, extrusión y tratamiento térmico para obtener la forma deseada. El producto final se corta y se somete a acabados finales, como pulido, perforado y pintado.

Figura 4. Descripción general de los pasos que tienen lugar dentro de la matriz de un proceso RIP termoestable con una cámara de impregnación cónica.



Fuente: SANDBERG, Michael *et al.* Numerical modeling of the mechanics of pultrusion. En: Mechanics of Materials in Modern Manufacturing Methods and Processing Techniques. Loughborough, Vadim V. Silberschmidt, 2020. P.173-195

¹³ SANDBERG, Michael *et al.* Numerical modeling of the mechanics of pultrusion. En: Mechanics of Materials in Modern Manufacturing Methods and Processing Techniques. Loughborough, Vadim V. Silberschmidt, 2020. P.173-195

5. DISEÑO METODOLÓGICO

5.1. ENFOQUE Y TIPO DE ESTUDIO

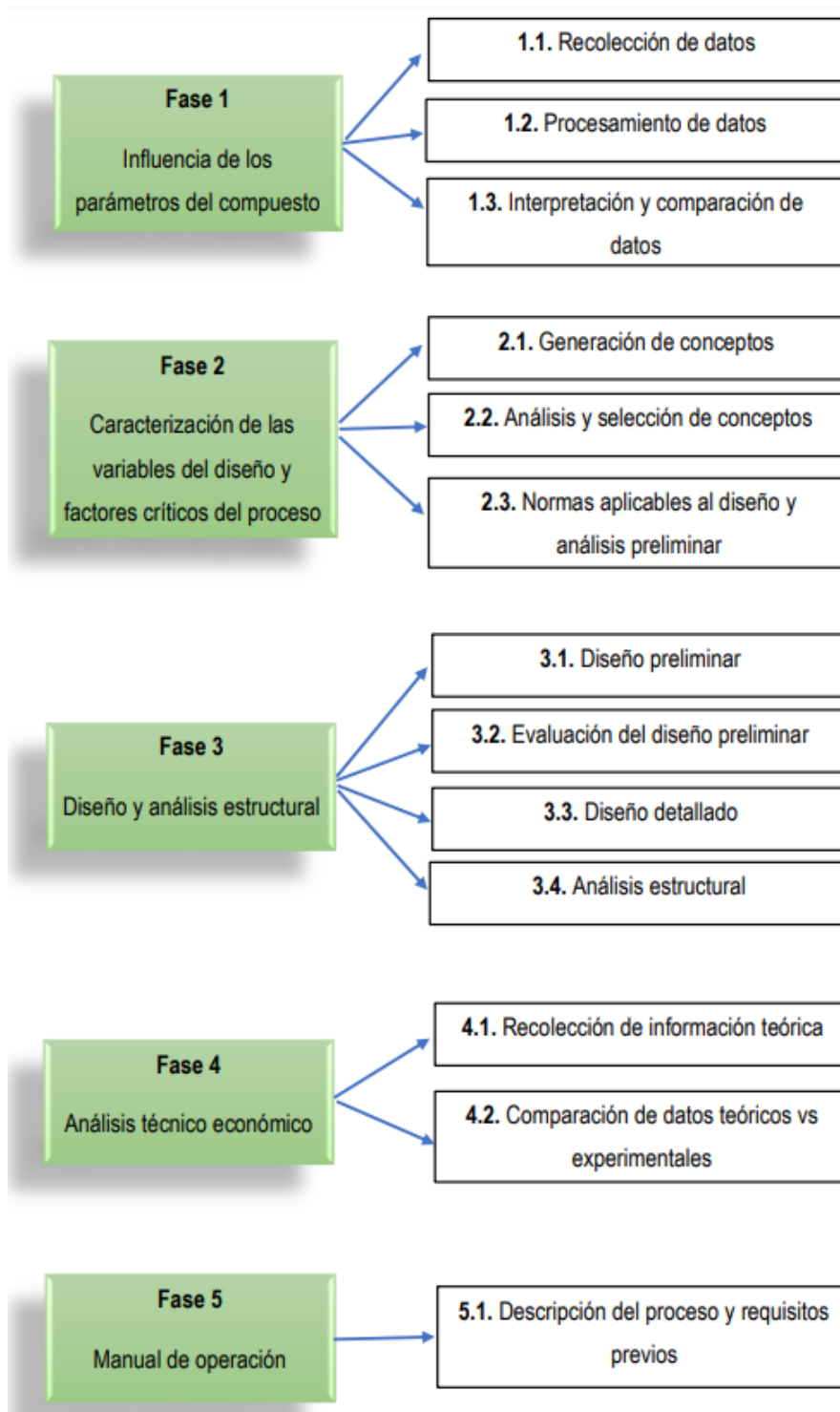
La presente investigación tendrá un enfoque mixto la cual consiste en recopilar, analizar e integrar tanto investigación cuantitativa como cualitativa. Las variables cuantitativas contienen información medible, quiere decir que se analizarán estadísticamente las puntuaciones o datos recopilados. En este caso, esas variables pueden ser a partir de encuestas, resultados de pruebas de resistencias al material y análisis y selección de piezas que componen la máquina. Las variables cualitativas expresan cualidades o atributos del elemento en análisis, estas variables podrían ser el tipo de tejido o entrelazado del fique, apariencia y dimensiones del material final y diseño estructural de la máquina.

La forma en la que va a ser diseñada la máquina puede ser de tipo experimental o no experimental, en este caso será de tipo experimental ya que como su denominación indica, se basan en la realización de un experimento de campo, ya que permitiría manipular la máquina y su producto final dentro de lo limitado en su propio diseño. En cuanto al tipo de investigación, analizaremos principalmente dos tipos: exploratorio, este tipo de investigación permite reunir información relacionada con un tema sin exploración, en este caso el material y la forma de realización es nuevo porque no se hallaron antecedentes; descriptivo, en esta investigación se busca caracterizar la máquina con planos de diseño detallados de la máquina.

5.2. FASES, TÉCNICAS Y ESTRATEGIAS PARA EL DESARROLLO DE LOS OBJETIVOS

Para cumplir con el desarrollo de los objetivos propuestos se plantea dividir el diseño en tres grandes ramas y desarrollar los subíndices que estos contienen.

Figura 5. Fases, técnicas y estrategias para el desarrollo del proyecto.



Fuente: Autores.

5.2.1. Fase 1: Influencia de los parámetros del compuesto. Esta etapa implica evaluar y medir los parámetros clave del proceso, tales como la tensión, la concentración de resina, la cantidad de la fibra y la temperatura, para determinar cómo afectan estos parámetros en los elementos del prototipo.

- **Recolección de datos.** En esta subsección se recopilará el material teórico y experimental para la evaluación de los parámetros establecidos.
- **Procesamiento de datos.** Se analizarán y procesarán los datos obtenidos en el apartado anterior, para determinar los valores de los parámetros evaluados.
- **Interpretación y comparación de datos.** Se utilizará la información procesada para comparar y contrastar diferentes conjuntos de datos. La interpretación implicará el examen detallado de los datos para identificar patrones, tendencias, relaciones y significado.

5.2.2. Fase 2: Caracterización de las variables del diseño y factores críticos del proceso. Se identificarán, definirán y analizarán las variables y factores que afectan directamente el sistema en cuestión.

- **Generación de conceptos.** En esta subsección se tienen en cuenta las necesidades y limitaciones del diseño, determinado variables y elementos críticos para el desarrollo del proceso.
- **Análisis y selección de conceptos.** Se empleará la matriz QFD para evaluar los subsistemas y determinar cuáles cumplen mejor con los requisitos de diseño de la máquina. A partir de esta evaluación, se seleccionará el diseño del prototipo y se identificarán los elementos y materiales que se ajusten de manera óptima al diseño seleccionado.
- **Normas aplicables al diseño y análisis preliminar.** Se considerarán las normas, códigos y leyes que limitan las características del diseño. Por otra parte, el análisis preliminar se encargará de prever posibles riesgos, problemas y complicaciones que puedan surgir en relación con el prototipo.

5.2.3. Fase 3: Diseño y análisis estructural

- **Diseño preliminar.** Se realizarán bocetos del prototipo y la división de los subsistemas, con el fin de integrar los requerimientos en el diseño.

- **Evaluación del diseño preliminar.** Se evaluará la solución preliminar para asegurar el cumplimiento de los requisitos y se determinarán posibles cambios o mejoras de ser necesario.
- **Diseño detallado.** Se llevarán a cabo dibujos detallados del prototipo, complementado mediante diseño asistido por software de diseño (CAD). Así mismo, se realizarán los respectivos planos de sus componentes, seleccionarán materiales y especificaciones precisas que permitan la correcta simulación estructural del diseño del prototipo final.
- **Análisis estructural.** Se simulará mediante CAD el prototipo de la máquina de pultrusión para evaluar sus propiedades mecánicas y cinemáticas, teniendo en cuenta la resistencia de los materiales, rigidez y peso.

5.2.4. Fase 4: Análisis técnico económico

- **Recopilación de la información teórico-económica.** Esta fase consiste en buscar y recopilar toda la información teórico-económica relevante y necesaria para el proyecto o investigación en cuestión. Esto puede incluir la revisión de literatura científica, manuales técnicos, normativas y estándares, entre otros.
- **Análisis de patrones de precios.** Se establecen los valores de los equipos y elementos a usar en la construcción del prototipo.

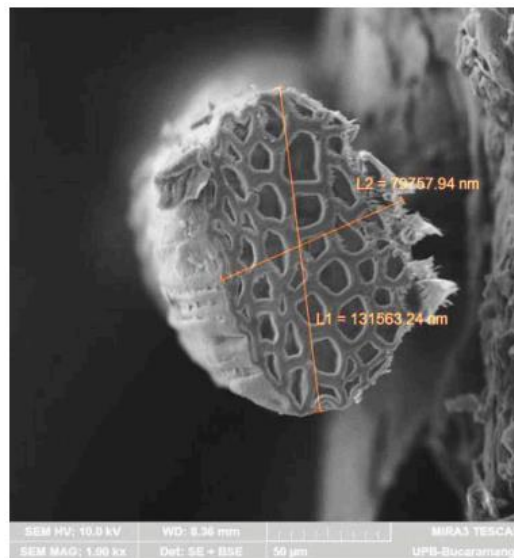
5.2.5. Fase 5: Manual de operación

- **Manual del proceso y requisitos previos.** Esta fase conlleva elaborar el documento que proporciona información detallada del funcionamiento del prototipo. Instrucciones de instalación, instrucciones de uso y procedimiento de operación.

6. RESULTADOS

Los hilos de fique suministrados por Coohilados del Fonce Ltda. se caracterizan por constar aproximadamente de 29 fibras individuales, cada una con un diámetro estimado de 0.016 mm, lo que suma un diámetro total de 1.44 mm. Los resultados experimentales obtenidos para un solo hilo de fique revelaron que posee un módulo de elasticidad de 22.06 GPa, teniendo una longitud de 250 mm. Además de estas propiedades, el hilo exhibe un módulo de corte de 8.82 GPa y una relación de Poisson de 0.25. Estas características resaltan la calidad y versatilidad de los hilos de fique proporcionados por Coohilados del Fonce Ltda., lo que resulta de gran relevancia para este estudio de grado.¹⁴

Figura 6. Sección transversal de una fibra de fique cruda.



Fuente: GARCÍA SÁNCHEZ, Gabriel, et al. Fique as thermal insulation morphologic and thermal characterization of fique fibers. En: *Cogent Engineering*. 2019, vol. 6. DOI: 10.1080/23311916.2019.1579427.

¹⁴ GONZÁLEZ ESTRADA, Octavio; QUIROGA MÉNDEZ, Jabid y DÍAZ RAMIREZ, Germán. Mechanical Response and Damage of Woven Composite Materials Reinforced with Fique. En: *Key Engineering Materials*. 2018, vol. 774, pp. 143-148. DOI: 10.4028/www.scientific.net/KEM.774.143

La evaluación de resinas tipo epoxi (ver tabla 3) implica la comparación a través de propiedades fundamentales como la densidad, resistencia, módulo de tracción, y otras características significativas. Estas propiedades, que ejercen una influencia crucial en la toma de decisiones, permiten una comprensión profunda del comportamiento de las resinas epoxi y bioepoxi, mostrando así su similitud.

Tabla 3. Comparación de propiedades de las resinas.

Propiedades	Unidades	Resina BioEpoxi	Resina Epoxi	% Error
Densidad	[g/cm ³]	1,11	1,21	9,01
Resistencia tracción	[MPa]	57,9	68,8	18,83
Módulo de tracción	[MPa]	2830	4200	48,41
Alargamiento de rotura	[%]	2,8	2	28,57
Resistencia a la flexión	[MPa]	97,1	110	13,29
Diferencia	[%]		23,62	

Fuente: Autores.

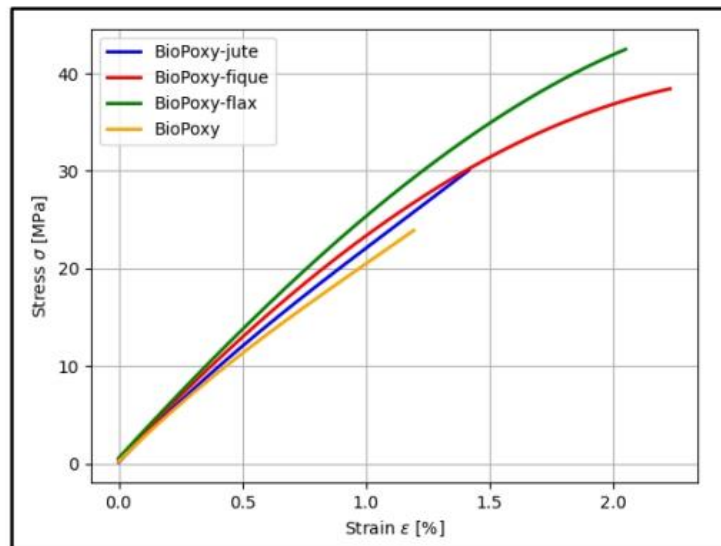
6.1. CARACTERIZACIÓN ESTÁTICA

La fabricación de compuestos de resina reforzados por fibras naturales afronta ciertos desafíos vinculados a aspectos tales como el efecto de la humedad, la no linealidad de las fibras y la fracción volumétrica de las mismas.

Partimos de una caracterización inicial con un compuesto laminado manualmente el cual arrojó una fracción volumétrica del 10,3%. En la resina biopoxy36 se evidenció una variación en las propiedades documentadas en la ficha técnica de la misma atribuida principalmente a la humedad del entorno. Por otro lado, se generó un comportamiento no lineal en el compuesto con fibras de fique como se evidencia en la figura 7, lo cual representa el comportamiento viscoelástico debido a la elongación o deformación que experimenta la fibra

antes de llegar a su punto de cedencia. Por último, a pesar de que aumentar la fracción volumétrica de la fibra de fique podría mejorar la resistencia y rigidez del material compuesto, esto puede generar una procesabilidad más difícil, por ello, se buscó un equilibrio entre las propiedades de refuerzo y la capacidad de procesamiento.¹⁵

Figura 7. Curvas de laminado manual para resina Biopoxy, Biopoxy-Fique, Biopoxy-Yute y Biopoxy-Lino.

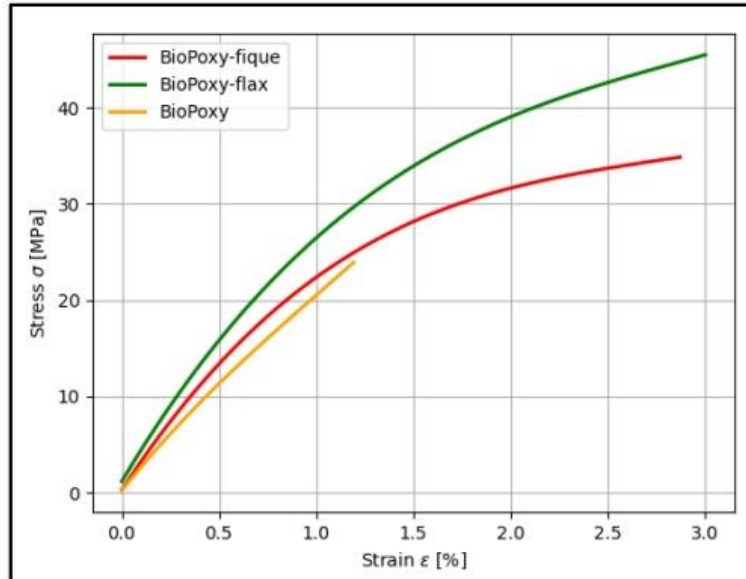


Fuente: CASTRO BERMÚDEZ, Juan Dayal. Structural integrity of a VAWT rotor made of bio-composite material. Trabajo de Maestría. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander, 2023. 60 p.

Por otro lado, se realizaron probetas mediante la técnica de empacado al vacío con el fin de eliminar porosidades encontradas durante el primer proceso y, de esta manera, garantizar la precisión y consistencia de las pruebas. Dicho proceso se ejecutó a una presión de 20 mmHg durante 30 minutos, cuyo contenido fibra osciló de 25 a 35% en volumen, mediante un patrón de tejido bidireccional. El curado se ejecutó de acuerdo con las especificaciones del fabricante de la resina, el cual sugiere un tiempo aproximado de 7 días antes de realizar pruebas.

¹⁵ CASTRO BERMÚDEZ, Juan Dayal. Structural integrity of a VAWT rotor made of bio-composite material. Trabajo de Maestría. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander, 2023. 60 p.

Figura 8. Curvas medias de envasado al vacío para Biopoxy-Fique



Fuente: CASTRO BERMÚDEZ, Juan Dayal. Structural integrity of a VAWT rotor made of bio-composite material. Trabajo de Maestría. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander, 2023. 60 p.

Se realizó una comparación de las propiedades del compuesto entre los dos métodos utilizados para la elaboración de las probetas, siguiendo la norma ASTM D3039, evidenciando una mejora significativa en la proporción de volumen de fique durante el proceso de envasado al vacío, cuyo valor se estableció alrededor del 27.2%¹. No obstante, el laminado manual presentó un incremento del 9.33% en la tensión máxima respecto al proceso de envasado al vacío, viéndose una superioridad de este último método de fabricación de aproximadamente 28.7% y 6.42% en las propiedades de deformación máxima y módulo de Young respectivamente.

En contraste, los valores arrojados por la probeta con envasado al vacío evidencian una mejora en las propiedades mecánicas del compuesto (ver tabla 4), pues se presenta un incremento del 141% y 45.3% de la deformación y tensión máxima según el orden, respecto al análisis ejecutado para la resina Biopoxy³⁶.

Tabla 4. Comparación de las propiedades estáticas del compuesto Biopoxy-Fique.

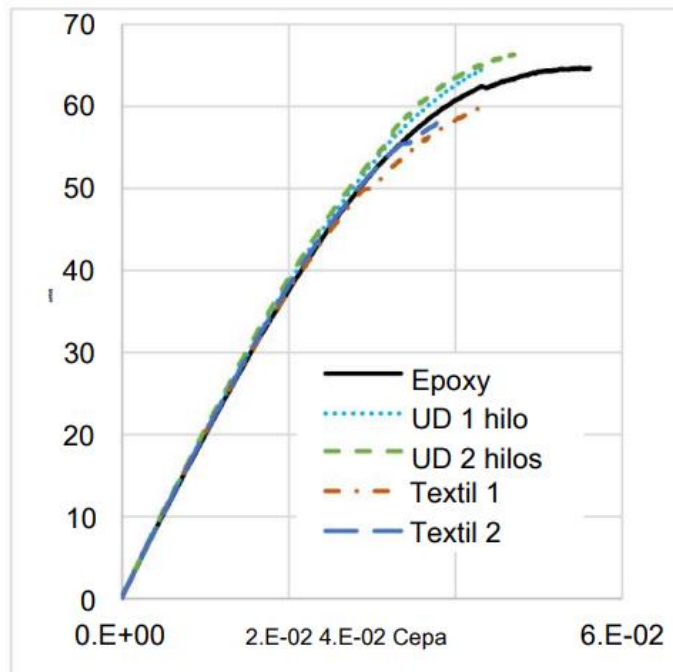
Proceso	Material	Tensión máxima [MPa]	Deformación máxima [%]	Módulo de Young [GPa]
-	Biopoxy 36	23.6 ± 2.85	1.19 ± 0.14	2.22 ± 4.89
Laminado manual	Biopoxy-Fique	37.5 ± 1.75	2.23 ± 0.32	2.65 ± 0.0078
Envasado al vacío		34.3 ± 1.75	2.87 ± 0.64	2.82 ± 0.64

Fuente: Autores.

Los materiales compuestos de fique exhiben un incremento en el módulo de elasticidad a medida que aumenta la cantidad de hilos, y al mismo tiempo, experimentan una reducción en la deformación. Este fenómeno se observa también en materiales reforzados con tejido. Los materiales compuestos muestran un rendimiento superior en pruebas de tracción en comparación con las pruebas de flexión, principalmente debido a la distribución eficaz de las fibras cuando se emplea el Epoxy R744 como matriz. Esta mejora se confirmó mediante el análisis de los modos de fallo, que revelaron una excelente adherencia entre los dos materiales y una impregnación óptima.¹⁶

¹⁶ DÍAZ RAMIREZ, Germán y GONZÁLEZ ESTRADA, Octavio. Numerical and experimental study of flexural behaviour in polymer composite materials reinforced with natural fique textiles. En: *Journal of Physics: Conference Series*. 2019, vol. 1247, nro. 1, DOI: 10.1088/1742-6596/1247/1/012001.

Figura 9. Curvas tensión vs deformación de compuestos, obtenidas mediante ensayos de flexión.



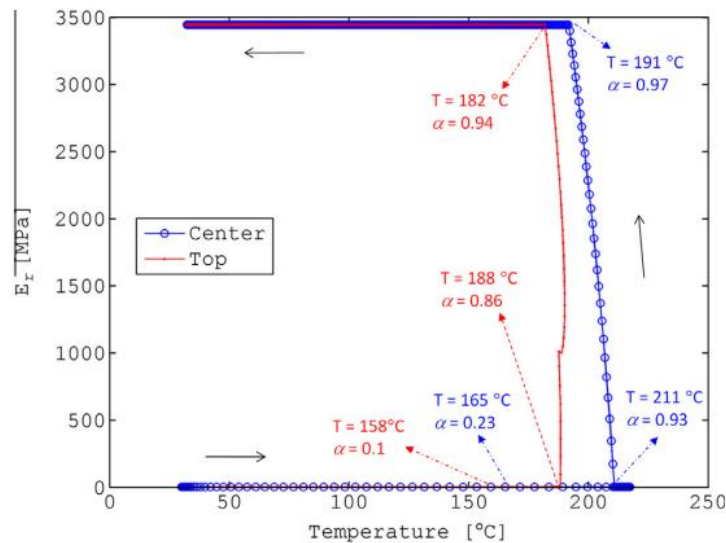
Fuente: DÍAZ RAMIREZ, Germán y GONZÁLEZ ESTRADA, Octavio. Numerical and experimental study of flexural behaviour in polymer composite materials reinforced with natural fique textiles. En: *Journal of Physics: Conference Series*. 2019, vol. 1247, nro. 1, DOI: 10.1088/1742-6596/1247/1/012001.

6.2. CARACTERIZACIÓN DEL PROTOTIPO DE PULTRUSIÓN

El artículo titulado "Simulation of heat transfer and cure in pultrusion with a general-purpose finite element package" aborda un análisis minucioso que implica la optimización de una curva de curado de materiales. Este enfoque permite la selección precisa de las temperaturas y dimensiones adecuadas para cada zona de calentamiento con el fin de establecer un proceso de pultrusión óptimo. A pesar de que las resinas de tipo Epoxy comparten propiedades similares entre sí, este estudio no aborda una variante biodegradable de dicha resina. Esta omisión genera una diferencia significativa (ver tabla 3) que será debidamente ponderada a lo largo del desarrollo del prototipo mediante la aplicación de factores de corrección, ajustados en función del porcentaje de diferencia las propiedades de las resinas.

En el proceso de pultrusión, la resina experimenta un proceso de endurecimiento a medida que se lleva a cabo su reacción química, lo cual se conoce como grado de curado (α) este proceso no ocurre igual en el centro geométrico de la muestra (Center) y en el extremo en contacto con el troquel (Top) puesto que presenta diferentes temperaturas y grados de curado. Este parámetro posee una gran importancia en la fabricación de compuestos termoestables, ya que está estrechamente vinculado con propiedades fundamentales, como la resistencia del material.

Figura 10. Desarrollo de módulo de resina en función del curado y la temperatura.

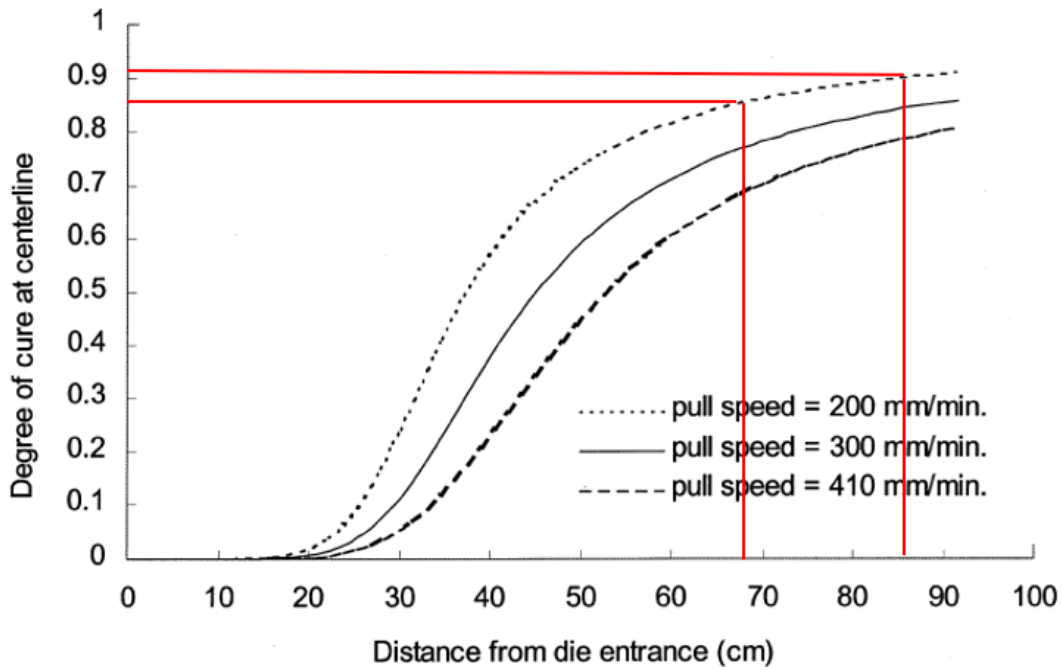


Fuente: BARAN, Ismet, et al. Process induced residual stresses and distortions in pultrusion. En: *Composites Part B: Engineering*. 2013. vol. 51, p. 148-161. ISSN 1359-8368.

De acuerdo con los ensayos efectuados por Liu, Crouch y Lam (2014), se observó una correlación inversa entre el grado de curado y la velocidad de tracción. Esto se debe al hecho de que, al aumentar la velocidad de desplazamiento de la pieza moldeada, se reduce el tiempo disponible para que el material complete su reacción química de curado. Además, la reacción se retrasa debido al diferencial de temperaturas entre las fases del proceso.

El incremento en la velocidad de tracción de la pieza pultruida se correlaciona directamente con la extensión de la longitud del troquel. Por lo tanto, la velocidad que se ajusta a las especificaciones del diseño es de 200 mm/min.

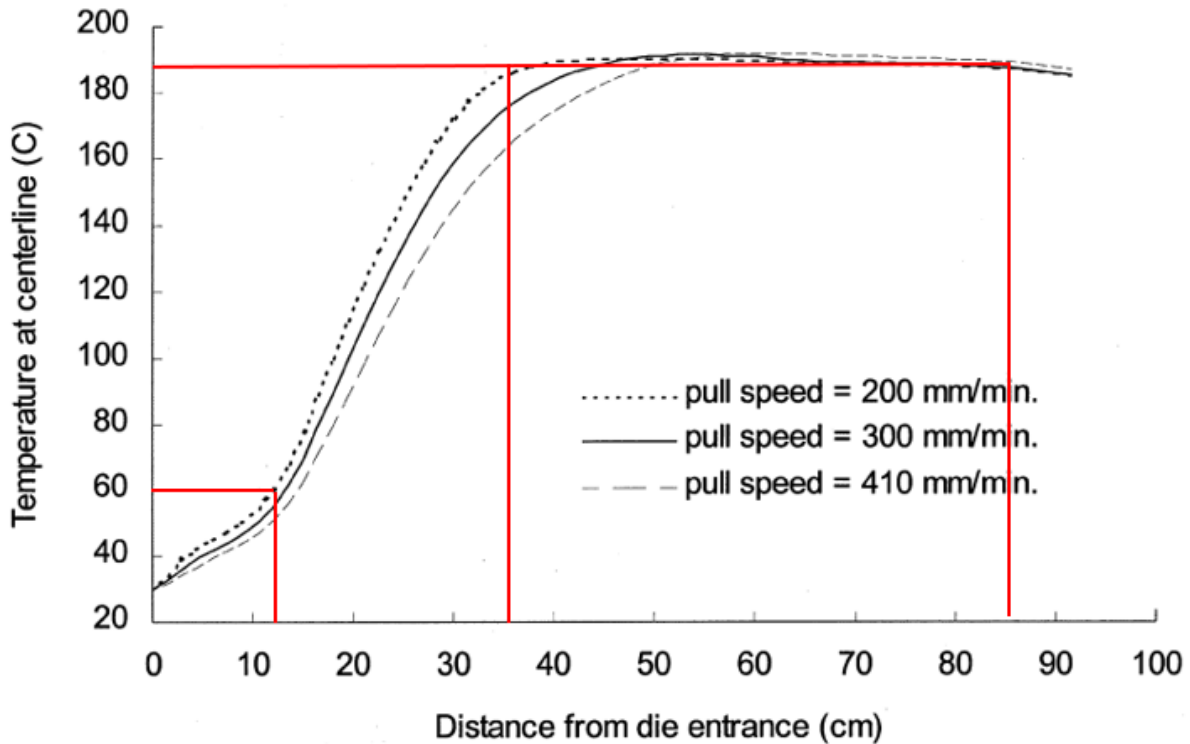
Figura 11. Grados de curado previstos a varias velocidades de tracción para la placa plana.



Fuente: LIU, Xiao Lin; CROUNCH, I. y LAM, Y. Simulation of heat transfer and cure in pultrusion with a general-purpose finite element package. En: *Composites Science and Technology*. 2014, vol. 60, pp. 857-864. DOI: 10.1016/S0266-3538(99)00189-X.

La figura 11 muestra esta relación en donde se observa como el compuesto empieza a ganar rigidez cuando el grado de cura alcanza un valor aproximado de 0.86, para una composición en peso del 65% en fibra, no obstante, el punto central del material adquiere una mayor resistencia en un grado de cura del 0.91, generando así un rango óptimo de operabilidad, puesto que un curado excesivo puede llegar a debilitar la pieza. Como se observa en la figura 11, obtenemos una longitud de troquel aproximada de 85 cm, la cual posee tres zonas de calentamiento, cuya distribución se presenta a continuación:

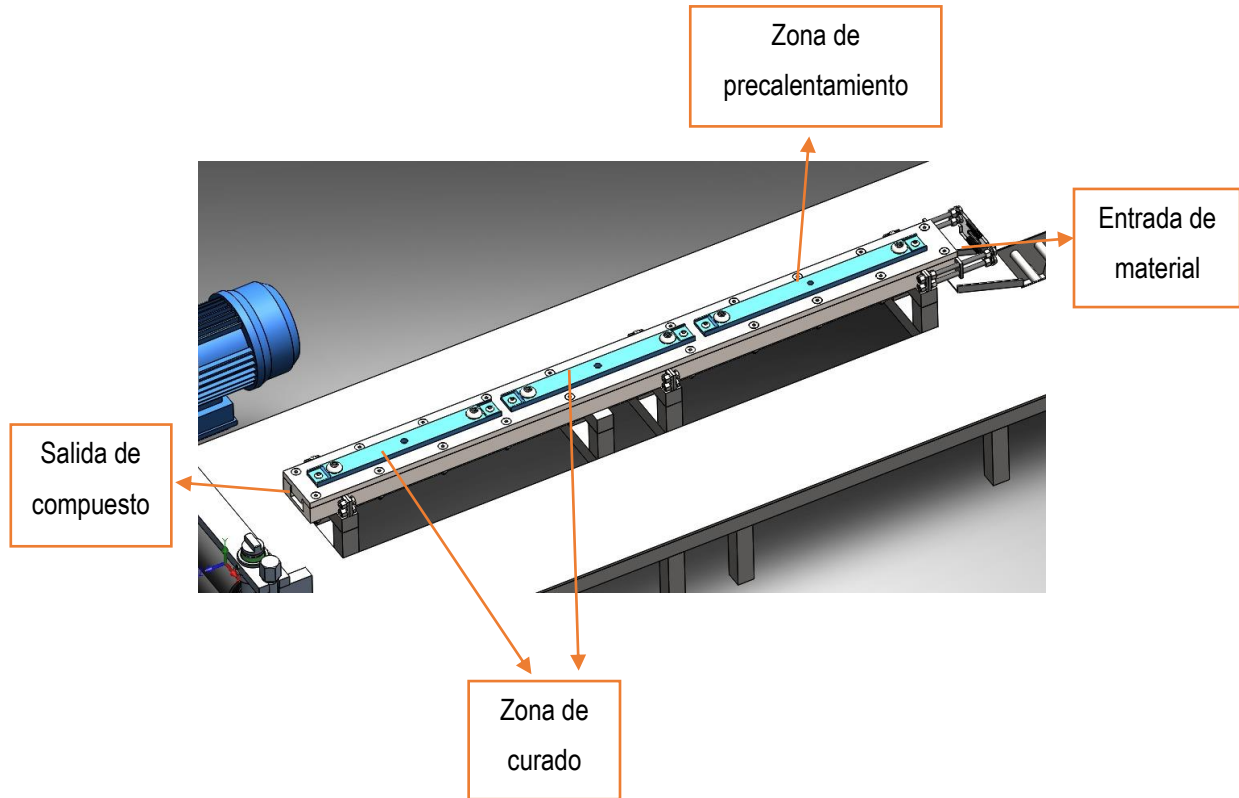
Figura 12. Temperaturas previstas a varias velocidades de tracción para la placa plana.



Fuente: LIU, Xiao Lin; CROUNCH, I. y LAM, Y. Simulation of heat transfer and cure in pultrusion with a general-purpose finite element package. En: *Composites Science and Technology*. 2014, vol. 60, pp. 857-864. DOI: 10.1016/S0266-3538(99)00189-X.

La configuración del proceso incluye una primera zona de precalentamiento que se extiende a lo largo de los primeros 35 cm del troquel, partiendo desde la temperatura ambiente. A continuación, se encuentra una segunda zona de curado con una temperatura aproximada de 185 grados, que se extiende desde el extremo de la primera zona de precalentamiento hasta la región final del troquel. Debido a la considerable longitud de esta segunda zona, se ha dividido en dos secciones, como se muestra en la figura 13.

Figura 13. Zonas de precalentado y secado mediante resistencias.



Fuente: Autores.

De acuerdo con Raymond (2012), se establece que la sección transversal de la pieza pultruida debe ser, como mínimo, diez veces más pequeña que la sección transversal del troquel. Esto se justifica por la consideración de que el prototipo en cuestión está destinado a generar probetas para ensayos futuros de tracción, con el propósito de analizar sus propiedades mecánicas.

Del mismo modo, en la norma ASTM E8, titulada "Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials," se especifica que las probetas deben tener una longitud mínima de 200 mm, un ancho de 30 mm y un espesor de 3.18 mm. Como resultado, el área transversal de estas probetas se calcula en 95.4 mm². En contraste, el área transversal mínima del troquel es de 95.4 mm².

Con el propósito de mejorar la introducción del material en el troquel, se ha diseñado una boca acampanada con una longitud de 60 mm. Esta medida se ha establecido de acuerdo con los estándares previamente mencionados en estudios anteriores, y se refiere a la distancia desde la entrada del troquel hasta la primera zona de calentamiento. Este enfoque se ha adoptado para optimizar el proceso y garantizar la eficiencia en la alimentación del material en el troquel.

En el libro "Pultrusion: State of the art Process Models" se analizan los efectos de cuatro ángulos cónicos, y los resultados de dicho estudio indican que a medida que el ángulo aumenta, se logra un "flujo necesario para evitar la formación de huecos o ampollas". Cabe destacar que el ángulo máximo examinado en el estudio fue de 15 grados. Estos hallazgos sugieren que un ángulo mayor es beneficioso para prevenir la formación de imperfecciones como huecos o ampollas en el proceso estudiado.

6.2.1. Dosificación de la fibra. Dado que estamos operando dentro de un rango de porcentaje volumétrico, se optó por utilizar hasta un 65% de fibra, ya que este valor se considera óptimo para mantener una uniformidad adecuada entre el fique y la resina dentro del troquel. A partir de esta elección y teniendo en cuenta el volumen de la matriz, nuestro objetivo es determinar la cantidad de hilos que deben sumergirse en el mismo para cumplir con los parámetros previamente establecidos.

$$V_{matriz} = Fc * L * b * h \quad (1)$$

Donde:

- V_{matriz} = Volumen de la matriz.
- L = Largo de la matriz.
- b = Ancho de la matriz.
- h = Altura de la matriz.
- Fc = Factor de corrección. [Se descontó 60 mm de la zona de precalentado, no obstante, se sumaron 30 mm (2 zonas para contracción de 15mm)]

Teniendo en cuenta una posible variación en la longitud del troquel debido al porcentaje de error generado por la desigualdad de las propiedades de las resinas, se emplea un factor de corrección del 20% en la longitud final de la zona de curado, teniendo en cuenta que es nuestro proceso crítico. Una vez calculada la longitud corregida, se restan 60 mm correspondientes a las 2 entradas acampanadas.

$$V_{matriz} = (1.2 * 850 [mm] - 60[mm]) * 30[mm] * 3.18[mm] = 91584[mm^3]$$

$$V_{fibra} = \frac{\%Fibra * V_{matriz}}{100} \quad (2)$$

Donde:

- V_{fibra} = Volumen de la fibra.
- $\%fibra$ = Porcentaje volumétrico de la fibra.

$$V_{fibra} = \frac{65 * 91584[mm^3]}{100} = 59529.6[mm^3]$$

$$V_{Resina} = \frac{\%Resina * V_{matriz}}{100} \quad (3)$$

Donde:

- V_{resina} = Volumen de la resina.
- $\%resina$ = Porcentaje volumétrico de la resina.

$$V_{Resina} = \frac{35 * 91584[mm^3]}{100} = 32054.4[mm^3]$$

$$M_{fibra} = V_{fibra} * \rho_{fibra} \quad (4)$$

Siendo:

- M_{fibra} = Masa de la fibra
- ρ_{fibra} = Densidad de la fibra.

$$M_{fibra} = 59529.6 [mm^3] * 0,00072 \left[\frac{g}{mm^3} \right] = 42.86 [g]$$

$$M_{resina} = V_{resina} * \rho_{resina} \quad (5)$$

Siendo:

- M_{resina} = Masa de la resina
- ρ_{resina} = Densidad de la resina.

$$M_{resina} = 32054.4 [mm^3] * 0.00111 \left[\frac{g}{mm^3} \right] = 35.58 [g]$$

Cómo necesitamos calcular la masa de una sola fibra, procedemos a calcular su volumen unitario, aproximando la fibra de fique a un cilindro:

$$V_{udFibra} = \pi * r_{fibra}^2 * h \quad (6)$$

Donde:

- r_{fibra} = Radio de una sola fibra de fique.
- h = Longitud de la fibra.
- $V_{udFibra}$ = Volumen para una sola fibra

$$V_{udFibra} = \pi * [0.72mm]^2 * [960 mm] = 1563.46 [mm^3]$$

$$M_{udfibra} = V_{udfibra} * \rho_{fibra} \quad (7)$$

Donde:

- $M_{udFibra}$ = Masa de una sola fibra.

$$M_{udfibra} = 1563.46 [mm^3] * 0,00072 \left[\frac{g}{mm^3} \right] = 1.126 [g]$$

Finalmente, para determinar la cantidad necesaria de hilos a sumergir en el troquel, se lleva a cabo una división entre la masa total de fibra requerida y la masa individual de una sola fibra. Este cálculo proporciona el número óptimo de hilos que deben emplearse para cumplir con las especificaciones establecidas previamente.

$$\#Hilos = \frac{M_{fibra}}{M_{udfibra}} \quad (8)$$

$$\#Hilos = \frac{42.86 [g]}{1.126 [g]} \approx 38 Hilos$$

6.2.2. Transferencia de calor en el molde (curado). Para determinar la transferencia de calor del molde, es necesario calcular la potencia requerida en las resistencias y configurar las temperaturas de manera que cumplan con las demandas específicas de la resina. De esta forma, se garantiza una transición exitosa de su estado.

En este caso, abordaremos una aproximación en las zonas de calentamiento, donde inicialmente se produce un proceso de convección entre el molde y el fluido. No obstante, dado que la resina tiende a solidificarse con la variación de la temperatura en el tiempo, optaremos por considerar los dos tramos de mayor temperatura como puntos críticos en la transferencia de calor por conducción, adicionalmente asumimos conducción unidimensional y pérdida por convección como únicos mecanismos de transferencia de calor.

$$\dot{Q}_{cond} = \frac{k \cdot A \cdot \Delta T}{L} \quad (9)$$

En donde:

- \dot{Q}_{cond} = Transferencia de calor por conducción [w].
- k = Conductividad térmica del material [w/m· k].
- A = Área de la superficie en contacto [m²].
- ΔT = Variación de la temperatura entre los cuerpos [°C].
- L = Longitud calentada [m].

$$\dot{Q}_{conv} = \frac{T_s - T_\infty}{\frac{1}{h \cdot A_s}} \quad (10)$$

Donde:

- \dot{Q}_{conv} = Transferencia de calor por convección [w].
- h = Coeficiente convectivo de transferencia de calor [w/m²·k].
- A_s = Área de transferencia de calor [m²].
- T_s = Temperatura de la superficie [°C].
- T_∞ = Temperatura del fluido [°C].

Procedemos a aplicar el método de las resistencias asociado a la transferencia de calor, donde se descompone un sistema en una serie de resistencias térmicas (R), que representan las diferentes etapas o componentes del sistema a través de los cuales el calor fluye.

$$R_{cond} = \frac{L}{k \cdot A} \quad (11)$$

$$R_{conv} = \frac{1}{h \cdot A_s} \quad (12)$$

6.2.2.1. Zona de precalentado. Dado que el diseño incluye una boca acampanada de 6 cm de longitud, esta sección tendrá una longitud equivalente de 29 cm. Este ajuste se realiza con el propósito de lograr una mejor impregnación de las fibras, acelerar el proceso de curado y prevenir posibles defectos en las probetas.

$$\dot{Q}_{superior} = \frac{\Delta T}{R_{conv} + R_{cond}} = \frac{60 - 25}{\frac{1}{10 \cdot 0.0105} + \frac{0.024}{16.2 \cdot 0.03924}} = 3.66 [w]$$

$$\dot{Q}_{inferior} = \frac{\Delta T}{R_{conv} + R_{cond}} = \frac{60 - 25}{\frac{1}{10 \cdot 0.0105} + \frac{0.010}{16.2 \cdot 0.0286}} = 3.67 [w]$$

A pesar de que la zona inferior del precalentado tiene una mayor área de transferencia de calor debido al diseño graduable del molde, no se observa una variación significativa en la transferencia a través del mismo.

6.2.2.2. Zona de curado. La reacción química exotérmica de la resina al aplicar temperatura, provoca una contracción en la matriz calentada. Esta contracción incide en la separación de la pieza de la superficie del troquel, lo que conlleva a la pérdida de un contacto térmico óptimo en la interfaz entre el troquel y la pieza. Debido a ello, se determina un espaciamiento entre zonas de 15mm, para contrarrestar el rango de 1 a 6% de contracción volumétrica en la resina Epoxy 36 que especifica el distribuidor.

$$\dot{Q}_{superior} = \frac{\Delta T}{R_{conv} + R_{cond}} = \frac{185 - 25}{\frac{1}{10 \cdot 0.0174} + \frac{0.024}{21.5 \cdot 0.0641}} = 27.76 [w]$$

$$\dot{Q}_{inferior} = \frac{\Delta T}{R_{conv} + R_{cond}} = \frac{185 - 25}{\frac{1}{10 \cdot 0.0174} + \frac{0.010}{21.5 \cdot 0.047}} = 27.79 [w]$$

6.2.2.3. Transporte de la energía

$$Q = [(Cp * \Delta T) + Cl] * \dot{m} \quad (13)$$

Siendo:

- Q = Energía transformada [w]
- Cp = Calor específico de la resina. [J/k.°c]
- Cl = Calor latente de fusión de la resina. [J/kg]
- ΔT = Variación de la temperatura en las zonas del troquel. [°C]
- \dot{m} = Flujo másico. [kg/s]

Iniciamos analizando la fase de precalentamiento, donde se tendrá en cuenta la cantidad de energía necesaria para convertir la resina de estado líquido a sólido. Es importante destacar que, los datos están basados en la resina tipo epoxi la cual posee propiedades similares a la Biopoxy 36, ya que, para esta última, el fabricante no otorga los datos suficientes para su respectivo análisis. No obstante, se aplicará un factor de corrección con el fin de ajustar la cantidad de energía que realmente se está transformando.

$$\dot{m} = V_{tr} * A_t * \rho_{com} \quad (14)$$

Donde:

- \dot{m} = Flujo másico [g/min].
- V_{tr} = Velocidad de tracción [mm/min].
- A_t = Área transversal [mm²].
- ρ_{com} = Densidad del compuesto [g/mm³].

$$\dot{m} = 200 * 95.4 * 9.735 \times 10^{-4} = 18.574 \left[\frac{g}{min} \right] = 0.00031 \left[\frac{kg}{s} \right]$$

$$Q = 1.8 * \left[\left[(1500 * (60 - 25)) + 100000 \right] * 0.00031 \right] = 85.095 [w]$$

Para en caso de la segunda zona (curado), se asume una fase totalmente sólida del compuesto, por tanto, omitimos el calor latente de fusión.

$$Q = 1.8 * \left[\left[(1500 * (185 - 60)) \right] * 0.00031 \right] = 104.625 [w]$$

Una vez determinada la transformación de energía, se procede a hacer un balance de calor con el fin de tener un parámetro de calor para las resistencias encargadas del calentamiento del troquel.

$$Q_{resistencia} = Q_{molde} + Q_{resina} \quad (15)$$

Donde:

- $Q_{resistencia}$ = Calor requerido por las resistencias [w].
- Q_{molde} = Calor transferido en el molde [w].
- Q_{resina} = Energía transformada por la resina [w].

A pesar de que la transferencia de calor varía en el molde dependiendo la zona que se analice (superior o inferior), el porcentaje de variación entre ellas no alcanza el 1%, por consiguiente, se opta por calcular el balance con el valor de transferencia mayor entre los dos.

$$Q_{resistencia} = 3.044 + 85.095 = 88.14 [w] \rightarrow \text{Precalentado}$$

$$Q_{resistencia} = 23.96 + 104.625 = 128.59 [w] \rightarrow \text{Curado}$$

Para seleccionar la resistencia adecuada, es necesario considerar criterios como la potencia de calentamiento, la geometría del troquel y sus dimensiones respectivas. Esto se debe a que, en los catálogos, las unidades en las que se presentan las resistencias son en términos densidad de potencia (calor requerido por unidad de área).

$$Potus = \frac{Q_{resistencia}}{A_{zona}} \quad (16)$$

Donde:

- *Potus* = Potencia usada [w/ m²].
- *Qresistencia*= Calor requerido por las resistencias [w].
- *Azona* = Área de la zona de calentamiento[m²].

$$Potus\ Precalentado\ Superior = \frac{88.14}{0.03924} = 2246.18 \left[\frac{w}{m^2} \right]$$

$$Potus\ Precalentado\ Inferior = \frac{88.14}{0.0286} = 3081.82 \left[\frac{w}{m^2} \right]$$

$$Potus\ Curado\ Superior = \frac{128.59}{0.0641} = 2006.08 \left[\frac{w}{m^2} \right]$$

$$Potus\ Curado\ Inferior = \frac{128.59}{0.0641} = 2735.96 \left[\frac{w}{m^2} \right]$$

Escogemos la densidad de potencia más alta, ya que esta cumplirá con los requerimientos de las demás y nos dirigimos al catálogo de resistencias eléctricas industriales POLIMEX, donde seleccionamos la siguiente alternativa:

Figura 14. Resistencia de tira mica.



TAMAÑOS-CAPACIDADES

ANCHO: 1 ½"

LARGO CON ALETA Y SIN ALETA: Según tipo de terminal hasta 84 pulg.

ESPESOR: pulg. -5/16

POTENCIAS: Hasta 45 W/pulg.², 7 W/cm², según largo de la resistencia.

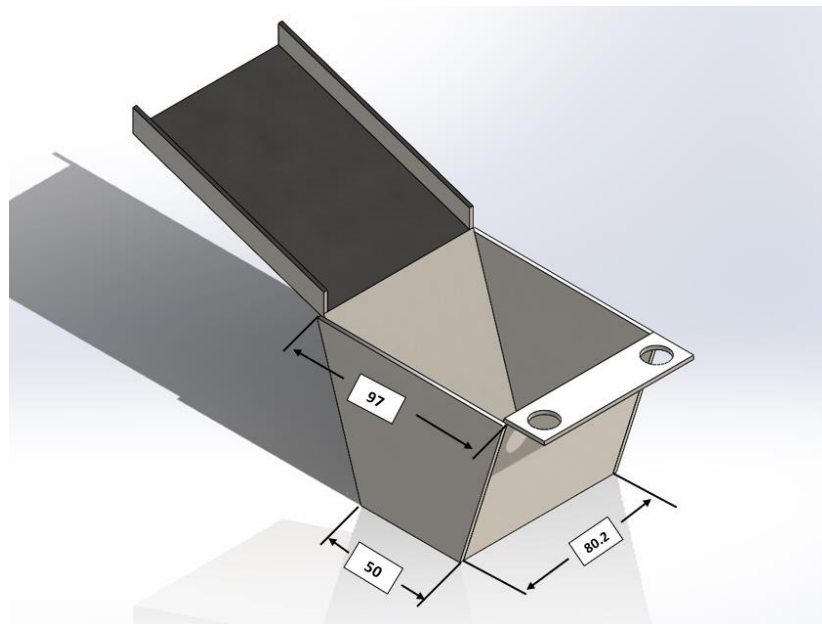
TENSIONES:120, 240, 480 V

Fuente: Polimex [Sitio web]. Catálogo de resistencias eléctricas industriales. [Consulta: 24 de octubre 2023].

Disponibile en: <https://www.polimex.mx/catalogos/Catalogo-de-Resistencias-Elctricas-Polimex-2017.pdf>.

6.2.3. Sistema de impregnación. Se diseñó un contenedor con una sección transversal de forma triangular con una placa saliente que cumple la función de receptor de resina, optimizado con el propósito de mejorar la eficiencia en la limpieza, minimizar los concentradores de esfuerzos y cumplir con la cantidad de resina requerida para producir un metro de perfil en cada pieza. Partimos de una capacidad del troquel de abordar 91584 mm³ (0.092 L).

Figura 15. Sistema de impregnación de resina



Fuente: Autores.

Teniendo en cuenta que nuestro recipiente tiene una altura de 75 mm, calculamos el contenido máximo que puede soportar.

$$VolRecipiente = \frac{B + b}{2} * h * L \quad (9)$$

Donde:

- $VolRecipiente$ = Capacidad volumétrica del recipiente [mm³].
- B = Base superior del recipiente [mm].

- b = Base inferior del recipiente[mm].
- h = Altura del sistema de impregnado [mm].
- L = Longitud del contenedor [mm].

$$VolRecipiente = \frac{97 + 50}{2} * 75 * 80.2 = 442102.5 [mm^3] = 0.442[l]$$

Una vez calculamos la capacidad volumétrica del sistema de impregnación, definimos la cantidad de probetas que podemos generar en función de este recipiente.

$$Cant. Probetas = \frac{VolRecipiente}{VolProbeta} \quad (10)$$

Siendo:

- $Cant. Probetas$ = Probetas totales generadas con el recipiente diseñado [Ud].
- $VolProbeta$ = Volumen requerido para una probeta de dimensiones 200x30x3.18 mm [L]

$$Cant. Probetas = \frac{0.442[l]}{0.0191 [l]} \approx 23 Probetas$$

Ahora, teniendo en cuenta las posibles pérdidas debido al grado de absortividad del fique, aplicamos un factor de corrección del 15%, generando un total de 20 muestras antes de tener que cargar nuevamente el recipiente.

Una vez validamos que el volumen del recipiente es adecuado para nuestro proceso, debemos cerciorarnos que este resista, y, considerando que la resina utilizada es la que aplica los esfuerzos más significativos sobre las paredes de nuestro sistema de impregnado, abarcaremos una situación crítica donde la totalidad del volumen la abarca esta sustancia, por tanto, debemos conocer la fuerza que genera la resina sobre las paredes de nuestro sistema de impregnación, teniendo en cuenta el sentido de movimiento de la misma.

$$P = \rho * h * g \quad (11)$$

Donde:

- P = Presión del fluido [Pa].
- ρ = Densidad del fluido [kg/m³].
- h = Profundidad del fluido [m].
- g = Gravedad [m/s²].

$$P = 1110 * 0.0802 * 9.81 = 873.3 \text{ [Pa]}$$

Se ha concluido que la presión no ejerce una influencia significativa sobre el material del sistema de impregnación, por ello, se optó por utilizar una lámina de acero inoxidable calibre 14, con un grosor de 2 mm, como medida precautoria para posibles desviaciones, permitiendo la flexibilidad de cambiar el material del recipiente sin afectar los costos asociados a su sustitución.

Tabla 5. Láminas de acero inoxidable.

Láminas Planas

Grado	Acabado	Espesor mm
316L	2B*	1.20 hasta 6.00
	T1	4.5 hasta 12
304	2B*	0,60 hasta 6.00
	T1	2.00 hasta 19.00
	T4 + PVC	0.75 hasta 3.00
430	2B*	2.50 hasta 3.00
	BA	0.60 hasta 1.90
	BA + PVC	0.60 hasta 1.90
	T4 +PVC	0.70 hasta 1.50

Fuente: Acero Inoxidable - WESCO S.A. [Sitio web]. LÁMINAS PLANAS. Bogotá. [Consulta: 28 de octubre 2024]. Disponible en: <https://www.wesco.com.co/default.asp?iID=GFLDDI>.

6.2.4. Cálculo de potencia consumida por el troquel. Para asegurar que el compuesto de resina-fique atraviese el troquel de pultrusión, es necesario considerar que la fuerza utilizada para tirar de la pieza pultruida debe ser mayor que las fuerzas de resistencia generadas por las condiciones de la resina dentro

del troquel. Estas fuerzas también son influenciadas por la geometría del troquel, la resistencia de la placa guía y del tanque de impregnado, entre otros factores.

En el proceso de troquelado, se encuentran diversas fuerzas que se resisten al movimiento del material. Estas incluyen las fuerzas generadas por el cambio de sección en la entrada, la fuerza viscosa dentro del troquel con el compuesto, y las fuerzas de fricción en la zona sólida después de gelificar.

De esta manera, la fuerza de reacción resultante se compone de la fuerza de reducción cónica o compactación, la fuerza viscosa y la fuerza de fricción. La fuerza de reducción cónica se considera despreciable ya que la contribución de ésta a la resistencia representa menos del 1% en consideración con las demás¹⁷.

El cálculo de la potencia consumida por el troquel requiere tener en cuenta diversos factores, como la fuerza de tracción aplicada, la velocidad de tracción y la eficiencia del proceso.

Partimos de los cálculos de fuerza de tracción ejecutados previamente, donde se estimó un valor de 400N a una velocidad de 200 mm/min a lo largo de los 1020 mm de longitud del troquel, por tanto, calculamos el trabajo realizado por el mismo.

$$W = F * D \quad (20)$$

Donde:

- W = Trabajo [N].
- F = Fuerza de tracción [N].
- D = Distancia del troquel [m].

$$W = 400 * 1.02 = 408 [J]$$

Con este dato, se nos facilita calcular la potencia consumida, la cual se define como la cantidad de trabajo realizado por unidad de tiempo.

$$Pot = \frac{W}{t} \quad (21)$$

¹⁷ BARAN, Ismet, et al. Process induced residual stresses and distortions in pultrusion. En: Composites Part B: Engineering. 2013. vol. 51, pp. 148-161. ISSN 1359-8368.

Siendo:

- Pot = Potencia [W].
- W = Trabajo [N].
- t = Tiempo del proceso [s].

$$Pot = \frac{408}{60} = 6.08 [W] = 0.1Hp$$

Durante la etapa de diseño del prototipo de pultrusión, el aspecto crucial es la eficiencia del sistema de tracción. El mecanismo de tracción debe ser capaz de mantener una velocidad específica de 200 mm/min, la cual se logra mediante la implementación de un conjunto motorreductor. Esta velocidad se considera óptima para garantizar un adecuado proceso de curado en las probetas que se procesarán durante la operación.

Es fundamental tener en cuenta que las propiedades físicas del material se ven afectadas en función de la temperatura a lo largo del proceso de curado, incidiendo en la fuerza requerida para hacer avanzar la fibra impregnada a través del molde. Esta fuerza debe ser equivalente a la fuerza generada por el mecanismo de tracción para halar el perfil.

$$Masa\ Total = M_{fibra} + M_{resina} \quad (22)$$

$$Masa\ Total = 42.86[g] + 35.58[g] = 78.44[g] = 0.07844[kg]$$

$$Peso = MasaTotal * Gravedad \quad (23)$$

$$Peso = 0.07844[kg] * 9.81[m/s^2] = 0.77\ N$$

La viscosidad de la resina es una propiedad fundamental que influye significativamente en la fuerza de fricción, especialmente al considerar el coeficiente de rozamiento entre el acero y nuestro compuesto, el cual, puede variar entre 0.2 y 0.6.¹⁸

¹⁸ DANTE, Roberto C. Handbook of Friction Materials and their Applications. [s.l.]: Woodhead Publishing, 2015. 174 p.

$$Fr = \mu * N \quad (12)$$

Donde:

- Fr = Fuerza de rozamiento [N].
- μ = Coeficiente de fricción [N].
- N = Fuerza normal [N].

$$Fr = 0.6 * 0.77N = 0.462[N]$$

6.2.5. Selección de motor. En el proceso de selección del motor, la potencia requerida de 0.1 caballos de fuerza (Hp) y la velocidad de 200 milímetros por minuto (mm/min) son nuestros puntos de partida. Estos parámetros definen la capacidad del motor para realizar el trabajo necesario a una velocidad específica. Al considerar estos valores como fundamentales, se busca identificar un motor que no solo cumpla con estas demandas iniciales, sino que también garantice un rendimiento óptimo bajo diversas condiciones de carga y entorno operativo, asegurando la eficiencia y la confiabilidad del sistema a largo plazo.

A continuación, calculamos las RPM necesarias para nuestro proceso:

$$RPM = \frac{V}{\pi * D} \quad (13)$$

Donde:

- RPM = Revoluciones por minuto necesarias
- V = Velocidad de tracción [m/min].
- D = Diámetro del rodillo [mm].

$$RPM = \frac{200}{\pi * 50} = 1.27 RPM$$

Debido a la baja potencia requerida por nuestro prototipo de máquina de pultrusión, hemos decidido seleccionar un motorreductor eléctrico que ofrezca un poco más de fuerza. Esto nos permitirá evitar limitar nuestro proceso a una sola resina, ya que diferentes tipos de este material pueden generar mayores esfuerzos debido a su mayor viscosidad.

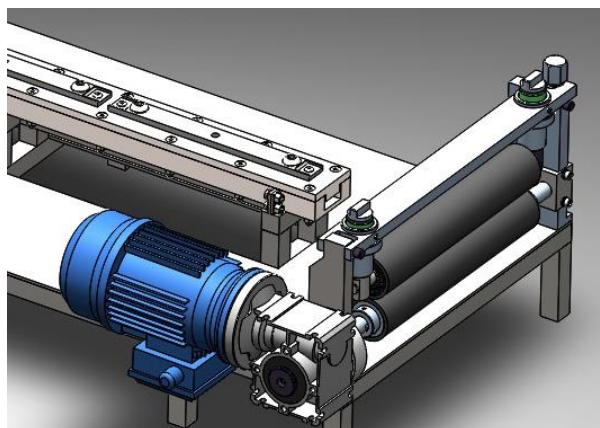
Figura 16. Motor Weg Monofasico 1/2 Hp.



Fuente: Equipos Industriales HAB [Sitio web]. MOTORREDUCTOR DE brida. [Consulta: 30 de octubre 2023]. Disponible en: <http://surl.li/pgcfe>.

6.2.6. Selección de rodillos. Los rodillos de tracción desempeñan un papel fundamental en diversas industrias al proporcionar un medio eficiente para el movimiento de cargas y materiales. Su selección adecuada se convierte en un aspecto crucial para garantizar la eficacia operativa, la seguridad y la productividad en los sistemas de transporte. En nuestro caso, partimos de un diámetro del eje de motor de 12 mm, con el cual se nos recomienda espesores del mismo, con un motorreductor de brida adaptados para la facilidad de transmisión del movimiento en conjunto.

Figura 17. Sistema de tracción.



Fuente: Autores.

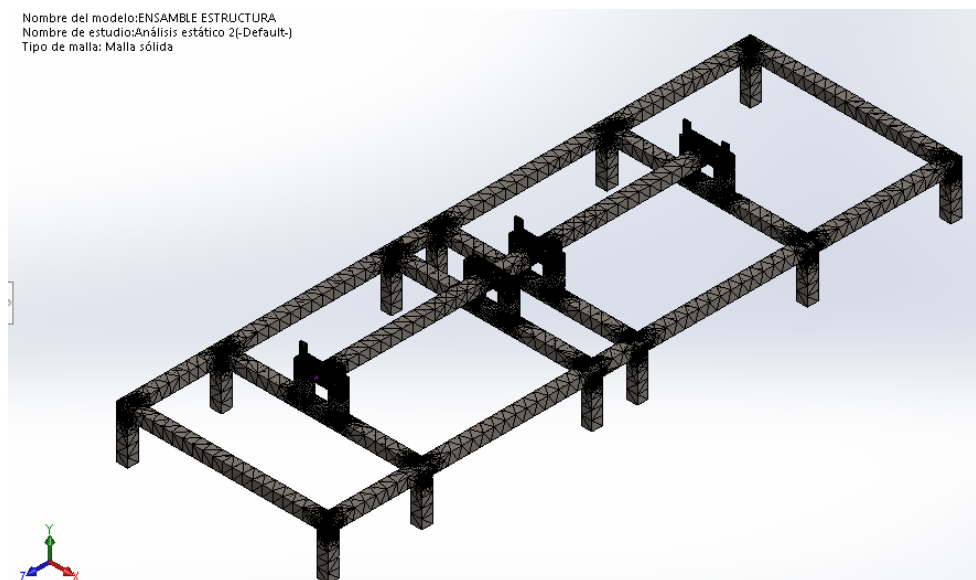
6.3. MODELADO CAD DEL PROTOTIPO DE LA MÁQUINA DE PULTRUSIÓN

6.3.1. Simulación. En el análisis de elementos finitos efectuado mediante SolidWorks Simulation, se creó una malla para examinar la estructura de soporte de la matriz. Esta estructura se compone de tubos cuadrados con dimensiones de 1x1 pulgada y un espesor de 2 mm, utilizando AISI 1020, un acero de bajo contenido de carbono. Adicionalmente, presenta platinas perforadas diseñadas para la fijación precisa de la matriz.

En las conexiones se empleó el conjunto de contacto global entre componentes. Se inmovilizaron los soportes de la placa base, restringiendo su movimiento en todas las direcciones para simular una unión soldada en su base. Las cargas de tracción distribuidas fueron aplicadas a las platinas perforadas (orejas de soporte del bastidor), mientras que en la superficie se incorporó la fuerza generada por el peso del troquel (ver figura 22).

En los parámetros de mallado se utilizó una malla estándar con transición automática estas características permiten al sistema identificar los objetos de mayor y menor tamaño y discretiza en figuras geométricas proporcionalmente.

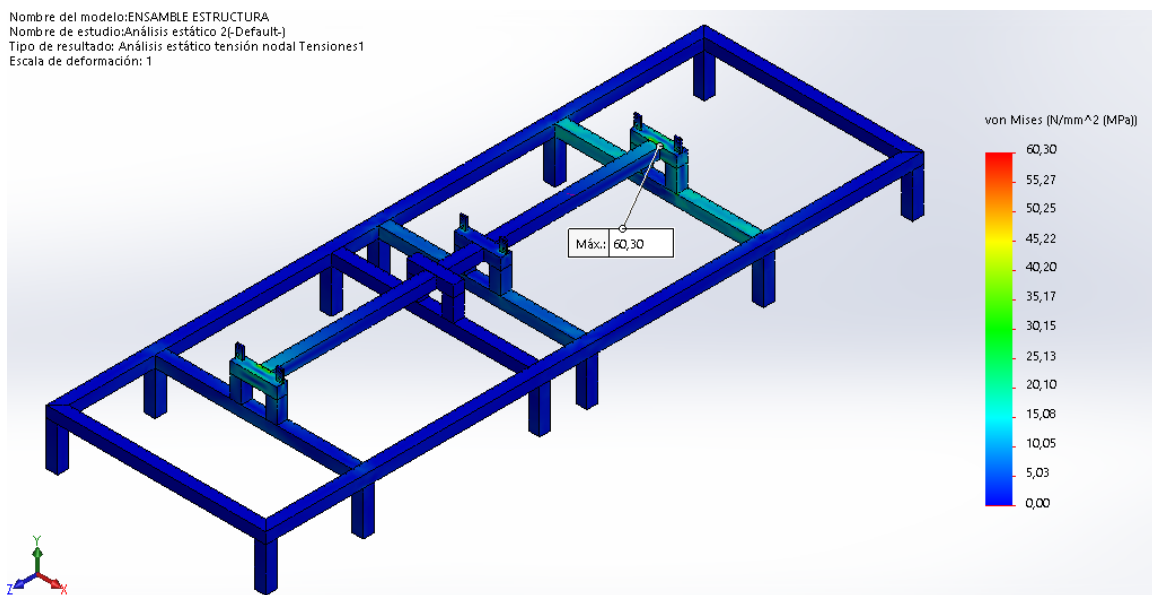
Figura 18. Simulación estática de la estructura de soporte.



Fuente: Autores.

6.3.2. Tensiones Von Mises. La estructura tiene una tensión máxima de Von Mises de 60,3 (MPa). Este valor representa la tensión equivalente en el punto crítico de la estructura, calculada utilizando la teoría de Von Mises, que tiene en cuenta tanto las tensiones normales como las cortantes. La tensión de Von Mises de 60,3 MPa está dentro de los límites permitidos del acero AISI 1020, lo que indica que la estructura tiene un margen de seguridad en términos de resistencia a la tensión. Estos resultados indican que la estructura puede soportar las condiciones de carga especificadas sin exceder sus límites de resistencia.

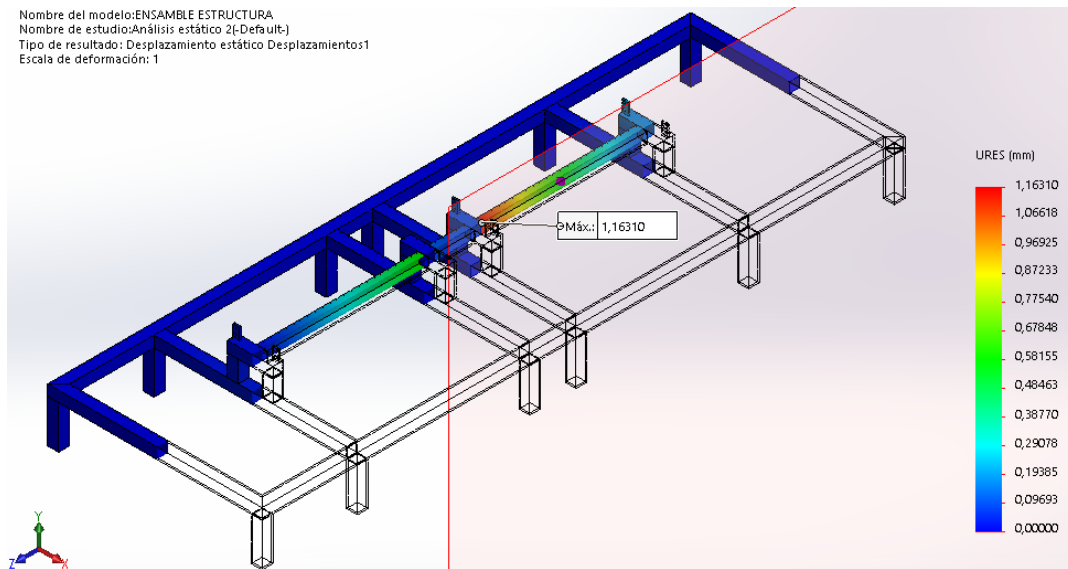
Figura 19. Simulación CAD de la tensión Von Mises.



Fuente: Autores.

6.3.3. Análisis de desplazamiento. En las simulaciones, la estructura experimentó desplazamientos de hasta 1.163 mm. Este movimiento representa la cantidad máxima de movimiento o deformación en el punto crítico de la estructura bajo condiciones de carga específicas.

Figura 20. Desplazamiento estático de la estructura.

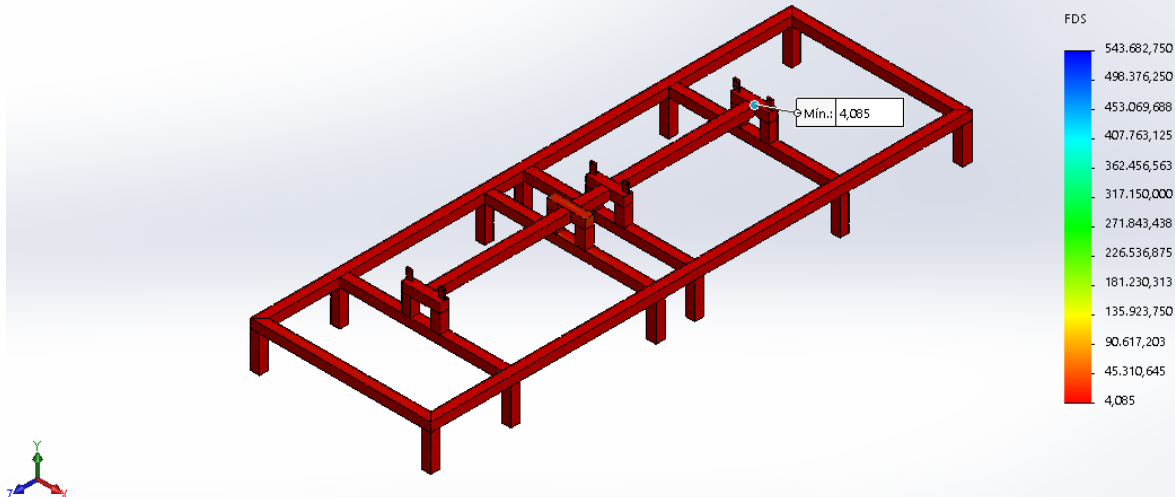


Fuente: Autores.

6.3.4. Factor de seguridad. El factor de seguridad, importante para evaluar la resistencia de la estructura a las cargas, muestra el valor más bajo de 4,085 en las simulaciones realizadas. Este importante parámetro determina el correcto equilibrio entre la capacidad de carga de la estructura y la demanda de carga. El hecho de que el factor de seguridad alcance 4.085 significa que la resistencia de la estructura es amplia con respecto a las condiciones de carga específicas. Estos resultados demuestran claramente la robustez de la estructura y la confianza de que la estructura puede soportar las cargas esperadas con un alto grado de seguridad.

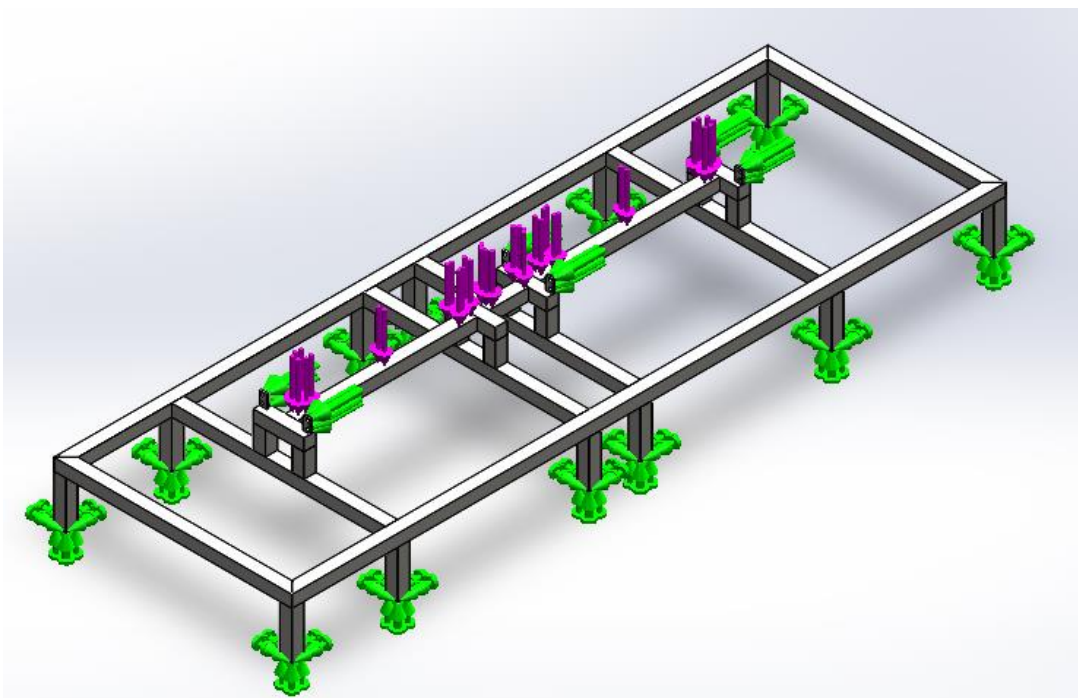
Figura 21. Factor de seguridad de la estructura.

Nombre del modelo: ENSAMBLE ESTRUCTURA
Nombre de estudio: Análisis estático 2(-Default-)
Tipo de resultado: Factor de seguridad Factor de seguridad1
Criterio: Automático
Distribución de factor de seguridad: FDS mín = 4,1



Fuente: Autores.

Figura 22. Distribución de cargas.




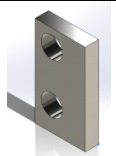
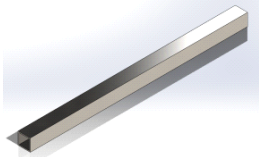

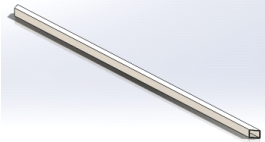
Fuente: Autores.

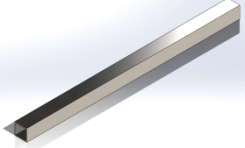
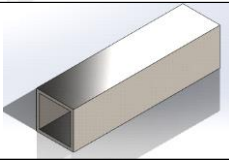
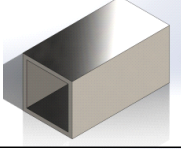
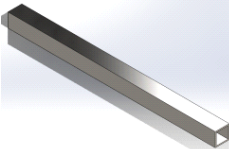
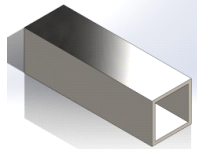
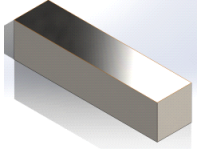

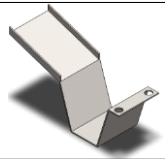

6.4. ANÁLISIS TÉCNICO ECONÓMICO

6.4.1. Costo de producción (inversión). Los costos de producción representan el conjunto de gastos directos e indirectos asociados a la fabricación de un producto o al desarrollo de un prototipo. Estos incluyen tanto los costos de materiales y mano de obra directamente implicados en la creación del artículo, como los gastos operativos y de equipamiento necesarios para llevar a cabo el proceso de producción. A continuación, se muestra la cotización de materiales necesarios para el desarrollo de nuestro prototipo, así como el desglose de las operaciones de mecanizado requeridas para la fabricación de estas piezas específicas.

- **Resina:** Para este caso, requerimos un aproximado de 2 litros de resina por hora, y, teniendo en cuenta la jornada laboral de Colombia, al día se necesitarán alrededor de 16 litros de la misma (Se vende en conjunto con el catalizador), lo cual tiene un costo estimado de 2'175.500 (20L).
- **Fique:** Dada una velocidad de tracción de 200 mm/minuto, se estima que se necesitarán 12 metros de material por hora. Por consiguiente, durante un día de trabajo estándar, se requerirán 96 metros para completar un rollo de producción. Para este propósito, se utilizarían madejas de fique de 100 metros, con un costo estimado de 13,900 pesos colombianos. Como se requieren 38 madejas, estas tendrían un costo de \$528,200.
- **Prototipo:** A continuación, se muestra en detalle el presupuesto requerido para la fabricación del prototipo, el cuadro describe el valor total del material y sus mecanizados si lo requiere.

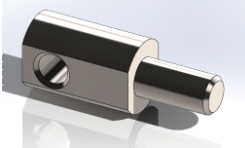
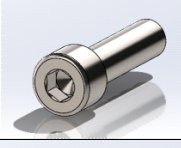
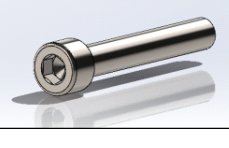
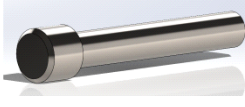
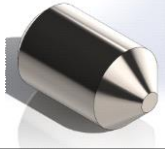
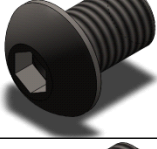
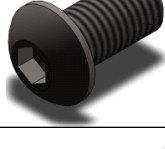
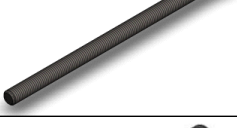

Tabla 6. Cotización de los elementos de la máquina.

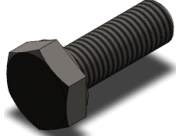
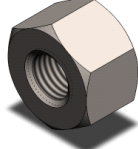
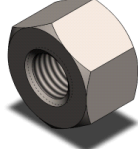

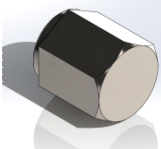
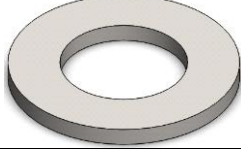

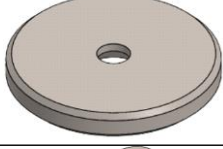

Pieza	Descripción de mecanizado	Cantidad [Ud.]	Imagen	Precio Unitario [\$]	Precio Total [\$]
Platina soporte de alimentación	Corte y taladrado	5		50000	250000
Platinas de sujeción	Corte y taladrado	12		5000	60000
Ángulo de soporte	Corte	2		17500	35000
Dedo soporte	soldadura y pulido	20		11500	230000
Espera dedo soporte	Perforación				
Ángulo de soporte de la base (45°)	Corte	2		35000	70000


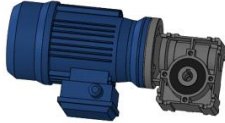
Ángulo de soporte de la base (90°)	Corte	5		10500	52500
Ángulo de soporte de estructura	Corte	10		3000	30000
Ángulo de soporte del troquel	Corte	6		1500	9000
Vigueta	Corte	1		114200	114200
Vigueta	Corte	1		19600	19600
Refuerzo de acero	Corte	3		28800	86400
Lámina de soporte	Corte	1		255000	255000
Tapa de reservorio	Corte, doblado y perforación	1		389900	389900
Lateral de reservorio	Corte	2		152900	305800

Aro estructural	Roscado y rolado	1		156000	156000
Troquel superior	Fresado, taladrado, roscado	1		1750000	1750000
Troquel inferior	Fresado, taladrado, roscado	1		1935000	1935000
Resistencia 60	-	1		50000	50000
Resistencia 185	-	2		50000	100000
Soporte	Corte, fresado, taladrado, pulido	2		120000	240000
Soporte	Corte, taladrado, pulido	1		120000	120000
Soporte frontal	Corte, fresado, taladrado, pulido	1		90000	90000
Eje superior	Refrentado, cilindrado, chafanado, ranurado	1		150000	150000

Eje inferior	Refrentado, cilindrado, chaflanado.	1		130000	130000
Caucho de silicio del rodillo	Corte, bulcanizado	2		35000	70000
Cuerpo del rodillo	Refrentado, cilindrado, chaflanado, ranurado, taladrado	2		135000	270000
Brida de acople	-	1		145200	145200
Cuña	-	1		26250	26250
Buje cuadrado	Corte y taladrado	1		105000	105000
Buje abierto de soporte	Corte, cilindrado, fresado, taladrado, pulido	2		84900	169800
Base del tensor	-	2		135000	270000
Tornillo tensor		2		15000	30000

Tornillo de soporte frontal	-	1		16000	16000
Tornillo bristol M8x30	-	4		4300	17200
Tornillo bristol M6x40	-	2		3900	7800
Pasador	-	2		22700	45400
Prisionero M6x10	-	4		5000	20000
Tornillo fijación de resistencia 1/2" (cabeza redondeada con hexágono)	-	6		500	3000
Tornillo fijación de resistencia 1/4" (cabeza redondeada con hexágono)	-	6		500	3000
Tornillo sujetador de placa perforada (cabeza hexagonal)	-	4		9800	39200
Tornillo sujetador de placas de troquel (cabeza avellanada)	-	20		9800	196000

Tornillo unión de orejas (cabeza hexagonal)	-	8		7100	56800
Tuerca tornillo de 1/4	-	40		1500	60000
Tuerca tornillo de 1/2	-	2		1500	3000
Tuerca base del tensor	-	2		5000	10000
Tuerca de seguridad	-	1		5000	5000
Arandela diametro ext 1/2 pulgada	-	30		500	15000
Arandela plana	-	2		500	1000
Arandela tope	-	1		1000	1000
Arandela de presión	-	2		1000	2000

Rodamiento	-	1		10000	10000
Motorreductor	-	1		1624800	1624800
PRECIO TOTAL		\$			9.850.850,00

Fuente: Autores.

6.4.2. Costos operativos. Los costos operativos constituyen los gastos continuos esenciales para el funcionamiento regular de la máquina, abarcando aspectos como el consumo de recursos como energía, mantenimiento de equipos, personal y otros desembolsos necesarios para sostener las actividades diarias.

- **Consumo eléctrico**

$$\text{Consumo eléctrico} = PotMotor * TFun * Fc \quad (26)$$

Donde:

- $PotMotor$ = Potencia del motor [Watts]
- $TFun$ = Tiempo de funcionamiento [horas]
- Fc = Factor de carga

$$\text{Consumo eléctrico} = 120 * 8 * 0.75 = 720 [w] = 0.72 \left[\frac{Kw}{h} \right]$$

Teniendo en cuenta que se trabajan 235 horas mensuales, el consumo eléctrico de nuestro prototipo sería de 169.2 Kw, generando un costo de \$160715.7706, ya que, tomando cifras estadísticas de la ELECTRIFICADORA DE SANTANDER S.A. ESP., la tarifa para zonas industriales es de \$/kWh 949.8568.

- **Operarios.** Dado que el proceso de pultrusión es inherentemente más lento en comparación con otras operaciones industriales, se requiere la presencia de un único operario para llevar a cabo esta función. Como parte de la remuneración asociada a esta labor, se establece un salario basado en el salario mínimo vigente anual (\$ 1.300.000, con un auxilio de transporte de \$ 162.000 pesos), no obstante, la empresa debe incurrir en otros gastos legales como seguridad social, prestaciones sociales, entre otros, generando un gasto mensual de \$1'989.239. Este enfoque no solo optimiza la eficacia del proceso, sino que también asegura condiciones justas y equitativas para el personal involucrado en esta fase específica de la producción.

6.4.3. Valor Actual Neto (VAN). Es una medida utilizada en finanzas y evaluación de proyectos para determinar la rentabilidad de una inversión. Representa la diferencia entre el valor presente de los flujos de efectivo futuros generados por un proyecto y la inversión inicial necesaria para llevar a cabo ese proyecto.

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{Vt}{(1+k)^t} - I_0 \quad (27)$$

Siendo:

- VAN = Valor actual neto.
- Vt = Flujos de caja en cada periodo de tiempo.
- I_0 = Valor de desembolso inicial de la inversión.
- n = Número de periodos considerados.
- k = Tipo de interés

No obstante, la ecuación (17) se puede simplificar de la siguiente manera, donde PV representa el valor presente de los beneficios anuales del prototipo:

$$VAN = PV - Inversión \quad (28)$$

Cómo nuestro prototipo de pultrusión produce 113280 probetas anuales, teniendo en cuenta los días laborales en Colombia (236), y el costo de producción por unidad es aproximadamente 4200, por tanto, se estima un precio de venta por probeta de \$4600, teniendo en cuenta que inicialmente la materia prima será utilizada como probetas para ensayos de tracción.

$$VAN = (400 * 113280) - 9' . 303.350 - 12 * (160.716 + 1'989.239)$$
$$VAN = \$ 10'209.190$$

Una vez verificada la rentabilidad del prototipo, procedemos a comparar nuestro proyecto con máquinas de pultrusión de plástico, ya que sería nuestra competencia directa en el mercado. Estas máquinas actualmente tienen un precio mínimo aproximado de USD. 25000 (\$98'000.000), y pueden llegar a alcanzar precios de centenares de miles de dólares, los cuales pueden variar según la capacidad de producción, la complejidad del sistema, la automatización y otros factores. Este último dato, demuestra la alta capacidad de competencia de nuestro prototipo escalado, permitiéndonos avanzar con seguridad a la construcción de una máquina a escala real.

6.5. MANUAL DE OPERACIÓN

El manual de funcionamiento de prototipos de máquinas de pultrusión se ha desarrollado para proporcionar información completa y precisa sobre el funcionamiento seguro y eficiente de prototipos de máquinas de pultrusión. Este manual pretende ser una guía importante para los operadores, técnicos y personal de mantenimiento que utilizan y controlan este equipo.

El objetivo principal de este manual es garantizar la seguridad del operador y maximizar la eficiencia operativa de la máquina de pultrusión. Proporciona instrucciones detalladas, procedimientos paso a paso y precauciones críticas que se deben seguir para garantizar un rendimiento óptimo y la integridad del equipo. En muchos casos, especialmente aquellos relacionados con la seguridad y eficacia, es importante seguir las instrucciones. A continuación, se ofrecen algunas pautas generales sobre lo importante que es seguir las instrucciones para garantizar la seguridad.

- Reduce el riesgo de accidentes y lesiones.
- Seguir las instrucciones de operación de maquinaria y equipos reduce la probabilidad de fallos y accidentes.
- Permite realizar tareas de manera más eficiente y minimizar los reprocesos
- Siguiendo las instrucciones, se pueden identificar áreas de mejora y optimización en los procesos.

- La retroalimentación y el análisis de resultados basados en instrucciones facilitan la implementación de mejoras continuas.

6.5.1. Símbolos. El prototipo de máquina de pultrusión maneja las siguientes señales a tener en cuenta para evitar accidentes en la operación. Estas señales están establecidas en las Norma Técnica Colombiana (NTC) con base en los colores de seguridad y contraste, para ello se aplican las normas: ISO 3864-1 Precaución, Obligación y ANSI Z535.

Tabla 7. Simbología del manual de operación.

SÍMBOLO	NOMBRE	SIGNIFICADO
	ADVERTENCIA	Representa una alerta de precaución a una determinada área, equipo, proceso u objeto.
	ATENCIÓN	Puede señalar atención especial o información importante.
	RIESGO ELÉCTRICO	Señala o advierte componentes y peligros eléctricos.
	ALTA TEMPERATURA	Indica espacios o componentes con temperaturas elevadas.
	PARADA DE EMERGENCIA	Señala la ubicación de interruptores de parada de emergencia.
	USO DE EPP	Indica la necesidad de usar elementos de protección personal.

Fuente: Autores.

6.5.2. Información técnica. Una máquina de pultrusión es una máquina especializada diseñada para llevar a cabo el proceso de pultrusión, un proceso de fabricación avanzado que se utiliza para producir materiales compuestos de alta resistencia como vidrio reforzado con polímeros, carbono o materiales similares a partir de perfiles continuos. El principal objetivo de estas máquinas es producir piezas estructurales y compuestas precisas y exactas que tengan las mejores características en términos de resistencia, durabilidad y flexibilidad.

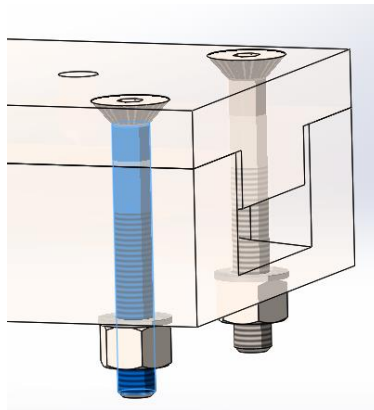
6.5.3. Funciones principales

- **Pultrusión continua:** Realiza un proceso de extrusión continuo en el que se introducen continuamente en la máquina materiales compuestos, como plásticos termo endurecibles y fibras de refuerzo. Esto permite crear perfiles de cualquier longitud, con las mismas propiedades mecánicas.
- **Impregnación:** La máquina impregna las fibras de refuerzo con la resina epoxi, esto asegura que la matriz de resina se distribuya uniformemente alrededor de las fibras, optimizando así las propiedades mecánicas del compuesto.
- **Perfiles formados:** Las máquinas de pultrusión se pueden configurar para producir una variedad de perfiles, desde barras y tubos simples hasta formas más complejas, según los requisitos del cliente. Esto proporciona flexibilidad de fabricación para adaptarse a una variedad de aplicaciones industriales. Sin embargo, el prototipo puede variar la altura de la probeta para aumentar su espesor.
- **Compactación:** Después de la impregnación las fibras pasan por una placa perforada lo que permite quitar el exceso de resina y direccionar las fibras hacia la entrada del troquel el cual tiene forma cónica para facilitar su ingreso esto también disminuye los defectos internos como burbujas o fibras sobrepuestas.
- **Solidificación y curado:** El perfil formado es sometido a temperaturas altas y controladas lo que permite catalizar el material y solidificar el perfil, de este modo se obtienen propiedades finales del material compuesto.
- **Control:** La máquina está equipada con un sistema de control de temperatura lo que asegura que la variación en las propiedades sea mínima, la velocidad está fijada en 200 mm/min, cuenta con un botón de seguridad para apagado de emergencia.

6.5.4. Instalación. Se debe contar con un espacio de mínimo 1.5 m² preferiblemente sobre una mesa o estructura metálica a la altura de mínimo 0.8 m. los tubos de soporte del troquel deben estar fijos a la superficie o suelo, puede usar cordón de soldadura o tornillos de ½ pulgada, el espacio debe contar con tomacorrientes de 120 V y 220 V al alcance para la instalación eléctrica de las resistencias, el sistema de control y el motor eléctrico.

- a) Ensamble las partes del troquel con los tornillos, aprete con la arandela y tuerca, verifique que no estén sueltos para evitar cambios en el espesor de la probeta.

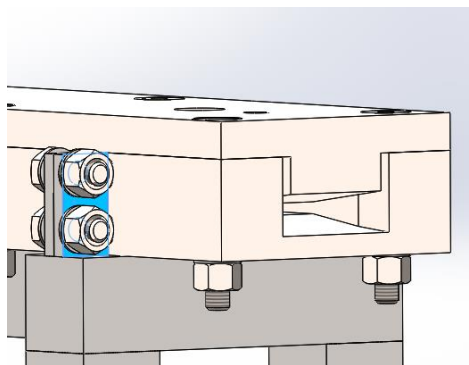
Figura 23. Ajuste del troquel.



Fuente: Autores.

- b) Ensamble el troquel a la estructura por medio de las patinas de fijación.

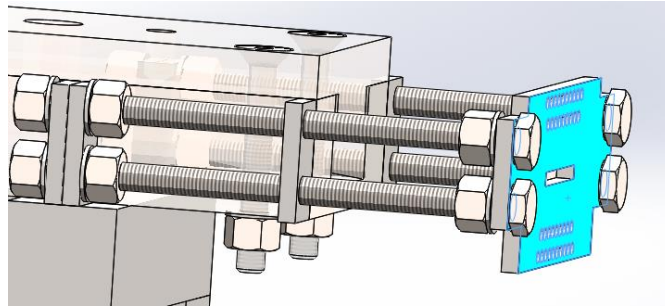
Figura 24. Ensamble del troquel.



Fuente: Autores.

- c) Ensamble la placa de orificio a las platinas concéntricas del troquel y la estructura de soporte, colocando los tornillos, tuercas y arandelas.

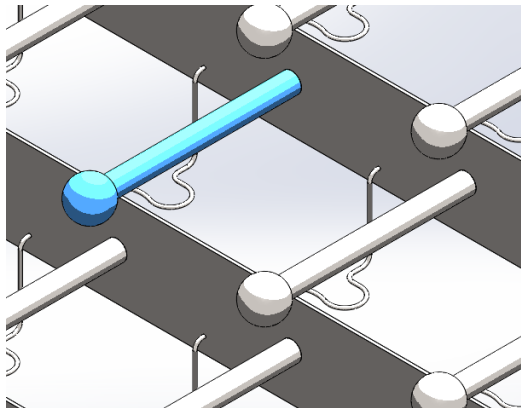
Figura 25. Ensamble de placa de orificio.



Fuente: Autores.

- d) Coloque dos madejas de fique por cada soporte y diréccionelas a través de la tira hilos hasta el reservorio.

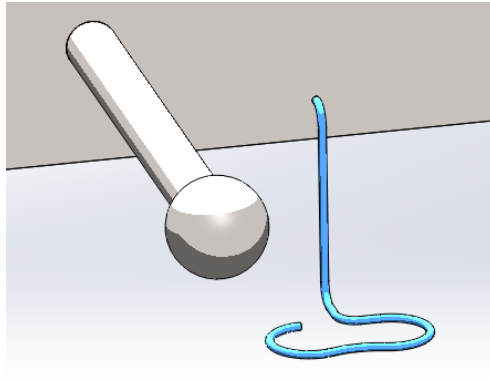
Figura 26. Reservorio de fique.



Fuente: Autores.

- e) Dirija los hilos a través de los ejes de reservorio hasta la placa perforada e inserte cada uno de los hilos por las perforaciones, dirija los hilos a través del troquel y posiciónelos en los rodillos.

Figura 27. Eje de reservorio de fique.

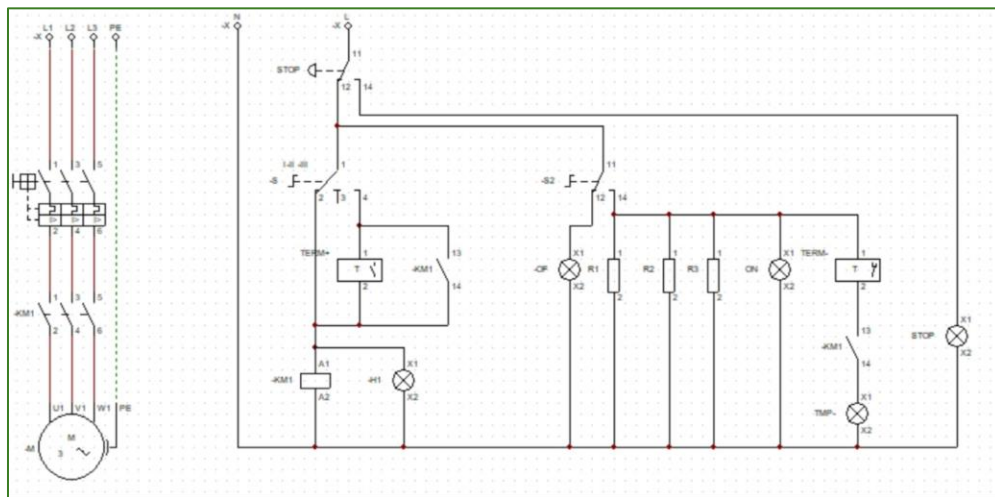


Fuente: Autores.

f) Encienda el motor.

6.5.5. Sistema de control. El circuito está compuesto por dos secciones distintas: la sección de potencia y la sección de control.

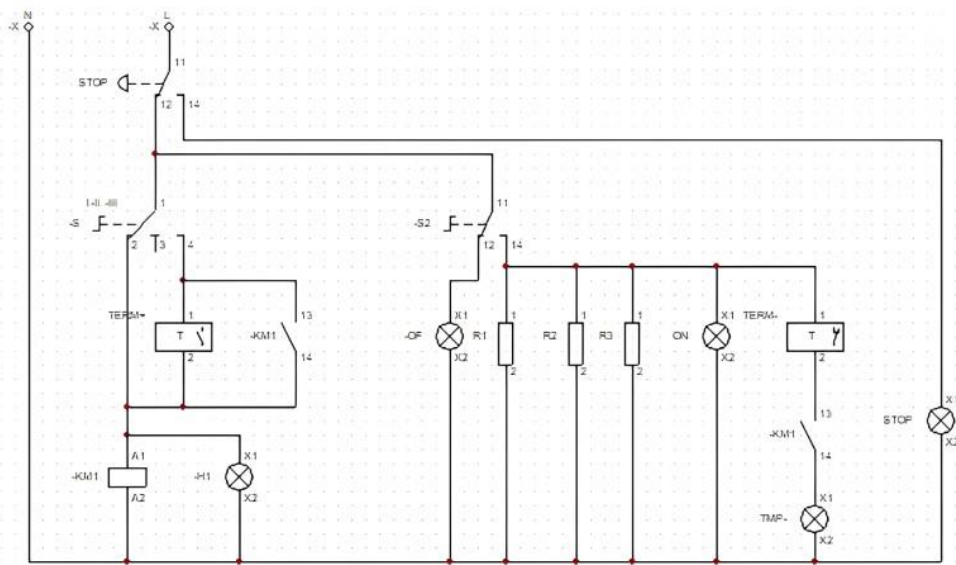
Figura 28. Sistema de potencia y control.



Fuente: Autores.

6.5.5.1. Circuito de control. Este sistema, representado en la Figura 29, constituye un componente independiente en el circuito. Se distingue por su alimentación específica, donde se utiliza una línea neutra de 110 V. Alternativamente, es posible emplear una línea de 220 V, o en situaciones particulares, especialmente cuando los equipos son altamente sensibles, se puede optar por una alimentación de 24 V para aquellos sensores que requieran esta tensión, variando únicamente la polaridad según sea necesario.

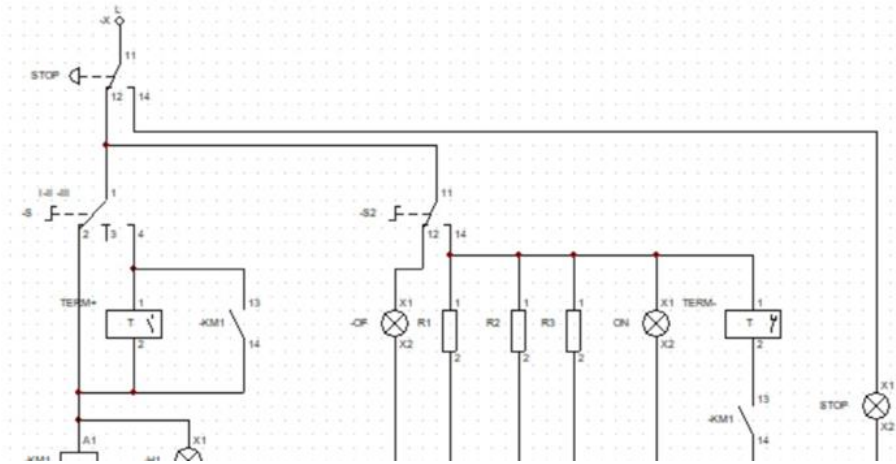
Figura 29. Sistema de control.



Fuente: Autores.

Iniciamos con el análisis de nuestro circuito, donde destaca la presencia del dispositivo de paro de emergencia, ilustrado en la Figura 30. Este dispositivo posee la capacidad de desactivar todo el sistema en situaciones críticas. Asimismo, cuenta con un contacto auxiliar que, al activarse, enciende un indicador luminoso, comúnmente de color rojo. Estos indicadores se ubican estratégicamente en la parte más visible de nuestro tablero de control, proporcionando una clara señal visual de la activación del paro de emergencia. En condiciones normales, cuando el paro de emergencia se encuentra desactivado, el circuito continúa su funcionamiento regular.

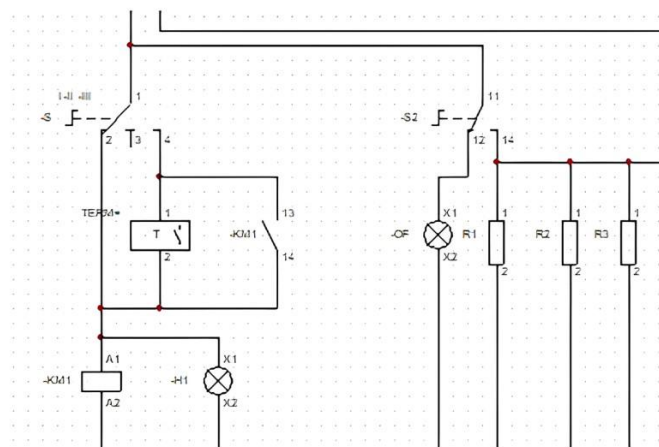
Figura 30. Parada de emergencia.



Fuente: Autores.

En la Figura 31 se observa la sección que comprende las resistencias y los termostatos, específicamente los sensores de temperatura, los cuales pueden ser de tipo PT1 u otro modelo. En esta configuración, resulta óptimo utilizar un sensor con un valor ajustable para la temperatura de referencia. En este contexto, se sugiere que el termostato sea de naturaleza especial, de manera que sea capaz de configurarse cuando se alcanza una temperatura determinada.

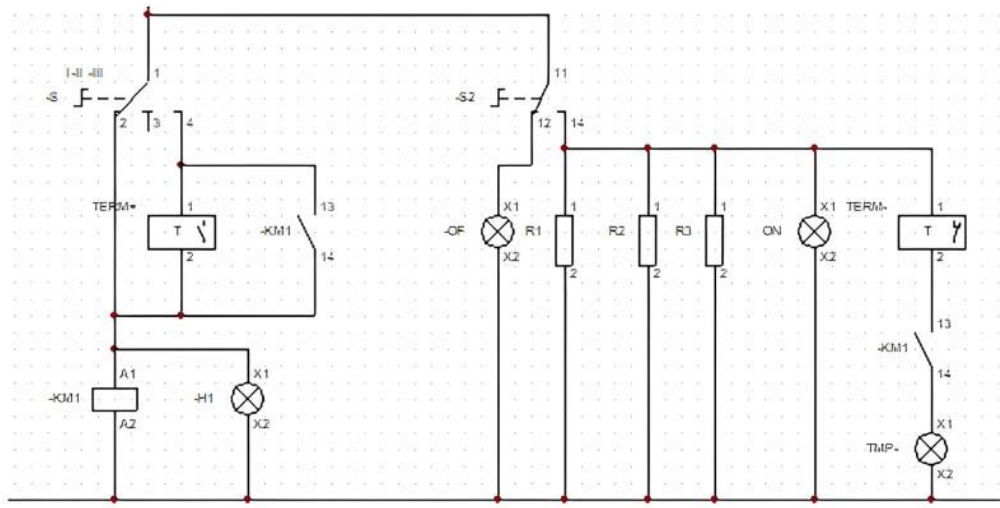
Figura 31. Resistencias y sensores de temperatura.



Fuente: Autores.

Los elementos representados en la Figura 32 corresponden a dos selectores. Esta elección de diseño fue realizada con el propósito de separar la sección de la temperatura de la sección del movimiento.

Figura 32. Selectores.



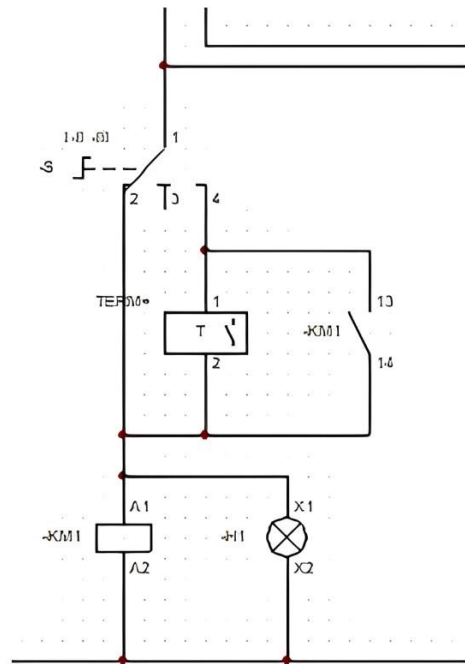
Fuente: Autores.

En esta ocasión, se procederá a explicar la sección dedicada al movimiento, representada en la Figura 33. En esta configuración, se emplea un selector con tres posiciones, donde la posición tres indica que el motor está apagado, mientras que en las posiciones 1 y 4 se inicia la interacción con la sección de control. En la posición en la que se encuentra, el motor opera alimentando una bobina específica que, a su vez, activa el contactor responsable de poner en marcha el equipo al recibir energía tanto en la entrada como en la salida. Además, se incorpora un indicador lumínico como testigo, el cual señala cuando el motor está encendido. Este modo de operación es manual, permitiendo encender directamente el motor al forzar la posición del selector.

Por otro lado, en el modo automático, se integra un termostato posicionado en cualquiera de las tres posiciones de las resistencias. Este termostato opera mediante un umbral de temperatura establecido, por ejemplo, configurado para activarse a 70 grados Celsius. Cuando el sensor detecta que la temperatura supera este valor, cierra un contacto, energizando la bobina y provocando la activación del motor. Cuando

el contactor se cierra en esta posición, si hay un contacto auxiliar en el mismo, se cierra también, permitiendo que el sistema continúe funcionando de manera continua.

Figura 33. Selectores tres posiciones.



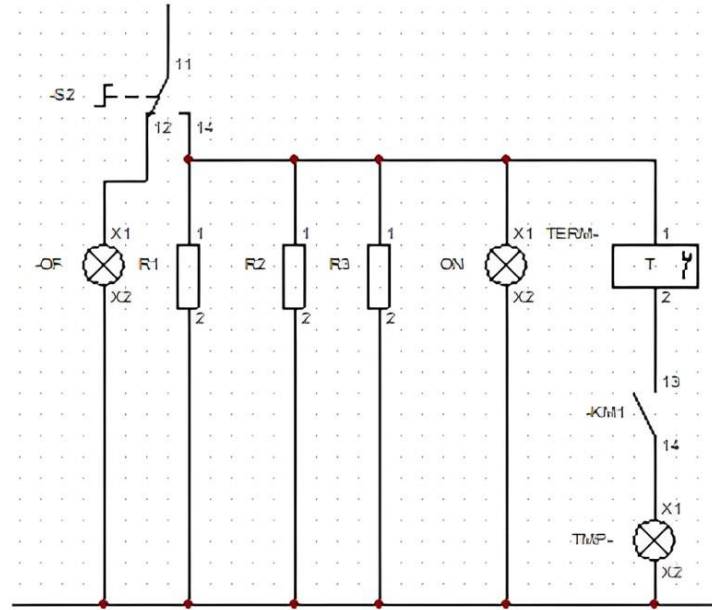
Fuente: Autores.

La sección representada en la Figura 34 constituye un sistema de control de alarmas. En este contexto, el termostato desempeña la función de activar un indicador luminoso cuando el motor está en funcionamiento y se registra una temperatura baja, indicando que la resistencia está operando a una temperatura inferior a la normal. A diferencia del termostato mencionado anteriormente, este opera de manera inversa; es decir, es normalmente cerrado cuando la temperatura está por debajo de un umbral específico, como por ejemplo los 70 grados Celsius, y se abre al superar dicho valor.

Este enfoque se implementa como una medida de seguridad para asegurar el correcto funcionamiento del sistema. En condiciones normales de operación, se espera que las resistencias mantengan una temperatura dentro de un rango predeterminado mientras el motor está encendido. Si esta condición no se cumple, es

decir, si la temperatura es baja y el motor está activo, se activará la alarma, proporcionando así un sistema de control que garantiza el monitoreo efectivo de las condiciones operativas.

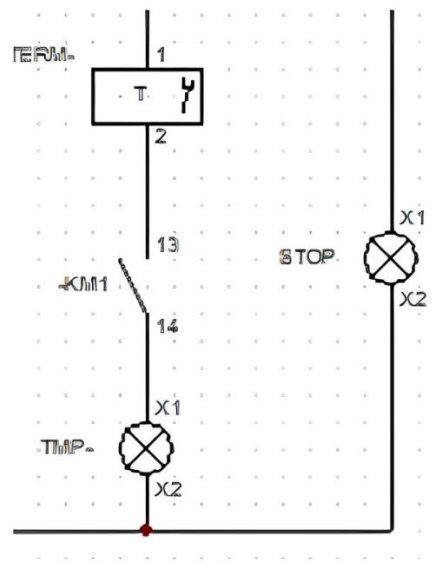
Figura 34. Sistema de control de alarmas.



Fuente: Autores.

En esta sección, se presenta el sistema de calefacción, destacando un selector representado en la Figura 35. Este selector indica claramente si las resistencias se encuentran apagadas o encendidas. En este escenario, la operación es mayormente manual: al activar las resistencias, comienzan a calentarse hasta alcanzar un umbral de temperatura. En esta posición específica, se ubica un sensor que debe coincidir con la posición de alguno de los tres sensores asociados a las resistencias. La función de este sensor es monitorear la temperatura, y cuando las resistencias se energizan, se enciende un indicador lumínico configurado con un umbral determinado por dicho sensor de temperatura.

Figura 35. Sensor de temperatura.



Fuente: Autores.

Este enfoque constituye el sistema de control de la calefacción, proporcionando una gestión manual y visual de la activación de las resistencias, así como un monitoreo continuo de la temperatura a través del sensor asociado.

7. CONCLUSIONES

Se llevó a cabo con éxito el diseño del prototipo de la máquina de pultrusión, cuidando los parámetros establecidos por la literatura y respetando de manera rigurosa los requisitos propuestos. Entre estos requisitos, se incluyen las dimensiones máximas del diseño y de la probeta, fijadas en 1.5 x 1 [m] y 300 x 170 [mm] respectivamente, así como el porcentaje volumétrico del fique, el cual debe situarse entre el 60% y el 90%. Este proceso no solo culminó en un diseño exitoso, sino que también garantizó una conformidad integral con los estándares y especificaciones previamente definidos.

Los resultados obtenidos mediante la simulación demuestran que el proyecto exhibe un desempeño satisfactorio en términos de resistencia y estabilidad estructural. La tensión de Von Mises de 60,30 MPa se mantiene dentro de los límites seguros establecidos de acuerdo con el material del sistema de soporte (AISI 1020), indicando una solidez adecuada. Aunque el desplazamiento estático registra un valor de 1,16 [mm], evidenciando cierta deformación, este se encuentra en niveles aceptables. Asimismo, el factor de seguridad de 4,1 resalta la robustez del diseño, ofreciendo un considerable margen de seguridad contra posibles fallos.

La evaluación técnico-económica destaca la viabilidad del proyecto, con un retorno a la inversión de 14 meses mediante la producción continua de materia prima. En un contexto de creciente demanda de productos sostenibles, este proyecto se posiciona como una valiosa contribución al desarrollo de materiales compuestos respetuosos con el medio ambiente, destacando la importancia de la investigación continua para optimizar procesos y costos.

El sistema de control de prototipo de la máquina de pultrusión se caracteriza por la flexibilidad de su circuito, capaz de adaptarse a diversas fuentes de alimentación (110 y 220 [V]). La presencia de un dispositivo de paro de emergencia respaldado por indicadores luminosos asegura una respuesta rápida ante situaciones críticas. La sección sensores de temperatura, junto con selectores estratégicamente diseñados, garantiza un control preciso y eficiente del subsistema de curado, abarcando un rango de temperaturas desde ambiente hasta 200 grados. El sistema de control de alarmas, con termostatos inversos, proporciona una capa adicional de seguridad al alertar ante condiciones inusuales. En conjunto, esta integración técnica de componentes asegura una operación eficaz y segura en el proceso de pultrusión.

8. RECOMENDACIONES

Debido a la influencia significativa del tipo de fibra empleado en el comportamiento mecánico, es crucial llevar a cabo un estudio de los proveedores a nivel nacional. Esta investigación ofrecerá datos clave sobre la variación en las propiedades, asegurando así procesos de fabricación confiables.

El rendimiento de la resina Biopoxy 36 se ve afectado por las condiciones de almacenamiento. Se aconseja investigar el impacto de la humedad ambiental en sus propiedades para optimizar el proceso de fabricación.

Se destaca la necesidad imperativa de incorporar un análisis viscoelástico o en su lugar un Enfoque Elástico Lineal Instantáneo de Endurecimiento por Curado (CHILE) para el compuesto. Este enfoque permite una predicción del comportamiento elástico del material compuesto durante el proceso de curado. La implementación de CHILE facilita la validación eficiente de prototipos virtuales, reduciendo la necesidad de costosas pruebas físicas.

En el contexto del diseño y optimización del prototipo de máquina de pultrusión, se recomienda la aplicación de herramientas analíticas avanzadas, específicamente el uso combinado de Modelos Continuos de Elementos Finitos (FE) y Modelos Porosos (FV) para el compuesto resina biopoxi 36-fique. Estos enfoques computacionales ofrecen una visión detallada y precisa de los procesos involucrados en la pultrusión, permitiendo una mejora significativa en la eficiencia y calidad del producto final.

Se sugiere para proyectos que involucren el compuesto, la implementación de simulaciones numéricas avanzadas en un entorno informático-matemático como MATLAB para validar y fortalecer aún más la robustez del modelo, esto permitirán realizar un análisis detallado de los campos de temperatura a lo largo del perfil durante el proceso de pultrusión. Esto es esencial para identificar zonas críticas que puedan afectar la calidad del producto final.

BIBLIOGRAFÍA

BARAN, Ismet, *et al.* Process induced residual stresses and distortions in pultrusion. En: *Composites Part B: Engineering*. 2013. vol. 51, p. 148-161. ISSN 1359-8368.

CASTRO BERMÚDEZ, Juan Dayal. Structural integrity of a VAWT rotor made of bio-composite material. Trabajo de Maestría. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander, 2023. 60 p.

DELGADO, J.M.P.Q. Industrial and Technological Applications of Transport in Porous Materials. Porto, Portugal: Springer, 2013, vol. 36. ISBN: 978-3-642-37468-5.

DÍAZ RAMIREZ, Germán y GONZÁLEZ ESTRADA, Octavio. Numerical and experimental study of flexural behaviour in polymer composite materials reinforced with natural fique textiles. En: *Journal of Physics: Conference Series*. 2019, vol. 1247, nro. 1, DOI: 10.1088/1742-6596/1247/1/012001.

GARCÍA SÁNCHEZ, Gabriel, *et al.* Fique as thermal insulation morphologic and thermal characterization of fique fibers. En: *Cogent Engineering*. 2019, vol. 6. DOI: 10.1080/23311916.2019.1579427.

GÓMEZ SUÁREZ, Sergio. Caracterización dinámico-mecánica de materiales biocompuestos reforzados con fibras de fique. Trabajo de Maestría. Pamplona -Norte de Santander: Universidad de Pamplona, 2017. 132 p.

GONZÁLEZ ESTRADA, Octavio; QUIROGA MÉNDEZ, Jabid y DÍAZ RAMIREZ, Germán. Mechanical Response and Damage of Woven Composite Materials Reinforced with Fique. En: *Key Engineering Materials*. 2018, vol. 774, pp. 143-148. DOI: 10.4028/www.scientific.net/KEM.774.143.

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible [Sitio web]. Se reduce y se contiene la deforestación en Colombia durante los últimos cuatro años. Bogotá. [Consulta: 15 de julio 2022]. Disponible en: <<https://www.minambiente.gov.co/bosques-biodiversidad-y-servicios-ecosistemicos/se-reduce-y-se-contiene-la-deforestacion-en-colombia-durante-los-ultimos-cuatro-años/>>.

HIDALGO, Miguel; MUÑOZ, Mario y QUINTANA, Karen. Desempeño mecánico del compuesto polietileno aluminio reforzado con agro fibras continuas de fique. En: *Revista Latinoamericana de Metalurgia y Materiales*. 2011, vol. 31, nro. 2, pp. 187-194. ISSN 0255-6952.

HIDALGO SALAZAR, Miguel; MINA HERNÁNDEZ, José y MUÑOZ VÉLEZ, Mario. Fibras de fique una alternativa para el reforzamiento de plásticos. Influencia de la modificación superficial. En: *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*. 2014. vol. 12, nro. 2, pp. 60-70. ISSN 1692-3561.

KAITH, Balbir; KALIA, Susheel; y KAUR, Inderjeet. Pretreatments of natural fibres and their application as reinforcing material in polymer composites. En: *Polymer Engineering and Science*. 2009, vol. 49, nro. 7, pp. 131-135. DOI: 10.1002/pen.21328

KAW, Autar. *Mechanics of Composite Materials*. 2 ed. Blacksburg, Virginia: CRC Press, 2002. Vol. 29. ISBN 0-8493-1343-0

KHAYAL, Osama Mohammed. Literature review on imperfection of composite laminated plates. En: *Journal of Microscopy and Ultrastructure*. 2017, vol. 5, nro. 3, pp. 119-122. DOI: 10.1016/j.mau.2017.011.001

LINERO LLANES, Arturo. Compuesto de fibra de fique reforzado con resina epóxica. Trabajo de grado. Bogotá D.C.: Universidad de los Andes, 2010. 55 p.

LIU, Xiao Lin; CROUNCH, I. y LAM, Y. Simulation of heat transfer and cure in pultrusion with a general-purpose finite element package. En: *Composites Science and Technology*. 2014, vol. 60, pp. 857-864. DOI: 10.1016/S0266-3538(99)00189-X.

MAJEED, Khalid. Potential materials for food packaging from nanoclay/natural fibres filled hybrid composites. En: *Materials & Design*. 2011, Vol. 46, pp. 391-410. DOI: 10.1016/j.matdes.2012.10.044

RENGIFO, César. Producción de un material compuesto de fibra de carbono con matriz abs. Trabajo de grado Ingeniero Mecánico. Santiago de Cali.: Universidad del Valle. Facultad de ingeniería, 2019. 38p.

SÁNCHEZ CARRIÓN, Edgar; JIMÉNEZ GONZÁLES, Jonathan. Diseño y construcción de un prototipo de máquina de pultrusión y estudio experimental de las variables para la obtención de perfiles "O" de material compuesto con matriz termoestable. Trabajo de Maestría. Quito, Ecuador: Universidad Politécnica Nacional, 2017. 180 p.

SANDBERG, Michael et al. Numerical modeling of the mechanics of pultrusion. En: *Mechanics of Materials in Modern Manufacturing Methods and Processing Techniques*. Loughborough, Vadim V. Silberschmidt, 2020. P.173-195

WAMBUA, Paul; IVENS, Jan y VERSPOEST, Ignass. Natural fibres: can they replace glass in fibre reinforced plastics. En: *Composites Science and Technology*. 2003, nro 63, pp.1259-1264. DOI: 10.1016/S0266-3538(03)00096-4

ANEXOS

Anexo A. Requerimientos de diseño del prototipo.

Durante el proceso de diseño inicial, se consideraron algunos aspectos como restricciones que deben tenerse en cuenta. Estas restricciones se dividieron en dos categorías: restricciones funcionales, restricciones no funcionales. A continuación, se detallan en una lista estas restricciones.

A.1. Restricciones funcionales

- Temperatura de secado entre 25 y 150 °C.
- Probetas con buen acabado superficial y sin discontinuidades.
- Tamaño máximo 1.5 * 1.0 m

A.2. Restricciones no funcionales

Sencillez, economía, aspecto, consumo energético, facilidad de operación, seguridad, resistencia a la corrosión y al desgaste, mantenimiento.

Teniendo en cuenta estos requerimientos, se procede a hacer la matriz QFD para evaluar las alternativas de diseño. Se analizan las restricciones ubicadas de forma horizontal y los subsistemas del diseño de forma vertical como se observa en la tabla 5, donde se asigna un valor ponderado de 10 para indicar una alta prioridad, mientras que un valor de 1 representa una baja relevancia. Por lo tanto, el valor final más significativo será aquel que obtenga el puntaje más alto.

Anexo B. Planteamiento de alternativas

Una vez obtenidos los resultados de la matriz QFD se evalúan los subsistemas de acuerdo con alternativas de solución.

B.1. Sistema de alimentación

Tabla 8. Matriz QFD para el prototipo de la máquina de pultrusión.

	Valor	Subsistema de alimentación		Subsistema de impregnación		Subsistema de conformado		Subsistema de curado		Subsistema de tracción		Subsistema de corte	
Sencillez	7	6	42	7	49	8	56	7	49	8	56	8	56
Economía	6	6	36	6	36	8	48	7	42	7	42	6	36
Aspecto	5	5	25	5	25	5	25	5	25	5	25	5	25
Rapidez	4	6	24	6	24	6	24	6	24	6	24	7	28
Versatilidad	3	5	15	5	15	6	18	5	15	5	15	4	12
Bajo consumo de energía	1	6	6	7	7	7	7	8	8	7	7	6	6
Facilidad de operación	2	7	14	7	14	8	16	8	16	7	14	7	14
Seguridad	1	8	8	8	8	10	10	10	10	9	9	9	9
Resistencia a la corrosión y desgaste	2	8	16	8	16	8	16	8	16	8	16	7	14
Poco mantenimiento	1	6	6	7	7	7	7	6	6	7	7	5	5
Totales		192		201		227		211		215		205	

Fuente: Autores.

- **Alternativa 1: Alimentación manual.** En este tipo de alimentación el operario utiliza sus manos para alimentar la maquina luego pasarla por la resina y por último introducirla en la matriz de conformación. Las ventajas que da este sistema es la reducción de costos cuando se requiere para pequeñas producciones o para cuando se está desarrollando un prototipo. Las desventajas que presenta se notan cuando se precisa realizar pultrusión en grandes volúmenes, requiere mayor demanda de mano de obra y más tiempo de producción.
- **Alternativa 2: Alimentación en rollo.** En la máquina de pultrusión se usa este sistema cuando se requiere alimentación constante y uniforme, el material es común usarlo cuando requiere producciones medianas y grandes. La alimentación se da desde rollos de fibra ubicados en la maquina y pueden ser tejidos o hilos, la resina se encuentra en un recipiente por el que pasa el material hasta la matriz de conformado. Los rollos se ubican en una posición elevada respecto a la máquina, generalmente en un soporte que permite desenrollar el material con facilidad.

Figura 36. Alimentación en rollo para proceso de pultrusión.



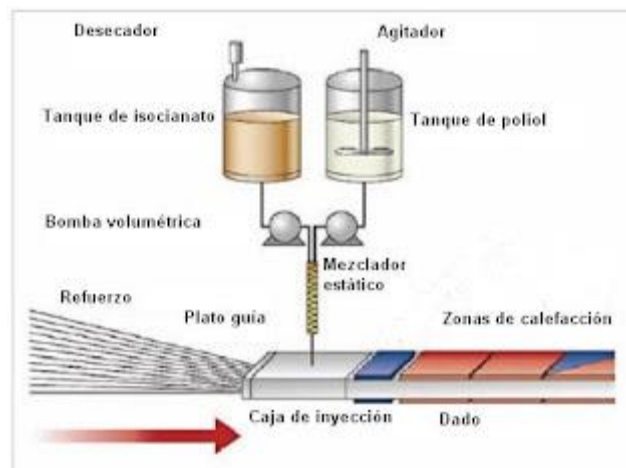
Fuente: Röchling [Sitio web]. PULTRUSIÓN: PROCESO de fabricación. [Consulta: 5 de junio 2023].
Disponble en: <https://www.roechling.com/es/industrial/tecnologias/pultrusion>.

- **Alternativa 3: Alimentación de preforma.** Este sistema de alimentación utiliza perfiles preformados cortados en longitudes deseadas que se introducen en la máquina, usando una secuencia determinada para producirlos. La impregnación la realiza un recipiente ubicado cerca de la máquina.

B.2. Subsistema de impregnación

- **Alternativa 1: Inyección de resina.** La resina es inyectada a través una boquilla ubicada en la zona de impregnación que se ubica anterior a la conformación cuando el material de fibra está próximo a ingresar a la matriz. Generalmente se utiliza este método para pultrusión de perfiles con geometrías complejas porque permite un mejor control de la cantidad de resina que se aplica.

Figura 37. Impregnación de resina mediante método de inyección.



Fuente: Tecnología de los Plásticos [Sitio web]. Pultrusión. OJEDA, Mariano. [Consulta: 5 de junio 2023]
 Disponible en: <https://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/07/pultrusion.html>.

- **Alternativa 2: Baño de resina.** En este proceso, la fibra es sumergida en un recipiente que contiene resina líquida o semilíquida antes de ser introducida en la matriz para dar forma al perfil deseado.

La aplicación de la resina se logra al sumergir la fibra de vidrio en el contenedor y luego comprimirlo antes de pasar a través del molde.

Figura 38. Impregnación de resina mediante método de bañado.



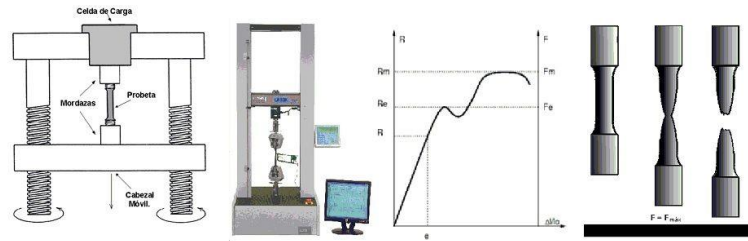
Fuente: Gazechim Composites Ibérica [Sitio web]. PULTRUSION. [Consulta: 5 de junio 2023]. Disponible en: <https://www.gazechim.es/procesos-de-aplicacion/pultrusion/>.

B.3. Subsistema de conformado

En este subsistema se evalúan las geometrías de la matriz para generar el perfil que se quiera producir.

- **Alternativa 1: Perfil con sección transversal circular.** Esta geometría genera probetas de forma cilíndrica, generalmente son usadas para realizar pruebas de compresión y tracción.

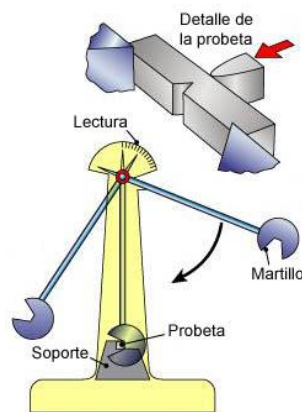
Figura 39. Ensayo de tracción.



Fuente: ÁreaTecnología [Sitio web]. Ensayo de tracción. [Consulta: 6 de junio 2023]. Disponible en: <https://www.areatecnologia.com/materiales/ensayo-de-traccion.html>.

- **Alternativa 2: Perfil con sección transversal cuadrada.** Esta geometría produce probetas o perfiles de forma rectangular y cuadrada estas probetas son usadas generalmente para realizar ensayos de impacto y de flexión.

Figura 40. Péndulo de Charpy



Fuente: IEDA [Sitio web]. Ensayo de resiliencia. [Consulta: 6 de junio 2023]. Disponible en: https://edeja.juntadeandalucia.es/bancorecursos/file/94295701-c64a-4a27-8faf-e02a30881ba3/1/es-an_2019111112_9094956.zip/13_ensayo_de_resiliencia.html?temp.hn=true&temp.hb=true.

- **Alternativa 3: Perfil en I.** También son llamadas probetas planas.

Figura 41. Probetas normalizadas tipo I.



Fuente: Insymed – Instrumentos & Mediciones Industriales SAS [Sitio web]. Dispositivos de ensayo para probetas normalizadas. [Consulta: 6 de junio 2023]. Disponible en: <http://insymed.com/product/dispositivos-de-ensayo-para-probetas-normalizadas/>.

B.4. Subsistema de curado

- **Alternativa 1: Por resistencia eléctrica.** Se genera calor haciendo circular corriente eléctrica por un elemento resistivo que, de acuerdo con su tamaño, geometría y material, se puede controlar para producir el calor deseado. Este calor es utilizado para secar de forma acelerada el compuesto.

Figura 42. Resistencia eléctrica industrial.



Fuente: Resista SAS [Sitio web]. Resistencias eléctricas para calentamiento industria. [Consulta: 8 de junio 2023]. Disponible en: <https://www.resistaltda.com/resista/pg6/sp/resistencias-electricas-calentamiento-industrial>.

- **Alternativa 2: Por calentadores de gas.** Se adquiere el calor mediante quemadores que regulan su temperatura con elementos llamados válvulas. Este método no es el más eficiente puesto que se generan pérdidas de energía por no tener un control seguro de la temperatura de la llama.
- **Alternativa 3: Por adición de compuesto.** En este método de curado, se utiliza un acelerante para mejorar el tiempo de secado.

B.5. Subsistema de tracción

- **Alternativa 1: Tracción por rodillos.** Este tipo de tracción utiliza rodillos para arrastrar la pieza en formación, son ubicados posterior al subsistema de conformado y se ajustan a la velocidad adecuada de tal manera que no se pierda la forma de la pieza, generalmente utilizan un motor.

Figura 43. Sistema de tracción por rodillos.



Fuente: Mexpolímeros [Sitio Web]. Pultrusión. [Consulta: 10 de junio 2023]. Disponible en: <https://www.mexpolimeros.com/pultrusion.html>.

- **Alternativa 2: Pinzas de tracción.** En este tipo de tracción se puede usar un sistema neumático o hidráulico, a través de una presión controlada de fluido se hace el arrastre de la pieza, es el elemento ideal para perfiles con geometrías delicadas y no uniforme, es ideal para elementos que necesitan grandes fuerzas de tracción.

- **Alternativa 3: Tracción por cilindro.** En este tipo de tracción se puede usar un sistema neumático o hidráulico, a través de una presión controlada de fluido se hace el arrastre de la pieza, es el elemento ideal para perfiles con geometrías delicadas y no uniforme, es ideal para elementos que necesitan grandes fuerzas de tracción. Necesita elementos adicionales como un compresor en el sistema neumático o una bomba en el sistema hidráulico para llegar a las presiones necesarias.

B.6. Subsistema de corte

- **Alternativa 1: Corte manual.** se hace con herramientas de corte tradicionales como seguetas, cuchillos, sierras o tijeras el proceso es bastante sencillo, pero no deja un buen acabado final, estos elementos de corte son usados generalmente para prototipos de pruebas y en máquinas en las que no se necesita producciones en masa.
- **Alternativa 2: Corte con disco.** En este método de corte se utilizan maquinas como las pulidoras manuales o esmeriles rectos, esta forma deja con un buen acabado superficial, pero genera daños en las estructuras internas de la fibra.

Figura 44. Herramienta de corte con disco (esmeril industrial)



Fuente: LOENCUENTRAS.COM.CO [Sitio web]. Esmeril recto rectificador Industrial 600W Portátil. [Consulta: 10 de junio 2023]. Disponible en: <https://www.loencuentras.com.co/esmeriladoras/872-esmeril-recto-rectificador-industrial-600w-portatil.html>.

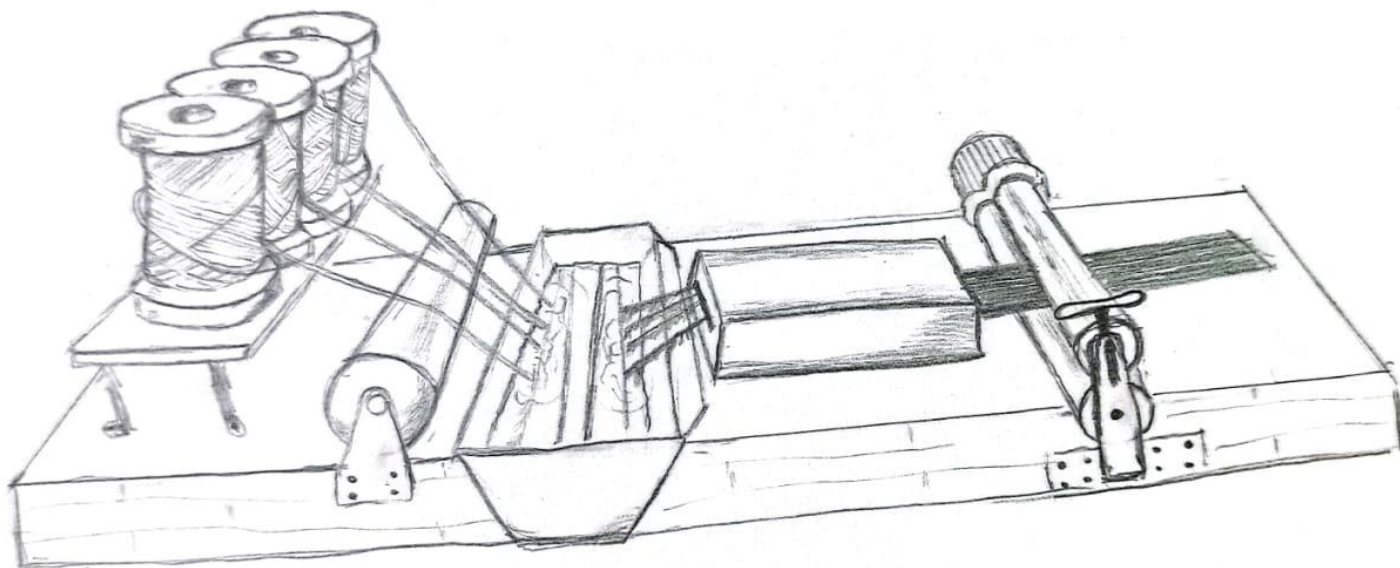
- **Alternativa 3: Corte con chorro de agua.** Este elemento es muy usado cuando se necesita alta precisión y se cortan materiales de alta resistencia, otra de las grandes cualidades es que no producen chispa lo que en algunos ambientes puede ser de alta seguridad.

Tabla 9. Ponderación final de alternativas.

Criterio de evaluación	Parámetros	Pi	ALTERNATIVA 1		ALTERNATIVA 2		ALTERNATIVA 3		
			Nota	Ponderación	Nota	Ponderación	Nota	Ponderación	
Subsistema de alimentación	0,1535	Tensión	0,4	2	0,1228	4	0,2456	3	0,1842
		Velocidad	0,4	1	0,0614	5	0,3070	3	0,1842
		Seguridad de operación	0,2	1	0,0307	4	0,1228	3	0,0921
TOTAL PONDERACIÓN					0,2149		0,6754		0,4605
Subsistema de impregnación	0,1607	Tiempo	0,2	4	0,12856	4	0,12856	-	-
		Temperatura	0,4	3	0,19284	3	0,19284	-	-
		Presión	0,4	2	0,12856	3	0,19284	-	-
TOTAL PONDERACIÓN					0,4500		0,5142		-
Subsistema de conformado	0,1814	Temperatura	0,3	3	0,1633	3	0,1633	4	0,2177
		Tiempo	0,1	3	0,0544	3	0,0544	4	0,0726
		Velocidad	0,3	3	0,1633	3	0,1633	3	0,1633
		Presión	0,3	3	0,1633	3	0,1633	3	0,1633
TOTAL PONDERACIÓN					0,5442		0,5442		0,6168
Subsistema de curado	0,1686	Temperatura	0,4	3	0,20232	2	0,13488	4	0,26976
		Tiempo	0,2	4	0,13488	4	0,13488	3	0,10116
		Presión	0,4	2	0,13488	2	0,13488	3	0,20232
TOTAL PONDERACIÓN					0,4721		0,4046		0,5732
Subsistema de tracción	0,1718	Fuerza	0,4	5	0,3436	4	0,2749	4	0,2749
		Velocidad	0,4	4	0,2749	3	0,2062	3	0,2062
		Seguridad de operación	0,2	4	0,1374	3	0,1031	4	0,1374
TOTAL PONDERACIÓN					0,7559		0,5841		0,6185
Subsistema de corte	0,1640	Velocidad	0,25	3	0,123	4	0,164	4	0,164
		Fuerza	0,25	3	0,123	4	0,164	4	0,164
		Economía	0,2	5	0,164	2	0,0656	2	0,0656
		Seguridad de operación	0,1	3	0,0492	2	0,0328	2	0,0328
TOTAL PONDERACIÓN					0,4592		0,4264		0,4264

Fuente: Autores.

Figura 46. Boceto de concepto del prototipo de pultrusión.



Fuente: Autores.

La máquina seleccionada funciona mediante la alimentación de rollos de fibra de fique y resina líquida, que se impregnan en la fibra y luego se moldean a través de un molde tipo I, gracias a un sistema de tracción de rodillos que genera una tensión de arrastre que hala el compuesto, donde finalmente se solidifica con ayuda de un catalizador y se corta de forma manual.

El proceso de pultrusión comienza con la alimentación de los rollos de fibra y la resina líquida en la máquina. La resina líquida se mantiene a una temperatura constante para asegurar que fluya correctamente y se impregne en la fibra. A medida que la fibra y la resina impregnada avanzan a través de la máquina gracias a un sistema tracción de rodillos, pasan por un sistema de conformado que da forma al material en perfiles en I (el sistema de conformado está diseñado específicamente para crear este tipo de perfil impulsado). Los rodillos estiran y aprietan el material, lo que ayuda a asegurar que la resina se distribuya uniformemente en toda la fibra. También se utiliza para controlar la velocidad del proceso.

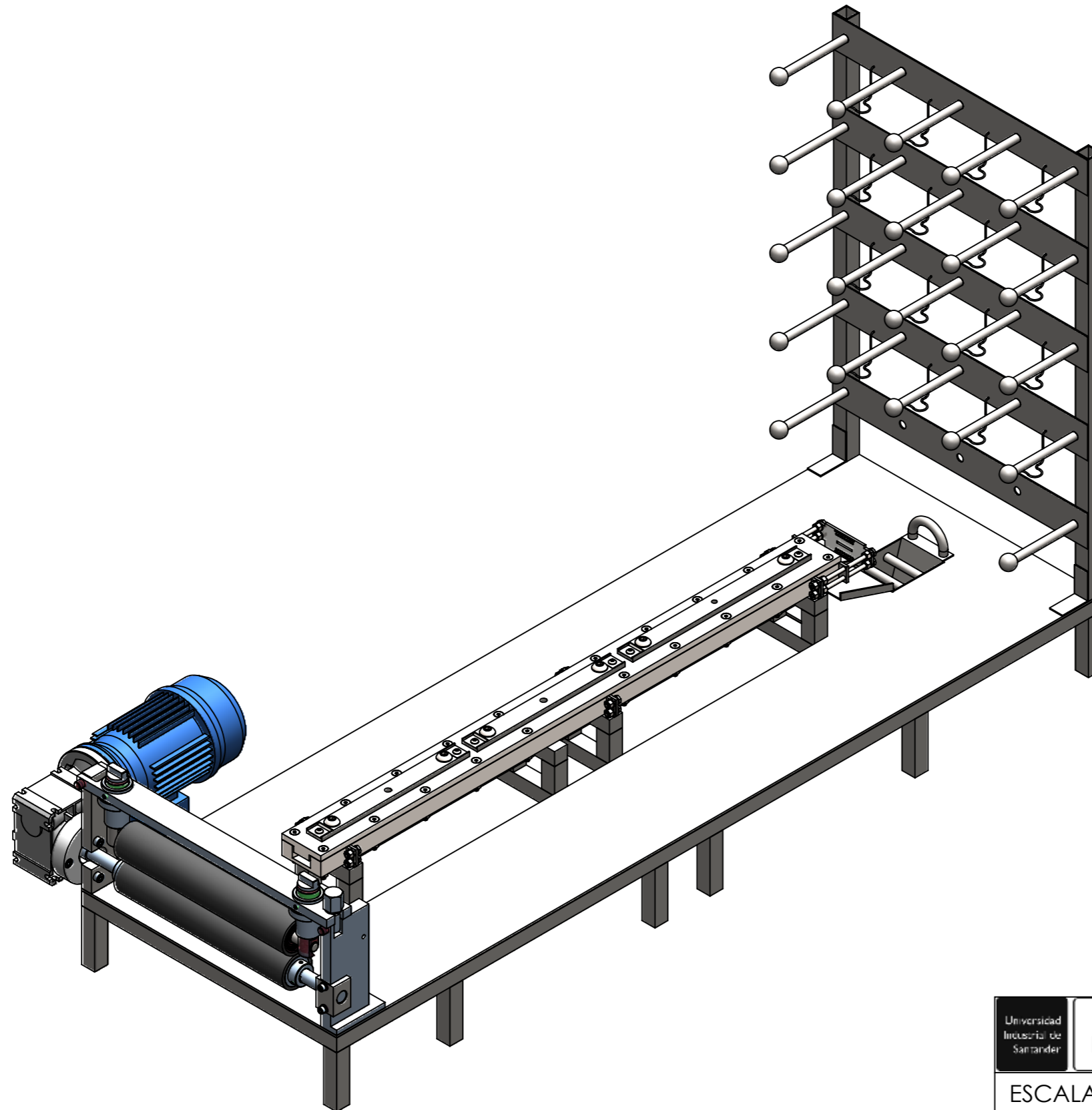
Después de pasar por el sistema de conformado, el material se somete al proceso de curado utilizando el catalizador en la resina. El catalizador inicia una reacción química que solidifica la resina y endurece el material. Una vez que el material se ha curado, se corta a la longitud deseada para su respectivo almacenamiento.

La matriz QFD podría estar sometida a cambios elementales, debido a los resultados que se obtengan de la evaluación de los parámetros mediante ensayos mecánicos, relacionados al objetivo uno del presente proyecto. Lo que podría afectar significativamente la adición, cambio o retiro de las alternativas evaluadas anteriormente.

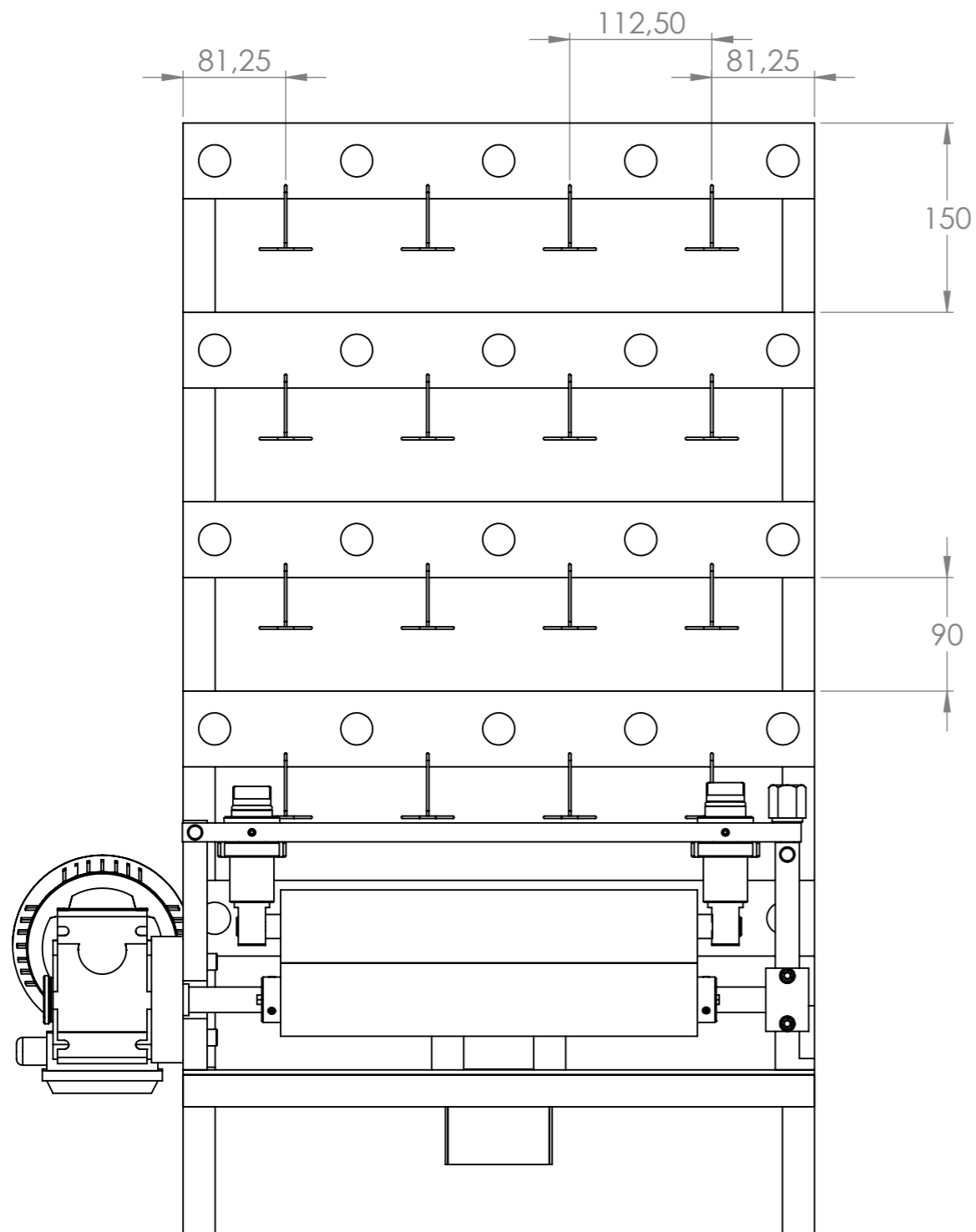
Anexo C. Planos del prototipo

A continuación, se presentan los planos del prototipo de máquina de pultrusión, los cuales ayudan a entender la estructura y el diseño detallado de la máquina. Estos planos son una herramienta crucial para los ingenieros, diseñadores y fabricantes, ya que proporcionan información visual y dimensiones precisas sobre cada componente. Además, facilitan la comunicación efectiva entre los miembros del equipo al establecer un estándar común de referencia.

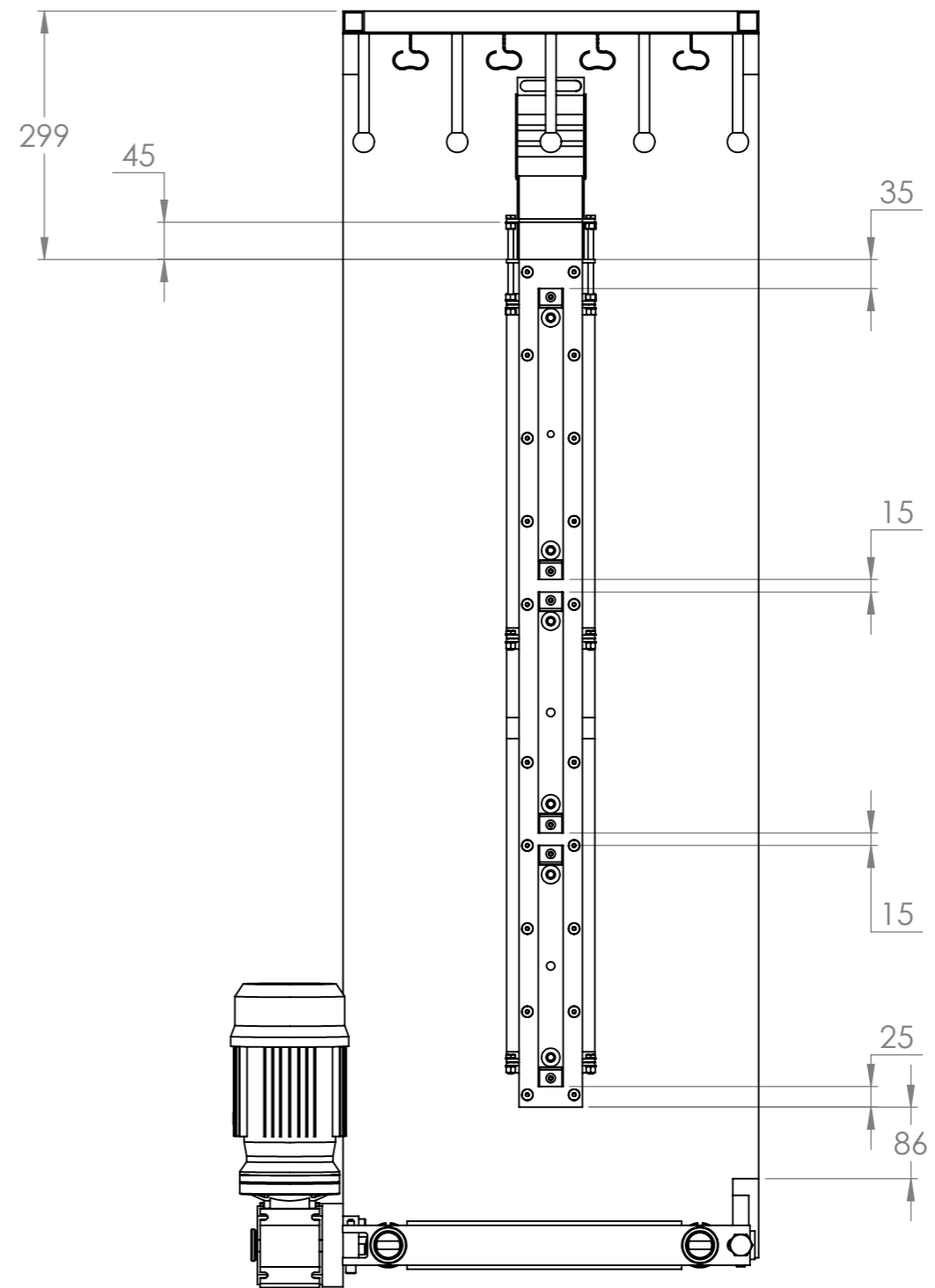
PROTOTIPO DE MAQUINA DE PULTRUSIÓN





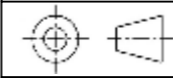
Universidad Industrial de Santander	UIS	ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA		
ESCALA 1:7	PROTOTIPO DE MAQUINA DE PULTRUSION			
	DIBUJADO POR: YAMITH V. CORREA	2024/01/24	HOJA 1/56	
FORMATO: A3	REVISADO POR:	PL N° 1		
MEDIDA MMGS	PROYECTO: PROTOTIPO DE MAQUINA DE PULTRUSIÓN			

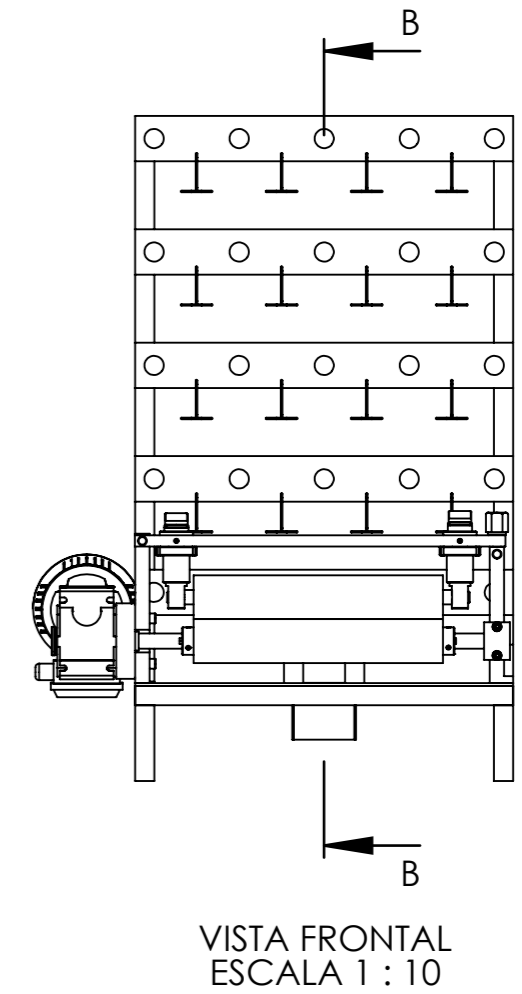
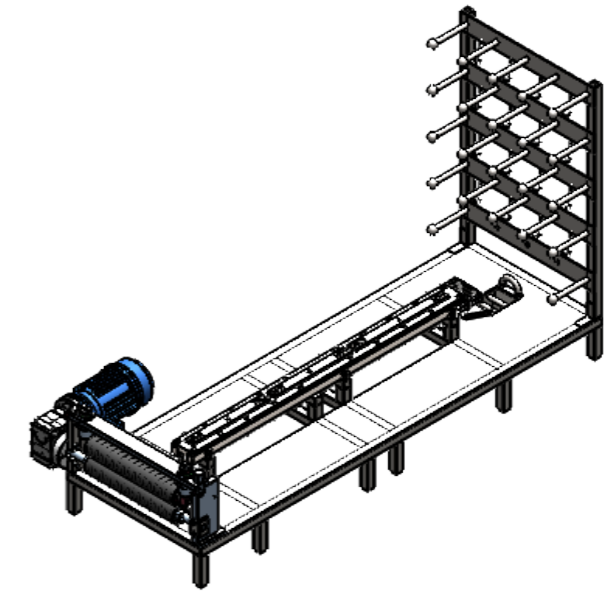
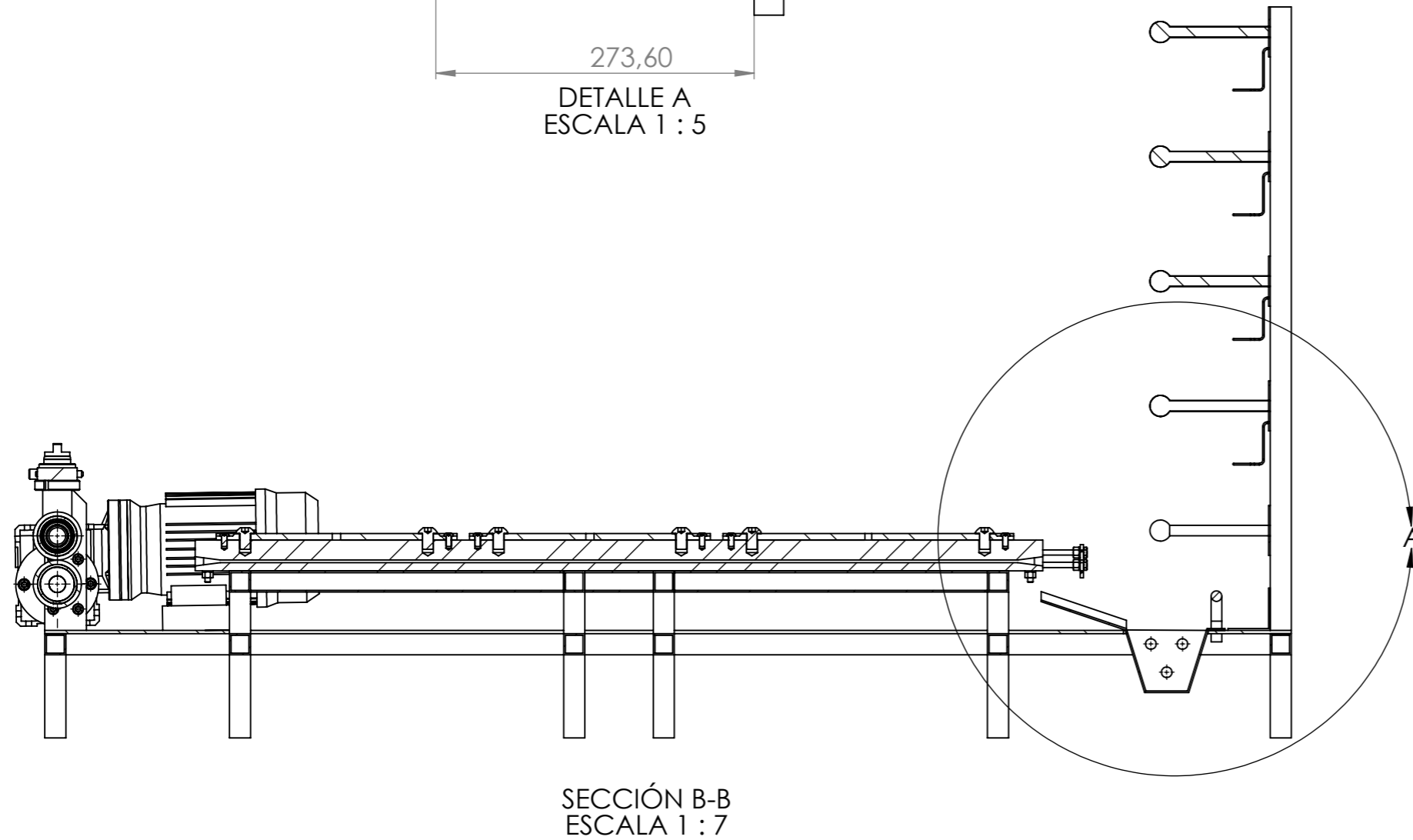
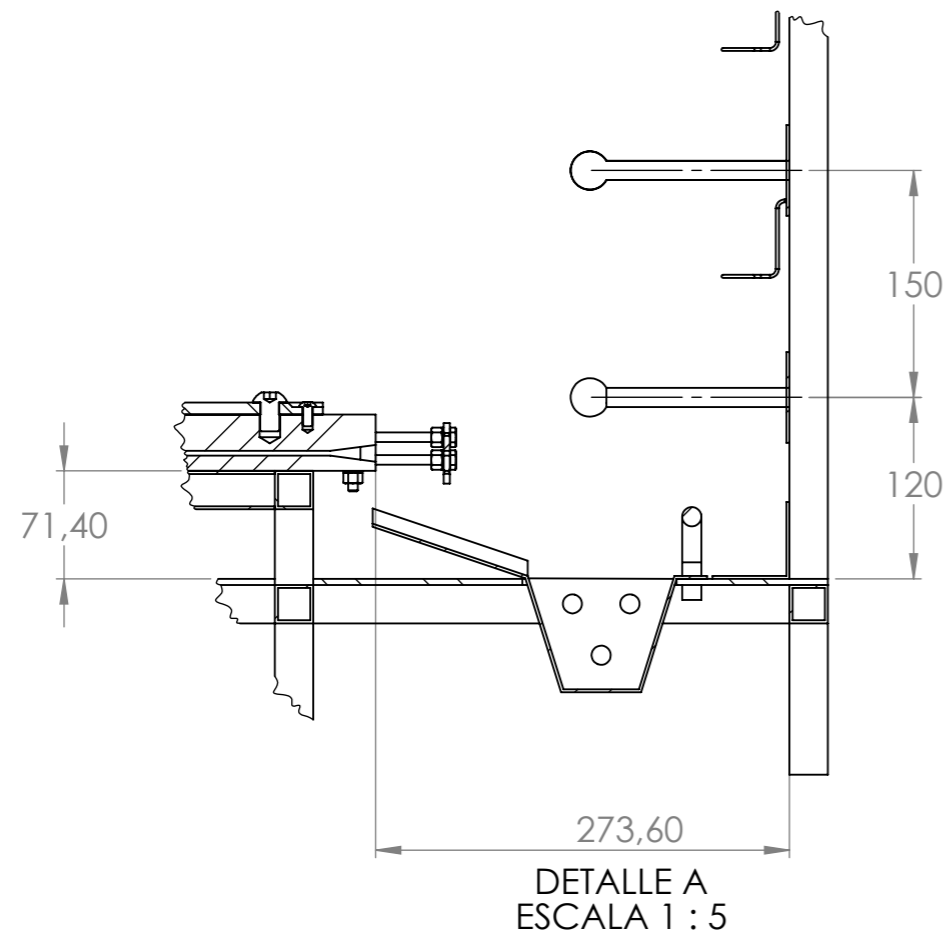


vista frontal
escala 1:5

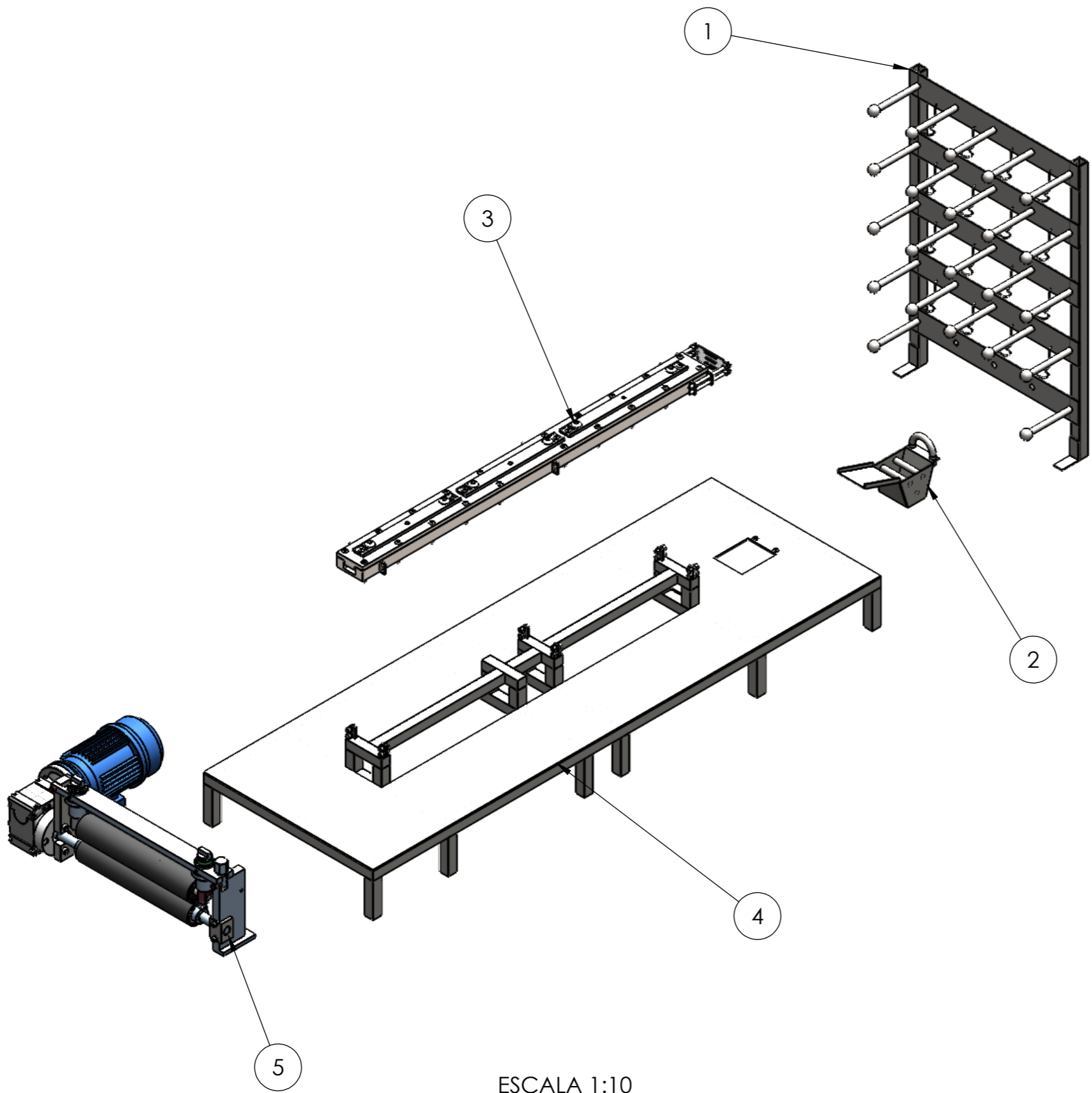


vista superior
escala 1:8

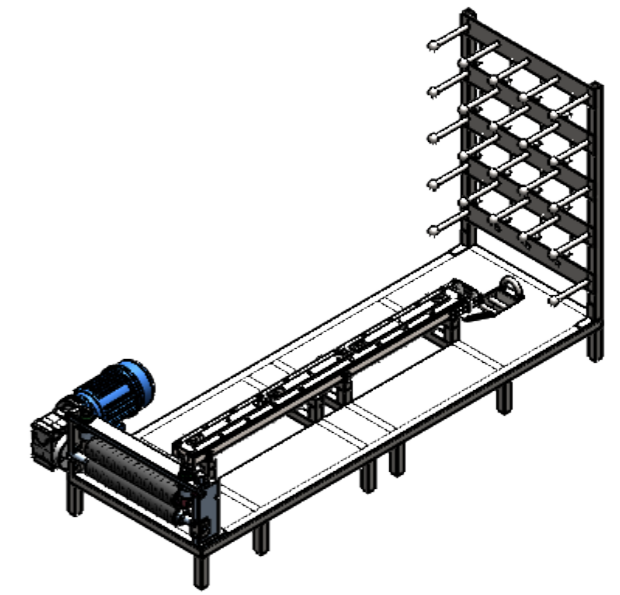
 		ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA	
ESCALA 1:7		DETALLES DE ENSAMBLE	
		DIBUJADO POR: YAMITH V. CORREA	2024/01/24
FORMATO: A3		REVISADO POR:	PL N° 2
MEDIDA MMGS		PROYECTO: PROTOTIPO DE MAQUINA DE PULTRUSIÓN	





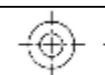
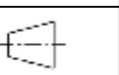
		ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA	
ESCALA 1:20		DETALLES DE ENSAMBLE	
	DIBUJADO POR: YAMITH V. CORREA	2024/01/15	HOJA 3/56
FORMATO: A3	REVISADO POR:	PL N° 3	
MEDIDA MMGS	PROYECTO: PROTOTIPO MAQUINA DE PULTRUSIÓN		

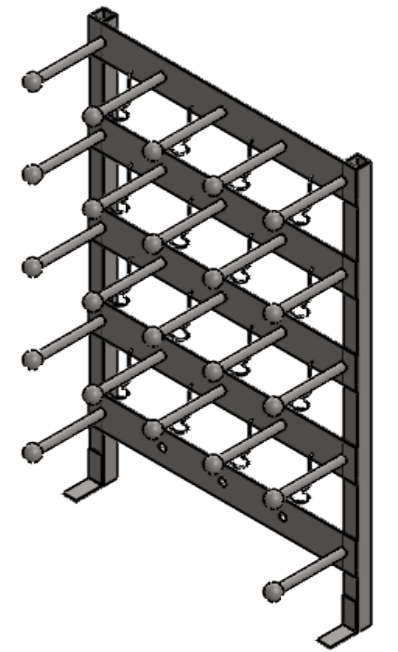
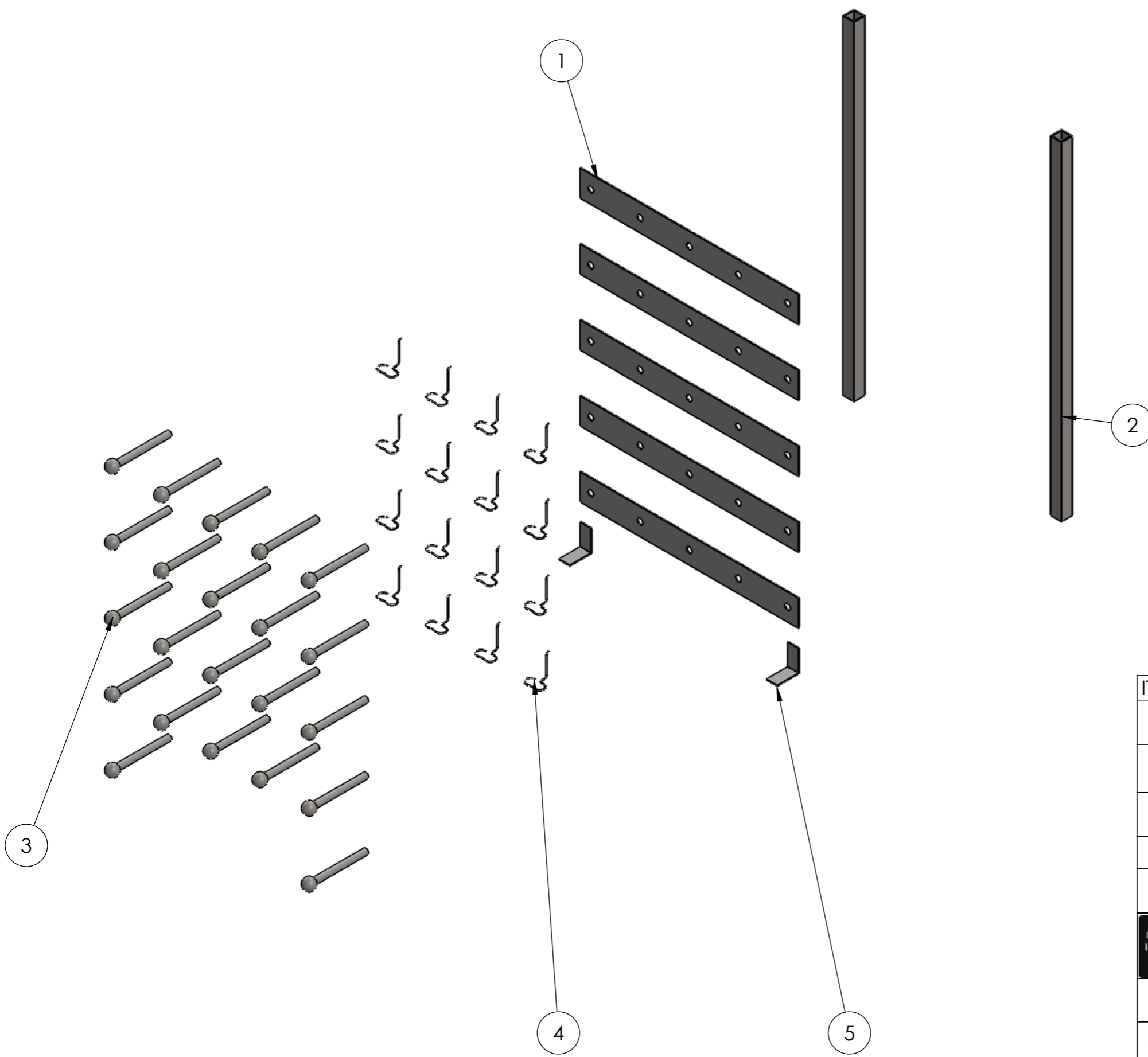


ESCALA 1:10





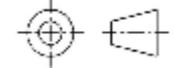
ESCALA 1:20

5	SUBSISTEMA DE TRACCIÓN		
4	SUBSISTEMA DE SOPORTE		
3	SUBSISTEMA DE CURADO		
2	SUBSISTEMA DE IMPREGNACIÓN		
1	SUBSISTEMA DE ALIMENTACIÓN		
Nº	NOMBRE DEL SUBSISTEMA		
 		ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA	
ESCALA 1:1		EXPLOSIONADO POR SUBSISTEMAS	
 		DIBUJADO POR: YAMITH V. CORREA	2024/01/15
FORMATO: A3		REVISADO POR:	PL N° 4
MEDIDA MMGS		PROYECTO: PROTOTIPO DE MAQUINA DE PULTRUSIÓN	
HOJA 4/56			

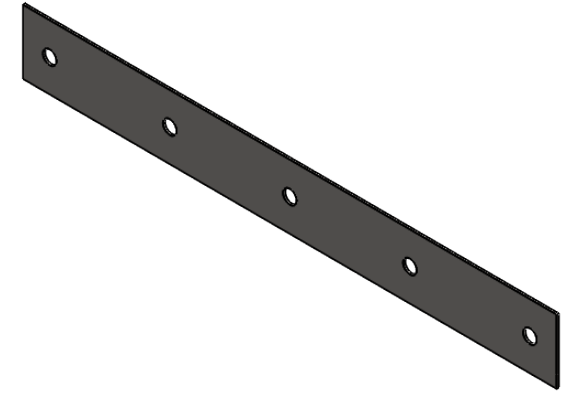


ISOMETRICO
ESCALA 1:10

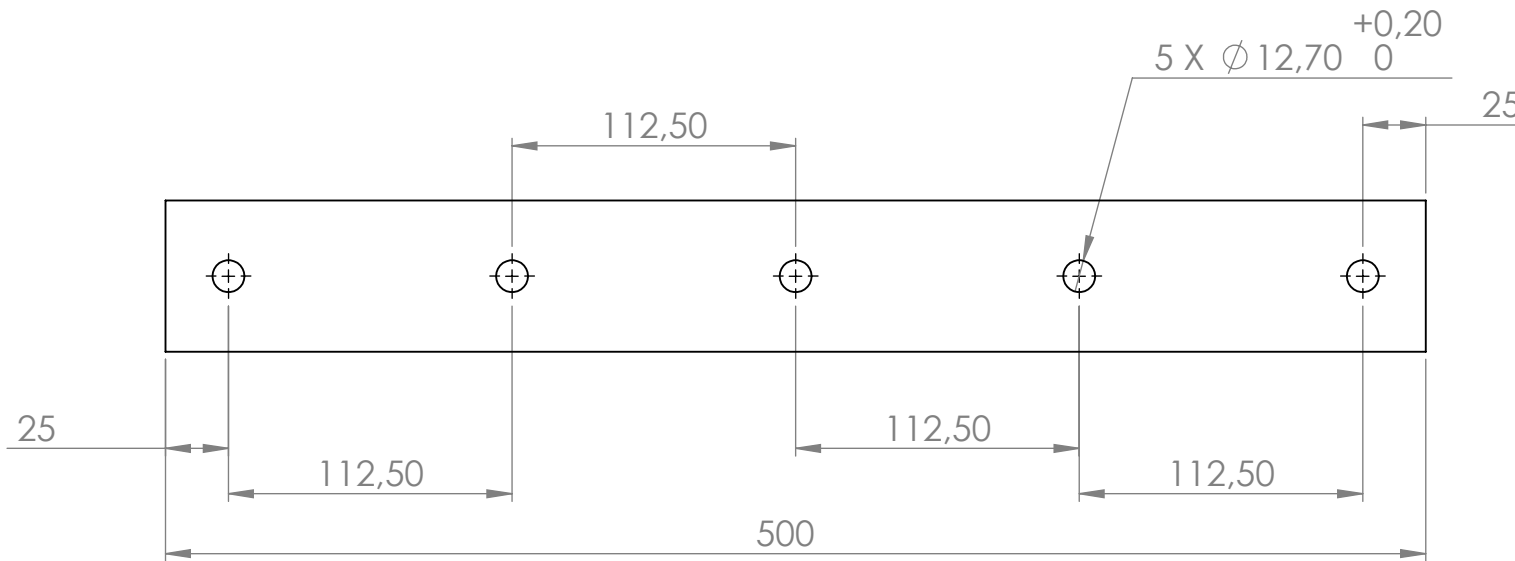
ITEM	PART NUMBER	DESCRIPCIÓN	QTY.
1		platina soporte de alimentación	5
2		tubo soporte de alimentación	2
3		Dedo Soporte Alimentación	22
4		TIRAHILOS	16
5		Angulo zapato alimentación	2

 	ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA		
ESCALA 1:7	EXPLOSIONADO SUBSISTEMA DE ALIMENTACION		
	DIBUJADO POR: YAMITH V. CORREA	2024/01/15	HOJA 5/56
FORMATO: A3	REVISADO POR:	PL N° 5	
MEDIDA MMGS	PROYECTO: PROTOTIPO DE MAQUINA DE PULTRUSIÓN		

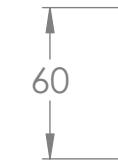
1.1 PLATINA SOPORTE, e=2mm. CANTIDAD 1



ISOMETRICO
ESCLA 1:10

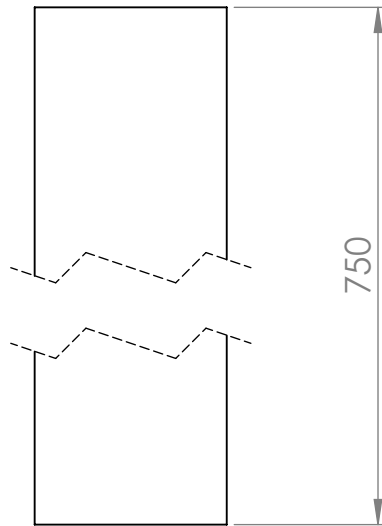


VISTA FRONTAL
ESCLA 1:3

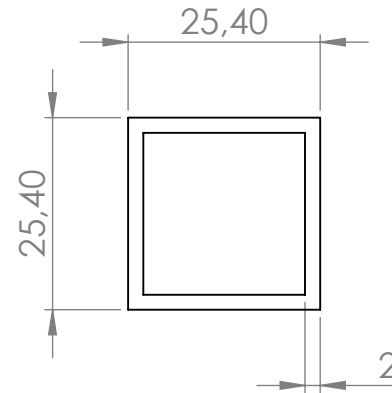


VISTA LATERAL
ESCLA 1:3

1.2 TUBO CUADRADO 25.4mmX25.4mm, e=2mm. CANTIDAD 2



VISTA FRONTAL
ESCLA 1:1

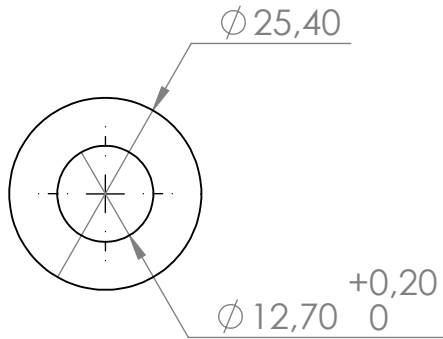


VISTA SUPERIOR
ESCLA 1:1

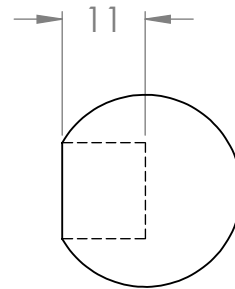


VISTA ISOMÉTRICA
ESCLA 1:10

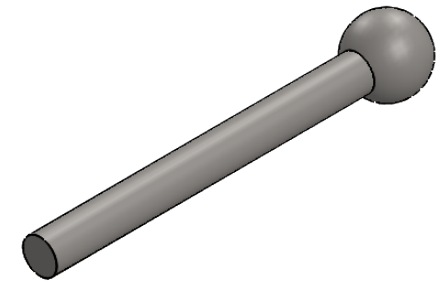
1.3.1 ESFERA 25.4mm. CANTIDAD 1



VISTA FRONTAL
ESCLA 1:1

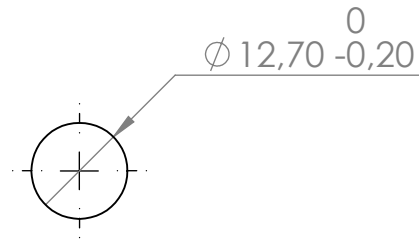


VISTA LATERAL
ESCLA 1:1

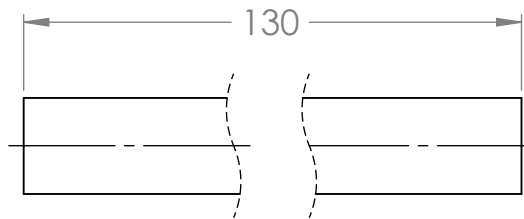


VISTA ISOMÉTRICA
ESCLA 1:10

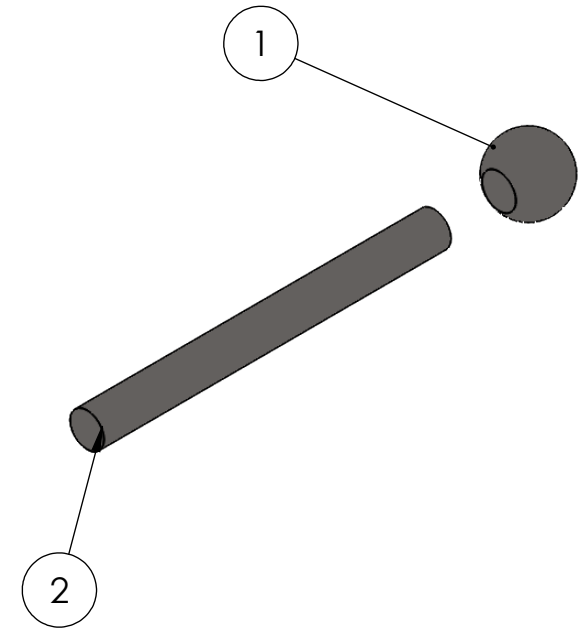
1.3.2 BARRA MASISA 12.7mm. CANTIDAD 1



VISTA FRONTAL
ESCLA 1:1



VISTA LATERAL
ESCLA 1:1



ITEM NO.	NOMBRE	DESCRIPCION	QTY.
1	Esfera dedo alimen.	ESFERA DE 1"	1
2	Barra dedo aliment.	BARRA 1/2 " LONG 130mm	1



ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

DEDO SOPORTE DE ALIMENTACIÓN

PIEZA N°: 1.3

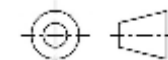
MATERIAL:
AISI 1020

ESCALA: 1:1

MEDIDAS:
MMGS

FECHA:
15/01/2024

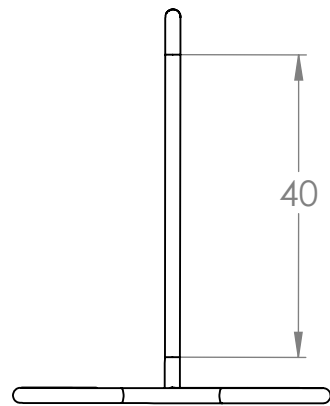
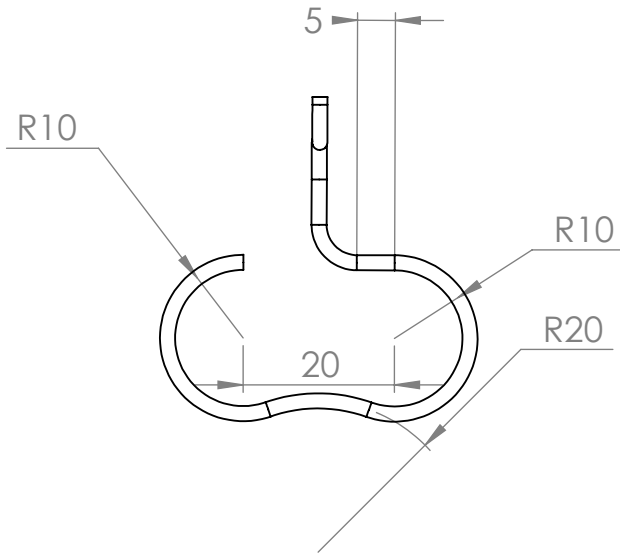
DIBUJADO POR:
YAMITH VEGA C.



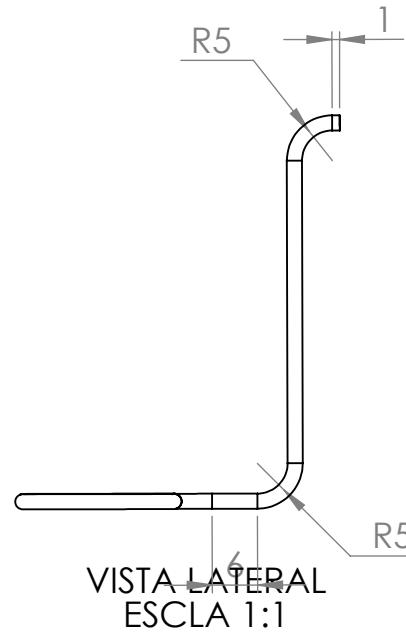
HOJA 8/56

PL. N° 8

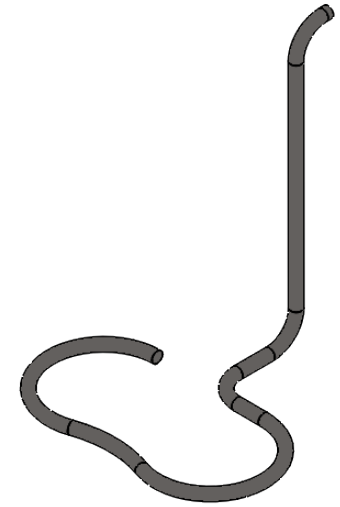
**1.4 ALAMBRE, LONG 165mm, CALIBRE 2mm.
CANTIDAD 1**



VISTA FRONTAL
ESCLA 1:1



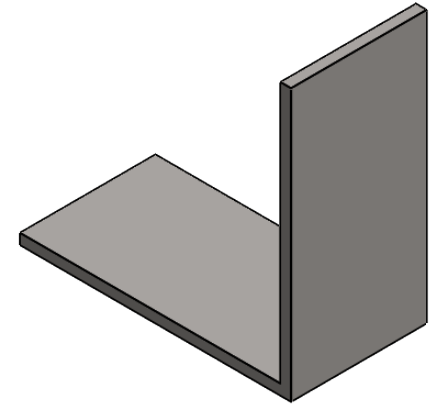
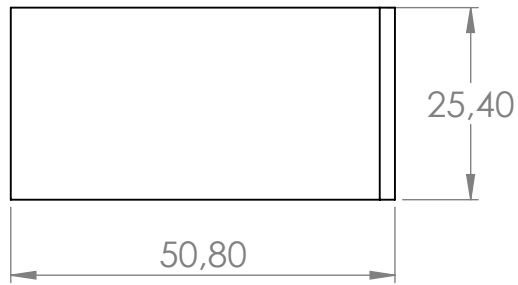
VISTA LATERAL
ESCLA 1:1



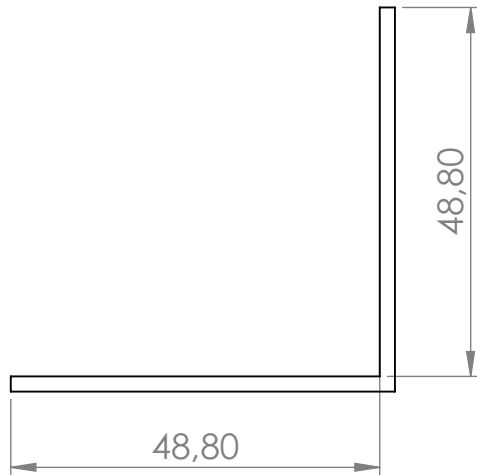
VISTA ISOMÉTRICA
ESCLA 1:1

	ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA			TIRA HILOS		PIEZA N°: 1.4	MATERIAL: AISI 1020
	ESCALA: 1:1	MEDIDAS: MMGS	FECHA: 15/01/2024	DIBUJADO POR: YAMITH VEGA C.		HOJA 9/56	PL. N° 9

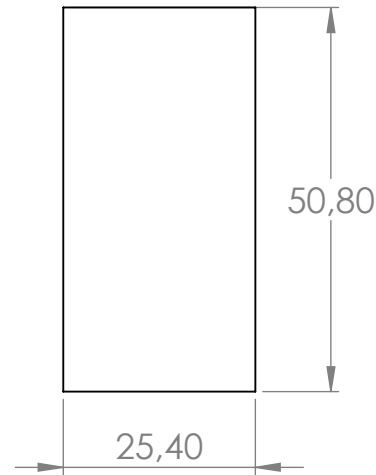
1.5 PLATINA, ESPESOR:2mm. CANTIDAD 1



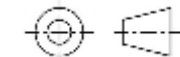
VISTA ISOMÉTRICA
ESCLA 1:1

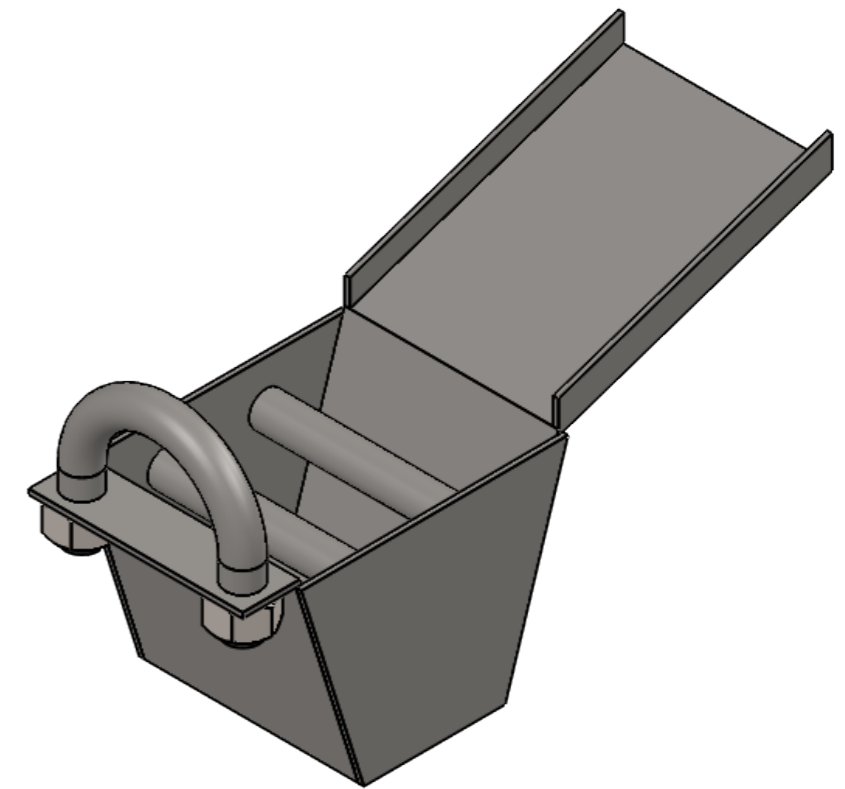
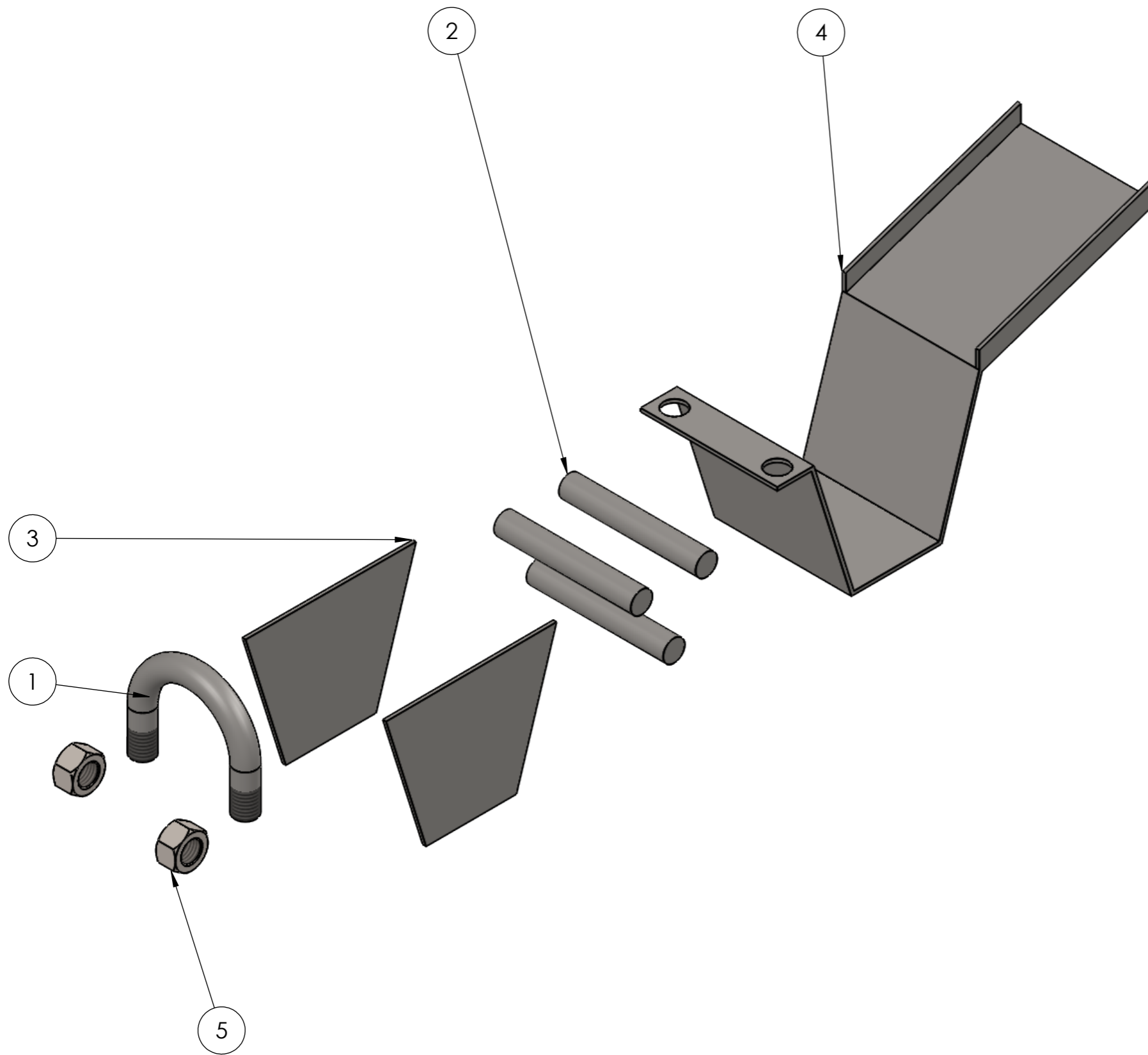


VISTA FRONTAL
ESCLA 1:1



VISTA LATERAL
ESCLA 1:1

	ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA			ANGULO ZAPATA		PIEZA N°: 1.5	MATERIAL: AISI 1020
	ESCALA: 1:1	MEDIDAS: MMGS	FECHA: 15/01/2024	DIBUJADO POR: YAMITH VEGA C.		HOJA 10/56	PL. N° 10



ISOMETRICO
ESCALA 1:2

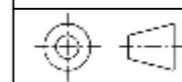
ITEM NO.	PART NUMBER	DESCRIPTION	QTY.
1	ARO ENTRADA DE ALIMENTACION	BARRA MASIZA ROLADA Y ROSCADA	1
2	DEDO RECERVORIO	BARRA MASIZA	3
3	LATERAL DE RESERVORIO	LÁMINA DE ACERO	2
4	TAPA DE RESERVORIO	LÁMINA DE ACERO DOBLADA	1
5	TUERCA HEX 1/2-20	TUERCA HEXAGONAL	2



ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

ESCALA 1:2

EXPLOSIONADO SUBSISTEMA IMPREGNACIÓN



DIBUJADO POR:
YAMITH V. CORREA

2023/01/15

FORMATO:
A3

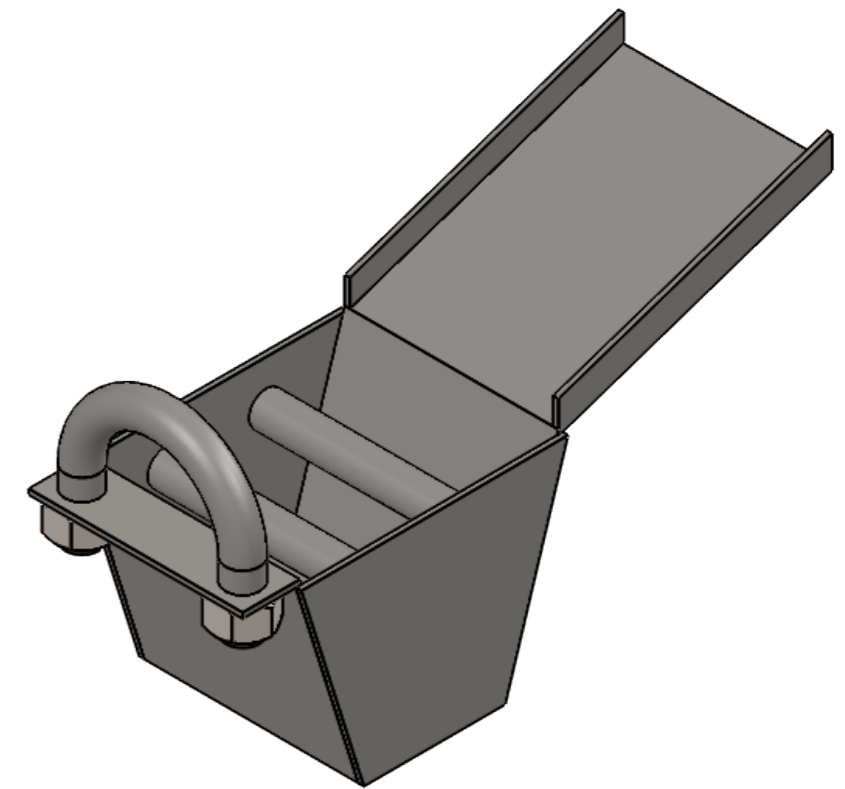
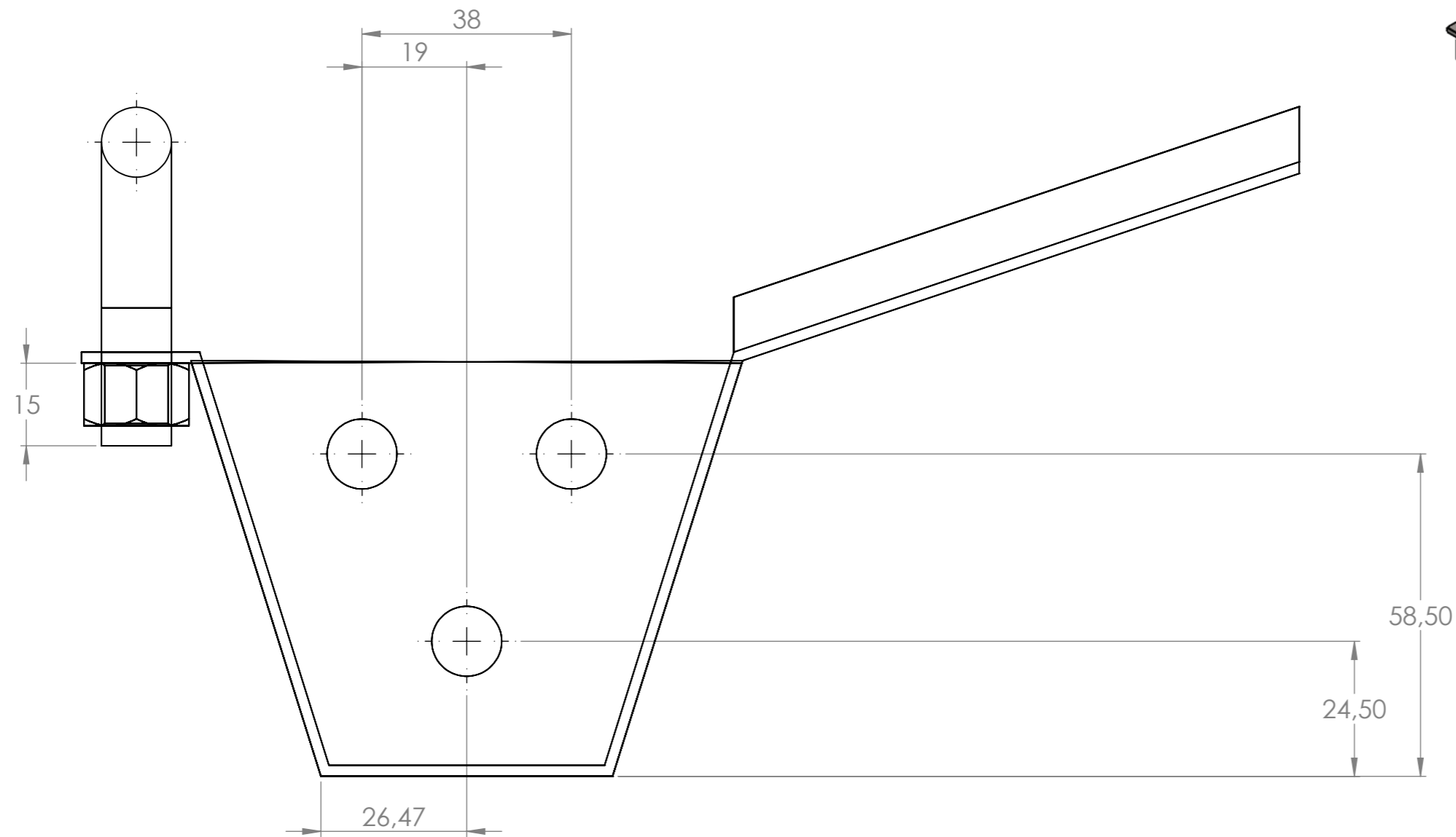
REVISADO POR:



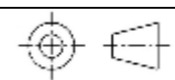
PL N° 11

HOJA 11/56

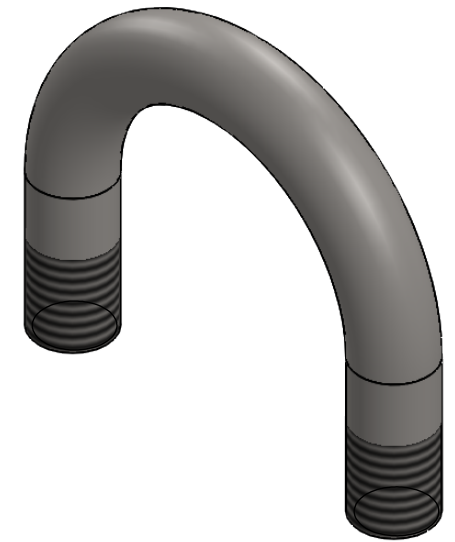
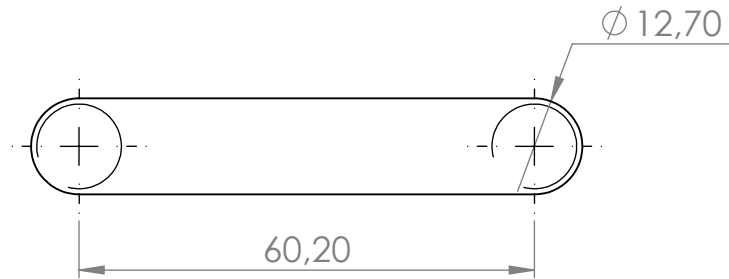
MEDIDA
MMGS

PROYECTO:
PROTÓTIPO DE MAQUINA DE PULTRUSIÓN

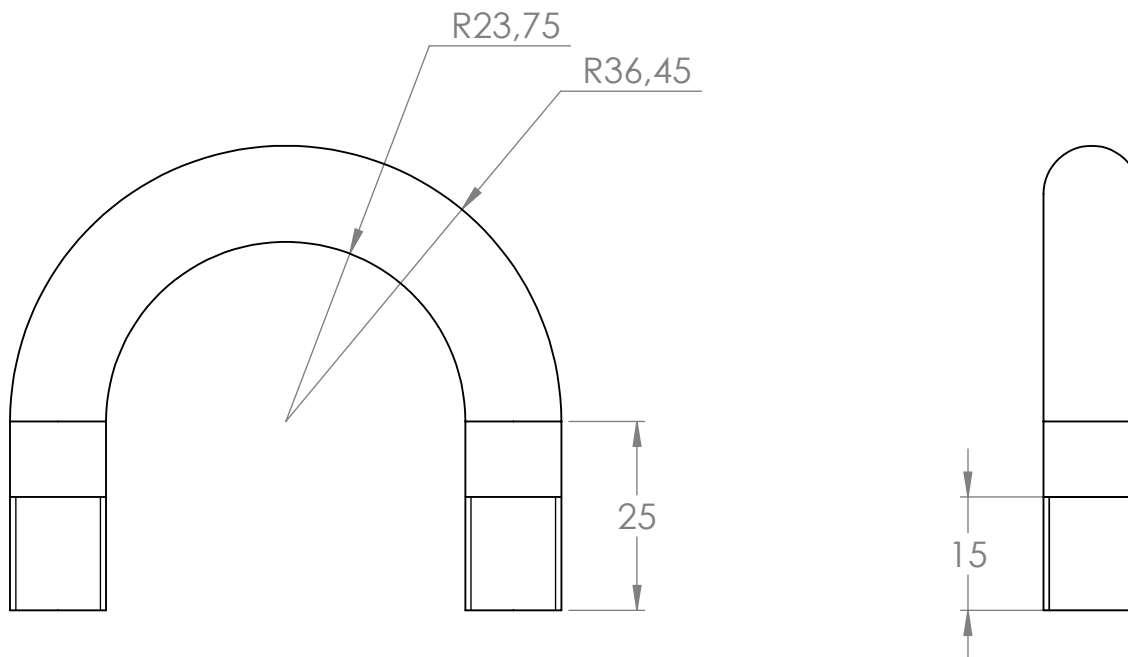


 		ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA	
ESCALA 1:1		DETALLE DE ENSAMBLE DE SUBSISTEMA	
	DIBUJADO POR: YAMITH V. CORREA	2024/01/15	HOJA 12/56
	FORMATO: A3	REVISADO POR:	
MEDIDA MMGS	MATERIAL: PROTOTIPO DE MAQUINA DE PULTRUSIÓN		

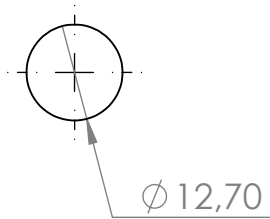
**2.1 Barra masiza, Long.140mm,
diametro 12.7mm. CANTIDAD 1**



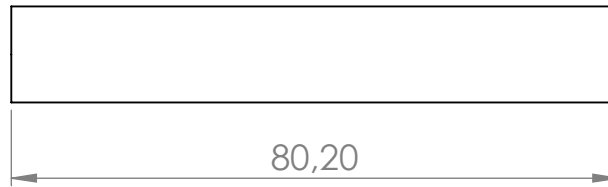
ISOMÉTRICO
ESCALA 1:1



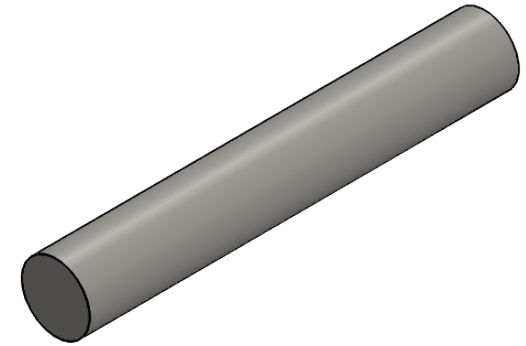
2.2 BARRA MASIZA. DIAMETRO 12.7mm CANTIDAD 1



VISTA FRONTAL
ESCALA 1:1

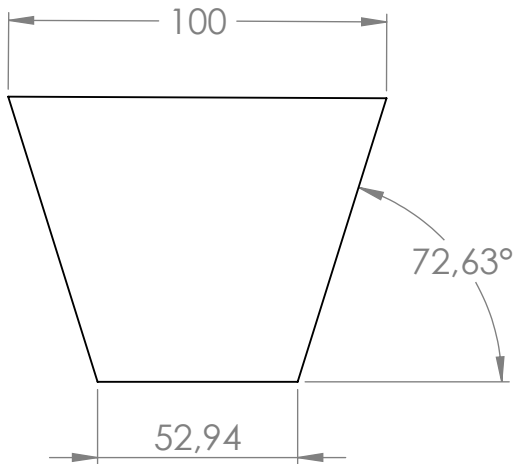


VISTA LATERAL
ESCALA 1:1



ISOMETRICO
ESCALA 1:1

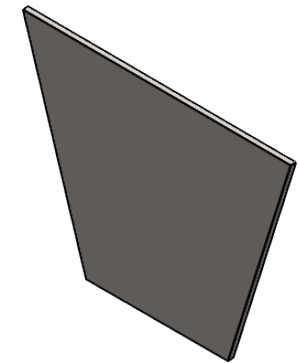
2.3 LAMINA TAPA RESERVORIO, ESPESOR:2mm. CANTIDAD 1



VISTA FRONTAL
ESCALA 1:2



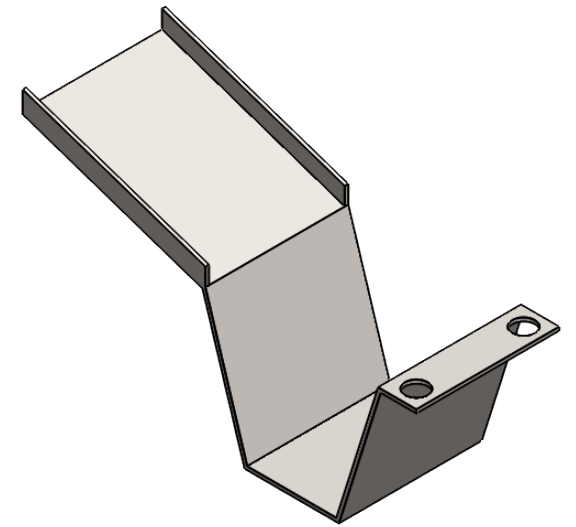
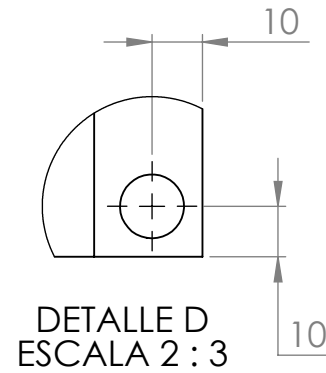
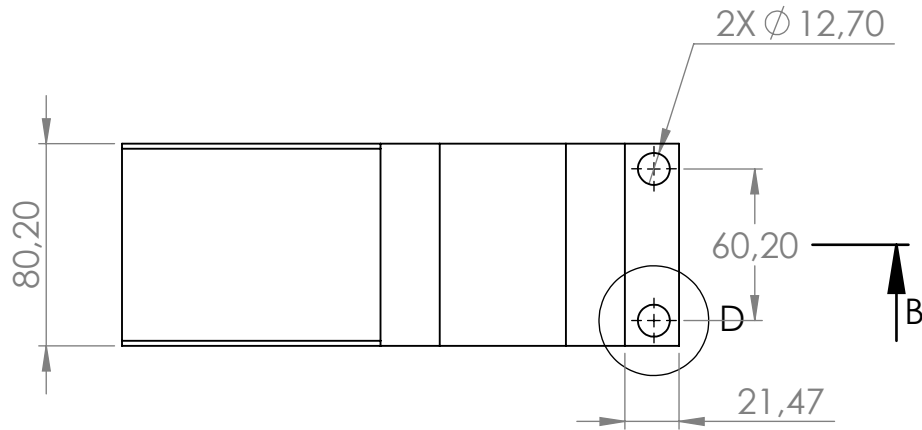
VISTA LATERAL
ESCALA 1:2



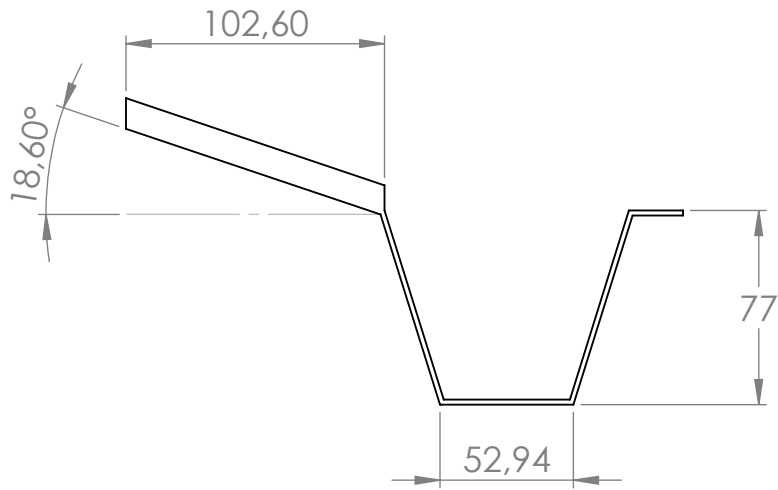
ISOMETRICO
ESCALA 1:2

	ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA			DEDO Y LATERAL DE RESERVORIO		PIEZA N°: 2.2, 2.3	MATERIAL: SAE 304
	ESCALA: 1:1	MEDIDAS: MMGS	FECHA: 15/01/2024	DIBUJADO POR: YAMITH VEGA C.		HOJA 13/56	PL. N° 13

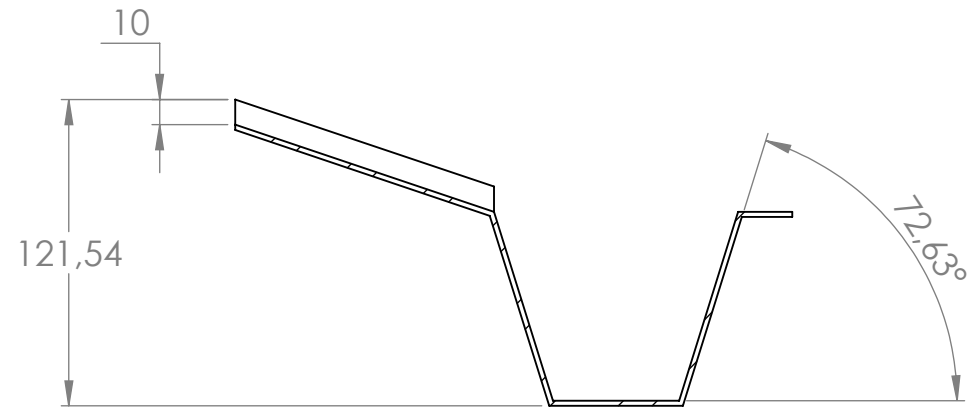
**2.4 Lamina 337.17x102mm espesor:2mm
CANTIDAD 1**



ISOMETRICO
ESCALA 1:2

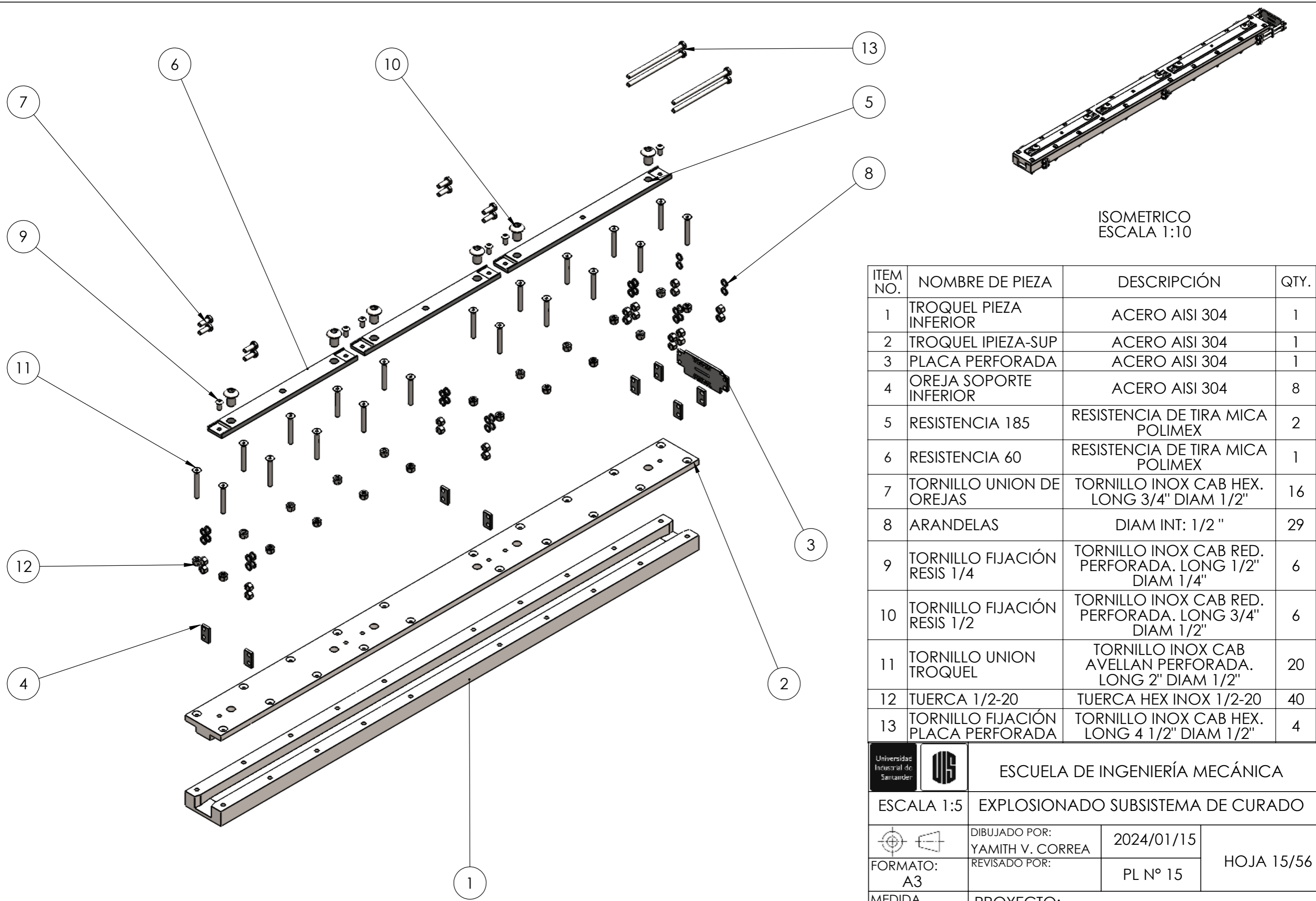


VISTA FRONTAL
ESCALA 1:2





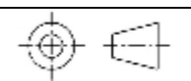
SECCIÓN B-B
ESCALA 1:3

	ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA			TAPA DE RECERVORIO		PIEZA N°: 2.4	MATERIAL: SAE 304
	ESCALA: 1:1	MEDIDAS: MMGS	FECHA: 15/01/2024	DIBUJADO POR: YAMITH VEGA C.		HOJA 14/56	PL. N° 14

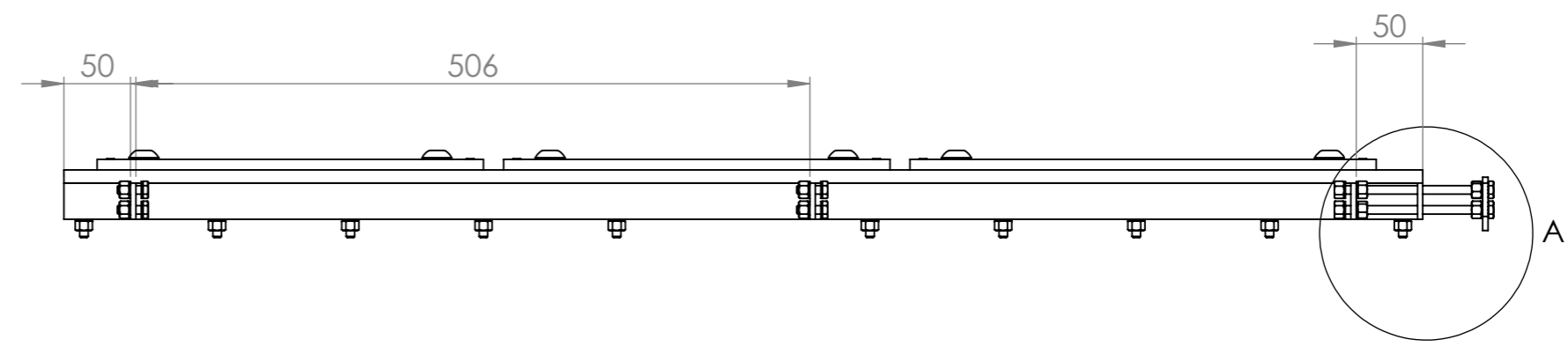
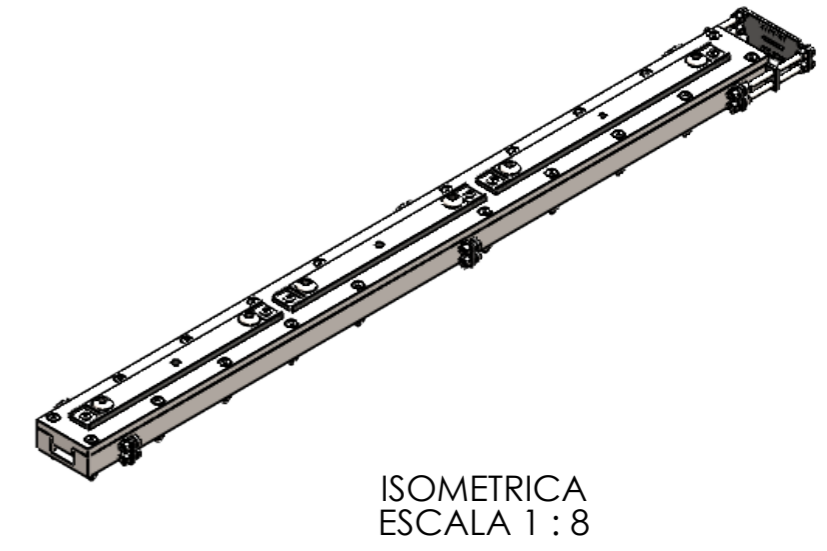
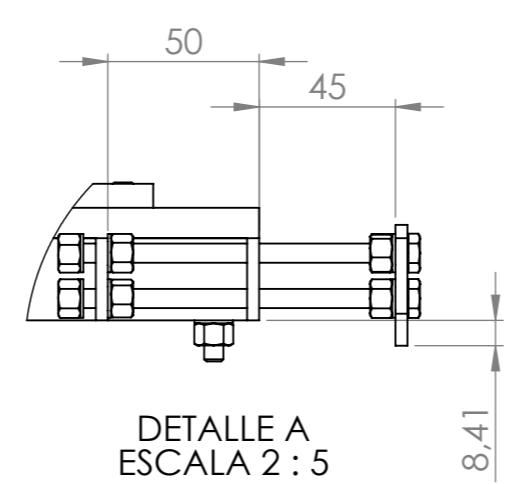
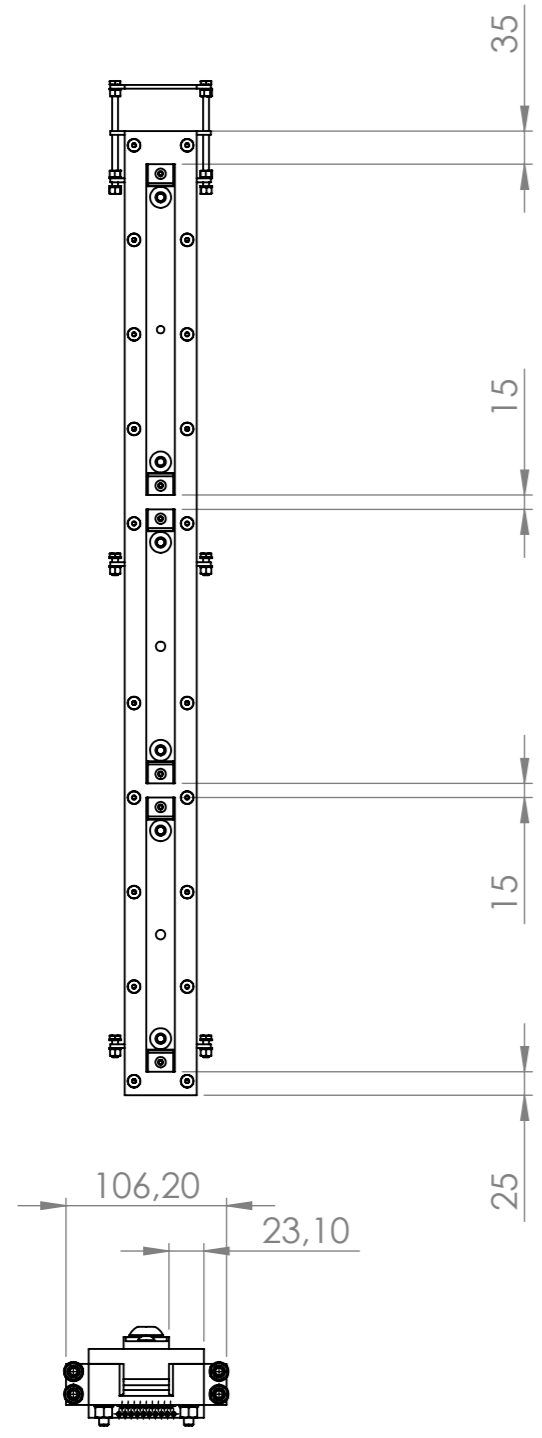




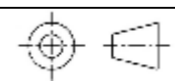
ISOMETRICO
ESCALA 1:10

ITEM NO.	NOMBRE DE PIEZA	DESCRIPCIÓN	QTY.
1	TROQUEL PIEZA INFERIOR	ACERO AISI 304	1
2	TROQUEL IPIEZA-SUP	ACERO AISI 304	1
3	PLACA PERFORADA	ACERO AISI 304	1
4	OREJA SOPORTE INFERIOR	ACERO AISI 304	8
5	RESISTENCIA 185	RESISTENCIA DE TIRA MICA POLIMEX	2
6	RESISTENCIA 60	RESISTENCIA DE TIRA MICA POLIMEX	1
7	TORNILLO UNION DE OREJAS	TORNILLO INOX CAB HEX. LONG 3/4" DIAM 1/2"	16
8	ARANDELAS	DIAM INT: 1/2 "	29
9	TORNILLO FIJACIÓN RESIS 1/4	TORNILLO INOX CAB RED. PERFORADA. LONG 1/2" DIAM 1/4"	6
10	TORNILLO FIJACIÓN RESIS 1/2	TORNILLO INOX CAB RED. PERFORADA. LONG 3/4" DIAM 1/2"	6
11	TORNILLO UNION TROQUEL	TORNILLO INOX CAB AVELLAN PERFORADA. LONG 2" DIAM 1/2"	20
12	TUERCA 1/2-20	TUERCA HEX INOX 1/2-20	40
13	TORNILLO FIJACIÓN PLACA PERFORADA	TORNILLO INOX CAB HEX. LONG 4 1/2" DIAM 1/2"	4

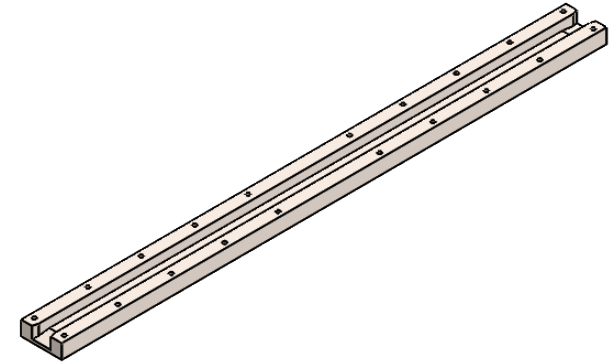
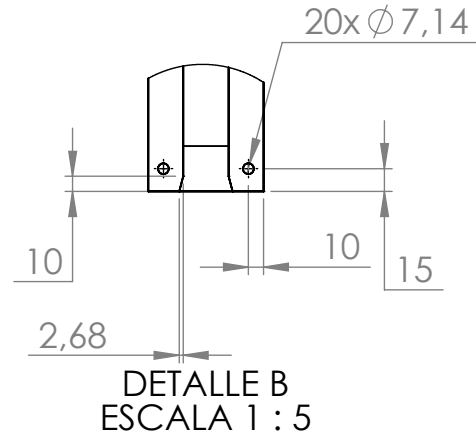
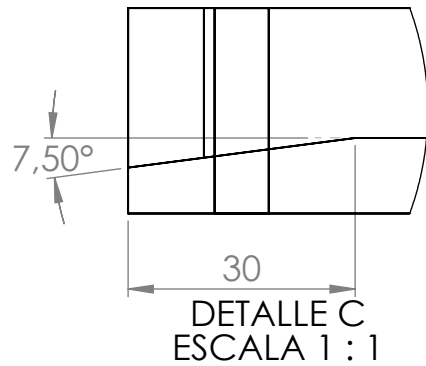
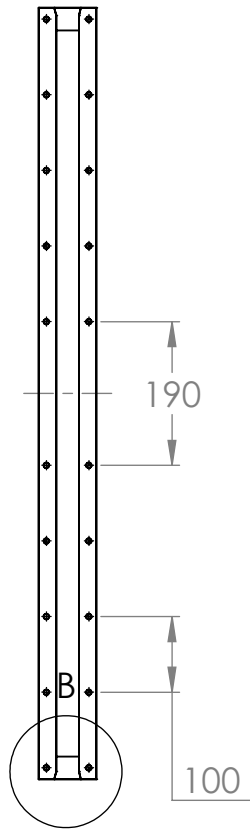
 		ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA	
ESCALA 1:5		EXPLOSIONADO SUBSISTEMA DE CURADO	
		DIBUJADO POR: YAMITH V. CORREA	2024/01/15
FORMATO: A3		REVISADO POR:	PL N° 15
MEDIDA MMGS		PROYECTO: PRÓTOTIPO MAQUINA DE PULTRUSIÓN	

DETALLE DE ENSAMBLE SUBSISTEMA DE CURADO

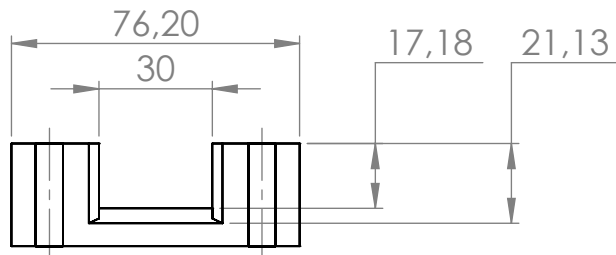


		ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA	
ESCALA 1:8		DETALLE DE SUBSISTEMA DE CURADO	
	DIBUJADO POR: YAMITH V. CORREA	2024/01/15	HOJA 16/ 56
FORMATO: A3	REVISADO POR:	PL N° 16	
MEDIDA MMGS	PROYECTO: PRÓTOTIPO MAQUINA DE PULTRUSIÓN		

3.1 BARRA MASIZA 27.18mmX76.20mm CANTIDAD 1



ISOMETRICO
ESCALA 1:10

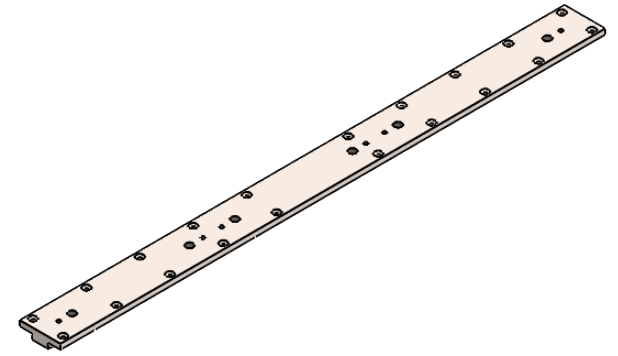


VISTA FRONTAL
ESCALA 1:2

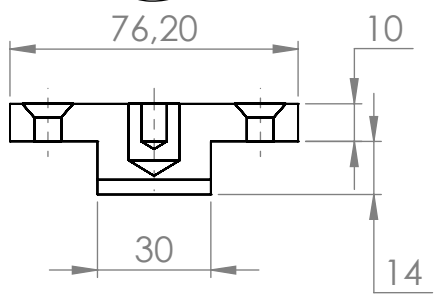
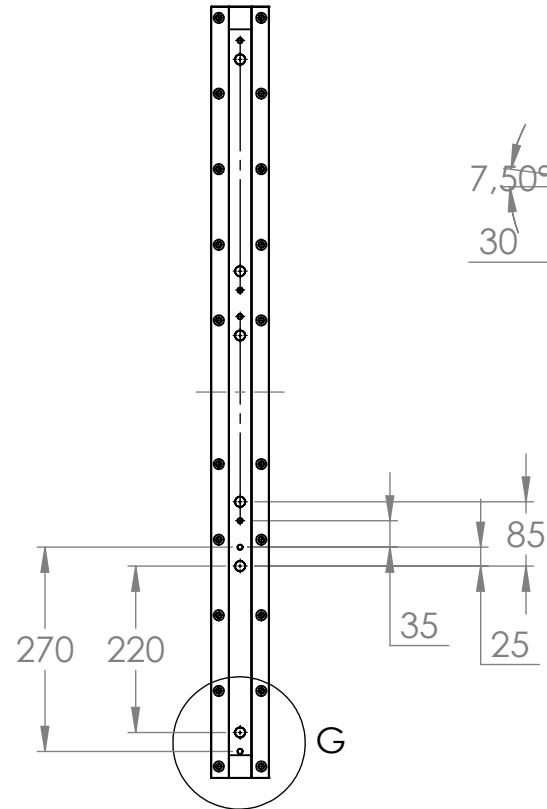


VISTA LATERAL DERECHA
ESCALA 1:8

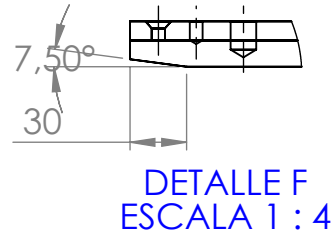
3.2 BARRA MASIZA 24mmX76.20mm CANTIDAD 1



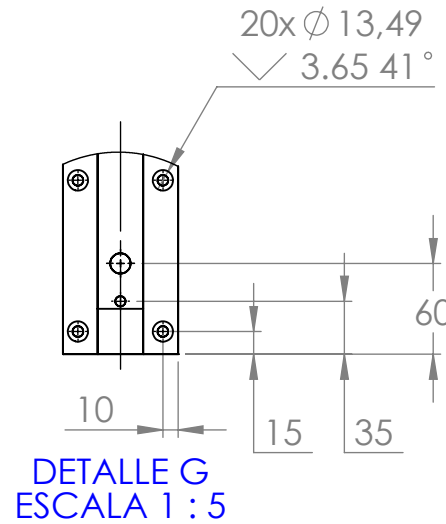
ISOMETRICO
ESCALA 1:10



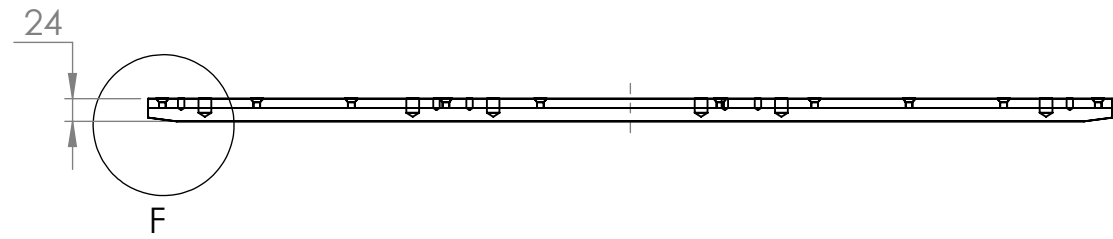
VISTA FRONTAL
ESCALA 1:2



DETALLE F
ESCALA 1 : 4



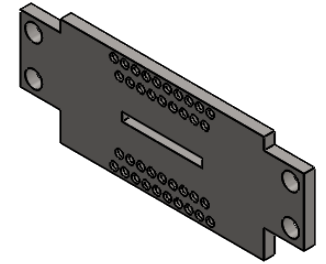
DETALLE G
ESCALA 1 : 5



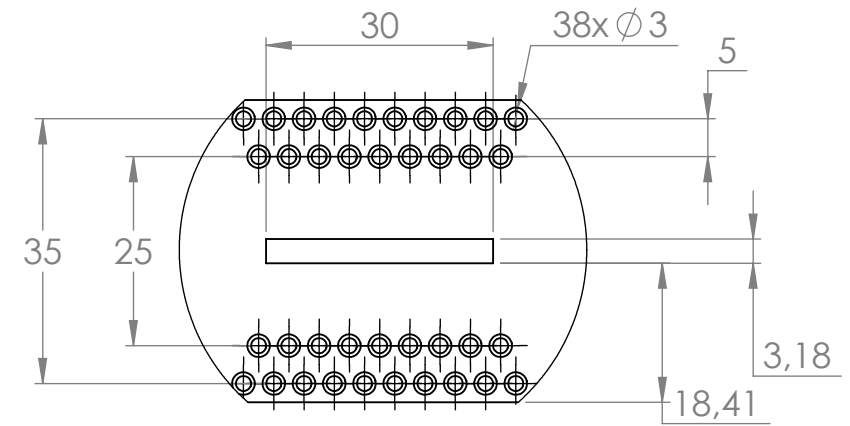
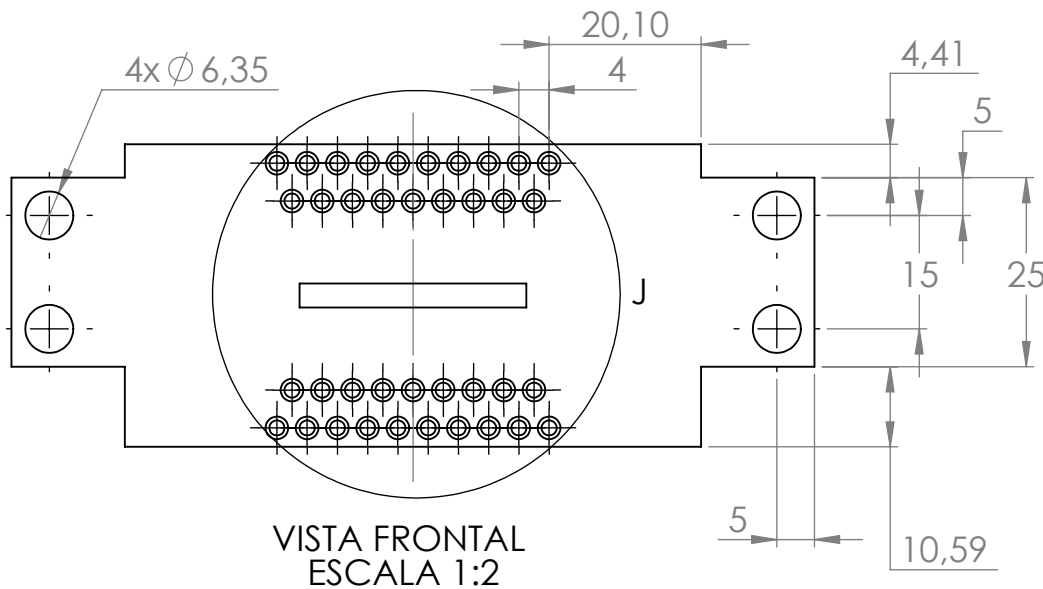
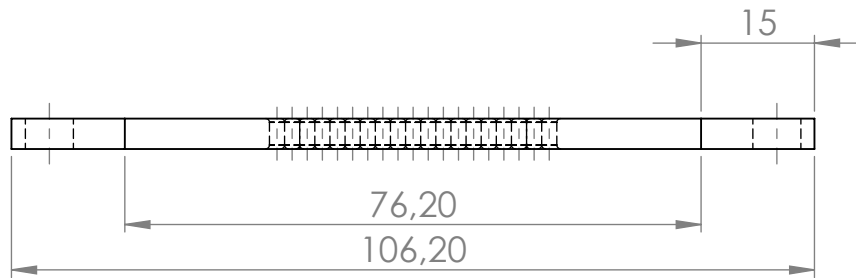
vista lateral derecha
ESCALA 1:8

	ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA		TROQUEL PIEZA SUPERIOR		PIEZA N°: 3.2	MATERIAL: SAE 304
	ESCALA: 1:10	MEDIDAS: MMGS	FECHA: 15/01/2024	DIBUJADO POR: YAMITH VEGA C.		HOJA 18/56

3.3 PLACA PERFORADA, ESPESOR 4mm CANTIDAD 1



ISOMETRICO
ESCALA 1:10

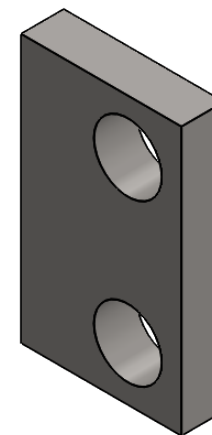


DETALLE J

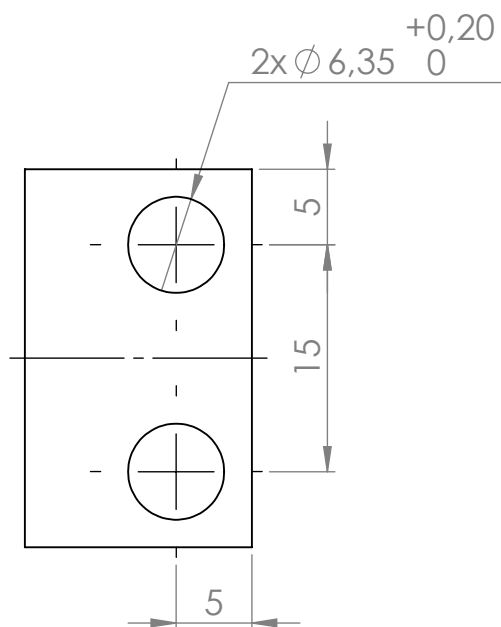
NOTA: Todos los redondeos en las perforaciones de 0.5mm

	ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA			PLACA PERFORADA		PIEZA N°: 3.3	MATERIAL: SAE 304
	ESCALA: 1:10	MEDIDAS: MMGS	FECHA: 15/01/2024	DIBUJADO POR: YAMITH VEGA C.		HOJA 19/56	PL. N° 19

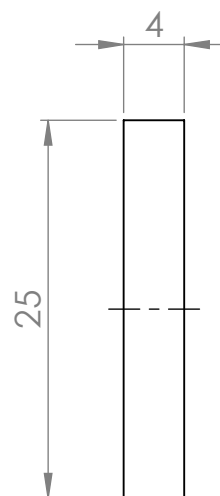
3.4 PLATINA DE UNION, ESPESOR 4mm CANTIDAD 1

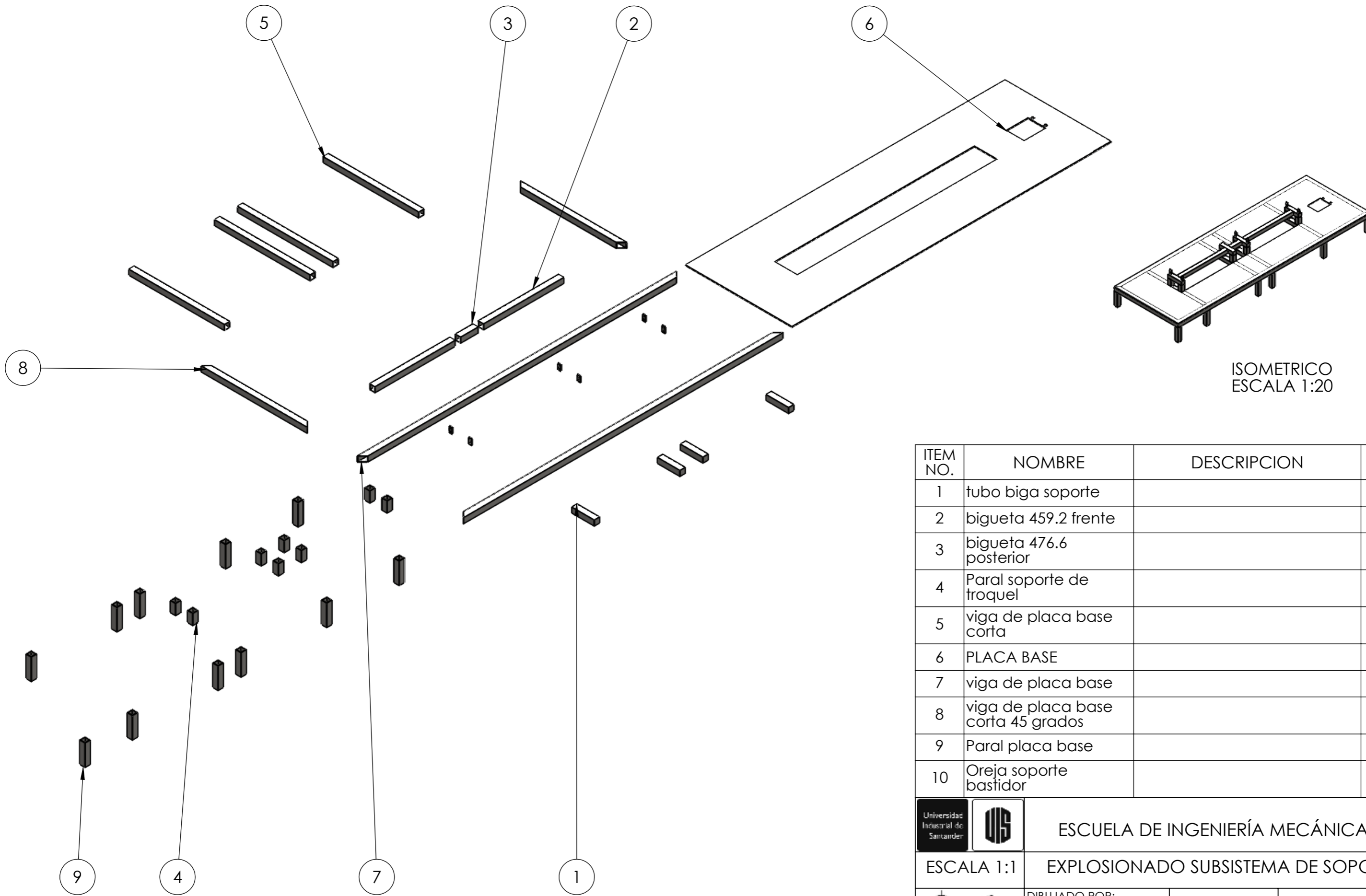


ISOMETRICO
ESCALA 2:1



VISTA FRONTAL
ESCALA 2:1





ISOMETRICO
ESCALA 1:20

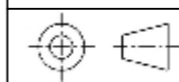
ITEM NO.	NOMBRE	DESCRIPCION	QTY.
1	tubo biga soporte		4
2	bigueta 459.2 frente		2
3	bigueta 476.6 posterior		1
4	Paral soporte de troquel		8
5	viga de placa base corta		4
6	PLACA BASE		1
7	viga de placa base		2
8	viga de placa base corta 45 grados		2
9	Paral placa base		12
10	Oreja soporte bastidor		6



ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

ESCALA 1:1

EXPLOSIONADO SUBSISTEMA DE SOPORTE



DIBUJADO POR:
YAMITH V. CORREA

2024/01/15

FORMATO:
A3

REVISADO POR:

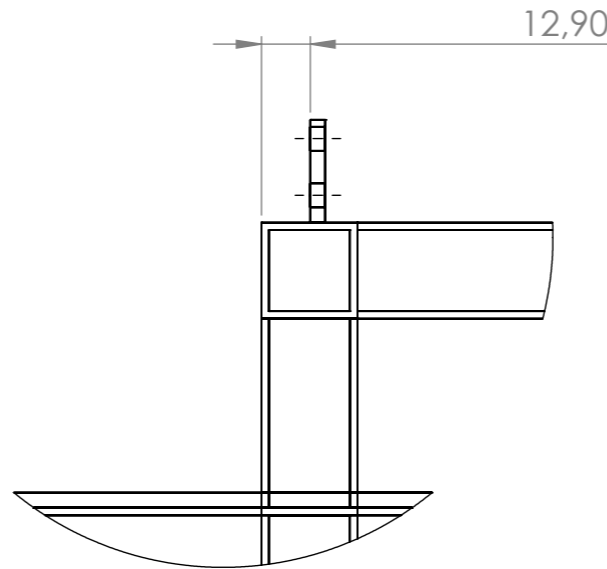
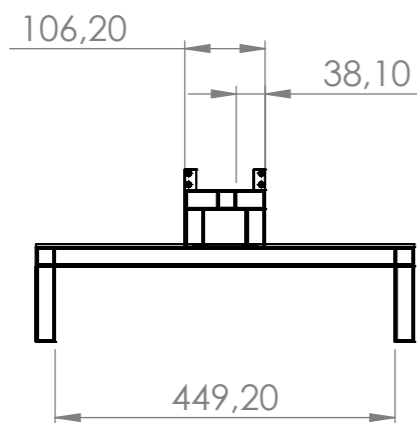
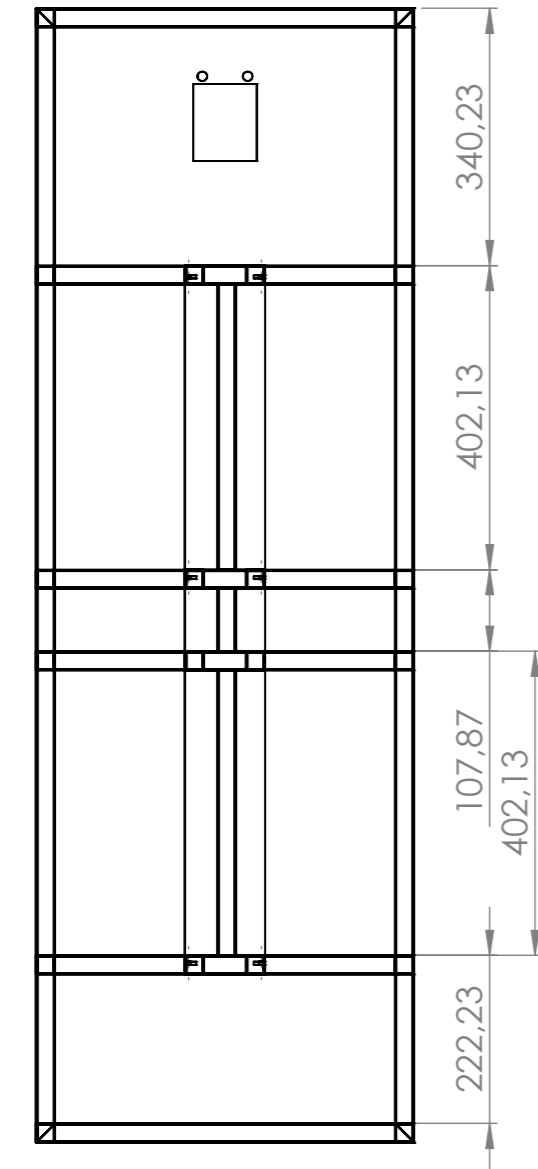
PL N° 21

HOJA 21/56

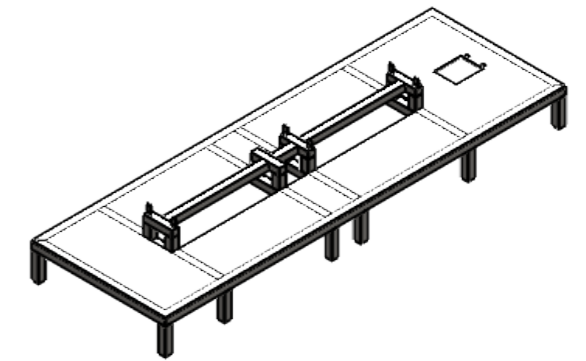
MEDIDA
MMGS

PROYECTO:
PRÓTOTIPO MAQUINA DE PULTRUSIÓN

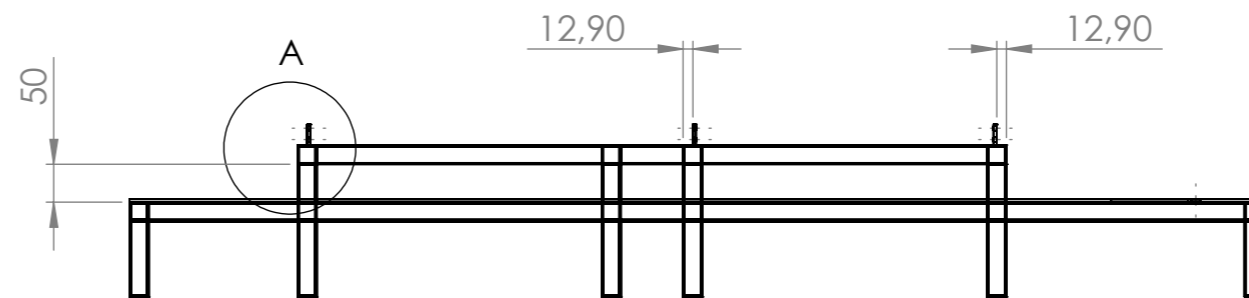
DETALLE DE ENSAMBLE DE SUBSISTEMA DE SOPORTE



DETALLE A
ESCALA 1 : 2

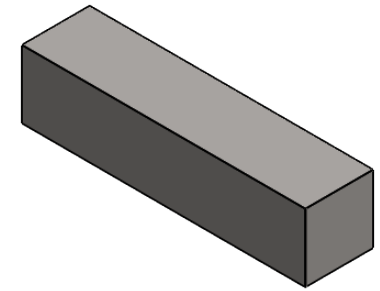
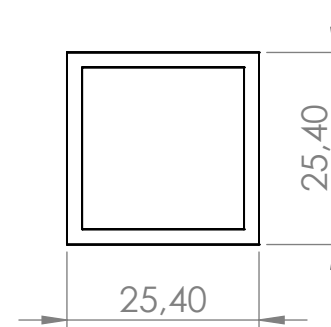
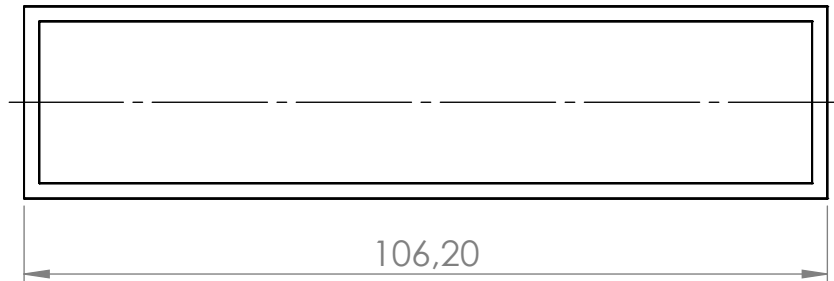


ISOMETRICO
ESCALA 1:20



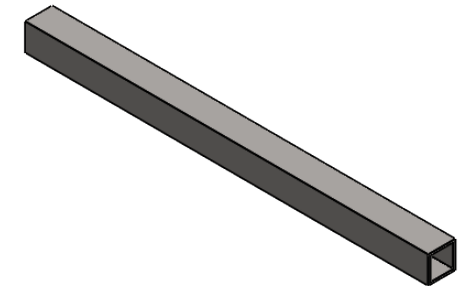
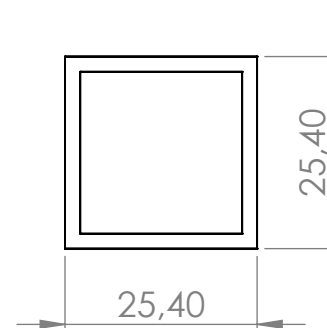
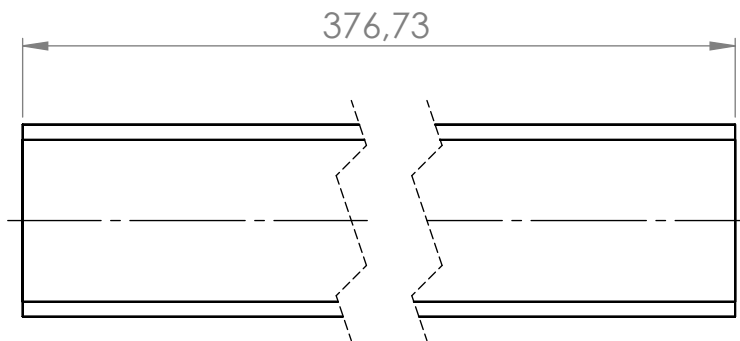
	ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA		
ESCALA 1:1	DETALLE ENSAMBLE DE SUBSISTEMA DE SOPORTE		
	DIBUJADO POR: YAMITH V. CORREA	2024/01/15	HOJA 22/56
FORMATO: A3	REVISADO POR:	PL. N° 22	
MEDIDA MMGS	PROYECTO: PROTOTIPO MAQUINA DE PULTRUSIÓN		

**4.1 TUBO SOPORTE, 25.4mmX25.4mm
ESPEJOR 2mm CANTIDAD 1**


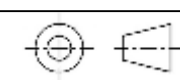


ISOMETRICO
ESCALA 1:2

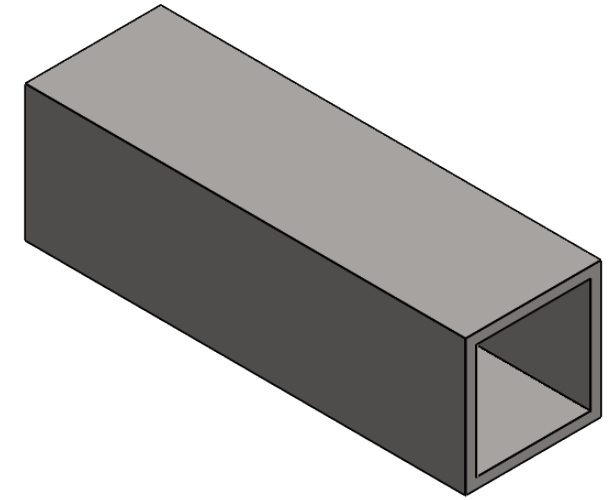
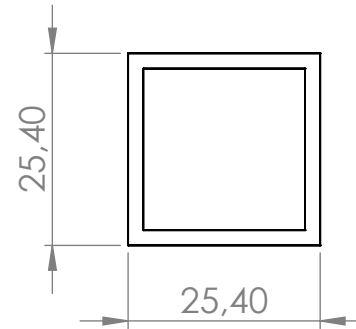
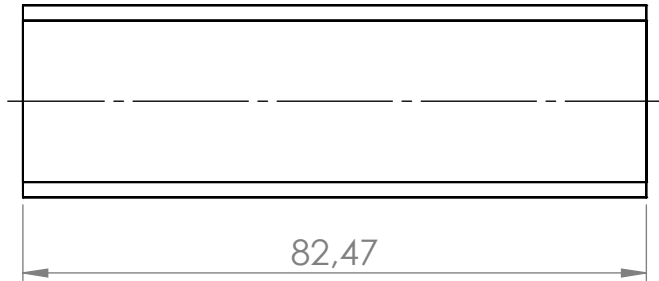
**4.2 TUBO SOPORTE, 25.4mmX25.4mm
ESPEJOR 2mm CANTIDAD 1**



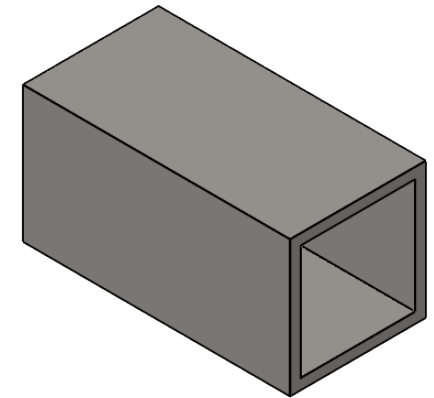
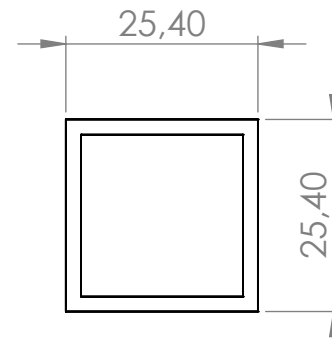
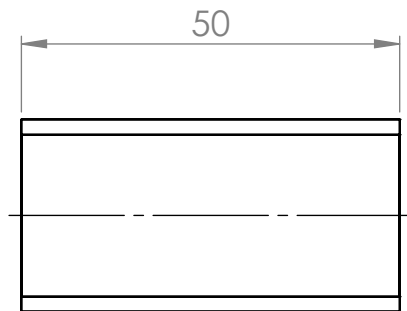
ISOMETRICO
ESCALA 1:5

	ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA			TUBOS DE SOPORTE		PIEZA N°: 4.1 Y4.2	MATERIAL: AISI 1010
	ESCALA: 1:1	MEDIDAS: MMGS	FECHA: 15/01/2024	DIBUJADO POR: YAMITH VEGA C.		HOJA 23/56	PL. N° 23

**4.3 TUBO VIGUETA, 25.4mmX25.4mm
ESPEJOR 2mm CANTIDAD 1**

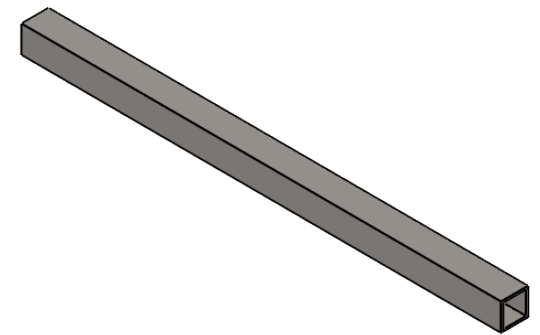
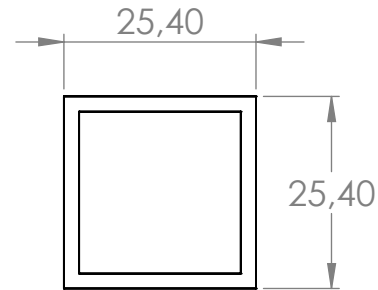
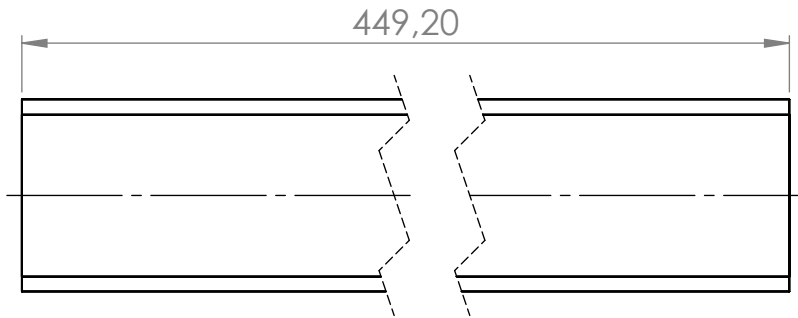


**4.4 TUBO SOPORTE TROQUEL, 25.4mmX25.4mm
ESPEJOR 2mm CANTIDAD 1**



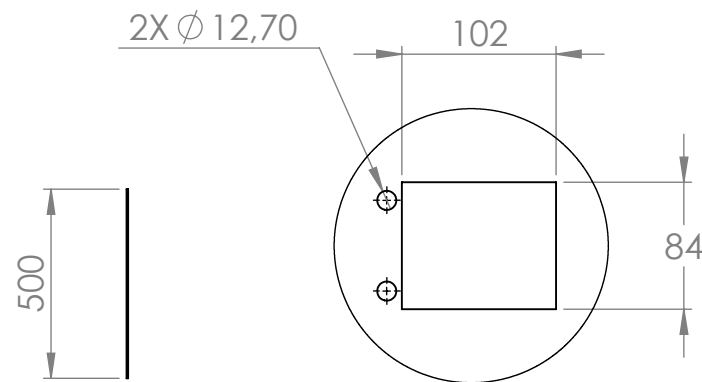
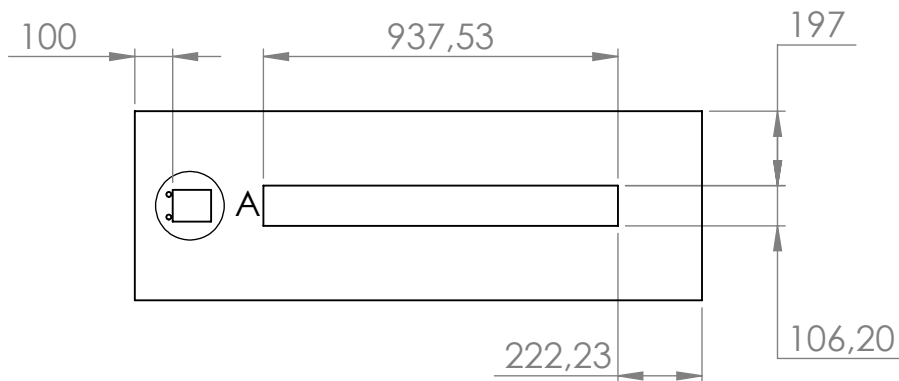
	ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA			TUBO BIGUETA Y SOPORTE		PIEZA N°: 4.3, 4.4	MATERIAL: AISI 1020
	ESCALA: 1:1	MEDIDAS: MMGS	FECHA: 15/01/2024	DIBUJADO POR: YAMITH VEGA C.		HOJA 24/56	PL. N° 24

**4.5 TUBO VIGA DE PLACA BASE CORTA,
25.4mmX25.4mm. ESPESOR 2mm
CANTIDAD 1**

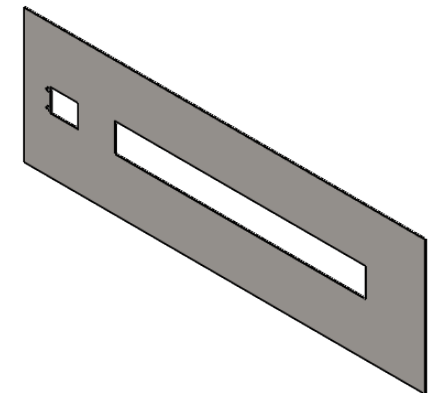


ESCALA 1:5

**4.6 TUBO SOPORTE TROQUEL,
25.4mmX25.4mm ESPESOR 2mm
CANTIDAD 1**



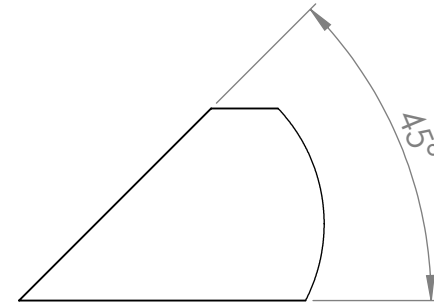
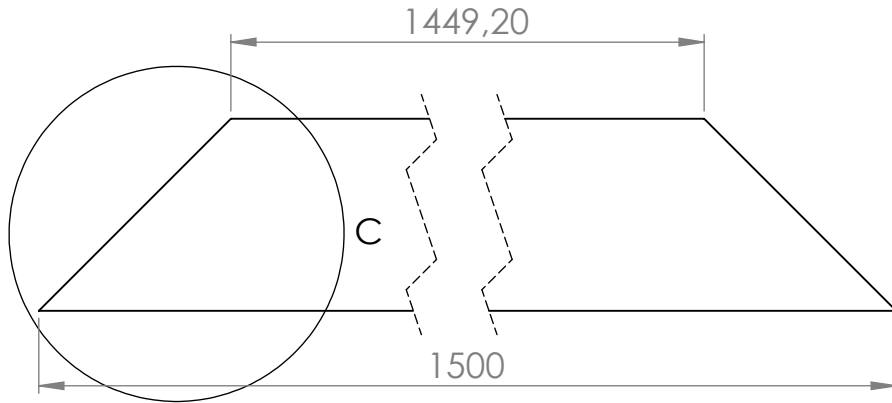
DETALLE A
ESCALA 1:5



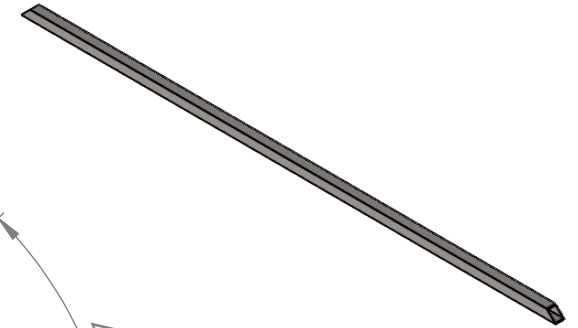
ESCALA 1:20

	ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA			BIGA DE PLACA Y PLACA BASE		PIEZA N°: 4.5, 4.6	MATERIAL: AISI 1020
	ESCALA: 1:1	MEDIDAS: MMGS	FECHA: 15/01/2024	DIBUJADO POR: YAMITH VEGA C.		HOJA 25/56	PL. N° 25

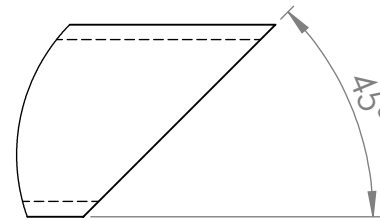
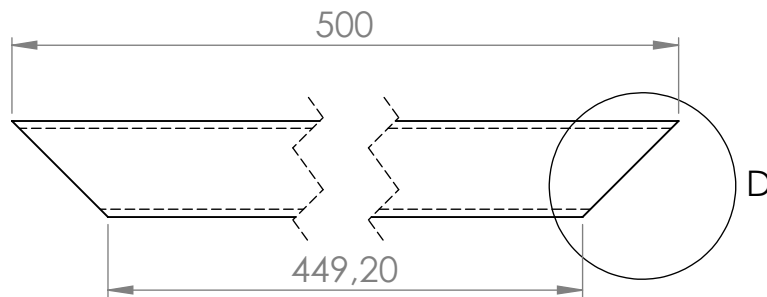
**4.7 TUBO VIGA DE PLACA BASE ,
25.4mmX25.4mm. ESPESOR 2mm
CANTIDAD 1**



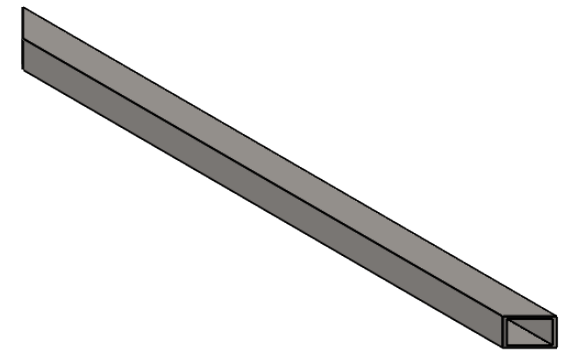
DETALLE C
ESCALA 1 : 1



**4.8 TUBO VIGA DE PLACA BASE CORTA,
25.4mmX25.4mm. ESPESOR 2mm
CANTIDAD 1**



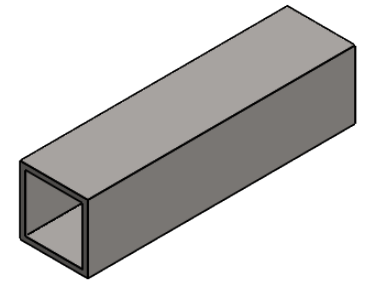
DETALLE D
ESCALA 1 : 1



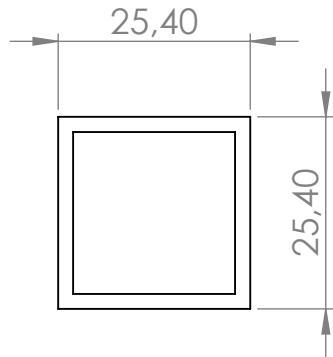
ESCALA 1:20

	ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA			BIGA DE PLACA BASE Y BIGA DE PLACA BASE CORTA		PIEZA N°: 4.7 4.8	MATERIAL: AISI 1020
	ESCALA: 1:1	MEDIDAS: MMGS	FECHA: 15/01/2024	DIBUJADO POR: YAMITH VEGA C.		HOJA 26/56	PL. N° 26

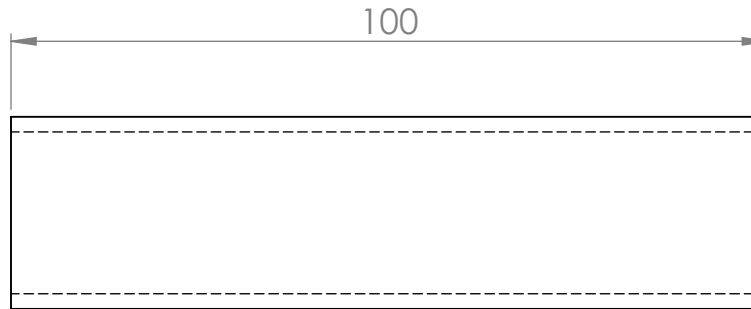
**4.9 TUBO PARAL PLACA BASE,
25.4mmX25.4mm. ESPESOR 2mm
CANTIDAD 1**



ESCALA 1:2

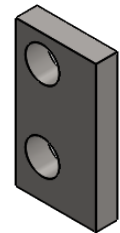


VISTA LATERAL
ESCALA 1:1

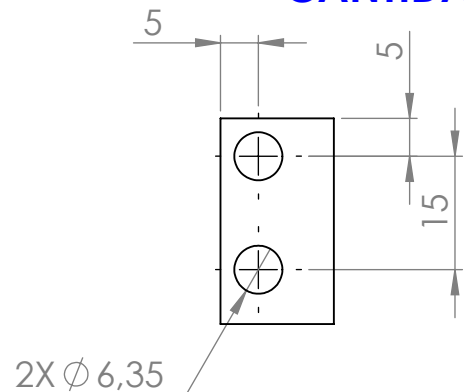


VISTA LATERAL
ESCALA 1:1

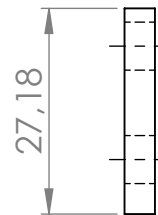
**4.10 PLATINA UNION, ESPESOR 4mm
CANTIDAD 1**



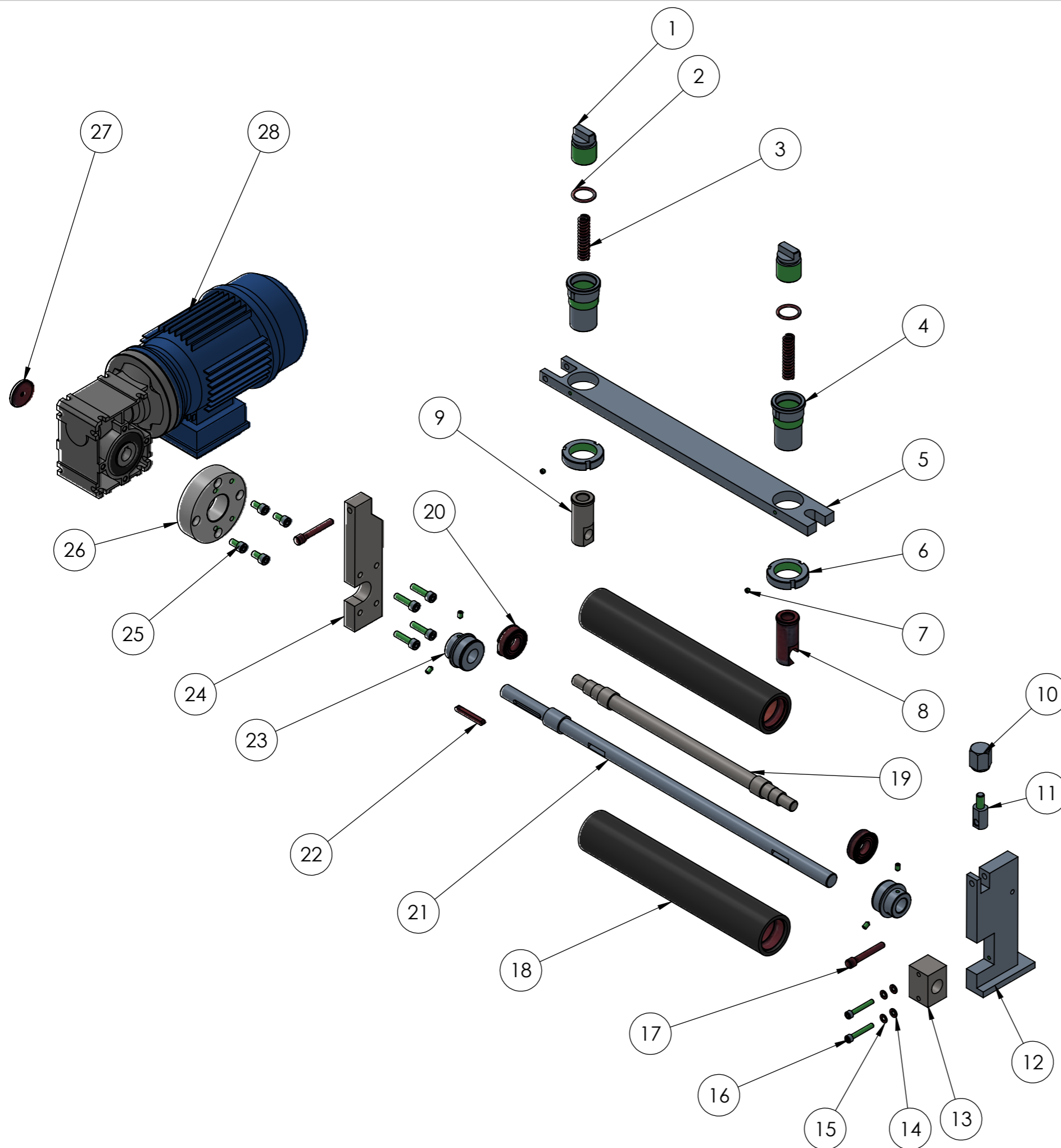
ESCALA 1:10



VISTA FRONTAL
ESCALA 1:1



VISTA LATERAL
ESCALA 1:1



5.28	MOTORREDUCTOR
5.27	ARANDELA TOPE
5.26	BRIDA
5.25	TORNILLO DE BRIDA
5.24	SOPORTE LATERAL IZQUIERDO
5.23	TRACKBALL
5.22	CUÑA DE EJE
5.21	EJE CONDUCTOR
5.20	RODAMIENTO
5.19	EJE CONDUCTIDO
5.18	SILICONA DE RODILLO
5.17	PASADOR
5.16	TORNILLO BRISTOL
5.15	ARANDELA DE PRESIÓN
5.14	ARANDELA PLANA
5.13	BUJE CUADRADO
5.12	SOPORTE LATERAL DERECHO
5.11	TORNILLO DE SOPORTE FRONTAL
5.10	TUERCA DE SEGURIDAD
5.9	BUJE CERRADO DE SOPORTE
5.8	BUJE ABIERTO DE SOPORTE
5.7	TORNILLO PRISIONERO
5.6	TUERCA BASE TENSOR
5.5	SOPORTE FRONTAL
5.4	BASE DE TENSOR
5.3	RESORTE
5.2	ANILLO DE PRESIÓN
5.1	TENSOR

CÓDIGO SUBSISTEMA	SISTEMA DE TRACCIÓN
-------------------	---------------------



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

FECHA: 08/01/24

TÍTULO: PROTOTIPO DE MÁQUINA DE PULTRUSIÓN EXPLOSIONADO

ESCALA: 1:5.5

UNIDADES: mm

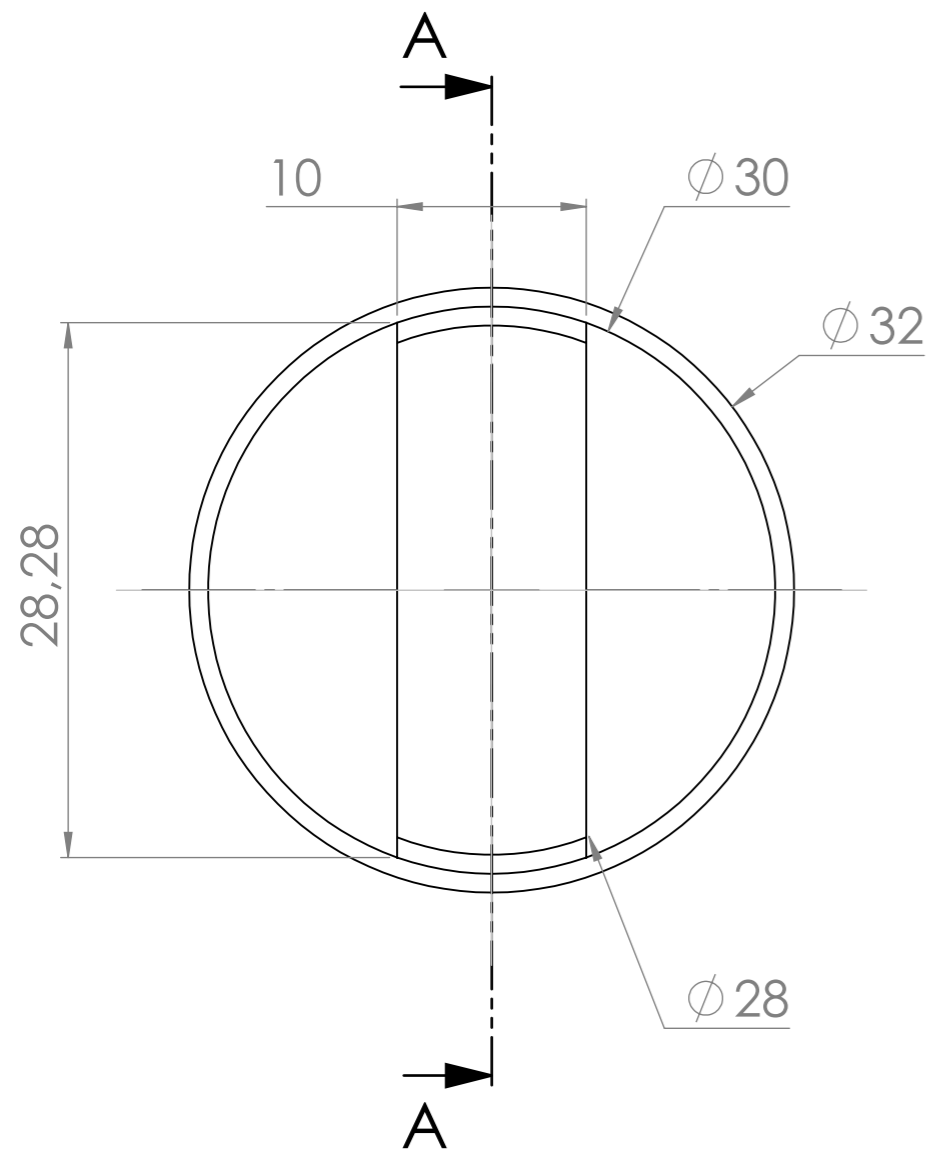
AUTOR: JHAN CARLOS MORENO ORTIZ

A3

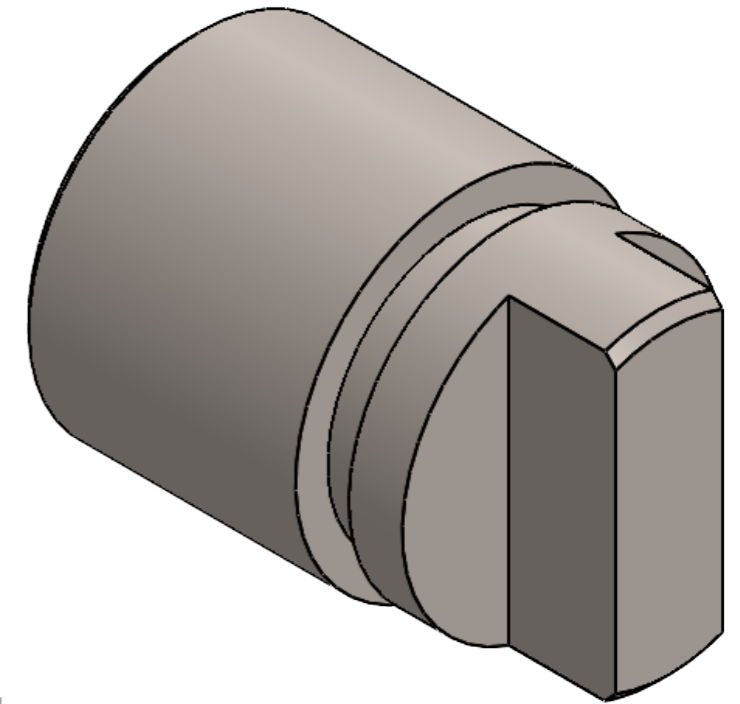
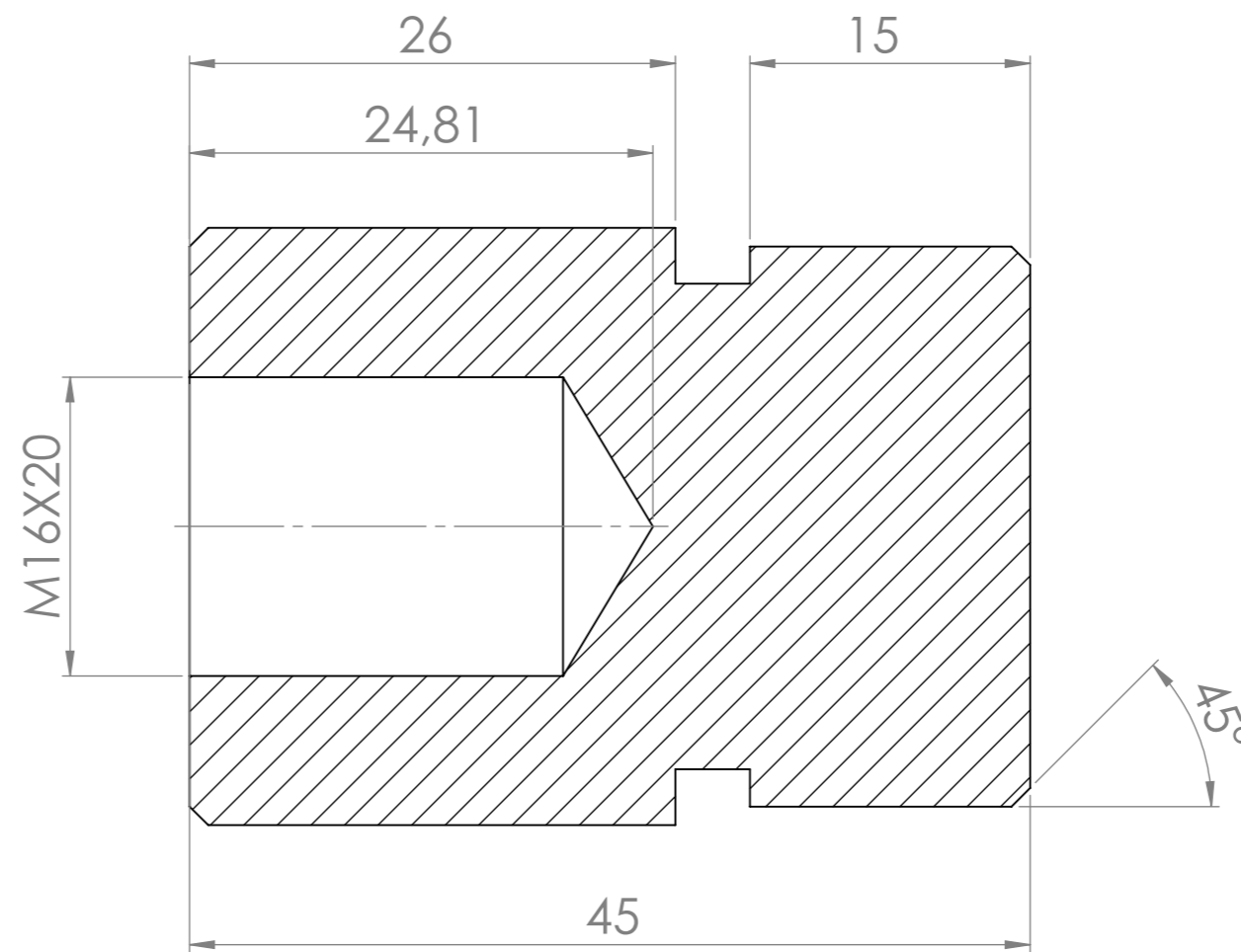


REVISIA: COMITÉ UIS

HOJA 1/29

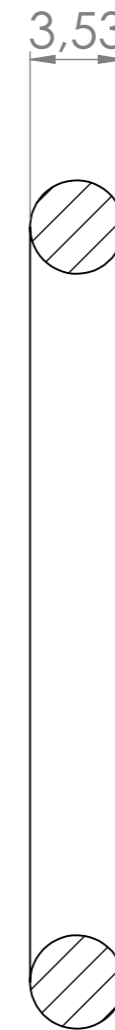
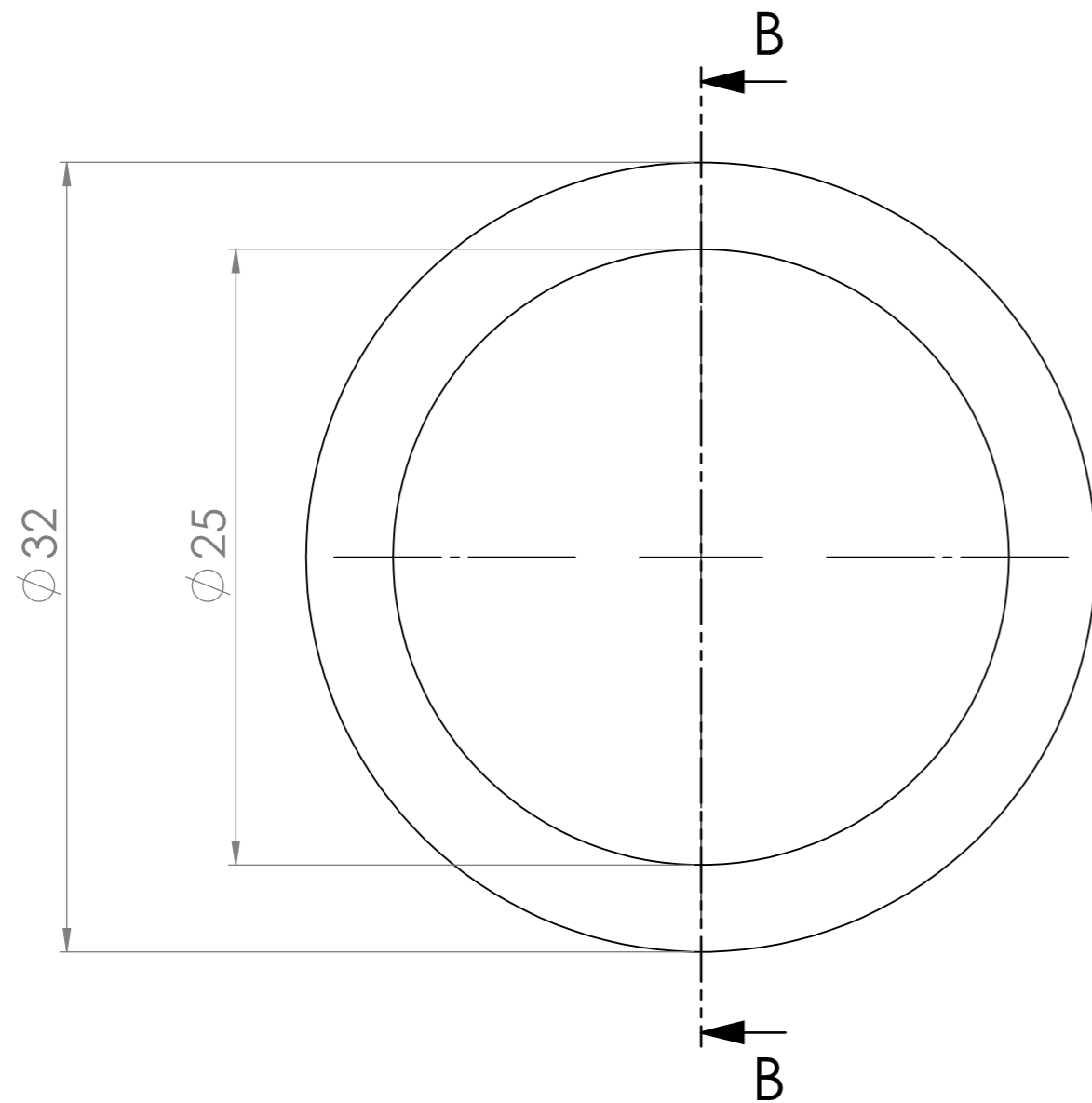


SECCIÓN A-A



ESCALA 2:1

 		UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER	
FECHA: 08/01/24		TITULO: PROTOTIPO DE MÁQUINA DE PULTRUSIÓN	
ESCALA: 2.5:1		VISTA ISOMÉTRICA	
UNIDADES: mm		5.1 - TENSOR	
A3		AUTOR: JHAN CARLOS MORENO ORTIZ	
		REVISAR: COMITÉ UIS	
		HOJA 2/29	



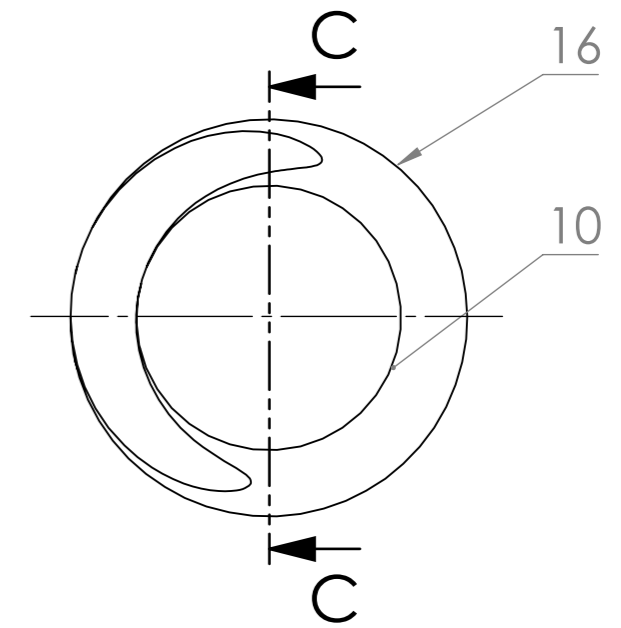
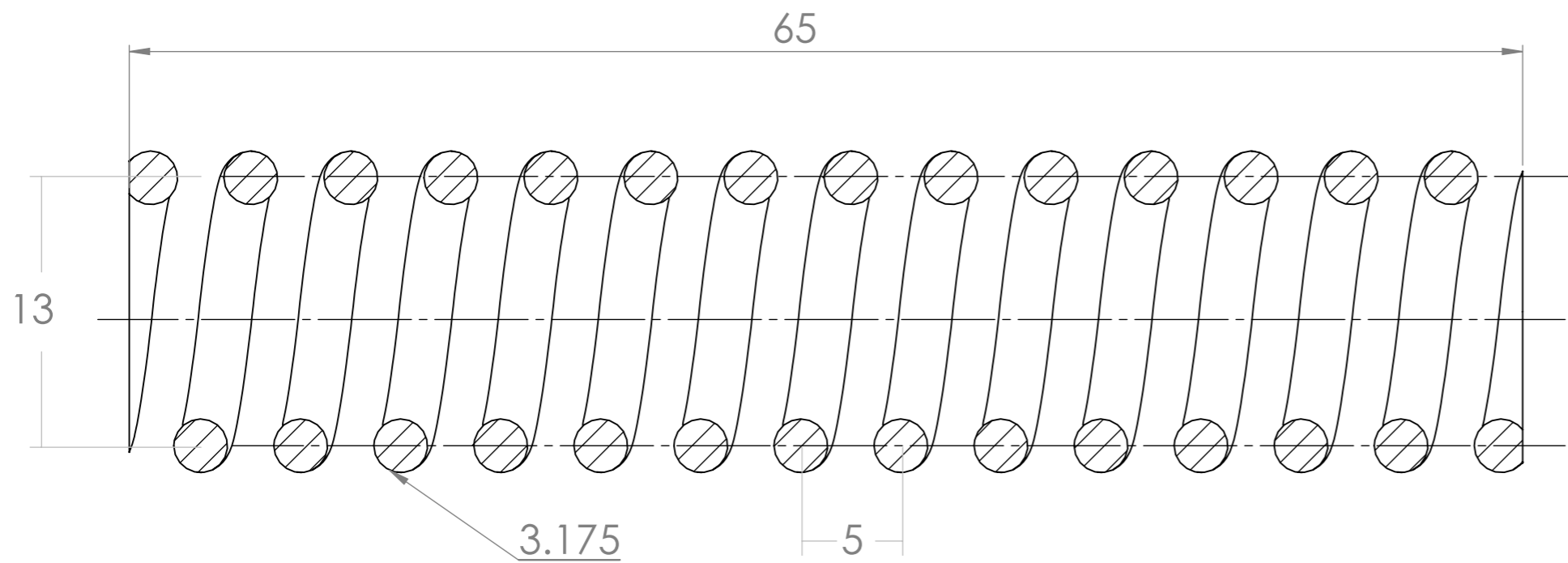
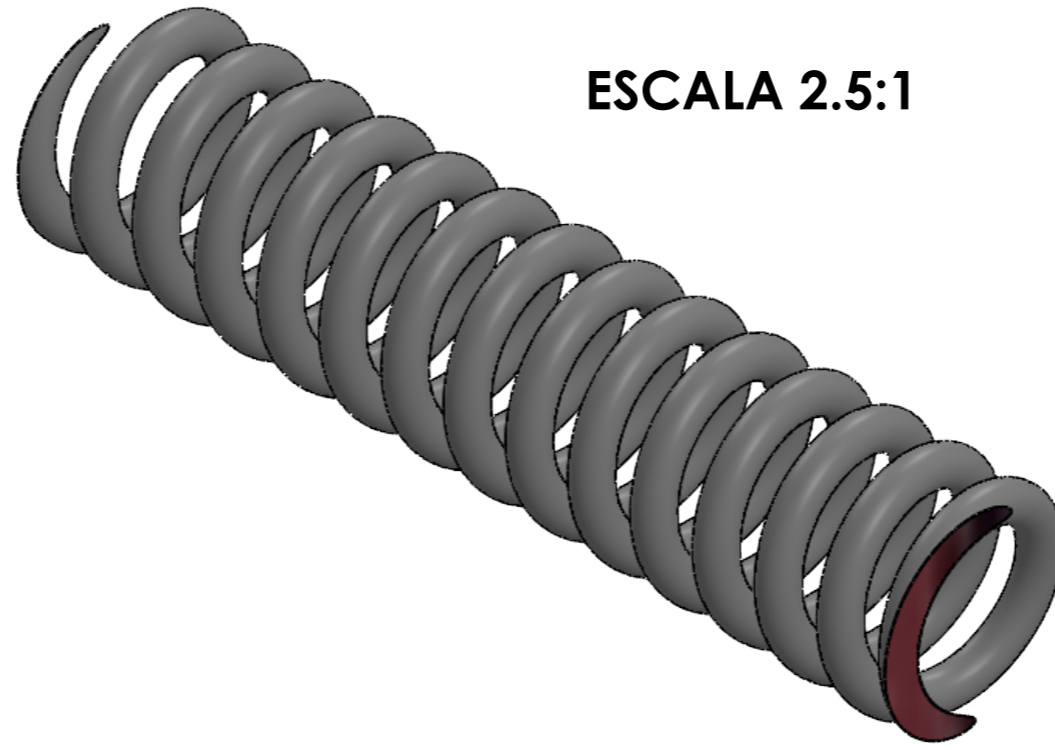
SECCIÓN B-B



ESCALA 3:1

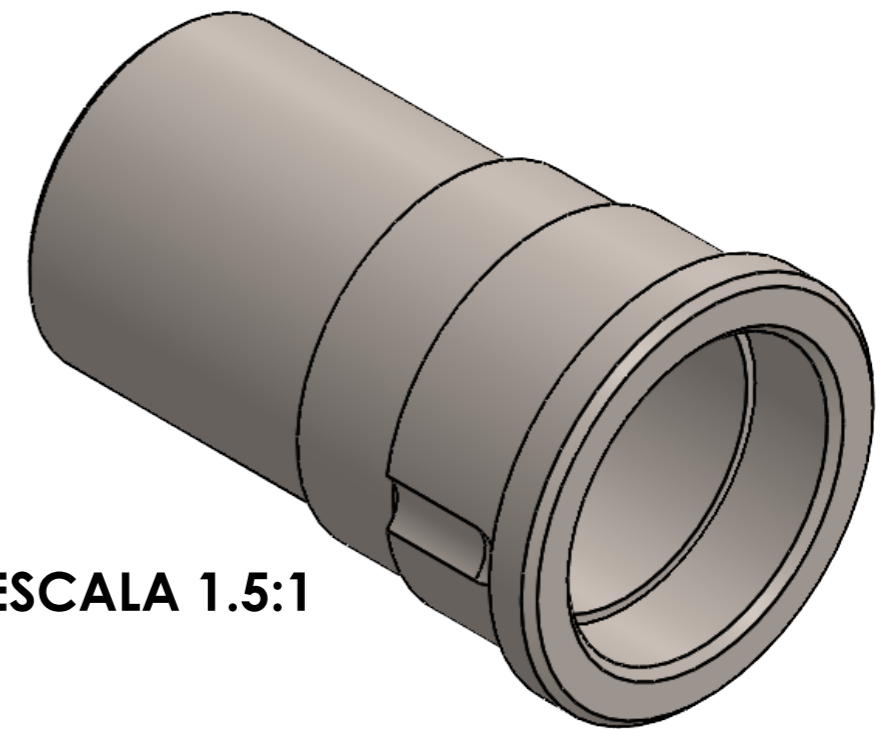
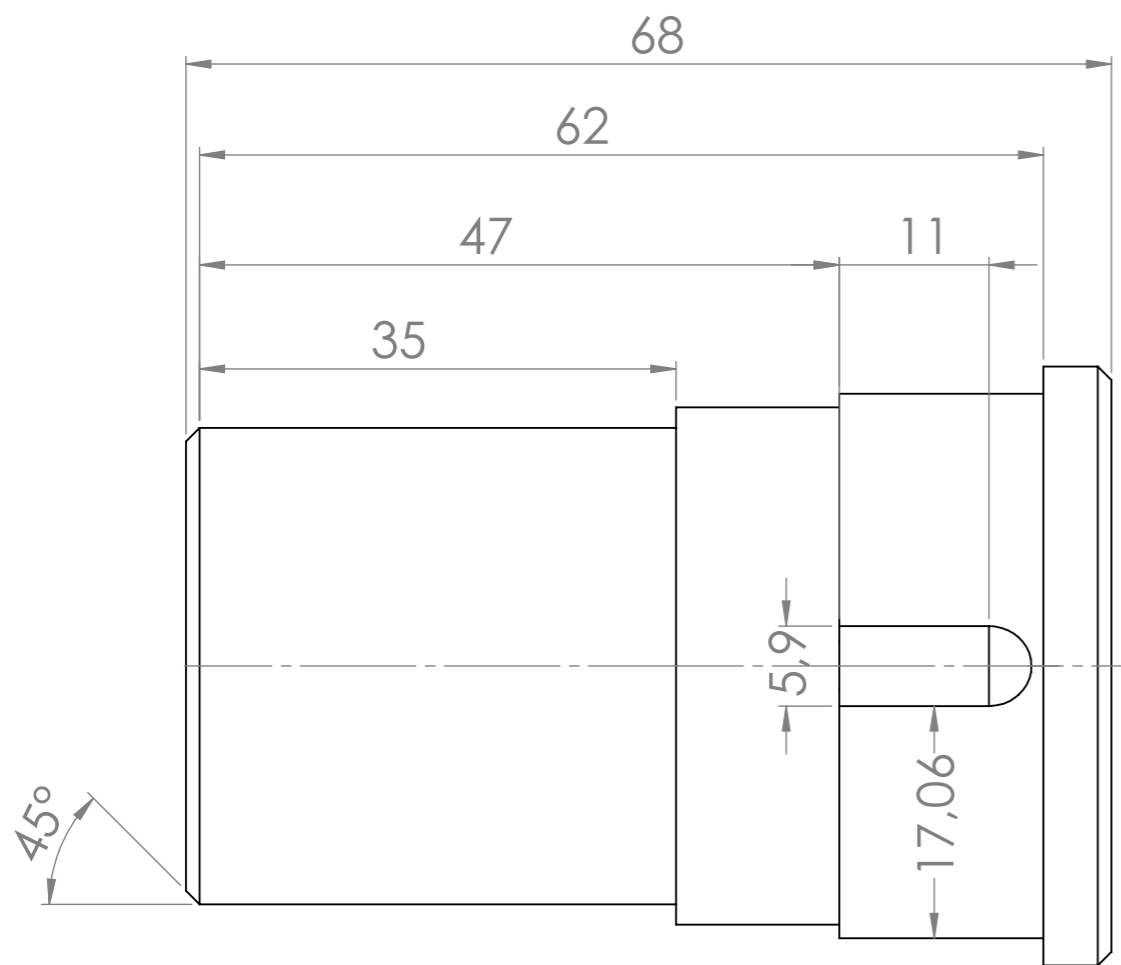
 		UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER	
FECHA: 08/01/24		TITULO: PROTOTIPO DE MÁQUINA DE PULTRUSIÓN	
ESCALA: 3.5:1		VISTA ISOMÉTRICA	
UNIDADES: mm		5.2 - ANILLO DE PRESIÓN	
A3		AUTOR: JHAN CARLOS MORENO ORTIZ	
		REVISAR: COMITÉ UIS	HOJA 3/29

ESCALA 2.5:1

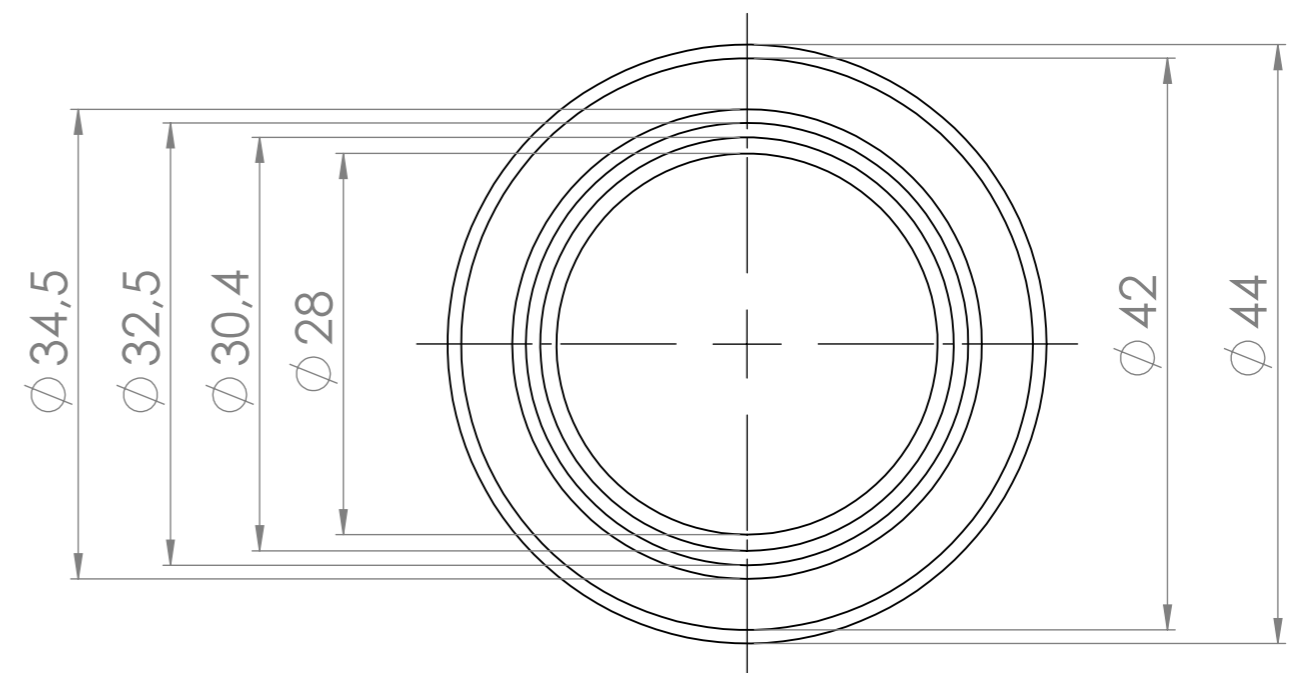


SECCIÓN C-C

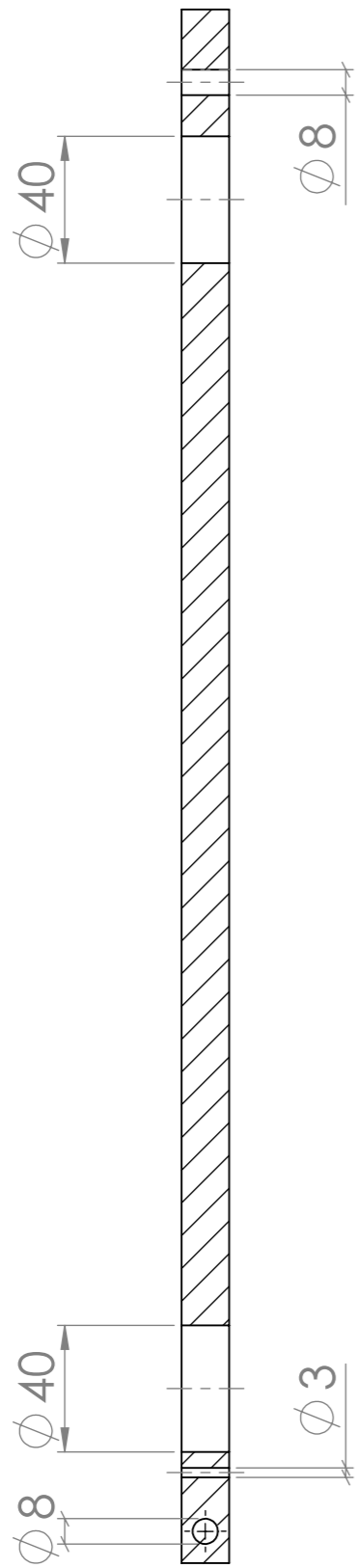
		UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER	
FECHA:08/01/24	ESCALA: 3.5:1	TITULO: PROTOTIPO DE MÁQUINA DE PULTRUSIÓN VISTA ISOMÉTRICA 5.3 - RESORTE	
UNIDADES: mm	A3	AUTOR: JHAN CARLOS MORENO ORTIZ	
		REVIS: COMITÉ UIS	HOJA4/29



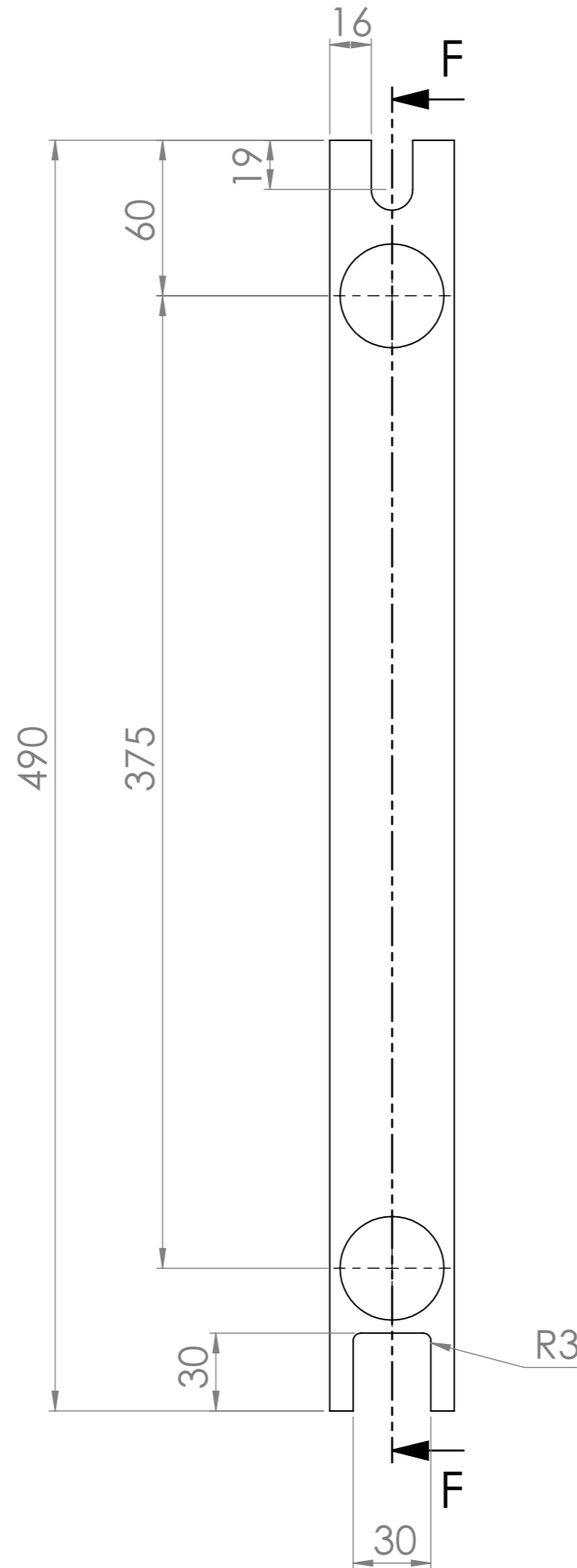
ESCALA 1.5:1



 		UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER	
FECHA: 08/01/24		TITULO: PROTOTIPO DE MÁQUINA DE PULTRUSIÓN	
ESCALA: 1.8:1		VISTA ISOMÉTRICA	
UNIDADES: mm		5.4 - BASE TENSOR	
A3		AUTOR: JHAN CARLOS MORENO ORTIZ	
		REVISAR: COMITÉ UIS	
		HOJA 5/29	

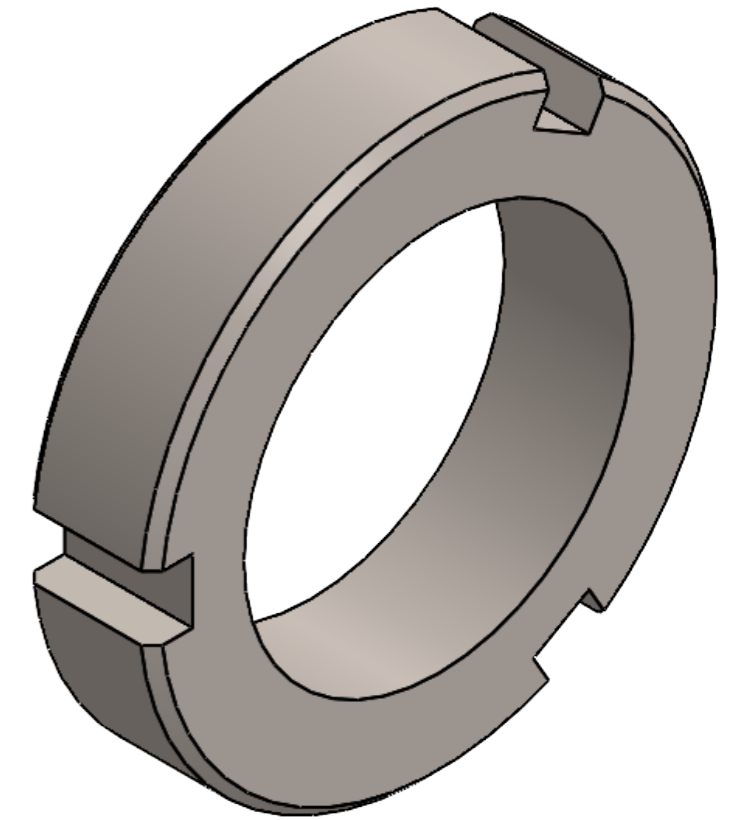
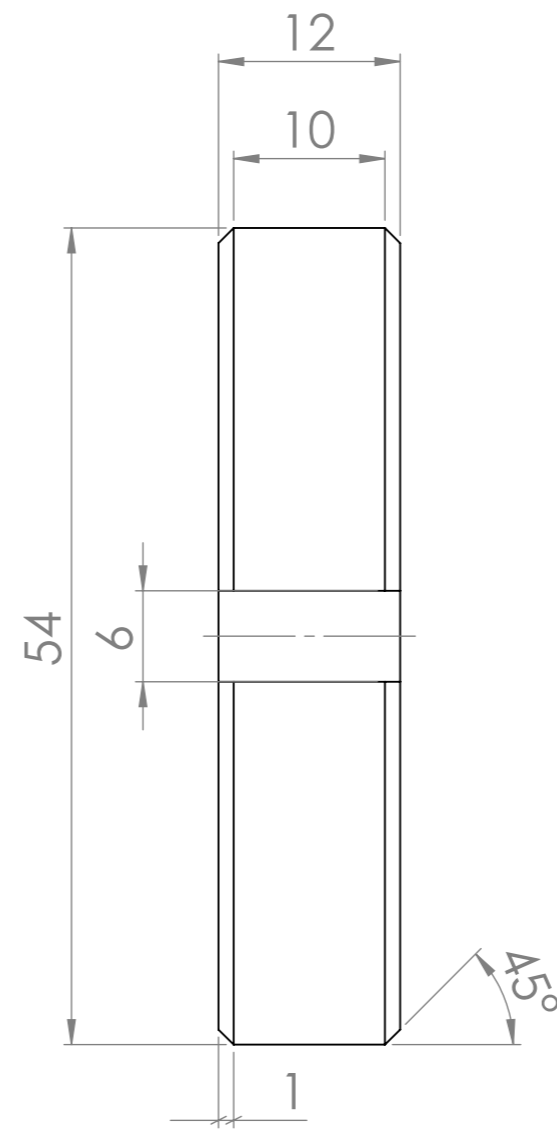
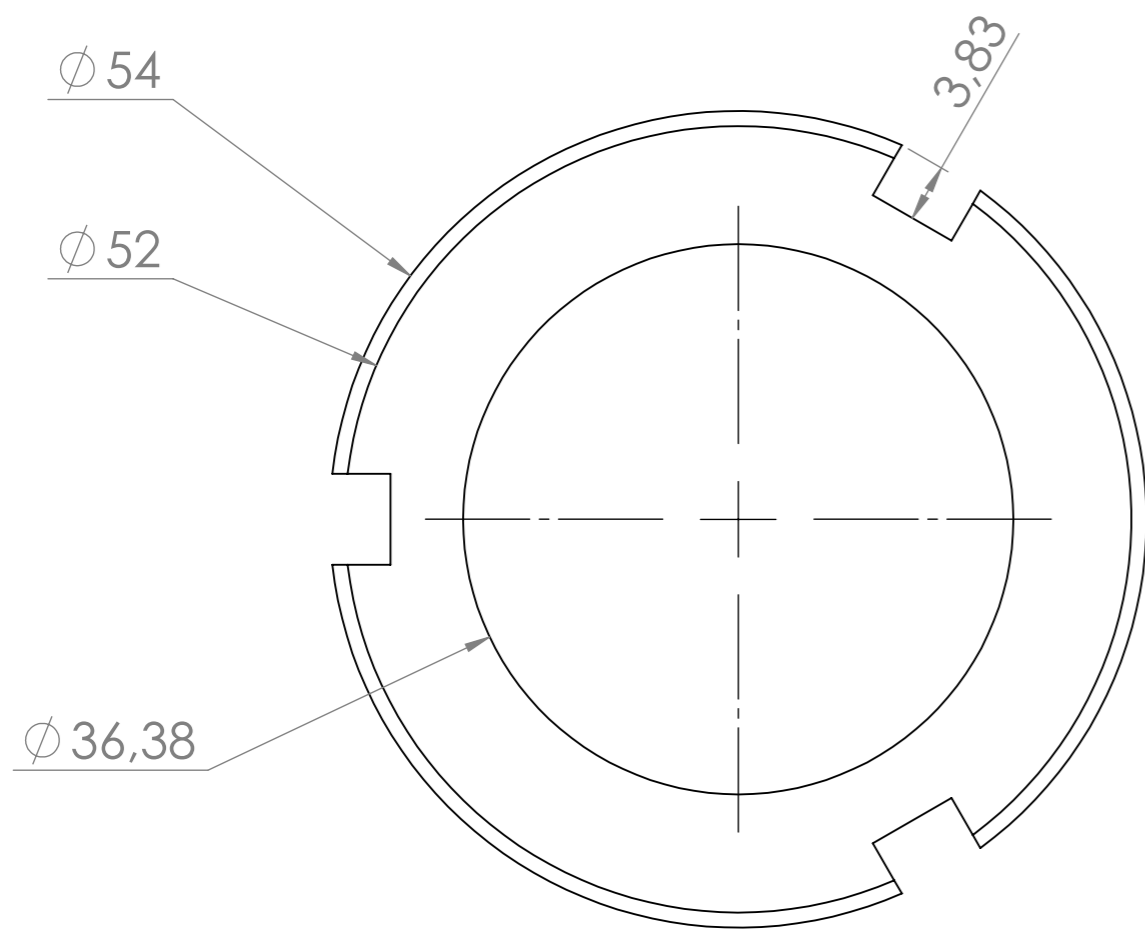


SECCIÓN F-F



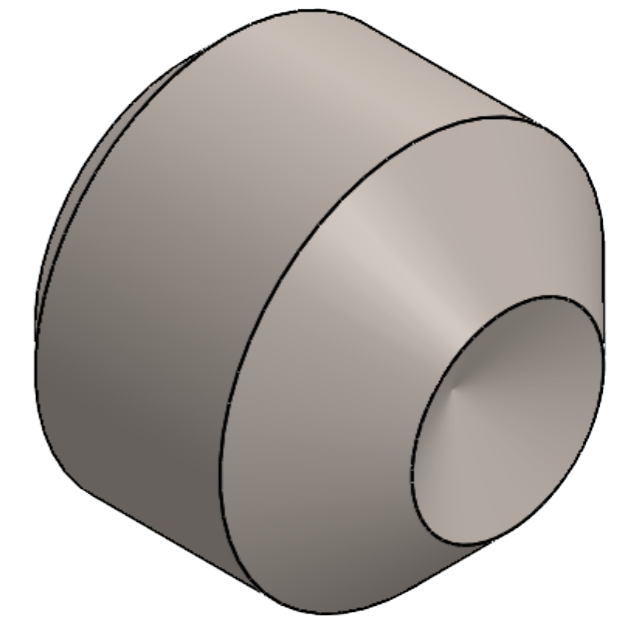
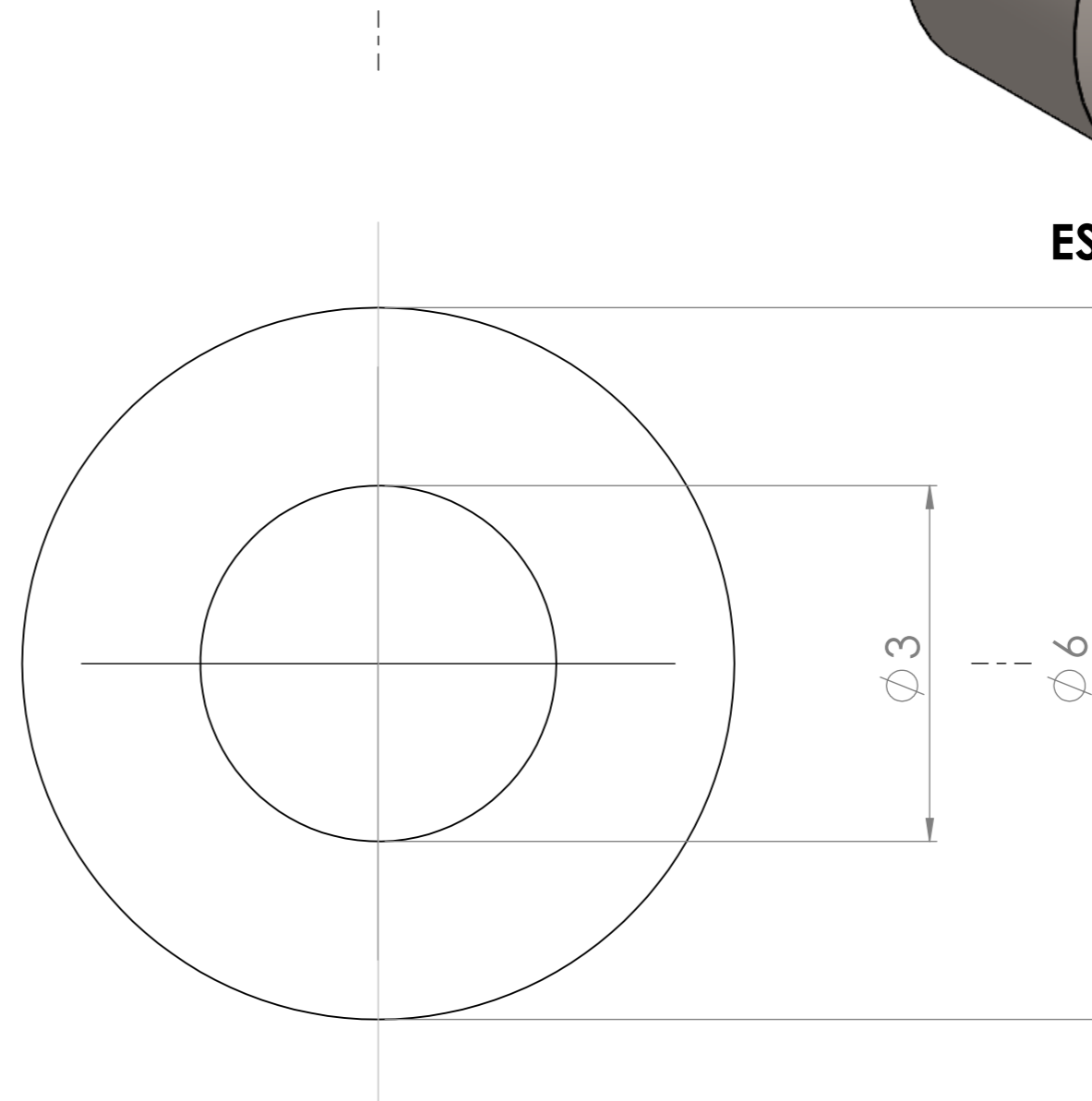
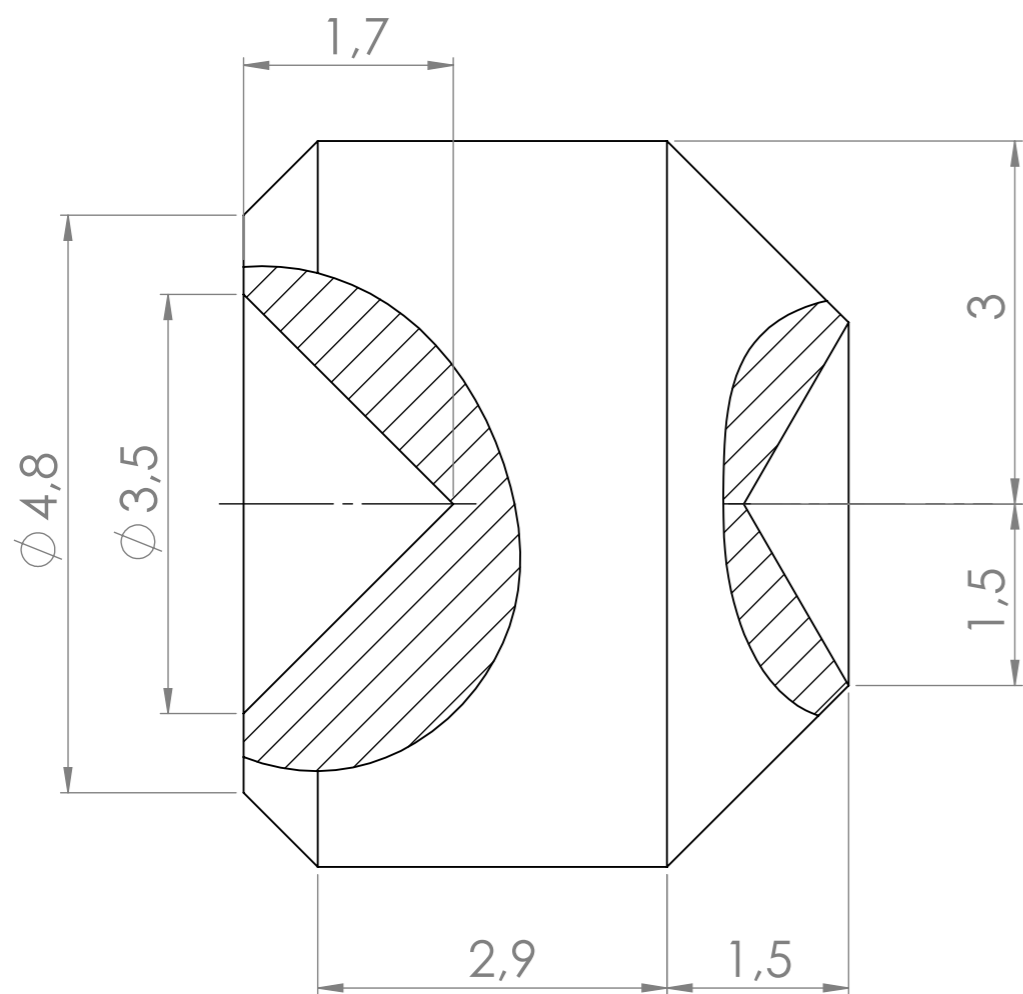
ESCALA 1:2

 		UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER	
FECHA: 08/01/24		TITULO: PROTOTIPO DE MÁQUINA DE PULTRUSIÓN	
ESCALA: 1:2.3		VISTA ISOMÉTRICA	
UNIDADES: mm		5.5 - SOPORTE FRONTAL	
A3		AUTOR: JHAN CARLOS MORENO ORTIZ	
		REVIS: COMITÉ UIS	HOJA 6/29



ESCALA 2:1

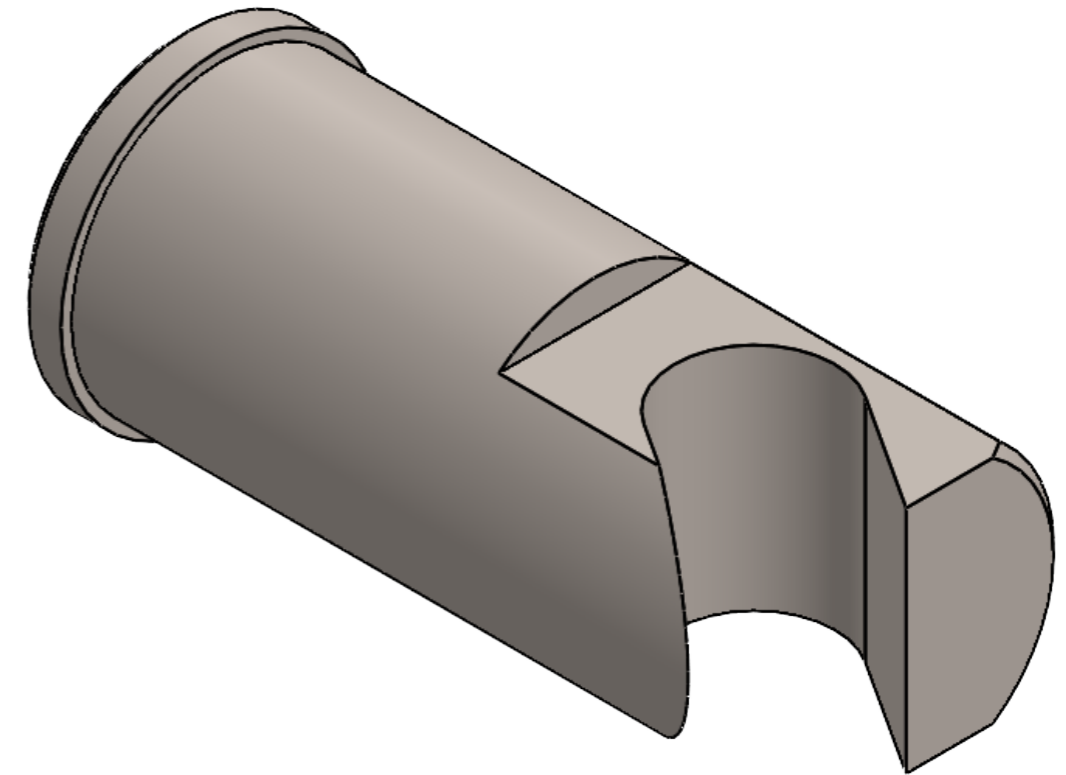
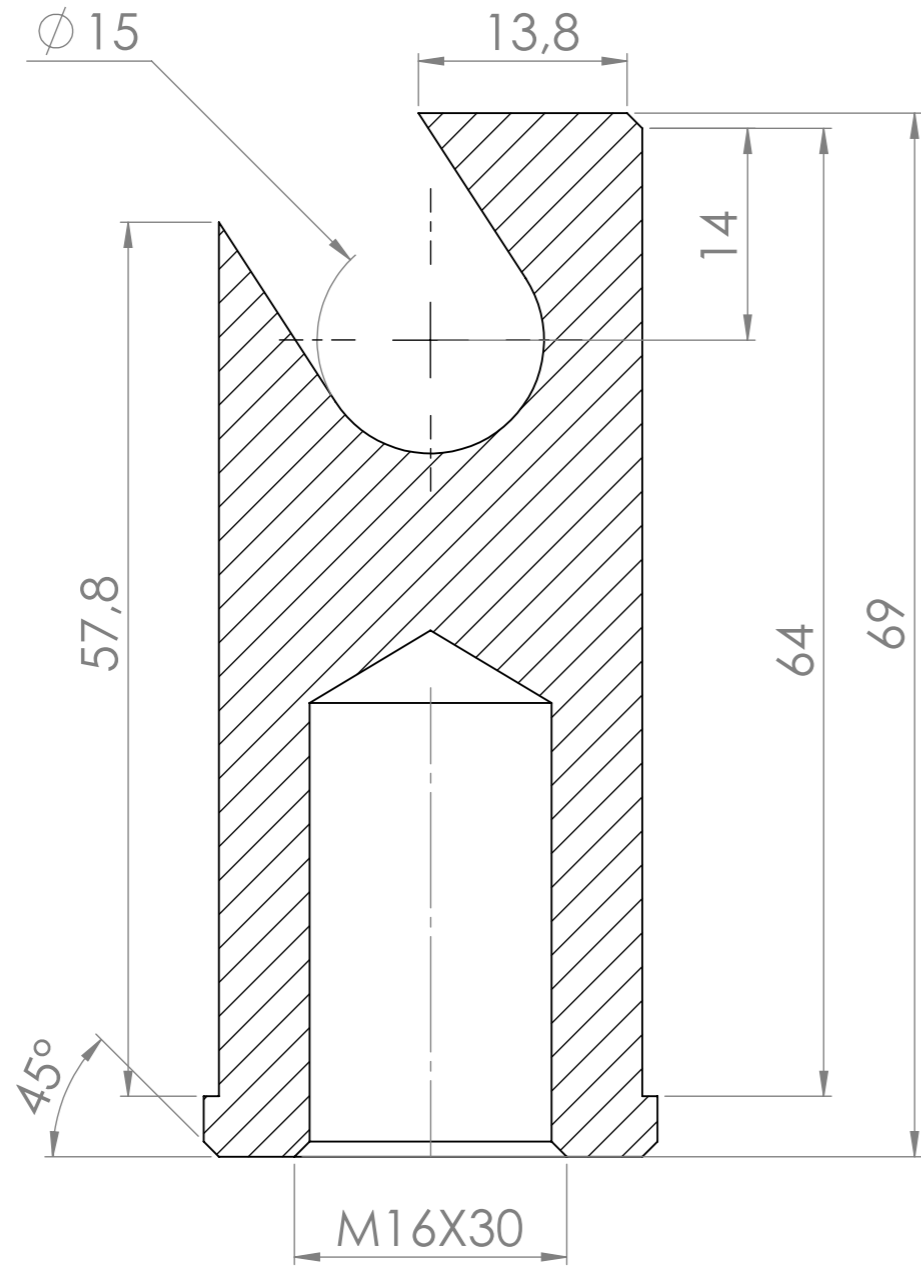
		UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER	
FECHA: 08/01/24		TITULO: PROTOTIPO DE MÁQUINA DE PULTRUSIÓN	
ESCALA: 2:1		VISTA ISOMÉTRICA	
UNIDADES: mm		5.6 - TUERCA BASE TENSOR	
A3		AUTOR: JHAN CARLOS MORENO ORTIZ	
		REVISAR: COMITÉ UIS	HOJA 7/29



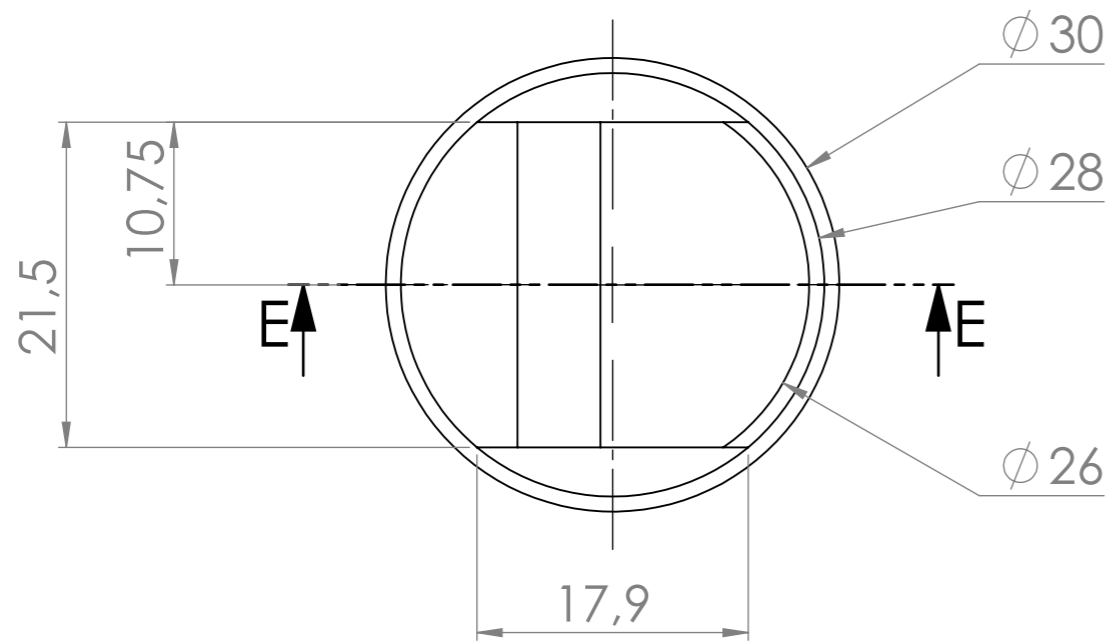
ESCALA 12:1

 		UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER	
FECHA: 08/01/24		TITULO: PROTOTIPO DE MÁQUINA DE PULTRUSIÓN	
ESCALA: 17:1		VISTA ISOMÉTRICA	
UNIDADES: mm		5.7 - TORNILLO PRISIONERO	
A3		AUTOR: JHAN CARLOS MORENO ORTIZ	
		REVISAR: COMITÉ UIS	
		HOJA 8/29	

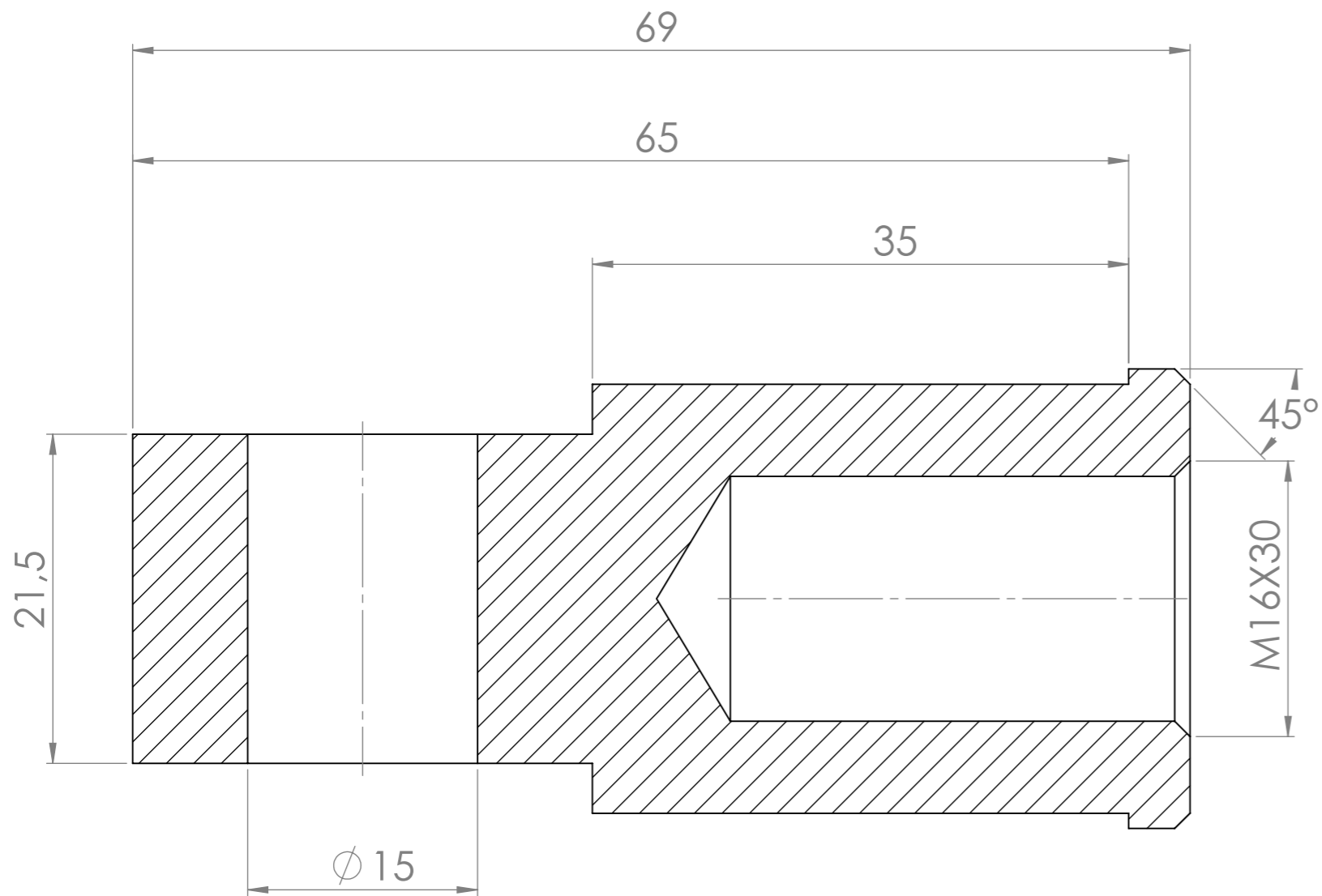
SECCIÓN E-E



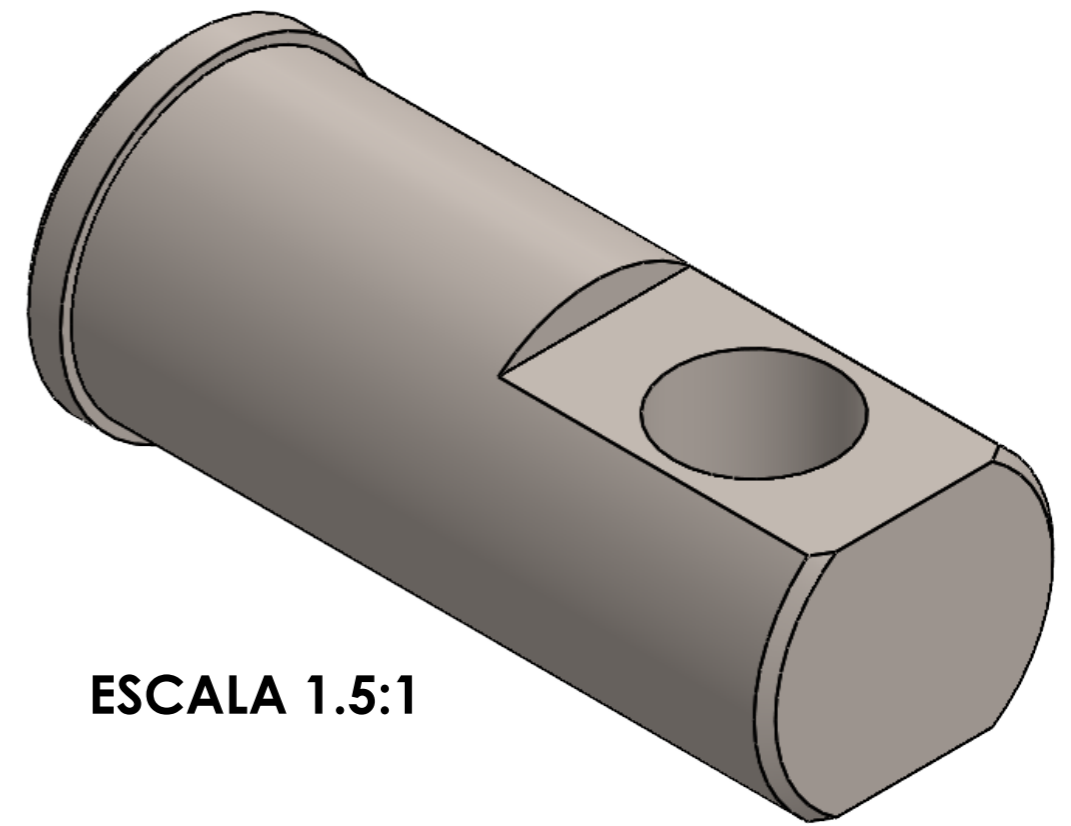
ESCALA 2:1



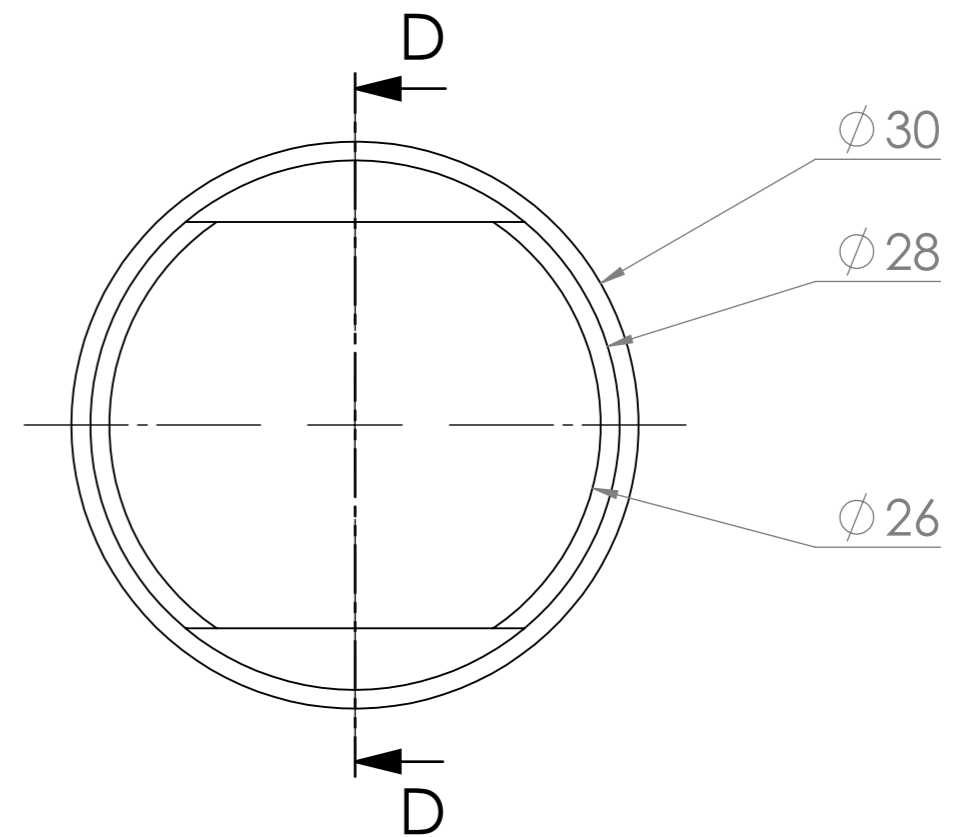
 		UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER	
FECHA: 08/01/24		TITULO: PROTOTIPO DE MÁQUINA DE PULTRUSIÓN	
ESCALA: 2:1		VISTA ISOMÉTRICA	
UNIDADES: mm		5.8 - BUJE ABIERTO DE SOPORTE	
A3		AUTOR: JHAN CARLOS MORENO ORTIZ	
		REVISAR: COMITÉ UIS	
		HOJA 9/29	



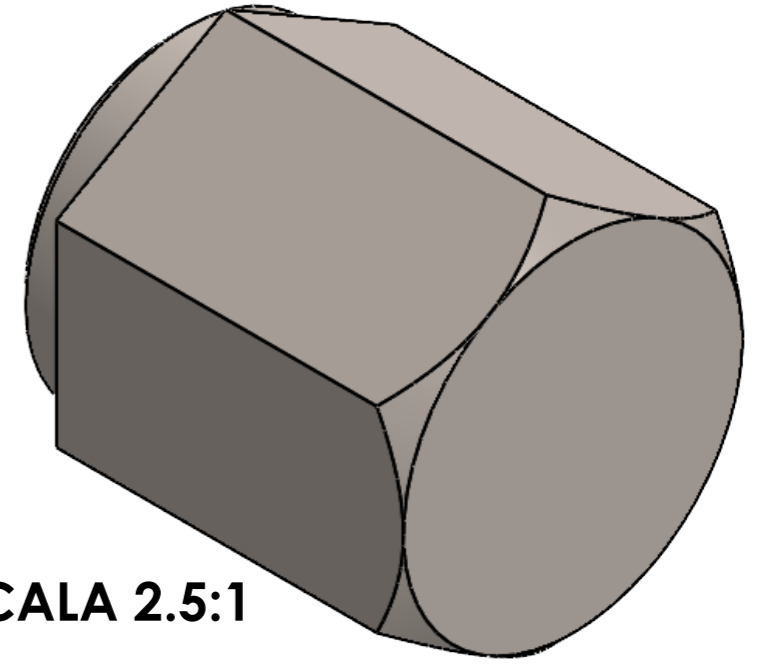
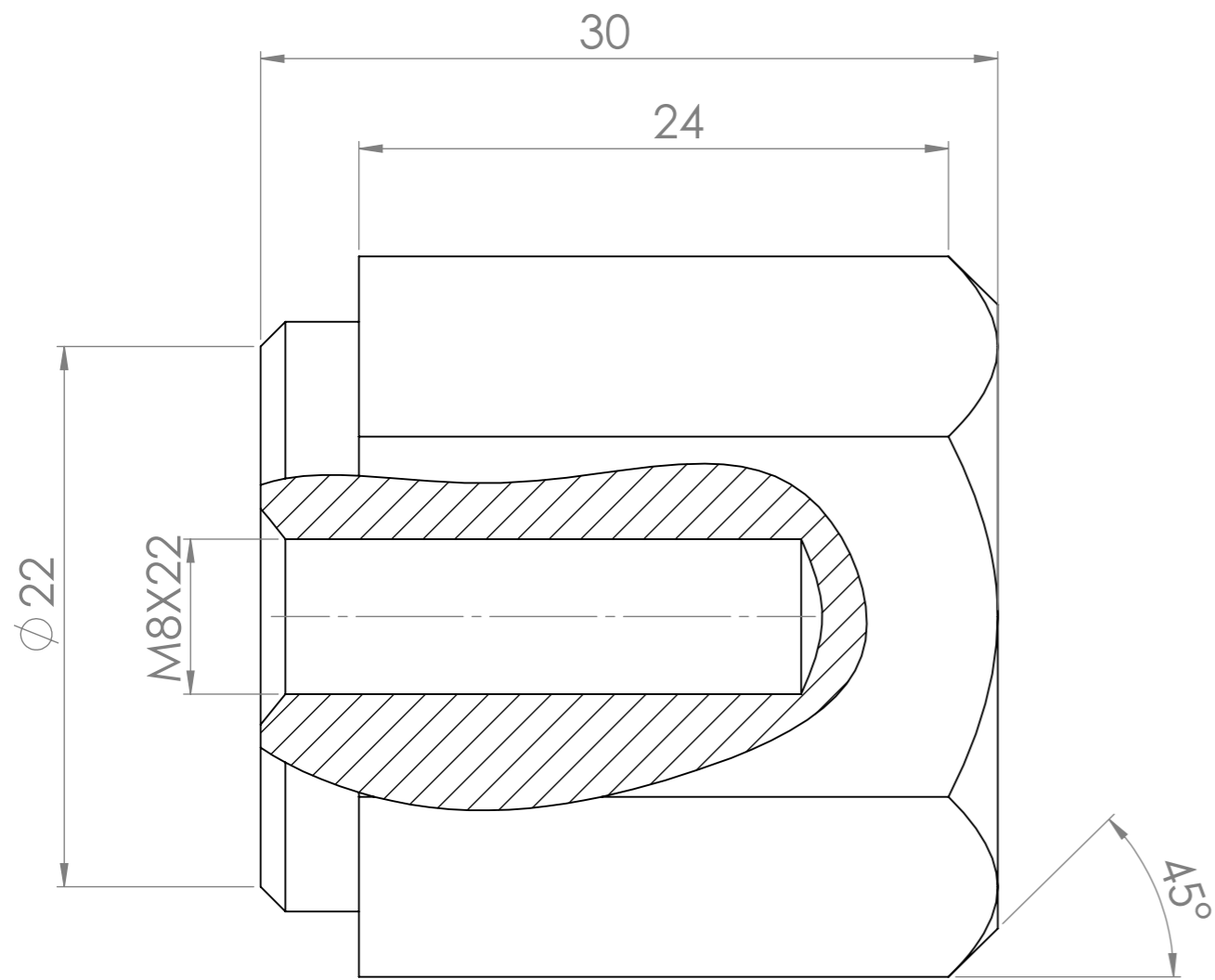
SECCIÓN D-D



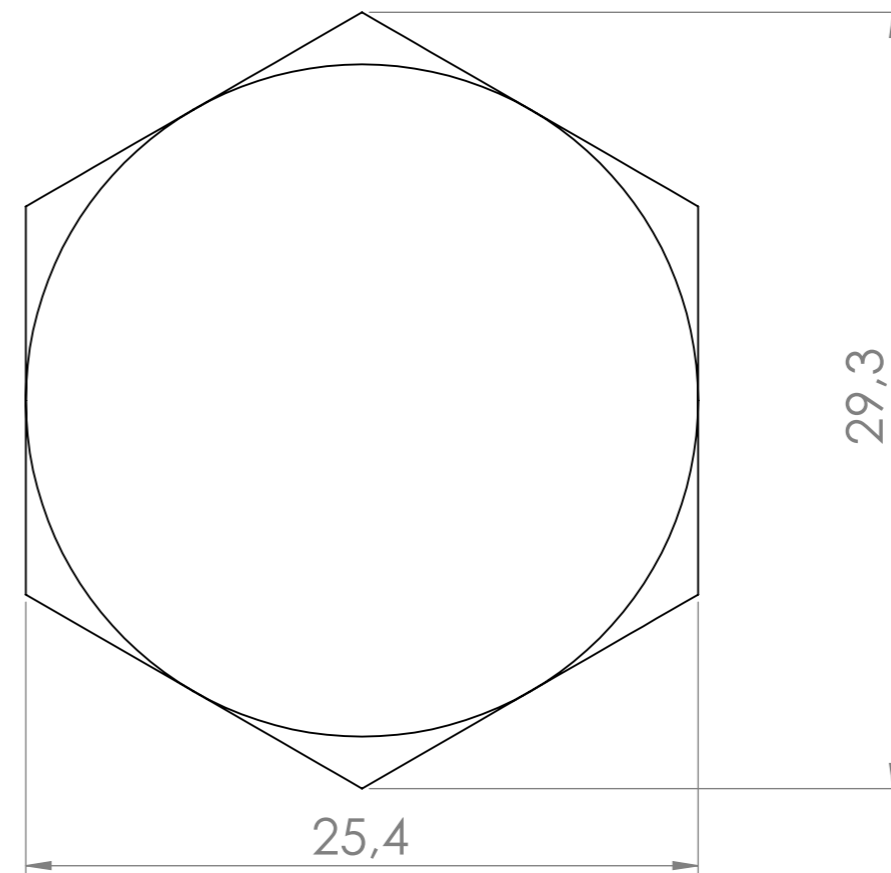
ESCALA 1.5:1



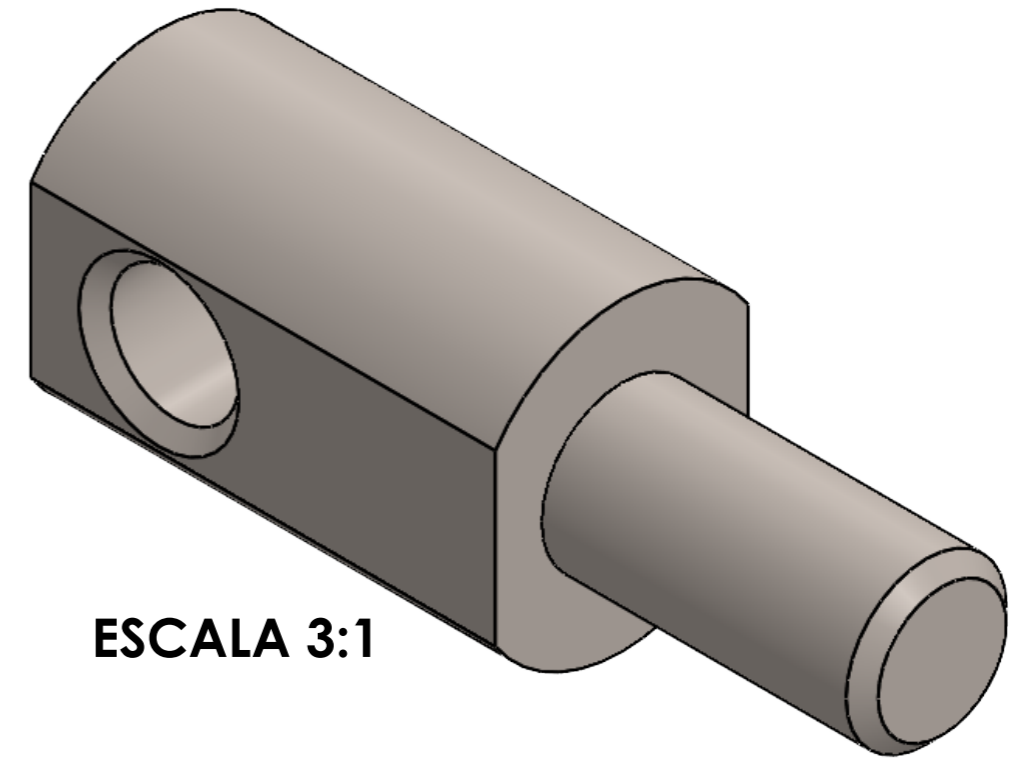
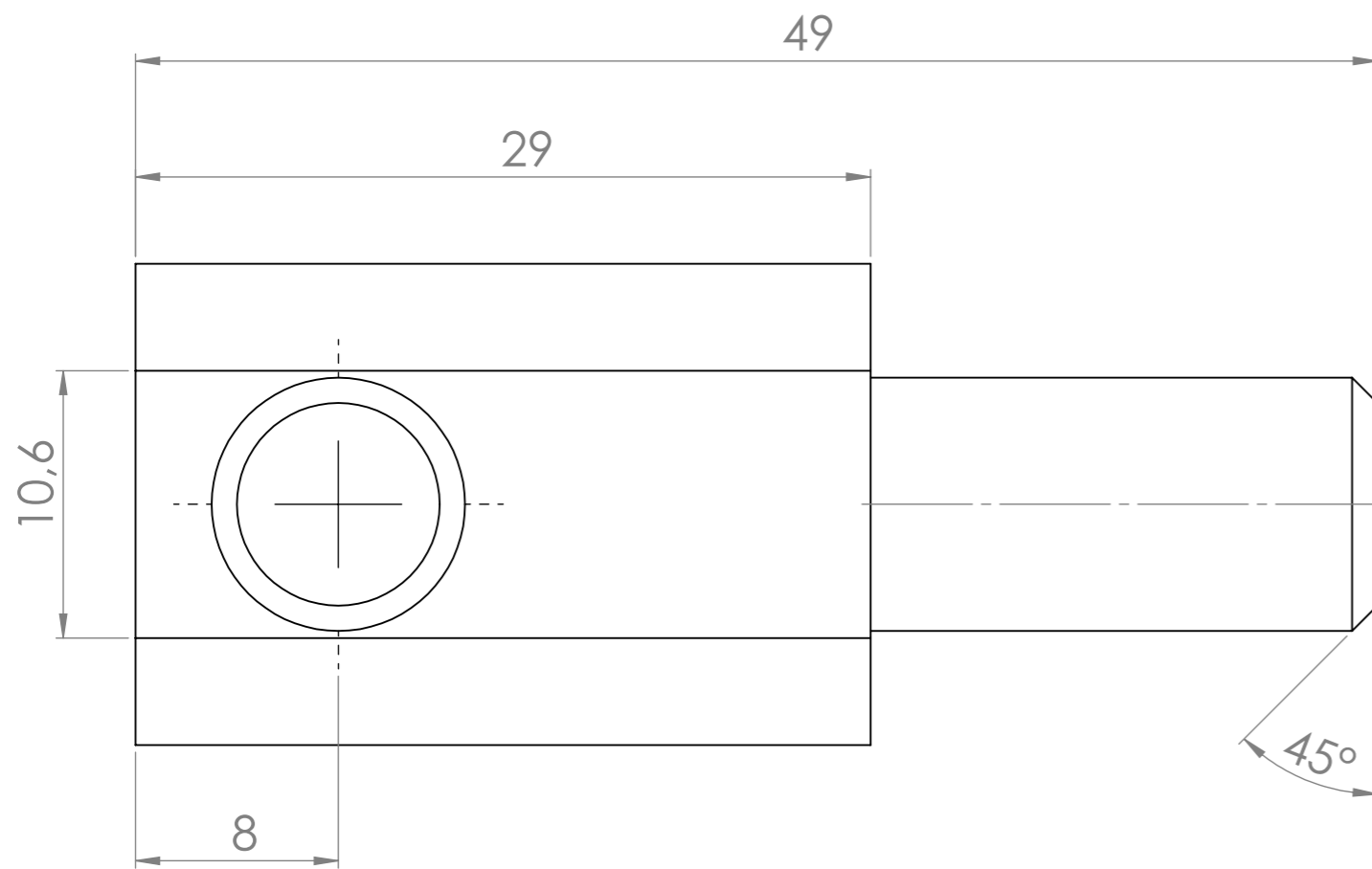
		UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER	
FECHA: 08/01/24		TITULO: PROTOTIPO DE MÁQUINA DE PULTRUSIÓN	
ESCALA: 1.8:1		VISTA ISOMÉTRICA	
UNIDADES: mm		5.9 - BUJE CERRADO DE SOPORTE	
A3		AUTOR: JHAN CARLOS MORENO ORTIZ	
		REVISAR: COMITÉ UIS	HOJA 10/29



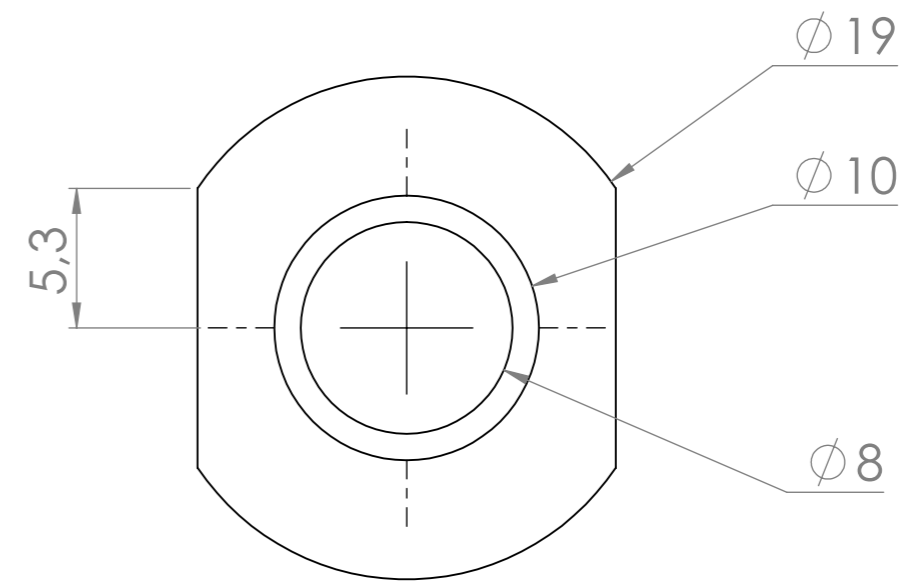
ESCALA 2.5:1



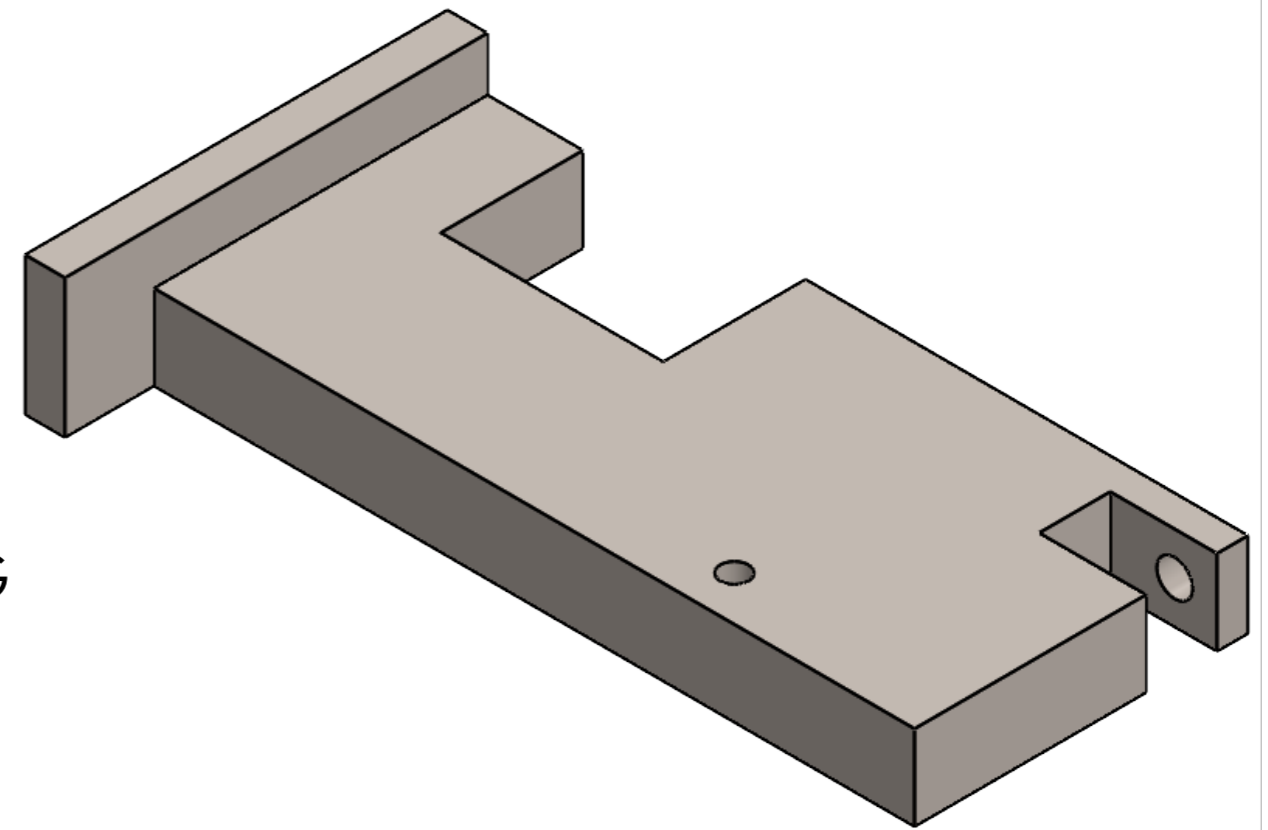
 		UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER	
FECHA: 08/01/24		TITULO: PROTOTIPO DE MÁQUINA DE PULTRUSIÓN	
ESCALA: 1:1		VISTA ISOMÉTRICA	
UNIDADES: mm		5.10 - TUERCA DE SEGURIDAD	
A3		AUTOR: JHAN CARLOS MORENO ORTIZ	
		REVISAR: COMITÉ UIS	HOJA 11/29



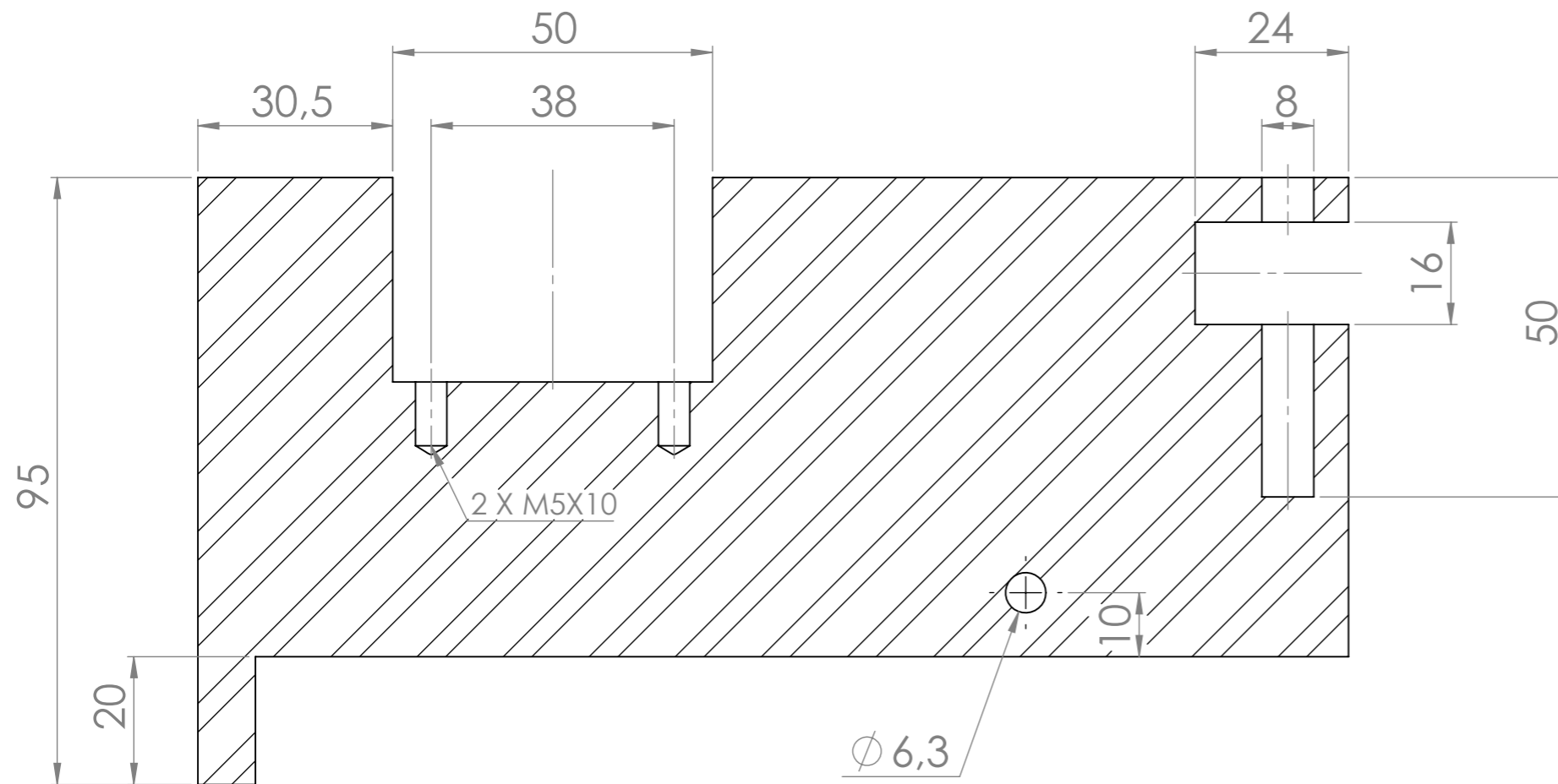
ESCALA 3:1



 		UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER	
FECHA: 08/01/24		TITULO: PROTOTIPO DE MÁQUINA DE PULTRUSIÓN	
ESCALA: 3.5:1		VISTA ISOMÉTRICA	
UNIDADES: mm		5.11 - TORNILLO DE SOPORTE FRONTAL	
A3		AUTOR: JHAN CARLOS MORENO ORTIZ	
		REVISAR: COMITÉ UIS	
		HOJA 12/29	



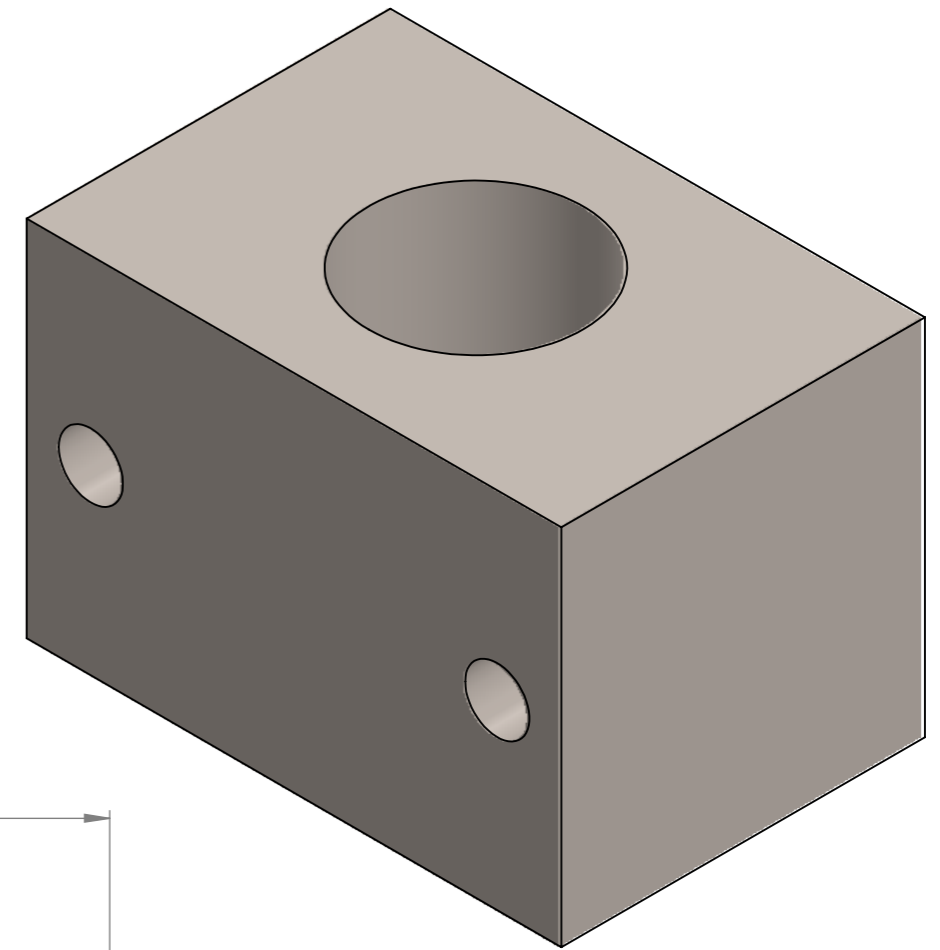
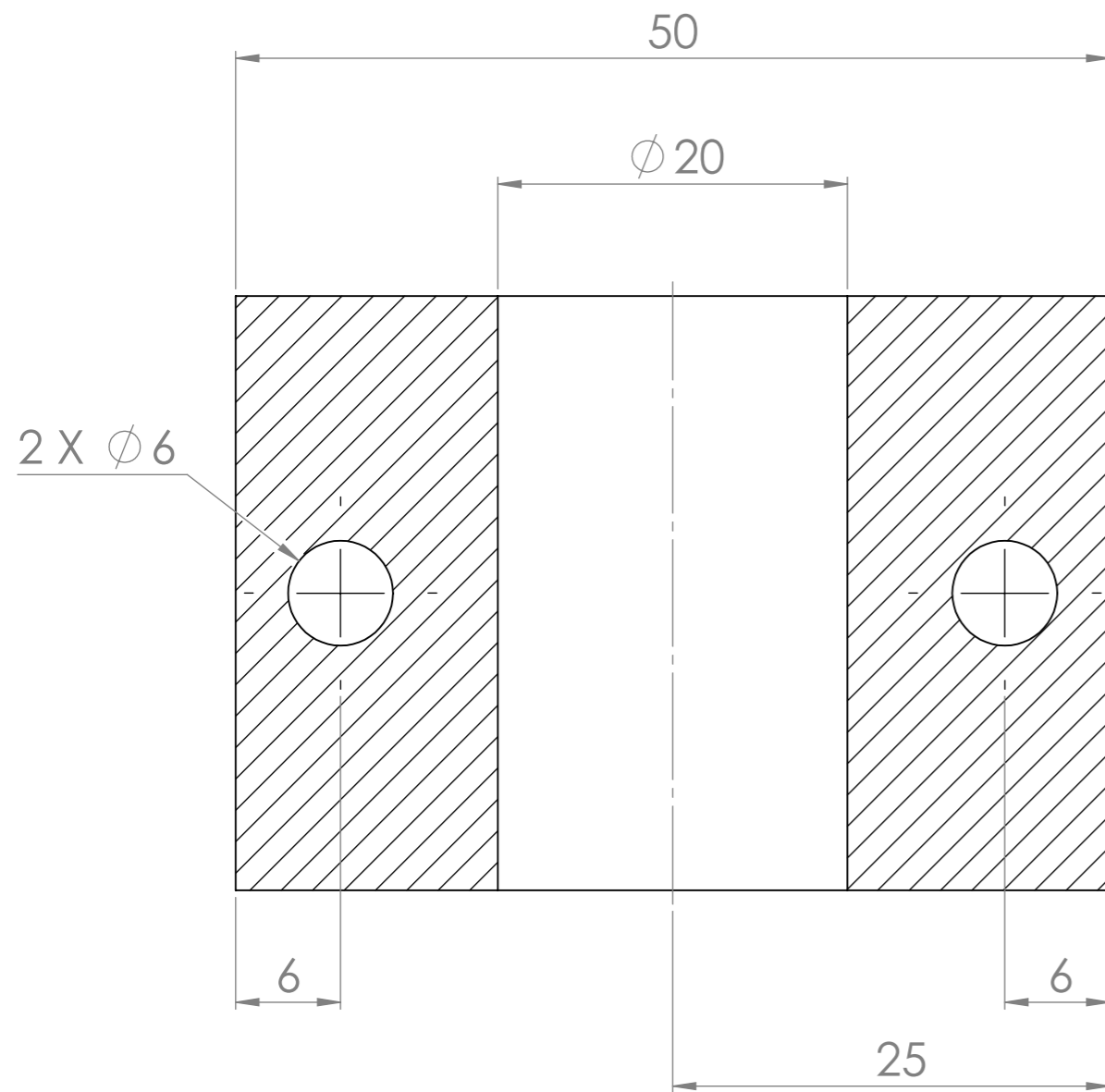
ESCALA 1:1.2



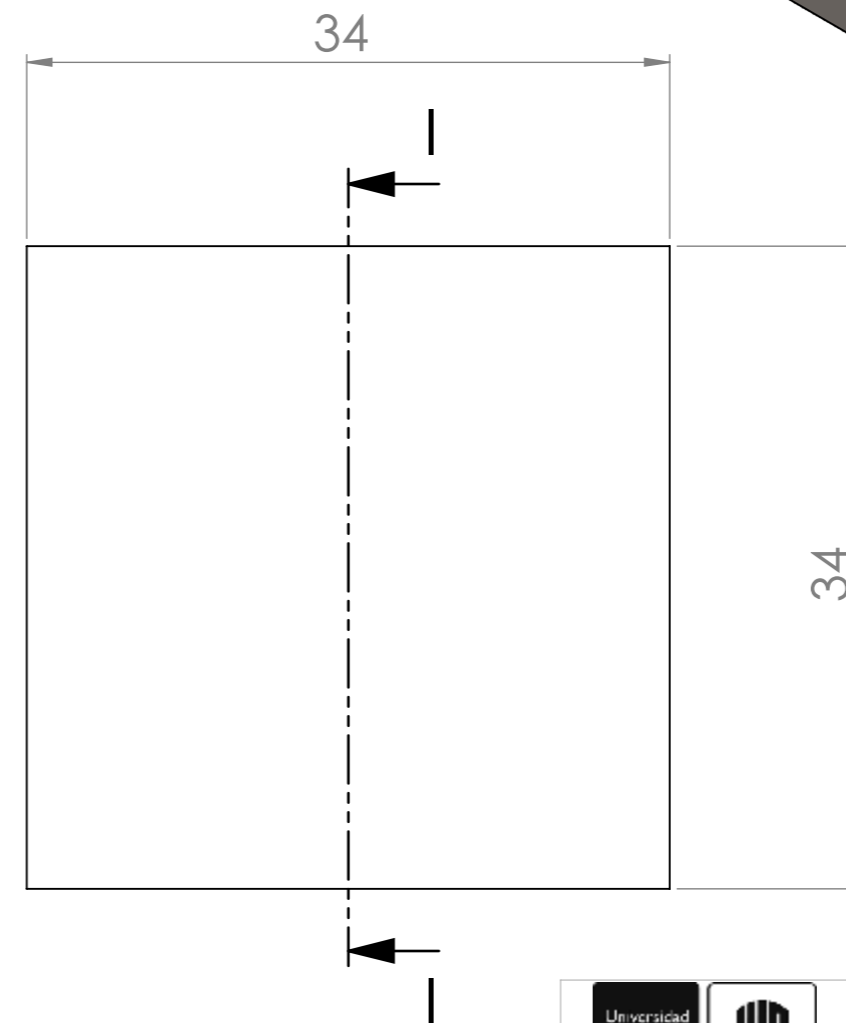
SECCIÓN G-G

 		UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER	
FECHA: 08/01/24		TITULO: PROTOTIPO DE MÁQUINA DE PULTRUSIÓN	
ESCALA: 1:1		VISTA ISOMÉTRICA	
UNIDADES: mm		5.12 - SOPORTE LATERAL DERECHO	
A3		AUTOR: JHAN CARLOS MORENO ORTIZ	
		REVISAR: COMITÉ UIS	
		HOJA 13/29	

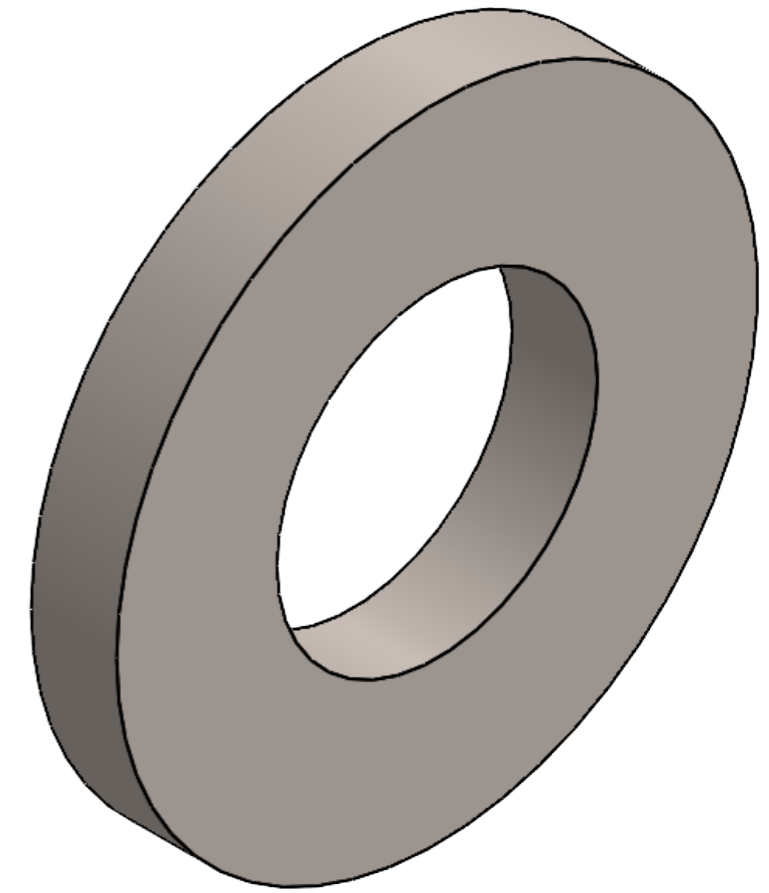
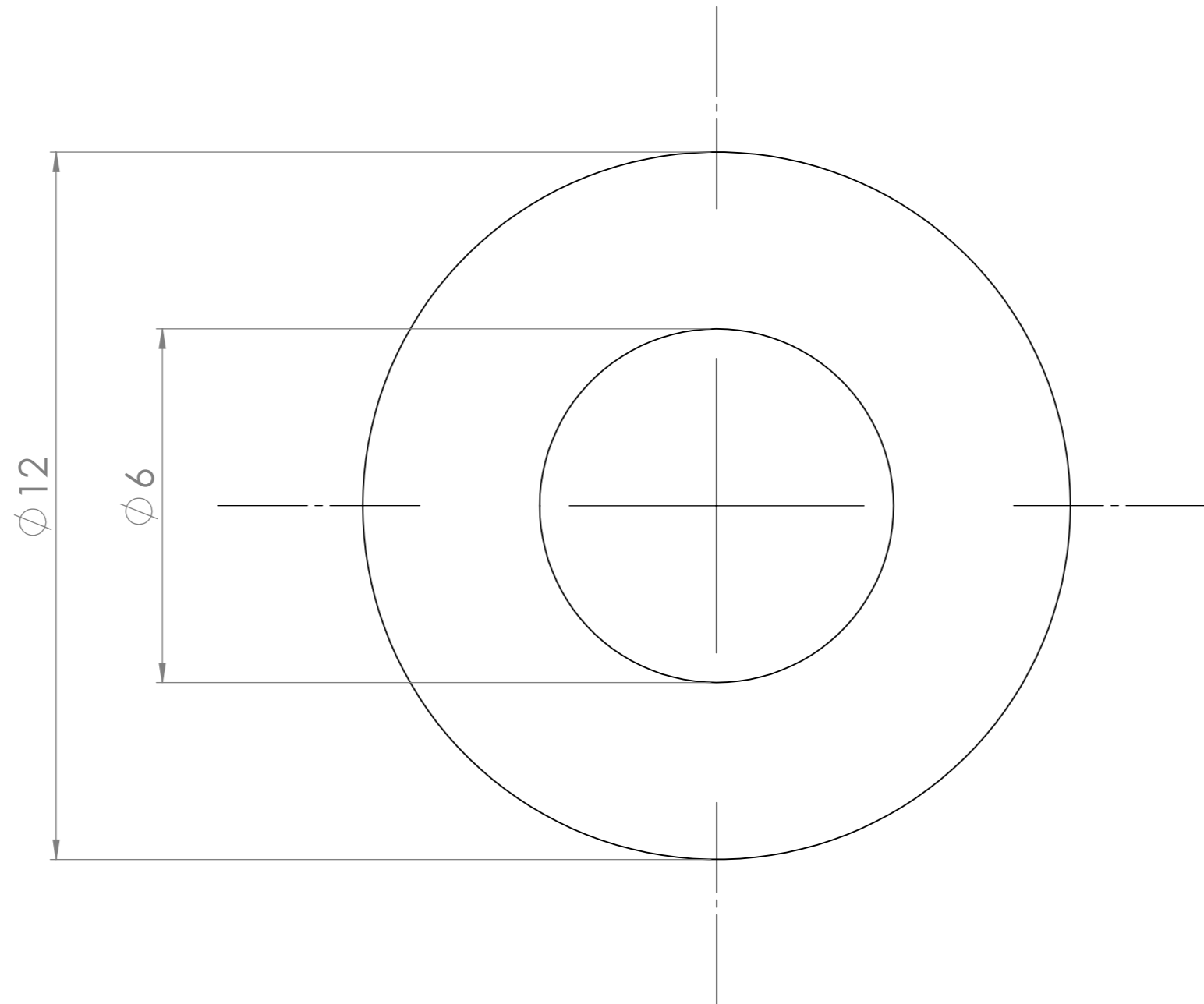
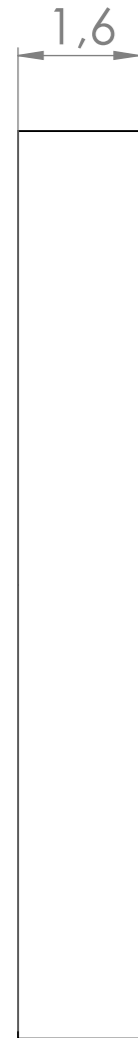
SECCIÓN I-I



ESCALA 2:1

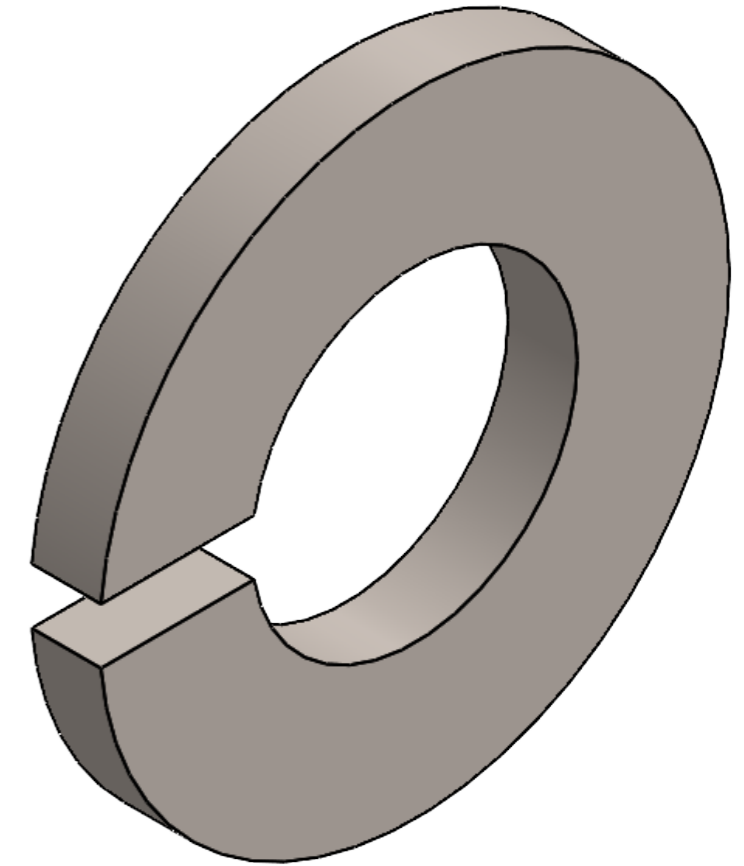
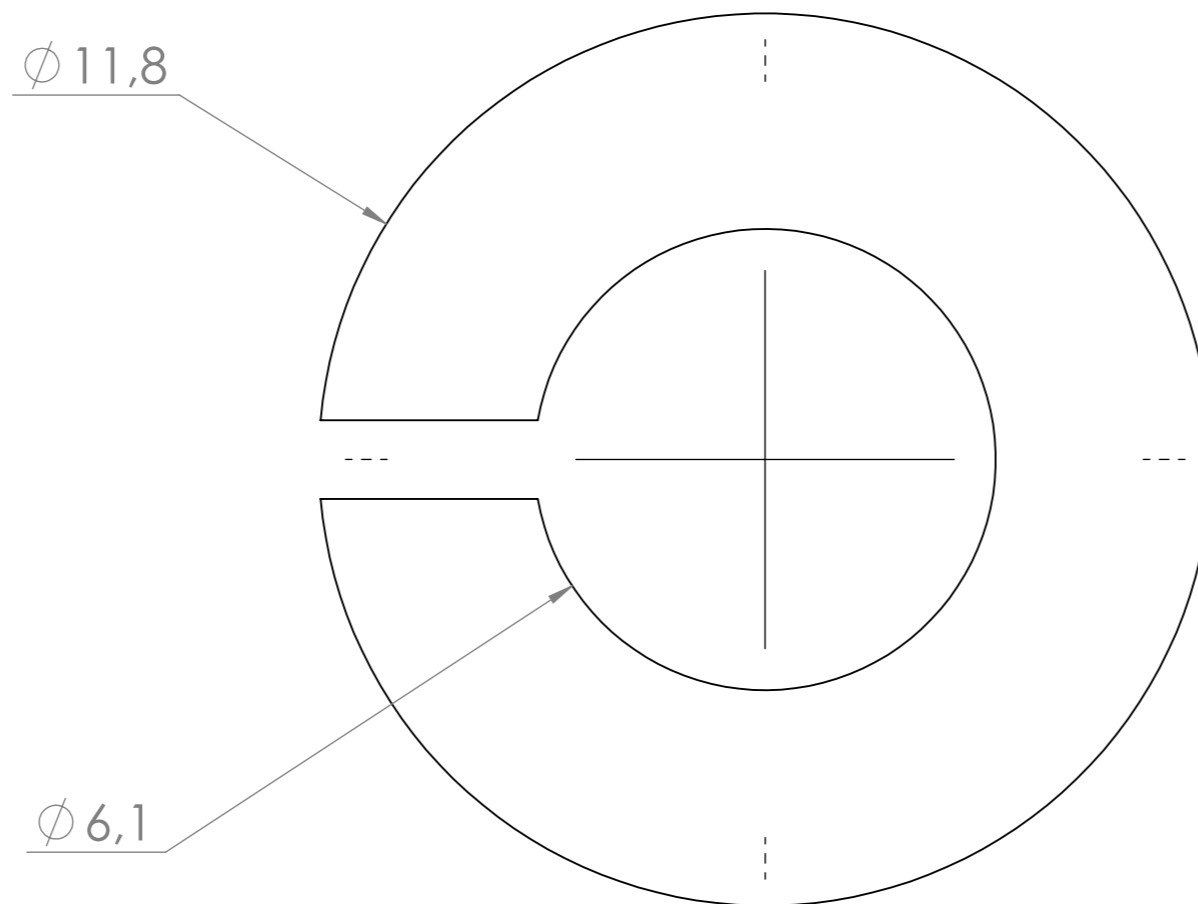
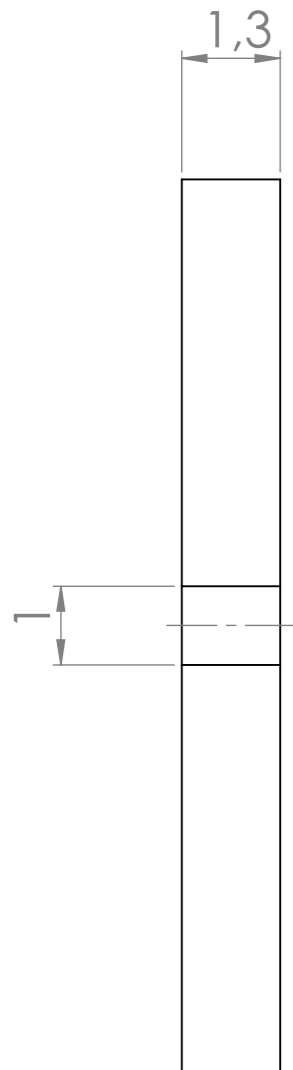


 		UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER	
FECHA: 08/01/24		TITULO: PROTOTIPO DE MÁQUINA DE PULTRUSIÓN	
ESCALA: 2.5:1		VISTA ISOMÉTRICA	
UNIDADES: mm		5.13 - BUJE CUADRADO	
A3		AUTOR: JHAN CARLOS MORENO ORTIZ	
		REVISAR: COMITÉ UIS	
		HOJA 14/29	



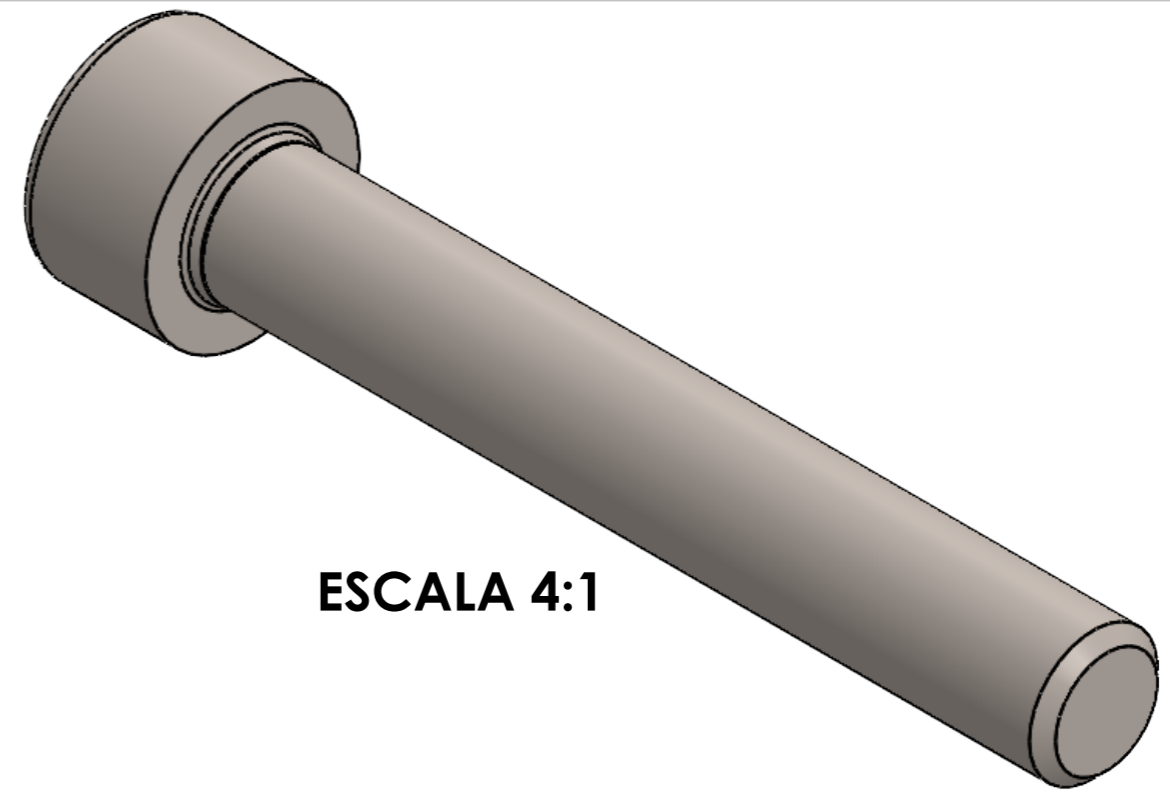
ESCALA 10:1

		UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER	
FECHA:08/01/24	ESCALA: 10:1	TITULO: PROTOTIPO DE MÁQUINA DE PULTRUSIÓN VISTA ISOMÉTRICA 5.14 - ARANDELA PLANA	
UNIDADES: mm	A3	AUTOR: JHAN CARLOS MORENO ORTIZ	REVISAR: COMITÉ UIS
			HOJA 15/29

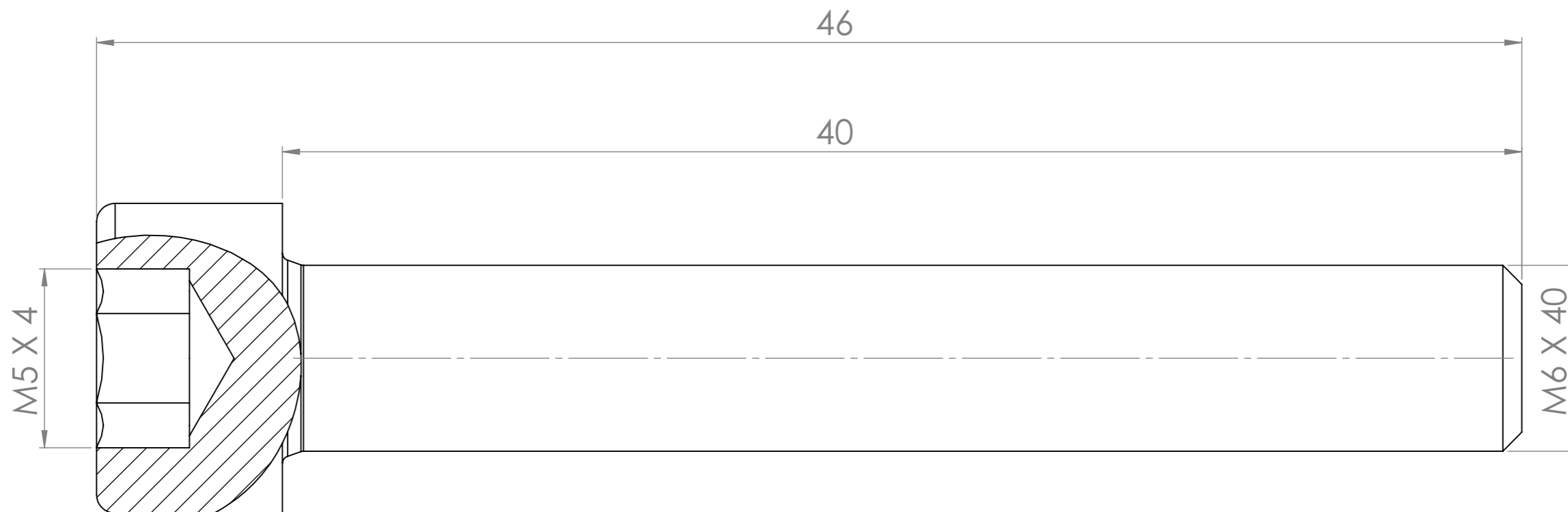


ESCALA 10:1

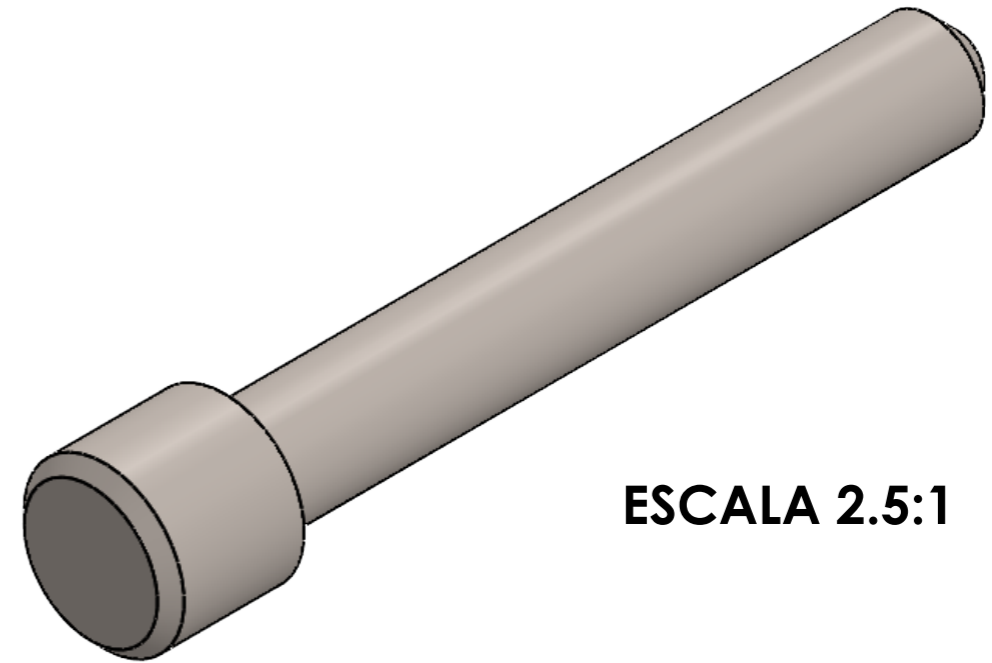
 		UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER	
FECHA: 08/01/24		TITULO: PROTOTIPO DE MÁQUINA DE PULTRUSIÓN	
ESCALA: 10:1		VISTA ISOMÉTRICA	
UNIDADES: mm		5.15 - ARANDELA DE PRESIÓN	
A3		AUTOR: JHAN CARLOS MORENO ORTIZ	
		REVISAR: COMITÉ UIS	HOJA 16/29



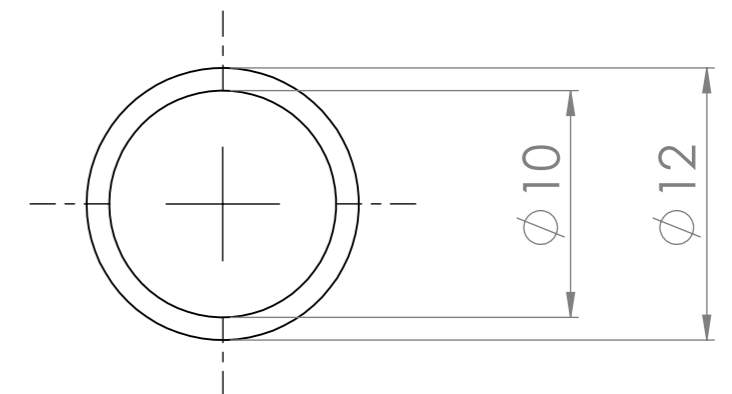
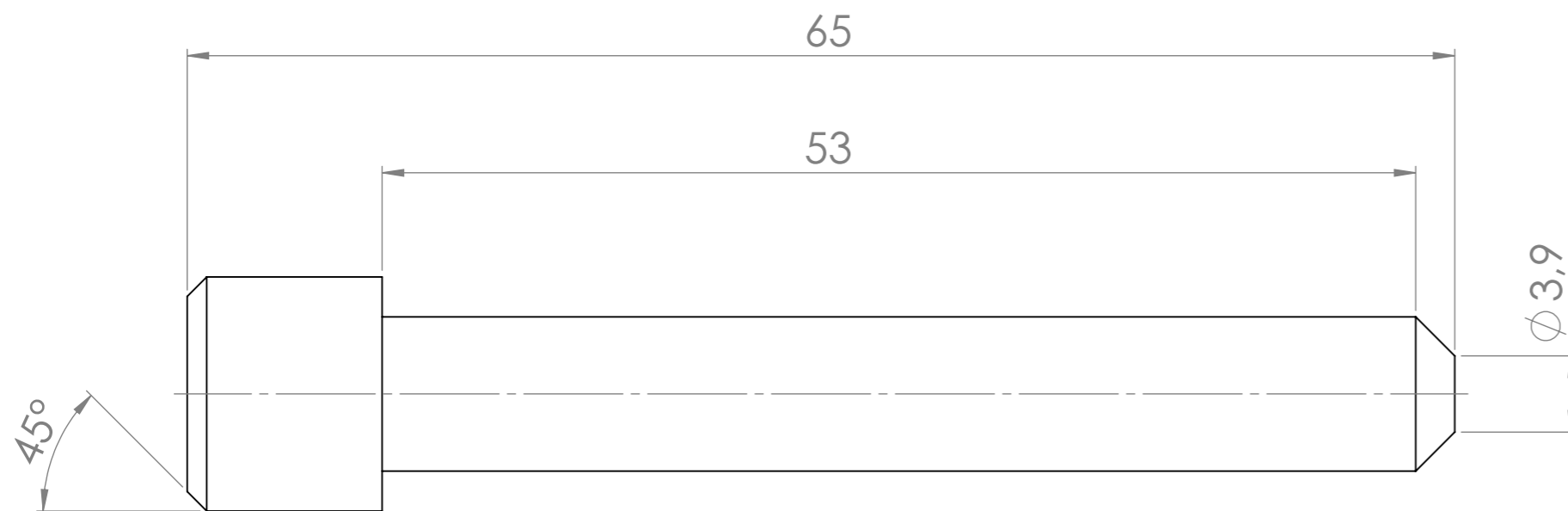
ESCALA 4:1



		UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER	
FECHA: 08/01/24	ESCALA: 6:1	TITULO: PROTOTIPO DE MÁQUINA DE PULTRUSIÓN VISTA ISOMÉTRICA 5.16 - TORNILLO BRISTOL	
UNIDADES: mm	A3	AUTOR: JHAN CARLOS MORENO ORTIZ	
		REVIS: COMITÉ UIS	HOJA 17/29

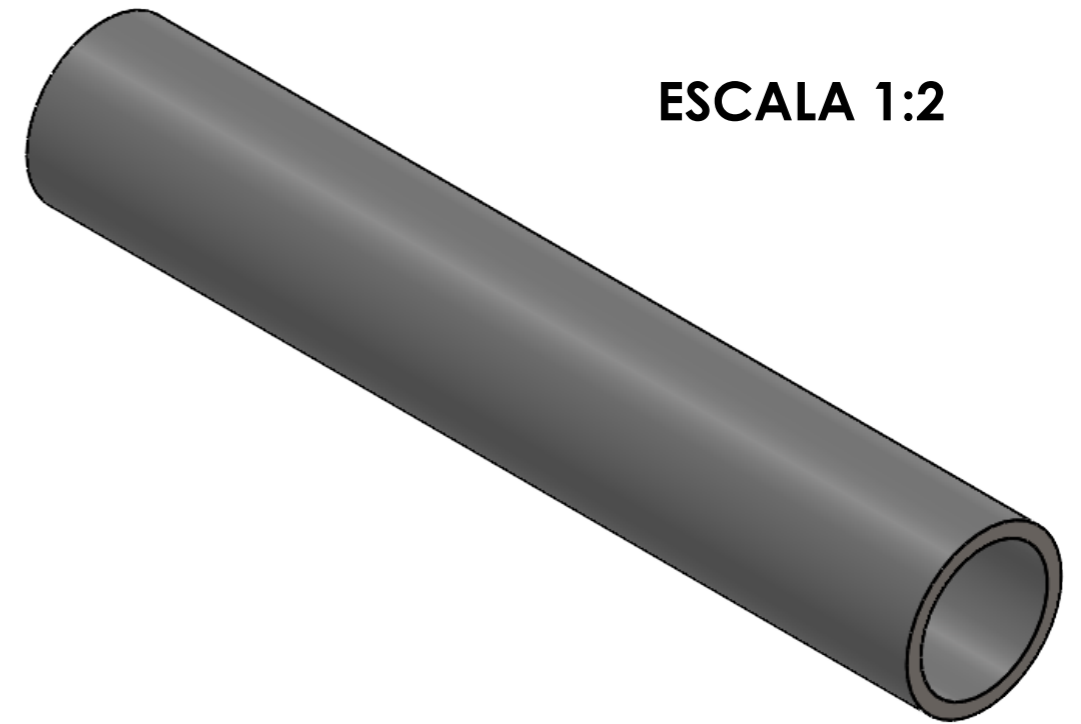


ESCALA 2.5:1

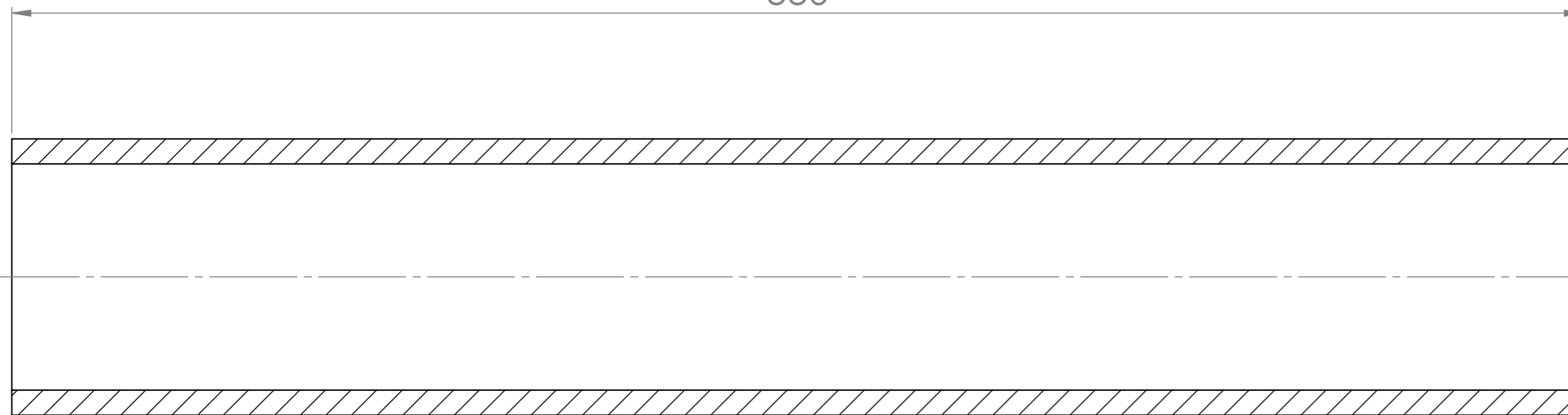


		UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER	
FECHA:08/01/24	ESCALA: 3:1	TITULO: PROTOTIPO DE MÁQUINA DE PULTRUSIÓN VISTA ISOMÉTRICA 5.17 - PASADOR	
UNIDADES: mm	A3	AUTOR: JHAN CARLOS MORENO ORTIZ	
		REVIS: COMITÉ UIS	HOJA18/29

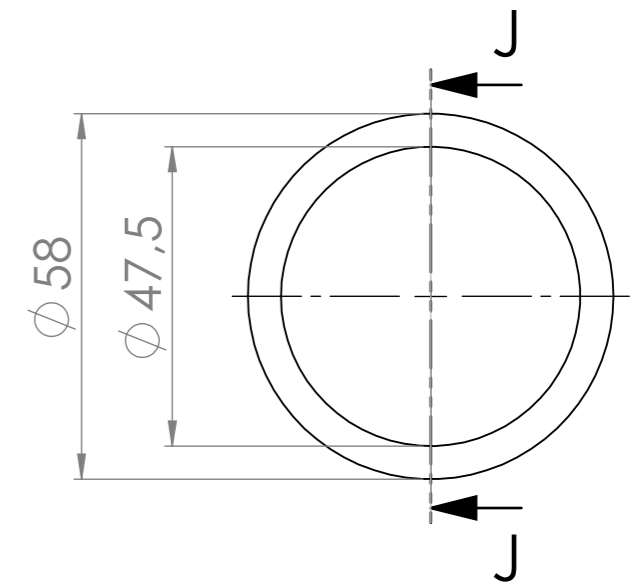
ESCALA 1:2



330



SECCIÓN J-J



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

FECHA:08/01/24

TITULO: PROTOTIPO DE MÁQUINA DE PULTRUSIÓN
VISTA ISOMÉTRICA
5.18 - SILICONA DE RODILLO

ESCALA: 1:1.2

UNIDADES: mm

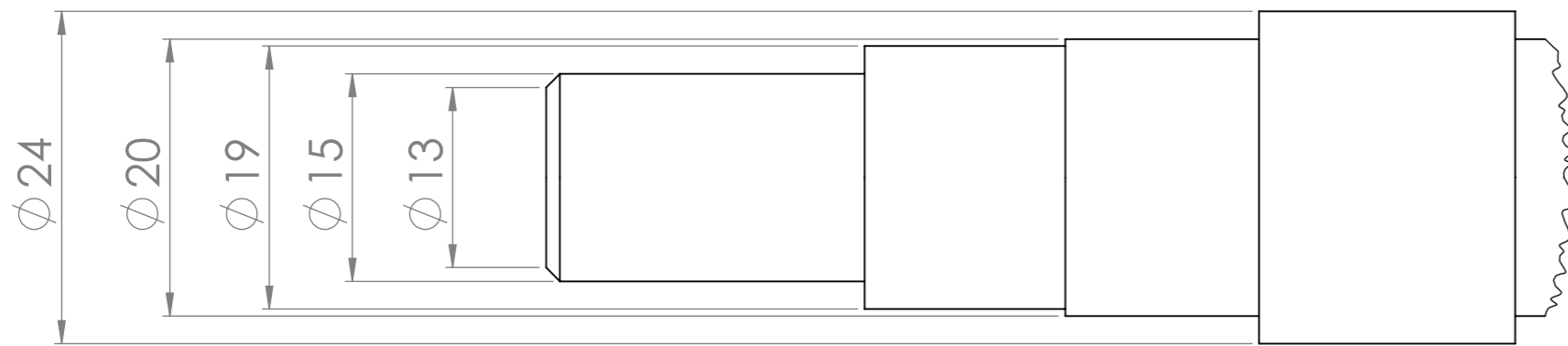
AUTOR: JHAN CARLOS MORENO ORTIZ

A3



REVIS: COMITÉ UIS

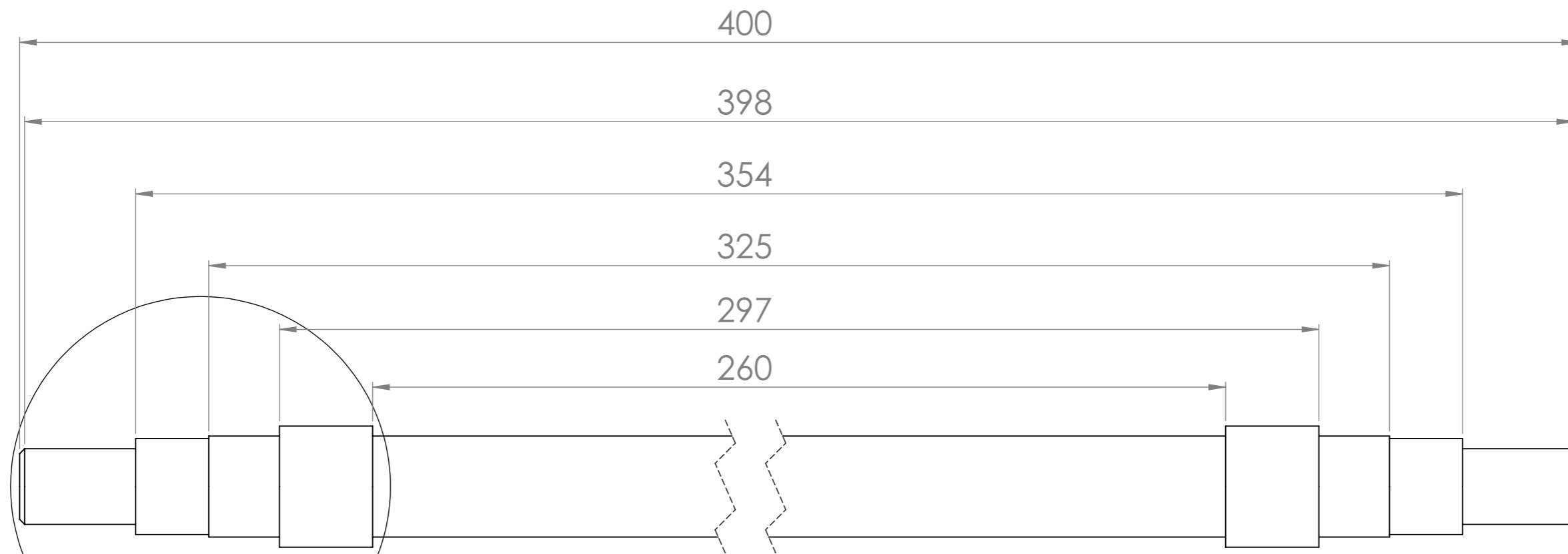
HOJA 19/29



**DETALLE BC
ESCALA 2 : 1**

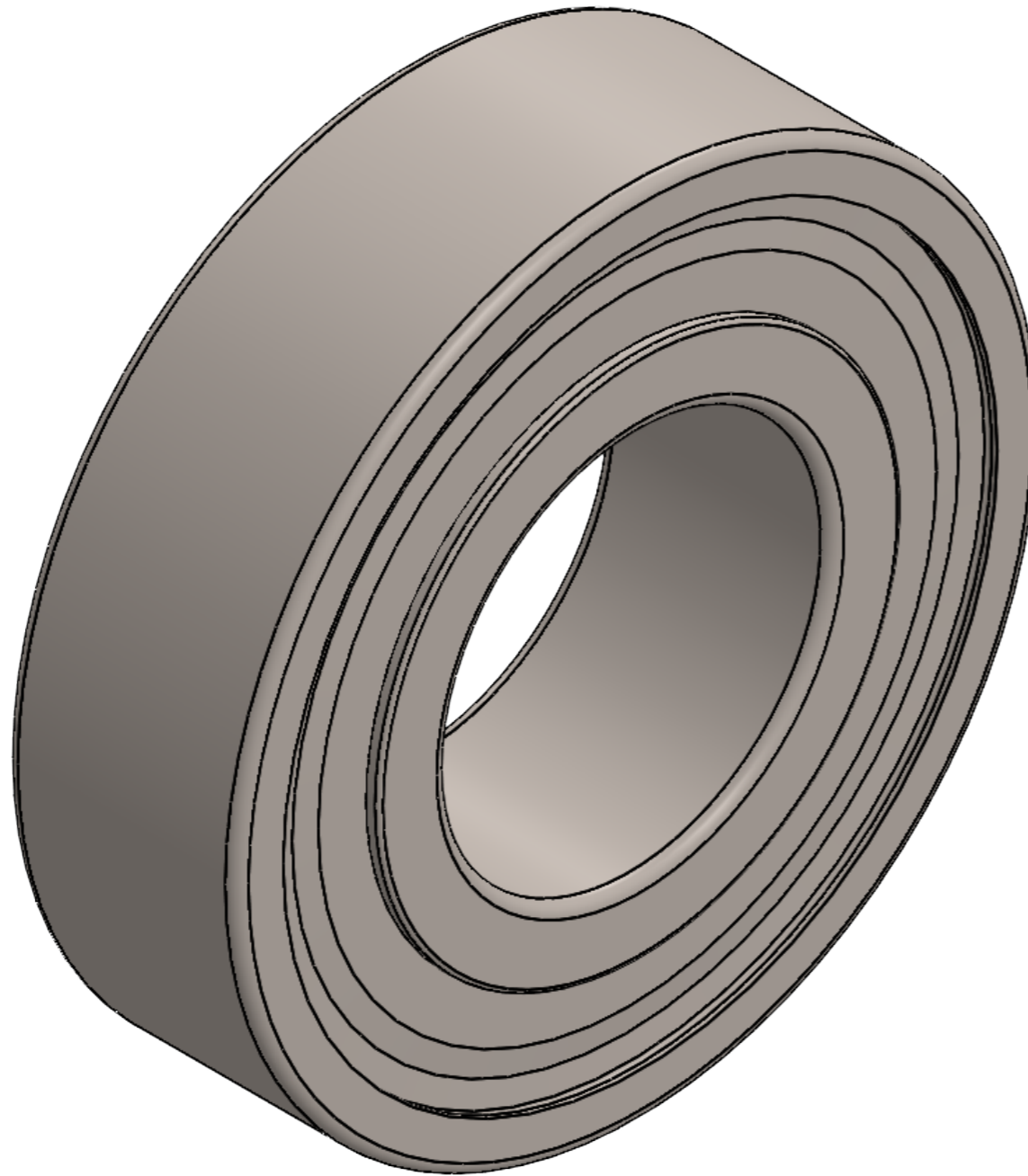


ESCALA 1:2



BC

		UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER	
FECHA: 08/01/24		TITULO: PROTOTIPO DE MÁQUINA DE PULTRUSIÓN	
ESCALA: 1:1		VISTA ISOMÉTRICA	
UNIDADES: mm		5.19 - EJE CONDUCCION	
A3		AUTOR: JHAN CARLOS MORENO ORTIZ	REVISAR: COMITÉ UIS
			HOJA 20/29



CARACTERÍSTICAS DEL RODAMIENTO

MODELO: SKF 6004-2Z.

TIPO DE RODAMIENTO: RÍGIDO DE BOLAS

DIÁMETRO INTERIOR: 20 MM.

DIÁMETRO EXTERIOR: 42 MM.

ANCHO: 12 MM.

CAPACIDAD DE CARGA DINÁMICA: 9.95 KN.

CAPACIDAD DE CARGA ESTÁTICA: 5 KN.

CARGA LÍMITE DE FATIGA: 0.212 KM

FACTOR DE CARGA MÍNIMA: 0.025

MASA: 0.071 KG



**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE
SANTANDER**

FECHA: 08/01/24

ESCALA: 4:1

UNIDADES: mm

A3

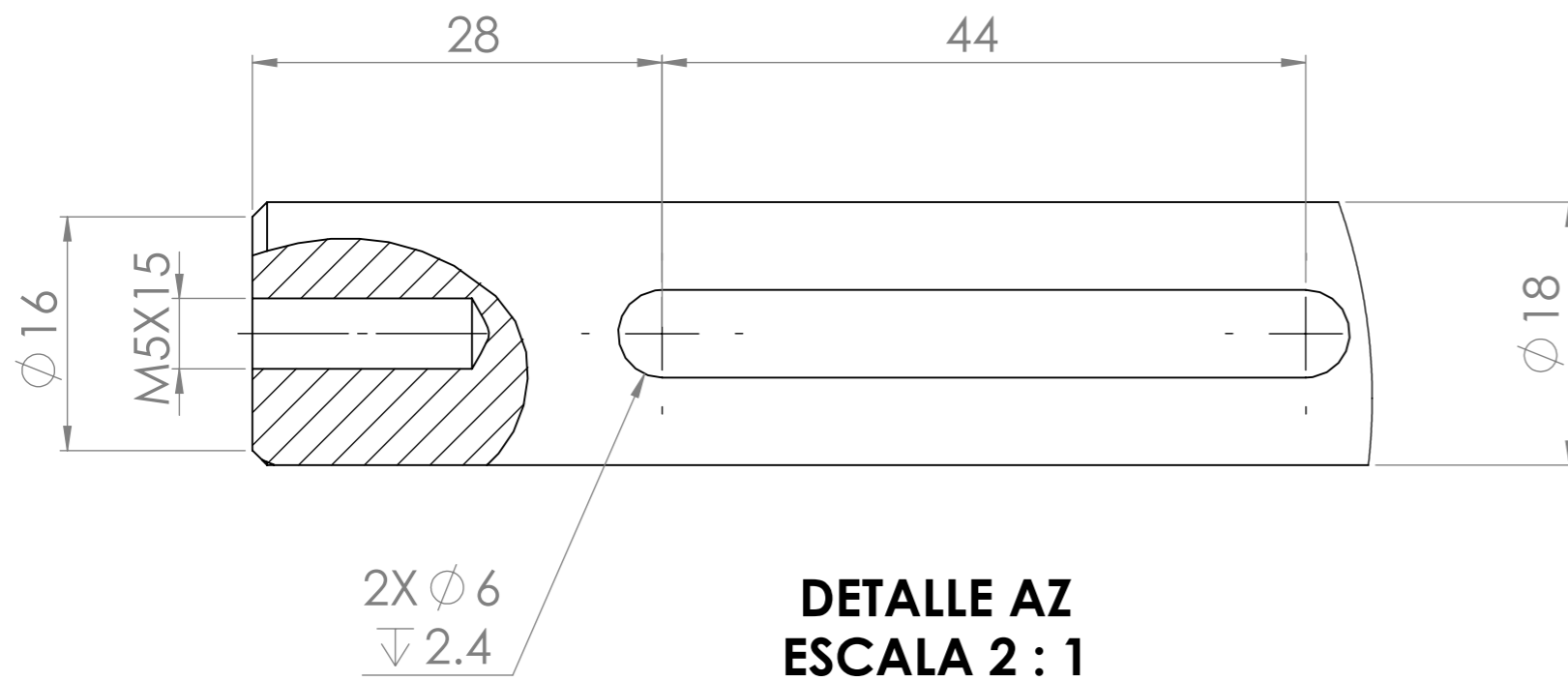


TÍTULO: PROTOTIPO DE MÁQUINA DE PULTRUSIÓN
VISTA ISOMÉTRICA
5.20 - RODAMIENTO

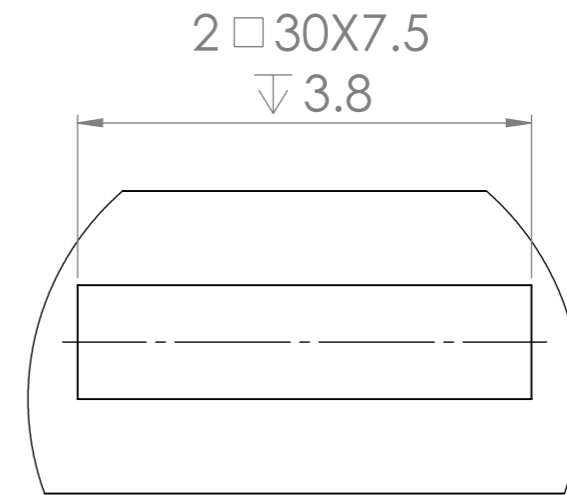
AUTOR: JHAN CARLOS MORENO ORTIZ

REVISAR: COMITÉ UIS

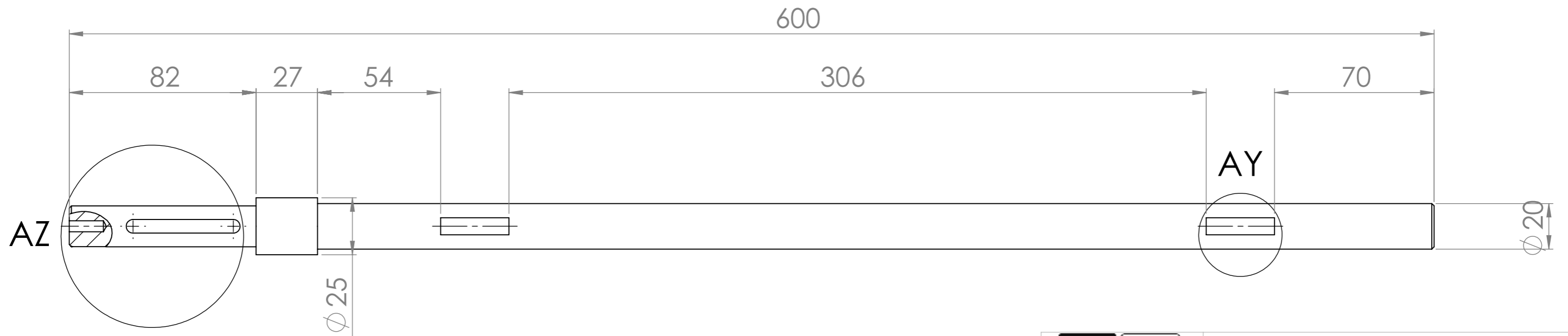
HOJA 21/29



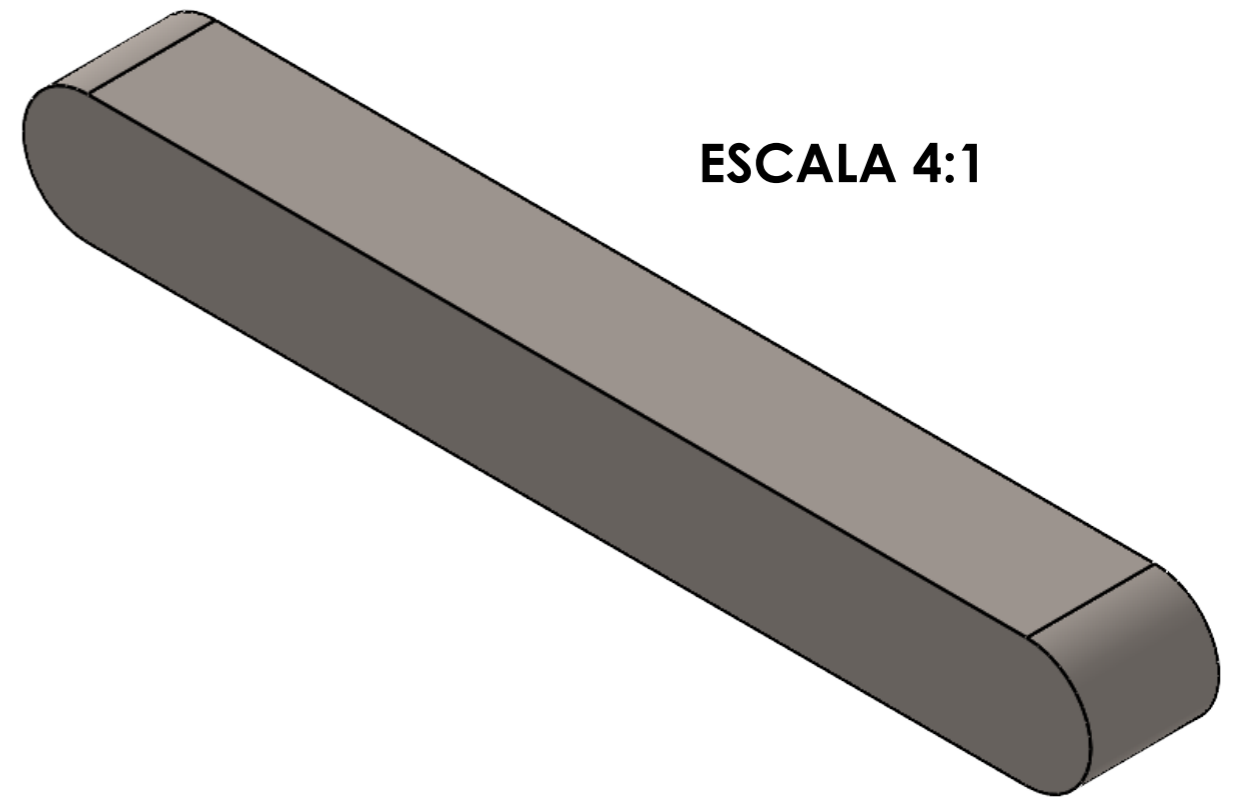
**DETALLE AZ
ESCALA 2 : 1**



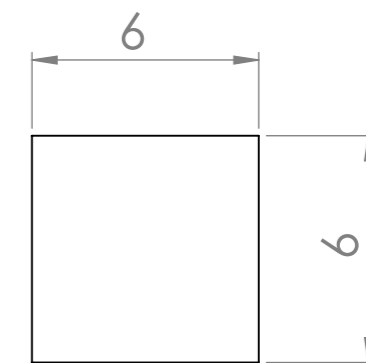
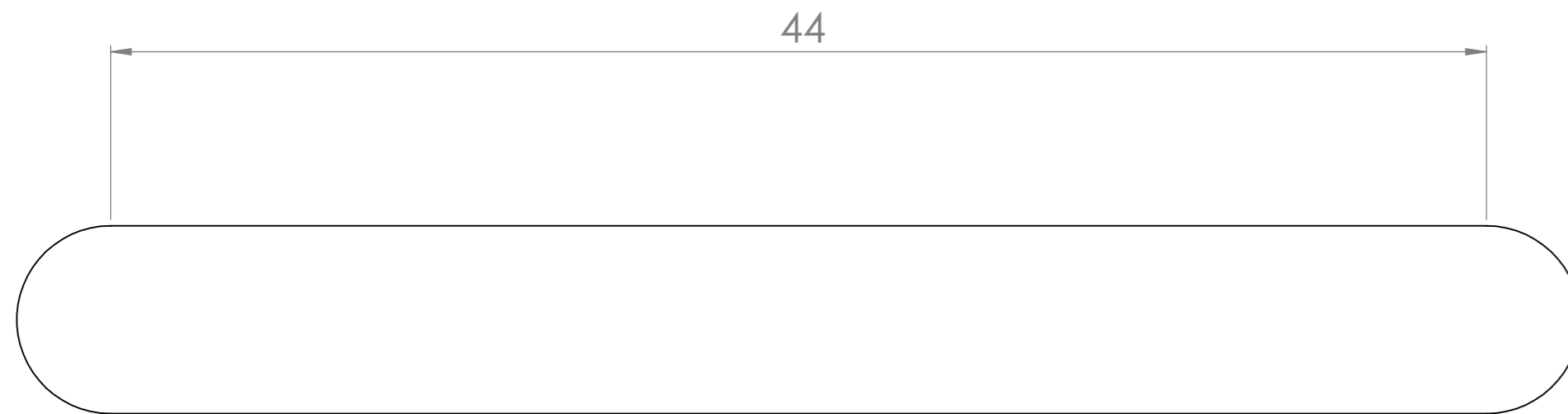
**DETALLE AY
ESCALA 2 : 1**



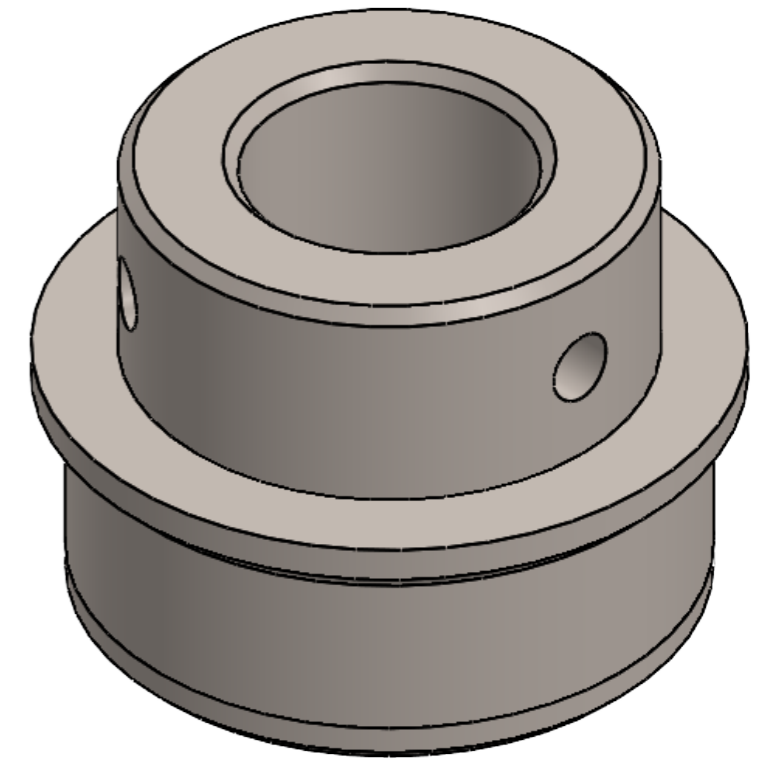
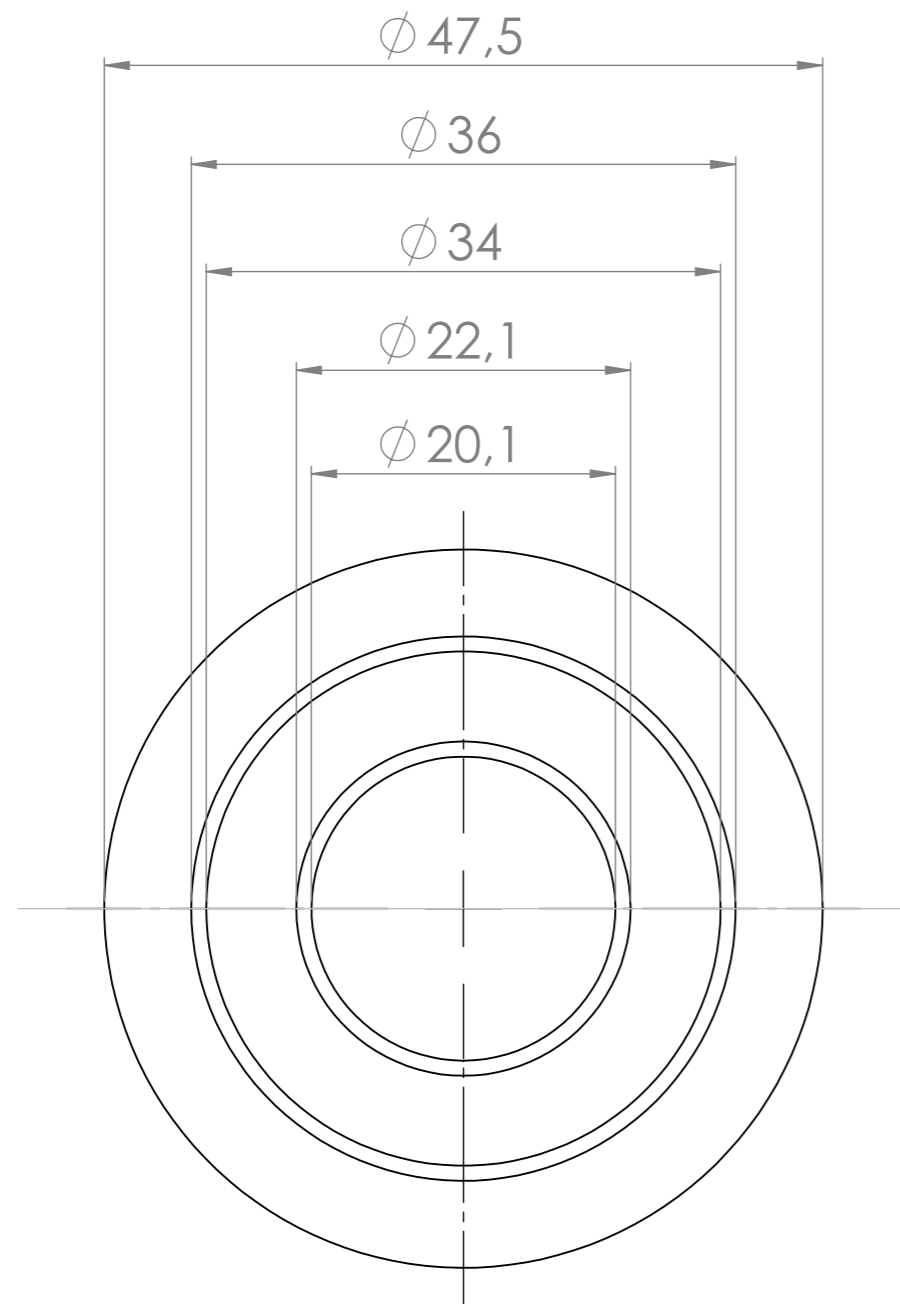
 		UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER	
FECHA: 08/01/24		TITULO: PROTOTIPO DE MÁQUINA DE PULTRUSIÓN	
ESCALA: 1:1.8		VISTA ISOMÉTRICA	
UNIDADES: mm		5.21 - EJE CONDUCTOR	
A3		AUTOR: JHAN CARLOS MORENO ORTIZ	
		REVISAR: COMITÉ UIS	
		HOJA 22/29	



ESCALA 4:1

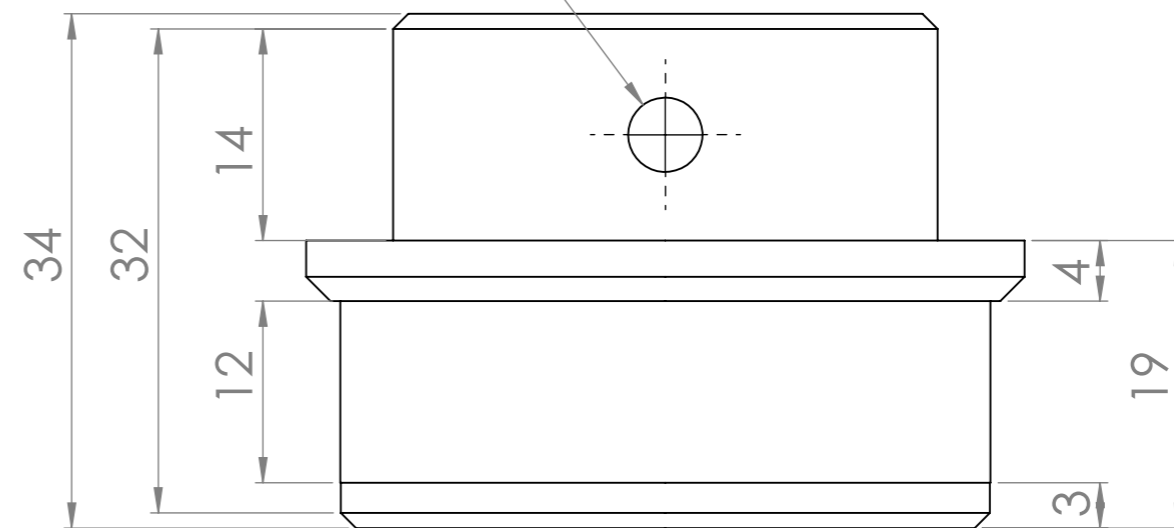


		UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER	
FECHA:08/01/24	ESCALA: 5:1	TITULO: PROTOTIPO DE MÁQUINA DE PULTRUSIÓN VISTA ISOMÉTRICA 5.22 - CUÑA DE EJE	
UNIDADES: mm	A3	AUTOR: JHAN CARLOS MORENO ORTIZ	REVISAR: COMITÉ UIS
			HOJA 23/29

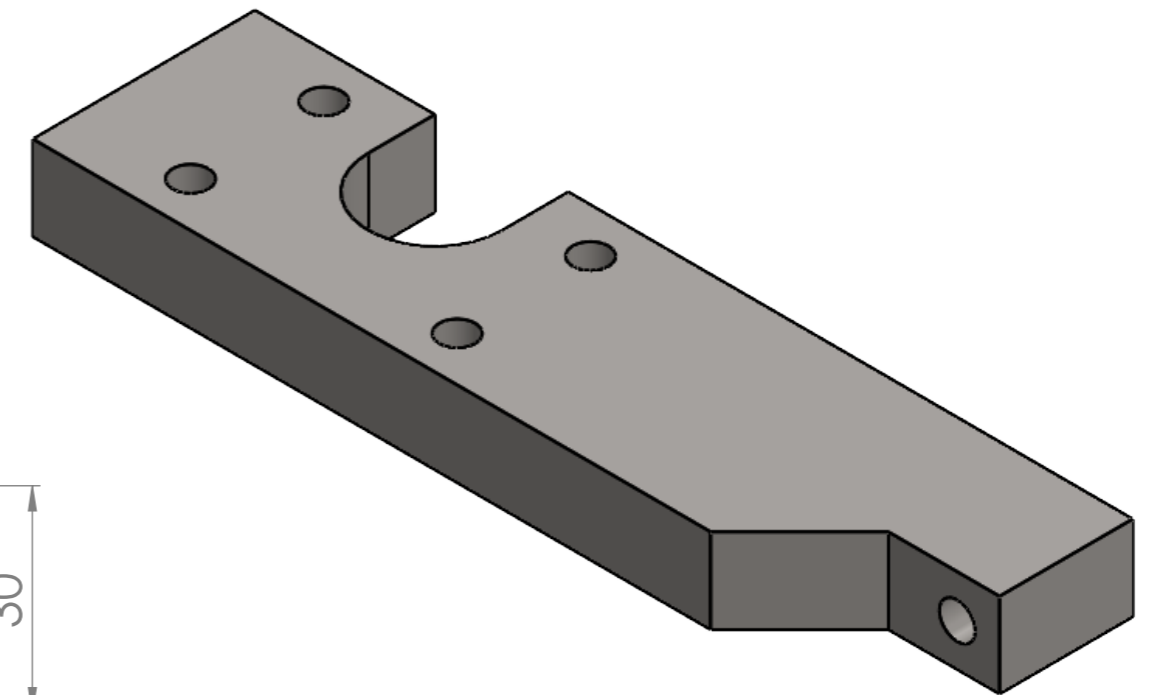
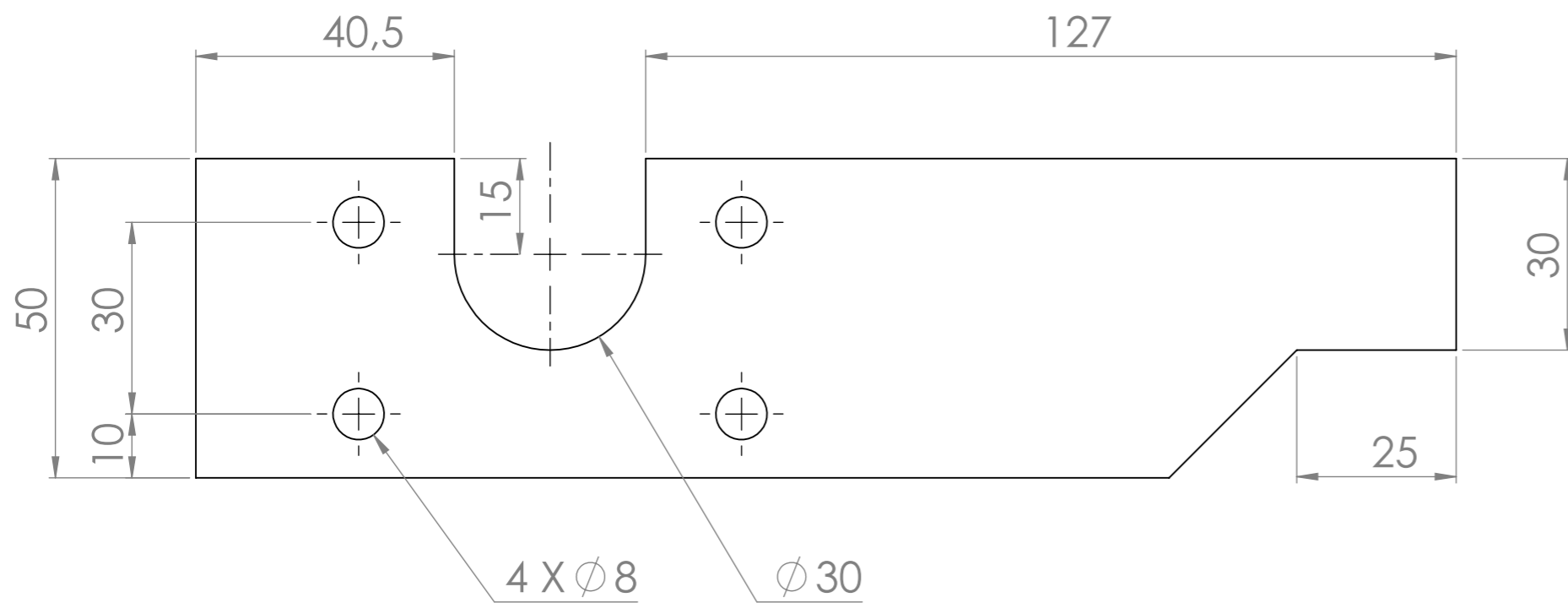


ESCALA 2:1

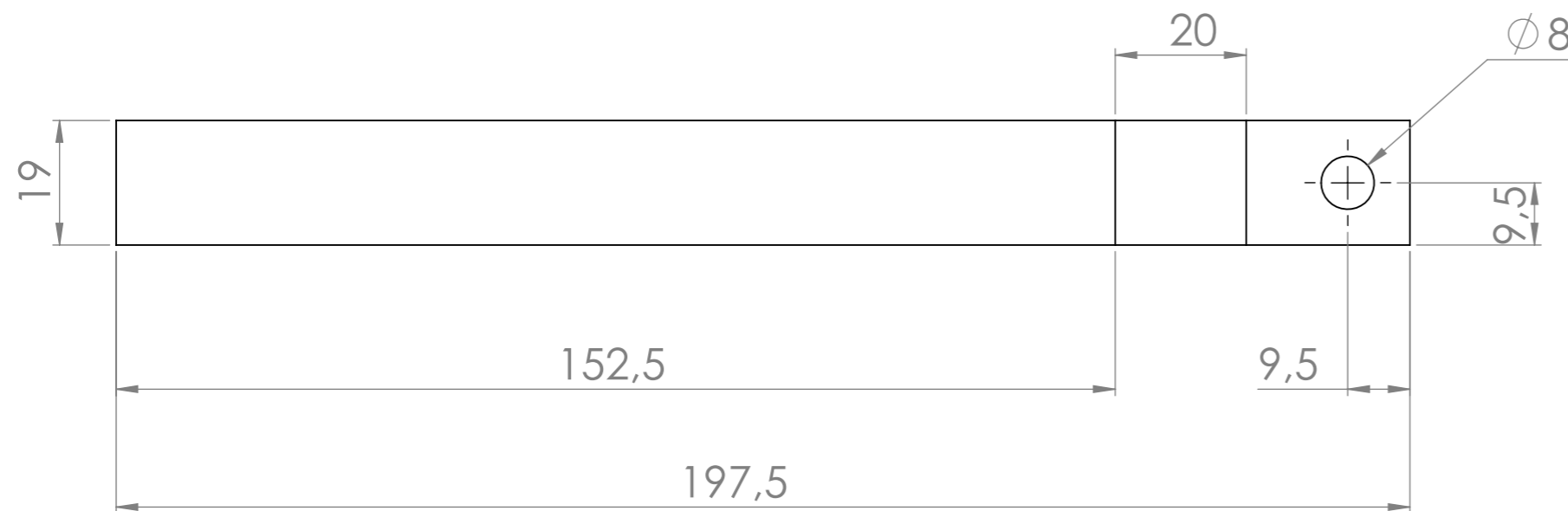
2x $\phi 4,92$
 $\nabla 7.95$
 SEPARADOS 90°



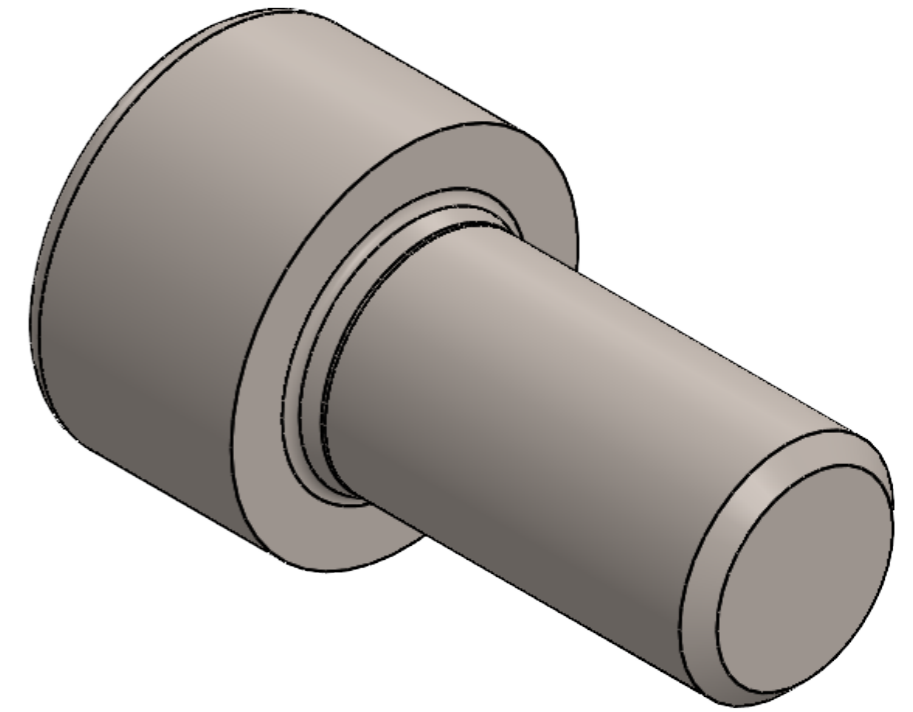
 		UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER	
FECHA: 08/01/24		TITULO: PROTOTIPO DE MÁQUINA DE PULTRUSIÓN	
ESCALA: 2:1		VISTA ISOMÉTRICA	
UNIDADES: mm		5.23 - TRACKBALL	
A3		AUTOR: JHAN CARLOS MORENO ORTIZ	
		REVISAR: COMITÉ UIS	
		HOJA 24/29	



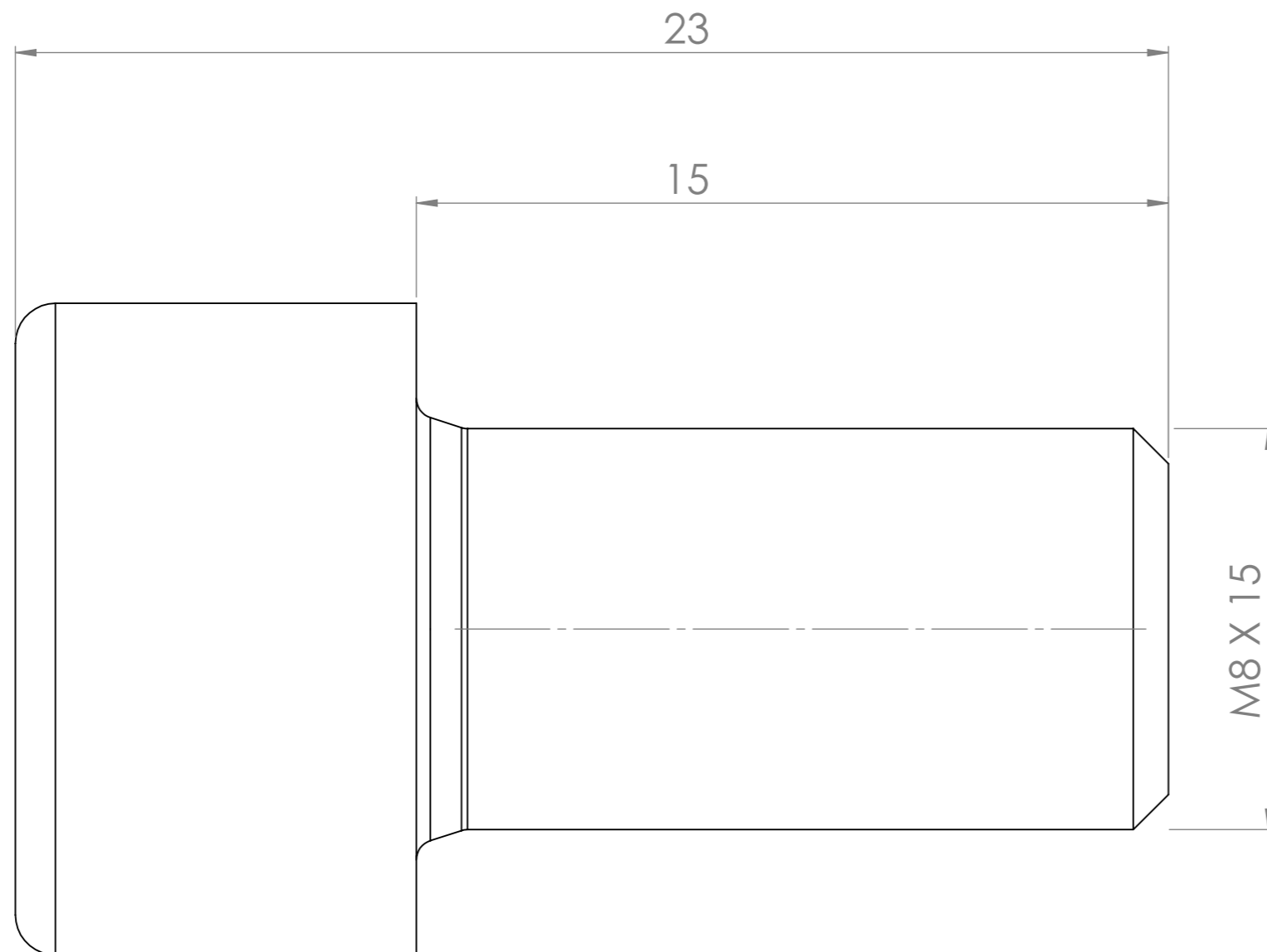
ESCALA 1:1.2



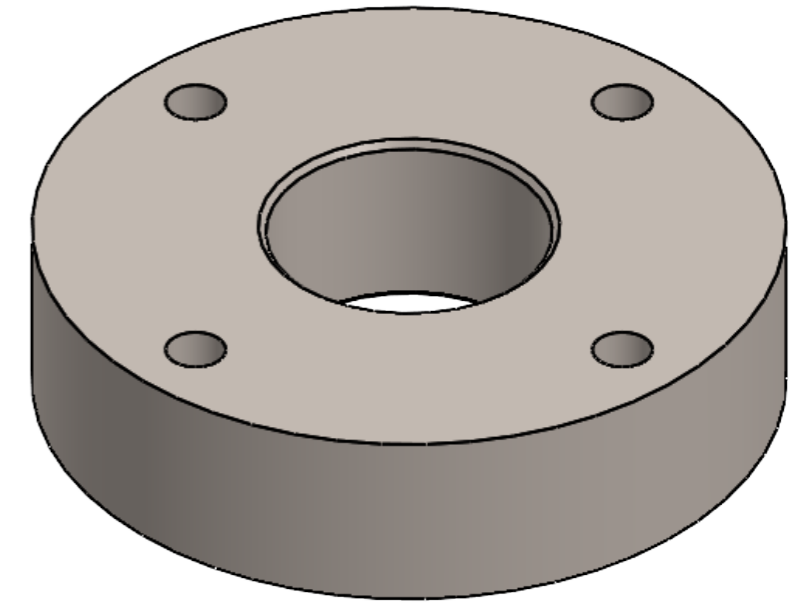
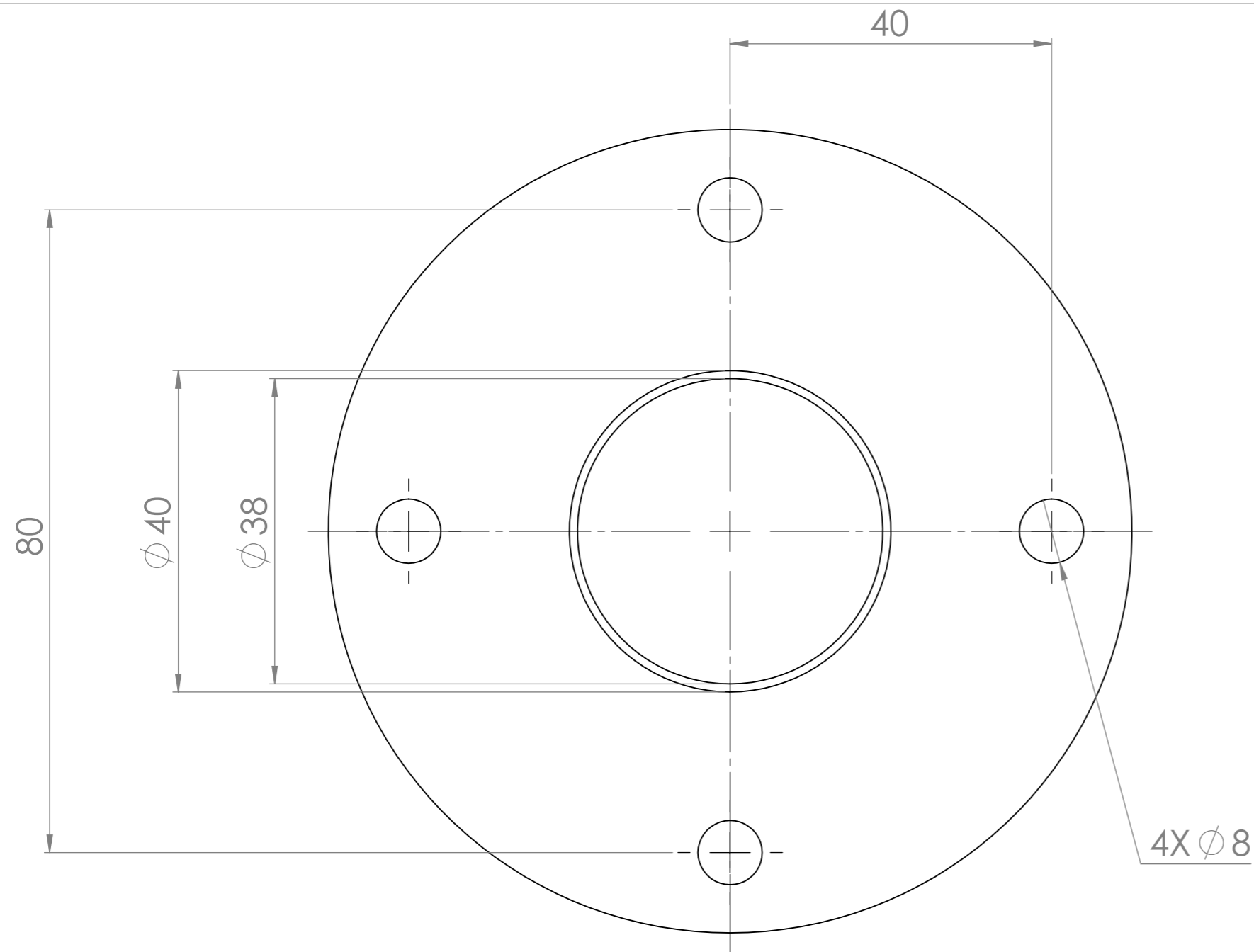
 		UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER	
FECHA: 08/01/24		TITULO: PROTOTIPO DE MÁQUINA DE PULTRUSIÓN	
ESCALA: 1:1		VISTA ISOMÉTRICA	
UNIDADES: mm		5.24 - SOPORTE LATERAL IZQUIERDO	
A3		AUTOR: JHAN CARLOS MORENO ORTIZ	
		REVISAR: COMITÉ UIS	
		HOJA 25/29	



ESCALA 1:1

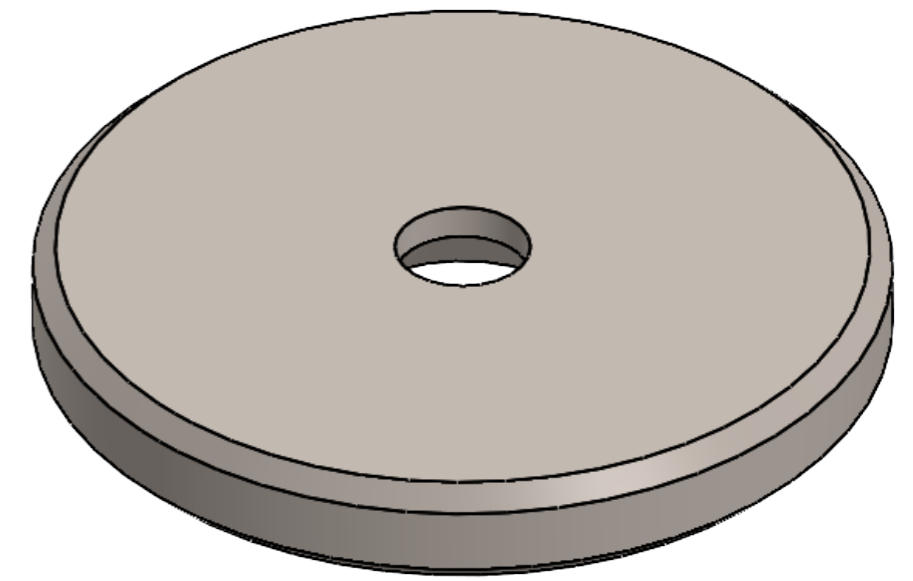
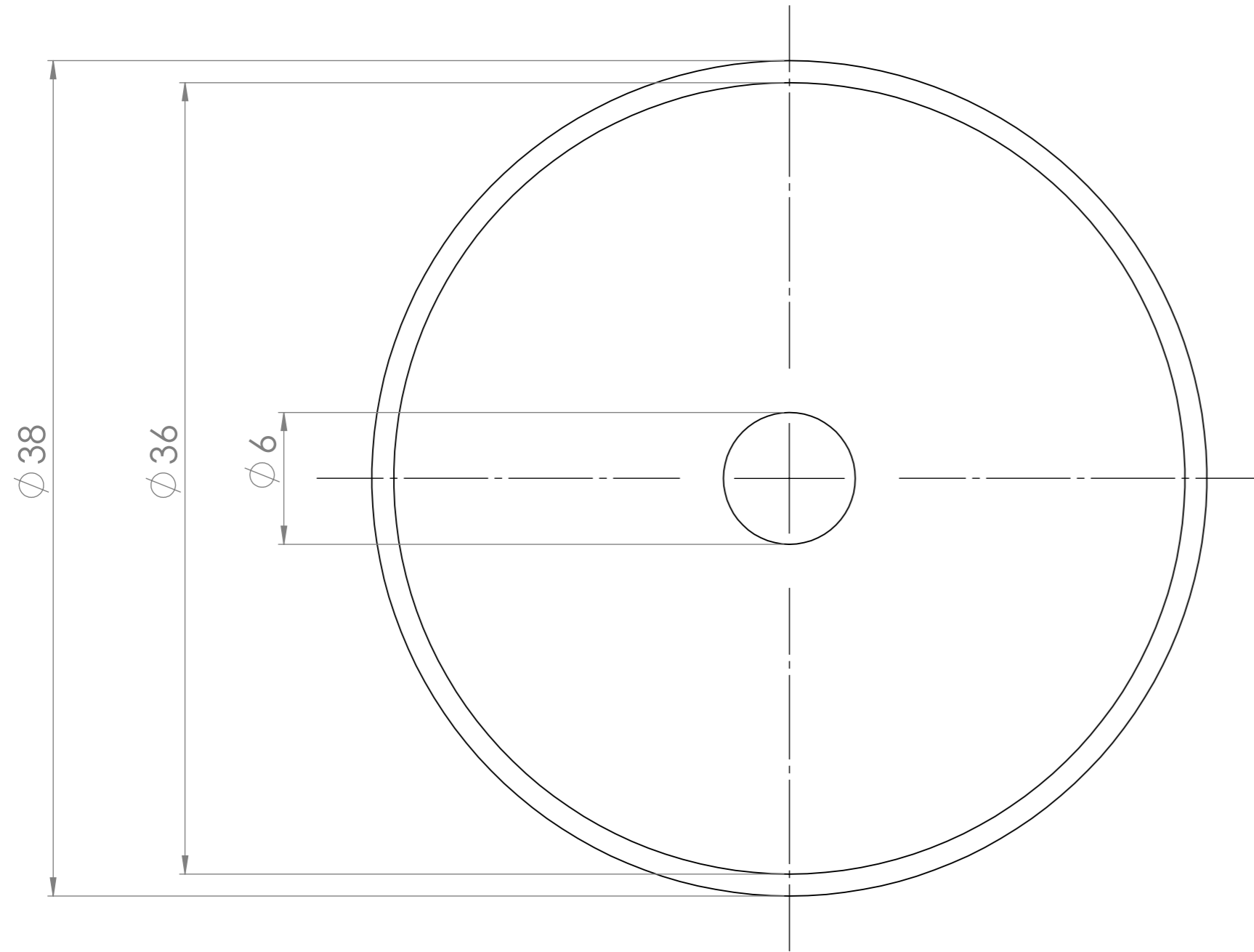


		UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER	
FECHA:08/01/24	ESCALA: 10:1	TITULO: PROTOTIPO DE MÁQUINA DE PULTRUSIÓN VISTA ISOMÉTRICA 5.25 - TORNILLO DE BRIDA	
UNIDADES: mm	A3	AUTOR: JHAN CARLOS MORENO ORTIZ	REVISAR: COMITÉ UIS
			HOJA 26/29

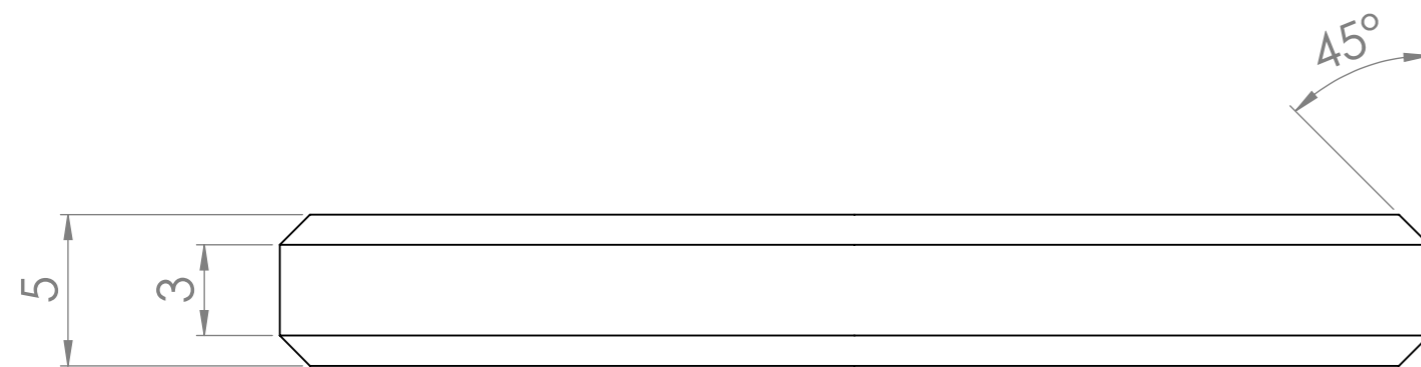


ESCALA 1:1

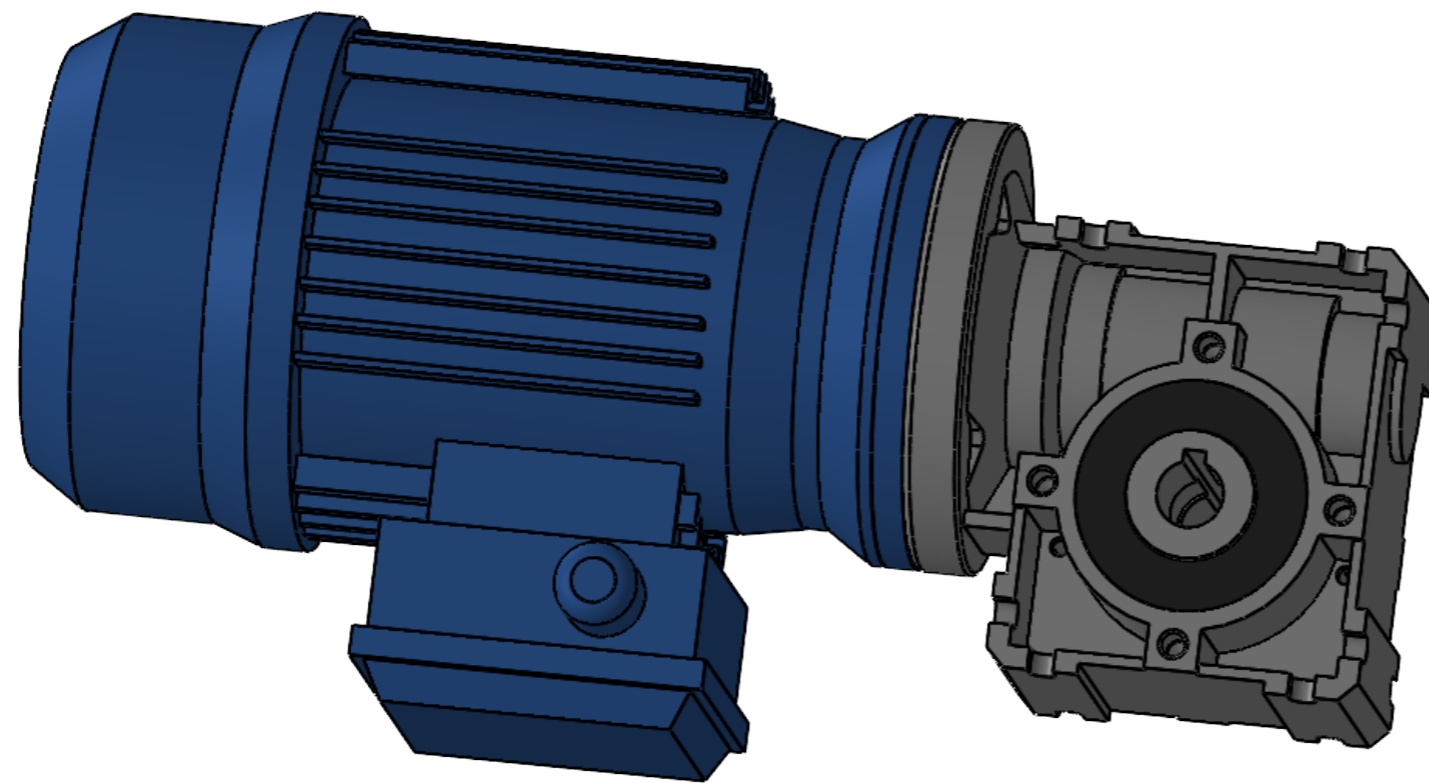
 		UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER	
FECHA: 08/01/24		TITULO: PROTOTIPO DE MÁQUINA DE PULTRUSIÓN	
ESCALA: 1.5:1		VISTA ISOMÉTRICA	
UNIDADES: mm		5.26 - BRIDA	
A3		AUTOR: JHAN CARLOS MORENO ORTIZ	
		REVISAR: COMITÉ UIS	
		HOJA 27/29	



ESCALA 3:1



 		UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER	
FECHA: 08/01/24		TITULO: PROTOTIPO DE MÁQUINA DE PULTRUSIÓN	
ESCALA: 4:1		VISTA ISOMÉTRICA	
UNIDADES: mm		5.27 - ARANDELA TOPE	
A3		AUTOR: JHAN CARLOS MORENO ORTIZ	
		REVISAR: COMITÉ UIS	
		HOJA 28/29	



CARACTERÍSTICAS DEL MOTORREDUCTOR

MARCA: BEMONOC
 MODELO: 5GN-5K
 TIPO DE MONTAJE: B5
 POTENCIA: 120W.
 VOLTAJE: 110V.
 VELOCIDAD DEL ROTOR: 7.5 RPM
 TORQUE NOMINAL: 563 LB.IN
 SERVICIO: CONTINUO
 CONSUMO: 0.72 KW/H
 DIMENSIONES: 10.9X10.9X3.55 IN
 [LARGOXANCHOXALTO]

 		UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER	
FECHA:08/01/24		TITULO: PROTOTIPO DE MÁQUINA DE PULTRUSIÓN	
ESCALA: 1:2		VISTA ISOMÉTRICA	
UNIDADES: mm		5.28 - MOTORREDUCTOR	
A3		AUTOR: JHAN CARLOS MORENO ORTIZ	
		REVISAR: COMITÉ UIS	HOJA 29/29