



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL  
ESTADO DE HIDALGO**

**INSTITUTO DE CIENCIAS BÁSICAS E INGENIERÍA**

**ÁREA ACADÉMICA DE INGENIERÍA Y  
ARQUITECTURA**

**DESARROLLO DE UNA PROPUESTA DE  
PROTOTIPO DE UN DISPOSITIVO DE SUJECIÓN  
PARA EL ROUTER CNC DEL LABORATORIO DE  
MANUFACTURA**

**TESIS**

**PARA OBTENER EL GRADO DE:**

**LICENCIATURA EN:**

**INGENIERÍA INDUSTRIAL**

**PRESENTA:**

**REBECA FONSECA CRUZ**

**DIRECTOR DE TESIS: DR. CÉSAR ALFONSO ARROYO  
BARRANCO**

**PACHUCA DE SOTO HIDALGO, NOVIEMBRE DE 2025**



Mineral de la Reforma, Hgo., a 3 de noviembre de 2025

Número de control: ICBI-D/1905/2025  
Asunto: Autorización de impresión.

**MTRA. OJUKY DEL ROCÍO ISLAS MALDONADO**  
**DIRECTORA DE ADMINISTRACIÓN ESCOLAR DE LA UAEH**

Con Título Quinto, Capítulo II, Capítulo V, Artículo 51 Fracción IX del Estatuto General de nuestra Institución, por este medio, le comunico que el Jurado asignado a la egresada de la Licenciatura en Ingeniería Industrial **Rebeca Fonseca Cruz**, quien presenta el trabajo de titulación **“Desarrollo de una Propuesta de Prototipo de un Dispositivo de Sujeción para el Router CNC del Laboratorio de manufactura”**, ha decidido, después de revisar fundamento en lo dispuesto en el Título Tercero, Capítulo I, Artículo 18 Fracción IV; dicho trabajo en la reunión de sinodales, **autorizar la impresión del mismo**, una vez realizadas las correcciones acordadas.

A continuación, firman de conformidad los integrantes del Jurado:

**Presidente:** Ing. Roberto Pichardo Cabrera

**Secretario:** Dr. Iván Alonso Lira Hernández

**Vocal:** Dr. César Alfonso Arroyo Barranco

**Suplente:** Dr. Edmundo Roldan Contreras

Sin otro particular por el momento, reciba un cordial saludo.

Atentamente  
“Amor, Orden y Progreso”

Mtro. Gabriel Vergara Rodríguez  
Director del ICBI



GVR/YCC

“Amor, Orden y Progreso”



uaeh.edu.mx

Ciudad del Conocimiento, Carretera Pachuca-Tulancingo Km. 4.5 Colonia Carboneras, Mineral de la Reforma, Hidalgo, México. C.P. 42184  
Teléfono: 771 71 720 00 Ext. 40001  
dirección\_icbi@uaeh.edu.mx, vergarar@uaeh.edu.mx

## DEDICATORIAS

Quiero dedicar este trabajo a las personas que formaron parte de mi vida y mi trayectoria, y que sin ellas estos logros no culminarían.

A mi madre Leticia Cruz López, gracias por tus consejos, tu apoyo, tus desvelos y alientos, por quedarte conmigo siempre en todo momento y nunca dudar de mí.

A mi padre Mario Fonseca Paredes, gracias por tus sacrificios, por el esfuerzo que hiciste y haces por sacarnos adelante, gracias porque nunca me dejaste sola, gracias por tu firmeza y tu perseverancia que me enseñaron a luchar por mis metas.

A mi hermano Mario Fonseca Cruz, gracias por ser mi cómplice, mi pañuelo de lágrimas, por nunca dejarme caminar a ciegas y por tu amor incondicional.

A mi familia, que siempre me escucharon, me aconsejaron y me guiaron en el camino correcto.

Con amor, cariño y eterno agradecimiento:

Rebeca Fonseca Cruz

## AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, agradezco, a la vida, al universo y a Dios por brindarme salud, sabiduría, fuerza, esperanza y guiar me en mi camino para el día de hoy culminar esta trayectoria.

A mis padres Leticia Cruz López y Mario Fonseca Paredes, que nunca dudaron de mí, me apoyaron con el amor más incondicional que una persona puede recibir, haciendo valer cada uno de sus sacrificios que fueron de mi conocimiento y también por esos que se guardaron para ellos. Sin su amor, sacrificio, consejos, apoyo y sin ellos, este logro no hubiera sido posible.

A mi hermano Mario Fonseca Cruz que fue, es y será el motor de mi vida, que todos sus consejos nunca fueron en vano, porque el día de hoy ve a su hermana crecer y convertirse en una profesionista, en la mujer independiente de la que tanto hablaba y que con orgullo sigue sus pasos y su ejemplo.

A Gustavo Pérez Cervantes que esta y estuvo conmigo desde febrero apoyándome y creyendo en mí, sin dudar de su amor y comprensión, por aconsejarme y hacer de mí una mejor persona, por enseñarme el significado del amor. Y sobre todo por estar a mi lado en este camino.

A mis abuelas que siempre me brindaron su amor, sus consejos y su apoyo, que siempre me abrieron su corazón y estuvieron conmigo en todo el trayecto.

A mi abuelo, que a pesar que siempre me miro desde el cielo, sé que siempre estuvo a mi lado, en cada paso que di, acompañándome y guiando mi camino para convertirme en su orgullo.

A mi asesor de Tesis, Dr. Cesar Alfonso Arroyo Barranco, por confiar en mí y nunca dejarme sola en este camino, que gracias a sus enseñanzas, consejos y guía hoy culmino esta etapa de mi vida.

Al Mtro. Roberto Pichardo Cabrera y la Mtra. Nohelia Ramírez Sánchez que, por las circunstancias, nos llevó a ser una gran amistad y familia, que sus consejos, sabiduría y apoyo hicieron que sea una gran mujer.

A mis amigos y compañeros de universidad Axel Gerones y Rodrigo Gómez, que gracias su compañía, consejos, aliento y su amistad fueron fundamentales durante mi estancia en la universidad y posterior a ella.

Y finalmente agradezco a la Ing. Yazmin Montiel Altamirano por apoyarme en este proceso, por escucharme, por brindarme su apoyo y nunca dejarme sola en mi trayectoria como profesionista.

# ÍNDICE

<b>ÍNDICE .....</b>	<b>V</b>
<b>GLOSARIO .....</b>	<b>IX</b>
<b>INDICE TABLAS, FIGURAS Y CUADROS.....</b>	<b>XII</b>
<b>RESUMEN .....</b>	<b>XIV</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>XV</b>
<b>1. Introducción .....</b>	<b>1</b>
1.1 Antecedentes: Contexto sobre el uso del Router CNC en la manufactura y la importancia de dispositivos de sujeción eficientes.....	1
1.2 Justificación: Importancia del proyecto y los beneficios esperados para el laboratorio de manufactura.....	4
1.3 Planteamiento del problema: Descripción de los desafíos actuales en la sujeción de piezas en el Router CNC.....	5
1.4 Objetivos .....	6
1.4.1 Objetivo general.....	6
1.4.2 Objetivos específicos .....	6
1.5 Alcances y limitaciones: Definición de los límites del proyecto.....	6
1.6 Conclusiones .....	7
<b>2. Marco Teórico .....</b>	<b>8</b>
2.1 Tecnología CNC y su evolución.....	8
2.1.1 ¿Qué es el Control Numérico Computarizado (CNC)? .....	8
2.1.2 Evolución del CNC .....	8
2.1.3 Impacto del CNC en la Industria .....	10
2.1.4 Relación del CNC en la Industria 4.0 .....	11
2.2 Principios de sujeción en manufactura: Tipos de sujeción, requisitos técnicos y mecánicos.....	11
2.2.1 Tipos de Sujeción en Manufactura .....	11
2.2.2 Requisitos Técnicos y Mecánicos para una Sujeción Eficaz.....	13
2.3 Diseño de dispositivos de sujeción: Materiales, principios de diseño, sistemas de fijación y seguridad.....	14
2.3.1 Materiales en el Diseño de Dispositivos de Sujeción .....	15
2.3.2 Principios de Diseño en Dispositivos de Sujeción.....	16
2.3.3 Sistemas de Fijación en Dispositivos de Sujeción .....	17

2.3.4 Seguridad en el Diseño de Dispositivos de Sujeción .....	18
2.4 Fundamentos de diseño CAD/CAM aplicados al desarrollo de dispositivos.....	19
2.4.1 Principios Fundamentales del Diseño CAD .....	19
2.4.2 Principios Fundamentales del Diseño CAM.....	21
2.4.3 Integración CAD/CAM en el Desarrollo de Dispositivos de Sujeción.....	22
2.5 Casos de estudio de dispositivos de sujeción para Routers CNC .....	23
2.6 Conclusiones .....	26
<b>3. Análisis de Requerimientos.....</b>	<b>27</b>
3.1 Identificación de necesidades: Funciones y condiciones específicas del laboratorio de manufactura.....	27
3.2 Definición de especificaciones técnicas: Parámetros de precisión, estabilidad, facilidad de uso, y adaptabilidad. ....	30
3.3 Evaluación de materiales y componentes: Selección basada en resistencia, durabilidad y costo.....	31
3.4 Conclusiones .....	41
<b>4. Metodología de Diseño .....</b>	<b>42</b>
4.1 Introducción.....	42
4.1.1 Introducción a la Metodología de Diseño .....	42
4.2 Tipos de Metodología de Diseño.....	43
4.2.1 Diseño según el Modelo en V.....	43
4.2.2 Diseño Basado en Axiomas (Axiomatic Design) .....	44
4.2.3 Diseño para Manufactura y Ensamble (DFMA) .....	45
4.2.4 Diseño Asistido por TRIZ .....	46
4.2.5 Diseño Centrado en el Usuario (UCD) .....	47
4.2.6 Diseño para Fiabilidad y Fatiga.....	48
4.3 Matriz comparativa.....	49
4.4 Elección de la metodología ideal para el diseño del dispositivo de sujeción.....	49
4.5 Metodología de Diseño DFMA para el Dispositivo de Sujeción .....	50
4.5.1 Fases del Diseño DFMA para el Dispositivo de Sujeción .....	50
4.6 Modelado de la propuesta de diseño: Construcción de prototipos funcionales para validación preliminar.....	54
4.7 CONCLUSIONES.....	58
<b>5. Propuesta de diseño del dispositivo.....</b>	<b>59</b>

<b>5.1 Planos de las piezas.....</b>	<b>59</b>
5.1.1 Riel (DETALLADO ANEXO #) .....	59
5.1.2 Base Clamp .....	60
5.1.3 Base.....	61
5.2 Despiece y lista de partes.....	62
5.3 Ensamblaje.....	63
5.4 Conclusiones .....	64
<b>Conclusiones y Recomendaciones.....</b>	<b>65</b>
Conclusiones .....	65
Recomendaciones para el laboratorio de manufactura: Uso y mantenimiento del dispositivo.....	66
<b>Referencias Bibliográficas.....</b>	<b>67</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>71</b>
ANEXOS A: Recomendación para sujeción de materiales con distintas formas.....	A
I. ABSTRACTO .....	A
II. CORAZON.....	B
III. ESTRELLA .....	C
IV. FLOR .....	D
V. LUNA .....	E
VI. OCTAGONO.....	F
VII. RECONOCIMIENTO.....	G
VIII. RECTANGULO .....	H
IX. ROMPECABEZAS.....	I
X. TRIANGULO .....	J
ANEXOS B: DETALLE DE PIEZAS.....	K
MATERIAL 52X52 .....	K
MATERIAL 10X10 .....	L
RIEL FRONTAL .....	M
RIEL INFERIOR.....	N
RIEL LATERAL .....	O
RIEL PARTE BAJA .....	P
BASE CLAMP FRONTAL.....	Q

BASE CLAMP INFERIOR .....	R
BASE CLAMP LATERAL .....	S
BASE CLAMP PARTE BAJA.....	T
BASE FRONTAL .....	U
BASE INFERIOR.....	V
BASE LATERAL .....	W
BASE PARTE BAJA.....	X
SUJECIÓN MESA ENSAMBLE .....	Y
SUJECIÓN BASE MESA PLANTA.....	Z
SUJECIÓN BASE MESA FRONTAL.....	AA
SUJECIÓN BASE MESA LATERAL.....	BB
SUJECIÓN BASE MESA ISOMETRICO .....	CC
SUJECIÓN MESA FRONTAL .....	DD
SUJECIÓN MESA LATERAL .....	EE
SUJECIÓN MESA INFEIOR.....	FF
SUJECIÓN MESA PARTE BAJA.....	GG

## **GLOSARIO**

### **Acrílico**

Polímero termoplástico transparente, ligero y resistente, usado como material en procesos de mecanizado.

### **Amortiguamiento**

Capacidad de un material o sistema para disipar energía vibratoria.

### **Análisis estructural**

Estudio de la resistencia, rigidez y estabilidad de un diseño sometido a cargas.

### **Automatización**

Uso de sistemas de control para operar equipos con mínima intervención humana.

### **CAD (Computer-Aided Design)**

Uso de software para crear, modificar y analizar diseños digitales.

### **CAM (Computer-Aided Manufacturing)**

Uso de software para controlar máquinas CNC en procesos de fabricación.

### **CNC (Control Numérico Computarizado)**

Sistema de control de máquinas herramienta mediante programación digital.

### **DFMA (Design for Manufacturing and Assembly)**

Metodología que optimiza el diseño para facilitar su fabricación y ensamble.

### **Dispositivo de sujeción**

Herramienta usada para mantener piezas firmes durante el mecanizado.

### **Elasticidad**

Propiedad de un material de recuperar su forma tras ser deformado.

**Esfuerzo**

Fuerza interna que actúa dentro de un material por unidad de área.

**Fatiga**

Fallo progresivo del material por cargas cíclicas o vibraciones.

**Fiabilidad**

Probabilidad de que un sistema funcione correctamente bajo condiciones específicas.

**Gestión de vibraciones**

Estrategias para reducir los efectos de oscilaciones durante el mecanizado.

**Humidificación ambiental**

Condición del entorno que influye en las propiedades de los materiales.

**Impresión 3D (FDM)**

Proceso de fabricación aditiva por deposición fundida de filamento plástico.

**MDF (Medium Density Fiberboard)**

Tablero de fibras de madera de densidad media, usado en mecanizado CNC.

**Metodología de diseño**

Conjunto de fases estructuradas para desarrollar soluciones ingenieriles.

**Mordaza**

Dispositivo mecánico que sujetas piezas mediante presión ajustable.

**PETG (Polietileno Tereftalato Glicolizado)**

Material plástico de alta resistencia y durabilidad, usado en impresión 3D.

**Placa de sujeción**

Superficie sobre la cual se fijan piezas de trabajo en un CNC.

**Precisión**

Grado de concordancia entre un valor medido y el valor real.

**Principio de diseño**

Regla o lineamiento que guía la creación de soluciones técnicas.

**Resistencia mecánica**

Capacidad de un material para soportar cargas sin deformarse o romperse.

**Rigidez**

Propiedad de un cuerpo de oponerse a la deformación bajo carga.

**Router CNC**

Máquina herramienta controlada por computadora usada para cortar madera, plásticos y acrílicos.

**Seguridad en el diseño**

Conjunto de medidas para prevenir riesgos en sistemas mecánicos.

**Simulación computacional**

Uso de software para predecir el comportamiento de un diseño bajo condiciones reales.

**Sistema de fijación**

Conjunto de elementos que aseguran la pieza durante el mecanizado.

**Vibración**

Movimiento oscilatorio de un sistema que puede afectar precisión y durabilidad.

# INDICE TABLAS, FIGURAS Y CUADROS

## TABLAS

1. Dispositivos de sujeción	2
2. Dispositivos de sujeción	3
3. Herramentales necesarios para el uso del Router CNC	27
4. Comparativa de clamps	31
5. Cálculos para determinar masa y peso de los materiales	32
6. Factores de Amortiguamiento para Diferentes Materiales	34
7. Diseño según el Modelo en V	43
8. Diseño Basado en Axiomas (Axiomatic Design)	44
9. Diseño para Manufactura y Ensamble (DFMA)	45
10. Diseño Asistido por TRIZ	46
11. Diseño Centrado en el Usuario (UCD)	47
12. Diseño para Fiabilidad y Fatiga	48
13. Matriz comparativa de las metodologías de diseño	49

## FIGURAS

1. Ejemplos de dispositivos de sujeción. Antecedente 1	23
2. Ejemplos de dispositivos de sujeción. Antecedente 2	24
3. Ejemplos de dispositivos de sujeción. Antecedente 3	25
4. Router CNC del laboratorio de Manufactura	27
5. Ejemplo de diseño realizado en SolidWorks	28
6. Ejemplo de diseño realizado en Mastercam	28
7. Ejemplo de código realizado en Mastercam	29
8. Antecedente de sujeción en el Router CNC	29
9. Ejemplar de deformación	30
10. Ejemplar de cortes en el Router CNC con rebabas	30
11. Ejemplar del primer diseño en Solid Works	51
12. Ejemplar del primer Clamp para sujeción	51
13. Ejemplar del segundo diseño en Solid Works	51
14. Ejemplar del primer Clamp para sujeción	51
15. Ejemplar del tercer diseño en Solid Works	52
16. Ejemplar del primer Clamp para sujeción	52
17. Ejemplar del cuarto diseño en Solid Works	53
18. Ejemplar del segundo Clamp para sujeción	53

19. Modelado de la propuesta de diseño	54
20. Modelado del tamaño mínimo que permite sujetar el dispositivo	55
21. Modelado del tamaño máximo que permite sujetar el dispositivo	56
22. Modelado de la sujeción a la mesa de trabajo del Router	57
23. Plano de la pieza riel	59
24. Plano de la pieza base para Clamp	60
25. Plano de la pieza base	61
26. Despiece y lista de partes	62
27. Ensamblaje	63

## CUADROS

1. Dialogo I con Inteligencia Artificial Chat GPT	35
2. Dialogo II con Inteligencia Artificial Chat GPT	35
3. Dialogo III con Inteligencia Artificial Chat GPT	36
4. Dialogo IV con Inteligencia Artificial Chat GPT	36
5. Dialogo V con Inteligencia Artificial Chat GPT	37
6. Dialogo VI con Inteligencia Artificial Chat GPT	37
7. Dialogo VII con Inteligencia Artificial Chat GPT	37
8. Dialogo VIII con Inteligencia Artificial Chat GPT	38
9. Dialogo IX con Inteligencia Artificial Chat GPT	38
10. Dialogo X con Inteligencia Artificial Chat GPT	39
11. Dialogo XI con Inteligencia Artificial Chat GPT	39
12. Dialogo XII con Inteligencia Artificial Chat GPT	40
13. Dialogo XIII con Inteligencia Artificial Chat GPT	40
14. Dialogo XIV con Inteligencia Artificial Chat GPT	41

## RESUMEN

En el presente documento se presenta una solución a la problemática de sujeción de materiales en el Router CNC del laboratorio de manufactura. Diseñando, desarrollando e implementando un dispositivo de sujeción para alcanzar los objetivos y tener éxito en su implementación. Mostrando las diferentes formas de evaluar lo ya existente en el mercado dando pauta para evaluar las ventajas, desventajas, diferencias, intereses y valores de mercado para la toma de decisiones sobre el diseño del dispositivo.

En el primer capítulo se plantea la problemática, se establece el objetivo general y los objetivos específicos del presente documento, así como su justificación, alcances y sus limitantes. De igual forma se presenta el marco teórico enunciando el objetivo principal y la metodología empleada.

El segundo capítulo describe datos históricos de los dispositivos de sujeción genéricos existentes en el mercado, haciendo énfasis en todos aquellos que se pueden usar en las maquinas fresadoras, de control numérico y Router. Haciendo un énfasis en los dispositivos adaptados para los Router CNC ya existentes en mercado, su mayoría presentados como proyectos.

En el tercer capítulo se presentan las propuestas de diseño y sus diferentes evaluaciones, tomando la decisión final del dispositivo junto con su justificación. En el cuarto capítulo se muestran los resultados y finalmente en el quinto capítulo se muestra las conclusiones se responde el objetivo general y específicos de la tesis.

## ABSTRACT

In this document, a solution is presented to address the problem of material clamping in the CNC Router of the manufacturing laboratory. The project involves designing, developing, and implementing a clamping device in order to achieve the proposed objectives and ensure the success of its application. Different methods for evaluating existing solutions in the market are examined, providing a basis to assess advantages, disadvantages, differences, interests, and market values for decision-making regarding the device design.

The first chapter introduces the problem, establishes the general objective and specific objectives of this document, as well as its justification, scope, and limitations. Likewise, the theoretical framework is presented, outlining the main objective and the methodology employed.

The second chapter describes historical data on generic clamping devices available in the market, with emphasis on those used in milling machines, numerical control machines, and Routers. Special attention is given to clamping devices adapted for CNC Routers already available in the market, most of which are presented as project-based solutions.

The third chapter presents the design proposals and their different evaluations, leading to the final decision regarding the selected device along with its justification. The fourth chapter presents the results, and finally, the fifth chapter provides the conclusions, addressing the general and specific objectives of the thesis.

# CAPÍTULO 1

## 1. Introducción

### 1.1 Antecedentes: Contexto sobre el uso del Router CNC en la manufactura y la importancia de dispositivos de sujeción eficientes.

Durante el paso de los años y gracias a los avances tecnológicos se han presentado avances considerables, mediante la modernización y mejoramiento de los procesos se permite que hoy se siga mejorando las partes y complementos de las máquinas para hacer que los procesos se desenvuelven de una manera rápida y sencilla. A pesar de que los dispositivos de sujeción han tenido avances importantes, los principios de sujeción y posicionamiento son los mismos.

Desde las civilizaciones antiguas hasta la modernidad, se cuentan con dispositivos manuales hasta sujetadores que desarrollan su función con ayuda de energía, detonando la innovación con la fuerza automotriz.

En el mercado existen una gran cantidad de dispositivos que nos permiten trabajar de diferentes maneras según las necesidades que se presenten durante la fabricación. Lo ideal es buscar y seleccionar el dispositivo que permita que la fabricación sea eficiente, manejo del mínimo esfuerzo y principalmente garantizando la seguridad, calidad y funcionalidad del producto.

La gran variedad de dispositivos y su razón de diseño, nos permiten utilizarlos de tal forma que sostengan y sujeten diferentes piezas, así como la utilización de una mayor fuerza sobre la pieza. Se cuentan con características básicas en los dispositivos de sujeción:

- Sujeción de piezas que no se pueden sujetar con la mano.
- Aumento de eficiencia
- Reducción de esfuerzos
- Garantizar la seguridad
- Adaptables a una gran cantidad de superficies

La fabricación de estos dispositivos con una gran variabilidad de materiales permite que se tenga resistencias y duraciones de alto grado. Según el tipo de dispositivo podemos inmovilizar objetos con características diferentes desde tuercas, alambres o grapas, así como prensas, mordazas, clamps, etc. Estos dispositivos se pueden clasificar en 2 tipos:

- Herramientas de sujeción permanente: sujeción como tornillos y tuercas.

- Herramientas de sujeción a medida: ajustables a medida de función de los materiales que se trabajan

Dentro de la clasificación de dispositivos de sujeción se encuentran:

DISPOSITIVOS DE SUJECION		
NOMBRE	DESCRIPCION	IMAGEN
Puntuales	Utilizadas para sujetar paredes, techos, o estructuras de construcción.	
Vigas	Estructuras horizontales colocadas entre la carga de 2 apoyos sin empuje lateral.	
Prensa tipo C de fundición	Cuenta con un cuerpo de fundición nodular, con husillos de acero utilizados para sujetar cantos.	
Prensas de fleje	Evitan el descuadre y alabeo, así como reparten la presión uniformemente.	
Aplacacantos	Utilizada para cantos en diferentes superficies.	
Prensa tipo C	Tiene forma de G cuerpo de fundición nodular y un husillo de acero con rosca encintada.	
Pinzas	Gran variedad, cuentan con mangos que se utilizan para hacer presión y agarre.	
Sargento / Prensas Ajustables	Alta eficiencia en trabajos delicados.	

Tabla 1: Jucarsa. (s. f.). *Tipos de herramientas de sujeción*. Recuperado el 15 de julio de 2025, de <https://jucarsa.es/consejos/tipos-de-herramientas-de-sujecion/>

DISPOSITIVOS DE SUJECION		
NOMBRE	DESCRIPCION	IMAGEN
Prensa forja	Uso profesional de metales, se destaca en alta seguridad de uso.	
Prensa de cinta	Cuenta con palancas de ajuste rápido que bloquea y libera la tensión de la correa.	
Mordazas de ángulo	Sirve para amordazar piezas con 90 grados.	
Tornillos de banco	Fija en la mesa.	
Ventosas	Agarre a través del efecto vacío.	
Llaves grip	Por medio de fricción que presiona de manera continua.	
Grapas rápidas	Fijación mediante grapas rápidas verticales y horizontales.	

Tabla 2: Jucarsa. (s. f.). *Tipos de herramientas de sujeción*. Recuperado el 15 de julio de 2025, de <https://jucarsa.es/consejos/tipos-de-herramientas-de-sujecion/>

El Router CNC (Control Numérico por Computadora) es una máquina herramienta utilizada para realizar cortes, grabados y mecanizados de alta precisión sobre diferentes materiales como madera, MDF, acrílico, plásticos y metales blandos.

Su funcionamiento se basa en la automatización de movimientos mediante un sistema computarizado que interpreta un diseño digital y lo traduce en desplazamientos controlados de las herramientas de corte.

Las partes principales del Router CNC son:

- Estructura o bastidor: Es la base de la máquina, fabricada generalmente en acero o aluminio, que proporciona rigidez y estabilidad durante el proceso de corte.
- Mesa de trabajo: Superficie donde se colocan las piezas a mecanizar. Puede contar con ranuras, perforaciones o sistemas de vacío para fijar el material.
- Ejes de movimiento (X, Y, Z): Permiten el desplazamiento del cabezal de corte en las tres direcciones espaciales, controlando la posición exacta de la herramienta.
- Husillos y guías lineales: Transforman el movimiento rotatorio de los motores en desplazamiento lineal, asegurando precisión y suavidad en los movimientos.
- Cabezal o spindle: Es el componente que sostiene y hace girar la herramienta de corte (fresas, brocas, etc.) a altas velocidades.
- Motor y controladores: Conjunto de motores paso a paso o servomotores que ejecutan los movimientos programados; los controladores regulan la velocidad, aceleración y dirección.
- Sistema de control CNC: Interfaz electrónica y de software que interpreta el código G y dirige el funcionamiento de todos los componentes mecánicos y eléctricos.
- Sistema de sujeción: Elemento fundamental para asegurar que la pieza se mantenga fija durante el mecanizado, evitando desplazamientos que afecten la precisión.

Gracias a la integración de estos componentes, el Router CNC permite realizar trabajos de alta calidad y repetibilidad, lo que lo convierte en una herramienta esencial para procesos industriales, de prototipado y manufactura digital.

## **1.2 Justificación: Importancia del proyecto y los beneficios esperados para el laboratorio de manufactura.**

La siguiente tesis está apuntada al desarrollo de un dispositivo de sujeción para el Router CNC que a los alumnos les permita realizar sus prácticas y estas sean más rápidas y fáciles de ejecutar, permitiéndoles que cuenten con el tiempo suficiente para realizar sus maquinados y se beneficien tanto en su manejo de tiempos como la disminución de material desperdiciado debido a errores de sujeción. La presente indagación parte de experiencias propias en cuanto a errores y desperdicio de material por falta de una buena sujeción en los materiales y contemplando la importancia del uso del Router CNC que recae en el constante diseño, innovación y creación de artefactos, materiales y herramientas para la industria y la vida diaria.

### **1.3 Planteamiento del problema: Descripción de los desafíos actuales en la sujeción de piezas en el Router CNC.**

En el Laboratorio de Manufactura del Instituto de Ciencias Básicas e Ingeniería, se realizan las actividades de práctica para los alumnos de Ingeniería Industrial; una de las asignaturas que se imparten dentro de este laboratorio es la materia de CAD-CAM la cual se desarrolla en 2 grupos de aproximadamente 30 estudiantes en la que uno de los procesos de maquinado que se practican es el fresado en superficies planas utilizando el Router CNC, donde los alumnos individualmente maquinan sus piezas.

Derivado de lo anterior, se han observado diversos errores que se presentan tanto en el proceso de maquinado como en los productos resultantes del mismo los cuales se asocian a diversos factores que se mencionan a continuación:

1. Los usuarios realizan sus maquinados con materiales de distintas características, las cuales pueden ser de tamaño (Largo, ancho y alto), densidad, flexibilidad, y termo sensibilidad, entre otras, lo que implica una mayor inversión de tiempo en el cambio de materiales y el ajuste de sujeción en la propia máquina. Lo anterior, da lugar a que las 3 horas de clase no sean suficientes para que los alumnos puedan realizar sus maquinados adecuadamente.
2. Aunado a lo anterior, el equipo no cuenta con un dispositivo de sujeción adecuado a las características mencionadas por lo que se hace necesario colocar componentes pesados para evitar cualquier desplazamiento de los materiales haciendo más difícil obtener un Cero pieza correcto, además, del uso de elementos de sujeción (clamps) que no son suficientes para evitar variaciones en el plano de sujeción.

Finalmente, y con base en los argumentos expuestos, se debe de contar con un dispositivo de sujeción que sea de rápido ajuste, cambio y adaptación a las características de cada material y reducir la posibilidad de defectos en los productos maquinados.

## 1.4 Objetivos

### 1.4.1 Objetivo general

Diseñar, desarrollar e implementar un dispositivo de sujeción para la adecuada adaptabilidad y sujeción de materias primas en el Router CNC del laboratorio de manufactura de la UAEH para disminuir los tiempos de operación y el desperdicio de materiales.

### 1.4.2 Objetivos específicos

- Construir el estado de la técnica sobre los diferentes tipos de dispositivos de sujeción existentes en el mercado para el tipo de máquina objeto de estudio.
- Analizar las ventajas y desventajas de los dispositivos de sujeción existentes utilizados en centros de maquinado y Router CNC
- Proponer una estandarización de dimensiones de los materiales a utilizar en el equipo objeto de estudio.
- Diseñar y desarrollar mediante el uso del programa de SolidWorks una propuesta de dispositivo de sujeción para el equipo objeto de estudio.

## 1.5 Alcances y limitaciones: Definición de los límites del proyecto.

### Alcances:

- El proyecto se centra en el diseño de un dispositivo de sujeción específico para un Router CNC de laboratorio de manufactura.
- Se consideran materiales como MDF, acrílico y madera con espesores de 5mm a 15mm y superficies máximas de 50cm por 50cm.
- Se contempla la evaluación de desempeño del dispositivo bajo condiciones de operación habituales: vibraciones de corte, presencia de polvo, humedad moderada y temperaturas de 3 a 25 grados C.
- El estudio incluye un análisis de las alternativas de sujeción existentes en el mercado y su comparación con la solución propuesta.

### Limitaciones:

- El proyecto no aborda la automatización o integración de sistemas de sujeción avanzados (como vacío o hidráulicos) limitándose a un mecanismo mecánico.

## 1.6 Conclusiones

En el primer capítulo se logró contextualizar la importancia del proyecto al analizar la situación actual del laboratorio de manufactura y las deficiencias en el sistema de sujeción del Router CNC.

Se identificaron las principales problemáticas que afectan el desempeño de las prácticas de los estudiantes, tales como la falta de adaptabilidad de los dispositivos de sujeción, la inclinación de los clamps al sujetar materiales de diferentes espesores, la variación de presión aplicada por distintos usuarios y la generación de defectos en las piezas por cero piezas mal definidas.

Asimismo, se estableció el objetivo general y los objetivos específicos, los cuales sirvieron como guía para estructurar el desarrollo del proyecto y plantear una solución viable, económica y segura que mejorara el aprovechamiento de los tiempos de clase y redujera el desperdicio de material.

# CAPÍTULO 2

## 2. Marco Teórico

### 2.1 Tecnología CNC y su evolución

La Tecnología de Control Numérico Computarizado (CNC) ha sido una de las innovaciones más importantes en la industria manufacturera moderna, transformando cómo se producen piezas y componentes en diversos sectores.

#### 2.1.1 ¿Qué es el Control Numérico Computarizado (CNC)?

El CNC es un sistema de automatización de máquinas herramientas mediante el uso de una computadora. En lugar de controlar las máquinas manualmente, se introduce un conjunto de instrucciones (programación) que le indica a la máquina cómo realizar las operaciones de corte, fresado, torneado, taladrado, etc. Estas instrucciones se introducen en forma de códigos (normalmente G-code o M-code), que indican movimientos precisos de las herramientas en plano X, Y, Z.

#### 2.1.2 Evolución del CNC

##### 1. Control Manual

Las máquinas/herramientas se controlaban de manera manual. Los operadores ajustaban la máquina de forma directa, requerían habilidades técnicas especializadas, limitando la precisión y la repetibilidad de las operaciones. Siendo un proceso más lento y menos flexible para adaptarse a diferentes trabajos.



Ilustración 1 Generada por IA

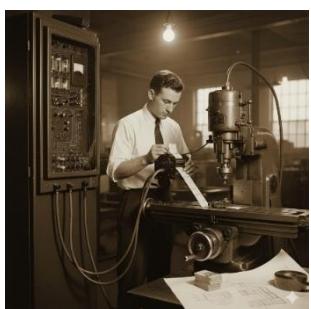


Ilustración 2 Generada con IA

##### 2. Los Primeros Sistemas de Control Numérico

En la década de 1940 se desarrollaron los primeros sistemas de Control Numérico (NC) en los Estados Unidos. Estos sistemas utilizaban tarjetas perforadas o cintas magnéticas para almacenar los programas de control y enviarlos a la máquina.

### 3. Transición al CNC: La Computadora en la Industria

En los años 60, los avances en la informática y las computadoras hicieron que fuera posible automatizar el control de las máquinas herramientas de una forma mucho más eficiente. Así nacieron los sistemas de Control Numérico Computarizado (CNC), donde una computadora procesaba los programas de control en tiempo real y enviaba instrucciones directas a las máquinas.



Ilustración 3 Generada con IA

Estos sistemas no solo permitieron una mayor precisión, sino que también facilitaron la programación de las máquinas, gracias a la posibilidad de escribir, modificar y almacenar códigos de forma digital.

### 4. Avances en la Tecnología CNC:

A lo largo de las décadas, la tecnología CNC ha seguido evolucionando:

- **Interfaz de Usuario Mejorada:** Inicialmente, la programación era un proceso complicado, pero con la mejora de las interfaces gráficas y el desarrollo de software de programación asistida por computadora (CAD/CAM), la programación se volvió más accesible y flexible.
- **Controladores de Movimiento Más Precisos:** Se desarrollaron controladores más rápidos y precisos, lo que permitió una mayor exactitud en la fabricación de piezas complejas.
- **Sistemas Multitarea y Multieje:** Las máquinas CNC actuales no solo tienen capacidades de movimiento en los tres ejes tradicionales (X, Y y Z), sino que también incluyen controladores de múltiples ejes (hasta 5 o más) para realizar operaciones más complejas, como el fresado y torneado simultáneos.



Ilustración 4 Generada con IA

##### 5. Innovaciones Recientes:

- Tecnología de Internet of Things (IoT): Hoy en día, las máquinas CNC están interconectadas mediante redes, lo que permite el monitoreo remoto, la recopilación de datos y la integración con sistemas de gestión de la producción.
- Inteligencia Artificial y Aprendizaje Automático: La incorporación de IA en las máquinas CNC puede optimizar la programación, anticipar fallos y mejorar la eficiencia del proceso de manufactura.
- Impresión 3D y CNC: Los avances en la fabricación aditiva y la posibilidad de integrar procesos de impresión 3D con sistemas CNC están llevando a la industria a nuevas fronteras, permitiendo la creación de piezas complejas con alta precisión.



Ilustración 5 Generada con IA

#### 2.1.3 Impacto del CNC en la Industria

1. Mayor Precisión y Repetibilidad: Las máquinas CNC pueden realizar tareas de producción con una exactitud mucho mayor que el trabajo manual, lo que asegura piezas de alta calidad con tolerancias muy estrictas.
2. Reducción de Costos y Tiempo: La automatización reduce la necesidad de intervención humana constante, lo que disminuye los errores y los costos asociados al retrabajo y al desperdicio de materiales. Además, las máquinas CNC pueden operar de manera continua, lo que aumenta la productividad.
3. Flexibilidad: A través de la programación, las máquinas CNC pueden ser adaptadas para realizar una variedad de tareas sin necesidad de modificaciones físicas, lo que ofrece flexibilidad para cambios en el diseño o producción en pequeña serie.
4. Mejor Control de la Producción: Gracias a los sistemas de monitoreo y a la integración con otros sistemas de la planta, el CNC permite a las empresas un control mucho más preciso sobre el proceso de manufactura.

## 2.1.4 Relación del CNC en la Industria 4.0

En el contexto de la Industria 4.0, los Routers CNC representan una herramienta clave en la transición hacia procesos productivos inteligentes, automatizados y conectados. La Industria 4.0 se basa en la integración de tecnologías digitales, como el Internet de las Cosas (IoT), la inteligencia artificial (IA), el análisis de datos y la manufactura aditiva, con el objetivo de optimizar la eficiencia, flexibilidad y trazabilidad en los entornos industriales.

Los Routers CNC, al estar controlados mediante sistemas computarizados y capaces de operar bajo programación digital (código G), pueden integrarse fácilmente a redes inteligentes de producción. Esto permite monitorear su desempeño en tiempo real, registrar parámetros de operación y realizar ajustes automáticos para mejorar la calidad del mecanizado. Además, la conexión de estos equipos a plataformas digitales posibilita la comunicación entre máquinas (M2M), lo que favorece la producción flexible y personalizada, característica esencial de la Industria 4.0.

En este sentido, el desarrollo de un dispositivo de sujeción optimizado y adaptable, contribuye directamente a los principios de la Industria 4.0, al mejorar la eficiencia del proceso de mecanizado, reducir tiempos de montaje y aumentar la precisión en el corte de materiales. Este tipo de innovaciones fortalecen la automatización y la capacidad de respuesta del sistema de manufactura ante diferentes demandas de producción.

## 2.2 Principios de sujeción en manufactura: Tipos de sujeción, requisitos técnicos y mecánicos.

Los principios de sujeción en manufactura son fundamentales para asegurar que las piezas que se están fabricando se mantengan en la posición correcta mientras se realizan las operaciones de corte, fresado, torneado, taladrado, etc. Una sujeción adecuada no solo garantiza la precisión de la pieza, sino que también optimiza el tiempo de producción, reduce el desgaste de las herramientas y asegura la seguridad en el proceso.

### 2.2.1 Tipos de Sujeción en Manufactura

Existen varios tipos de sujeción que se emplean según el tipo de máquina, la operación de fabricación y las características de la pieza. Algunos de los más comunes son:

#### 1. Sujeción Mecánica

Este es el tipo de sujeción más común y se basa en el uso de elementos mecánicos como mordazas, pinzas, tornillos, cuñas y otros dispositivos de agarre que sujetan la pieza de trabajo firmemente. A su vez, la sujeción mecánica se puede dividir en:

- Mordazas (Chuck o Jaw Clamps): Son los dispositivos más comunes para sujetar piezas redondas o de forma irregular, especialmente en tornos. Las mordazas pueden ser manuales o automáticas y pueden ajustarse a las diferentes formas de la pieza.
- Prensa: Utilizados generalmente para piezas más grandes o de formas irregulares, los tornillos proporcionan una presión constante sobre la pieza.
- Mordazas de placa (Plato de sujeción): Son utilizadas en fresadoras y tornos para sujetar piezas grandes, pesadas o con formas complejas. El plato de sujeción permite fijar la pieza desde varios ángulos.



Ilustración 6 Generada por IA



Ilustración 7 Generada por IA

## 2. Sujeción Magnética

La sujeción magnética es especialmente útil para piezas de material ferromagnético (como el acero). Los dispositivos magnéticos sujetan la pieza mediante un campo magnético, lo que elimina la necesidad de contacto físico directo, evitando marcas o deformaciones en la superficie. Este tipo de sujeción es común en procesos como el fresado o el rectificado.

## 3. Sujeción por vacío

Los sistemas de sujeción por vacío utilizan bombas para generar un vacío entre la pieza de trabajo y una plataforma, lo que crea una presión negativa que mantiene la pieza firmemente en su lugar. Este tipo de sujeción es común para piezas planas o ligeras y es utilizado en fresadoras y máquinas de corte de alta precisión.



Ilustración 8 Generada por IA

## 4. Sujeción Hidráulica

En este caso, se utiliza presión hidráulica para sujetar la pieza de trabajo. El sistema hidráulico permite una presión uniforme y ajustable, lo que es ideal para piezas de geometría compleja o piezas de gran tamaño. La sujeción hidráulica es especialmente útil cuando se requiere una gran fuerza de sujeción sin deformar la pieza.



Ilustración 9 Generada por IA

### 5. Sujeción Neumática

Similar a la sujeción hidráulica, pero utilizando aire comprimido en lugar de aceite. Los sistemas neumáticos son más rápidos y limpios, pero generalmente proporcionan menos fuerza que los sistemas hidráulicos. Son muy comunes en operaciones de montaje, ya que permiten un cambio rápido de piezas.



Ilustración 10 Generada por IA

### 6. Sujeción por Cinta

En algunos procesos, especialmente en el mecanizado de piezas de forma compleja, se utilizan cintas adhesivas o de sujeción para fijar las piezas de manera temporal. Este tipo de sujeción es más adecuado para piezas ligeras o cuando se requiere una solución rápida y económica.

## 2.2.2 Requisitos Técnicos y Mecánicos para una Sujeción Eficaz

Para que el proceso de sujeción sea eficaz, es necesario que se cumplan ciertos requisitos técnicos y mecánicos que aseguren la precisión, estabilidad y seguridad durante las operaciones de fabricación:

### 1. Precisión y Estabilidad

La sujeción debe mantener la pieza en una posición fija durante todo el proceso de fabricación. Esto significa que el dispositivo de sujeción debe ser capaz de resistir las fuerzas de corte sin que la pieza se mueva o cambie de posición. La precisión de la sujeción es especialmente crítica en operaciones de alta tolerancia, como el mecanizado de componentes de precisión.

### 2. Fuerza Adecuada

La sujeción debe proporcionar la fuerza suficiente para mantener la pieza firmemente en su lugar sin que la deformación del material ocurra debido a la presión aplicada. Si la sujeción es demasiado fuerte, puede causar deformación de la pieza; si es demasiado débil, la pieza podría moverse durante el proceso de mecanizado, lo que afectaría la calidad y precisión.

### 3. Acceso a la Herramienta de Corte

El sistema de sujeción debe permitir el acceso adecuado de las herramientas de corte a todas las áreas de la pieza que necesitan ser mecanizadas. Esto implica que los dispositivos de sujeción no deben interferir con las trayectorias de las herramientas y deben ser lo suficientemente versátiles como para ajustarse a diferentes geometrías de pieza.

#### *4. Facilidad de Colocación y Remoción*

El sistema de sujeción debe ser fácil de usar, lo que significa que la colocación y remoción de las piezas deben realizarse de manera eficiente y rápida. Esto es especialmente importante en líneas de producción donde se requieren tiempos de cambio rápidos para minimizar los tiempos de inactividad.

#### *5. Rígidez del Sistema de Sujeción*

La rigidez es clave para evitar cualquier tipo de vibración o movimiento indeseado durante el proceso de mecanizado, lo que podría generar defectos en la pieza. Un sistema de sujeción rígido ayuda a mejorar la calidad de la superficie de la pieza y prolonga la vida útil de las herramientas de corte.

#### *6. Adaptabilidad*

Los sistemas de sujeción deben ser capaces de adaptarse a una amplia gama de tamaños y formas de piezas, especialmente en entornos de fabricación flexibles o de producción personalizada. Esto se logra mediante la utilización de dispositivos ajustables, que permiten una rápida reconfiguración para diferentes trabajos.

#### *7. Control Térmico*

En procesos de alta velocidad o cuando se generan grandes cantidades de calor (como en el fresado o el rectificado), el sistema de sujeción debe ser capaz de resistir las altas temperaturas sin que se afecten las propiedades mecánicas de los materiales de sujeción ni de la pieza de trabajo.

#### *8. Seguridad Operativa*

El sistema de sujeción debe ser seguro para el operador y para el entorno de trabajo. Esto incluye sistemas que aseguren que la pieza no se deslice, caiga o se libere de la sujeción durante el proceso de fabricación, y que también se minimicen los riesgos de lesiones debido al mal funcionamiento de los dispositivos de sujeción.



Ilustración 11 Generada por IA

### **2.3 Diseño de dispositivos de sujeción: Materiales, principios de diseño, sistemas de fijación y seguridad.**

El diseño de dispositivos de sujeción es fundamental en los procesos de manufactura porque garantiza que las piezas de trabajo se mantengan estables, precisas y seguras durante las operaciones de mecanizado. Un diseño adecuado de estos dispositivos no solo mejora la precisión de la pieza, sino también la eficiencia del proceso y la seguridad del operador.

### 2.3.1 Materiales en el Diseño de Dispositivos de Sujeción

Los materiales utilizados en la fabricación de dispositivos de sujeción deben ser seleccionados cuidadosamente para cumplir con los requisitos específicos de cada aplicación, como resistencia, durabilidad, precisión y costo. Algunos de los materiales más comunes incluyen:

#### 1. Acero al carbono

- Es uno de los materiales más utilizados para los dispositivos de sujeción debido a su alta resistencia y durabilidad. Es ideal para piezas que van a soportar grandes fuerzas de sujeción y para entornos de trabajo exigentes.
- Ventajas: Resistencia al desgaste, buena resistencia a la tracción y fácil mecanizado.
- Desventajas: Puede ser susceptible a la corrosión si no se protege adecuadamente.

#### 2. Acero inoxidable

- Utilizado en aplicaciones donde la resistencia a la corrosión es crítica, como en la industria alimentaria o en entornos húmedos.
- Ventajas: Alta resistencia a la corrosión y mayor durabilidad en ambientes agresivos.
- Desventajas: Es más costoso y más difícil de mecanizar que el acero al carbono.

#### 3. Aluminio

- A menudo usado en dispositivos de sujeción de menor tamaño o en aplicaciones donde el peso es una consideración importante.
- Ventajas: Ligero, buena resistencia a la corrosión, fácil de mecanizar.
- Desventajas: Menor resistencia en comparación con los aceros.

#### 4. Hierro fundido

- Utilizado cuando se requiere una alta estabilidad y rigidez en el dispositivo de sujeción. Es común en bases de sujeción y estructuras grandes.
- Ventajas: Alta rigidez, amortiguación de vibraciones.
- Desventajas: Es pesado y puede ser quebradizo.

#### 5. Plásticos de ingeniería (como el polietileno o POM)

- Empleados en dispositivos de sujeción de piezas delicadas o cuando se requieren características antiadherentes.
- Ventajas: Livianos, resistentes a la corrosión, fáciles de trabajar.

- Desventajas: Menor resistencia mecánica y durabilidad comparado con metales.



Ilustración 12 Generada por IA

### 2.3.2 Principios de Diseño en Dispositivos de Sujeción

El diseño de un dispositivo de sujeción debe cumplir con varios principios fundamentales para garantizar un funcionamiento eficiente y seguro:

#### 1. Rigidez

- El dispositivo de sujeción debe ser lo suficientemente rígido para resistir las fuerzas de corte y mantener la pieza firmemente en su lugar sin que se produzcan movimientos indeseados. Esto es especialmente importante en operaciones de alta precisión.

#### 2. Acceso y Visibilidad

- El diseño debe permitir el acceso adecuado a todas las áreas de la pieza de trabajo que se deben mecanizar, sin obstrucciones, y proporcionar visibilidad para el operador. Esto es especialmente crítico en fresadoras y tornos.

#### 3. Sujeción sin deformación

- La sujeción debe garantizar que la pieza no se deforme durante el proceso. Para lograr esto, es esencial que las fuerzas de sujeción se distribuyan de manera uniforme sobre toda la superficie de la pieza. También se deben evitar las tensiones internas que puedan surgir debido a una sujeción inadecuada.

#### 4. Facilidad de Carga y Descarga

- Los dispositivos deben permitir una carga y descarga rápidas y fáciles de las piezas. Esto es particularmente importante en entornos de producción de alto volumen donde el tiempo de inactividad debe minimizarse.

#### 5. Adaptabilidad

- El diseño debe permitir que el dispositivo sea ajustable o configurable para diferentes tamaños, formas y características de las piezas. Esto puede incluir mordazas ajustables o sistemas modulares que permitan la personalización rápida.

## 6. Fiabilidad

- El dispositivo de sujeción debe ser fiable, con un mínimo de mantenimiento requerido. Esto implica un diseño simple y robusto que reduzca la posibilidad de fallos mecánicos.

## 7. Sujeción uniforme

- Las fuerzas de sujeción deben aplicarse de manera uniforme para evitar que la pieza se desplace o se deforme. Esto también contribuye a mejorar la calidad del producto final.

## 8. Minimización de Vibraciones

- Las vibraciones durante el mecanizado pueden afectar negativamente la precisión y la calidad de la pieza. Un buen diseño de sujeción debe ayudar a minimizar las vibraciones, usando materiales como el hierro fundido o incorporando amortiguadores si es necesario.

### 2.3.3 Sistemas de Fijación en Dispositivos de Sujeción

Los sistemas de fijación son los mecanismos mediante los cuales las piezas de trabajo se sujetan al dispositivo. Los sistemas más comunes incluyen:

#### 1. Sistemas de Mordaza (Chuck)

- Son uno de los sistemas más comunes y funcionan utilizando una serie de mandíbulas que se ajustan a la forma de la pieza de trabajo. Este sistema es particularmente efectivo en tornos, pero también se usa en fresadoras.

#### 2. Sistemas de Tornillos y Perfiles de Fijación

- Usados generalmente cuando se requiere una fijación muy fuerte o cuando se trabaja con piezas grandes y pesadas. Los tornillos de fijación permiten un ajuste fino de la sujeción, pero son más lentos de usar que las mordazas.

#### 3. Sistemas Neumáticos o Hidráulicos

- Estos sistemas emplean aire comprimido o presión hidráulica para sujetar la pieza de manera rápida y con una fuerza constante. Son ideales para procesos que requieren cambios rápidos de pieza y operaciones de alta velocidad.

#### 4. Sistemas Magnéticos

- Usados principalmente en piezas de material ferromagnético. Estos sistemas emplean un campo magnético para sujetar la pieza sin contacto físico directo, lo que es ideal para evitar marcas o deformaciones.
5. Sistemas de Sujeción por Vacío
- El vacío se utiliza para crear una presión negativa que mantiene la pieza en su lugar. Es especialmente útil para piezas ligeras o de forma compleja que no pueden ser sujetadas con mordazas tradicionales.



Ilustración 13 Generada por IA

### 2.3.4 Seguridad en el Diseño de Dispositivos de Sujeción

La seguridad del operador y la protección de la maquinaria son esenciales al diseñar dispositivos de sujeción. Algunos aspectos de seguridad a considerar son:

1. Estabilidad y Fijación Adecuada
  - El dispositivo debe ser capaz de mantener la pieza firmemente en su lugar, evitando que se libere durante el proceso de mecanizado, lo que podría causar accidentes o daños en la máquina.
2. Protección contra el Desprendimiento de la Pieza
  - Los dispositivos de sujeción deben incorporar mecanismos de seguridad para evitar que la pieza se desplace o se suelte. Esto es crucial en procesos de alta velocidad o cuando se mecanizan piezas de gran tamaño.
3. Accesibilidad para el Operador
  - El diseño debe garantizar que los operadores tengan un fácil acceso a los controles de sujeción y a las piezas sin comprometer su seguridad. Se deben incorporar características como el aislamiento de partes móviles o la incorporación de guardias de protección.
4. Fuerzas Controladas
  - Es necesario controlar la cantidad de fuerza que se aplica a la pieza para evitar daños a la pieza o al dispositivo de sujeción. Los sistemas

hidráulicos y neumáticos deben tener válvulas de control para ajustar la presión de manera precisa.

## 5. Dispositivos de Liberación Rápida

- Los sistemas de liberación rápida son cruciales para la seguridad en caso de que una pieza se suelte o haya una emergencia. Estos sistemas permiten que el operador libere rápidamente la pieza sin poner en riesgo su seguridad.



Ilustración 14 Generada por IA

## 2.4 Fundamentos de diseño CAD/CAM aplicados al desarrollo de dispositivos

El diseño CAD/CAM (Diseño Asistido por Computadora / Fabricación Asistida por Computadora) juega un papel fundamental en la creación y desarrollo de dispositivos de sujeción y otros componentes mecánicos en manufactura. Los sistemas CAD y CAM se utilizan para crear modelos detallados de dispositivos, simular su funcionamiento y generar los programas necesarios para su fabricación, todo ello de manera eficiente, precisa y con menor posibilidad de error.

### 2.4.1 Principios Fundamentales del Diseño CAD

El diseño asistido por computadora (CAD) se refiere al uso de software para crear modelos en 2D y 3D de piezas y dispositivos. En el contexto de dispositivos de sujeción, el uso de CAD permite una representación visual exacta y detallada de cómo se debe construir el dispositivo, cómo debe funcionar y cómo interactúa con la pieza de trabajo.

*Fundamentos del Diseño CAD para Dispositivos de Sujeción:*

#### 1. Modelado en 3D:

- La representación en 3D permite que el diseñador visualice el dispositivo de sujeción en su totalidad y en su contexto operativo. Esto

- Ayuda a identificar posibles problemas de interferencia, alineación o acceso.
- Los programas CAD permiten diseñar con precisión las formas geométricas de las mordazas, bases, placas y otros componentes, asegurando que se ajusten correctamente a la pieza de trabajo.

## 2. Análisis de Tolerancias y Ajustes:

- A través de herramientas CAD, es posible analizar las tolerancias de los componentes del dispositivo, asegurando que las piezas se ajusten de manera precisa durante el proceso de sujeción.
- Esto es crítico para garantizar que las piezas no sufran deformaciones debido a una sujeción incorrecta.

## 3. Simulación de Montaje:

- Los programas CAD permiten realizar simulaciones de ensamblaje de las diferentes partes del dispositivo de sujeción. Esto ayuda a verificar la funcionalidad del dispositivo sin necesidad de construir un prototipo físico.
- La simulación también permite verificar la ergonomía del dispositivo y la facilidad de acceso a las piezas para su colocación y remoción.

## 4. Optimización del Diseño:

- Los programas CAD pueden utilizarse para optimizar el diseño, reduciendo el peso del dispositivo sin sacrificar su rigidez o funcionalidad. Esto es especialmente importante para reducir costos de material y mejorar la eficiencia del proceso de manufactura.

## 5. Documentación Técnica:

- Los sistemas CAD permiten generar automáticamente planos detallados, incluyendo vistas en 2D, dimensiones y notas, que son fundamentales para la fabricación y la comunicación con los operarios. También facilitan la documentación de cambios en el diseño.



Ilustración 15 Generada por IA

## 2.4.2 Principios Fundamentales del Diseño CAM

El diseño asistido por computadora para manufactura (CAM) es el proceso de crear los programas de control necesarios para las máquinas herramientas, como fresadoras, tornos o máquinas CNC, basados en los modelos creados en CAD. En este contexto, CAM es fundamental para transformar los diseños digitales en procesos de fabricación reales.

*Fundamentos del Diseño CAM para Dispositivos de Sujeción:*

1. Generación de Trayectorias de Corte:

- Usando el modelo 3D creado en CAD, el software CAM genera las trayectorias de corte que guiarán a la máquina herramienta para realizar el mecanizado. Estas trayectorias definen la ruta que seguirá la herramienta para fabricar las piezas del dispositivo de sujeción.
- Las trayectorias de corte pueden ser optimizadas para maximizar la eficiencia del proceso y minimizar el desgaste de la herramienta, reduciendo también el tiempo de ciclo de fabricación.

2. Selección de Herramientas de Corte:

- El software CAM permite elegir y asignar herramientas de corte específicas para cada operación. Esto es crucial en el desarrollo de dispositivos de sujeción, ya que las operaciones de mecanizado varían según el material de la pieza, la forma del dispositivo y las tolerancias requeridas.
- Los programas CAM también permiten simular el cambio de herramientas, asegurando que las operaciones se realicen sin interferencias ni choques en la máquina.

3. Simulación de Manufactura:

- Uno de los aspectos más valiosos del CAM es la capacidad de simular el proceso de manufactura. Esto permite detectar posibles errores en el programa antes de que se ejecute en la máquina.
- La simulación ayuda a verificar que las herramientas no colisionan con el dispositivo de sujeción ni con otros componentes, y también asegura que la pieza de trabajo sea mecanizada de acuerdo con las especificaciones de diseño.

4. Generación de Código G (G-code):

- El resultado final del proceso CAM es la generación de código G, que es el conjunto de instrucciones que la máquina CNC utiliza para ejecutar las operaciones de corte. Este código define los movimientos precisos de las herramientas en los ejes X, Y, Z, y también otros

parámetros como la velocidad de avance y la rotación de la herramienta.

- Los sistemas CAM generan código G optimizado para las máquinas de producción, lo que garantiza que el proceso de manufactura se realice de manera eficiente y con la calidad requerida.

##### 5. Control de Tiempos de Proceso:

- Los programas CAM permiten estimar el tiempo total de fabricación, ayudando a los ingenieros y fabricantes a planificar la producción y gestionar los tiempos de ciclo. Esto también permite optimizar la programación de las máquinas para minimizar tiempos muertos.



Ilustración 16 Generada por IA

#### 2.4.3 Integración CAD/CAM en el Desarrollo de Dispositivos de Sujeción

La integración de CAD y CAM en el desarrollo de dispositivos de sujeción permite un flujo de trabajo más ágil, preciso y eficiente. Esta integración es fundamental para reducir los errores de diseño, facilitar la transición entre el diseño y la fabricación, y mejorar la calidad del producto final.

*Ventajas de la Integración CAD/CAM:*

##### 1. Reducción de Errores y Mejora en la Precisión:

- La integración de CAD y CAM elimina la necesidad de transferir manualmente los detalles del diseño a la máquina. Esto reduce los errores que pueden ocurrir durante la interpretación del diseño y asegura que el dispositivo de sujeción sea fabricado según las especificaciones exactas.

##### 2. Automatización del Proceso de Fabricación:

- Al generar el código G directamente desde el diseño CAD, el proceso de fabricación se automatiza completamente, lo que mejora la consistencia y la calidad del producto final, a la vez que minimiza el tiempo de trabajo y la intervención humana.

##### 3. Optimización del Flujo de Trabajo:

- Los diseñadores e ingenieros pueden realizar cambios en el diseño CAD, los cuales se reflejan automáticamente en el programa CAM sin necesidad de reprogramar manualmente la máquina. Esto mejora la flexibilidad y reduce el tiempo de adaptación.

#### 4. Simulación y Verificación de Procesos:

- La integración permite realizar simulaciones tanto del diseño (en CAD) como del proceso de fabricación (en CAM), lo que ayuda a prever problemas antes de que se realicen las primeras piezas, ahorrando tiempo y material.

#### 5. Mejora de la Colaboración:

- La integración facilita la colaboración entre los equipos de diseño e ingeniería, ya que ambos equipos pueden trabajar en un mismo modelo, hacer ajustes y revisiones en tiempo real, y asegurar que todos los aspectos del dispositivo de sujeción se han optimizado para la fabricación.

## 2.5 Casos de estudio de dispositivos de sujeción para Routers CNC

- Antecedente 1: Castillo J; Acosta S; García E; Gil A; Martínez V. (2018). Autores que realizaron un diseño e implementación de un Router CNC, mediante el análisis de esfuerzo cortante y momento flexionante, así como análisis de esfuerzos de estructura esfuerzos en eje “Y” y su diseño de maquinaria. Obteniendo que el Router CNC diseñado e implementado funcione de manera efectiva y de fácil entendimiento, con una implementación de sujeción de 4 puntos fijos colocadas y centradas en las esquinas del área de trabajo (Figura I).



Figura I: Ejemplos de dispositivos de sujeción. Fuente: [Castillo J; Acosta S; García E; Gil A; Martínez V. (2018) Pistas Educativas Vol. 40 - ISSN: 2448-847X

Debido a que los 4 puntos de sujeción son puntos fijos, el Router CNC nos imposibilita realizar maquinados en materiales de un tamaño menor a los puntos de sujeción, de la misma manera que si el material cuenta con relieves o puntos en donde no se pueda sujetar adecuadamente nuestro material tendería a moverse, pandearse e inclusive generar vibraciones que provocan que nuestro acabado no sea el adecuado.

- Antecedente 2: Fonseca J. (2021) Autor del artículo Análisis y Selección de Dispositivos de Sujeción utilizados para la Fabricación de piezas en Procesos de Mecanizado: Tornos y Máquinas Fresadoras CNC llevando a cabo la recolección de información existentes y definiendo los criterios para una buena selección, definió y analizó las fuerzas de corte y las vibraciones que se produjeron durante sus maquinados y definió la estrategia óptima para seleccionar y diseñar su dispositivo de sujeción (Figura II). Obteniendo como resultado una base sólida sobre los lineamientos necesarios para seleccionar un dispositivo de sujeción y su verificación de selección adecuada para cada material y herramienta de corte.

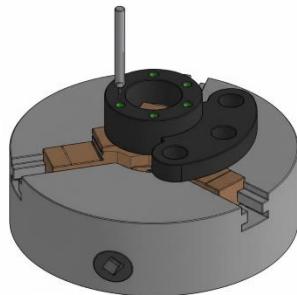


Figura II: Ejemplos de dispositivos de sujeción. Fuente: Sebastian, J., & Fonseca, F. (2021). Análisis y Selección de Dispositivos de Sujeción utilizados para la Fabricación de piezas en Procesos de Mecanizado: Tornos y Máquinas Fresadoras CNC. Edu.co.

Gracias a que el sistema de sujeción estaba diseñado para un Torno o Fresa CNC me permitió darme una idea más cercana sobre el análisis que se debe tomar en cuenta los estudios y análisis necesarios para determinar un sistema de sujeción adecuado.

- Antecedente 3: Cansing J; Max K. (2020) Autores del proyecto “Diseño de un sistema de sujeción mecánico con rodillos paralelos a presión para planchas de plywood de 12 mm de espesor adaptado en un Router CNC. Auxiliándose con diagramas de flujos que mostraban los requerimientos y restricciones

presentados para la elaboración del proyecto, así como la utilización del método de caja negra y caja transparente permitiendo observar el panorama de investigación y finalmente para la selección de la mejor alternativa realizar comparativas y descarte por restricciones. Obteniendo como resultado un sistema de sujeción que utiliza tornillos para fijar el material a la mesa de trabajo, siendo de fácil fabricación seleccionando el material de los rodillos y su diámetro como se muestra en la (Figura III)

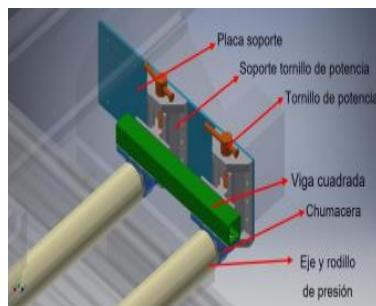


Figura III: Ejemplos de dispositivos de sujeción. Fuente: Cansing J; Max K. (2020) "Diseño de un Sistema de Sujeción Mecánico Con Rodillos Paralelos a presión Para Planchas de Plywood de 12 mm". Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción. Edu.ec.

Debido a que su sistema de sujeción permite que se adapte a los diferentes tamaños y anchos de los materiales es muy óptimo el sistema que se implementó, aunque es un poco costoso, la inversión vale la pena para así evitar tanto desperdicio de material.

- Antecedente 4: Castiglione N. (s/f) Nos proporciona una investigación sobre Sistemas de sujeción para trabajar con un Router, en el cual menciona que existen 6 sistemas de sujeción para trabajar en un Router CNC, los cuales son el sistema T-Slot, Sistema Vacuum Ready, Sistema Flip Pod, Herramienta Tab-Bridge, Cinta doble contacto y Sujeción personalizada.

Tomando en cuenta que el Laboratorio de manufactura cuenta con un Router CNC resultado de un proyecto para la empresa Rotelec S.A de C.V. Ubicada en San Juan del Río, Querétaro. El Router CNC fue diseñado con un sistema de sujeción T-Slot (Figura 4) el cual se desea mejorar ya que este sistema funciona por medio de mordazas o “clamps” los cuales se ajustan con tornillos a la mesa ranurada (Figura 5). Y el autor Castiglione menciona los siguientes 4 puntos importantes sobre el sistema T-Slot:

- Al ser usado con placas de gran tamaño produce pandeos que pueden llegar a arruinar el trabajo, generalmente cuando se procesan grabados, porque la “panza” que se forma en el centro de la placa, modifica la profundidad de fresado establecida desde el software.
- Se debe proteger al material en el sitio donde se ajusta la mordaza para no mellar.
- Lleva demasiado tiempo ajustar y desajustar cada tornillo cuando tiene que cambiar el material.
- Impide contornear bordes porque obstruye la libre circulación de la fresa alrededor de la pieza procesada.

Todos los puntos mencionados por el autor son ciertos y suceden en el Laboratorio de manufactura, por ello es importante mejorar y cambiar el sistema de sujeción que se ocupa en el Router CNC y hacer que todos estos puntos disminuyan o desaparezcan por completo.

## 2.6 Conclusiones

El marco teórico permitió construir una base de conocimiento sólida que respaldara el diseño del dispositivo de sujeción.

Se revisaron los principios de sujeción en manufactura, los diferentes tipos de sistemas de fijación (mecánicos, magnéticos, por vacío, hidráulicos y neumáticos) y los requisitos técnicos que garantizan una sujeción eficaz, tales como rigidez, distribución uniforme de fuerzas, facilidad de montaje y seguridad para el operador.

Además, se analizaron los materiales comúnmente utilizados en la fabricación de dispositivos de sujeción, comparando sus propiedades mecánicas, resistencia a vibraciones y durabilidad.

El estudio incluyó la integración de herramientas CAD/CAM, que fueron esenciales para el modelado 3D, la simulación y la generación de trayectorias de mecanizado.

Finalmente, se revisaron casos de estudio de otros proyectos de sistemas de sujeción para Routers CNC, lo que sirvió como referencia para seleccionar una solución que respondiera a las necesidades específicas del laboratorio de manufactura.

## CAPÍTULO 3

### 3. Análisis de Requerimientos

#### 3.1 Identificación de necesidades: Funciones y condiciones específicas del laboratorio de manufactura.

Actualmente el laboratorio de Manufactura cuenta con un Router CNC, que fue diseñado específicamente para la UAEH



Figura IV: Obtención propia

Este equipo ocupa los siguientes herramientales

Descripción / Tipo	Marca / Modelo	Detalles / Medidas
<b>Cortadores verticales</b>	Cleveland	• 3 mm – 4 gavilanes (carburo sólido) • 1 mm – 2 gavilanes (carburo sólido con recubrimiento de titanio)
<b>Juego de cortadores</b>	Drillpro DB-M1	10 piezas de 0.8 mm a 3 mm, carburo con recubrimiento de titanio
<b>Juego de boquillas</b>	Generic ER23	19 piezas, rango de sujeción 2 mm – 20 mm
<b>Fresa / Broca Up-Cut</b>	MTM Tools 250-100-04	2 filos, 1 D x 4 LU x 1/8 V x 38 LT
<b>Fresas / Brocas Down-Cut</b>	MTM Tools	• 1 filo: 1.5 D x 5 LU x 1/8 V x 38 LT (230-150-05) • 2 filos: 2 D x 8 LU x 1/8 V x 38 LT (300-200-08)

		<ul style="list-style-type: none"> <li>• 2 filos: 3 D x 12 LU x 1/8 V x 38 LT (300-300-12)</li> <li>• 2 filos: 4 D x 17 LU x 4 V x 50 LT (300-400-17)</li> <li>• 2 filos: 5 D x 22 LU x 5 V x 50 LT (300-500-22)</li> </ul>
<b>Fresa / Broca Rompe-Viruta</b>	MTM Tools 380-800-25	3 filos, 8 D x 25 LU x 8 V x 60 LT
<b>Llave Española</b>	—	11 mm
<b>Brocha</b>	—	1½"

En el Área Académica de Arquitectura e Ingeniería ubicado en el Instituto de Ciencias Básicas e Ingeniería (ICBI) se imparte la asignatura de CAD-CAM la cual incluye en su programa el desarrollo de prácticas de laboratorio, las cuales se realizan en el laboratorio de manufactura.

Proceso:

1. Se realizan diseños 3D en SolidWorks

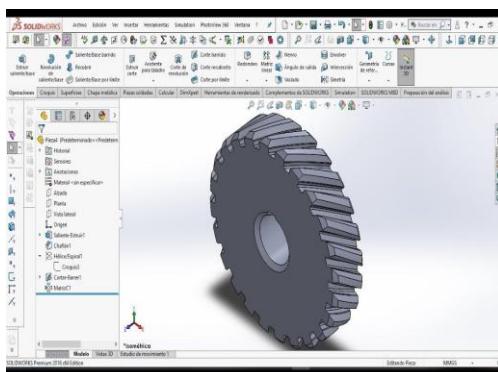


Figura V: Ejemplo de diseño realizado en SolidWorks [Gremau 3D, 2021]

2. El diseño en SolidWorks se postprocesa con el software Mastercam X5 para obtener los códigos de programación

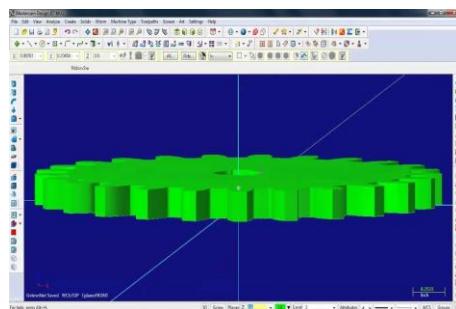


Figura VI: Ejemplo de diseño realizado en Mastercam [Víctor García, 2014].

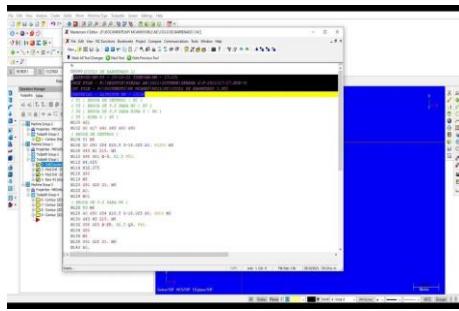


Figura VII: Ejemplo de código realizado en Mastercam [CNC Program, 2021].

3. Para fabricar la pieza en el Router CNC se coloca el material sobre la mesa del Router y actualmente se sujetan con Clamps como se muestra en la figura (VIII), La actual problemática que presentan estos clamps que se sujetan con tornillos y tuercas, al colocar materiales en su mayoría superior de 5mm de espesor el clamp llega a tener una inclinación dando una sujeción desnivelada por la orilla del material generando una inestabilidad y nula adaptabilidad al espesor del material. De igual forma debido a que algunos materiales ya fueron utilizados, tienen variaciones en los puntos de sujeción, lo que incrementa la dificultad de sujeción y se debe buscar un punto de sujeción como en la (Figura VIII).



Figura VIII: Obtención propia

Otra problemática que se presenta durante el ajuste de presión para sujetar el material se debe a que esta acción se puede realizar por una o varias personas al mismo tiempo, por lo que el nivel de presión que se aplica sobre los clamps es variable, cuando se ajusta con mayor presión de un lado el material y a su contraparte queda sujeto con menor presión se genera deformaciones del material (Figura IX).

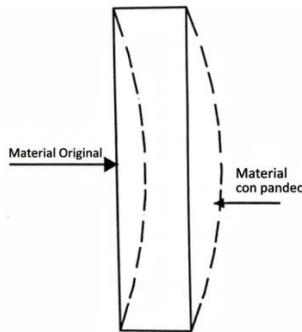


Figura IX: Creación de imagen con IA

Esta deformación ocasiona que al definir el cero pieza sea erróneo, se tendría una altura al centro del material y otra altura diferente cerca de la sujeción (clamps). Realizar el corte con cero piezas erróneas genera que el corte sea variable ocasionando rebabas y despostillados como se muestra en la (Figura X).



Figura X: Obtención propia

### 3.2 Definición de especificaciones técnicas: Parámetros de precisión, estabilidad, facilidad de uso, y adaptabilidad.

Con lo analizado en el apartado 3.1 Identificación de necesidades se puede definir que, al implementar un dispositivo de sujeción, teniendo esto en cuenta se desea eliminar las rebabas y despostillados de las piezas con:

- Precisión: Cuán exacto y repetible son los resultados de un proceso incluyendo
  - Repetibilidad: Realizando varias mediciones ocupando las mismas condiciones de material, espesor, variación en los puntos de sujeción y velocidades de corte.
  - Análisis de error: Evaluando las diferencias entre los valores obtenidos y los valores esperados.
- Estabilidad: Capacidad del sistema para mantener equilibrio y/o comportamiento bajo ciertas condiciones

- Estabilidad estructural: Capacidad de resistir fuerzas externas y no sufrir deformaciones. Realizando pruebas de pandeo y factores de seguridad
- Estabilidad Térmica: Mantener la temperatura en un rango aceptable sin recibir alteraciones. Realizando análisis de conductividad térmica.
- Facilidad de uso: Capacidad de ser comprendido, operado y mantenido de manera eficiente por los usuarios, sin necesidad de un aprendizaje externo o habilidades especializadas.
  - Diseño ergonómico
  - Interfaz intuitiva
  - Estandarización
  - Mantenimiento sencillo
- Adaptabilidad: Capacidad de ajustarse a diferentes condiciones, necesidades o entornos sin perder funcionalidad.

### 3.3 Evaluación de materiales y componentes: Selección basada en resistencia, durabilidad y costo.

Se realizó la siguiente evaluación para el tipo de clamp que se utilizará para el dispositivo de sujeción, teniendo en cuenta su material, costo, adaptabilidad, facilidad de uso, resistencia y durabilidad (Tabla III).

NOMBRE	MATERIAL	COSTO	ADAPTABILIDAD	FACILIDAD DE USO	RESISTENCIA	DURABILIDAD	IMAGEN
Mini abrazadera con rosca hembra doble de 1/4 y 3/8	Aleación ligera de aluminio	\$332.56 C/U	NO	SI	SI	SI	
Clamp mini tipo V 1.9/16x3/4 Rosca 5/8-11	Acero 1018 carburado endurecido con acabado de óxido negro	\$1524.00 C/U	NO	NO	SI	SI	
Sujeción de mordaza para puntera CNC	ABS Y ASA	\$37.34 C/U	NO	SI	SI	NO	
Abrazaderas antieslizantes GH-201	Acero de carbono laminado en frío	\$60.86 C/U	SI	SI	SI	SI	

Tabla IV: Elaboración propia

Para realizar la evaluación de materiales para el dispositivo de sujeción, se tomó en cuenta el entorno, la resistencia mecánica, el costo/beneficio, la complejidad para

fabricar el dispositivo, así como usar tecnología para su fabricación. El dispositivo de sujeción debe sujetar materiales como son MDF, Acrílico y Madera en su mayoría, dicho dispositivo se usará en interiores, en una nave donde se cuenta con más equipos de trabajo, con humedad media y temperatura oscilante entre los 3 y 25 grados centígrados.

Calculando pesos de los materiales que se usarán en el dispositivo:

MATERIAL	ESPESOR	DENSIDAD PROMEDIO	VOLUMEN V=L*A*E	MASA (M) M=V*D	PESO (W) W=M*G	
MDF	0.5 MM	0.7 G/CM3	1250 CM3	0.875 KG	8.575 N	V=VOLUMEN L=LARGO A=ANCHO E=ESPESOR D=DENSIDAD M=MASA W=PESO G=GRAVEDAD N=NEWTONS
	1.0 MM		2500 CM3	1.75 KG	17.15 N	
	1.5 MM		3750 CM3	2.625 KG	25.725 N	
ACRILICO	0.5 MM	1.18 G/CM3	1250 CM3	1.475 KG	14.455 N	
	1.0 MM		2500 CM3	2.95 KG	28.91 N	
	1.5 MM		3750 CM3	4.425 KG	43.365 N	
MADERA DURA	0.5 MM	0.9 G/CM3	1250 CM3	1.125 KG	11.025 N	
	1.0 MM		2500 CM3	2.25 KG	22.05 N	
	1.5 MM		3750 CM3	3.375 KG	33.075 N	
MADERA BLANDA	0.5 MM	0.55 G/CM3	1250 CM3	0.687 KG	6.733 N	
	1.0 MM		2500 CM3	1.375 KG	13.475 N	
	1.5 MM		3750 CM3	2.062 KG	20.208 N	

Tabla V: Elaboración propia

Realizando el análisis se puede determinar que el promedio máximo de peso que se estaría usando sobre el dispositivo de sujeción es de 4.425 kg

Calculando la resistencia mecánica necesaria para las vibraciones que se realizarán sobre el dispositivo de sujeción se calcula la frecuencia de vibración:

$$1. \text{ Frecuencia de Vibración (f) = Revoluciones Por Minuto (RPM)/60}$$

$$\text{Frecuencia de Vibración (f) = 1000/60 = 16.667 Hz}$$

$$2. \text{ Frecuencia Natural del Material (f0) = } (1/2\pi)\sqrt{k/m}$$

Donde:

- $k$  = Rigidez del material (N/m)
- $m$  = Masa del objeto (kg)

$$\text{Rigidez Axial (k) = (E*A)/L}$$

Donde:

- $E$  = Modulo de Young (Pa o N/m<sup>2</sup>)
- $A$  = Área de sección transversal (m<sup>2</sup>)
- $L$  = Longitud del material en la dirección de la fuerza (m)

$$\text{Rigidez Axial MDF (k)} = (4.5 \times 10^9 \text{ N/m}^2 \times 0.25 \text{ m}^2) / 0.5 \text{ m}$$

$$\text{Rigidez Axial MDF (k)} = (4500000000 \times 0.25) / 0.5$$

$$\text{Rigidez Axial MDF (k)} = \underline{2.1 \times 10^9 \text{ N/m}}$$

$$\text{Rigidez Axial Acrílico (k)} = (3.3 \times 10^9 \text{ N/m}^2 \times 0.25 \text{ m}^2) / 0.5 \text{ m}$$

$$\text{Rigidez Axial Acrílico (k)} = (3300000000 \times 0.25) / 0.5$$

$$\text{Rigidez Axial Acrílico (k)} = \underline{1.65 \times 10^9 \text{ N/m}}$$

$$\text{Rigidez Axial Madera Dura (k)} = (18 \times 10^9 \text{ N/m}^2 \times 0.25 \text{ m}^2) / 0.5 \text{ m}$$

$$\text{Rigidez Axial Madera Dura (k)} = (18000000000 \times 0.25) / 0.5$$

$$\text{Rigidez Axial Madera Dura (k)} = \underline{9 \times 10^9 \text{ N/m}}$$

$$\text{Rigidez Axial Madera Blanda (k)} = (12 \times 10^9 \text{ N/m}^2 \times 0.25 \text{ m}^2) / 0.5 \text{ m}$$

$$\text{Rigidez Axial Madera Blanda (k)} = (12000000000 \times 0.25) / 0.5$$

$$\text{Rigidez Axial Madera Blanda (k)} = \underline{6 \times 10^9 \text{ N/m}}$$

Frecuencia Natural del Material MDF

$$(f_0) = (1/2\pi)\sqrt{(2.1 \times 10^9 \text{ N/m} / 2.625 \text{ kg})}$$

$$(f_0) = 4501.58$$

Frecuencia Natural del Material Acrílico

$$(f_0) = (1/2\pi)\sqrt{(1.65 \times 10^9 \text{ N/m} / 4.425 \text{ kg})}$$

$$(f_0) = 3073.30$$

Frecuencia Natural del Material Maderas Duras

$$(f_0) = (1/2\pi)\sqrt{(9 \times 10^9 \text{ N/m} / 3.375 \text{ kg})}$$

$$(f_0) = 8218.72$$

Frecuencia Natural del Material Maderas Blandas

$$(f_0) = (1/2\pi)\sqrt{(6 \times 10^9 \text{ N/m} / 2.062 \text{ kg})}$$

$$(f_0) = 8585.21$$

### 3. Análisis del Factor de amortiguamiento ( $\zeta$ )

Tabla de Factores de Amortiguamiento para Diferentes Materiales

Material	Factor de Amortiguamiento ( $\zeta$ )
<b>Metales</b>	
Acero estructural	0.001 - 0.01
Aluminio	0.0001 - 0.002
Titanio	0.0002 - 0.002
Hierro fundido	0.002 - 0.008
Cobre	0.001 - 0.003
Bronce	0.001 - 0.004
<b>Plásticos y Polímeros</b>	
Acrílico (PMMA)	0.02 - 0.05
PETG	0.02 - 0.06
Policarbonato (PC)	0.05 - 0.07
Polietileno (PE)	0.06 - 0.10
ABS	0.03 - 0.06
Nylon	0.06 - 0.09
<b>Maderas y Compuestos</b>	
Madera dura (roble, nogal)	0.02 - 0.04
Madera blanda (pino, cedro)	0.03 - 0.05
MDF	0.02 - 0.05
Fibra de carbono	0.002 - 0.01
Fibra de vidrio	0.002 - 0.008
<b>Materiales Elastoméricos</b>	
Caucho natural	0.05 - 0.15
Silicona	0.10 - 0.20
Neopreno	0.06 - 0.12
Espuma de poliuretano	0.10 - 0.30

Tabla VI: Hernández Barrios, H., Huergo Ríos, I. F., & Arce León, C. (2021). *Pruebas de vibración ambiental en un edificio durante su proceso de reforzamiento. Ingeniería Sísmica*, (105), 84–101

Con los valores que ya se obtuvieron con anterioridad y ayuda de la Inteligencia Artificial, se determina cual es el mejor material para elaborar el dispositivo de sujeción y posibles alternativas/recomendaciones que nos proporciona la IA.

ChatGPT ▾

Estoy trabajando en un proyecto, el cual es crear un dispositivo de sujeción para un Router CNC, pero necesito que me ayudes a evaluar los materiales con lo que lo puedo crear y definir cual es la mejor opción costo/beneficio

Perfecto, te ayudo con gusto. Para poder darte la mejor recomendación, necesito un poco más de información sobre tu proyecto:

1. **¿Ya tienes un diseño específico o estás aún en la fase conceptual?**
2. **¿Cuál es el entorno de trabajo del Router CNC?** (por ejemplo: ¿interior/exterior?, ¿ambiente con polvo o humedad?, ¿temperatura?)
3. **¿Qué tipo de materiales va a sujetar el dispositivo?** (ya me habías dicho MDF, acrílico y madera, ¿alguno más?)
4. **¿Qué herramientas tienes disponibles para fabricar el dispositivo?** (impresora 3D, torno, fresadora, etc.)

Cuadro I: Cuadro generado por inteligencia artificial con ChatGPT. Fuente: OpenAI (2025).

ChatGPT ▾

5. **¿Cuál es tu presupuesto aproximado o qué tanto importa el costo?**
6. **¿Qué importancia tienen para ti aspectos como durabilidad, precisión, resistencia a la vibración, mantenimiento, etc.?**

Mientras tanto, te doy una lista de materiales comunes para este tipo de dispositivos, con sus pros y contras a nivel **costo/beneficio**:

---

 **Materiales Comunes para Dispositivos de Sujeción CNC**

1. **Plástico impreso en 3D (PETG, PLA, ABS, Nylon)**
  - **Ventajas:**
    - Bajo costo (sobre todo PLA y PETG)
    - Fácil de fabricar (impresora 3D)
    - Personalizable

Cuadro II: Cuadro generado por inteligencia artificial con ChatGPT. Fuente: OpenAI (2025).

ChatGPT ▾

- **Desventajas:**

- Menor resistencia estructural (especialmente PLA)
  - Se desgasta más rápido con vibración o presión
  - Puede deformarse con temperatura (excepto Nylon y PETG)
- ◆ PETG es buena opción intermedia entre resistencia, flexibilidad y facilidad de impresión.

## 2. Aluminio

- **Ventajas:**

- Alta resistencia mecánica
- Muy buena precisión y rigidez
- Resistente a la vibración

- **Desventajas:**

- Más caro
- Necesitas herramientas como fresadora o CNC para fabricarlo

Cuadro III: Cuadro generado por inteligencia artificial con ChatGPT. Fuente: OpenAI (2025).

ChatGPT ▾

- ◆ Ideal si necesitas alta durabilidad y precisión.

## 3. Madera contrachapada (o MDF de alta densidad)

- **Ventajas:**

- Barato y fácil de trabajar
- Suficiente rigidez para aplicaciones moderadas

- **Desventajas:**

- No tan duradero
  - Afectado por humedad
  - Menor precisión
- ◆ Bueno para prototipos o uso temporal.

## 4. Acrílico o policarbonato

- **Ventajas:**

- Bonito acabado y rigidez

Cuadro IV: Cuadro generado por inteligencia artificial con ChatGPT. Fuente: OpenAI (2025).

ChatGPT ▾

- Buena resistencia a químicos
- **Desventajas:**
  - Frágil (el acrílico se puede quebrar con vibración)
  - Más caro que madera o PETG

Cuadro V: Cuadro generado por inteligencia artificial con ChatGPT. Fuente: OpenAI (2025).

ChatGPT ▾

#### ❖ Recomendación (provisional)

Si estás haciendo un sistema que **soporte vibraciones, sujeté materiales de 5 a 15 mm y no tenga gran peso encima**, y puedes fabricar con impresión 3D, **PETG es probablemente la mejor opción costo/beneficio**.

Sin embargo, si el uso va a ser muy intensivo o en un ambiente exigente, tal vez valga la pena hacer una versión en **aluminio** una vez que valides el diseño.

¿Quieres que te prepare una tabla comparativa con ejemplos de uso, precios por kg o por lámina y proveedores? También puedo ayudarte a elegir entre diferentes tipos de PETG o Nylon si decides ir por impresión 3D.

✉️ 📲 📱 📲 📲 📲

Cuadro VI: Cuadro generado por inteligencia artificial con ChatGPT. Fuente: OpenAI (2025).

ChatGPT ▾

#### 📊 Comparación Costo/Beneficio (Escala 1-5)

Material	Costo	Durabilidad	Facilidad de Fabricación	Precisión	Total
PETG	2	3.5	5	3	3.4
PLA	1	2	5	2.5	2.6
Aluminio	5	5	2	5	4.3
Madera/MDF	1	2.5	4	2.5	2.5
Acrílico	3	3	3	3.5	3.1

Cuadro VII: Cuadro generado por inteligencia artificial con ChatGPT. Fuente: OpenAI (2025).

ChatGPT ▾

1. Ya tengo un diseño en específico
2. El dispositivo se va a manejar en interior de una nave industrial, con bastantes polvos, humedad media y temperatura oscilante de 3 a 25 grados centígrados
3. Va a sujetar materiales como MDF, Acrílico y Maderas en su mayoría
4. Impresora 3D, torno, fresadora, el mismo Router CNC.
5. Preferentemente que sea económico
6. El peso máximo estimado que va a tener el dispositivo es de 4.425 kg, la frecuencia de vibración es de 16.667 Hz, el mantenimiento debe ser fácil y económico

📅 Memoria actualizada

Gracias por toda la información, con eso ya puedo darte una recomendación más precisa. Vamos a analizar los materiales que puedes usar en tu entorno y con tus herramientas disponibles:

Cuadro VIII: Cuadro generado por inteligencia artificial con ChatGPT. Fuente: OpenAI (2025).

ChatGPT ▾

#### ➡ **Condiciones clave a considerar:**

- **Ambiente con polvo y humedad media:** Materiales deben ser resistentes a la corrosión y no absorber humedad.
- **Vibraciones de 16.667 Hz:** Se requiere buena absorción de vibraciones o rigidez suficiente para evitar deformaciones.
- **Peso de 4.425 kg:** Es moderado, pero el material debe resistir sin deformaciones permanentes.
- **Herramientas disponibles:** ¡Muy buena capacidad de fabricación! Eso abre muchas opciones.
- **Objetivo económico y mantenimiento fácil:** Priorizamos materiales duraderos y baratos o fáciles de reemplazar.

Cuadro IX: Cuadro generado por inteligencia artificial con ChatGPT. Fuente: OpenAI (2025).

 **Análisis detallado de materiales viables** **Opción 1: PETG ( impresión 3D)**• **Pros:**

- Buena resistencia mecánica y térmica
- Resiste humedad y químicos (ideal para ambientes industriales)
- Muy fácil de fabricar y reemplazar si se rompe
- Económico (~400-600 MXN/kg)

• **Contras:**

- Menor rigidez que metales
- Puede necesitar refuerzos para resistir vibraciones fuertes

 **Ideal si haces varias copias y necesitas flexibilidad o prototipos funcionales.**

Cuadro X: Cuadro generado por inteligencia artificial con ChatGPT. Fuente: OpenAI (2025).

 **Opción 2: Nylon + fibra (Carbono o Vidrio)**• **Pros:**

- Mucho más resistente a fatiga, vibración y desgaste que PETG
- Excelente para ambientes industriales

• **Contras:**

- Más difícil de imprimir (absorbe humedad, requiere boquilla endurecida)
- Más caro (~800-1200 MXN/kg o más)

 **Excelente si ya tienes experiencia imprimiendo con materiales técnicos.**

Cuadro XI: Cuadro generado por inteligencia artificial con ChatGPT. Fuente: OpenAI (2025).

ChatGPT ▾

**Opción 3: Aluminio 6061 o 7075**

• **Pros:**

- Muy alta resistencia y rigidez
- Resistente al polvo, humedad y vibraciones
- Vida útil muy larga

• **Contras:**

- Mayor costo por kg (~150-300 MXN/kg, dependiendo el proveedor)
- Tiempos de fabricación mayores (pero tienes fresadora y torno)

➔ **Recomendado para partes críticas o si el diseño ya está validado.**

Cuadro XII: Cuadro generado por inteligencia artificial con ChatGPT. Fuente: OpenAI (2025).

ChatGPT ▾

**Opción 4: Madera de alta densidad (MDF o contrachapado fenólico)**

• **Pros:**

- Muy barato y fácil de trabajar
- Útil para prototipos o sistemas que no reciben mucha carga directa

• **Contras:**

- Afectado por humedad
- Baja precisión y durabilidad comparado con otras opciones

➔ **Bueno para pruebas o sistemas de sujeción no estructurales.**

Cuadro XIII: Cuadro generado por inteligencia artificial con ChatGPT. Fuente: OpenAI (2025).

**✖ Estrategia recomendada**

- **Fase 1:** Usa PETG para fabricar una primera versión funcional, validas sujeción, ajustes y resistencia.
- **Fase 2:** Si notas deformación, fragilidad o fatiga en zonas críticas, cambia **esas partes puntuales a aluminio o nylon con refuerzo.**
- **Fase 3 (opcional):** Si deseas un sistema robusto y a largo plazo, diseña una versión híbrida: PETG + partes críticas en aluminio.

Cuadro XIV: Cuadro generado por inteligencia artificial con ChatGPT. Fuente: OpenAI (2025).

### 3.4 Conclusiones

En este capítulo se identificaron y cuantificaron de manera precisa las necesidades del sistema de sujeción para el Router CNC.

Se definieron especificaciones técnicas en términos de precisión, estabilidad, repetibilidad, facilidad de uso y adaptabilidad.

Se evaluaron los diferentes materiales (MDF, acrílico, maderas duras y blandas), calculando su peso y analizando las fuerzas y vibraciones a las que estaría sometido el dispositivo, con una frecuencia de operación estimada de 16.667 Hz.

El análisis permitió seleccionar el material adecuado para el dispositivo (PETG), considerando su resistencia, durabilidad, costo y facilidad de fabricación mediante impresión 3D.

Asimismo, se detectaron las principales fallas del sistema actual (pandeo, desajustes, sujeción no uniforme) y se establecieron criterios de diseño orientados a eliminar o reducir estas deficiencias.

Este capítulo fue crucial para traducir el problema en parámetros de ingeniería medibles y en requerimientos de diseño claros.

# CAPÍTULO 4

## 4. Metodología de Diseño

### 4.1 Introducción

En el presente capítulo se hablará sobre algunas Metodologías de diseño que se pueden usar para el desarrollo del dispositivo de sujeción, posteriormente se presentara una matriz de comparación para su evaluación y la elección de la metodología ideal para el desarrollo del dispositivo.

#### 4.1.1 Introducción a la Metodología de Diseño

La metodología de diseño es el camino sistemático que permite convertir una necesidad o requerimiento en una solución técnica viable, cumpliendo con criterios de eficiencia, funcionalidad, seguridad y factibilidad de manufactura. Se basa en una secuencia lógica de actividades que ayudan a organizar, evaluar y refinar ideas para garantizar que el producto final responda tanto a las especificaciones iniciales como a las demandas del entorno en que operará.

En el caso del dispositivo de sujeción para una máquina de control numérico (CNC), la adopción de una metodología de diseño es esencial para garantizar que la pieza cumpla con requisitos críticos, como la rigidez para soportar vibraciones, la adaptabilidad para sujetar diferentes espesores de material y la durabilidad en un ambiente industrial caracterizado por polvo, humedad y variaciones de temperatura.

A través de esta metodología, se abordan todas las etapas clave del diseño conceptual: desde la recopilación de requerimientos, la generación de conceptos, la selección de alternativas y la simulación de su comportamiento mecánico, hasta la validación e iteración final del producto. El objetivo es garantizar que cada decisión tomada durante el proceso de diseño respalde la creación de un dispositivo práctico, seguro, económico y fácil de mantener.

Así, la metodología de diseño no solo representa una guía de trabajo, sino una herramienta para transformar ideas en soluciones concretas, maximizando la eficiencia de la etapa de desarrollo y garantizando que el producto final cumpla con las expectativas y necesidades para las que fue concebido.

## 4.2 Tipos de Metodología de Diseño

4.2.1	Diseño según el Modelo en V
<b>¿Qué es?</b>	Es un enfoque estructurado y secuencial utilizado en la ingeniería de productos donde cada fase de diseño conceptual y desarrollo técnico tiene su correspondiente fase de validación y verificación. Se representa en forma de "V" para garantizar que todas las etapas del diseño (requerimientos, diseño, implementación) sean validadas con pruebas específicas antes de cerrar el proyecto.
<b>Proceso de diseño conceptual</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>Definición de requerimientos: Identificación clara de fuerzas, vibraciones, ambiente y operación.</li><li>Diseño de conceptos iniciales para evaluar geometrías generales.</li><li>Desarrollo de detalles para garantizar que cumpla todas las especificaciones.</li><li>Verificación contra requerimientos iniciales.</li></ul>
<b>Herramientas de Modelado y Simulación</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>Modelado: SolidWorks, Fusion 360, CATIA.</li><li>Simulación: ANSYS Mechanical, Abaqus para análisis estructural y vibraciones.</li></ul>
<b>Proceso iterativo de diseño</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>Se desarrolla primero un concepto, se prueba virtualmente, y los resultados retroalimentan el diseño para refinarlo.</li><li>Se hacen varias iteraciones hasta cumplir todas las especificaciones iniciales.</li></ul>
<b>Referencia bibliográfica</b>	Forsberg, K., & Mooz, H. (1998). <i>Visualizing Project Management: Models and Frameworks for Mastering Complex Systems</i> . Wiley.

Tabla VII: Elaboración propia

## 4.2.2 Diseño Basado en Axiomas (Axiomatic Design)

### ¿Qué es?

Metodología propuesta por Suh que busca garantizar que un producto cumpla con requerimientos funcionales independientes, promoviendo soluciones donde cada necesidad del usuario sea satisfecha por un parámetro de diseño específico. Se basa en principios como la independencia de los requerimientos y la minimización de la información para obtener diseños robustos y simples.

### Proceso de diseño conceptual

- Identificación de requerimientos funcionales (FR).
- Definición de parámetros de diseño (DP).
- Asegurar independencia entre FR para que cada requisito funcione por sí solo.
- Generación de conceptos para cada FR.

### Herramientas de Modelado y Simulación

- Modelado: Siemens NX, PTC Creo.
- Simulación: Ansys Mechanical, SIMULIA Abaqus para evaluar cada FR.

### Proceso iterativo de diseño

- Verificación de independencia entre requerimientos tras cada iteración.
- Si un FR falla, el concepto asociado (DP) es redefinido para garantizar independencia.

### Referencia bibliográfica

Suh, N. P. (1990). *The Principles of Design*. Oxford University Press.

Tabla VIII: Elaboración propia

#### 4.2.3

#### Diseño para Manufactura y Ensamble (DFMA)

##### ¿Qué es?

Enfoque que integra criterios de fabricación y ensamble desde la concepción del producto, con el objetivo de simplificarlo, reducir costo y aumentar la calidad. Se basa en evaluar la factibilidad de producir cada componente y montar todas las piezas de manera eficaz y económica.

##### Proceso de diseño conceptual

- Análisis de requerimientos para adaptarse al método de impresión 3D (sobre-ángulos, soportes).
- Desarrollo de conceptos adaptados al método de producción.
- Evaluación de facilidad de montaje y desensamblado.

##### Herramientas de Modelado y Simulación

- Modelado: Autodesk Fusion 360, Onshape.
- Simulación: ANSYS Mechanical, Altair Inspire para evaluar deformaciones.
- Simuladores de impresión 3D: Cura, PrusaSlicer.

##### Proceso iterativo de diseño

- Partir de un concepto inicial y evaluar su factibilidad de impresión.
- Identificación de partes difíciles de fabricar.
- Rediseño para simplificación e iteración basada en pruebas físicas e impresas.

##### Referencia bibliográfica

Boothroyd, G., Dewhurst, P., & Knight, W. A. (2011). *Product Design for Manufacture and Assembly* (3rd ed.). CRC Press.

Tabla IX: Elaboración propia

#### 4.2.4

#### Diseño Asistido por TRIZ

##### ¿Qué es?

La Teoría para la Resolución Inventiva de Problemas (TRIZ) es una metodología basada en principios inventivos para identificar y resolver contradicciones en el diseño. Ayuda a generar soluciones innovadoras al aplicar patrones y principios universales derivados del análisis de patentes y casos exitosos.

##### Proceso de diseño conceptual

- Identificación de contradicciones de diseño (costo vs. rigidez, peso vs. estabilidad).
- Aplicación de principios TRIZ para generar conceptos innovadores.
- Desarrollo de alternativas para evaluar.

##### Herramientas de Modelado y Simulación

- Modelado: Onshape, SolidWorks para representar conceptos.
- Simulación: Ansys Mechanical para evaluar soluciones resultantes.

##### Proceso iterativo de diseño

- Conceptos iniciales basados en principios TRIZ.
- Prototipado y simulación para evaluar.
- Refinamiento para satisfacer criterios de diseño en cada iteración.

##### Referencia bibliográfica

Altshuller, G. (1999). *The Innovation Algorithm: TRIZ, Systematic Innovation and Technical Creativity*. Technical Innovation Center.

Tabla X: Elaboración propia

#### 4.2.5

#### Diseño Centrado en el Usuario (UCD)

##### ¿Qué es?

Metodología que pone al usuario en el centro de todas las decisiones de diseño. Se basa en estudiar necesidades, limitaciones y contextos de uso para garantizar que el producto final sea cómodo, intuitivo y adaptado a la experiencia humana.

##### Proceso de diseño conceptual

- Identificación de necesidades y limitaciones del usuario.
- Generación de conceptos basados en ergonomía y facilidad de operación.
- Modelos básicos para evaluar adaptabilidad y usabilidad.

##### Herramientas de Modelado y Simulación

- Modelado: Fusion 360, Rhino para evaluar geometría.
- Simuladores de interacción humana: Siemens Jack para evaluar ergonomía.

##### Proceso iterativo de diseño

- Prototipado físico para obtener retroalimentación.
- Refinamiento de concepto según pruebas de usuario.
- Iteración hasta garantizar comodidad y seguridad.

##### Referencia bibliográfica

Norman, D. A. (2013). *The Design of Everyday Things: Revised and Expanded Edition*. MIT Press.

Tabla XI: Elaboración propia

#### 4.2.6

#### Diseño para Fiabilidad y Fatiga

##### ¿Qué es?

Metodología basada en garantizar que un producto soporte cargas variables y vibraciones prolongadas en el tiempo sin falla prematura. Considera criterios de vida útil, fatiga de materiales y factores ambientales para crear productos seguros y duraderos.

##### Proceso de diseño conceptual

- Identificación de cargas críticas y vibraciones para evaluar vida útil.
- Desarrollo de conceptos para soportar esfuerzos prolongados.
- Evaluación de criterios de falla por fatiga.

##### Herramientas de Modelado y Simulación

- Modelado: CATIA, PTC Creo para geometría de detalles críticos.
- Simulación de fatiga y vibración: ANSYS Fatigue, nCode DesignLife.

##### Proceso iterativo de diseño

- Partir de una versión inicial.
- Simular para detectar puntos críticos de fatiga.
- Rediseñar para aumentar vida útil y reducir concentradores de estrés.
- Verificación final para garantizar desempeño requerido.

##### Referencia bibliográfica

Stephens, R. I., Fatemi, A., Stephens, R. R., & Fuchs, H. O. (2000). *Metal Fatigue in Engineering* (2nd ed.). Wiley-Interscience.

Tabla XII: Elaboración propia

<b>4.3 Matriz comparativa</b>			
<b>Metodología</b>	<b>Mejor para...</b>	<b>Beneficio clave</b>	<b>Etapa recomendada</b>
<b>Modelo en V</b>	Proyectos con requerimientos estrictos	Visibilidad clara de requerimientos	Etapa de planificación
<b>Basado en Axiomas</b>	Productos con necesidad de independencia clara	Diseño robusto e independiente	Etapa de concepto
<b>Manufactura y Ensamble</b>	Dispositivos para impresión 3D y montaje	Reducción de costo y tiempo de producción	Etapa de diseño detallado
<b>Asistido por TRIZ</b>	Resolver contradicciones de diseño	Innovación para conflictos críticos	Etapa de concepción avanzada
<b>Centrado en el Usuario</b>	Dispositivos con necesidad de ergonomía	Mayor adaptabilidad y confort	Etapa de concepto/prototipo
<b>Fiabilidad y Fatiga</b>	Dispositivos para operación prolongada	Mayor vida útil y seguridad	Etapa de validación y pruebas finales

Tabla XIII: Elaboración propia

#### **4.4 Elección de la metodología ideal para el diseño del dispositivo de sujeción**

De todas las mencionadas, para un dispositivo de sujeción de Router CNC que:

- Tiene que soportar vibraciones e impactos
- Necesita adaptarse a diferentes espesores de material (5–15 mm)
- Se fabrica en impresión 3D (PETG)
- Es utilizado en ambiente de nave industrial (polvo, humedad)

La opción más adecuada sería metodología de diseño de DFMA que garantiza que el dispositivo sea económico, fácil de producir e imprimir en 3D.

## 4.5 Metodología de Diseño DFMA para el Dispositivo de Sujeción

### 4.5.1 Fases del Diseño DFMA para el Dispositivo de Sujeción

#### a) Análisis de Requerimientos de Diseño y Fabricación

- Identificación de criterios básicos:
  - Espesor de piezas a sujetar (5–15 mm).
  - Ambiente de operación (vibraciones 16.667 Hz, polvo, humedad media).
- Limitaciones de fabricación:
  - Volumen de impresión 3D.
  - Tipos de herramientas disponibles (fresadora, torno, Router, impresora 3D).
- Objetivos de DFMA:
  - Minimizar cantidad de piezas.
  - Simplificación de geometría para impresión en PETG.
  - Reducción de operaciones de montaje.

#### b) Desarrollo de Conceptos DFMA

- Generación de ideas para mecanismos simples y seguros (tornillos rápidos, excéntricos, palancas).
  - Evaluación de conceptos en función de criterios DFMA:
    - Reducción de soportes para impresión.
    - Ensamble con menos elementos de fijación.
1. Dispositivo a 4 puntos de sujeción centrales con tornillos de rosca en cada punto.

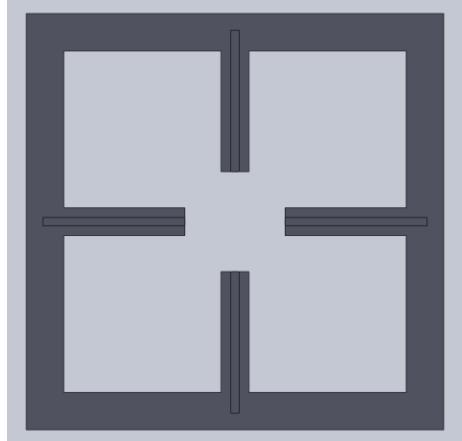


Figura XI: Diseño propio

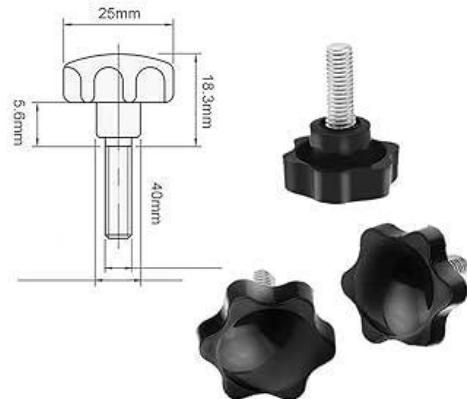


Figura XII: Yenalu. (2025, 17 de julio). *Perilla de apriete M6 x 40 mm: 12 piezas de apriete botón de tornillo de sujeción.* Yenalu.

Al realizar la evaluación se generaron algunas limitantes y restricciones

- El material al ser sujetado del centro limita el área de trabajo.
  - En su mayoría los materiales deben tener una forma cuadrada o simétrica.
  - La sujeción uniforme dependerá del operador, deberá ser ajustada con la misma fuerza en los 4 puntos para que sea uniforme.
  - La fuerza con la que se ajuste no debe ser en exceso para evitar deformaciones o en su contraparte muy deficiente generando juego en la pieza.
2. Dispositivo a 4 puntos de sujeción en las esquinas con tornillos en cada punto.

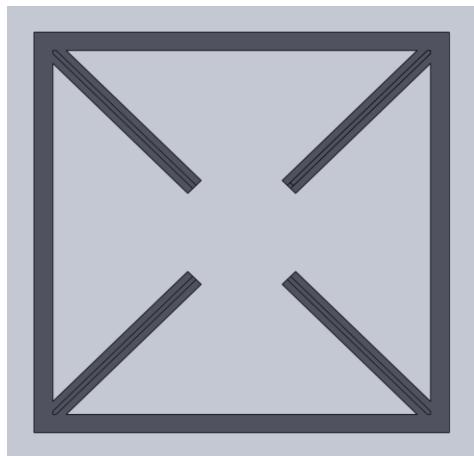


Figura XIII: Diseño propio

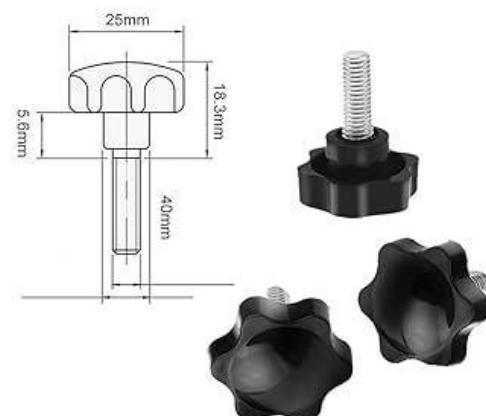


Figura XIV: Yenalu. (2025, 17 de julio). *Perilla de apriete M6 x 40 mm: 12 piezas de apriete botón de tornillo de sujeción.* Yenalu.

Al realizar la evaluación se eliminó una limitante, pero continuaba con ciertas restricciones

- El material al ser sujetado de las esquinas permite trabajar en gran parte del área de trabajo.
- En su mayoría los materiales deben tener una forma cuadrada o simétrica.
- La sujeción uniforme dependerá del operador, deberá ser ajustada con la misma fuerza en los 4 puntos para que sea uniforme.
- La fuerza con la que se ajuste no debe ser en exceso para evitar deformaciones o en su contraparte muy deficiente generando juego en la pieza.

3. Dispositivo a 8 puntos de sujeción en las esquinas con tornillos en cada punto.

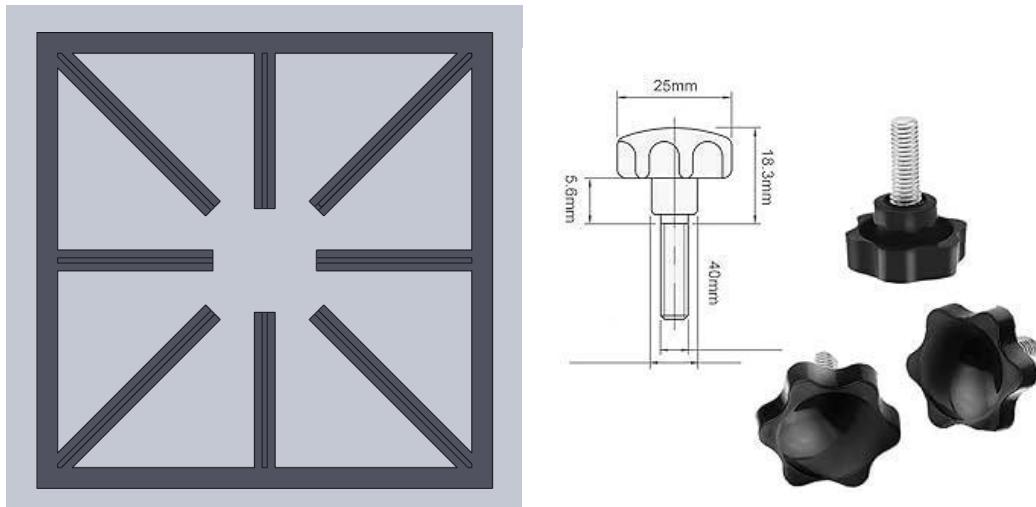


Figura XV: Diseño propio

Figura XVI: Yenalu. (2025, 17 de julio).

Perilla de apriete M6 x 40 mm: 12 piezas de apriete botón de tornillo de sujeción. Yenalu.

Al realizar la evaluación se determinó:

- El material al ser sujetado de diferentes ángulos y mayor número de puntos es más estable.
- No es necesario que los materiales sean cuadrados o simétricos, ya que se cuenta con mayor porcentaje de sujeción.
- La sujeción uniforme dependerá del operador, deberá ser ajustada con la misma fuerza en los 8 puntos para que sea uniforme.

- La fuerza con la que se ajuste no debe ser en exceso para evitar deformaciones o en su contraparte muy deficiente generando juego en la pieza.
- Al tener que ajustar 8 puntos será mas tardado para el operador.

#### 4. Dispositivo a 4 puntos rotatorio con abrazaderas antideslizantes

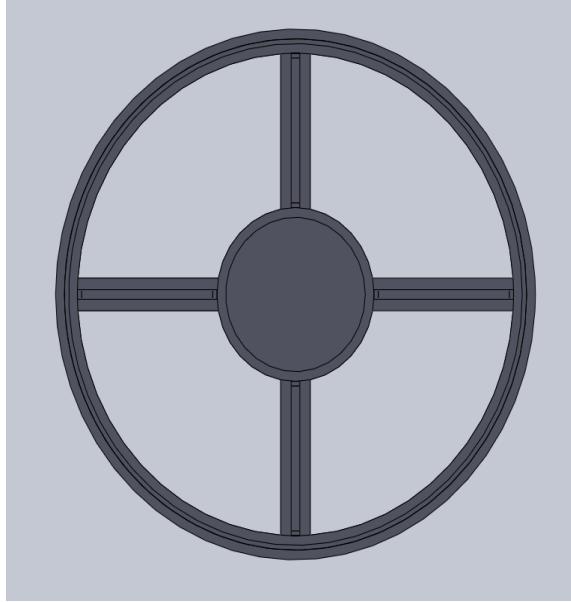


Figura XVII: Diseño propio

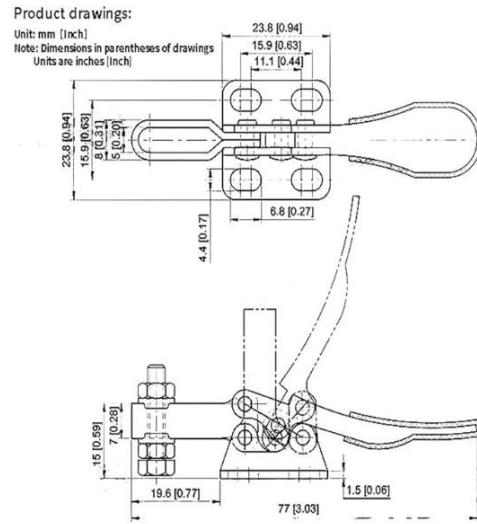


Figura XVIII: MIKMAYTOO. (2024, 17 de mayo). Abrazadera antideslizantes GH-201: 8 piezas de liberación rápida.

Al realizar la evaluación se determinó:

- El material puede ser sujetado de diferentes ángulos.
- No es necesario que los materiales sean cuadrados o simétricos, ya que se cuenta con mayor porcentaje de sujeción.
- La sujeción uniforme dependerá del espesor del material, al sujetarlo con abrazaderas el ajuste es uniforme.
- La fuerza con la que se ajuste la determinara la abrazadera.
- Al tener abrazaderas nos permite que el ajuste sea rápido y eficiente.

#### **4.6 Modelado de la propuesta de diseño: Construcción de prototipos funcionales para validación preliminar.**

Se realiza el diseño en SolidWorks del dispositivo a 4 puntos rotatorio el cual se compone de la base, los rieles, el soporte del Clamp y el Clamp. (DETALLADO ANEXO #)

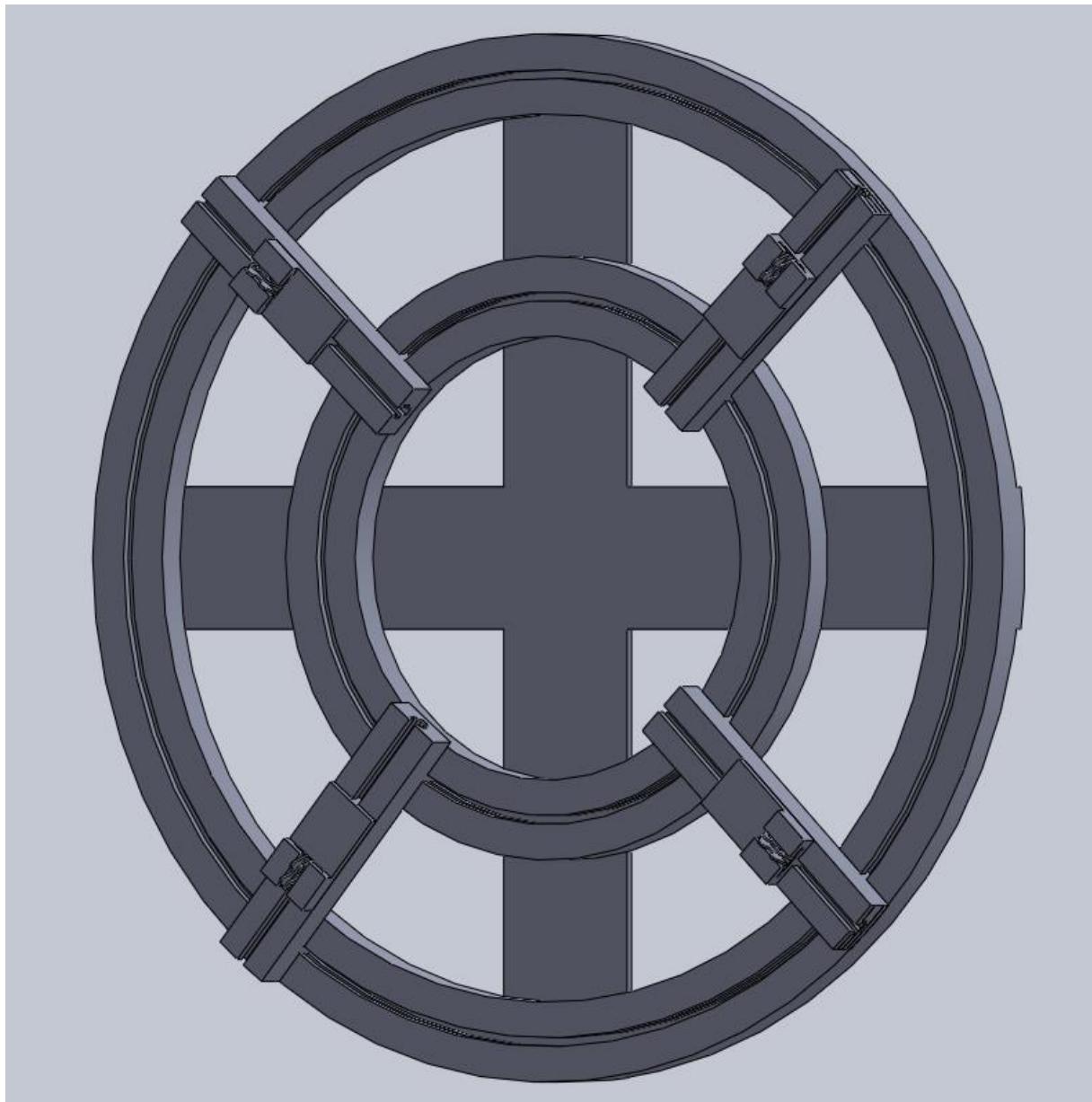


Figura XIX: Diseño propio

El dispositivo nos permite sujeción de materiales desde 10cm x 10cm:  
(DETALLADO ANEXO #).

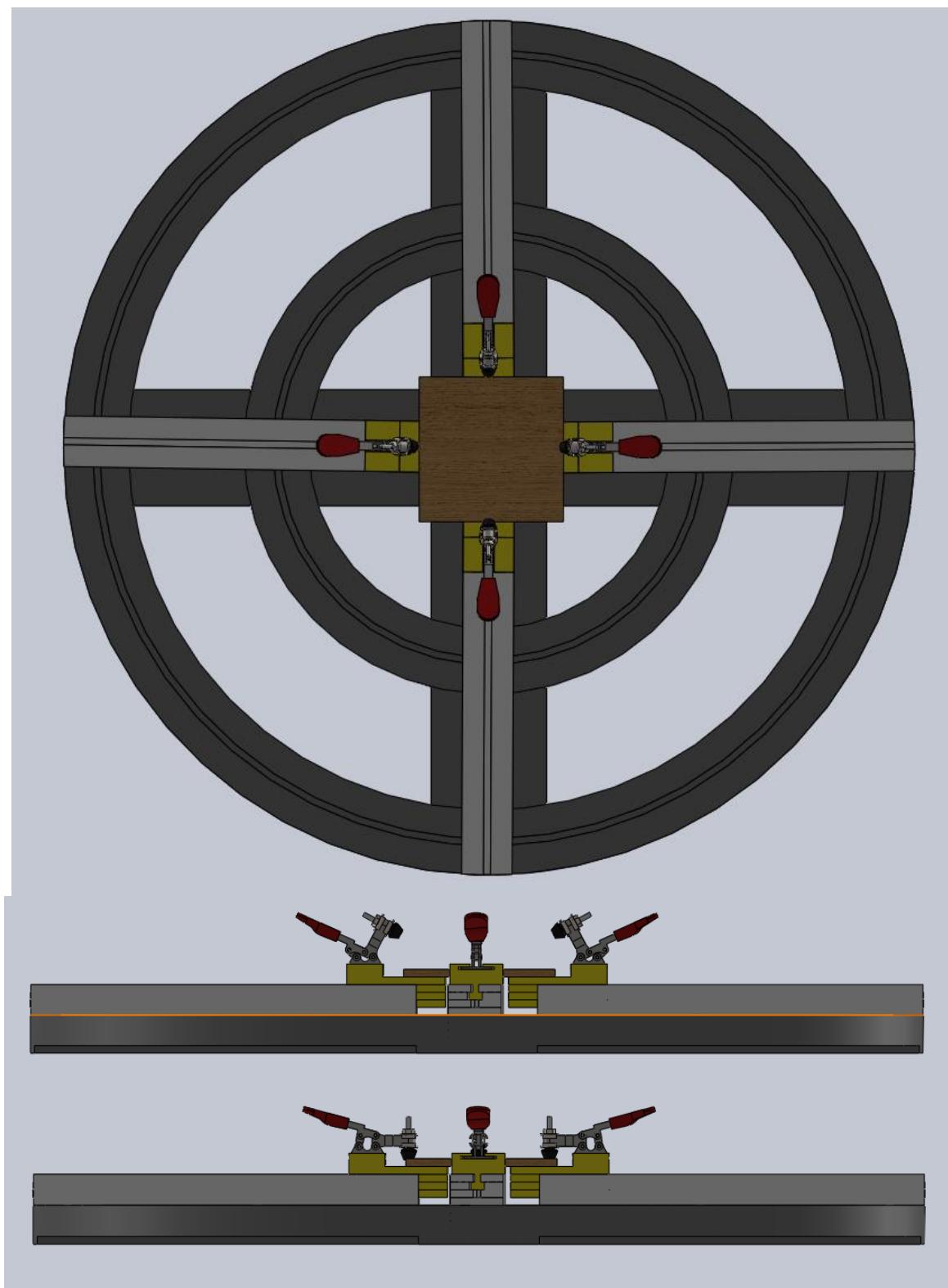


Figura XX: Diseño propio

El dispositivo nos permite sujeción de materiales hasta 52cm x 52cm:  
(DETALLADO ANEXO #).

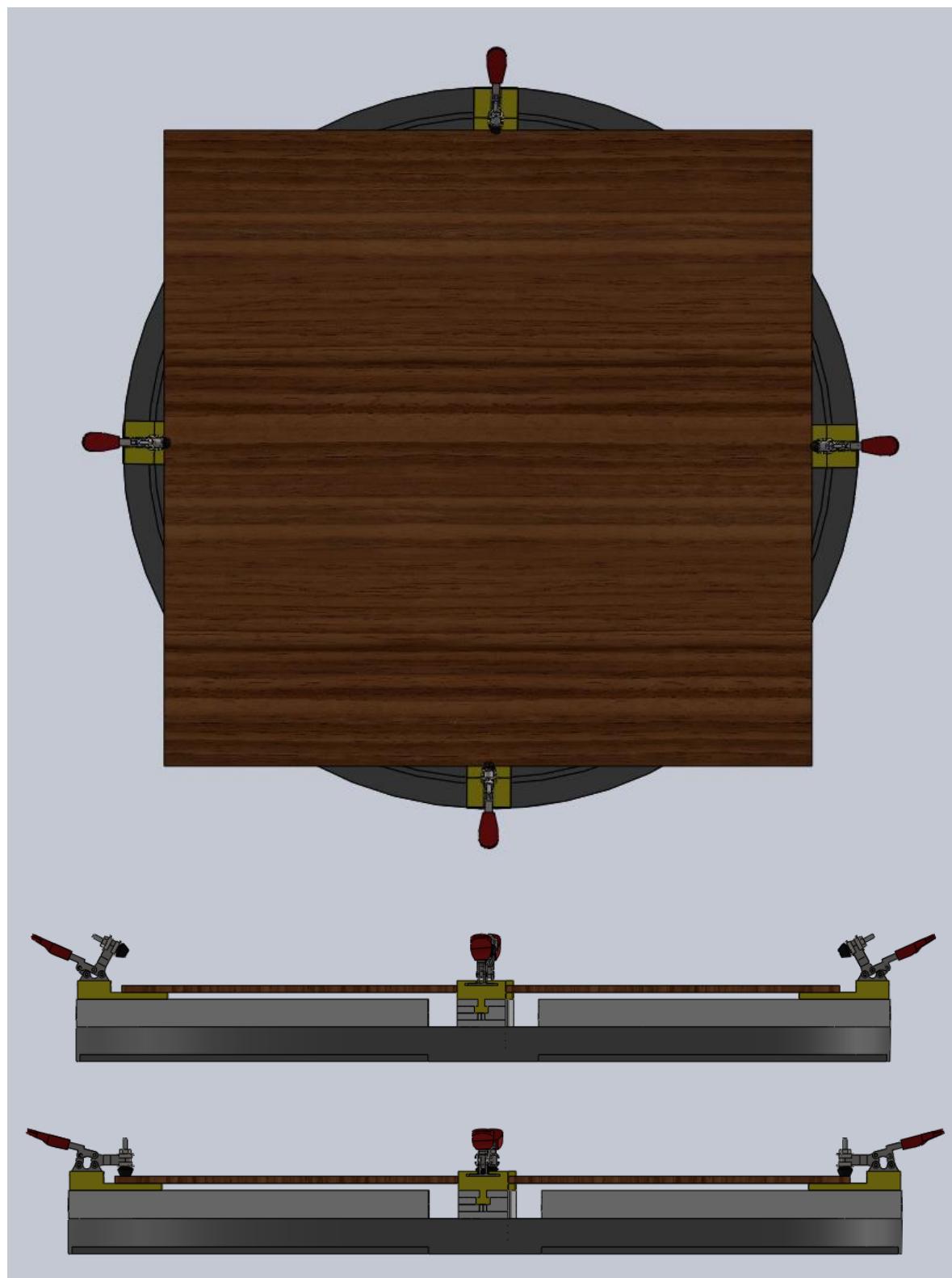


Figura XXI: Diseño propio

Sujeción a la mesa de trabajo del Router (DETALLADO ANEXO #).

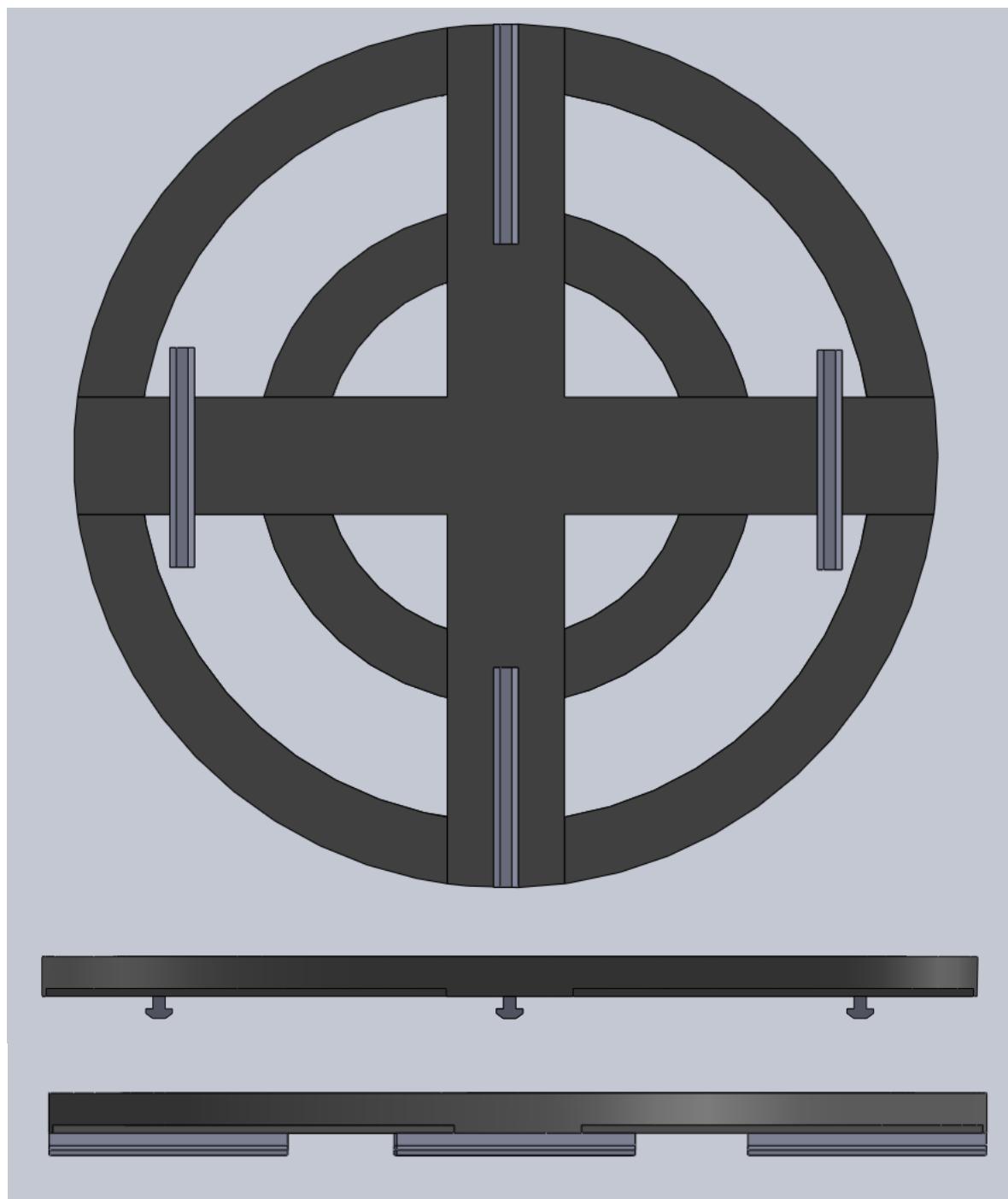


Figura XXII: Diseño propio

## 4.7 CONCLUSIONES

La revisión y comparación de diferentes metodologías de diseño permitió seleccionar la más adecuada para el desarrollo del dispositivo: DFMA (Design for Manufacturing and Assembly).

Esta metodología facilitó la simplificación de piezas, redujo el número de componentes, optimizó el tiempo de fabricación y garantizó que el dispositivo fuera fácil de ensamblar, mantener y operar.

El uso de herramientas de modelado 3D (SolidWorks) y de simulación mecánica permitió validar virtualmente la resistencia estructural y la respuesta ante cargas de sujeción, antes de proceder con la fabricación.

Este enfoque iterativo aseguró que el diseño final cumpliera con los requisitos de rigidez, adaptabilidad y ergonomía, además de reducir el riesgo de fallos en la etapa de implementación.

## CAPÍTULO 5

### 5. Propuesta de diseño del dispositivo

#### 5.1 Planos de las piezas

##### 5.1.1 Riel (DETALLADO ANEXO #)

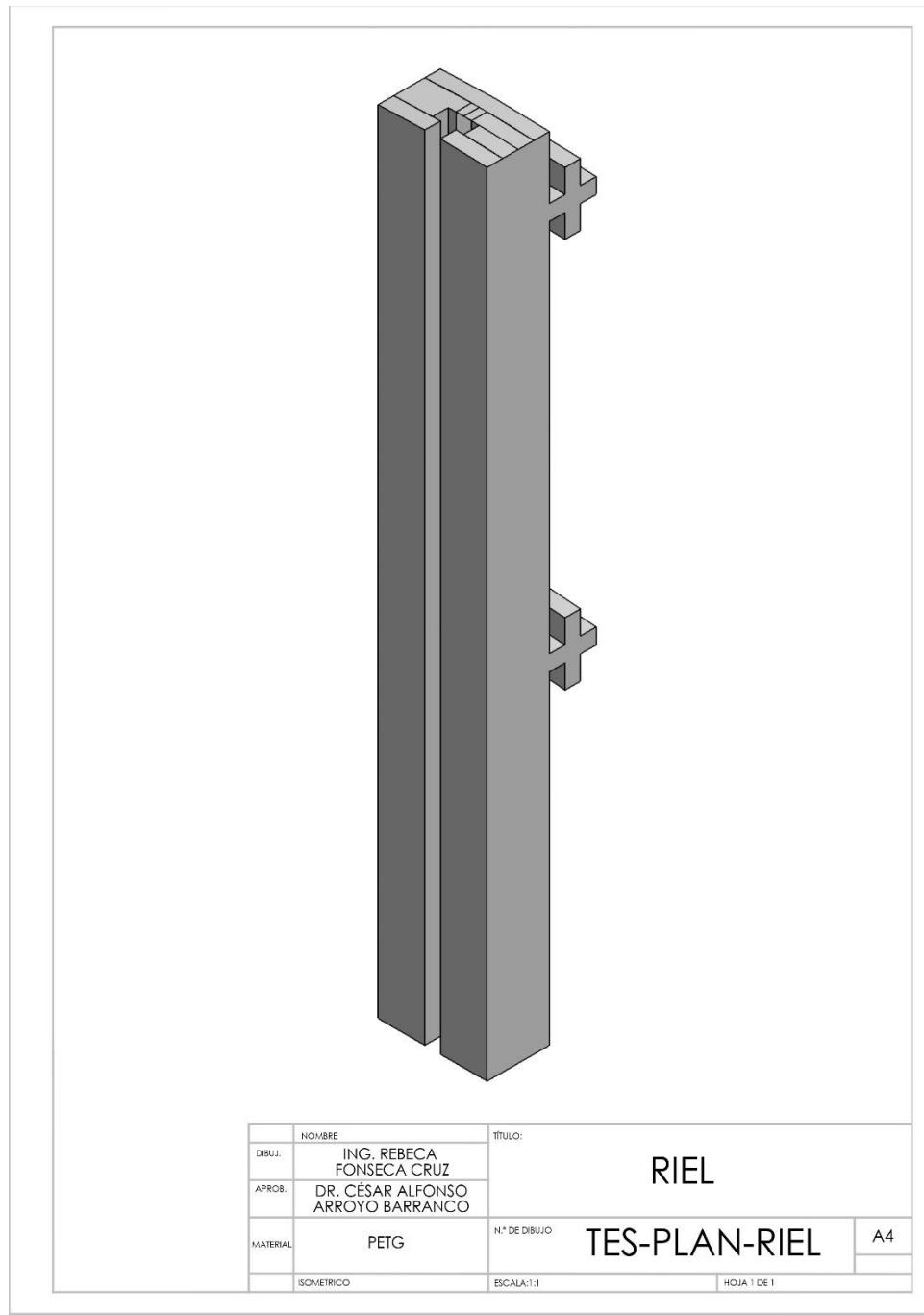


Figura XXIII: Diseño propio

### 5.1.2 Base Clamp

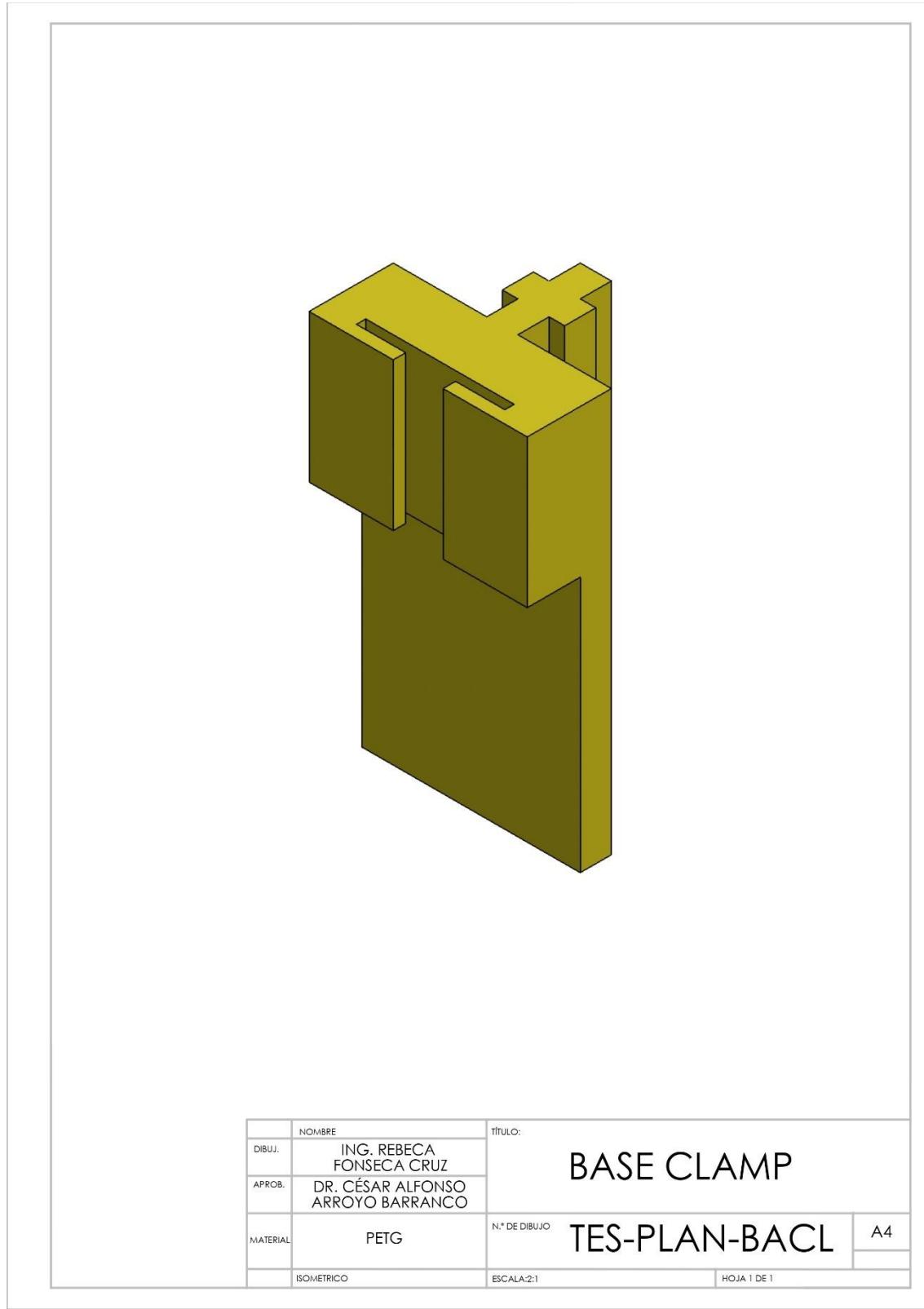


Figura XXIV: Diseño propio

### 5.1.3 Base

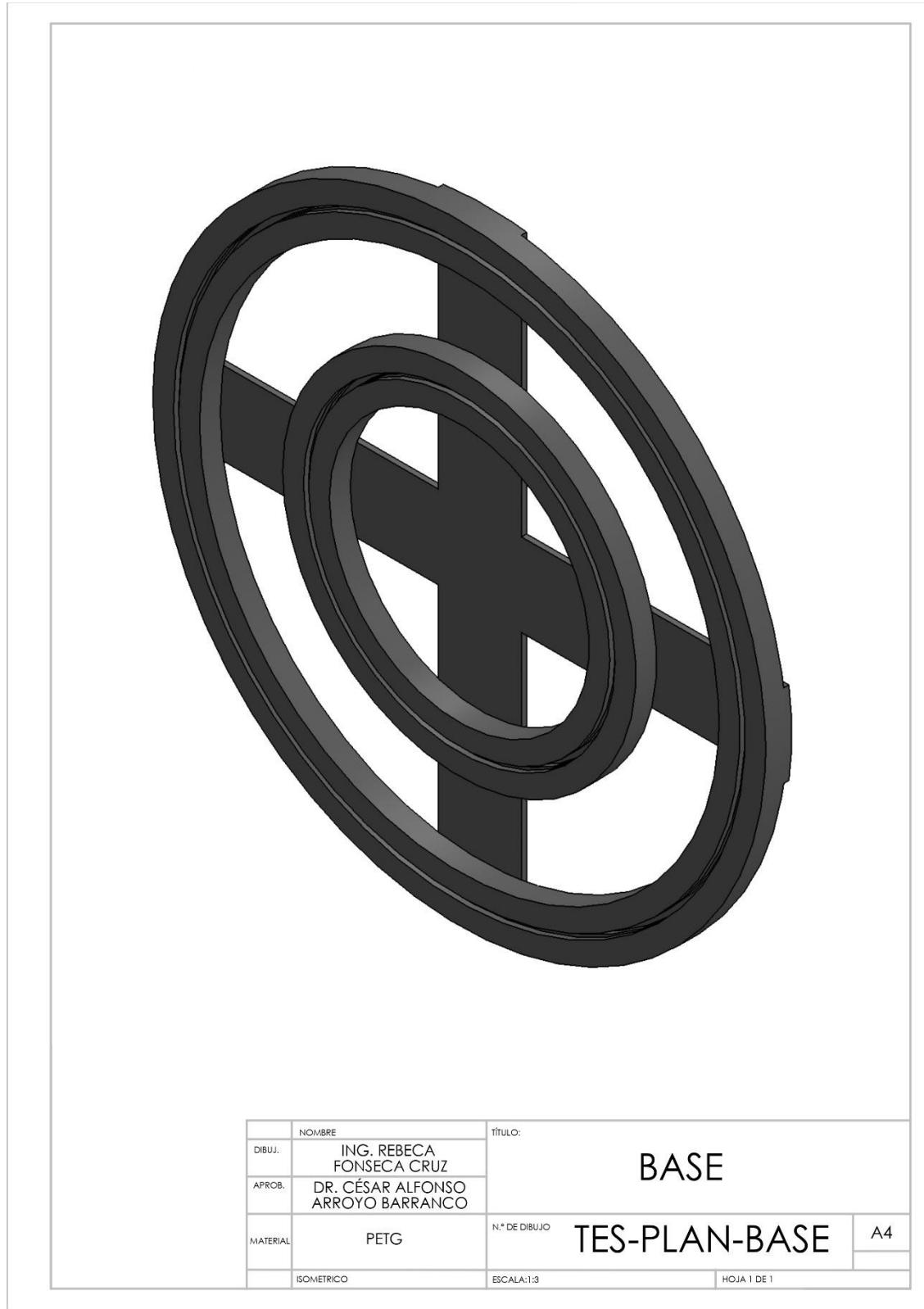


Figura XXV: Diseño propio

## 5.2 Despiece y lista de partes.

N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1	BASE	Fabricada con material PETG	1
2	RIEL	Fabricada con material PTG	4
3	BASE CLAMP	Fabricada con material PETG	4
4	CLAMP	Adquirido con proveedor	4

The diagram illustrates the exploded view of the assembly. It shows the base (1) as a large black circular frame. Four rails (2) are attached to the base, forming a rectangular frame. Four clamp bases (3) are attached to the rails. Four clamps (4) are shown separately, one with a red handle and one with a yellow handle, used to secure the clamp bases to the rails.

DIBUJ.	NOMBRE	TÍTULO:
APROB.	DR. CÉSAR ALFONSO ARROYO BARRANCO	DESPIECE
MATERIAL	PETG	N.º DE DIBUJO
	ISOMÉTRICO	ESCALA: 1:5
		HOJA 1 DE 2
		A4

Figura XXVI: Diseño propio

### 5.3 Ensamblaje

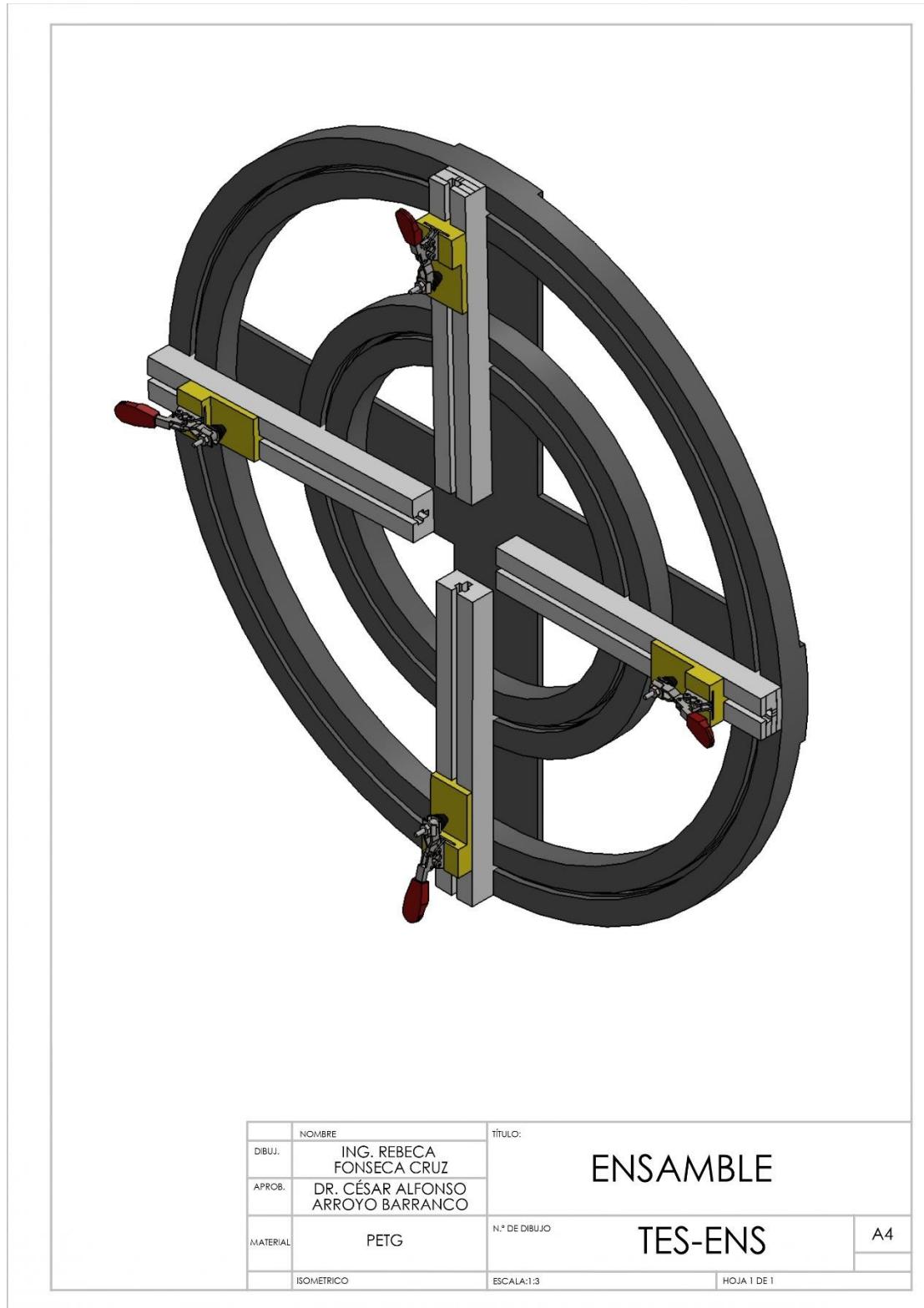


Figura XXVII: Diseño propio

## 5.4 Conclusiones

La propuesta de diseño resultante cumplió con los objetivos planteados al inicio del proyecto. El dispositivo es capaz de sujetar materiales de diferentes espesores (5 mm a 15 mm) de manera uniforme y rápida, sin generar deformaciones ni desajustes.

La fabricación mediante impresión 3D en PETG demostró ser una solución de bajo costo, accesible para el laboratorio y con un nivel de resistencia suficiente para soportar las vibraciones durante el maquinado.

El ensamblaje y el uso del dispositivo son intuitivos, lo que permite que los estudiantes reduzcan significativamente el tiempo de preparación de las piezas y dediquen mayor parte de la clase al maquinado.

De esta manera, el proyecto no solo resolvió la problemática inicial, sino que también contribuyó al aprendizaje práctico de los estudiantes y sentó las bases para futuras mejoras y adaptaciones del sistema de sujeción en el laboratorio.

# Conclusiones y Recomendaciones

## Conclusiones

El desarrollo de este proyecto permitió resolver la problemática planteada en torno a la sujeción de materiales en el Router CNC del laboratorio de manufactura, logrando cumplir con el objetivo general de diseñar, desarrollar y proponer un dispositivo de sujeción eficiente, seguro y adaptable.

En primer lugar, se constató que los dispositivos de sujeción existentes en el laboratorio resultaban insuficientes para garantizar un maquinado preciso, ya que presentaban problemas de desajuste, inclinación y variaciones de presión, lo que provocaba defectos en las piezas como rebabas y despostillados. Mediante el análisis de los requerimientos técnicos, se identificaron los parámetros críticos de precisión, estabilidad y adaptabilidad que debía cumplir el nuevo dispositivo, así como las condiciones ambientales en las que operaría (humedad, temperatura, vibraciones).

El diseño propuesto, basado en la metodología DFMA (Diseño para Manufactura y Ensamble), demostró ser una solución viable al considerar desde el inicio criterios de facilidad de fabricación, mantenimiento y ensamblaje. Esto permitió simplificar las piezas, reducir costos de producción y minimizar los tiempos de montaje en la máquina. Además, la integración de herramientas CAD/CAM fue fundamental para garantizar la precisión dimensional y optimizar el proceso de fabricación mediante impresión 3D en material PETG, seleccionado por su resistencia mecánica, durabilidad y comportamiento frente a las vibraciones calculadas.

Se comprobó que el dispositivo propuesto ofrece ventajas significativas respecto al sistema de sujeción tradicional T-Slot, al permitir un ajuste más rápido y uniforme en distintos espesores de materiales como MDF, acrílico y maderas duras o blandas. Esto se traduce en un mejor aprovechamiento del tiempo de clase, ya que los estudiantes pueden dedicar más tiempo a la ejecución de sus maquinados y menos a la preparación de la pieza, impactando positivamente en su aprendizaje y en la calidad de los productos obtenidos.

Finalmente, este proyecto representa un aporte importante para el laboratorio de manufactura, ya que no solo resuelve un problema técnico, sino que también genera un material didáctico valioso para futuras generaciones de estudiantes, quienes podrán analizar el proceso completo de diseño, simulación, fabricación y prueba de un sistema de sujeción, reforzando los conocimientos adquiridos en las asignaturas de CAD/CAM y diseño de ingeniería. Asimismo, el trabajo establece una base sólida para futuras mejoras e innovaciones en sistemas de sujeción adaptados a entornos académicos e industriales.

## **Recomendaciones para el laboratorio de manufactura: Uso y mantenimiento del dispositivo.**

- Documentación y estandarización: Elaborar un manual de uso y mantenimiento del dispositivo para que futuros usuarios puedan operarlo de manera correcta y segura.
- Monitoreo y mejora continua: Implementar un registro de incidencias o fallos para retroalimentar el diseño y realizar mejoras en futuras versiones.
- Pruebas con otros materiales: Extender las pruebas del dispositivo a otros materiales (metales blandos, plásticos de ingeniería) para validar su versatilidad.
- Optimización de diseño: Explorar modificaciones en la geometría y el peso de las piezas para reducir el tiempo de impresión y el consumo de filamento.
- Escalabilidad: Considerar el diseño modular para poder adaptar el sistema a Routers CNC de diferentes dimensiones y capacidades en el futuro.
- Seguridad y ergonomía: Colocar indicadores visuales de presión o torque recomendado para evitar sobreajustes y deformaciones del material.

## Referencias Bibliográficas

- Hsueh, M.-H., Lai, C.-J., Wang, S.-H., Zeng, Y.-S., Hsieh, C.-H., Pan, C.-Y., & Huang, W.-C. (2021). *Effect of Printing Parameters on the Thermal and Mechanical Properties of 3D-Printed PLA and PETG, Using Fused Deposition Modeling*. Polymers, 13(11), 1758. <https://doi.org/10.3390/polym13111758> (MDPI)
- Cuenca Pérez, D. E., Zumba Novay, E. G., Castillo Mazón, H. P., & Quinchuela Llamuca, J. P. (2024). *Elasticity and plasticity of PLA, PETG, ABS polymers for printing automotive parts*. Espirales Revista Multidisciplinaria De investigación, 8(51). <https://doi.org/10.31876/er.v8i4.875> (revistaespirales.com)
- Plamadiala, I., Croitoru, C., & Pop, M. A. (n.d.). *Mechanical Properties of PETG-Based Materials Destined for 3D-Printing*. Acta Technica Napocensis – Series: APPLIED MATHEMATICS, MECHANICS, and ENGINEERING. ([atna-mam.utcluj.ro](http://atna-mam.utcluj.ro))
- Sa'ude, N., & Ab Latib, N. A. N. (2024). *A Study On the Mechanical Properties of Pla, Abs and Petg Filament Printed by Various Type of Infill Design Using 3D Printing Machine*. Research Progress in Mechanical and Manufacturing Engineering, 4(2), 162–167. <https://publisher.uthm.edu.my/periodicals/index.php/rpmme/article/view/11492> (publisher.uthm.edu.my)
- Ekrem, M., & Yılmaz, M. (2025). *Mechanical Properties of PLA, PETG, and ABS Samples Printed on a High-Speed 3D Printer*. Necmettin Erbakan University Journal of Science and Engineering, 7(1), 161–174. ([dergipark.org.tr](http://dergipark.org.tr))
- Ammar, S., Ben Fraj, B., Hentati, H., Saouab, A., Ben Amar, M., & Haddar, M. (2024). *Mechanical performances of printed carbon fiber-reinforced PLA and PETG composites*. [Journal details – SAGE]. ([SAGE Journals](http://journals.sagepub.com))
- Schneevogt, H., Stelzner, K., Yilmaz, B. E., Abali, B. E., Klunker, A., & Völlmecke, C. (2021). *Sustainability in additive manufacturing: Exploring the mechanical potential of recycled PET filaments*. [SAGE Journal]. ([SAGE Journals](http://journals.sagepub.com))

- Guessasma, S., Belhabib, S., & Nouri, H. (2019). *Printability and tensile performance of 3D printed polyethylene terephthalate glycol using fused deposition modelling*. Polymers, 11(7), 1220.  
<https://doi.org/10.3390/polym11071220> (Frontiers)
- Hanon, M. M., Marcisz, R., & Zsidai, L. (2019). *Anisotropy evaluation of different raster directions, spatial orientations, and fill percentage of 3D printed PETG tensile test specimens*. Key Engineering Materials, 821, 167–173. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM.821.167> (Frontiers)
- Hassan, M. H., Omar, A. M., Daskalakis, E., Hou, Y., Huang, B., Strashnov, I., ... others. (2020). *The potential of polyethylene terephthalate glycol as biomaterial for bone tissue engineering*. Polymers, 12(12), 3045.  
<https://doi.org/10.3390/polym12123045> (Frontiers)
- Subbarao, C. V., Srinivasa Reddy, Y., Inturi, V., & Indra Reddy, M. (2021). *Dynamic Mechanical Analysis of 3D Printed PETG Material*. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 1057, 012031.  
<https://doi.org/10.1088/1757-899X/1057/1/012031> (iopscience.iop.org)
- Livesu, M., Ellero, S., Martínez, J., Lefebvre, S., & Attene, M. (2017). *From 3D Models to 3D Prints: An Overview of the Processing Pipeline*. arXiv preprint arXiv:1705.03811. ([arXiv](#))
- McIlroy, C., & Olmsted, P. (2017). *Disentanglement Effects on the Welding Behaviour of Polymer Melts during the Fused-Filament-Fabrication Method for Additive Manufacturing*. arXiv preprint arXiv:1703.09295. ([arXiv](#))
- American Micro Inc. (2023). *The evolution of CNC machines*. American Micro. <https://www.americanmicroinc.com/resources/evolution-cnc-machines/>
- Xometry. (2022). *The history of CNC machining*. Xometry Resources. <https://www.xometry.com/resources/machining/cnc-machining-history/>
- Aits-TPT. (2023). *Introduction to CAD/CAM* [Lecture notes]. AITS Tirupati. <https://aits-tpt.edu.in/wp-content/uploads/2023/08/CADCAM-min.pdf>
- Bok, S. H. (1990). Computer-aided design and computer-aided manufacture (CAD/CAM). *The International Journal of Prosthodontics*, 3(3), 307-313.

<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/2260827/>

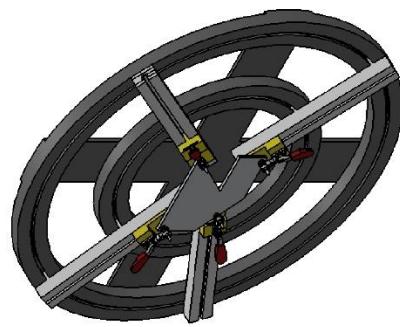
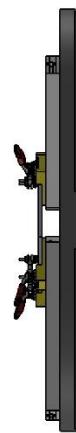
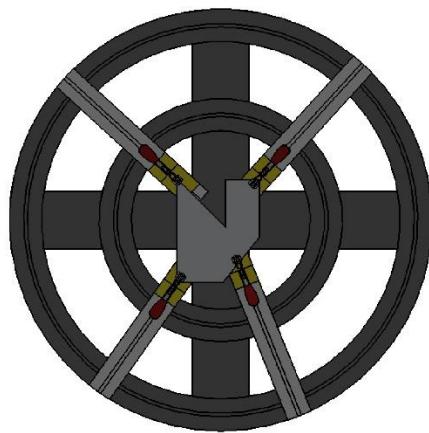
- Sirotenko, A. N., & Partko, S. A. (2020). CAD/CAE/CAM when teaching the discipline “Fundamentals of machine design.” *Journal of Physics: Conference Series*, 1691, 012026. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1691/1/012026>
- Newaz, A. A. H., & Jahan, R. (2025). *Design and implementation of fixtures for milling, shaping and drilling operations*. arXiv. <https://arxiv.org/abs/2503.06774>
- PAWS Workholding. (2023, mayo 15). *A brief history of CNC workholding*. PAWS Workholding. <https://pawsworkholding.com/2023/05/15/a-brief-history-of-cnc-workholding/>
- Boothroyd, G., & Knight, W. A. (2005). *Fundamentals of machining and machine tools* (3rd ed.). CRC Press.
- Shigley, J. E., Mischke, C. R., Budynas, R. G., & Nisbett, J. K. (2015). *Mechanical engineering design* (10th ed.). McGraw-Hill Education.
- International Organization for Standardization. (2010). *ISO 12100:2010 – Safety of machinery — General principles for design — Risk assessment and risk reduction*. ISO. <https://www.iso.org/standard/51528.html>
- Kathiresan, R. (2012). Safety and risk assessment for machine tools. *Journal of Manufacturing Systems*, 31(4), 440-450. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2012.05.004>
- García, L., & Torres, M. (2018). *Fundamentos del control numérico computarizado (CNC)*. Editorial Alfaomega.
- Rodríguez, P., & Sánchez, D. (2020). Análisis estructural y funcional de routers CNC de tres ejes. *Revista de Ingeniería Mecánica y Tecnología Aplicada*, 15(2), 45–53.
- ASTM International. (2019). *Standard terminology for additive manufacturing technologies (ASTM F2792-12a)*. ASTM International.
- Beer, F. P., & Johnston, E. R. (2013). *Mechanics of materials*. McGraw-Hill Education.

- Boothroyd, G., Dewhurst, P., & Knight, W. A. (2010). *Product design for manufacture and assembly*. CRC Press.
- Budynas, R. G., & Nisbett, J. K. (2015). *Shigley's mechanical engineering design*. McGraw-Hill Education.
- Callister, W. D., & Rethwisch, D. G. (2018). *Materials science and engineering: An introduction*. Wiley.
- Groover, M. P. (2020). *Fundamentals of modern manufacturing: Materials, processes, and systems*. Wiley.
- Juvinall, R. C., & Marshek, K. M. (2017). *Fundamentals of machine component design*. Wiley.
- Kalpakjian, S., & Schmid, S. R. (2017). *Manufacturing engineering and technology*. Pearson.
- Montgomery, D. C. (2017). *Design and analysis of experiments*. Wiley.
- Oberg, E., Jones, F. D., Horton, H. L., Ryffel, H. H., & McCauley, C. J. (2016). *Machinery's handbook*. Industrial Press.
- Pahl, G., Beitz, W., Feldhusen, J., & Grote, K. H. (2007). *Engineering design: A systematic approach*. Springer.
- Zeid, I. (2014). *Mastering CAD/CAM*. McGraw-Hill Education.
- TecnologíasCNC. (2023, Agosto 15). *Integración de routers CNC en la Industria 4.0* [Vídeo]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=aiYa1b1NbE0>
- Victor Garcia (2014, Mayo 05). Como dibujar engranes en Mastercam [Vídeo]. Youtube <https://www.youtube.com/watch?v=LRRQtVTxZ7Y>
- CNC Program (2021, Octubre 29). MASTERCAM X5 (Cómo generar código G) [Vídeo]. Youtube <https://www.youtube.com/watch?v=GK8St--0OL0>

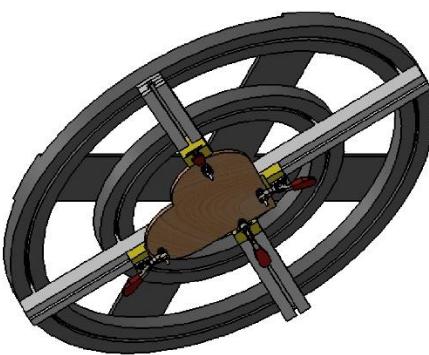
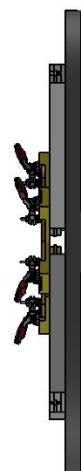
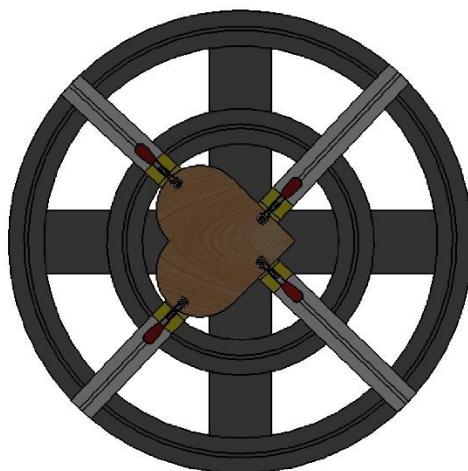
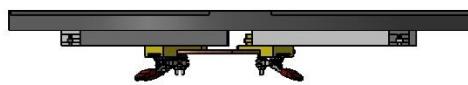
# **ANEXOS**

## **ANEXOS A: Recomendación para sujeción de materiales con distintas formas**

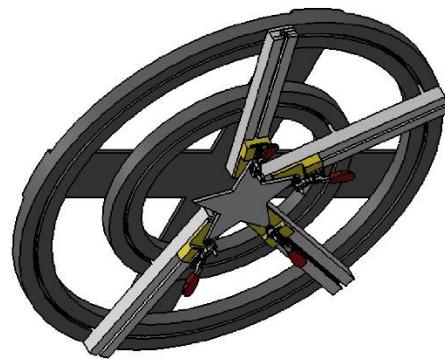
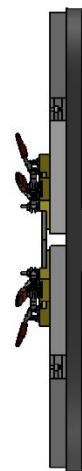
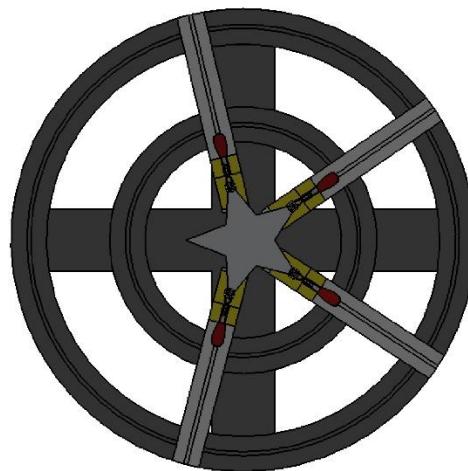
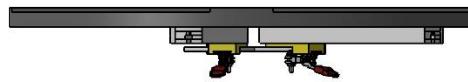
### **I. ABSTRACTO**



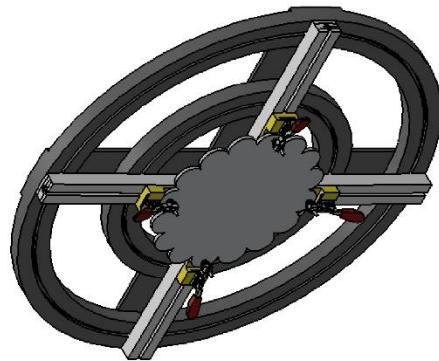
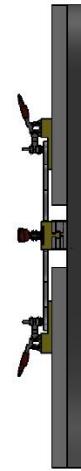
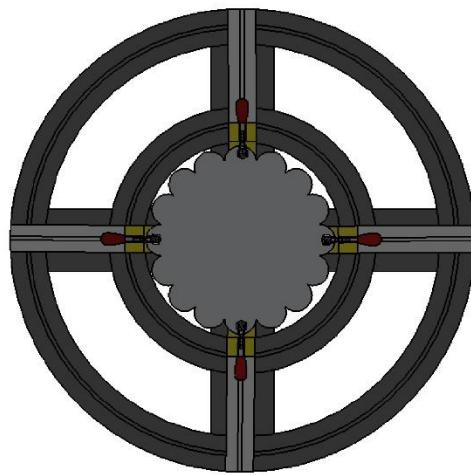
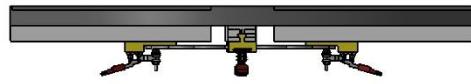
## II. CORAZON



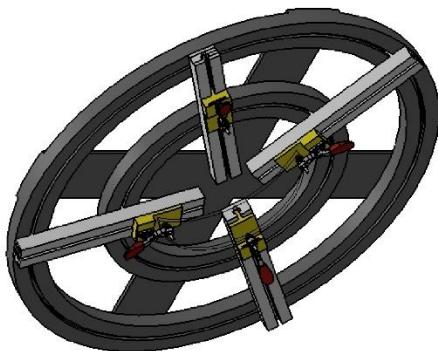
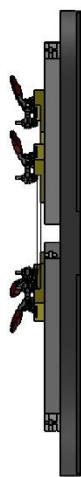
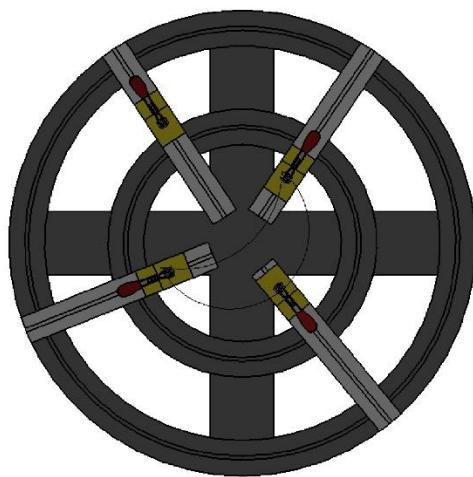
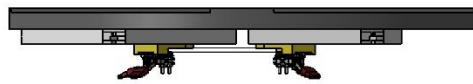
### III. ESTRELLA



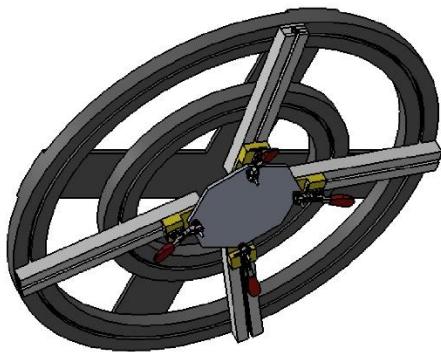
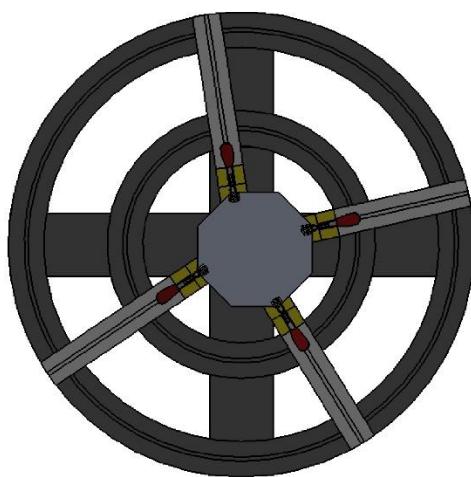
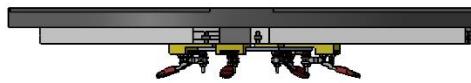
#### IV. FLOR



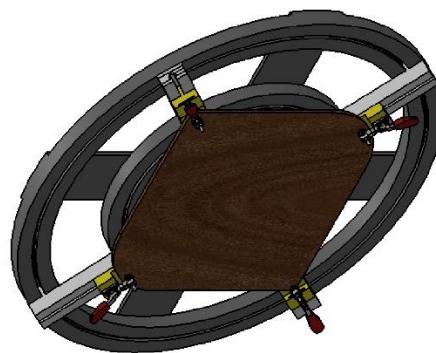
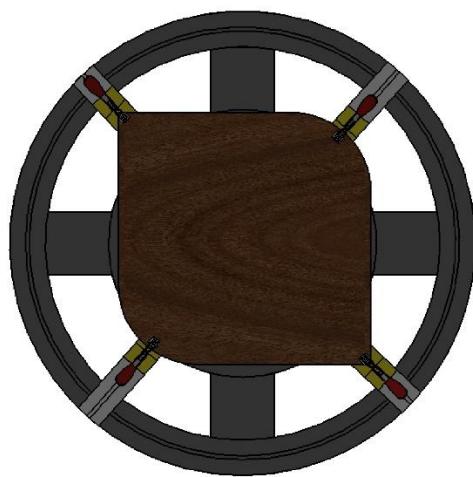
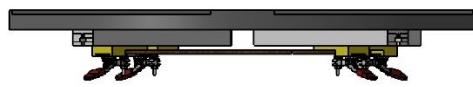
V. LUNA



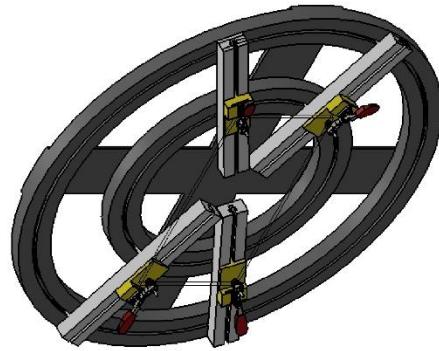
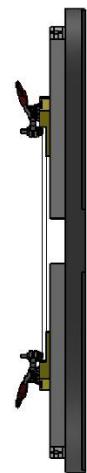
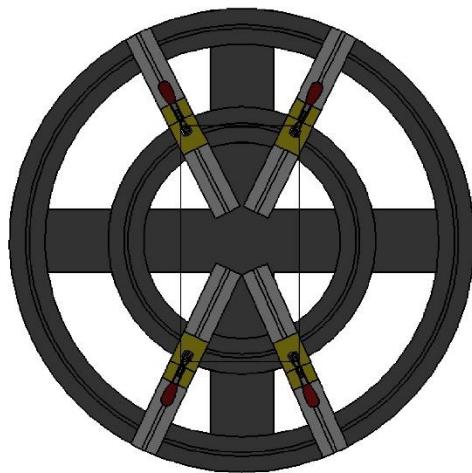
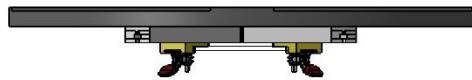
## VI. OCTAGONO



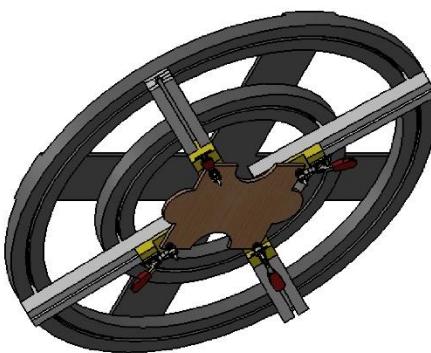
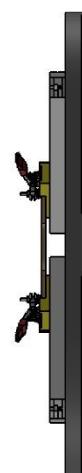
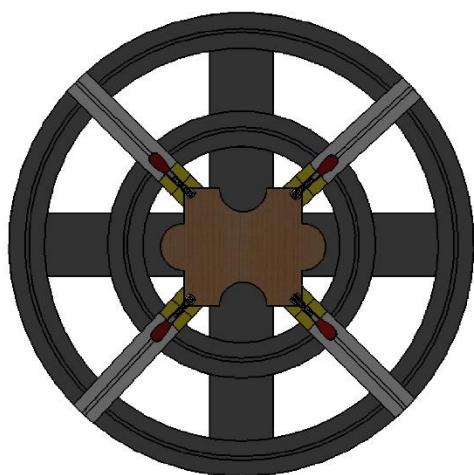
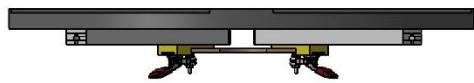
## VII. RECONOCIMIENTO



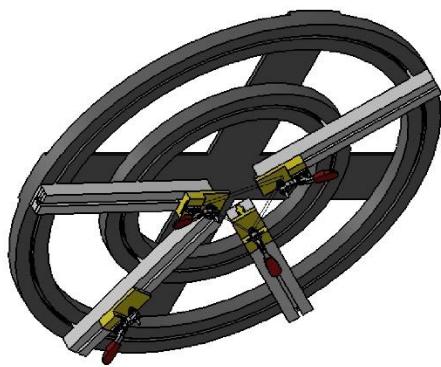
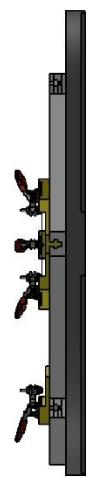
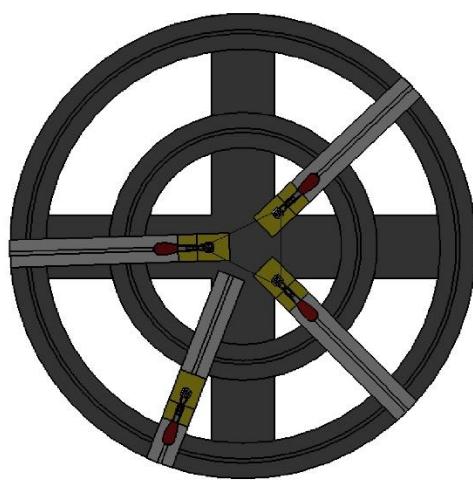
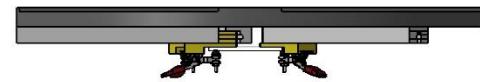
## VIII. RECTANGULO



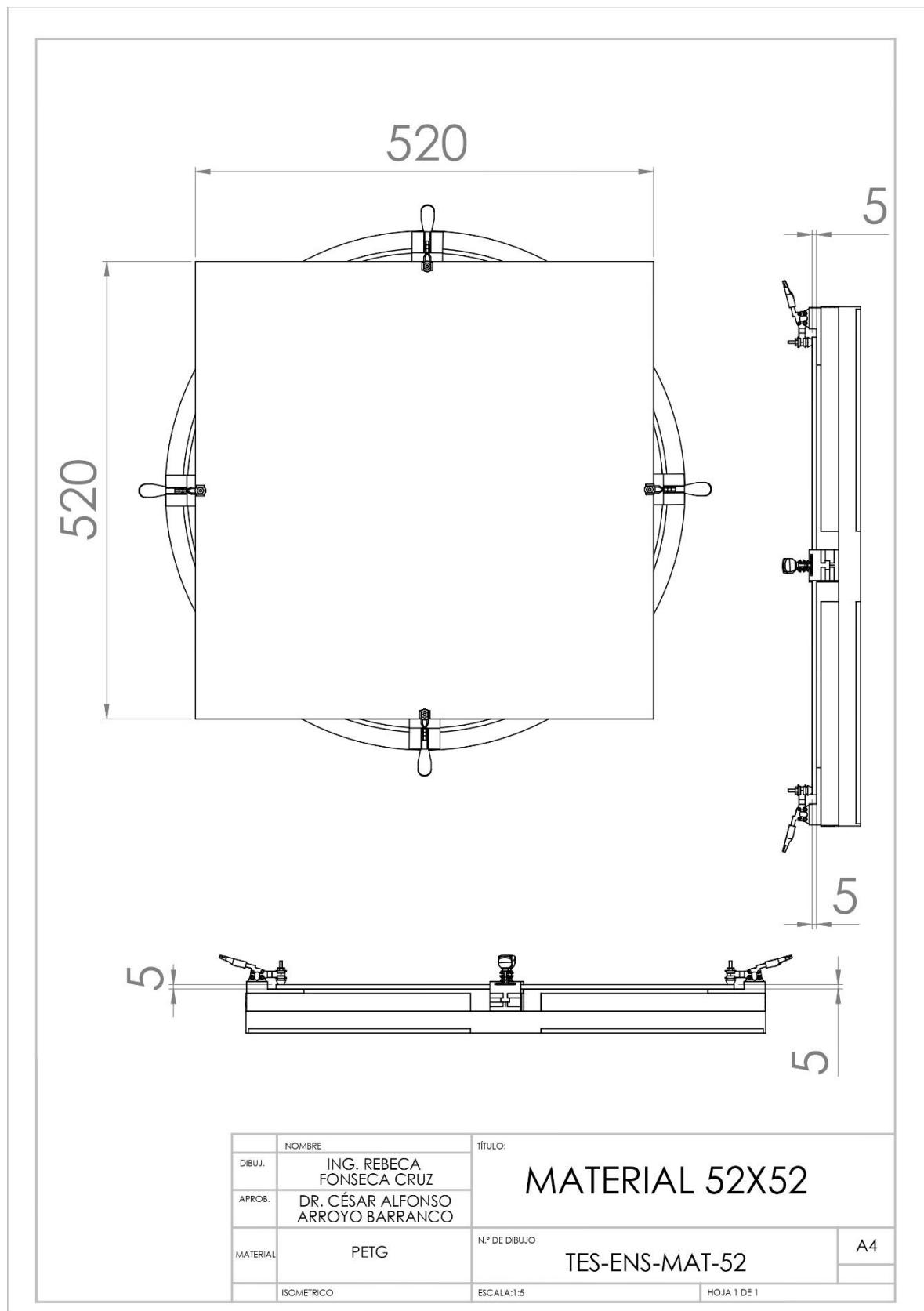
## IX. ROMPECABEZAS

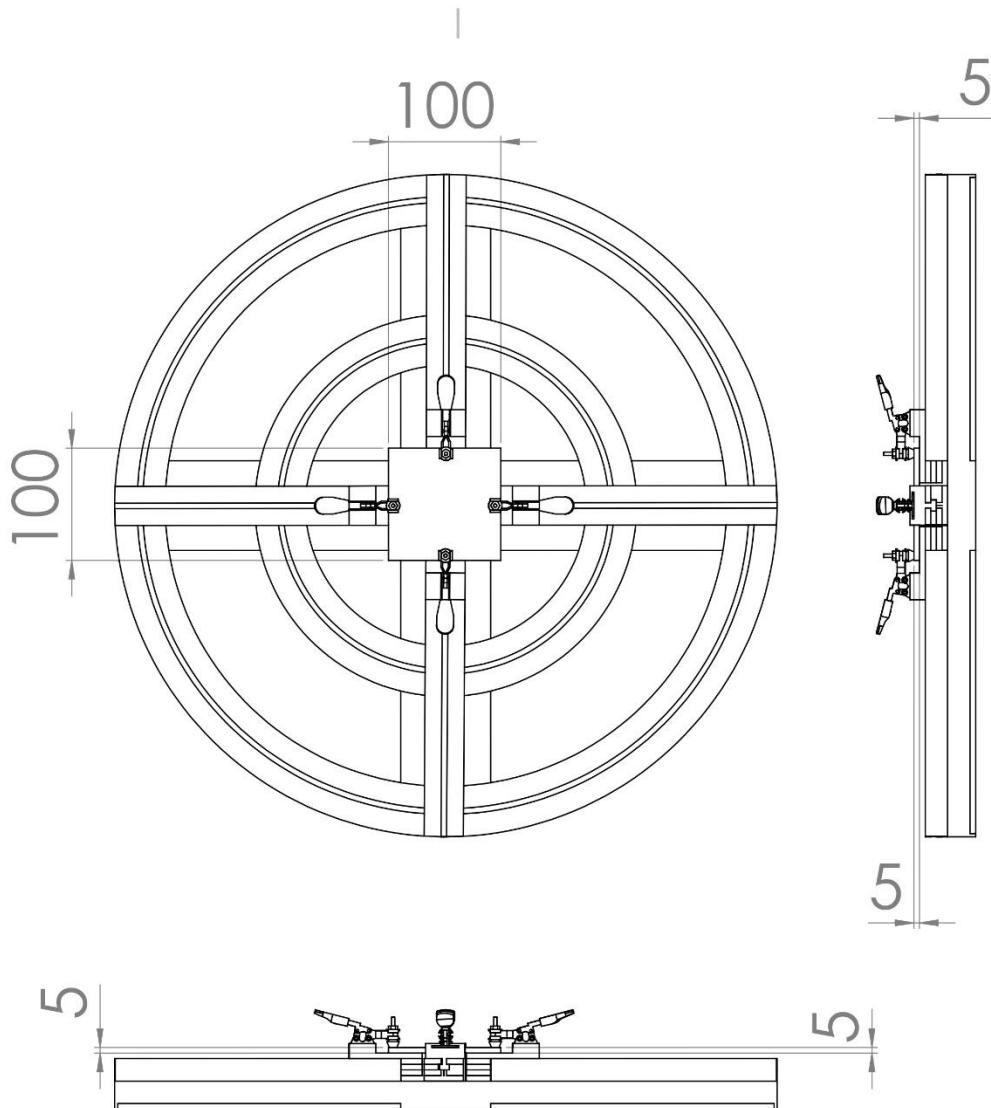


## X. TRIANGULO

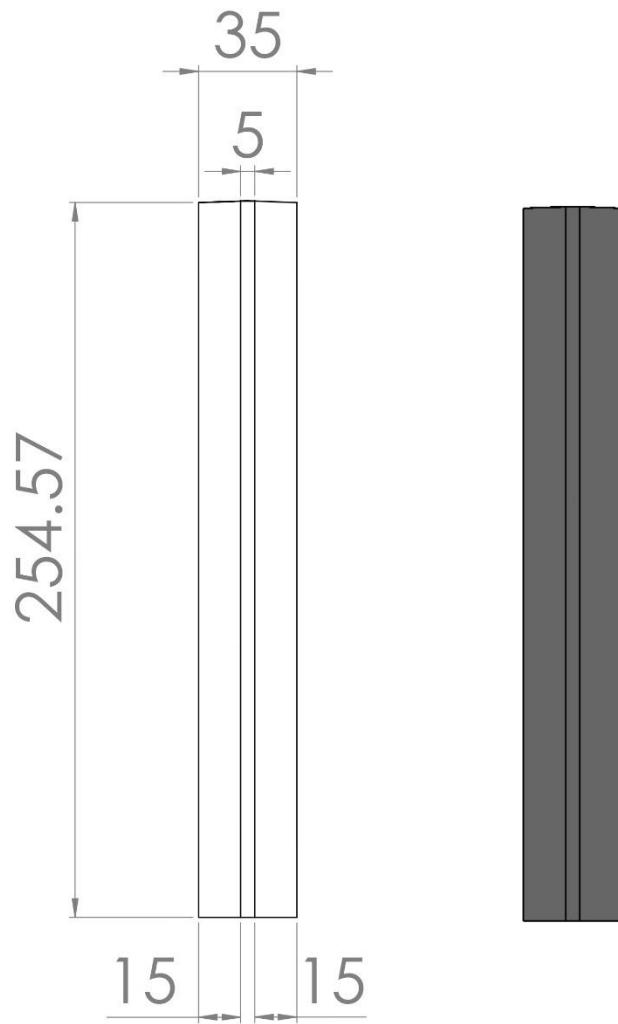


## ANEXOS B: DETALLE DE PIEZAS

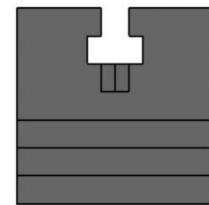
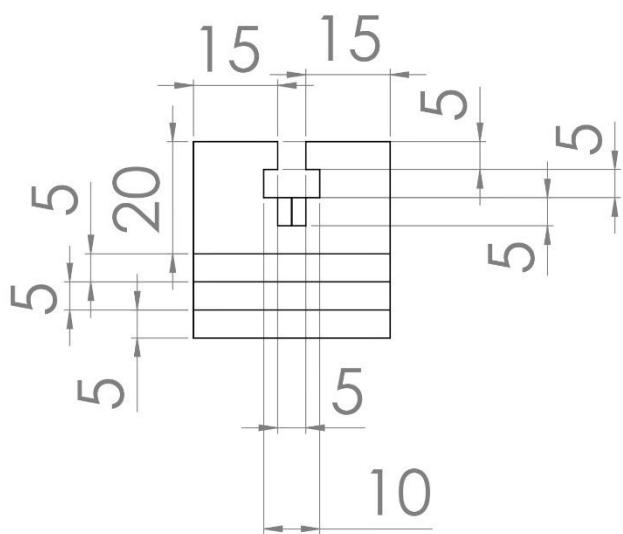




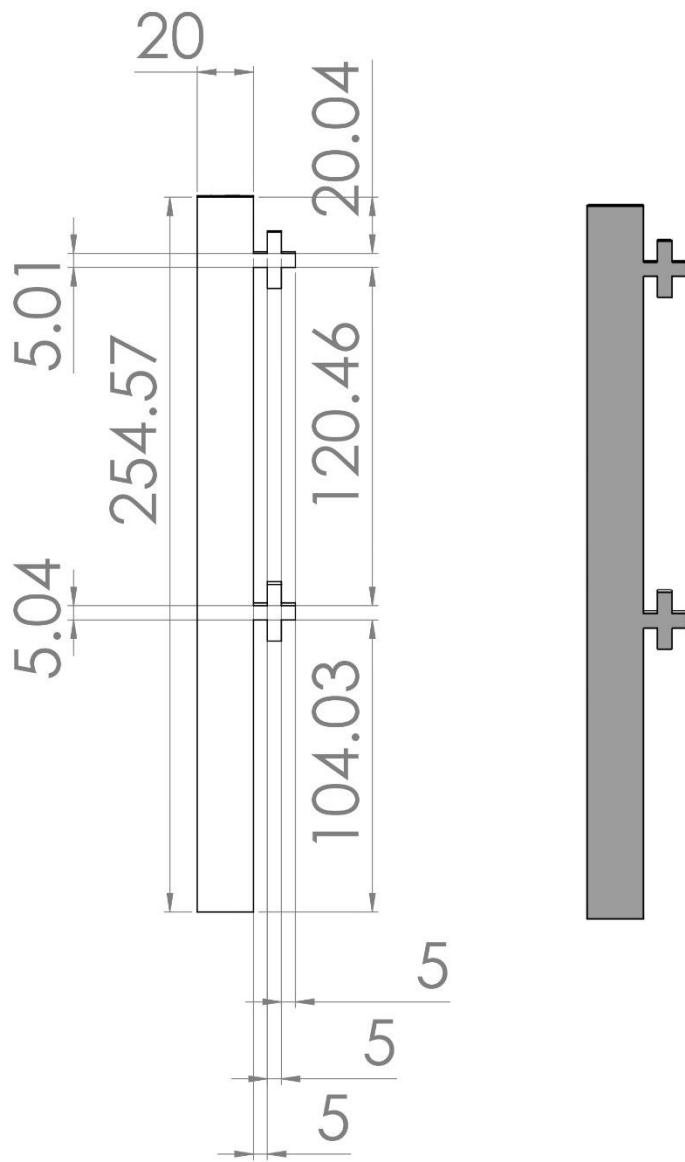
DIBUJ.	NOMBRE	TÍTULO:
	ING. REBECA FONSECA CRUZ	MATERIAL 10X10
APROB.	DR. CESAR ALFONSO ARROYO BARRANCO	
MATERIAL	PETG	N.º DE DIBUJO
		TES-ENS-MAT-10
		A4
	ESCALA: 1:5	HOJA 1 DE 1



DIBUJ.	NOMBRE	TÍTULO:
	ING. REBECA FONSECA CRUZ	
APROB.	DR. CESAR ALFONSO ARROYO BARRANCO	
MATERIAL	PETG	N.º DE DIBUJO
		TES-DET-FRONT
		ESCALA: 1:2
		HOJA 1 DE 1
		A4



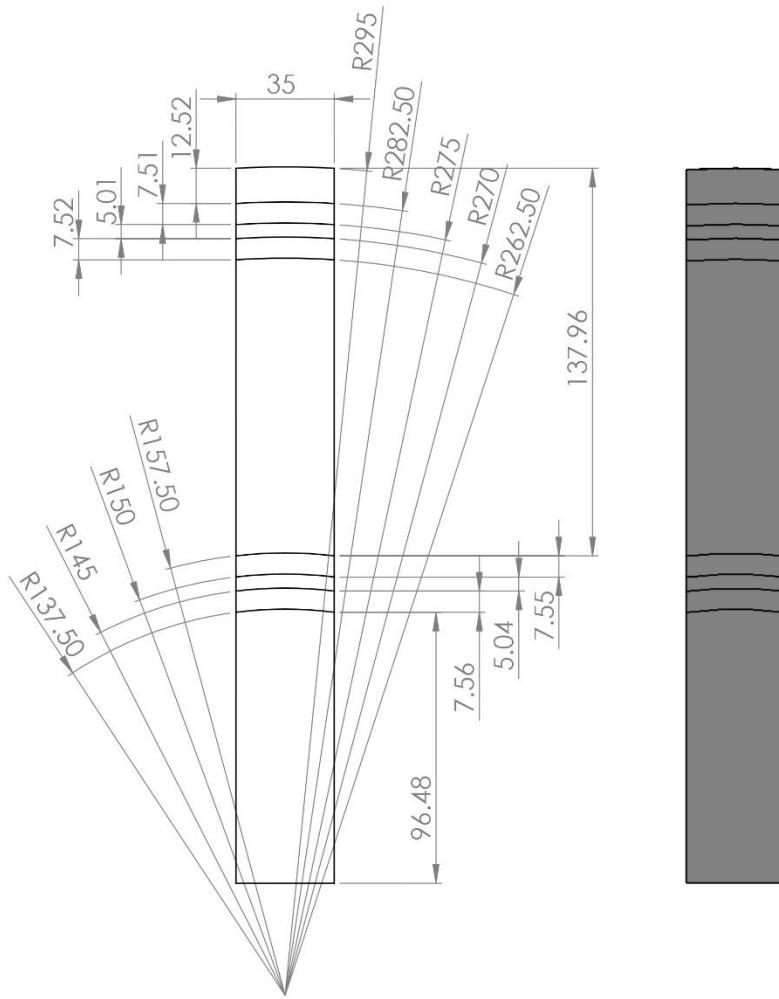
DIBUJ.	NOMBRE	TÍTULO:
	ING. REBECA FONSECA CRUZ	
APROB.	DR. CESAR ALFONSO ARROYO BARRANCO	
MATERIAL	PETG	N.º DE DIBUJO
		TES-DET-INF-RIEL
		A4
	ESCALA:1:2	HOJA 1 DE 1



DIBUJ.	NOMBRE	TÍTULO:
	ING. REBECA FONSECA CRUZ	
APROB.	DR. CESAR ALFONSO ARROYO BARRANCO	
MATERIAL	PETG	N.º DE DIBUJO
		ESCALA:1:2
		HOJA 1 DE 1
		A4

RIEL LATERAL

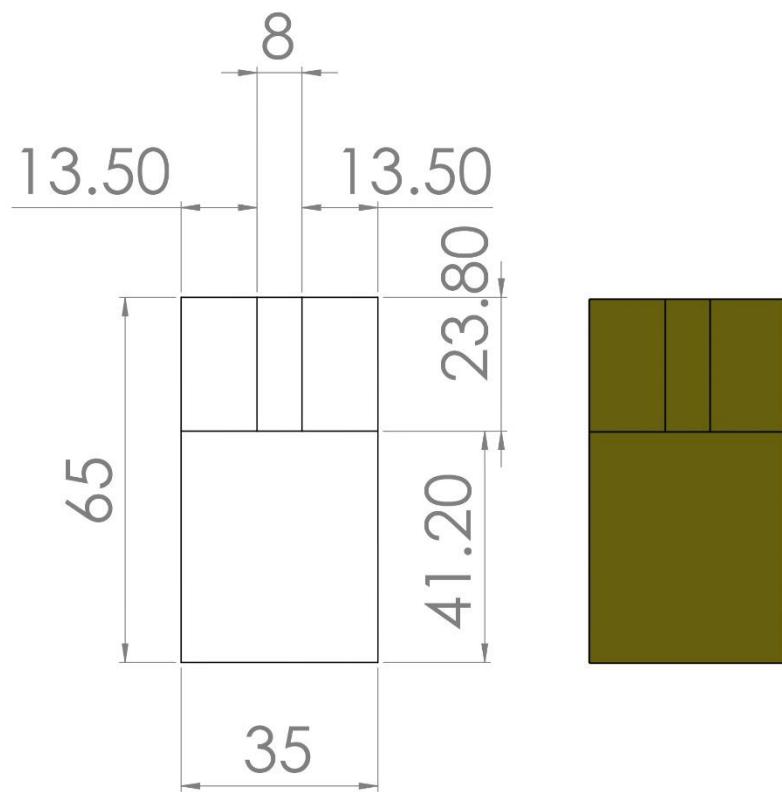
TES-DET-LAT-RIEL



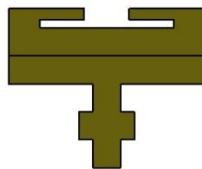
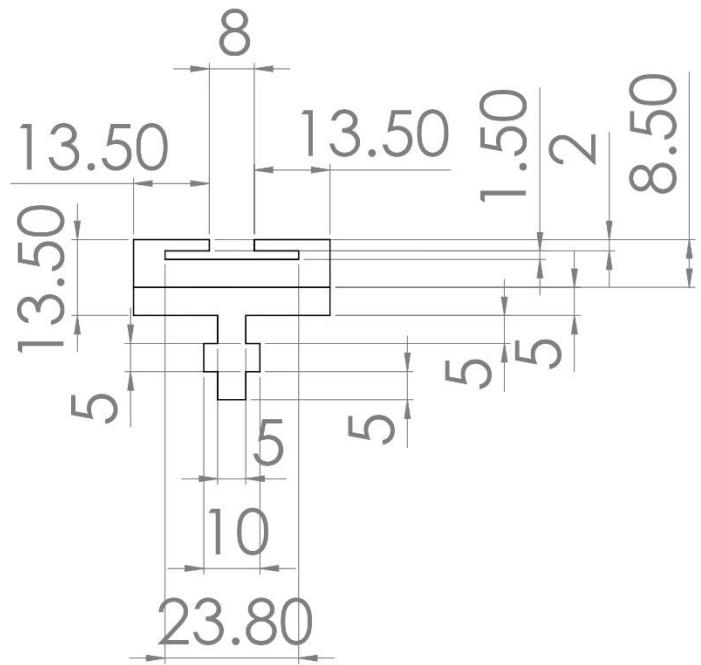
DIBUJ.	NOMBRE	TÍTULO:
	ING. REBECA FONSECA CRUZ	
APROB.	DR. CESAR ALFONSO ARROYO BARRANCO	
MATERIAL	PETG	N.º DE DIBUJO
		TES-DET-BAJ-RIEL
		A4
	ESCALA:1:2	HOJA 1 DE 1

RIEL PARTE BAJA

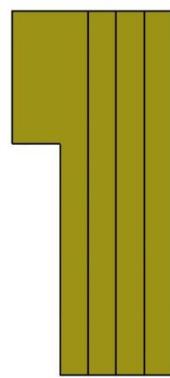
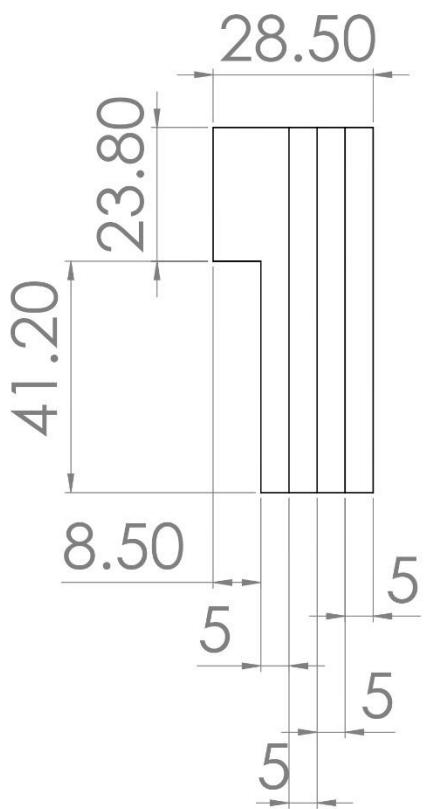
TES-DET-BAJ-RIEL



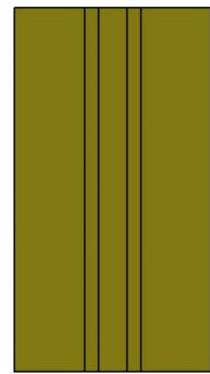
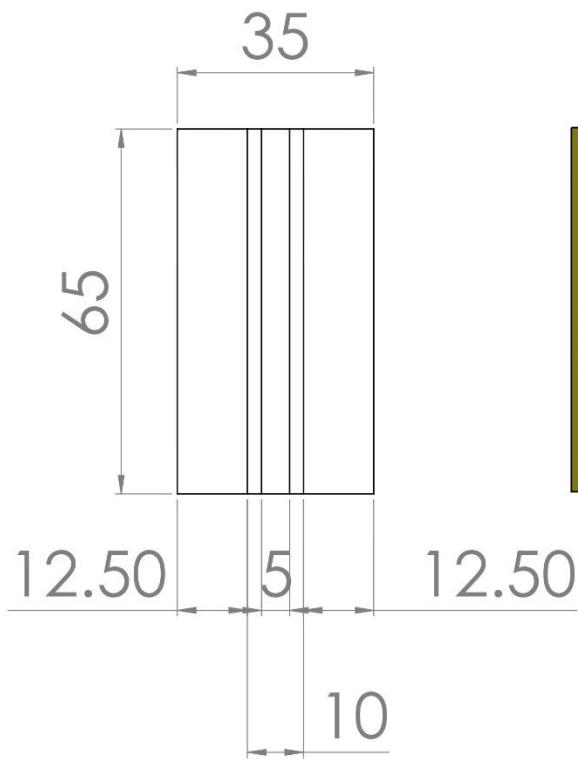
DIBUJ.	NOMBRE	TÍTULO:
	ING. REBECA FONSECA CRUZ	BASE CLAMP FRONTAL
APROB.	DR. CESAR ALFONSO ARROYO BARRANCO	
MATERIAL	PETG	N.º DE DIBUJO
		TES-DET-FRONT-BC
		ESCALA:1:2
		HOJA 1 DE 1
		A4



DIBUJ.	NOMBRE		TÍTULO:
	ING. REBECA FONSECA CRUZ		
APROB.	DR. CESAR ALFONSO ARROYO BARRANCO		
MATERIAL	PETG	N.º DE DIBUJO	A4
		ESCALA:1:2	HOJA 1 DE 1

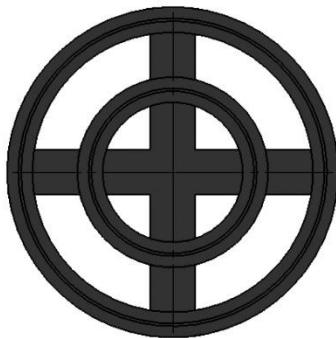
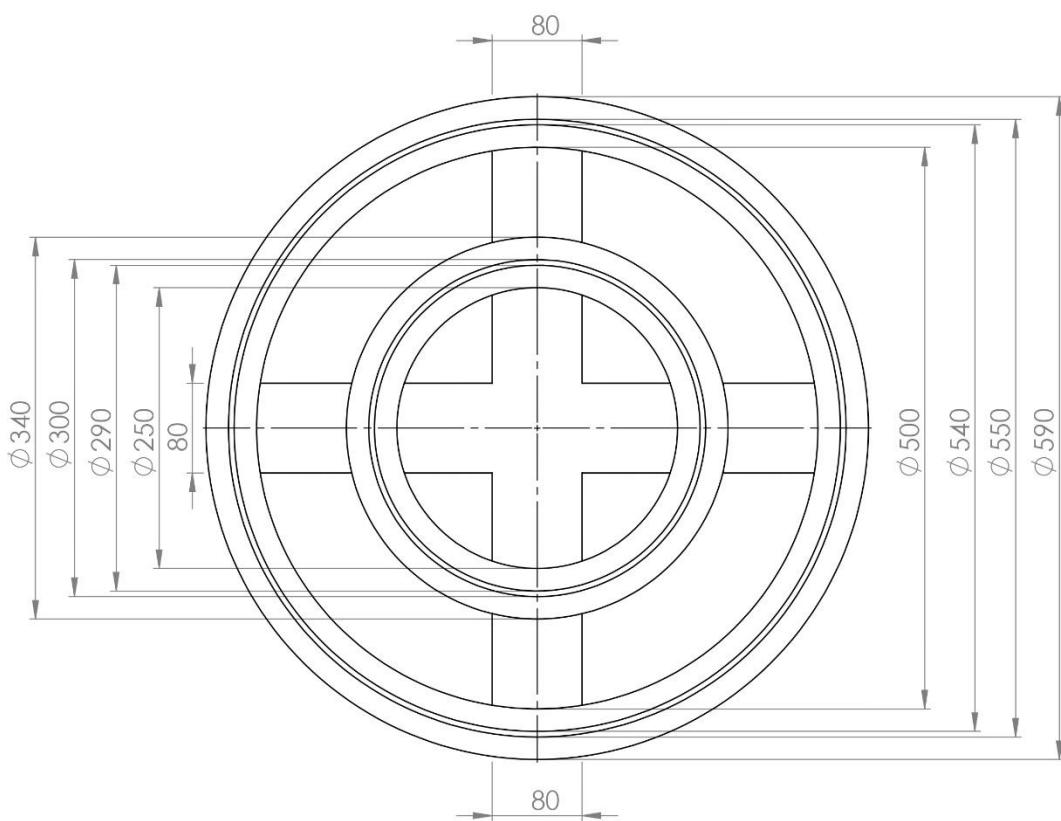


DIBUJ.	NOMBRE	TÍTULO:		
	ING. REBECA FONSECA CRUZ	BASE CLAMP LATERAL		
APROB.	DR. CESAR ALFONSO ARROYO BARRANCO			
MATERIAL	PETG	N.º DE DIBUJO	TES-DET-LAT-BC	A4
		ESCALA:1:2	HOJA 1 DE 1	

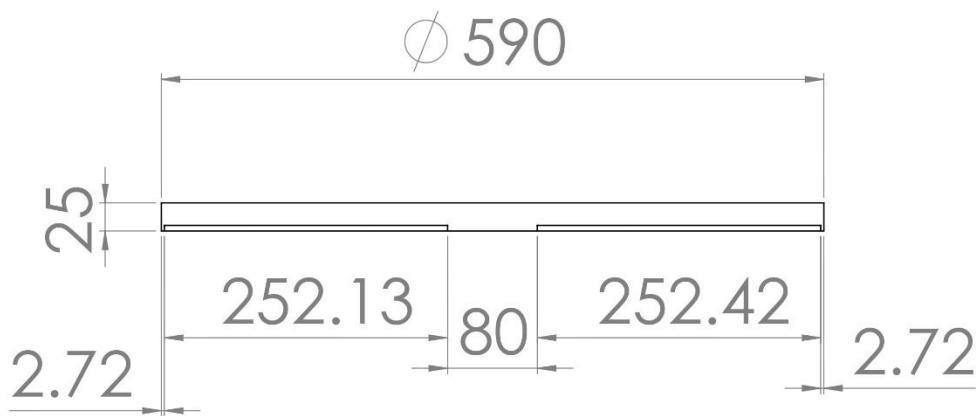


## BASE CLAMP PARTE BAJA

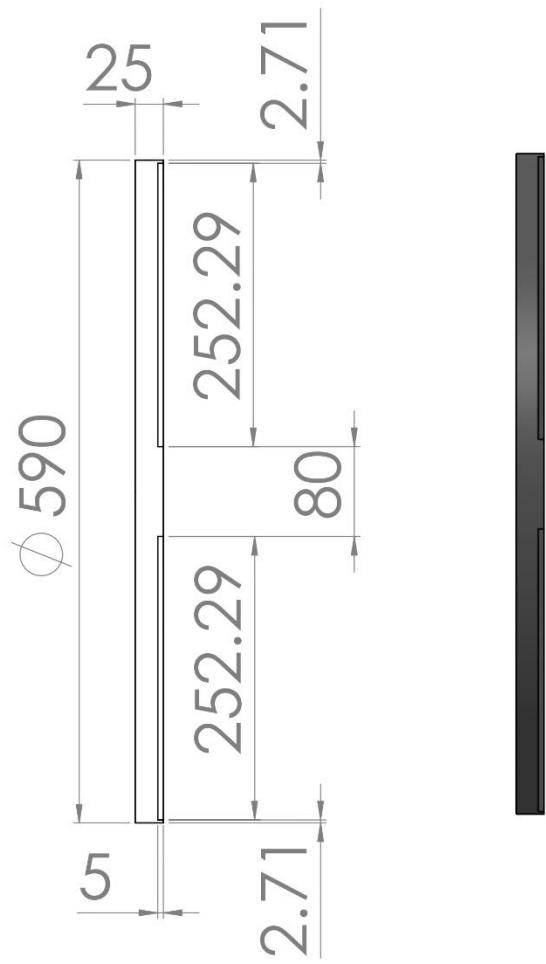
DIBUJ.	NOMBRE	TÍTULO:
	ING. REBECA FONSECA CRUZ	
APROB.	DR. CESAR ALFONSO ARROYO BARRANCO	
MATERIAL	PETG	N.º DE DIBUJO
		TES-DET-BAJ-BC
		ESCALA:1:2
		HOJA 1 DE 1
		A4



DIBUJ.	NOMBRE	TÍTULO:
	ING. REBECA FONSECA CRUZ	
APROB.	DR. CESAR ALFONSO ARROYO BARRANCO	
MATERIAL	PETG	N.º DE DIBUJO
		TES-DET-FRONT-B
	ESCALA:1:2	A4
		HOJA 1 DE 1

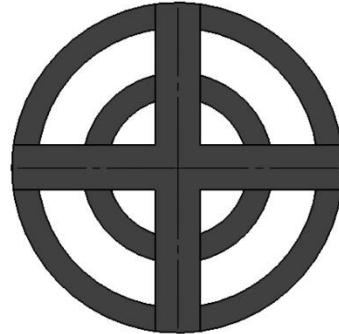
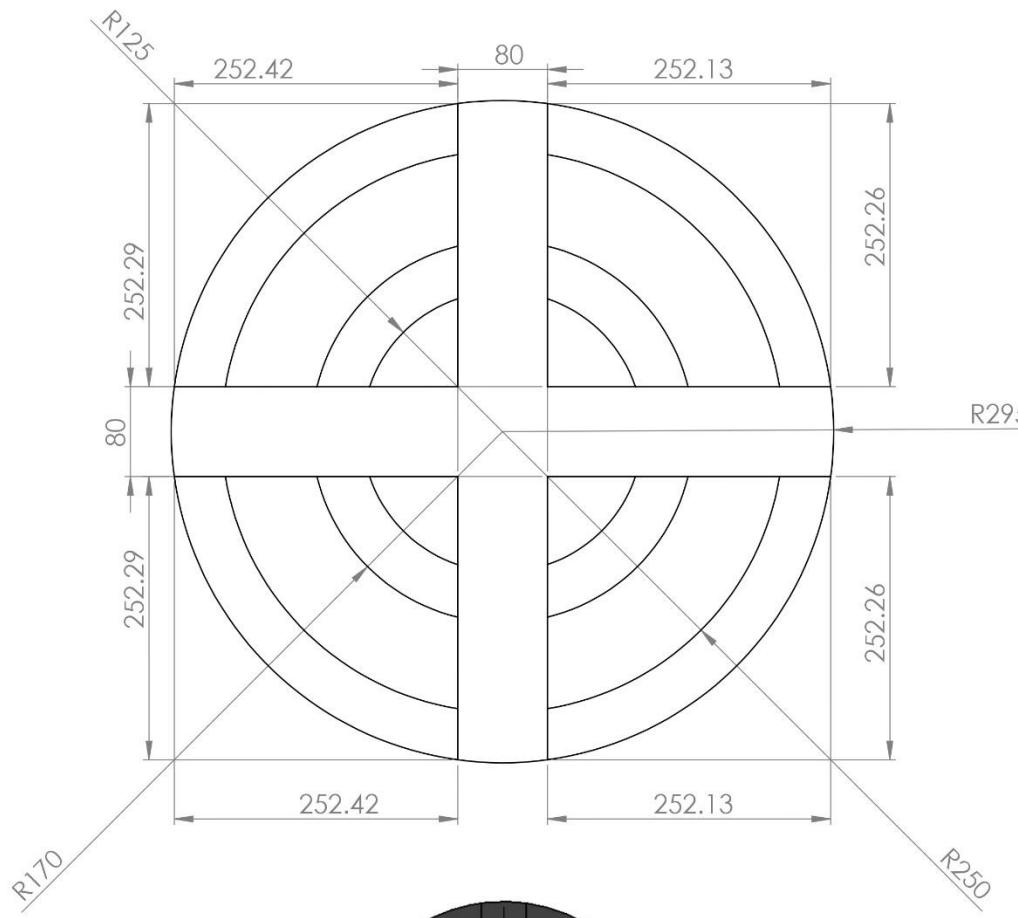


DIBUJ.	NOMBRE	TÍTULO:
	ING. REBECA FONSECA CRUZ	
APROB.	DR. CESAR ALFONSO ARROYO BARRANCO	
MATERIAL	PETG	N.º DE DIBUJO
		TES-DET-INF-B
		ESCALA:1:2
		HOJA 1 DE 1
		A4



DIBUJ.	NOMBRE	TÍTULO:
	ING. REBECA FONSECA CRUZ	
APROB.	DR. CESAR ALFONSO ARROYO BARRANCO	
MATERIAL	PETG	N.º DE DIBUJO
		TES-DET-LAT-B
		ESCALA:1:2
		HOJA 1 DE 1
		A4

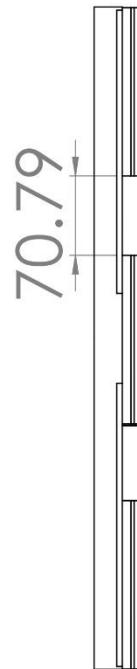
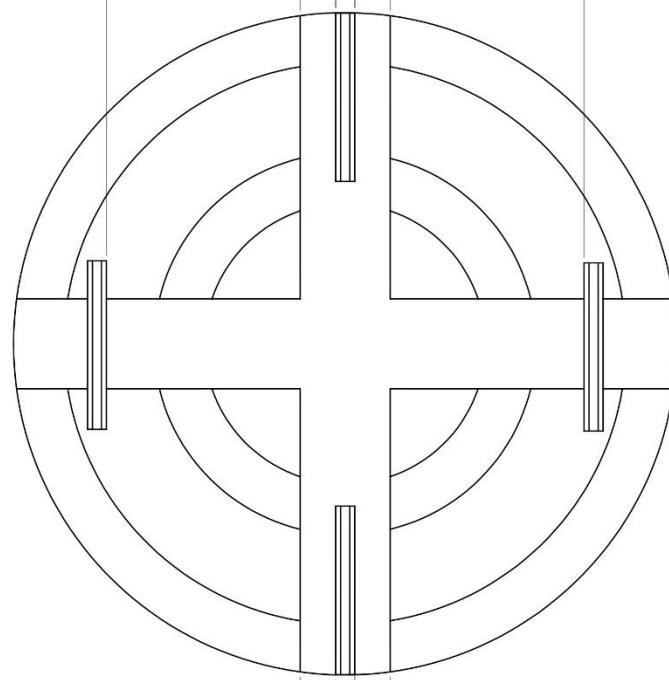
BASE LATERAL



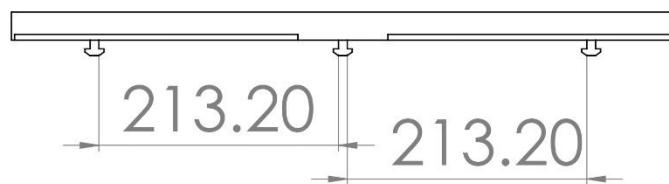
DIBUJ.	NOMBRE	TÍTULO:
	ING. REBECA FONSECA CRUZ	
APROB.	DR. CESAR ALFONSO ARROYO BARRANCO	
MATERIAL	PETG	N.º DE DIBUJO
		TES-DET-BAJ-B
		A4
	ESCALA: 1:2	HOJA 1 DE 1

204.20 204.20

31.60 31.60



31.60 31.60

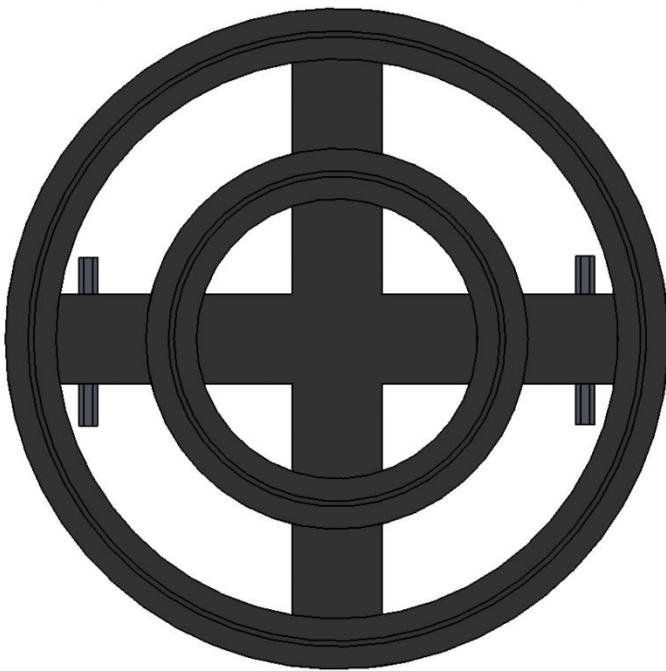
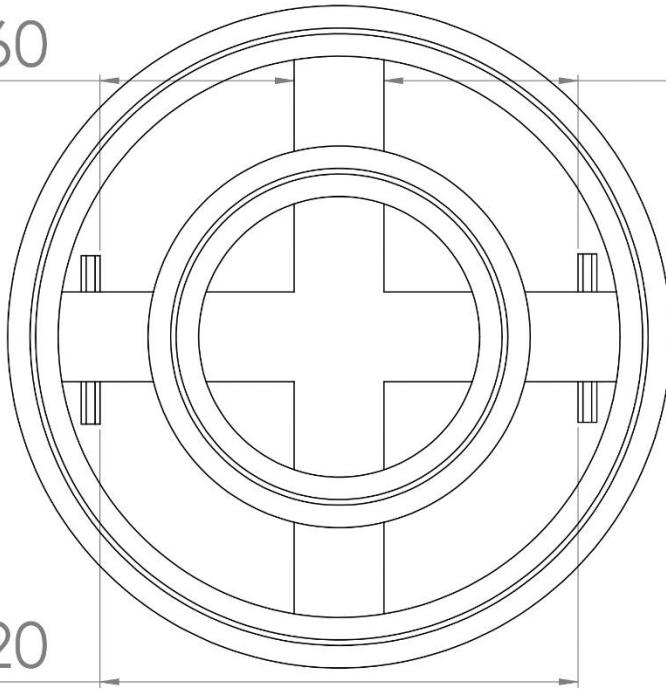


DIBUJ.	NOMBRE	TÍTULO:
	ING. REBECA FONSECA CRUZ	
APROB.	DR. CESAR ALFONSO ARROYO BARRANCO	
MATERIAL	PETG	N.º DE DIBUJO
		TES-SUJM-ENS
		ESCALA:1:2
		HOJA 1 DE 1
		A4

172.60

172.60

425.20



DIBUJ.	NOMBRE
	ING. REBECA FONSECA CRUZ
APROB.	DR. CESAR ALFONSO ARROYO BARRANCO
MATERIAL	PETG

TÍTULO:  
**SUJECCIÓN BASE MESA  
PLANTA**

N.º DE DIBUJO  
**TES-SUJBM-PNT**

A4

ESCALA:1:2

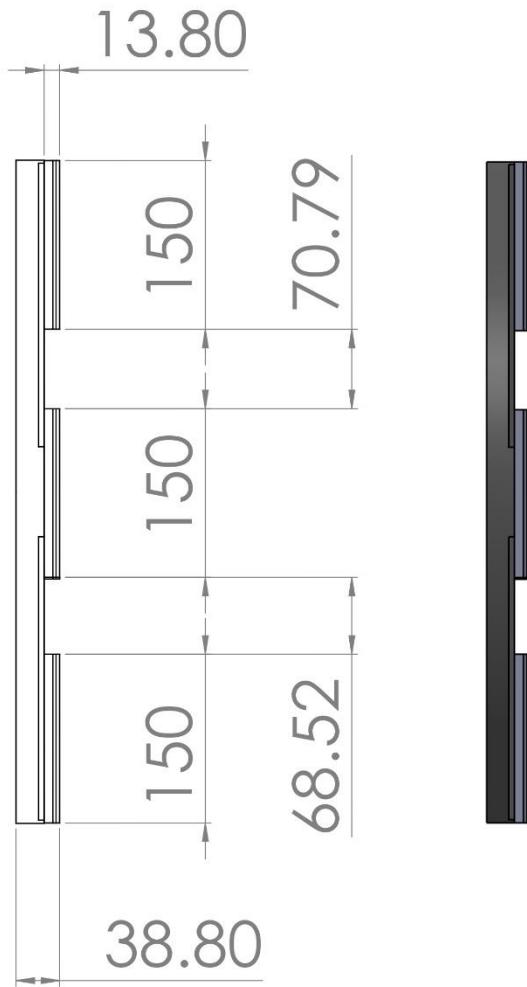
HOJA 1 DE 1



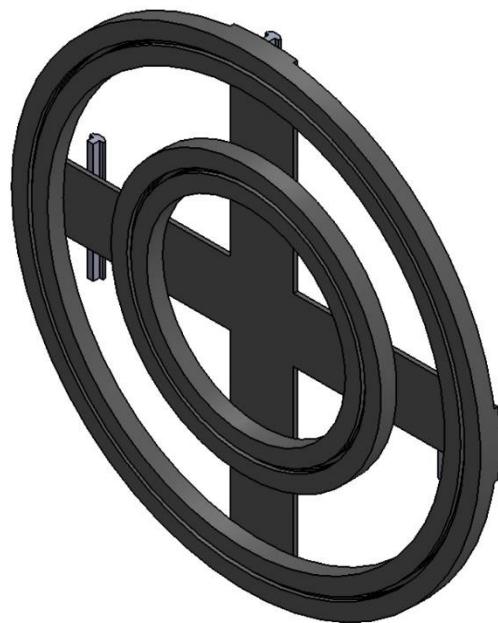
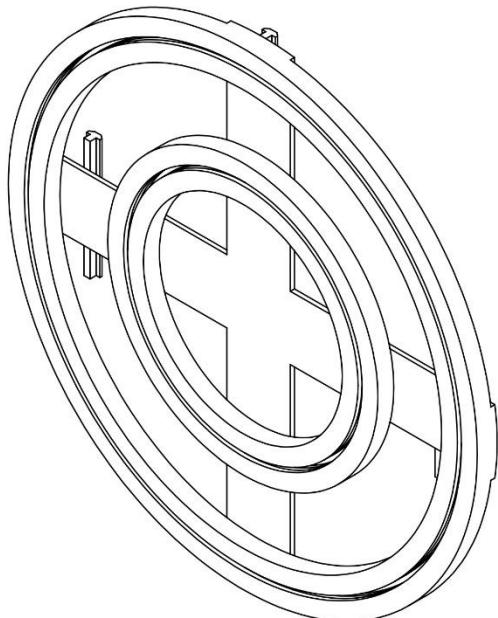
TÍTULO: SUJECCIÓN BASE MESA

TÍTULO: SUJECCIÓN BASE MESA  
FRONTAL

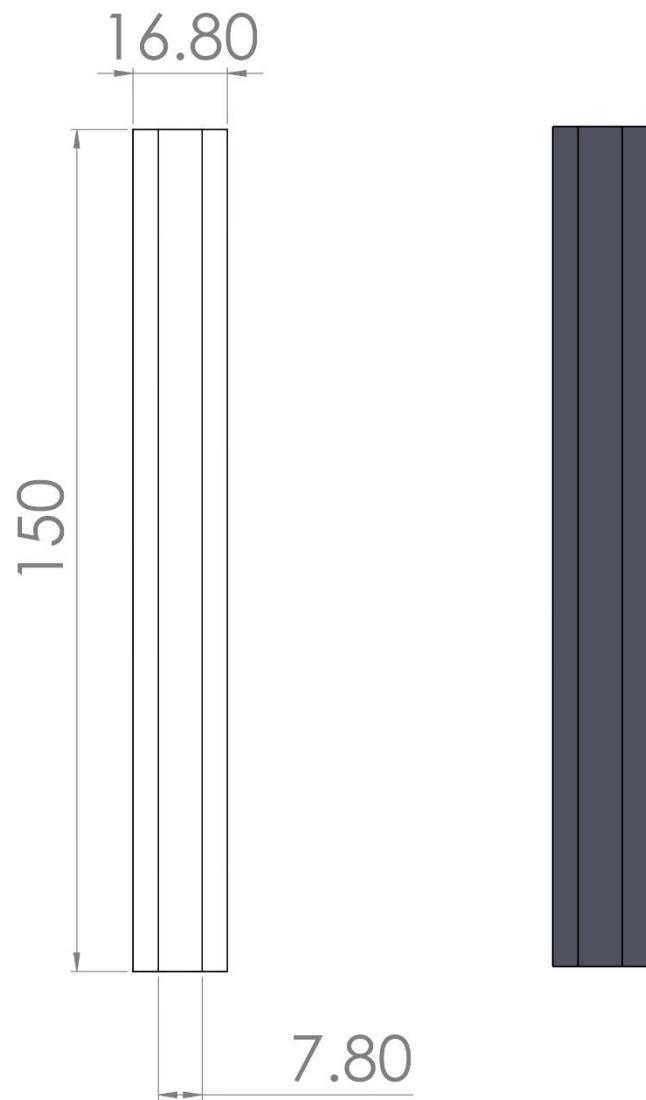
DIBUJ.	NOMBRE	N.º DE DIBUJO	A4
	ING. REBECA FONSECA CRUZ		
APROB.	DR. CESAR ALFONSO ARROYO BARRANCO		
MATERIAL	PETG		
		TES-SUJBM-FRONT	HOJA 1 DE 1
		ESCALA: 1:2	



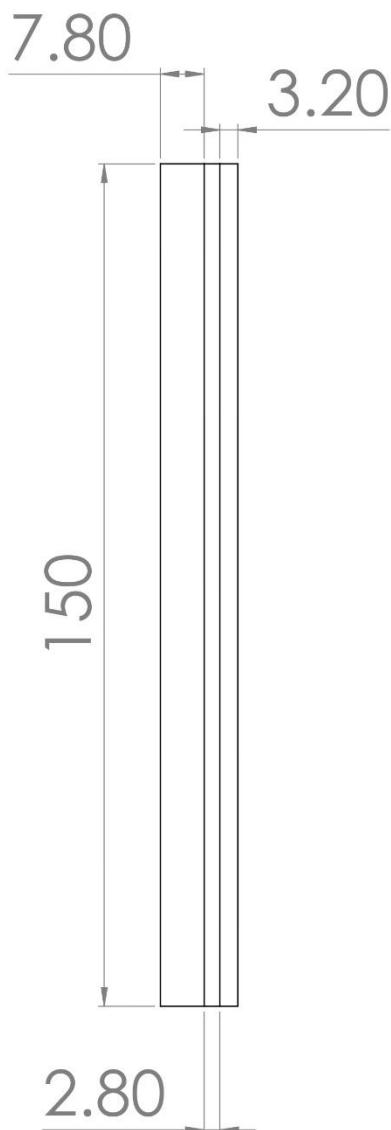
DIBUJ.	NOMBRE	TÍTULO: <b>SUJECCIÓN BASE MESA LATERAL</b>
	ING. REBECA FONSECA CRUZ	
APROB.	DR. CESAR ALFONSO ARROYO BARRANCO	
MATERIAL	PETG	N.º DE DIBUJO <b>TES-SUJBM-LAT</b>
		A4
	ESCALA: 1:1	HOJA 1 DE 1



DIBUJ.	NOMBRE	TÍTULO: <b>SUJECCIÓN BASE MESA ISOMETRICO</b>
APROB.	ING. REBECA FONSECA CRUZ	
	DR. CESAR ALFONSO ARROYO BARRANCO	
MATERIAL	PETG	N.º DE DIBUJO <b>TES-SUJBM-ISO</b>
		ESCALA:1:2
		HOJA 1 DE 1
		A4

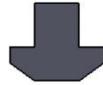
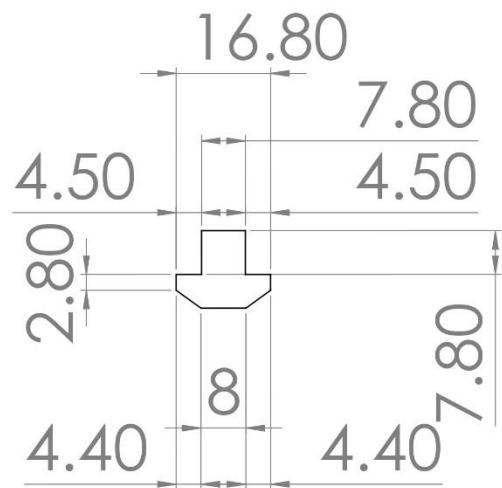


DIBUJ.	NOMBRE	TÍTULO:
	ING. REBECA FONSECA CRUZ	
APROB.	DR. CESAR ALFONSO ARROYO BARRANCO	
MATERIAL	PETG	N.º DE DIBUJO
		TES-SUJM-FRONT
		ESCALA: 1:2
		HOJA 1 DE 1
		A4



**SUJECCIÓN MESA  
LATERAL**  
**TES-SUJM-LAT**

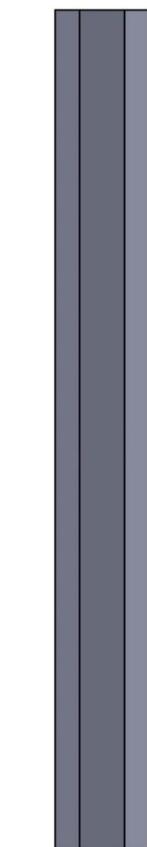
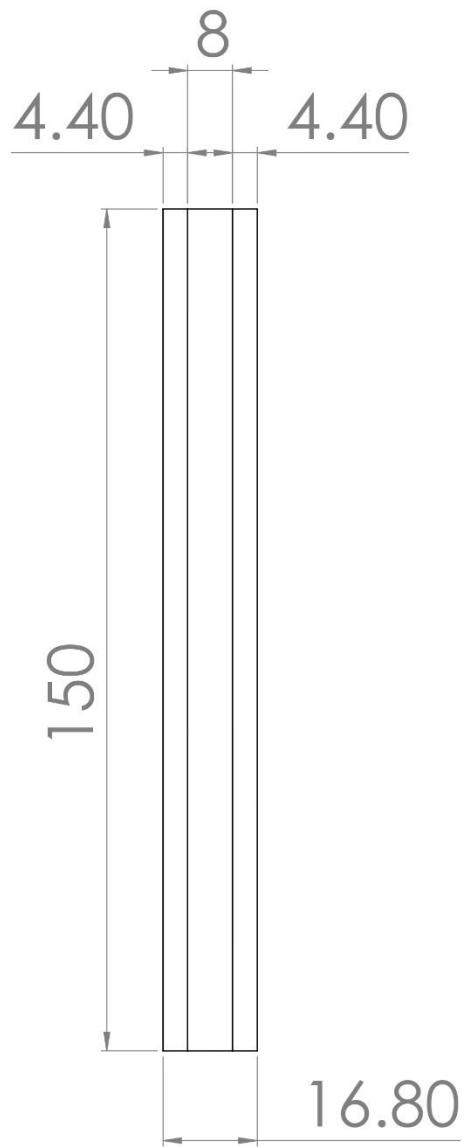
DIBUJ.	NOMBRE	TÍTULO:
	ING. REBECA FONSECA CRUZ	
APROB.	DR. CESAR ALFONSO ARROYO BARRANCO	
MATERIAL	PETG	N.º DE DIBUJO
		ESCALA: 1:2
		HOJA 1 DE 1
		A4



DIBUJ.	NOMBRE	TÍTULO:
	ING. REBECA FONSECA CRUZ	
APROB.	DR. CESAR ALFONSO ARROYO BARRANCO	
MATERIAL	PETG	N.º DE DIBUJO
		ESCALA: 1:2
		HOJA 1 DE 1
		A4

## SUJECCIÓN MESA INFERIOR

TES-SUJM-INF



DIBUJ.	NOMBRE	TÍTULO:	SUJECCIÓN MESA PARTE BAJA	
APROB.	ING. REBECA FONSECA CRUZ			
	DR. CESAR ALFONSO ARROYO BARRANCO			
MATERIAL	PETG	N.º DE DIBUJO	TES-SUJM-PB	A4
		ESCALA: 1:2	HOJA 1 DE 1	

