



Pontificia Universidad Javeriana Cali

# Prototipado de un banco de trabajo modular para el estudio del fenómeno térmico de conducción

Carlos Samuel Rodríguez Cataño

Programa de Ingeniería Mecánica  
Departamento de Ingeniería Civil e Industrial  
Facultad de Ingeniería y Ciencias  
Pontificia Universidad Javeriana  
Santiago de Cali, Colombia

2025



# Prototipado de un banco de trabajo modular para el estudio del fenómeno térmico de conducción

Carlos Samuel Rodríguez Cataño

**Director:** Ph.D. David Alfonso Serje

Programa de Ingeniería Mecánica  
Departamento de Ingeniería Civil e Industrial  
Facultad de Ingeniería y Ciencias  
Pontificia Universidad Javeriana  
Santiago de Cali, Colombia

2025



## Declaración de obra original

Yo declaro lo siguiente:

He leído el Acuerdo 535 de 2010 del Consejo Directivo de la Pontificia Universidad Javeriana, «Política de Propiedad Intelectual» y la Normatividad Nacional relacionada al respeto de los derechos de autor. Este proyecto de grado representará mi trabajo original, excepto donde he reconocido las ideas, las palabras, o materiales de otros autores.

Cuando se han presentado ideas o palabras de otros autores en este proyecto de grado, he realizado su respectivo reconocimiento aplicando correctamente los esquemas de citas y referencias bibliográficas en el estilo requerido.

He obtenido el permiso del autor o editor para incluir cualquier material con derechos de autor (por ejemplo, tablas, figuras, instrumentos de encuesta o grandes porciones de texto).

Por último, he sometido esta disertación a la herramienta de integridad académica, definida por la universidad.

Carlos S.

Nombre **Carlos Samuel Molina Rodríguez**

Fecha: 6 de febrero de 2026

## Resumen

El proyecto se centra en el diseño y construcción de un banco de trabajo modular para el estudio de los fenómenos de conducción térmica. Su principal objetivo es proporcionar una herramienta experimental para validar modelos teóricos y caracterizar materiales bajo estándares internacionales. Este banco está diseñado con una arquitectura abierta, lo que facilita su adaptación a futuros estudios sobre otros mecanismos de transferencia de calor.

La metodología empleada combina el enfoque sistemático del diseño mecánico según Ullman. Se aplicó la técnica QFD para traducir los requisitos del usuario en especificaciones técnicas. Las pruebas experimentales garantizaron la funcionalidad del equipo y su trazabilidad metrológica.

Este proyecto responde a la necesidad de mejorar las capacidades experimentales del laboratorio, reforzando la formación académica en áreas como la Transferencia de Calor y la Termodinámica. Su impacto trasciende el ámbito educativo al posicionar a la universidad como líder en innovación tecnológica aplicada a la ingeniería térmica.

**Palabras clave:** Ingeniería térmica, Transferencia de calor, Conducción térmica, Normas técnicas, CAD

## Abstract

The project focuses on the design and construction of a modular workbench for the study of thermal conduction phenomena. Its main objective is to provide an experimental tool to validate theoretical models and characterize materials under international standards. This bench is designed with an open architecture, which facilitates its adaptation to future studies on other heat transfer mechanisms.

The methodology employed combines the systematic approach to mechanical design according to Ullman. The QFD technique was applied to translate user requirements into technical specifications. Experimental tests ensured the functionality of the equipment and its metrological traceability.

This project responds to the need to improve the experimental capabilities of the laboratory, strengthening academic training in areas such as Heat Transfer and Thermodynamics. Its impact transcends the educational field by positioning the university as a leader in technological innovation applied to thermal engineering.

**Keywords:** Thermal engineering, Heat transfer, Thermal conduction, Technical standards, CAD

## Agradecimientos

Agradezco de manera especial a mi tío, a quien debo mi oportunidad de poder haber cursado mi carrera, ya que gracias a su apoyo incondicional y ayuda en muchos aspectos de mi vida y carrera, de igual manera agradezco eternamente a mi madre por su amor y apoyo constante, a ella debo mi vida por todo lo que ha hecho por mi, también quiero agradecer a mi hermano, y de igual manera a toda mi familia por su ayuda y apoyo.

Asimismo, expreso mi agradecimiento al Dr. Serje, quien, en calidad de tutor del proyecto, me acompañó y guió a lo largo de todo el proceso de desarrollo del documento, brindando valiosas orientaciones académicas, recomendaciones y asesoría en los aspectos relacionados a la fabricación del prototipo, también agradezco a mi colega José Daniel Arango por su apoyo en la revisión y estructuración del manuscrito del proyecto durante sus fases iniciales, contribuyendo significativamente a su consolidación conceptual, y a quien le deseo éxitos en su proyecto de grado.

Finalmente, agradezco a la Pontificia Universidad Javeriana de Cali por el apoyo financiero otorgado para la realización de este proyecto, el cual fue fundamental para su desarrollo y ejecución.

# Índice

<b>1</b>	<b>Introducción</b>	<b>11</b>
1.1	Descripción del proyecto . . . . .	11
1.2	Objetivos del proyecto . . . . .	12
1.2.1	Objetivo General . . . . .	12
1.2.2	Objetivos Específicos . . . . .	12
1.3	Metodología . . . . .	12
1.3.1	Plan de trabajo . . . . .	13
1.3.2	Cronograma de actividades . . . . .	13
1.4	Entregables . . . . .	13
<b>2</b>	<b>Estado del arte</b>	<b>16</b>
2.1	Estudios académicos sobre transferencia de calor . . . . .	16
2.2	Patentes . . . . .	16
2.3	Aplicabilidad al Proyecto . . . . .	20
2.4	Productos existentes . . . . .	20
2.5	Conclusiones . . . . .	22
<b>3</b>	<b>Requerimientos</b>	<b>25</b>
3.1	Requerimientos del cliente . . . . .	25
3.1.1	Requerimientos técnicos . . . . .	25
3.2	Requerimientos de ingeniería . . . . .	26
3.3	Estándares . . . . .	26
3.3.1	Desarrollo QFD . . . . .	27
<b>4</b>	<b>Diseño Conceptual</b>	<b>32</b>
4.1	Descomposición o análisis funcional . . . . .	32
4.2	Generación de alternativas conducción lineal de calor . . . . .	35
4.3	Generación de alternativas conducción radial de calor . . . . .	39
4.4	Criterios de Evaluación . . . . .	42

4.4.1	Criterios de Evaluación para Componentes del Banco de Trabajo Modular . . . . .	42
4.5	Evaluación de diseños generados . . . . .	45
4.5.1	Evaluación diseños conducción lineal . . . . .	45
4.5.2	Evaluación diseños conducción radial . . . . .	45
4.6	Selección diseño de probeta conducción lineal . . . . .	46
4.6.1	Conclusión . . . . .	49
4.7	Cronograma y Presupuesto de Detalle . . . . .	50
4.8	Cronograma de la etapa de detalle y fabricación . . . . .	52
<b>5</b>	<b>Diseño de detalle</b>	<b>55</b>
5.1	Diseño: Probeta (Lineal) . . . . .	55
5.1.1	Cálculos preliminares grosor de aislante en función del material: . . . . .	55
5.2	Diseño: Probeta (Radial) . . . . .	62
5.2.1	Cálculos preliminares conducción de calor en un disco: . . . . .	62
5.3	Diseño: calentamiento de muestra(lineal) . . . . .	66
5.4	Diseño: enfriamiento de muestra(lineal) . . . . .	67
5.5	Diseño: sujeción (lineal) . . . . .	69
5.5.1	Calculo de pandeo . . . . .	69
5.5.2	Calculo flexión de placas . . . . .	73
5.6	Diseño: enfriamiento de muestra(Radial) . . . . .	74
5.7	Diseño: sujeción (Radial) . . . . .	74
<b>6</b>	<b>Etapa de fabricación</b>	<b>78</b>
6.1	Costos . . . . .	78
6.2	Fabricación . . . . .	80
<b>7</b>	<b>Conclusiones</b>	<b>90</b>
<b>8</b>	<b>Anexos</b>	<b>93</b>

# Lista de Tablas

1	Actividades y tiempo previsto . . . . .	14
2	Especificaciones técnicas. . . . .	26
3	Tabla de alternativas según función . . . . .	34
4	Tabla Pugh para concepto de diseño sujeción . . . . .	34
5	Tabla Pugh para concepto de diseño calentamiento . . . . .	34
6	Tabla Pugh para concepto de diseño extracción de calor. . . . .	35
7	Evaluación subsistema de elemento de sujeción . . . . .	42
8	Evaluación subsistema de elemento de calentamiento . . . . .	43
9	Evaluación subsistema de elemento de enfriamiento . . . . .	44
10	Presupuesto tentativo . . . . .	50
11	Cronograma al detalle de la fase 3 . . . . .	53
12	Cronograma al detalle de la fase 4 . . . . .	54
13	valores típicos para el coeficiente de transferencia de calor por convección. . . . .	59
14	valores típicos para el coeficiente de transferencia de calor por conducción en aislantes. . . . .	59
15	Valores del radio crítico en función del aire y aislante . . . . .	59
16	Conducción de calor en función de diferentes radios $r_2$ . . . . .	59
17	Lista de materiales y su correspondiente conductividad térmica. . . . .	63
18	Potencia necesaria para un delta de temperatura radial en función del material. . . . .	63
19	Potencia necesaria para un delta de temperatura radial en función del material. . . . .	65
20	Tabla completa de costos . . . . .	79

# Lista de Figuras

1	Parte 1 del diagrama de Gantt. . . . .	15
2	Parte 2 del diagrama de Gantt. . . . .	15
3	Diagrama de patente CN218584702U . . . . .	17
4	Diagrama de patente JP2005227010A . . . . .	18
5	Diagrama de patente DE102022200422B3 . . . . .	19
6	Leyenda de la matriz de la Casa de la Calidad (QFD). . . . .	28
7	Matriz de relaciones de la QFD. . . . .	28
8	Objetivos de diseño, evaluación competitiva y características a desplegar de la QFD. . . . .	29
9	Evaluación competitiva de la QFD. . . . .	29
10	Caja negra de descomposición de funcionamientos. . . . .	33
11	Caja blanca de descomposición de funcionamientos. . . . .	33
12	Imagen de referencia primer concepto. . . . .	36
13	Imagen de referencia segundo concepto. . . . .	37
14	Imagen de referencia tercer concepto. . . . .	38
15	Imagen de referencia primer concepto. . . . .	39
16	Imagen de referencia segundo concepto. . . . .	40
17	Imagen de referencia tercer concepto. . . . .	41
18	Vista de sección primer concepto probeta conducción lineal. . . . .	46
19	Vista de sección segundo concepto probeta conducción lineal. . . . .	47
20	Vista de sección tercero concepto probeta conducción lineal. . . . .	48
21	Sección transversal del aislante térmico alrededor de la muestra. . . . .	56
22	Sección transversal del aislante térmico alrededor de la muestra para el análisis de conducción y convección radial. . . . .	57
23	Gráfica de la variación de $\dot{Q}_{\text{cond.conv}}$ con el radio exterior del aislamiento $r_2$ . . . . .	58
24	Gráfica de $\dot{Q}_{\text{cond.conv}}$ en función del grosor . . . . .	60

25	Diagrama de la transferencia de calor entre las dos superficies. . . . .	61
26	Diagrama de la probeta para análisis de conducción radial. . . . .	62
27	Grafica de Potencia vs delta de temperatura conducción radial (1-10 °C) . . . . .	64
28	Grafica de Potencia vs delta de temperatura conducción radial ( $L = 5\text{ mm}$ ) . . . . .	65
29	Imagen comparación desempeño radiadores de 240mm[23] . . . . .	67
30	Imagen dimensiones zócalo intel 1700 . . . . .	68
31	Imagen diseño sistema de sujeción . . . . .	70
32	Imagen placas del sistema de sujeción . . . . .	71
33	Imagen diseño tapa calentador . . . . .	74
34	Imagen diseño soporte de disco . . . . .	75
35	Imagen diseño aislante inferior . . . . .	75
36	Imagen diseño aislante superior . . . . .	76
37	Imagen diseño aislante cables . . . . .	76
38	Imagen diseño sujeción (Radial) 1 . . . . .	77
39	Imagen diseño sujeción (Radial) 2 . . . . .	77
40	Imagen diseño sujeción (Radial) 3 . . . . .	77
41	Fotografía de la fabricación 1 . . . . .	80
42	Fotografía de la fabricación 2 . . . . .	81
43	Fotografía de la fabricación 11 . . . . .	81
44	Fotografía de la fabricación 4 . . . . .	82
45	Fotografía de la fabricación 6 . . . . .	83
46	Fotografía de la fabricación 7 . . . . .	84
47	Fotografía de la fabricación 8 . . . . .	85
48	Fotografía de la fabricación 9 . . . . .	86
49	Fotografía de la fabricación 10 . . . . .	87
50	Fotografía de la fabricación 12 . . . . .	88
51	Fotografía de la fabricación 13 . . . . .	89

# 1. Introducción

El fenómeno de la transferencia de calor es fundamental en una amplia gama de sistemas biológicos e industriales, que abarca desde el diseño de dispositivos electrónicos hasta la optimización de procesos en plantas químicas y metalúrgicas. Según estimaciones de Markets and Markets (empresa reconocida en el estudio de mercados), el mercado global de gestión térmica experimentará un crecimiento significativo, pasando de \$59.7 mil millones en 2024 a \$95.6 mil millones en 2032 [1]. Lo anterior, establece una demanda de profesionales (en áreas de ingeniería mecánica, química, civil, entre otros) capacitados en el diseño y optimización de sistemas térmicos, capaces de abordar desafíos complejos en la gestión del calor.

En este contexto, la Pontificia Universidad Javeriana de Cali (PUJ Cali), como institución líder en formación de ingenieros e innovación tecnológica, tiene la responsabilidad de proporcionar a sus estudiantes las herramientas necesarias para adquirir conocimientos avanzados en transferencia de calor. Sin embargo, actualmente el Laboratorio de Mecánica de Fluidos de la universidad enfrenta algunas limitaciones técnicas debido a la carencia de equipos especializados que permitan la validación de modelos teóricos y la caracterización de materiales en cuanto a la conductividad térmica se refiere, en conformidad con estándares internacionales, como la norma ASTM C177-19 [2], a ellos se suma que los equipos comerciales disponibles como los ofertados por la GUNT (resumidos en la sección 2), además de ser costosos, suelen presentar una arquitectura cerrada que limita su adaptabilidad y dificulta la incorporación de nuevas prácticas experimentales que no sean propios.

Bajo el panorama anterior, surge la motivación para el desarrollo del presente proyecto, cuyo objetivo es prototipar (diseñar y construir un modelo inicial) un banco de trabajo modular de arquitectura abierta, con un enfoque inicial en el estudio del fenómeno térmico de conducción, pero con la capacidad de expandirse para permitir el estudio de otros mecanismos de transferencia de calor, como la convección y la radiación. Este banco de pruebas además de permitir una experimentación flexible y precisa también facilitará la validación de modelos teóricos y la caracterización de materiales, contribuyendo así a la formación de ingenieros e investigadores con competencias relevantes para el creciente mercado de gestión térmica.

## 1.1 Descripción del proyecto

El estudio de los fenómenos térmicos, particularmente la conducción de calor constituye un pilar fundamental en la ingeniería mecánica, con aplicaciones que abarcan desde sistemas de climatización hasta procesos industriales avanzados. En este marco, la Pontificia Universidad Javeriana Cali (PUJ) en la facultad de ingeniería mecánica (quien representa el cliente del presente proyecto) ha identificado la necesidad de fortalecer su infraestructura experimental, específicamente en el laboratorio de mecánica de fluidos, para ofrecer una plataforma versátil que integre teoría y práctica en el análisis de la transferencia de calor.

En respuesta a esta necesidad, el presente proyecto tiene como objetivo dotar a la PUJ de un dispositivo versátil para el análisis de la transferencia de calor, enfocado inicialmente en la conducción térmica. Este equipo estará diseñado y construido para ser fácilmente modificable y de arquitectura abierta bajo estándares como la norma ASTM C177-19 [2], permitiendo su adaptación futura a experimentos relacionados con otros

mecanismos de transferencia de calor, como la convección y la radiación.

El proceso de diseño sigue el enfoque sistemático de Ullman (The Mechanical Design Process) [3] y PH-VA (Planificar-Hacer-Verificar-Actuar) [4], para garantizar iteraciones mejorativas y prototipado funcional. Adicionalmente, el banco cumple con la norma ASME C177-19 [2], para medición de flujo calorífico en estado estacionario, asegurando trazabilidad metrológica y comparabilidad global de resultados. Esta dualidad metodológica, de rigor académico y cumplimiento normativo, garantiza que el equipo no sólo satisfaga necesidades pedagógicas, sino que también genere datos válidos y confiables para la investigación aplicada.

El banco de trabajo modular fortalecerá la enseñanza al ofrecer a los estudiantes una herramienta práctica para aplicar conceptos de transferencia de calor, desarrollando habilidades clave en sistemas térmicos. Este proyecto representa un avance estratégico para la PUJ de Cali, al integrar innovación tecnológica con excelencia académica, y al establecer una base sólida para mejorar la infraestructura educativa alineada con los estándares institucionales.

## 1.2 Objetivos del proyecto

### 1.2.1 Objetivo General

Diseñar y construir un prototipo de banco de pruebas modular para el estudio de la conducción de calor, garantizando su arquitectura abierta y su capacidad de expansión para futuros experimentos en otros mecanismos de transferencia de calor.

### 1.2.2 Objetivos Específicos

- Establecer una revisión bibliográfica-teórica y un análisis de equipos para fundamentar el diseño.
- Desarrollar un diseño eficiente de banco de prueba, considerando factores como modularidad, escalabilidad, costos, fácil manejo entre otros.
- Construir un prototipo funcional que cumpla con los requisitos de diseño.
- Validar el prototipo según los requerimientos funcionales establecidos.

## 1.3 Metodología

El proyecto sigue el enfoque sistemático propuesto por David G. Ullman [3], desarrollándose mediante un proceso estructurado de diseño y validación experimental. Se contemplan las siguientes fases:

Definición de especificaciones:

Se establecerán los requisitos técnicos y funcionales del proyecto, delimitando el alcance y los parámetros de diseño según los requisitos del cliente y los requisitos de ingeniería.

Diseño de concepto:

Se generarán y evaluarán diferentes soluciones y alternativas de diseño, seleccionando la más adecuada en función de las especificaciones definidas.

Diseño de detalle:

Se desarrollará la solución elegida, definiendo todos los componentes, dimensiones y características técnicas necesarias para la manufactura.

Manufactura y validación:

Se construirá el prototipo y se realizan pruebas y ensayos para verificar su correcto funcionamiento y cumplimiento de las especificaciones.

### 1.3.1 Plan de trabajo

El plan de trabajo se dividirá en 4 fases principales con sus respectivo entregable y 23 actividades repartidas en las 4 fases, las fases se dividen en:

1. Fase 1 (6 Actividades): Investigación En la fase 1 se realizará una revisión bibliográfica-teórica y un análisis de equipos para de esta forma tener una base sobre la cual fundamentar el diseño del banco de pruebas modular donde el entregable es un documento técnico que contenga toda la información sobre normativas de diseño y demás.
2. Fase 2 (8 Actividades): Diseño En la fase 2 se generará el diseño de concepto y posteriormente el diseño de detalle, de esta fase se tiene que generar los planos y selección de materiales para la realización del prototipo.
3. Fase 3 (3 Actividades): Ensamblaje En la fase 3 se construirá el prototipo del banco de pruebas modular utilizando los materiales seleccionados además de utilizar los planos para la compra y ensamble de las partes del prototipo.
4. Fase 4 (6 Actividades): Evaluación En la fase 4 se evaluará en función de la norma y validara el prototipo según los requerimientos funcionales establecidos y se realizarán las modificaciones pertinentes en búsqueda de cumplir con los requerimientos.

### 1.3.2 Cronograma de actividades

Cronograma general de trabajo. El cronograma se divide en dos partes: la primera va desde el inicio hasta la finalización del diseño; esta parte ya cuenta con fechas definidas. La segunda parte aún no tiene un cronograma con fechas específicas, las cuales se establecerán una vez finalizada la primera parte. Cabe mencionar que el proyecto, además de dividirse en dos partes, también se organiza en cuatro fases. Estas fases están dispuestas de modo que, al concluir cada una, haya un entregable correspondiente, así como una correlación lógica entre las actividades que conforman cada fase.

## 1.4 Entregables

Como se mencionó en el cronograma de actividades el proyecto va a estar dividido en cuatro fases con sus respectivos entregables los cuales son:

#### **Fase 1: Investigación**

**Anteproyecto:** El anteproyecto que tiene como objetivo sentar las bases mediante la investigación y análisis de información técnica relevante.

#### **Fase 2: Diseño**

**Planos de fabricación:** Conjunto de dibujos técnicos detallados con especificaciones, dimensiones y materiales necesarios para la construcción del banco de pruebas.

#### **Fase 3: Ensamblaje**

Tabla 1: Actividades y tiempo previsto

<b>No</b>	<b>Descripción</b>	<b>Tiempo previsto</b>	<b>Entregable</b>
1.1	Búsqueda de artículos científicos.	3 semanas	1
1.2	Revisión de normativas aplicables.	2 semanas	
1.3	Búsqueda y análisis de bancos de pruebas comerciales.	1 semanas	
1.4	Comparación de características y desempeño de equipos comerciales.	3 semanas	
1.5	Recolección de necesidades de los usuarios.	1 semanas	
2.1	Desarrollo de la matriz de la Casa de la Calidad (QFD).	2 semanas	2
2.2	Definición de especificaciones técnicas.	1 semanas	
2.3	Creación de bocetos iniciales del banco de pruebas.	2 semanas	
2.4	Modelado digital de componentes principales.	2 semanas	
2.5	Ensamblaje virtual y ajuste de dimensiones.	1 semanas	
2.6	Simulación térmica	3 semanas	3
2.7	Selección de materiales para la fabricación del prototipo.	2 semanas	
3.1	Fabricación de componentes mediante impresión 3D.	3 semanas	
3.2	Fabricación de piezas metálicas.	3 semanas	4
3.3	Ensamblaje del prototipo.	2 semanas	
4.1	Pruebas experimentales de conducción de calor.	2 semanas	
4.2	Ajustes finales en función de resultados de pruebas.	3 semanas	
4.3	Elaboración del manual de operación para la realización de experimentos de conducción de calor	3 semanas	4
4.4	Elaboración de documentación técnica.	36 semanas	

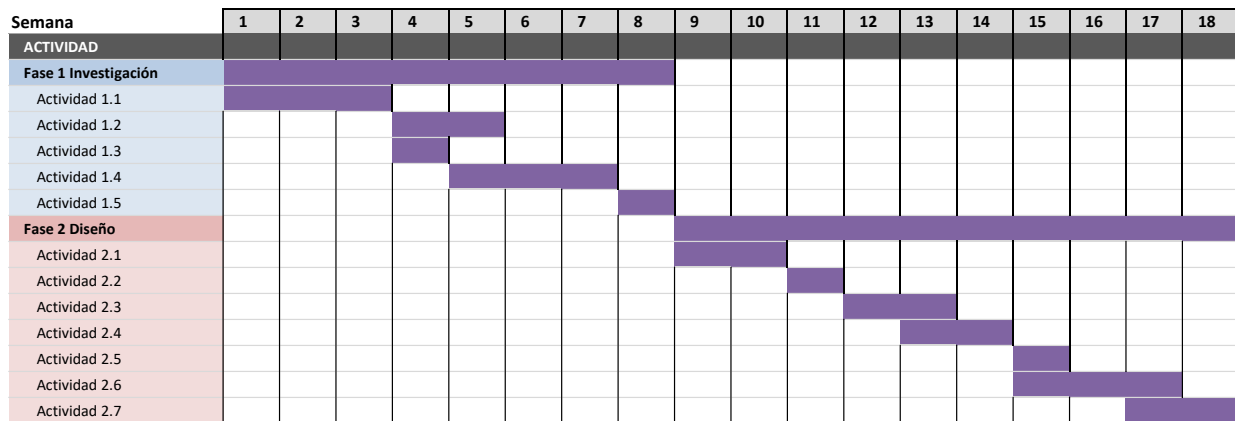


Figura 1: Parte 1 del diagrama de Gantt.

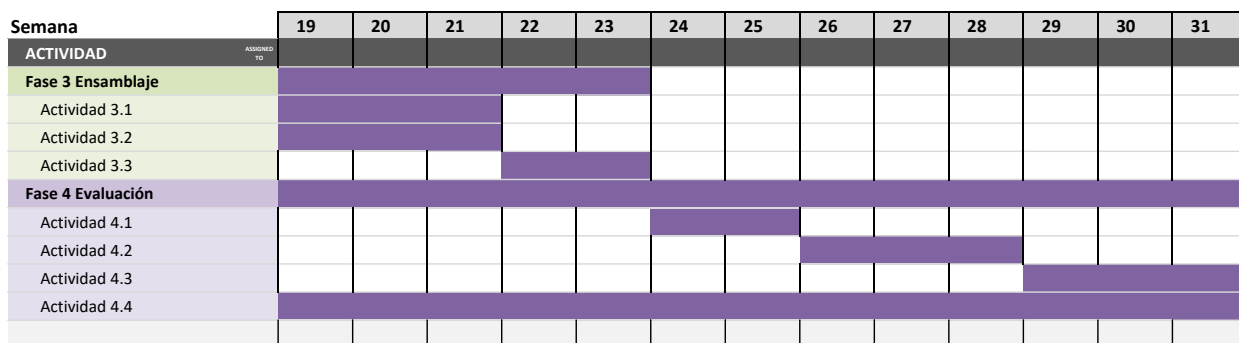


Figura 2: Parte 2 del diagrama de Gantt.

**Prototipo:** Modelo físico del banco de pruebas modular construido con base a los diseños de la fase 2

**Fase 4: Evaluación**

**Prototipo funcional:** Modelo físico del banco de pruebas modular, listo para validaciones experimentales de conducción de calor.

**Informe final:** Documento que recopila todo el desarrollo del proyecto, incluyendo el diseño, simulaciones, fabricación, pruebas experimentales y conclusiones.

**Manual de operación:** Guía con instrucciones para el uso adecuado del banco de pruebas, incluyendo procedimientos de seguridad, montaje y mantenimiento.

**Presentación de resultados:** Exposición final donde se presentan los hallazgos del proyecto, mostrando el diseño, validaciones y pruebas realizadas.

## 2. Estado del arte

Para el desarrollo del prototipo, se revisarán tanto estudios académicos, productos existentes y normas técnicas esto con el fin de asegurar la calidad y seguridad del dispositivo. Esta revisión buscara sentar una base sólida que oriente el diseño, especialmente considerando nuestra experiencia limitada en la creación de dispositivos experimentales de este tipo o similares.

Los estudios analizados destacan enfoques educativos de bajo costo, como los presentados por Southern Arkansas University (2015) y otros trabajos similares, que priorizan la accesibilidad sin sacrificar valor pedagógico. También se consideraron aportes más avanzados, como el uso de nanofluidos, con el objetivo de considerar también propuestas con mayor nivel de innovación o complejidad.

En paralelo, se evaluaron productos comerciales relacionados, con el fin de identificar buenas prácticas y limitaciones comunes. En conjunto, este análisis proporciona un marco de referencia útil para tomar decisiones de diseño y selección de materiales para el prototipo en la siguiente fase.

### 2.1 Estudios académicos sobre transferencia de calor

Diversos estudios han abordado la enseñanza y experimentación en el área de transferencia de calor desde perspectivas tanto experimentales como teóricas, al momento de realizar la investigación nos enfocamos en la accesibilidad económica y la aplicabilidad en entornos de formación ingenieril.

**Development of Heat Transfer Laboratory Experiments at an Affordable Cost (2005):** Presenta el diseño y prueba de aparatos para conducción térmica enfocados en estudiantes de ingeniería, destacando la implementación de sensores de bajo costo y el uso de materiales alternativos.

**Manual de prácticas del laboratorio de Transferencia de Calor (2019):** Documento que describe protocolos experimentales para medir coeficientes de transferencia térmica por conducción, convección y radiación.

**Heat Transfer Enhancement in Nanofluids (2018):** Revisión sobre el uso de nanofluidos para mejorar la transferencia térmica en sistemas industriales y de investigación.

### 2.2 Patentes

A través de la búsqueda y el análisis de patentes, se pretende identificar ideas o conceptos que puedan servir como referencia para el diseño del prototipo.

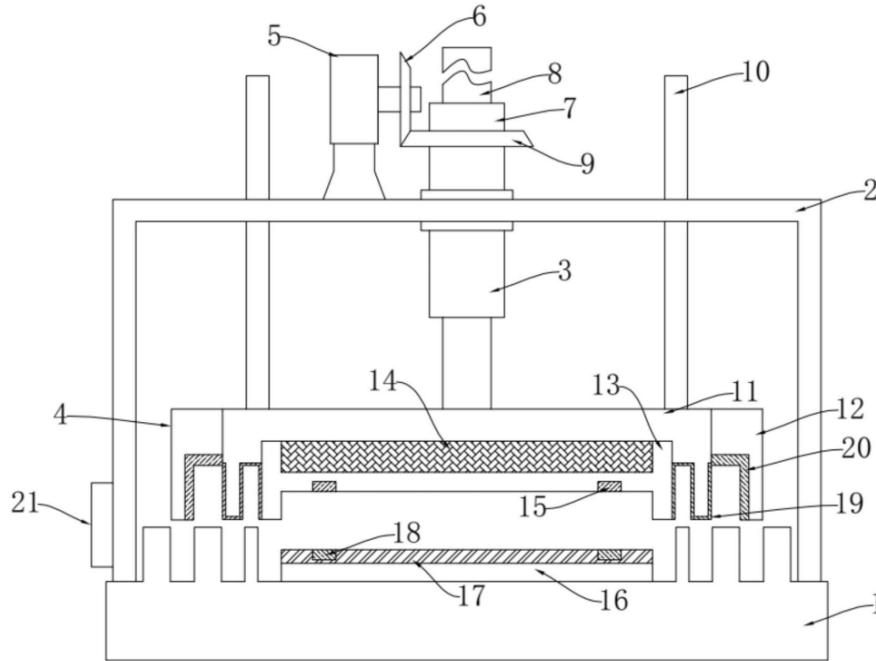


Figura 3: Diagrama de patente CN218584702U

**CN218584702U - Disposición de prueba del material de conducción de calor. Año: 2023**

**Solicitante:** Mianyang Polytechnic

La patente **CN218584702U** presenta un sistema para la evaluación de la transferencia de calor, caracterizado por una placa superior ajustable. Esta configuración permite adaptar la prueba a diferentes dimensiones de probetas, facilitando la realización de mediciones versátiles y precisas en una variedad de materiales y formas. Asimismo, la capacidad de ajuste garantiza un alineamiento independiente de la altura de la muestra, mejorando la efectividad en la determinación del efecto de conducción térmica [5].

En la figura 3 se destacan varios aspectos clave del diseño mecánico y térmico del sistema. La base (1) está diseñada para generar un sello hermético en conjunto con los elementos 11, 12 y 13, asegurando un aislamiento efectivo del entorno externo. Este sello hermético es fundamental para crear un sistema cerrado ideal, que evita la influencia de condiciones ambientales externas, garantizando la reproducibilidad y precisión en los ensayos realizados sobre la probeta.

La probeta se posiciona entre las placas 16 y 13, donde se integran los sensores de temperatura tanto en la parte superior como inferior, permitiendo una medición térmica precisa y representativa del perfil térmico durante el ensayo. La sujeción de la probeta se realiza mediante un tornillo de precisión ubicado en la parte superior, que asegura un contacto firme y estable, minimizando movimientos o desplazamientos que puedan afectar la uniformidad térmica y la integridad mecánica de la muestra.

**JP2005227010A - Dispositivo y método de medición de conductividad térmica Año: 2005**

**Solicitante:** Nichias Corp

La patente **JP2005227010A** presenta un método para medir las propiedades térmicas de materiales anisotrópicos, aquellos cuyos comportamientos térmicos varían según la dirección. Mediante el uso de un sensor de calor plano compuesto por una capa conductora delgada dispuesta en forma circular, se aplica una corriente eléctrica para generar calor, lo que permite evaluar la conductividad y la difusividad térmicas

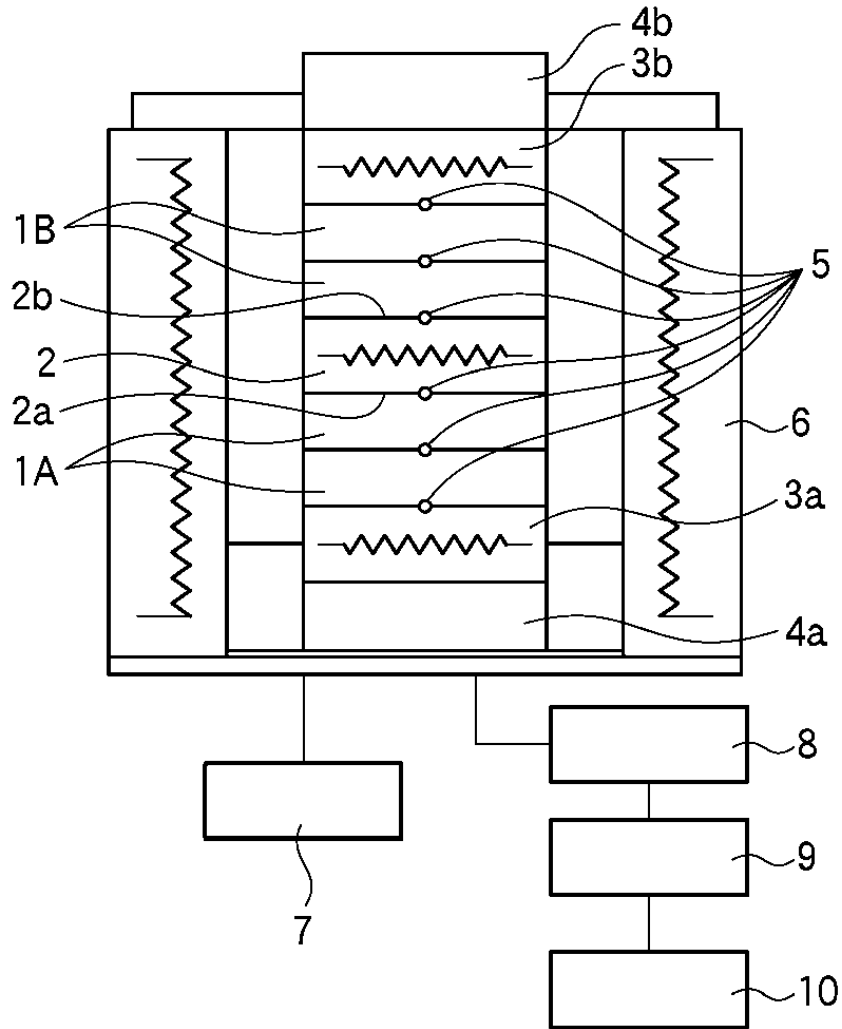


Figura 4: Diagrama de patente JP2005227010A

del material. Este enfoque es especialmente útil en contextos donde se requiere comprender las propiedades térmicas direccionales de materiales complejos [6].

En la figura 4 se identifican los componentes principales del sistema y su función dentro del diseño. Las probetas están ubicadas en las posiciones 1a y 1b, correspondiendo a las muestras que serán sometidas a ensayo térmico o mecánico. Los elementos de medición, señalados como 2a y 2b, consisten en sensores o dispositivos encargados de registrar parámetros clave como temperatura o deformación, ubicados estratégicamente para obtener datos precisos y representativos.

Las resistencias de calentamiento, indicadas como 3a y 3b, están diseñadas para proporcionar una fuente de calor controlada y uniforme sobre las probetas, asegurando un calentamiento reproducible. Los elementos numerados del 7 al 10 corresponden al sistema de control, que incluye dispositivos para regular la potencia, temperatura y posiblemente otros parámetros operativos, garantizando el control y seguro del proceso, finalmente, el elemento 4b es una pesa utilizada para aprisionar las placas que contienen la probeta, asegurando una presión constante y uniforme sobre la muestra. Esta sujeción mecánica es fundamental para mantener

la integridad y estabilidad dimensional durante el ensayo, evitando desplazamientos o pérdidas de contacto térmico que afectarían la precisión de los resultados.

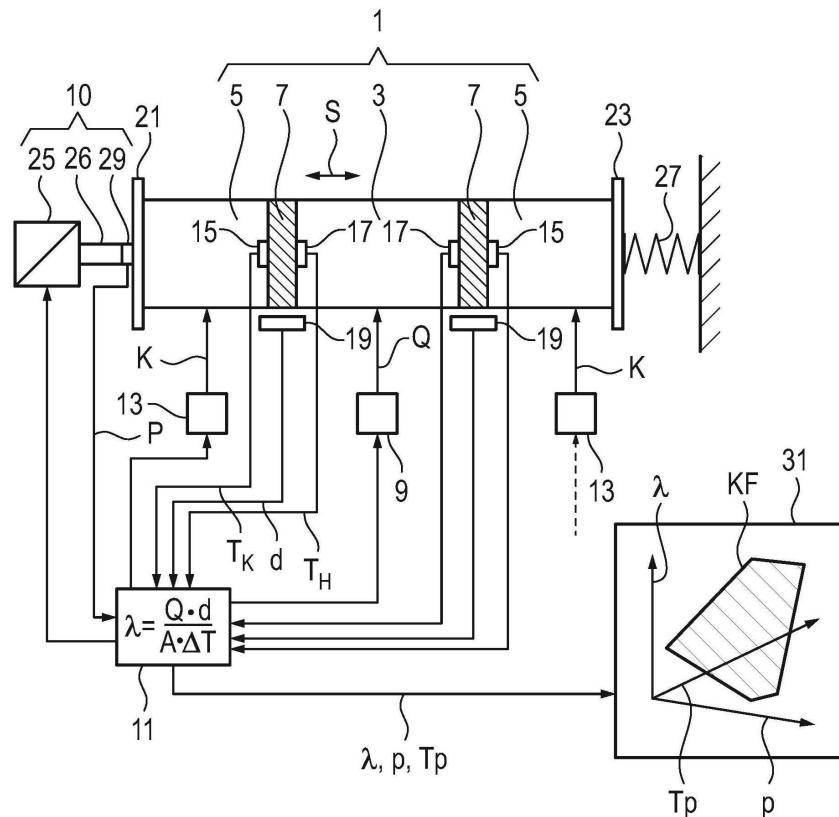


Figura 5: Diagrama de patente DE102022200422B3

### DE102022200422B3 - Dispositivo para determinar la conductividad térmica de una muestra de prueba Año: 2023

Solicitante: Volkswagen AG

La patente **DE102022200422B3**, describe un sistema de medición de la conductividad térmica que incorpora una estructura modular compuesta por elementos calefactores y sensores térmicos distribuidos. Este diseño permite la evaluación simultánea de múltiples muestras o la caracterización de materiales con geometrías complejas. La configuración modular facilita el ajuste del sistema a diferentes condiciones de prueba, mejorando la precisión y eficiencia en la medición de propiedades térmicas. [7].

La patente de Volkswagen comprende un sistema dividido en tres subsistemas principales. El primer subsistema, identificado del elemento 1 al 10, integra todos los componentes relacionados con las probetas y los elementos de prueba. En este conjunto, se disponen tres muestras que se calientan simultáneamente para poder realizar un análisis comparativo. El segundo subsistema está representado por el elemento 10, que corresponde al sistema de enfriamiento, encargado de mantener condiciones térmicas controladas durante el proceso. Finalmente, el tercer subsistema, que abarca los elementos del 11 al 25, constituye el conjunto de control, donde se gestionan y regulan parámetros críticos como la potencia y la temperatura.

En este diseño, las probetas externas funcionan como controles térmicos para medir el flujo de calor en relación con la probeta ubicada en la zona intermedia, permitiendo evaluar con precisión la transferencia y

el comportamiento térmico diferencial entre las muestras. La resistencia eléctrica calefactora, representada por el elemento 27, proporciona el calor necesario para el ensayo, asegurando un calentamiento uniforme y controlado.

### **CN107688039B - Sistema y método para probar el coeficiente de conductividad y la resistencia térmica interfacial de materiales en lámina Año: 2020**

**Solicitante:** Kunming University of Science and Technology

La patente **CN107688039B** describe un sistema y método para medir simultáneamente la conductividad y la resistencia térmica interfacial de materiales delgados. Este dispositivo integra técnicas de sensores planos transitorios con métodos de estado estacionario, mejorando la eficiencia y precisión de las mediciones sin comprometer la exactitud, lo que es especialmente relevante en contextos que requieren comparaciones entre materiales [8].

El mostrar el diagrama de este dispositivo tiene como objetivo presentar y enfocarse en las maneras que se pueden desarrollar

## **2.3 Aplicabilidad al Proyecto**

Las patentes revisadas ofrecen valiosas perspectivas sobre el uso de dispositivos adaptables y sistemas avanzados de medición en el ámbito de la transferencia de calor. En particular, la identificación de sistemas principales que forman parte de dispositivo para permitir su correcto funcionamiento, por ejemplo el sistema que se encarga de la medición, el calentamiento, control, entre otros.

## **2.4 Productos existentes**

Además de considerar los estudios académicos y las patentes, consideramos fundamental realizar un análisis de los diferentes productos existentes en el mercado y su aplicación en la enseñanza práctica. Esta revisión nos permite identificar soluciones ya desarrolladas, evaluar sus características técnicas, niveles de complejidad, así como su viabilidad económica y educativa.

Con este análisis no buscamos replicar dichos productos, sino comprender los enfoques y estrategias adoptados por los fabricantes para enfrentar desafíos similares, con el fin de fundamentar el desarrollo de soluciones centradas en nuestro objetivo.

**Heat Transfer Experiment Base Unit (TD1002)** La **Unidad (TD1002)** es la unidad principal de un sistema modular para la realización de experimentos sobre la transferencia de calor que controla, suministra energía y suministra un diferencial de temperatura en forma de un calentador y agua a temperatura ambiente a los experimentos lo que permite realizar una amplia variedad de experimentos sobre la transferencia de calor, ya que estos módulos experimentales facilitan el estudio de diferentes fenómenos térmicos, esta modularidad permite a los usuarios personalizar los experimentos según las necesidades específicas de investigación, convirtiéndola en una herramienta valiosa en el ámbito educativo y de investigación en ingeniería térmica. En cuanto al diseño del banco de trabajo, abre la posibilidad de tener dos sistemas, uno encargado de realizar las mediciones y los demás módulos que se conectan a esta central de medición que es la interfaz del usuario. [9].

**Computer Controlled Heat Transfer Service Unit - HT10X** La **Unidad de Servicio de Transferencia de Calor Controlada por Computadora (HT10X)** Esta unidad ha sido diseñada para proporcionar un entorno de experimentación controlado y eficiente. Se trata de un equipo de sobremesa que

alberga una variedad de accesorios experimentales modulares a pequeña escala, permitiendo la demostración de diferentes modos de transferencia de calor. Dispone de una salida de voltaje de 24 voltios y cuenta con diez puertos para la conexión de termopares, lo que facilita la recolección precisa de datos y el análisis detallado de los resultados. Además, el módulo incorpora una bomba que suministra agua fría a temperatura ambiente, utilizada para mantener la temperatura constante en una de las superficies del elemento de prueba. Este método constituye una solución ingeniosa para el estudio de los fenómenos de transferencia de calor. [10].

#### **Linear Heat Conduction Module - HT11X** El Módulo de Conducción Térmica Lineal (HT11X)

Este módulo está diseñado para el estudio de la conducción de calor en condiciones controladas. Su funcionamiento se basa en una fuente de agua que actúa como parte fría y una resistencia eléctrica que proporciona la fuente de calor, mientras que la medición de temperaturas se realiza mediante ocho termopares distribuidos estratégicamente. Los materiales necesarios para la experimentación se encuentran alojados en carcasas de plástico, lo que facilita tanto su manipulación como su mantenimiento. Para operar correctamente, este módulo requiere la unidad de servicio HT10X. Además, incorpora múltiples de metales con diferentes constantes térmicas, los cuales pueden emplearse como base para la preparación de probetas experimentales. [11].

#### **HEAT TRANSFER SERVICE UNIT H112** La Unidad de Servicio de Transferencia de Calor

**H112** es un dispositivo de sobremesa que proporciona alimentación de corriente alterna regulada y ajustable. Esta unidad incluye tomas de corriente auxiliares, un indicador digital de temperatura que permite la conexión de hasta doce termopares, y un medidor digital de corriente y voltaje. Su sistema de control y toma de datos es compatible con múltiples módulos de experimentación, lo que la convierte en una herramienta integral para la enseñanza y la investigación en transferencia de calor. [12].

#### **Linear Heat Conduction Module H112 A** El Módulo de Conducción Térmica Lineal H112 A es

similar a la **Unidad (TD1002)**, siendo que este es un accesorio que permite la investigación experimental de la conducción de calor y la medición de la conductividad térmica de diversos conductores y aislantes sólidos, este módulo se usa en la **unidad de servicio H112** Este módulo utiliza una fuente de agua como parte fría y una resistencia como parte caliente, con el control de temperatura siendo realizado por la unidad H112. Su diseño facilita la exploración de las propiedades térmicas de materiales en un entorno educativo y de investigación. [13].

**WL 430 - Convección y Conducción** El dispositivo WL 430 está diseñado para realizar experimentos que abordan dos formas fundamentales de transferencia de calor: conducción y convección. En este experimento, diversas muestras metálicas se calientan por un extremo, permitiendo que el calor se transfiera a través de la muestra hacia el entorno, de modo que la muestra actúa como una aleta de enfriamiento. Equipado con ventiladores ajustables, el dispositivo posibilita la realización de pruebas tanto con aire en reposo (convección libre) como con aire en movimiento (convección forzada).

Asimismo, cuenta con cinco sensores de temperatura distribuidos estratégicamente y un software que controla la potencia de calefacción y la velocidad del flujo de aire, ofreciendo una interfaz educativa que facilita el aprendizaje y la comprensión de los fenómenos térmicos. En la base que sostiene la muestra metálica, se encuentra un calentador adicional que permite observar las variaciones de temperatura a lo largo de una barra alargada, enriqueciendo así el análisis experimental. [14].

**WL 422 - Conducción de Calor en Fluidos** El dispositivo WL 422 está diseñado para llevar a cabo experimentos sobre la conducción de calor en fluidos, permitiendo la comparación precisa de la conductividad térmica de distintos líquidos y gases. Su configuración consta de dos cilindros concéntricos: un cilindro interior que se calienta eléctricamente y un cilindro exterior que se mantiene enfriado mediante un flujo de agua.

El espacio anular entre ambos cilindros se llena con el fluido a estudiar, y el diseño está concebido para minimizar o eliminar la convección, garantizando así mediciones exactas de la conductividad térmica.

El dispositivo es controlado por un software especializado de la marca GUNT, que facilita la adquisición de datos y apoya el aprendizaje teórico, consolidándolo como una herramienta valiosa para estudios avanzados en termodinámica y transferencia de calor. Además, este equipo tiene una estrecha relación con aplicaciones industriales, particularmente en el ámbito de las calderas, ya que permite observar de manera anticipada cómo fluidos como el aire y el agua pueden ser utilizados en procesos térmicos para calentar o enfriar sistemas industriales, contribuyendo a la comprensión práctica de dichos procesos. [15].

**WL 420 - Conducción de Calor en Metales** El dispositivo WL 420 está diseñado para realizar experimentos sobre la conducción de calor en metales, proporcionando una base sólida para el estudio y comprensión de este fenómeno térmico fundamental. En este equipo, una de las once muestras metálicas se calienta en su extremo superior mediante un calentador eléctrico, mientras que su extremo inferior se enfría utilizando un elemento Peltier. Esta configuración permite analizar la transferencia de calor en dirección vertical, así como estudiar la conducción térmica en metales compuestos por varias capas, mediante el uso simultáneo de dos muestras.

El control del dispositivo se realiza a través del software GUNT, que facilita tanto la operación como la adquisición y análisis de datos experimentales. Entre los dispositivos presentados, el WL 420 destaca por su simplicidad de diseño, su fundamentación teórica accesible y aplicable, así como por su bajo costo en materiales de construcción, lo que lo convierte en una opción especialmente viable para su implementación en entornos educativos y de investigación. [16].

**WL 460 - Transferencia de Calor por Radiación** El dispositivo WL 460 se centra en la transferencia de calor por radiación. En este experimento, una muestra metálica se calienta mediante un haz de luz generado por una lámpara halógena con reflector parabólico, que concentra la radiación en un punto focal. La medición de la radiación emitida por la muestra se realiza utilizando una termopila montada en un carro móvil, lo que permite medir la radiación a diferentes distancias y garantizar resultados precisos. [17].

**WL 376 - Conductividad Térmica de Materiales No Metálicos** El dispositivo WL 376 se utiliza para investigar la conductividad térmica de materiales no metálicos, un aspecto fundamental en el diseño y planificación de edificaciones que buscan garantizar un clima interior confortable y un consumo energético eficiente. Este equipo permite el estudio de diversos materiales, los cuales se colocan entre una placa calentada eléctricamente y una placa enfriada por agua. Un mecanismo de presión asegura un contacto térmico constante entre las superficies, mientras que las temperaturas se controlan mediante un software especializado. Además, el experimento se realiza dentro de un compartimento cerrado, lo que garantiza condiciones ambientales estables durante las mediciones, aspecto esencial para obtener resultados precisos y confiables.

Un elemento destacado de este dispositivo es su sistema de sujeción, que combina precisión y fuerza suficiente para asegurar que toda la superficie de la muestra esté en contacto adecuado, facilitando una transferencia térmica eficiente. En este caso, las probetas no son cilíndricas, sino que consisten en placas de metal, corcho y otros materiales, lo que amplía significativamente las posibilidades de estudio. Esta versatilidad permite que estudiantes no solo de ingeniería, sino también de arquitectura, puedan comprender el comportamiento de la transferencia térmica en entornos relacionados con la construcción civil. [18].

## 2.5 Conclusiones

**Mejores Prácticas Identificadas:**

- **Módulos Intercambiables:** Facilitan la adaptación del sistema a diferentes experimentos y necesidades educativas.
- **Sensores de Alta Precisión:** Aseguran mediciones confiables y exactas, con una configuración mínima de 4 sensores por modulo.
- **Software de Control Computarizado:** Permite la automatización de procesos y la recolección eficiente de datos, mejorando la experiencia del usuario.

#### Vacíos Detectados:

- **Integración con Tecnologías Emergentes:** Existe una carencia en la implementación de tecnologías como la impresión 3D, sensores IoT y sistemas de adquisición de datos en la nube, que podrían optimizar la funcionalidad y versatilidad del banco de trabajo.

#### Oportunidades:

- **Mejoras en el Diseño Modular:** Se pueden explorar nuevas configuraciones que maximicen la flexibilidad y la funcionalidad del sistema.
- **Sensores de Bajo Costo:** Investigar y adoptar sensores económicos que mantengan la precisión y reduzcan costos operativos.
- **Desarrollo de Software de Análisis Térmico Personalizado:** Crear herramientas específicas que faciliten el análisis y visualización de datos térmicos, adaptadas a las necesidades del laboratorio.

El análisis de las patentes revisadas ha permitido identificar soluciones clave que contribuyen al diseño funcional y eficiente de bancos de ensayo para la conducción térmica. Entre los elementos más destacados se encuentra:

- La adaptabilidad estructural: Patentes como la CN218584702U y DE102022200422B3 presentan mecanismos ajustables y configuraciones modulares que permiten la evaluación precisa de diferentes tipos de probetas, un aspecto crucial para la versatilidad en entornos académicos e industriales.
- El control térmico preciso: Diseños como los presentados en JP2005227010A y CN107688039B hacen uso de sensores estratégicamente ubicados, resistencias controladas y sistemas cerrados que minimizan las pérdidas térmicas, lo cual mejora significativamente la reproducibilidad experimental.
- El enfoque en materiales complejos o específicos: Algunas patentes incorporan metodologías para caracterizar materiales anisotrópicos o delgados, expandiendo las capacidades de análisis de los sistemas de prueba.

Las patentes evidencian una clara tendencia hacia la modularidad, precisión térmica y adaptabilidad de configuración, características que inspiran el desarrollo del presente banco de trabajo. Integrar estos principios permite no solo mejorar la calidad de las mediciones, sino también garantizar que el diseño propuesto pueda escalarse o adaptarse fácilmente a nuevas necesidades educativas o investigativas.

Los productos actualmente disponibles en el mercado, como los módulos TD1002, HT10X, WL 420, H112, entre otros, representan soluciones consolidadas en la enseñanza de la transferencia de calor. De su análisis, se destacan tres características fundamentales:

- **Interfaz educativa amigable:** Muchos dispositivos incorporan software especializado que facilita la recolección y análisis de datos, promoviendo un aprendizaje práctico más completo.

- Diseño modular y expandible: Unidades como HT10X permiten conectar múltiples módulos para realizar diferentes tipos de experimentos térmicos sin cambiar la unidad base, lo que aumenta su vida útil y aplicabilidad.
- Alta precisión y robustez: Equipos como el WL 422 y el HT11X destacan por su estabilidad térmica y facilidad de mantenimiento, lo cual los hace apropiados para entornos académicos exigentes.

Si bien estos dispositivos son técnicamente sólidos, su elevado costo, la dependencia de software propietario y la menor posibilidad de personalización limitan su aplicabilidad en instituciones con recursos reducidos. El banco de trabajo propuesto, en contraste, ofrece una solución de bajo costo, con diseño abierto y adaptable, que mantiene la funcionalidad esencial al tiempo que potencia el aprendizaje activo, la apropiación del conocimiento y la innovación local.

## 3. Requerimientos

En esta capítulo se identificara los diferentes requerimientos que el banco de pruebas debe completar para poder determinar que su correcto funcionamiento.

Partiendo de lo investigado en el capítulo 2 y de los objetivos establecidos en 1.2, se creara una lista de requerimientos los cuales ayuden a guiar el diseño del banco de pruebas de tal modo que cumpla con los objetivos establecidos.

La lista de requerimiento se dividió en grupos, estos grupos se establecieron según el área al que pertenecen, estos grupos son:

- Requerimientos técnicos: Se crearon a partir de los funciones que el banco de pruebas debe poder realizar para permitir el estudio de la conducción de calor.
- Requerimientos de ingeniería: Creados a partir de los estándares, códigos y regulaciones, referentes a experimentos de conducción de calor.

### 3.1 Requerimientos del cliente

Como ya se ha establecido anteriormente, los clientes del proyecto son los estudiantes y profesores de la Pontificia Universidad Javeriana de Cali, con esto en mente los requerimientos establecidos se sustentan en el syllabus de las diferentes materias en las que se ve estudia la transferencia de calor.

- El proyecto debe ajustarse al presupuesto definido.
- El banco de pruebas debe ser lo suficientemente ligero para que como máximo se necesiten dos personas para su transporte.
- Se debe adaptar a las dimensiones disponibles en el laboratorio para facilitar almacenamiento.

#### 3.1.1 Requerimientos técnicos

La siguiente clasificación de requerimientos determina que es lo que el banco de pruebas debe poder hacer.

- Medir la conductividad térmica de un material dado.
- Permitir el intercambio de muestras
- Incorporar materiales aislantes certificados que minimicen riesgos asociados al contacto con superficies calientes durante los experimentos.

- Utilizar materiales estructurales de alta calidad, para garantizar resistencia al uso continuo y prolongar la vida útil del equipo.
- Asegurar la transferencia de calor en las probetas para reducir tiempos experimentales, mejorando la eficiencia en las prácticas de laboratorio.

## 3.2 Requerimientos de ingeniería

Los requerimientos de ingeniería para el diseño de este banco de trabajo se fundamentaron en modelos preexistentes, los cuales también se utilizan para el análisis de la conducción de calor. Cada uno de estos modelos presenta particularidades específicas que fueron consideradas cuidadosamente para adaptar y optimizar el desarrollo del sistema, asegurando su funcionalidad y precisión en la experimentación térmica como se puede ver en la Tabla 2.

Tabla 2: Especificaciones técnicas.

Componente/Parámetro	Especificación Técnica	Unidad
<b>Parámetros Térmicos</b>		
Delta de temperatura máximo	10	$^{\circ}C$
Temperatura mínima de operación	0	$^{\circ}C$
Control de temperatura	0.1	$^{\circ}C$
Precisión	$\pm 0.1$	$^{\circ}C$
Resolución	0.1	$^{\circ}C$
<b>Sensores y electrónica</b>		
Sensibilidad	0.1mV	$\mu V/^{\circ}C$
<b>Dimensiones físicas</b>		
Área de trabajo	< 4	$m^2$
Masa total	< 50	kg
<b>Configuración experimental</b>		
Número de probetas	5	unidades
Número de accesorios	1	Unidades

## 3.3 Estándares

Los estándares técnicos y normas son fundamentales para garantizar la precisión, seguridad y cumplimiento legal en proyectos de ingeniería. A continuación, se detallan las normas mencionadas y su relevancia para el desarrollo del proyecto, junto con otras normas complementarias que podrían aplicarse.

**ASME Y14.5-2018: Dimensionamiento y Tolerancias Geométricas (GD&T)[19]** Esta norma establece los requisitos para especificar tolerancias dimensionales, de forma, orientación y posición en piezas y ensambles. Su aplicación es crítica en la fabricación de componentes mecánicos, ya que permite definir límites aceptables de variación mediante símbolos estandarizados en planos técnicos. Por ejemplo, el uso de cuadros de control GD&T asegura que las piezas encajen correctamente en un ensamble, evitando interferencias o fallos funcionales. Para verificar el cumplimiento, se emplean herramientas como máquinas de medición por coordenadas (CMM) o software de metrología, que validan las dimensiones críticas con alta precisión. En

el proyecto, esto garantizará que los diseños cumplan con las especificaciones funcionales y reduzcan costos por reprocesos.

**ASTM C177-19: Evaluación Térmica de Materiales**[2] Esta norma se enfoca en medir el flujo de calor en estado estacionario y propiedades térmicas de materiales aislantes, como espumas o fibras cerámicas, utilizando el método de placa caliente protegida. Su alcance incluye validar la conductividad térmica ( $k$ ) en un rango de temperaturas amplio ( $180^{\circ}C$  a  $815^{\circ}C$ ), con una precisión reportada de  $\pm 2\%$  bajo condiciones controladas. Para el proyecto, será esencial para seleccionar materiales que mantengan su eficiencia en entornos extremos, como sistemas de aislamiento térmico en equipos industriales o aeroespaciales. Los datos obtenidos mediante esta norma respaldarán decisiones técnicas y demostrarán cumplimiento con requisitos de rendimiento energético.

**ASTM E1225-25: Experimentos de conducción de conductividad térmica en sólidos con método de comparación con técnica de flujo de calor aislado** [20] Establece un método para medir la conductividad térmica de sólidos homogéneos y opacos mediante la técnica de flujo de calor longitudinal comparativo con guarda térmica. Consiste en colocar la muestra entre dos barras de referencia con conductividad conocida, aplicar un gradiente térmico y medir las temperaturas en varios puntos para calcular la conductividad del material. El método minimiza pérdidas de calor usando un sistema de guarda térmica y es aplicable a materiales con conductividades entre  $0.2$  y  $200W/(m \cdot K)$  en un rango de temperatura de  $90K$  a  $1300K$ . Además, especifica requisitos para los materiales de referencia, aislamiento y sensores de temperatura para asegurar precisión y reproducibilidad.

### 3.3.1 Desarrollo QFD

En principio se construyó la Casa de la Calidad para asegurar que el diseño del banco de estudio de conducción y sistema de control se alinee estrechamente con las necesidades del cliente y los requisitos técnicos. A continuación, se describe el proceso seguido para llegar a las conclusiones presentadas en la Casa de la Calidad:

- *Identificación de Requerimientos del Cliente (¿Qué?):* Se recopilan las necesidades y expectativas de los usuarios a través de encuestas, entrevistas y análisis de requerimientos del laboratorio. Estos se listaron en la columna izquierda de la Casa de la Calidad.
- *Definición de Características Técnicas (¿Cómo?):* Se identificaron las características técnicas y especificaciones del diseño que permitirían cumplir con los requerimientos del cliente. Estas se ubicaron en la fila superior de la matriz.
- *Matriz de Relaciones:* Se evaluó la relación entre cada requerimiento del cliente y cada característica técnica, utilizando una escala de símbolos para indicar la fuerza de la relación (fuerte, moderada, débil).
- *Priorización y Evaluación:* Se calcularon los pesos relativos de los requerimientos del cliente y las características técnicas para priorizar los aspectos más importantes del diseño.

A través de este proceso, se logró una comprensión clara de cómo las especificaciones técnicas del banco de estudio impactan directamente en la satisfacción de las necesidades del cliente, lo que permitirá un diseño optimizado y enfocado en la calidad.

Requerimientos del cliente adaptados:

Leyenda		
⊖	Relación fuerte	9
○	Relación moderada	3
▲	Relación débil	1
▼	El objetivo es minimizar	
▲	El objetivo es maximizar	
X	El objetivo es alcanzar el objetivo	

Figura 6: Leyenda de la matriz de la Casa de la Calidad (QFD).

- El proyecto debe ajustarse a un presupuesto definido: Presupuesto definido
- El banco debe adaptarse a las dimensiones disponibles en el laboratorio: Dimensiones específicas
- Compatibilidad física y funcional con equipos ya instalados en el laboratorio: Compatibilidad
- Seguridad eléctrica y térmica: Seguro
- Aislamiento térmico: Aislamiento térmico
- Garantizar resistencia al uso continuo mediante materiales estructurales: Resistencia estructural
- Modularidad y arquitectura abierta: Modularidad y arquitectura abierta
- Precisión en mediciones: Precisión
- Velocidad de calentamiento: Velocidad

Fila #	Valor de relación máxima en la fila	Peso relativo	Peso / importancia	Requisitos del cliente (también conocido como "qué")	Requisitos funcionales (también conocido como "cómo")	Columna #																				
						1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
						Dirección de mejora: Minimizar (▼), maximizar (▲) o objetivo (X)																				
						▼	▼	X	▲	X	X	X	▲	▲	▲	X	▲	▼	▼	X	▼	▲	▲	▼	▼	X
						▲	▲	○	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
1	9	14,8	9,0	El proyecto debe ajustarse a un presupuesto definido	▲	▲	○	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
2	9	8,2	5,0	El banco debe adaptarse a las dimensiones disponibles en el laboratorio	▲	▲	○	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	○	○	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲
3	9	13,1	8,0	Compatibilidad física y funcional con equipos ya instalados en el laboratorio.	▲	▲	▲	○	▲	▲	▲	▲	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
4	9	14,8	9,0	Seguridad eléctrica y térmica	▲	▲	▲	▲	○	○	○	○	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	○	▲	▲	▲	▲	▲	▲
5	9	11,5	7,0	Aislamiento térmico	▲	○	▲	▲	○	○	○	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	○	▲	▲	▲	▲	▲	▲
6	9	3,3	2,0	Garantizar resistencia al uso continuo mediante materiales estructurales	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
7	9	13,1	8,0	Modularidad y arquitectura abierta	▲	▲	○	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
8	9	16,4	10,0	Precisión en mediciones	○	○	○	○	○	○	○	○	▲	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
9	9	4,9	3,0	Velocidad de calentamiento	○	○	○	○	○	○	○	▲	▲	▲	▲	▲	○	○	○	○	▲	▲	▲	▲	▲	○

Figura 7: Matriz de relaciones de la QFD.

La priorización de las características técnicas se realizó considerando el peso relativo de cada característica y la dificultad de implementación. Los resultados indican que:

Valor objetivo o limite	3 L/min	psi	L	0.50%	0°C -120°C	100 °C	0°C	0.1°C	0.1± °C	0.1°C	K, RTD	80 µV/°C	2 m²	40 kg	10 mm	Goma, Cucho, ...	unidades	unidades	Pasos	Pasos	\$900000 COP
Dificultad (0 = fácil de lograr, 10 = extremadamente difícil)	1	3	2	6	5	5	5	8	7	7	2	8	4	7	3	4	2	2	8	2	8
Valor de relación máxima en la columna	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9
Peso / importancia	270.5	293.4	470.5	296.7	450.8	450.8	450.8	244.3	257.4	257.4	375.4	391.8	336.1	336.1	549.2	319.7	323.0	323.0	204.9	204.9	391.8
Peso relativo	3.8	4.1	6.5	4.1	6.3	6.3	6.3	3.4	3.6	3.6	5.2	5.4	4.7	4.7	7.6	4.4	4.5	4.5	2.8	2.8	5.4

Figura 8: Objetivos de diseño, evaluación competitiva y características a desplegar de la QFD.

El "área de trabajo" tiene el mayor peso relativo, lo que la convierte en una de las áreas más críticas para el diseño.

Algunas características, como el "aislamiento térmico", tienen un alto peso relativo pero una baja calificación en el análisis competitivo, lo que sugiere que deben ser priorizadas en los esfuerzos de mejora.

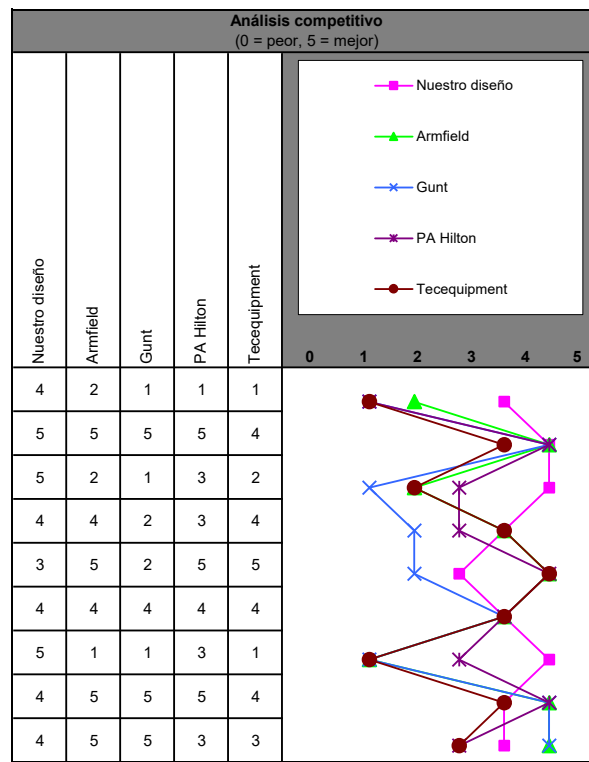


Figura 9: Evaluación competitiva de la QFD.

El análisis competitivo en la QFD compara el desempeño del banco de estudio de conducción y sistema de control con el de varios competidores en relación con los requerimientos del cliente. Los competidores identificados incluyen Armfield, Gunt, PA Hilton y TecEquipment, los cuales son empresas bien aseguradas en el campo de la venta de dispositivos para el estudio de fenómenos térmicos además de otros fenómenos físicos (ver Figura 9.)

### Metodología de la Calificación

- **Escala de Calificación:** Se utiliza una escala de 0 a 5, donde 0 representa el peor desempeño y 5 el

mejor.

- **Evaluación:** Se evalúa cada competidor en cada uno de los requerimientos del cliente.

## Interpretación de los Resultados

### 1. Presupuesto Definido:

- o **Nuestro Producto:** Calificación de 4.
- o **Competencia:** Armfield y Gunt destacan con una calificación de 5, indicando que son percibidos como más asequibles o que ofrecen una mejor relación calidad-precio.

### 2. Adaptación a las Dimensiones del Laboratorio:

- o **Nuestro Producto:** Calificación de 5.
- o **Competencia:** Armfield tiene una calificación de 2, lo que sugiere que sus productos pueden no adaptarse tan bien a las restricciones de espacio.

### 3. Compatibilidad Física y Funcional:

- o **Nuestro Producto:** Calificación de 5.
- o **Competencia:** Gunt tiene una calificación baja (1), lo que indica problemas de compatibilidad con equipos existentes.

### 4. Seguridad Eléctrica y Térmica:

- o **Nuestro Producto:** Calificación de 4.
- o **Competencia:** TecEquipment sobresale con una calificación de 5, sugiriendo que sus productos son percibidos como más seguros.

### 5. Aislamiento Térmico:

- o **Nuestro Producto:** Calificación de 3.
- o **Competencia:** Armfield y PA Hilton obtienen una calificación de 5, lo que indica un mejor aislamiento térmico.

### 6. Resistencia al Uso Continuo:

- o **Nuestro Producto:** Calificación de 4.
- o **Competencia:** Todos los competidores, excepto TecEquipment, tienen una calificación de 4, lo que sugiere que nuestro producto está a la par con la mayoría en términos de durabilidad.

### 7. Modularidad y Arquitectura Abierta:

- o **Nuestro Producto:** Calificación de 5.
- o **Competencia:** La mayoría de los competidores tienen calificaciones más bajas (1-3), lo que indica una ventaja competitiva en términos de flexibilidad y capacidad de expansión.

### 8. Precisión en Mediciones:

- o **Nuestro Producto:** Calificación de 4.
- o **Competencia:** Armfield, PA Hilton y Competidor 5 obtienen una calificación de 5, sugiriendo mayor precisión en las mediciones.

### 9. Velocidad de Calentamiento:

- o **Nuestro Producto:** Calificación de 4.
- o **Competencia:** Armfield sobresale con una calificación de 5, mientras que TecEquipment tiene la calificación más baja (3), indicando una velocidad de calentamiento inferior.

## Conclusiones

- **Fortalezas:** El producto destaca en adaptación a las dimensiones del laboratorio y modularidad.
- **Debilidades:** Hay áreas de mejora en presupuesto, seguridad eléctrica y térmica, aislamiento térmico y precisión en mediciones.

## 4. Diseño Conceptual

En este capítulo se analizará, evaluará y creará un diseño conceptual para el banco de trabajo de transferencia de calor, para lograr esto primero se abordará la identificación de las funciones que este debe de ser capaz de realizar para poder funcionar, posteriormente se generará una lista de formas en las cuales el dispositivo podría lograr realizar dichas funciones, usando esta lista de funciones se creará múltiples diseños los cuales van a ser evaluados, esto con el fin de determinar cual es el más adecuado para lograr nuestros objetivos. No obstante antes de comenzar con el análisis se ha de establecer que el banco de trabajo se compone por dos dispositivos de análisis de transferencia de calor, uno que sirve para realizar un análisis de conducción lineal de temperatura y otro que permite realizar un análisis de conducción radial de temperatura, estos dos sistemas van a trabajar de forma independiente con respecto al otro, por esta razón al momento de realizar el análisis funcional se realiza una distinción entre estos, a su vez al momento de realizar el diseño estos dos sistemas serán diseñados de forma independiente, no obstante al momento de realizar la evaluación y selección de diseño conceptual se tendrá en cuenta su compatibilidad como un factor de selección.

### 4.1 Descomposición o análisis funcional

Para realizar el análisis funcional se utilizará la caja negra y la caja blanca, en la caja negra se identifica todo lo que entra y todo lo que sale del banco de pruebas; cuando decimos "todo" nos referimos a cualquier energía y/o materia que entra y sale del banco de pruebas. En la caja blanca se analizará el intercambio de energías y masas que sucede en el banco de trabajo. El objetivo de estos análisis, el de caja negra y blanca, es el de determinar las funciones que el banco de pruebas debe realizar para poder realizar el funcionamiento esperado.

Pero antes de comenzar se ha de mencionar que aun que el banco de pruebas tiene una parte que permite el estudio de la conducción de calor lineal y otro que permite el estudio de la conducción de calor radial, estos dos presentan el mismo análisis de caja negra y de caja blanca, por esto no se va a hacer diferencia entre la parte lineal y la parte radial, solo en la parte de generación de alternativas se realizará una distinción entre estos, además, al momento de seleccionar cual es la mejor alternativa se tendrá en cuenta que el diseño del sistema lineal y del radial sean compatibles y no causen problemas entre si.

Teniendo en cuenta lo anterior mencionado se presenta en la figura 10 el análisis de caja negra, y como se menciono anteriormente en este se detallan los elementos que ingresan y los que salen de este.

A continuación, se procederá a realizar el análisis de la caja blanca.

El análisis mediante el método de la caja blanca de la figura 11 permitió identificar cinco funciones principales dentro del dispositivo de conducción de temperatura, estas funciones y conexiones se ven representadas en la caja blanca con líneas conectoras de diferentes colores, a continuación se explica cada función y el color con el que aparece en la caja blanca:

1. Función de sujeción (color negro): Subsistema encargado de la posición, fijación y contacto entre superficies de la probeta.

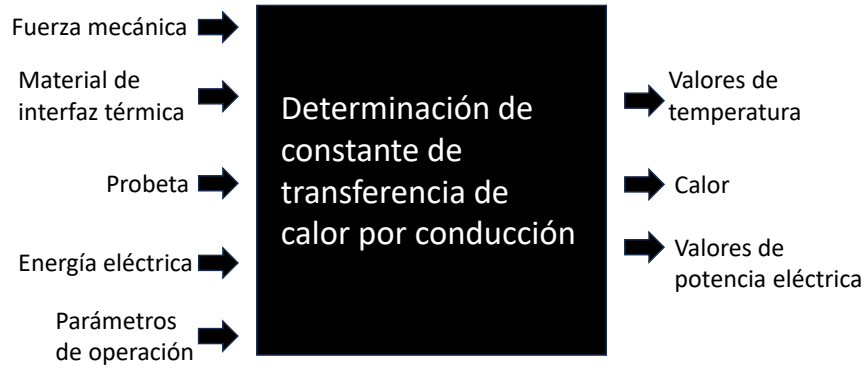


Figura 10: Caja negra de descomposición de funcionamientos.

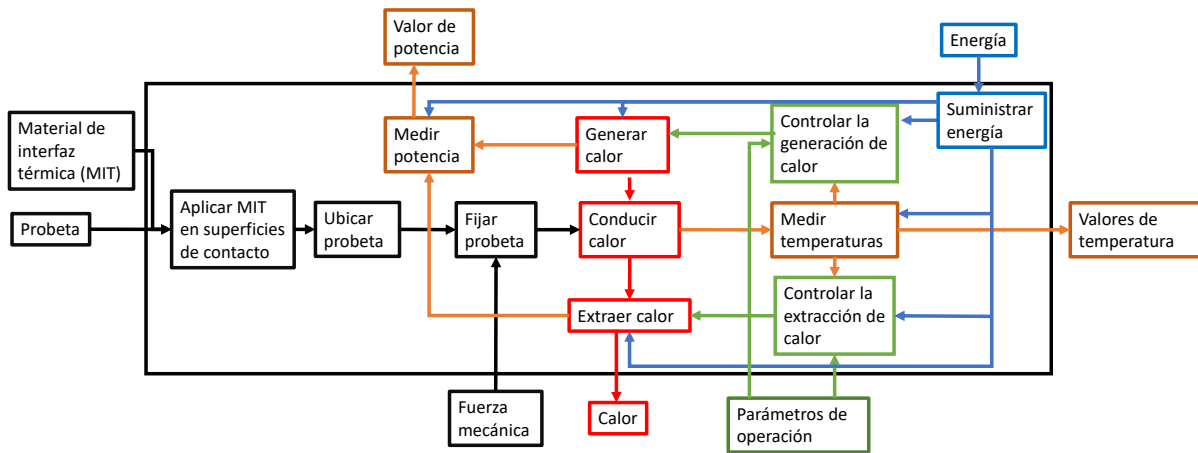


Figura 11: Caja blanca de descomposición de funcionamientos.

2. Función de flujo de calor (color rojo): Abarca la conducción de calor a través de la probeta, esto incluye la generación y extracción de calor en los extremos de la probeta.
3. Función de suministro de energía (color azul): Subsistema que suministra la energía a todos los subsistemas y dispositivos necesarios para el funcionamiento del banco de pruebas.
4. Función de control (color verde): Encargado de controlar el flujo de calor que pasa a través de la probeta.
5. Función de medición e indicación (color naranja): Realiza la medición de temperatura y otros parámetros y posteriormente los transmite al usuario.

Aun que es cierto que la "función flujo de calor" engloba la transferencia de calor en la probeta esta definición no es lo suficientemente precisa para poder realizar la generación de alternativas, por lo anterior se determino que lo mejor es que la "función de flujo de calor" se subdividiera en otras dos subfunciones esto para facilitar la generación de alternativas mas específicas para la función principal, estas subfunciones son:

1. Función calentamiento de muestra:

## 2. Función enfriamiento de muestra:

ademas de esto la función de control, suministro de energía y de medición van a ser desarrolladas por otro grupo de estudiantes por ende estas no se tendrán en cuenta para la generación de alternativas o de diseño.

En la tabla 3 se muestra las alternativas de las funciones

Tabla 3: Tabla de alternativas según función

<b>Función</b>	<b>Alternativa 1</b>	<b>Alternativa 2</b>	<b>Alternativa 3</b>	<b>Alternativa 4</b>
Sujeción de muestra	Tornillos de precisión con placas de presión	Abrazaderas de resorte	Cierre de Palanca	
Calentamiento de muestra	Resistencia eléctrica	Inducción magnética	Celda Peltier	Combustión
Enfriamiento de muestra	Refrigeración Líquida	Ventiladores con aletas de aluminio	Celda Peltier	

Para el diseño del sujetador/posicionador de la probeta, es fundamental considerar ciertos aspectos clave: la presión de contacto mínima necesaria, para de esta forma asegurar una menor resistencia de contacto térmico; y el aislamiento térmico lateral, necesario para reducir las perturbaciones en el experimento debido a la temperatura ambiente.

Tabla 4: Tabla Pugh para concepto de diseño sujeción

<b>Función</b>	<b>Alternativa 1</b>	<b>Alternativa 2</b>	<b>Alternativa 3</b>
Permite sostener y mantener fijos los elementos de estudio	Tornillos de precisión con placas de presión	Abrazaderas de resorte: el objetivo que la fuerza del resorte aplastar la probeta	Cierre de Palanca: con ajuste mecánico se puede encerrar la pieza.

En cuanto a los elementos que permitan realizar la función de calentamiento hay múltiples opciones que convierten energía en calor, algunos ejemplos de estos son aquellos que convierte electricidad a un diferencial de temperatura o los que usan una reacción química para lograr este cambio de temperatura, de esta manera tenemos múltiples alternativas para esta función.

Tabla 5: Tabla Pugh para concepto de diseño calentamiento

<b>Función</b>	<b>Alternativa 1</b>	<b>Alternativa 2</b>	<b>Alternativa 3</b>	<b>Alternativa 4</b>
Generar un aumento de temperatura	Resistencia eléctrica: permite calentar directamente con la misma cantidad de potencia suministrada	Inducción magnética: método de calentamiento de alta velocidad, difícil de controlar	Celda Peltier: la dirección me dice si calienta o enfría.	Combustión: poco convencional, pero el combustible es relativamente abundante

Para la función de extracción de calor hay diferentes alternativas dependiendo de cuanto calor deseemos extraer y a que temperatura esperamos llegar.

Tabla 6: Tabla Pugh para concepto de diseño extracción de calor.

<b>Función</b>	<b>Alternativa 1</b>	<b>Alternativa 2</b>	<b>Alternativa 3</b>
Generar una disminución de temperatura	Refrigeración Líquida	Ventiladores con aletas de aluminio	Celda Peltier

## 4.2 Generación de alternativas conducción lineal de calor

La sección de especificación del diseño detalla los requisitos precisos que el sistema debe cumplir para satisfacer las necesidades de los clientes o grupos de interés. Realice una lista de alternativas de solución o diseño utilizando técnicas de ideación por medio de un proceso creativo [19]. Debe considerar al menos cinco alternativas con su respectiva explicación.

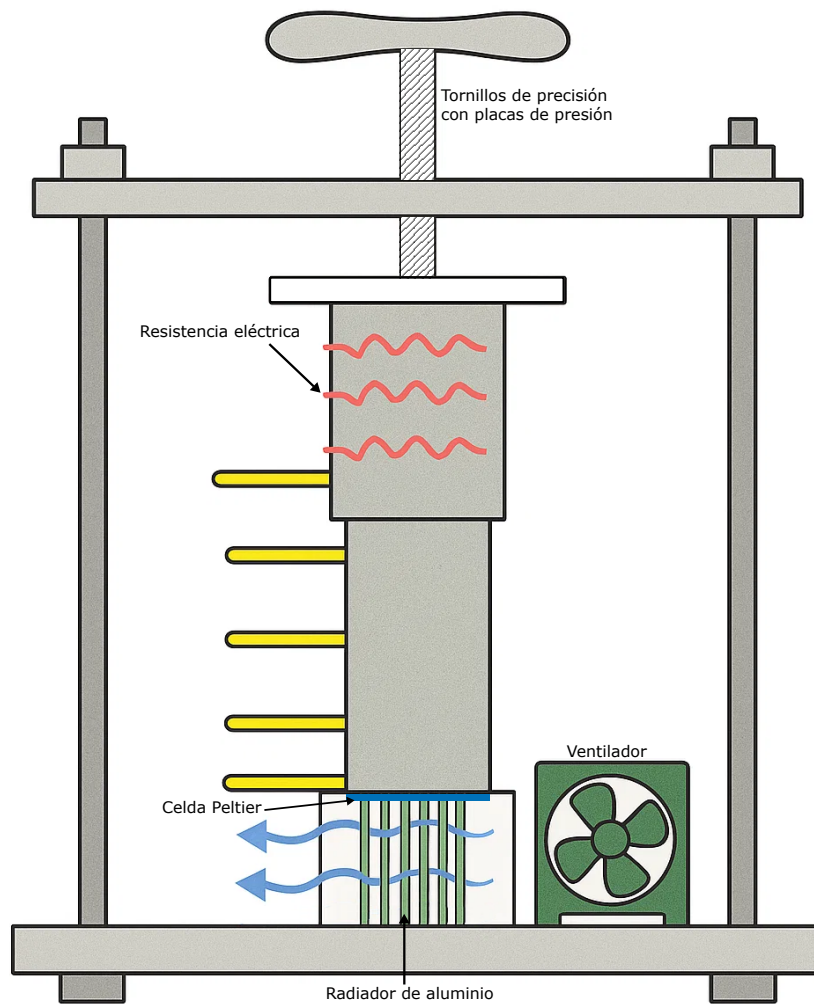


Figura 12: Imagen de referencia primer concepto.

La primera alternativa (figura 12) incorpora un sistema de sujeción mediante un tornillo de precisión, diseñado para asegurar firmemente la probeta durante las pruebas, garantizando estabilidad y repetibilidad en las mediciones. En uno de los extremos, se integra una o varias resistencias eléctricas (rojo) que actúa como elemento calefactor, mientras que en el extremo opuesto se encuentra un radiador (verde claro) el cual es enfriado por convección forzada gracias a un ventilador controlable, permitiendo un control térmico bidireccional.

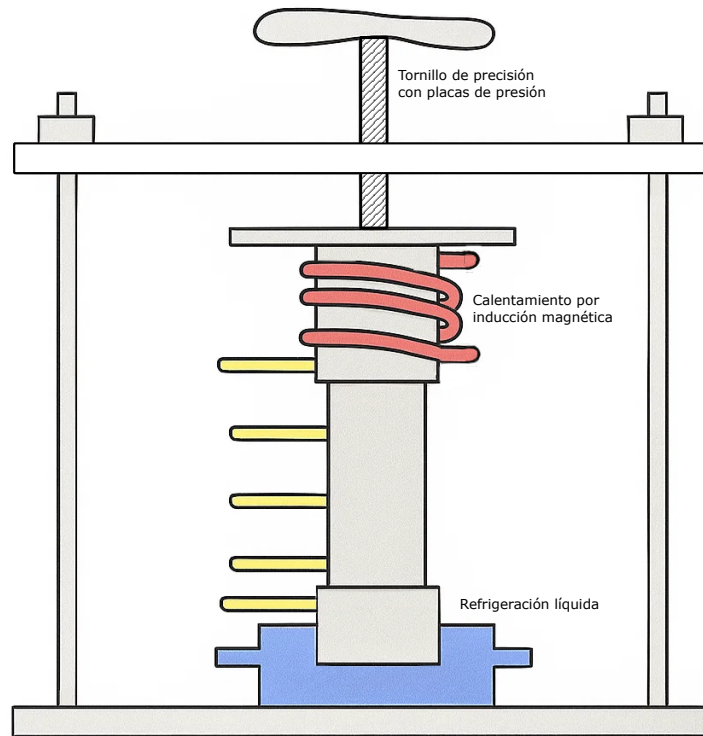


Figura 13: Imagen de referencia segundo concepto.

La segunda alternativa (figura 13) emplea un sistema de sujeción mediante un tornillo de presión que fija las diferentes piezas para que estas no se puedan mover, estas piezas son cilindro de calentamiento y enfriamiento fabricadas con metales de alta conductividad térmica para optimizar la transferencia de calor. Para la extracción de calor en la zona de enfriamiento se utiliza una bomba de agua que circula agua a temperatura ambiente a través de las placas para la disipación térmica (flujo del agua color azul), mientras que un inductor magnético (rojo) se encarga de generar calor mediante inducción electromagnética en el lado de calentamiento; esto permitiría un calentamiento rápido y una gran capacidad de extracción de calor.

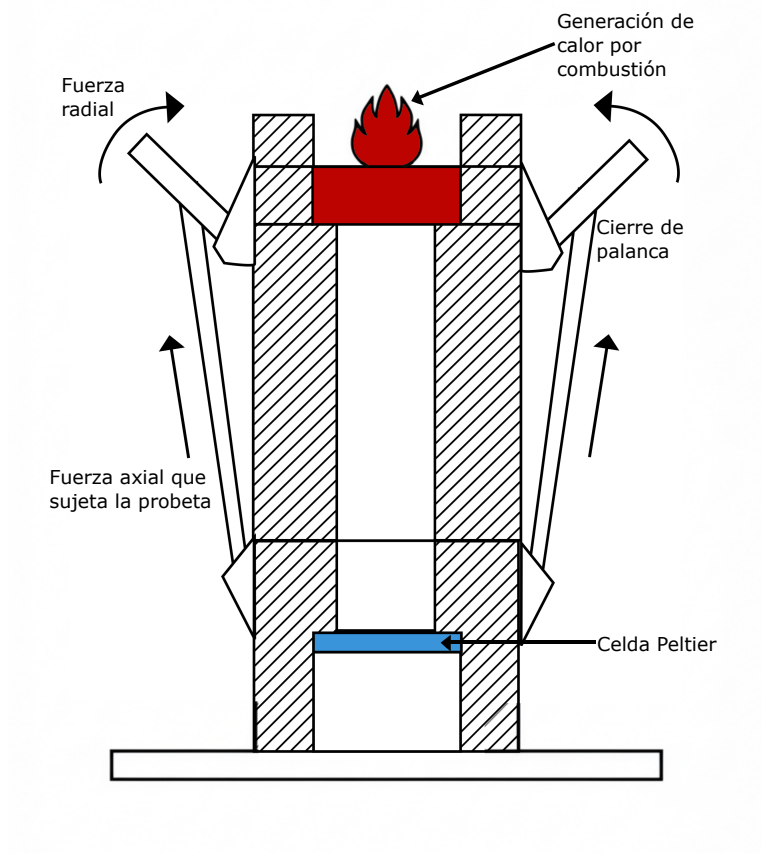


Figura 14: Imagen de referencia tercer concepto.

La tercera alternativa (figura 14) emplea un sistema de sujeción basado en cierres de palanca, que aseguran firmemente la probeta. El cilindro superior proporciona la generación de temperatura mediante combustión (rojo), y el cilindro inferior es enfriado con una celda Peltier (azul claro). Este diseño simplifica la generación de temperatura a solo colocar un combustible y posteriormente encenderlo. La celda Peltier debería permitir proporcionar el control necesario, dado que la combustión no es controlada más allá de establecer una cantidad de combustible inicial.

### 4.3 Generación de alternativas conducción radial de calor

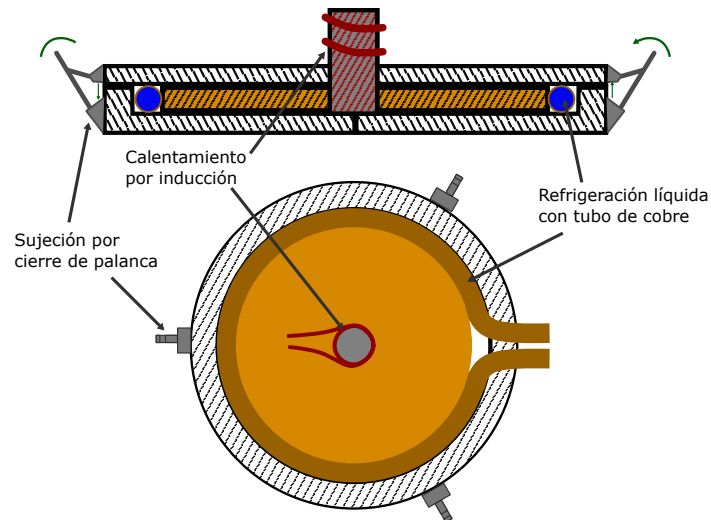


Figura 15: Imagen de referencia primer concepto.

La primera alternativa (figura 15) se fundamenta en las alternativas de función de sujeción por cierre de palanca, refrigeración líquida, calentamiento por inducción. Al centro del disco de cobre se incrustaría un cilindro de un material que sea buen conductor de temperatura, este cilindro es calentado por un inductor magnético de este modo suministrando la generación de temperatura en el sistema, y el disco de cobre es enfriado a su alrededor por un tubo de cobre por el que fluye agua o algún líquido refrigerante.

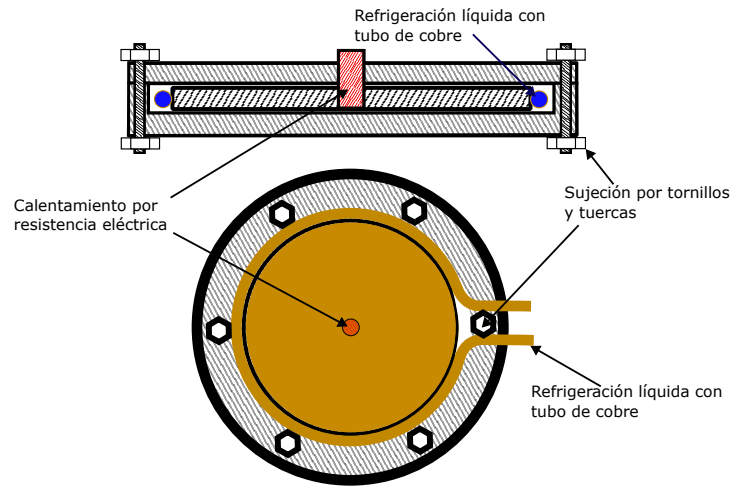


Figura 16: Imagen de referencia segundo concepto.

En la segunda alternativa (figura 16) se mantiene el sistema de refrigeración líquida, pero el sistema de sujeción y el sistema de calentamiento se cambia por un sistema de tornillos y de resistencia eléctrica respectivamente, el sistema de sujeción por tornillos es una adaptación del concepto de sujeción por tornillo de precisión.

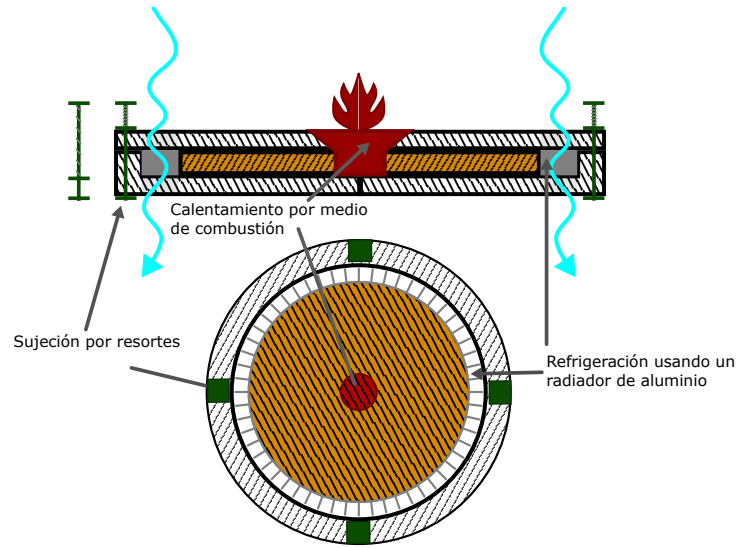


Figura 17: Imagen de referencia tercer concepto.

Por ultimo la tercera alternativa (figura 17) se basa en el sistema de sujeción por resortes, calentamiento por combustión y refrigeración por radiador de aluminio y convección forzada,.

## 4.4 Criterios de Evaluación

Para evaluar y seleccionar la mejor alternativa, se definió criterios de evaluación específicos para cada tipo de elemento involucrado. A continuación, se establecen los criterios de evaluación para cada uno de las funciones mencionadas:

### 4.4.1 Criterios de Evaluación para Componentes del Banco de Trabajo Modular

#### 1. Elementos de Sujeción (tornillos de presión con placas, abrazaderas de resorte, cierre de palanca)

- **Capacidad de sujeción y fuerza de apriete:** Deben garantizar una sujeción firme y estable para evitar desplazamientos durante el experimento.
- **Facilidad de ajuste y montaje:** El sistema debe permitir ajustes rápidos y sin herramientas complejas para facilitar el montaje y desmontaje del prototipo.
- **Seguridad operativa:** Deben minimizar riesgos para el operador, evitando puntos de pellizco o liberación brusca.

Tabla 7: Evaluación subsistema de elemento de sujeción

Subsistema	Elemento	Criterio de evaluación	Calificación	Total		
Elemento de sujeción	Tornillo de presión con placas	Capacidad de sujeción	5	12		
		Facilidad de ajuste	3			
		Seguridad	4			
		Capacidad de sujeción	2			
		Abrazadera de resorte	Facilidad de ajuste		4	9
		Seguridad	3			
	Cierre de palanca	Capacidad de sujeción	4	10		
	Facilidad de ajuste	4				
	Seguridad	2				

#### 2. Calentamiento de Muestra (resistencia eléctrica, inductor magnético, celda de Peltier, combustión)

- **Control y estabilidad térmica:** Capacidad para mantener temperaturas constantes y uniformes.
- **Seguridad:** Deben minimizar riesgos para el operador, evitando que pueda causar quemaduras.
- **Facilidad de integración:** Que el sistema de calentamiento se pueda montar y desmontar fácilmente en el banco de pruebas.

- **Respuesta térmica:** Tiempo de calentamiento rápido.

Tabla 8: Evaluación subsistema de elemento de calentamiento

Calentamiento de muestra	<b>Resistencia eléctrica</b>	Control y estabilidad térmica	5	17
		Seguridad	4	
		Facilidad de integración	4	
		Respuesta térmica	4	
	<b>Inductor magnético</b>	Control y estabilidad térmica	4	14
		Seguridad	4	
		Facilidad de integración	2	
		Respuesta térmica	4	
	<b>Celda Peltier</b>	Control y estabilidad térmica	5	15
		Seguridad	4	
		Facilidad de integración	3	
		Respuesta térmica	3	
<b>Combustión</b>	Control y estabilidad térmica	1	5	
	Seguridad	1		
	Facilidad de integración	1		
	Respuesta térmica	2		

### 3. Enfriamiento de Muestra (refrigeración líquida, ventiladores, celda Peltier)

- **Capacidad de disipación térmica:** Debe mantener temperaturas constantes, de esta forma generar gradientes térmicos estables.
- **Control y regulación:** Posibilidad de ajustar el flujo o la potencia para controlar la temperatura.
- **Facilidad de integración:** Que el sistema sea fácil de integrar en el banco de pruebas.
- **Seguridad:** Deben minimizar riesgos para el operador, evitando piezas móviles expuestas u otros elementos que puedan afectar la seguridad.

Tabla 9: Evaluación subsistema de elemento de enfriamiento

<b>Subsistema</b>	<b>Elemento</b>	Criterio de evaluación	Calificación	Total
<b>Enfriamiento de la muestra</b>	<b>Refrigeración líquida</b>	Disipación térmica	5	16
		Control y regulación	5	
		Facilidad de integración	3	
		Seguridad	3	
	<b>Radiador de aluminio</b>	Disipación térmica	3	15
		Control y regulación	5	
		Facilidad de integración	4	
		Seguridad	3	
	<b>Celda Peltier</b>	Disipación térmica	1	13
		Control y regulación	5	
		Facilidad de integración	3	
		Seguridad	4	

Estos criterios permiten evaluar cada alternativa para seleccionar el diseño conceptual más adecuado para el prototipado del banco de pruebas de conducción de calor, los valores fueron dados en función de experiencias personales y de lo aprendido en el capítulo 2 sobre como estos dispositivos operan y lo que necesitan para su funcionamiento, principalmente inspirados en el la sección 2.4 Productos existentes, énfasis en inspiraron ya que no tomamos estos equipos y lo que estos hacen como limitantes en los diseños y evaluaciones realizadas.

## 4.5 Evaluación de diseños generados

A continuación se realiza la comparación de los conceptos de diseño generados para las diferentes alternativas, con el fin de evaluar sus características principales y determinar cuál alternativa cumple de mejor manera con los requisitos técnicos y funcionales establecidos, para la realización de esta comparación sea utilizara los valores dados a cada alternativa de función y el total de estos sera el valor dado a dicho diseño.

### 4.5.1 Evaluación diseños conducción lineal

- Primer concepto de conducción lineal (42 puntos): Donde sus principales ventajas son su tornillo de precisión que asegura firmeza y repetibilidad, además de su control debido a la integración de su resistencia eléctrica, su único defecto es la celda peltre ya que esta por si sola no es capaz de enfriar el sistema, se necesitaría de otro método que le ayude a a expulsar el calor.
- Segundo concepto de conducción lineal (42 puntos): Su mayor fortaleza es su sistema por refrigeración líquido encargado de disipar el calor y la generación de calor por inducción magnética permite un control preciso sobre las temperaturas en el sistema, no obstante tiene un defecto y es su complejidad, tanto por parte de la refrigeración líquida como por parte de la inducción magnética.
- Tercer concepto de conducción lineal (27 puntos): Este concepto es deficiente, tanto la falta de control por parte de la combustión como generación de calor como las limitaciones de la celda peltier hacen que este diseño no sea viable de ninguna forma.

### 4.5.2 Evaluación diseños conducción radial

- Primer concepto de conducción radial (40 puntos): El diseño es similar en lo que refiere a la selección de alternativas de funciones al "Segundo concepto conducción lineal" y al igual que este posee sus mismas fortalezas debilidades, siento estas su control y su complejidad respectivamente, además de estos se considera que la integración de sujeción por cierre de palanca solo aumenta la complejidad al diseño sin aumentar su funcionalidad.
- Segundo concepto de conducción radial (45 puntos): Este diseño aunque teniendo una complejidad similar al primer diseño de conducción radial, es también el que más puntos tiene y esto es debido al cambio de la inducción magnética a la resistencia eléctrica, proporcionando un control igual pero con una complejidad menor, además de esto la sujeción por tornillos asegurar una firme sujeción, no obstante el uso de tornillos y tuercas de esta forma dificulta el intercambio de discos para realizar pruebas
- Tercer concepto de conducción radial (29 puntos): Este concepto tiene un valor tan bajo debido a la integración de la combustión como medio para la generación de calor, no obstante he de mencionarse que tanto el sistema de sujeción como el de refrigeración son buenas opciones esto debido a que facilitan el montaje y desmontaje de discos además de que al utilizar convección forzada sin el uso de un sistema de refrigeración líquida supone una gran simplificación al sistema en comparación a los otros dos conceptos de diseño.

## 4.6 Selección diseño de probeta conducción lineal

Aun que el diseño de la probeta es un cilindro el como apilan en el sistema de conducción lineal, por lo anterior se diseñaron tres diferentes formas inspirados en los productos existentes (sección 2.4) y otros diseños que consideramos

En todas los diseños se tiene un cilindro central que es la muestra para experimentación y un cilindro de aislante que recubre este, la selección de diseño de probeta se centra en el diseño de estos cilindros de tal forma que al ser apilados estos sean estructuralmente estables y que las muestras queden alineadas para asegurar una correcta realización del experimento, además de estos las imágenes son vistas de sección de los diseños.

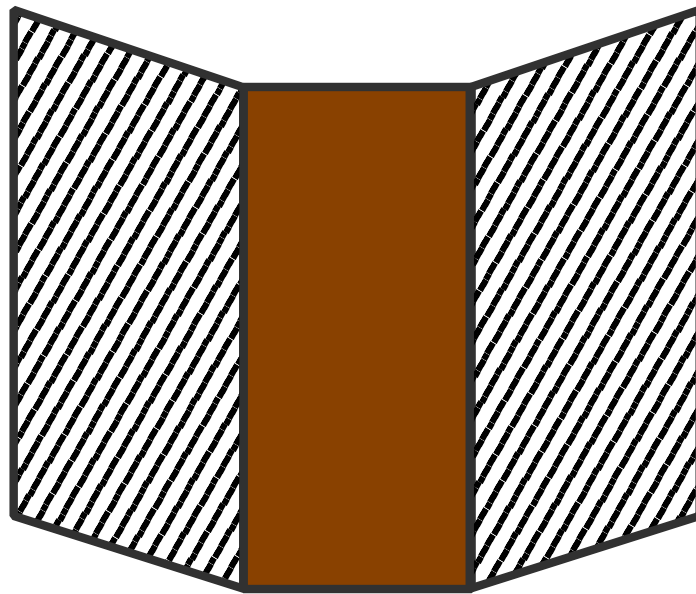


Figura 18: Vista de sección primer concepto probeta conducción lineal.

En el primer diseño (imagen 18), en este diseño el cilindro tiene en un extremo una punta cónica y en el otro un agujero cónico, la de aislare la probeta y la de servir como alineación, esto ya que en un extremo tiene una punta cónica y y agujero cónico

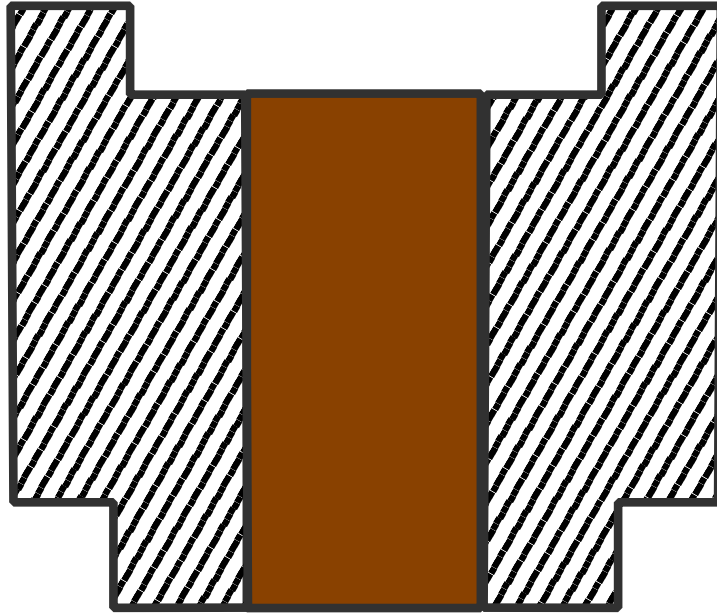


Figura 19: Vista de sección segundo concepto probeta conducción lineal.

En el segundo diseño (imagen 19) se tomo como referencia el diseño de las probetas de un producto existente, mas precisamente del modulo HT11X – Conducción de calor lineal [11], en este modulo hay un pequeño "escalón" que permite al igual que el concepto anterior alinear las probetas y asegurar la repetibilidad de los experimentos.

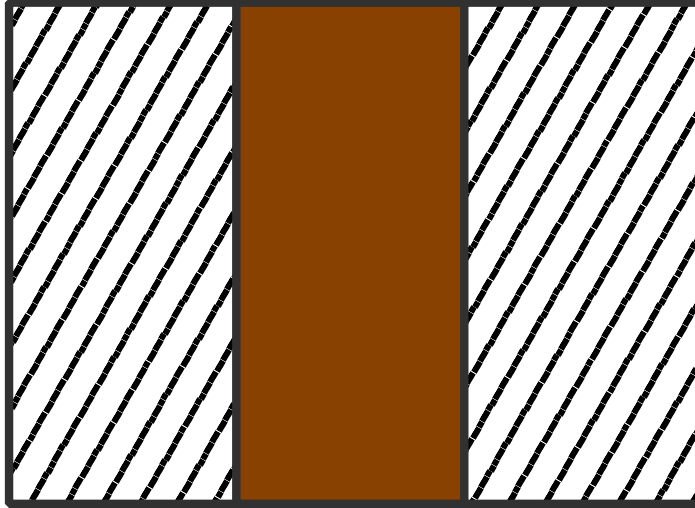


Figura 20: Vista de sección tercero concepto probeta conducción lineal.

En el tercer diseño (imagen 20) el diseño es lo mas simple posible, un cilindro con caras rectas, aun que es cierto que el diseño no ayuda con la alineación de las probetas lo que presaría los errores humanos al momento de realizar los experimentos, pero también es cierto que al ser un cilindro con caras planas la fabricación es bastante fácil.

### 4.6.1 Conclusión

El segundo concepto de conducción radial es el que mas puntos tiene por ende se considera que es el mejor, sin embargo la complejidad que supone la implementación de la refrigeración líquida supone un limitante, sin embargo si supones que el concepto de conducción lineal también utilice refrigeración líquida, podemos aceptar dicha complejidad ya que los dos conceptos se beneficiarían del sistema de refrigeración.

Y aunque el segundo concepto de conducción lineal es el que tiene refrigeración líquida se considera que reemplazar el sistema de refrigeración del primer concepto de conducción lineal es mas beneficioso, debido a que se elimina la complejidad de agregar el calentador por inducción magnética.

En lo que respecta a la selección del diseño de las probetas se decidió que el segundo concepto es el que se va a usar, esto debido a que permite alinear los cilindros de prueba y a diferencia del primer concepto se considera que es mas fácil de mecanizar.

## 4.7 Cronograma y Presupuesto de Detalle

Tabla 10: Presupuesto tentativo

Componente	Descripción / Aplicación	Sistema	Precio Unitario (COP)	Subtotal (COP)
Aislante térmico	Cilindro sólido de PVC de 2 metros para construir el aislante de las probetas	Módulo de conducción térmica	\$ 45.000	\$ 45.000
Cilindro de cobre	Cilindro sólido de 30 cm de largo y 2.5 cm de diámetro para pruebas de conducción	Módulo de conducción térmica	\$ 90.000	\$ 90.000
Cilindro de latón	Cilindro sólido de 30 cm de largo y 2.5 cm de diámetro para pruebas de conducción	Módulo de conducción térmica	\$ 70.000	\$ 70.000
Cilindro de acero inoxidable	Cilindro sólido de 30 cm de largo y 2.5 cm de diámetro para pruebas de conducción	Módulo de conducción térmica	\$ 85.000	\$ 85.000
Cilindro de aluminio	Cilindro sólido de 30 cm de largo y 2.5 cm de diámetro para pruebas de conducción	Módulo de conducción térmica	\$ 60.000	\$ 60.000
Cilindro de acero	Cilindro sólido de 30 cm de largo y 2.5 cm de diámetro para pruebas de conducción	Módulo de conducción térmica	\$ 65.000	\$ 65.000
Tornillo de sujeción	Tornillo metálico para fijar las probetas al módulo de conducción	Módulo de conducción térmica	\$ 8.000	\$ 8.000
Resorte de apriete	Resorte metálico para aumentar la presión entre superficies de conducción	Módulo de conducción térmica	\$ 7.000	\$ 7.000
Pasta térmica	Material compuesto para mejorar la conductividad entre interfaces metálicas	Módulo de conducción térmica	\$ 10.000	\$ 10.000

*Continúa en la siguiente página*

Componente	Descripción / Aplicación	Sistema	Precio Unitario (COP)	Subtotal (COP)
Dimmer	Dispositivo electrónico para regular manualmente la temperatura de la resistencia	Sistema de control de temperatura	\$ 30.000	\$ 30.000
Bomba/chiller	Sistema de enfriamiento para mantener el lado frío en condiciones constantes	Sistema de refrigeración líquida	\$ 300.000	\$ 300.000
Tubería de 1/4 de pulgada	Tubería plástica o metálica para llevar líquido refrigerante de ida y regreso	Sistema de refrigeración líquida	\$ 25.000	\$ 25.000
Placa base	Placa metálica de 50 x 50 x 1 cm sobre la que se apoya los elementos del banco de pruebas		\$ 40.000	\$ 40.000
Gomas anti-vibración	Amortiguadores de goma para reducir la vibración del sistema de chiller	Sistema de refrigeración líquida	\$ 12.000	\$ 12.000
Perfiles de aluminio	Perfiles estructurales para soporte del sistema (suministrados por la universidad)	Sistema estructural	\$-	\$-

El presupuesto desarrollado para el prototipo del banco térmico modular ofrece **ventajas significativas frente a dispositivos comerciales existentes**, como los ofrecidos por GUNT, Armfield o TecQuipment:

**1. Reducción considerable de costos:**

Mientras que los sistemas comerciales suelen superar los \$20 a \$40 millones COP, el presente diseño logra mantenerse en un rango inferior a \$2.5 millones COP, utilizando materiales de alta eficiencia adquiridos localmente o fabricados en laboratorio (como los perfiles de aluminio disponibles en la universidad).

**2. Arquitectura abierta y modular:**

A diferencia de los equipos comerciales de arquitectura cerrada, este diseño permite modificar fácilmente sensores, fuentes de calor y refrigeración, adaptándose a nuevas prácticas o líneas de investigación sin necesidad de comprar módulos adicionales.

**3. Alta personalización:**

La selección de materiales (como distintos metales para probetas o el uso de celdas Peltier) permite adaptar el dispositivo a condiciones térmicas específicas, algo limitado en los modelos comerciales de uso general.

#### 4. Desarrollo académico y aprendizaje práctico:

Involucrar a los estudiantes en el diseño, construcción y mejora del banco fortalece el aprendizaje de transferencia de calor, diseño mecánico, instrumentación y control, con un enfoque aplicado y contextualizado a las necesidades del laboratorio.

#### 5. Mantenibilidad y escalabilidad:

El uso de componentes comunes (dimers, ventiladores, sensores tipo K, etc.) asegura fácil reposición, mantenimiento económico y posibilidad de actualización futura.

## 4.8 Cronograma de la etapa de detalle y fabricación

**Fase 3: Ensamblaje** Objetivo: Integrar todos los componentes mecánicos, eléctricos y térmicos del banco térmico para obtener un sistema completamente funcional.

Aspectos clave para tener en cuenta:

- Inventario y verificación de piezas: Antes de iniciar, revisar que todos los componentes estén disponibles y en condiciones óptimas.
- Secuencia lógica de montaje: Ensamblar primero la estructura base y luego integrar los subsistemas en orden funcional (probetas, sujeción, refrigeración, sensores).
- Aislamiento térmico y seguridad: Instalar adecuadamente materiales aislantes y sistemas de protección para evitar pérdidas de calor o accidentes por sobrecalentamiento.
- Integración eléctrica precisa: Verificar polaridades, conexiones seguras y uso de protección (fusibles, gomas antivibración).
- Pruebas preliminares: Validar que cada subsistema funcione de forma individual antes de su integración total.
- Registro fotográfico: Documentar el ensamblaje para el informe y futura referencia

**Fase 4: Evaluación** Objetivo: Validar el funcionamiento del banco térmico bajo condiciones reales, mediante pruebas experimentales que analicen el fenómeno de conducción.

Aspectos clave para tener en cuenta:

- Calibración de sensores: Asegurar que las termocuplas y el sistema de visualización proporcionen datos precisos y consistentes.
- Elección de materiales: Probar metales con distintas propiedades térmicas (aluminio, cobre, acero, etc.) para evaluar la sensibilidad del sistema.
- Condiciones controladas: Realizar las pruebas en un entorno estable, con control sobre temperatura ambiente y fuentes de interferencia.
- Ciclos de prueba completos: Repetir mediciones para comprobar reproducibilidad y comportamiento térmico en diferentes puntos de la probeta.
- Análisis de datos: Comparar los resultados con valores teóricos esperados y calcular el margen de error.

Tabla 11: Cronograma al detalle de la fase 3

<b>Fase</b>	<b>Actividad</b>	<b>Inicio</b>	<b>Fin</b>
Fase 3: Ensamblaje	Recepción y verificación de componentes finales	1-sep-25	3-sep-25
Fase 3: Ensamblaje	Fabricación de la estructura base	4-sep-25	10-sep-25
Fase 3: Ensamblaje	Montaje mecánico del sistema de conducción (probetas, soportes, aislantes)	10-sep-25	18-sep-25
Fase 3: Ensamblaje	Instalación del sistema de sujeción	18-sep-25	21-sep-25
Fase 3: Ensamblaje	Integración del sistema de refrigeración líquida (bomba, tubería)	21-sep-25	25-sep-25
Fase 3: Ensamblaje	Montaje del sistema eléctrico	25-sep-25	28-sep-25
Fase 3: Ensamblaje	Validación mecánica y eléctrica del sistema completo	28-sep-25	3-oct-25
Fase 3: Ensamblaje	Ajustes finales, instalación de protección	3-oct-25	11-oct-25

- Informe técnico claro: Registrar metodología, resultados, análisis y posibles mejoras, acompañado de tablas, gráficas y conclusiones técnicas.
- Revisión con el tutor: Recibir retroalimentación técnica para fortalecer el trabajo antes de su entrega o defensa.

Tabla 12: Cronograma al detalle de la fase 4

<b>Fase</b>	<b>Actividad</b>	<b>Inicio</b>	<b>Fin</b>
Fase 4: Evaluación	Prueba funcional básica con muestra de aluminio	11-oct-25	12-oct-25
Fase 4: Evaluación	Pruebas comparativas con cobre, acero y latón	12-oct-25	14-oct-25
Fase 4: Evaluación	Evaluación de estabilidad térmica	14-oct-25	16-oct-25
Fase 4: Evaluación	Calibración de sensores y verificación de datos experimentales	16-oct-25	20-oct-25
Fase 4: Evaluación	Análisis de resultados, cálculos de conductividad	20-oct-25	22-oct-25
Fase 4: Evaluación	Redacción del informe técnico de pruebas y anexos	22-oct-25	26-oct-25
Fase 4: Evaluación	Diseño del manual de usuario y plan de mantenimiento	26-oct-25	29-oct-25
Fase 4: Evaluación	Revisión del sistema por docente tutor y retroalimentación	29-oct-25	5-nov-25
Fase 4: Evaluación	Correcciones finales, integración del informe general	5-nov-25	11-nov-25
Fase 4: Evaluación	Preparación de defensa o entrega final de la tesis	11-nov-25	20-nov-25

## 5. Diseño de detalle

Partiendo del diseño generado en el capítulo 4 y de las funciones principales identificadas en este mismo capítulo se desarrollara un diseño en detalle y correspondientes cálculos para de esta forma poder entrar a la etapa de prototipado y evaluación del dispositivo

Como se explico en el capítulo 4 cada uno de los diseños lineal y radial tiene tres funciones, además de esto para el diseño lineal esta la forma de la probetas y finalmente esta la unión de los sistemas de refrigeración del lineal y radial en un ciclo cerrado, por ende todas las funciones que se tienen que diseñar son las siguientes.

- Probeta (Lineal): Muestra cilíndrica cubierta por un cilindro de aislante.
- Probeta (Radial): Disco de material de muestra.
- 
- Función de calentamiento de muestra(lineal): Resistencia eléctrica
- Función de enfriamiento de muestra(lineal): Refrigeración líquida
- Función de sujeción (lineal): Tornillo de presión con placas
- Función de calentamiento de muestra(Radial): Resistencia eléctrica
- Función de enfriamiento de muestra(Radial): Refrigeración líquida
- Función de sujeción (Radial): Tornillos y tuercas

Debido a que estas funciones y elementos interaccionan entre si en el banco de pruebas se establece que al momento de realizar el diseño muchas piezas tienen que ser diseñadas de forma paralela y por ende habrá secciones que abarquen múltiples piezas a diseñar.

### 5.1 Diseño: Probeta (Lineal)

Partiendo del diseño establecido en el capítulo 4 y de que los cilindros de muestra se definieron como cilindros de una pulgada de diámetro y dos pulgadas de largo (25,4 mm de diámetro por 50,8 mm de largo) se busca determinar cual es el radio crítico del aislante que cubrirá el cilindro de muestra,

#### 5.1.1 Cálculos preliminares grosor de aislante en función del material:

La terminología de las dimensiones va a ser como se muestran en la figura 21, con  $r_1$  el radio menor del aislante y a su vez el radio de la muestra, esta superficie que va a estar en contacto con la muestra y la

temperatura de esta ( $T_1$ ),  $r_2$  el radio exterior y la superficie que va a estar en contacto con el ambiente ( $T_2$ ) y  $L$  es la longitud del cilindro, esta longitud es la misma que la de la probeta.

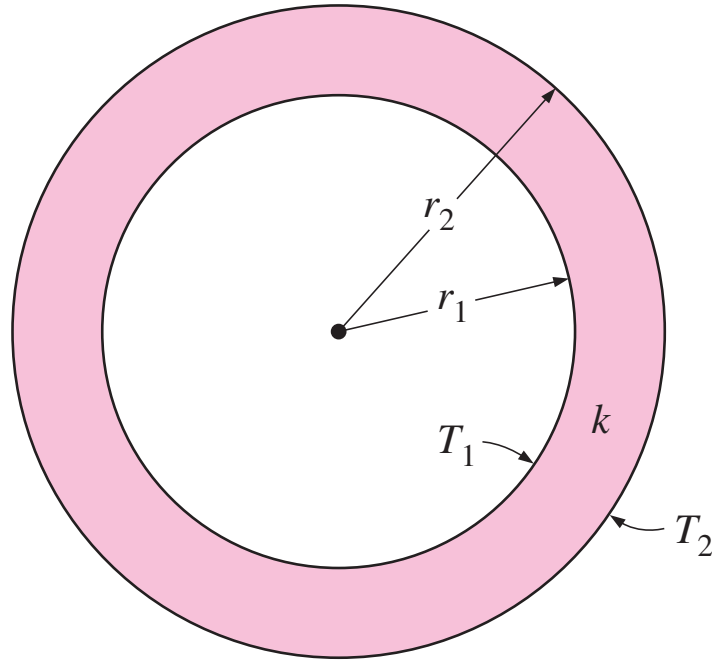


Figura 21: Sección transversal del aislante térmico alrededor de la muestra. [21]

La ecuación para la transferencia de calor para esta situación es la ecuación 1, la cual se saca del libro de Yunus A. Çengel sobre la transferencia de calor [21].

$$\dot{Q}_{\text{cond}} = -2\pi Lk \cdot \frac{T_1 - T_2}{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)} \quad (1)$$

Donde  $\dot{Q}_{\text{cond}}$  es la conducción de calor a través del cilindro, en este caso el aislante,  $k$  es la conductividad térmica del material,  $L$  es la longitud del cilindro,  $T_1 - T_2$  es la diferencia de temperatura entre la superficie  $r_1$  y la superficie  $r_2$ .

La nomenclatura usada a continuación para las ecuaciones 2 y 3 será con base al dibujo de la figura 28.

Para poder calcular el grosor crítico en el cual el aislante también tenemos que calcular la convección que se da entre el aislante alrededor de la probeta y el ambiente.

$$\dot{Q}_{\text{conv}} = \frac{T_n - T_3}{2\pi Lk} \quad (2)$$

Donde  $\dot{Q}_{\text{conv}}$  es el calor que se dispersa desde la superficie al ambiente,  $T_n$  es la temperatura media a lo largo de la superficie del tubo aislante y  $T_3$  es la temperatura ambiente.

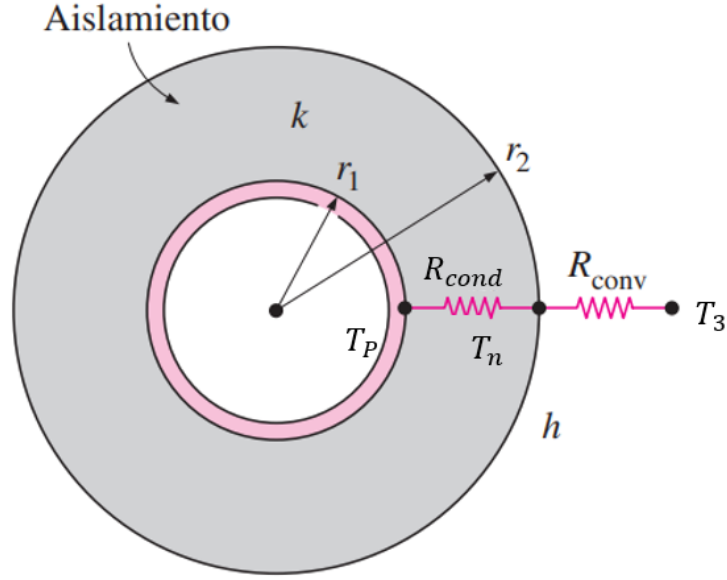


Figura 22: Sección transversal del aislante térmico alrededor de la muestra para el análisis de conducción y convección radial. [21]

$$\dot{Q}_{\text{cond.conv}} = \frac{T_p - T_3}{\frac{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}{2\pi Lk} + \frac{1}{h(2\pi r_2 L)}} \quad (3)$$

Partiendo de la ecuación 1 y 2 podemos llegar a la ecuación 6 que es la ecuación de conducción y convección de calor que se da desde la superficie de un cilindro al ambiente cuando el cilindro está cubierto por una capa de otro material, donde  $\dot{Q}_{\text{cond.conv}}$  es el calor que se dispersa desde el cilindro al ambiente pasando por el material aislante,  $r_2$  es el radio del aislante desde el centro del cilindro y  $T_p$  es la temperatura media a lo largo de cilindro.

Como se puede observar en la figura 23, cuando  $r_2 = r_{cr}$  se presenta la mayor conducción de calor al ambiente, en otras palabras, las pérdidas de calor con el ambiente, cuando  $r_2 < r_{cr}$  el agregar más grosor al aislante solo perjudica el aislamiento y solo cuando  $r_2 \geq r_{cr}$  el aumentar  $r_2$  disminuye la transferencia de calor con el ambiente, para calcular el radio crítico se puede resolver la siguiente ecuación:

$$\frac{d\dot{Q}}{dr_2} = 0 \quad (4)$$

Donde  $\frac{d\dot{Q}}{dr_2}$  es la derivada de la ecuación 3 en función de  $r_2$  dando como resultado la ecuación 8:

$$r_{cr} = \frac{k}{h} \quad (5)$$

Donde  $k$  es la conductividad térmica del aislamiento y  $h$  coeficiente de transferencia de calor por convección.

Usando la tabla 13, la tabla 14 y la ecuación 5 podemos calcular el radio crítico para los diferentes aislantes, este radio solo se va a calcular suponiendo que el medio es aire por convección natural, el resultado

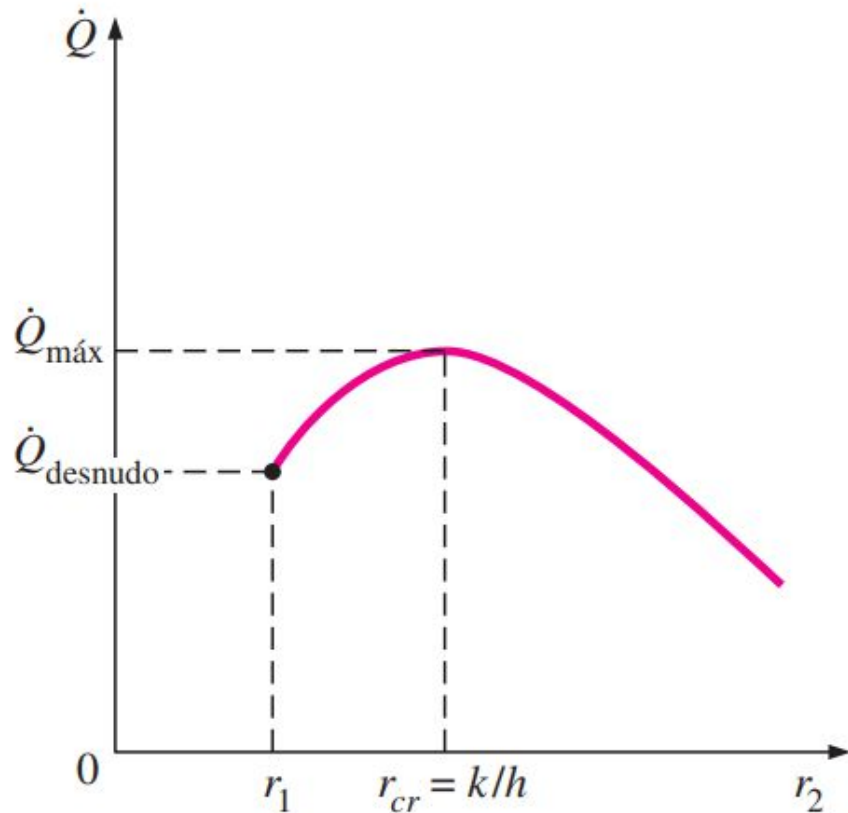


Figura 23: Gráfica de la variación de  $\dot{Q}_{\text{cond.conv}}$  con el radio exterior del aislamiento  $r_2$ . [21]

de este análisis se puede observar en la tabla 15.

Teniendo en cuenta la tabla 14 se considera que la mejor opción como aislante al policloruro de vinilo o PVC.

Para calcular el grosor del aislante se tendrá en cuenta el caso crítico que es cuando el aire tiene un coeficiente de transferencia de calor de  $5 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ , porque a este valor el radio crítico es de  $44 \text{ mm}$  y cualquier otro valor de coeficiente da como resultado un radio crítico menor, para esto usaremos la ecuación 3 y evaluaremos la conducción de calor con diferentes grosores de aislante, las condiciones será que  $T_p$  tiene un valor de  $30 \text{ }^\circ\text{C}$  y  $T_3$  tiene un valor de  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ , una longitud  $L$  de  $50 \text{ mm}$ , un  $r_1$  de  $12.5 \text{ mm}$  y  $r_2$  es radio exterior del aislante, teniendo en cuenta lo anterior el grosor del aislante equivale a  $r_2 - r_1$ . Partiendo de lo anterior se creó la tabla 16 donde se puede observar la conducción de calor en función del radio  $r_2$ .

$$\dot{Q}_{\text{cond.conv}} = \frac{T_p - T_3}{\frac{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}{2\pi Lk} + \frac{1}{h(2\pi r_2 L)}} = \frac{30^\circ\text{C} - 20^\circ\text{C}}{\frac{\ln\left(\frac{r_2}{12.5 \text{ mm}}\right)}{2\pi(50 \text{ mm})k} + \frac{1}{h(2\pi r_2 \cdot 50 \text{ mm})}} \quad (6)$$

Al analizar la tabla anterior se llega a la conclusión de que dejar la probeta sin aislante térmico es la mejor opción ya que para poder alcanzar un grosor de aislante que reduzca de forma considerable el flujo de calor desde la probeta hasta el ambiente sería muy grande, igualmente en la figura 24 se agrega un gráfico de la curva de transferencia de calor con  $x$  en función del radio  $r_2$  en metros.

Tabla 13: valores típicos para el coeficiente de transferencia de calor por convección [22].

Medio	$h$ ( $W/m^2.K$ )
Aire (convección natural)	may-25
Aire/vapor supercalentado (convección forzada)	20-300
Petróleo (convección forzada)	60-1800
Agua (convección forzada)	300-6000

Tabla 14: valores típicos para el coeficiente de transferencia de calor por conducción en aislantes [22].

Medio	$k$ ( $W/m.K$ )
Policloruro de vinilo	0,22
Poliestireno	0,3
Poliamidas	0,4
Polietileno	0,55

Tabla 15: Valores del radio crítico en función del aire y aislante [22].

Medio	$r_c(mm)$ Aire $h = 5$	$r_c(mm)$ Ai- re $h = 15$	$r_c(mm)$ Ai- re $h = 25$
Policloruro de vinilo	44	14,7	8,8
Poliestireno	60	20	12
Poliamidas	80	26,7	16
Polietileno	110	36,7	22

Tabla 16: Conducción de calor en función de diferentes radios  $r_2$  [22].

Grosor del aislante (mm)	$\dot{Q}_{cond.conv}$ (W)
0	0,196
44	0,306
60	0,3
80	0,287
100	0,274

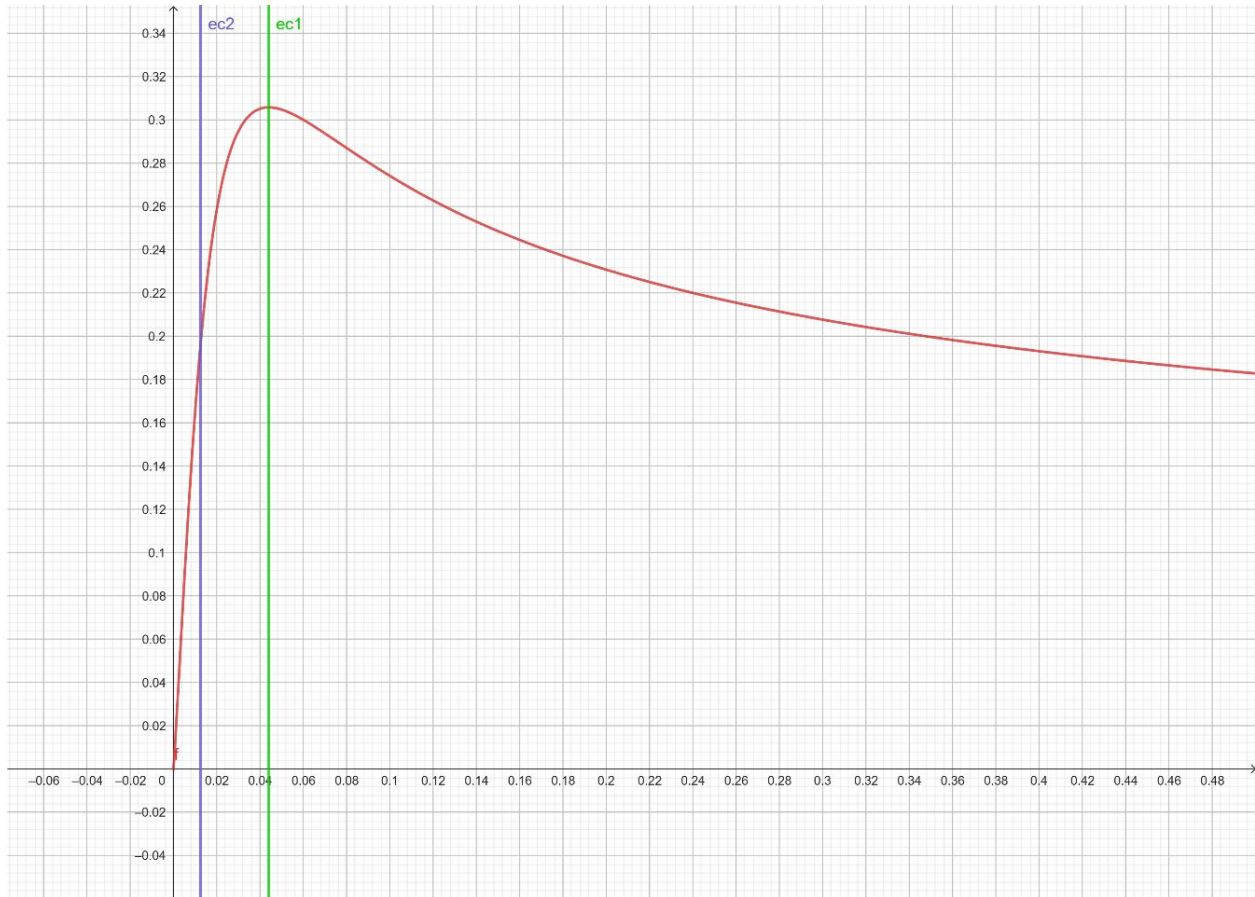


Figura 24: Gráfica de  $\dot{Q}_{\text{cond.conv}}$  en función del grosor

Al observar la gráfica 24 vemos dos líneas verticales a lo largo del plano, la primera de color azul es la conducción de calor suponiendo que no hay aislante térmico, y la línea verde representa el radio crítico, al observar la gráfica podemos concluir que dadas las condiciones establecidas la mejor opción sería dejar las muestras sin aislante, no obstante si analizamos la tabla 16 los valores de convección de calor que se pierde si colocamos un aislante con grosor igual al radio crítico (44 mm) obtenemos que las pérdidas equivalen a:  $0.306W$  y que sin aislante estas serían de:  $0.196W$  y la diferencia entre estos dos valores sería de:  $0.11W$ , la diferencia es bastante pequeña, pero para estar seguros de calcular la transferencia de calor a lo largo del cilindro de muestra esto para conocer qué porcentaje de calor es el que se está perdiendo y de esta forma determinar si  $0.11W$  es despreciable o no

para realizar el análisis se utilizará la ley de conducción de Fourier:

$$\dot{Q} = \frac{dQ}{dt} = -kA \cdot \frac{dT}{dx} = -kA \cdot \frac{T_2 - T_1}{L} \quad (7)$$

Donde:

$\dot{Q}$  es el calor transferido por unidad de tiempo (en Watts).

$k$  es la conductividad térmica del material (en  $W/m \cdot K$ ) y representa la capacidad con la cual el material conduce el calor.

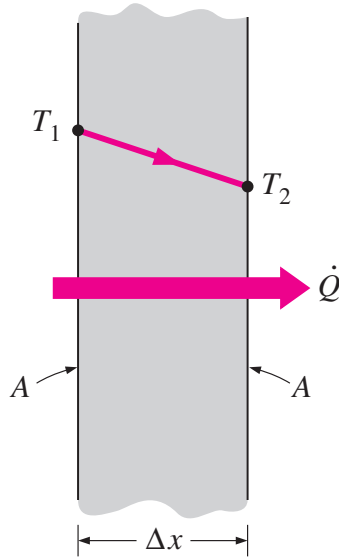


Figura 25: Diagrama de la transferencia de calor entre las dos superficies.[21]

$L$  es la distancia entre dos planos de un material en el cual se realiza la conducción lineal de calor.

$-dT/dx$  es el gradiente de temperatura y el signo menos indica que la dirección del calor es en dirección decreciente de la temperatura, la ecuación 7:

$$\dot{Q} = -k \cdot A \cdot \frac{T_2 - T_1}{L} \quad (8)$$

donde en las condiciones establecidas  $T_2$  equivale a  $30\text{ C}^\circ$ ,  $T_1$  a  $20\text{ C}^\circ$  el área  $A$  es  $0.0005067\text{ m}^2$  dado que el diámetro es de una pulgada o  $25,4\text{ mm}$ , y  $L$  2 pulgadas o  $0.0508\text{ m}$  y para  $k$  se toma del metal con peor conductividad térmica que es el titanio con un valor de  $21.9\text{ W}/(\text{m} \cdot \text{k})$ , dando como resultado la ecuación

$$\dot{Q} = -k \cdot A \cdot \frac{T_2 - T_1}{L} = -21.9 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{k}} \cdot 0.0005067\text{m}^2 \cdot \frac{30\text{C}^\circ - 20\text{C}^\circ}{0.0508\text{m}} = -2.1843\text{ W} \quad (9)$$

Teniendo en cuenta el resultado encontrado en la ecuación 9 y el valor establecido de diferencia de pérdidas de calor con y sin aislante  $0.11\text{ W}$ , podemos calcular el porcentaje de pérdidas para el caso crítico (ecuación 10) obteniendo de esta forma un valor cercano a 5%, y aunque es un valor no tan pequeño como considerarse despreciable se considera que un aislante es necesario para el manejo, montaje y sujeción de la muestra, por esto se decidió que a la muestra si se le va a colocar un aislante de policloruro de vinilo, y el diámetro de este aislante será de dos pulgadas y media ( $63.5\text{ mm}$ ) esto por razones visuales y de manejo, ya que al ensanchar las muestras usando el aislante se mejora el manejo de estas por parte de los estudiantes.

$$\frac{0.11\text{ W}}{2.1843\text{ W}} \cdot 100\% = 5.04\% \quad (10)$$

por último el "escalón" que van a llevar las probetas como guía va a ser de  $5\text{ mm}$ , con el fin de establecer una firme guía entre las muestras y que de este modo no sea inestable ya que debido a la norma [20] y es necesario colocar tres probetas iguales una sobre otra además de la parte de calentamiento, dando como resultado una estructura que puede llegar a ser inestable de tener guías de altura deficiente.

## 5.2 Diseño: Probeta (Radial)

Para el diseño del disco primero se calculara la transferencia de calor en un disco de un radio de 6 pulgadas (152.4 mm), este valor fue escogido tomando como valor aproximado los tamaño de algunos productos ya existentes considerando que es un tamaño lo suficientemente para facilitar la realización del experimento (teniendo en cuenta que si el disco es demasiado pequeño la cantidad de sensores que se pueden poner es mejor, ademas de que crear un diferencial de temperatura grande se vuelve mas complejo) y el costo ya que el disco va a ser de cobre debido a que es el caso critico y se va a diseñar alrededor de este ya que en un futuro si se diseña e implementa un disco de otro material el diseño debería poder aceptarlo sin complicaciones.

### 5.2.1 Cálculos preliminares conducción de calor en un disco:

De igual forma se realizarán los cálculos para conducción de calor radial, estos cálculos se realizan, ya que se busca conocer los posibles requerimientos que un módulo para el análisis de conducción radial requeriría, usando la figura 26 como referencia las dimensiones son las siguientes:

$$L = 10 \text{ mm}$$

$$R1 = 20 \text{ mm}$$

$$R2 = 60 \text{ mm}$$

estos valores pueden y van a cambia al momento de realizar el diseño final, por el momento estos valores nos permiten analizar la situación y realizar los cambios necesarios

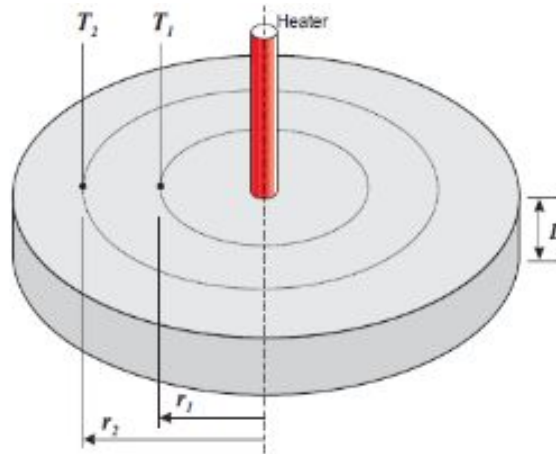


Figura 26: Diagrama de la probeta para análisis de conducción radial.

La ecuación para el análisis de conducción radial para la pieza de la figura 26 es:

$$\dot{Q} = \frac{2\pi kL}{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}(T_1 - T_2) \quad (11)$$

Utilizando la ecuación 11 y la tabla 17 se construye la figura 27 y la tabla 18 en la cual se observa la potencia necesaria para generación de deltas de temperatura entre superficies.

Dados los resultados observados en la tabla 18 se considera que reducir el grosor  $L$  a un grosor mas pequeño seria lo ideal, esto con el fin de reducir la potencia necesaria para para crear un diferencial de

Tabla 17: Lista de materiales y su correspondiente conductividad térmica.

<b>Material</b>	<b>Conductividad térmica (W/m*K)</b>
Aluminio	205
Cobre	385
Latón	109
Acero inoxidable	50,2

Tabla 18: Potencia necesaria para un delta de temperatura radial en función del material.

<b>Delta de temperatura</b>	<b>Aluminio</b>	<b>Cobre</b>	<b>Latón</b>	<b>Acero Inoxidable</b>
°C	W	W	W	W
1	12	22	6	3
2	23	44	12	6
3	35	66	19	9
4	47	88	25	11
5	59	110	31	14
6	70	132	37	17
7	82	154	44	20
8	94	176	50	23
9	106	198	56	26
10	117	220	62	29

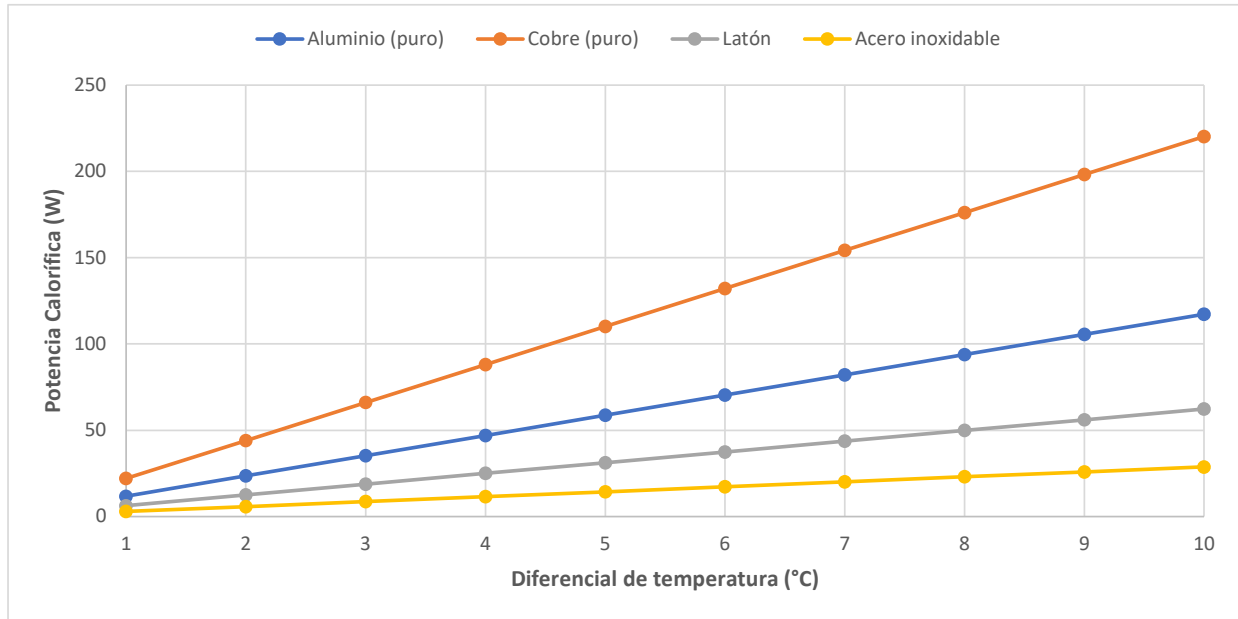


Figura 27: Grafica de Potencia vs delta de temperatura conducción radial (1-10 °C)

temperatura de 10 C°, por esto la tabla 18 y la imagen 18 se van a calcular nuevamente pero con  $L = 5\text{ mm}$

Como se puede observar en la tabla 19 y la gráfica 19 la reducción de la potencia necesaria es del 50%, un valor esperado.

Teniendo en cuenta la reducción de potencia necesaria se considera que el grosor del disco de cobre debe de ser de 5 mm.

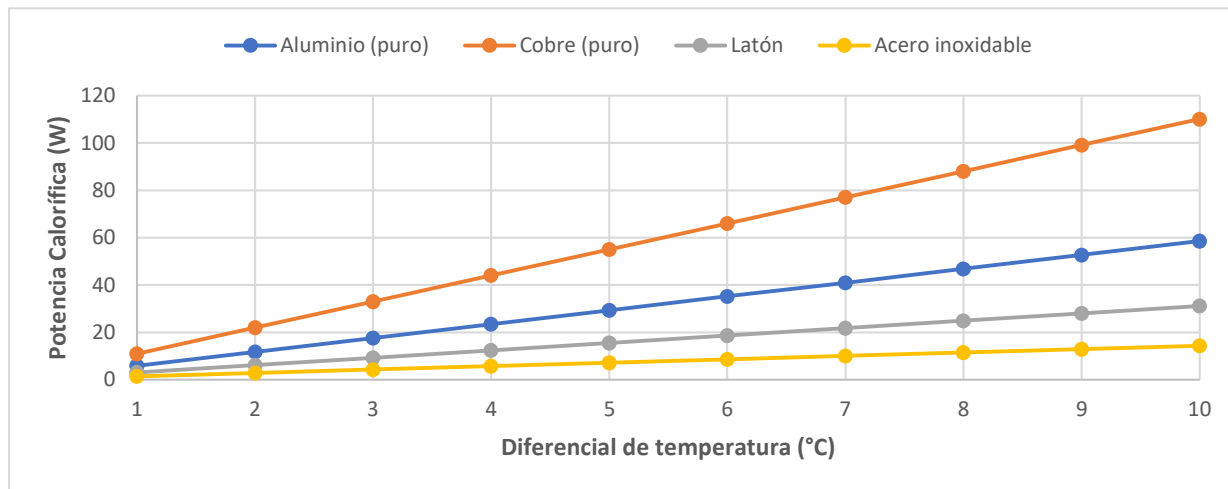


Figura 28: Grafica de Potencia vs delta de temperatura conducción radial ( $L = 5 \text{ mm}$ )

Tabla 19: Potencia necesaria para un delta de temperatura radial en función del material.

Delta de temperatura °C	Aluminio W	Cobre W	Latón W	Acero Inoxi- dable W
1	6	11	3	1
2	12	22	6	3
3	18	33	9	4
4	23	44	12	6
5	29	55	16	7
6	35	66	19	9
7	41	77	22	10
8	47	88	25	11
9	53	99	28	13
10	59	110	31	14

### 5.3 Diseño: calentamiento de muestra(lineal)

Se calculara la potencia necesaria para generar un diferencial de temperatura de alrededor de  $10\text{ C}^\circ$  en una muestra de cobre, esto debido a que el cobre es el caso critico, y partiendo de que ya tenemos la ecuación de conducción lineal de temperatura (ecuación 8) por ende solo teneos que establecer las condiciones y estas son:  $T_2 = 50\text{ C}^\circ$ ,  $T_1 = 20\text{ C}^\circ$ ,  $L = 0.1524\text{ m}$ ,  $k = 388\text{ W}/(\text{m} \cdot \text{k})$  y  $A = 0.0005067\text{ m}^2$

$$\dot{Q} = -k \cdot A \cdot \frac{T_2 - T_1}{L} = -388 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{k}} \cdot 0.0005067\text{m}^2 \cdot \frac{50\text{C}^\circ - 20\text{C}^\circ}{0.1524\text{m}} = -38.70\text{ W} \quad (12)$$

El resultado de la ecuación 12 obtenemos que para las condiciones establecidas con un flujo de calor de  $38.70\text{ W}$  es suficiente para generar el diferencial de temperatura deseado, por esto una resistencia de  $50\text{ W}$  seria suficiente y con un margen extra bueno, sin embargo debido a que se quiere conseguir la misma resistencia tanto para el sistema radial como para el lineal una resistencia de  $50\text{ W}$  seria deficiente para el sistema radial, por esto y tendiendo en cuenta resistencias eléctricas encontradas por internet se selecciono una resistencia de  $100\text{ W}$ .

Para el diseño de la probeta que contendrá la resistencia eléctrica y que asegura su conexión y alineamiento se utilizara como base la probeta lineal diseñada en la sección 5.1, por ende las dimensiones y "escalón" van a ser los mismos, la única diferencia es la cara plana en un extremo ya que no se tiene que conectar a otra parte y la longitud que es mas larga debido a que la longitud de la resistencia eléctrica va a estar al interior de esta y de un cilindro de cobre para asegurar una uniforme transferencia de calor.

## 5.4 Diseño: enfriamiento de muestra(lineal)

Para el diseño del sistema de enfriamiento se decidió que lo mejor era utilizar algún sistema que ya existiera y que estuviera diseñado para extraer 100 W de calor o más. El dispositivo seleccionado es la refrigeración líquida de un computador, un sistema que se compone de un bloque de intercambio de calor, una bomba que empuja el líquido refrigerante, un radiador y un ventiladores para convección forzada en el radiador.

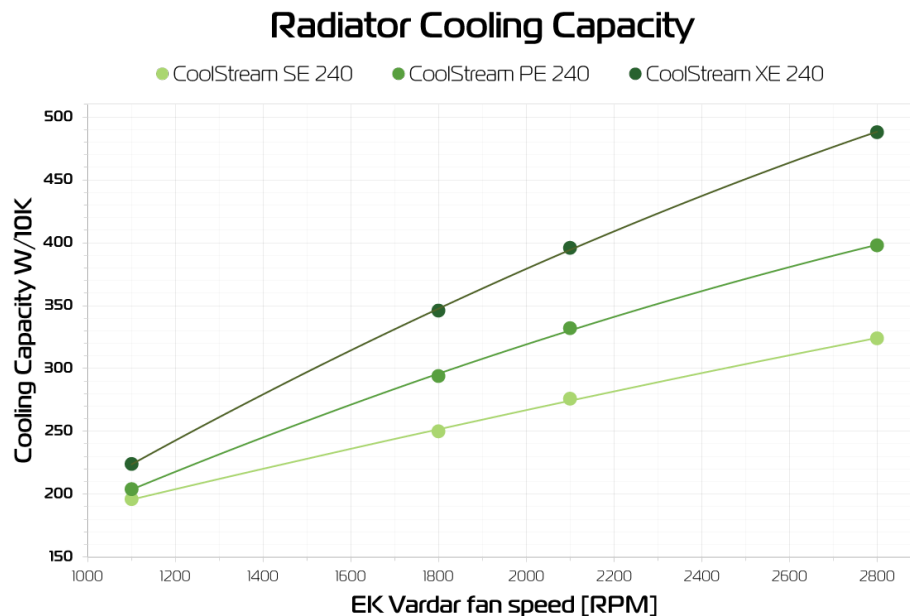


Figura 29: Imagen comparación desempeño radiadores de 240mm[23]

Tomando como guía los datos vistos en la imagen 29 podemos observar que aun en las condiciones mínimas de convección de calor es mayor a lo observado en la gráfica 27 que se considera es el caso donde hay una mayor conducción de calor, por esta razón se considera que cualquier sistema de refrigeración que tenga un radiador de 240 mm o mayor es apto para la función de enfriar la muestra.

Para conectar la probeta al bloque de disipación del sistema de refrigeración se optó por utilizar los mismos sistemas de montaje que utilizan estos bloques de disipación y de los cuales hay múltiples opciones esto dado que los diseños han variado con el tiempo y aunque se mantiene constante con el uso de cuatro tornillos la distancia entre estos varían según el zócalo, para la selección se decidió por un zócalo intel 1700 debido a que la distancia entre tornillos es menor que la de un zócalo actual de AMD y la segunda razón es que es el zócalo de uso actual por intel por lo que dada la necesidad de reemplazarlo el cambio es fácil ya que no hay que adaptar o cambiar algo ya que la mayoría de los sistemas de refrigeración líquida para computador ya tienen un adaptador para este tamaño de zócalo.

En la imagen 30 se puede observar las distancias entre tornillos de un zócalo 1700.

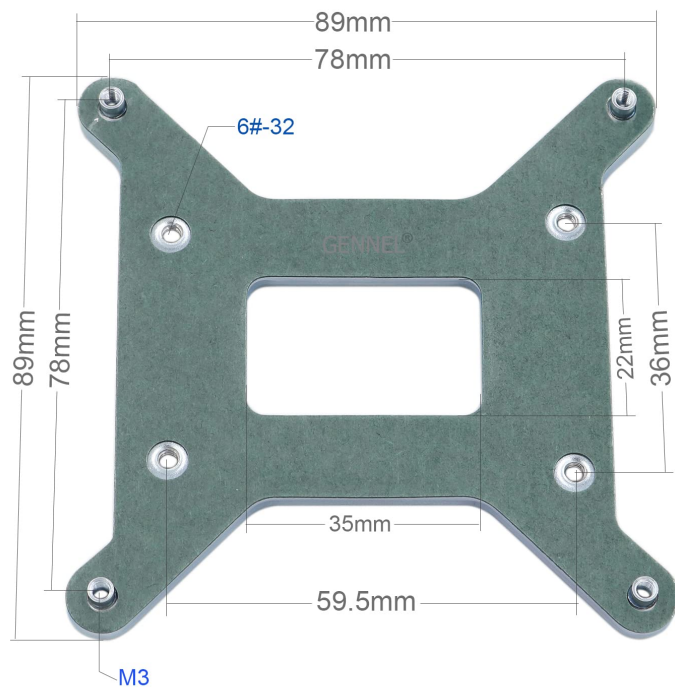


Figura 30: Imagen dimensiones zócalo intel 1700

## 5.5 Diseño: sujeción (lineal)

La función de sujeción se encarga como lo indica el nombre "sujetar" en este caso asegurar que la probeta tenga un buen contacto con las otras piezas, pero además de esto es la que permite montar el bloque de refrigeración diseñado en la sección anterior.

### 5.5.1 Cálculo de pandeo

Como se puede observar en la imagen 31 el dispositivo tiene un tornillo central que transmite la fuerza, además de unas varillas lisas laterales que guían y sirven de soporte, una placa en la parte inferior que permite el montaje del bloque de refrigeración, una placa central que se encarga de ejercer la presión sobre las probetas y una placa superior que es la que soporta la fuerza realizada por el tornillo central, debido a esto se va a realizar un análisis de pandeo sobre la varilla roscada y la placa superior para determinar cuál es el grosor necesario de la placa central para que esta no falle y que primero falle el tornillo central ya que se considera que el tornillo central es más fácil de reemplazar que la placa.

En la imagen 32 se observa las tres placas que componen el sistema de sujeción, de izquierda a derecha son: placa superior, placa inferior y placa central.

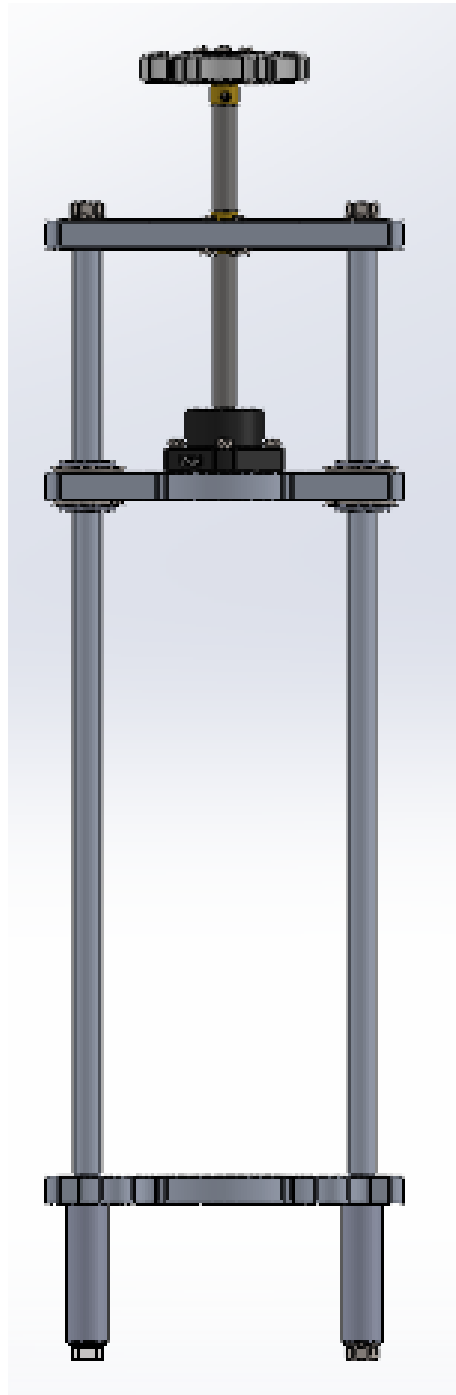


Figura 31: Imagen diseño sistema de sujeción

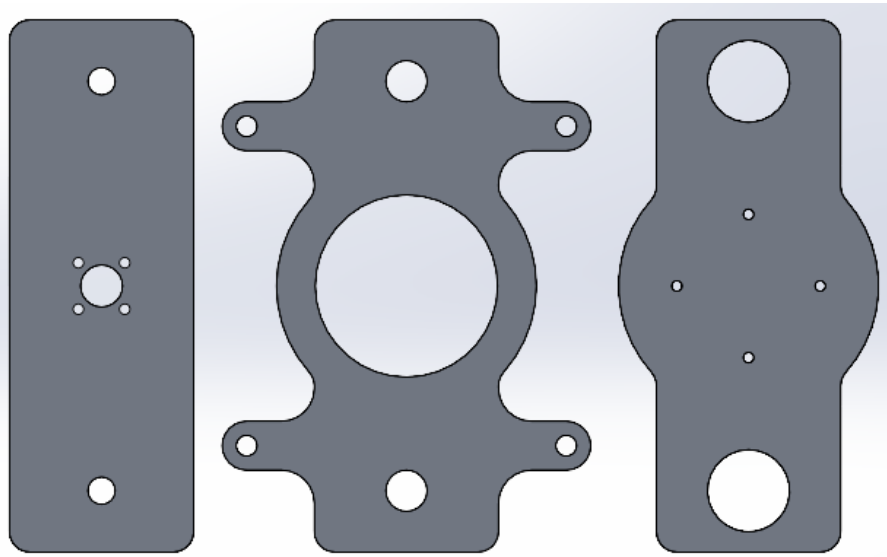


Figura 32: Imagen placas del sistema de sujeción

Para el calculo de pandeo de la varilla realizaremos dos cálculos, el primero es para determinar la fuerza aplicada a la cual la tensión normal es superior a la admisible del Material. La ecuación es:

$$\sigma = \frac{P}{A} > t\sigma_{adm} \quad (13)$$

Despejando  $P$  la ecuación 13 obtenemos

$$P > \sigma_{adm} \times A \quad (14)$$

Donde  $\sigma$  es la tensión normal al realizar una fuerza  $P$  en una columna vertical de área  $A$  y  $\sigma_{adm}$  correspondería al limite elástico del material de la varilla el cual es un acero inoxidable 304, se selecciono esta varilla ya que es la que se espera conseguir. el cual es 215 MPa, ademas de esto el área  $A$  es el área del núcleo de la rosca, esta rea es  $32,8mm^2$

Con lo anterior podemos resolver la ecuación 14:

$$P > 215 \frac{N}{mm^2} \times 32,8mm^2 \quad (15)$$

$$P > 7059.955N \quad (16)$$

Nos da como resultado que si sometemos esta varilla a 7059.955 (o lo que equivale a 719.91 Kgf) llegaremos a su limite elástico.

Ahora tenemos que evaluar esta varilla usando la formula de Euler 17, esto para determinar a que fuerza esta varilla falla por pandeo.

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{L^2} \quad (17)$$

Donde  $P_{cr}$  es la fuerza critica a la cual la varilla se dobla,  $E$  es el modulo elástico del material, en este caso para el material de la varilla  $E = 193GPa$ ,  $L$  es la longitud de la varilla, esta es de 30 cm de largo pero solo 6 centímetros van a ser sometidos a esfuerzo al momento de aplicar presión, por ende  $L$  va a equivaler a 60 mm,  $I$  Es el momento de inercia de la sección transversal de la varilla, esta se calcula usando la ecuación 18.

$$I = \frac{\pi R^4}{4} \quad (18)$$

$$I = \frac{\pi(3.23mm)^4}{4} = 85.49 mm^4 \quad (19)$$

Con todo lo anterior podemos resolver la ecuación 17:

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 \left( 193 \times 10^3 \frac{N}{mm^2} \right) (85.49 mm^4)}{(60 mm)^2} = 45234.50N \quad (20)$$

Para que la varilla falle por pandeo se necesitaría ejercer una fuerza de 45234.50 newtons (o lo que equivale a 4612.63 Kgf), lo cual es bastante mayor que lo calculado en la ecuación 16, por ende utilizaremos este valor para los cálculos posteriores.

## 5.5.2 Cálculo flexión de placas

En esta subsección se buscara establecer un grosor adecuado para la placa, para realizar este análisis de va a realizar una simplificación y esta es evaluar el sistema como una placa apoyada en los extremos a la que se le aplica una carga en el centro usando las ecuaciones encontradas en el libro de Mecánica de materiales de Beer Johnston [24] La idealización es la siguiente: La placa es un paralelepípedo con dimensiones de 100mm\*45mm\*10mm de aluminio 6061 T6 con un limite elástico de 241 MPa, con una carga en el centro de 100 Kgf que equivale a 980.665 newtons y apoyada en los extremos.

A continuación se realiza los respectivos cálculos para la pieza sometida a las condiciones establecidas:

Momento máximo para una viga apoyada en los extremos y con carga en el centro:

$$M_M = \frac{F_1 \times L}{4} = \frac{980.665 \text{ N} \times 100 \text{ mm}}{4} = 24516.62 \text{ N} * \text{mm} \quad (21)$$

Donde  $F_1$  es la fuerza en el centro (100Kgf), L es la longitud de la placa(100mm)

Esfuerzo máximo de flexión

$$\sigma_M = \frac{M_M \times c}{I} \quad (22)$$

Donde c es la distancia desde el eje neutro hasta la fibra mas ajada (en este caso la mitad del grosor de la placa) y I es el momento de inercia de la sección transversal el cual se calcula usando la ecuación 23

Momento de inercia de la sección transversal

$$I = \frac{bh^3}{12} = \frac{45 \text{ mm} \times (10 \text{ mm})^3}{12} = 3750 \text{ mm}^4 \quad (23)$$

Donde b es el ancho de la pieza y h es el grosor de la pieza

Con el resultados de la ecuación 23 y 21 podemos resolver la ecuación 22 y determinar cual es el esfuerzo máximo a flexión:

$$\sigma_M = \frac{24516.62 \text{ N} * \text{mm} \times \frac{10 \text{ mm}}{2}}{3750 \text{ mm}^4} = 32.69 \text{ N/mm}^2 = 32.69 \text{ MPa} \quad (24)$$

Para determinar el factor de seguridad dividiendo el limite elástico del material (aluminio 6061b T6) entre el esfuerzo máximo a flexión

$$FS = \frac{\sigma_{aluminio}}{\sigma_M} = \frac{241 \text{ MPa}}{32.69 \text{ MP}} = 7.37 \quad (25)$$

Ademas de esto también se analizara el esfuerzo cortante máximo en estas condiciones, las ecuaciones son:

Fuerza cortante:

$$V = \frac{F_1}{2} = \frac{980.665 \text{ N}}{2} = 490.33 \text{ N} \quad (26)$$

Esfuerzo cortante máximo

$$\tau = 1.2 \times \frac{V}{bh} = 1.2 \times \frac{490.33 \text{ N}}{45 \text{ mm} \times 10 \text{ mm}} = 1.31 \text{ MPa} \quad (27)$$

En este caso no se determinara el factor de seguridad ya que no es el caso critico

Teniendo en cuenta que el factor de seguridad encontrado en la ecuación 25 es de 7.37 lo que significa que la varilla va a fallar antes que la placa superior dadas las dimensiones establecidas al inicio de esta subsección, por ende se establecen estas dimensiones como las finales para el diseño.

## 5.6 Diseño: enfriamiento de muestra(Radial)

## 5.7 Diseño: sujeción (Radial)

Para el diseño del sistema de sujeción se considera que no es necesaria realizar un análisis de esfuerzos ya que las piezas no van a ser flexionadas, estas van a ser sujetadas entre tornillos, lo que se busca determinar es la forma, teniendo en cuenta que la pieza debe no solo sujetar el disco pero también tener en cuenta los cables que tienen que llegar a este y por ende pasar por la pieza que recubre el disco de cobre, además de esto la pieza debe diseñarse teniendo en cuenta que se tiene que poder montar sobre una superficie y ser asegurada a esta.

Por esta razón no puede ser una única pieza central pero la unión de múltiples piezas que trabajan en conjunto para lograr este objetivo, la primera pieza es un cilindro que se encarga de anclar el sistema de sujeción a la base usando tornillos y también tiene una parte hueca central para la ubicación de la resistencia eléctrica (imagen 33).

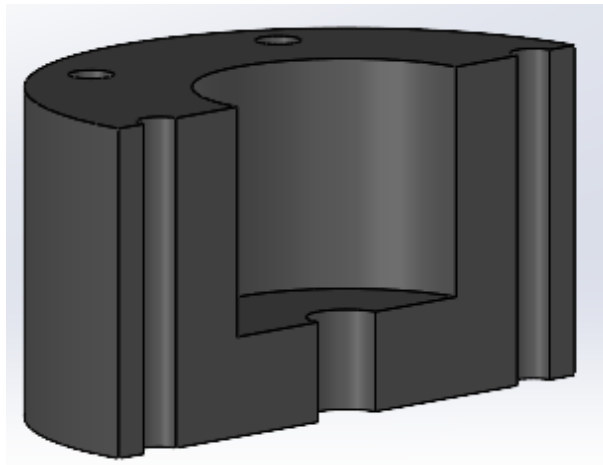


Figura 33: Imagen diseño tapa calentador

La siguiente pieza diseñada es una sobre la cual el disco de cobre se pueda asentar y tomando como inspiración los lectores de discos se decidió por una conexión de tipo cono (imagen)

Por último se diseñó las piezas que encapsulan el disco y aseguran un aislamiento, esto con fines de protección a los estudiantes y profesores que usen el dispositivo, en la imagen 35 y 36 se observan estas dos piezas, en la imagen 35 se ve que tiene unos agujeros en un lado, por esta parte pasan los tubos de refrigeración del sistema de enfriamiento, en la imagen 36 podemos observar que hay una parte que está cortada, esto es de dicha forma para que una pieza diseñada para el paso de los cables (imagen 37) pueda ser montada y desmontada de forma independientemente de la tapa, esto para evitar tener que unir problemas de aislamiento debido a amplios espacios dejados en el diseño.

El ensamble de todas estas piezas se pueden ver en las imágenes 38, 39 y 40

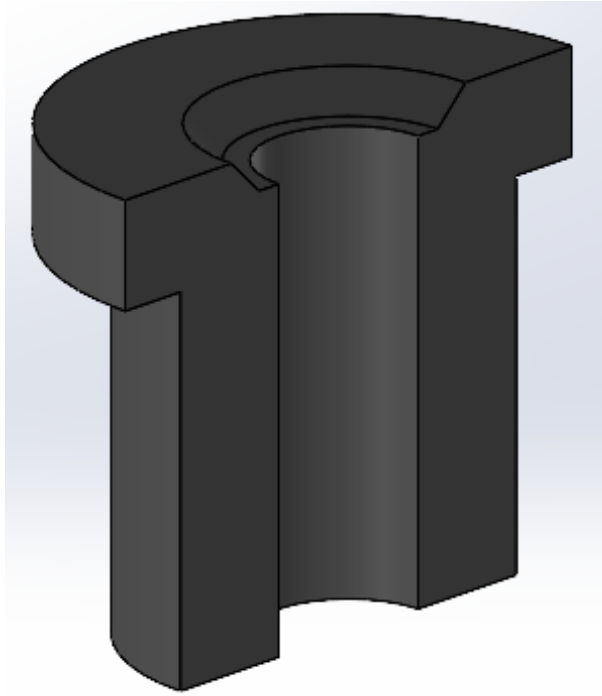


Figura 34: Imagen diseño soporte de disco

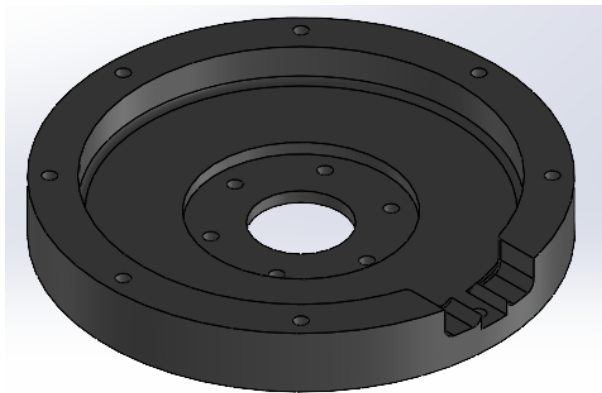


Figura 35: Imagen diseño aislante inferior

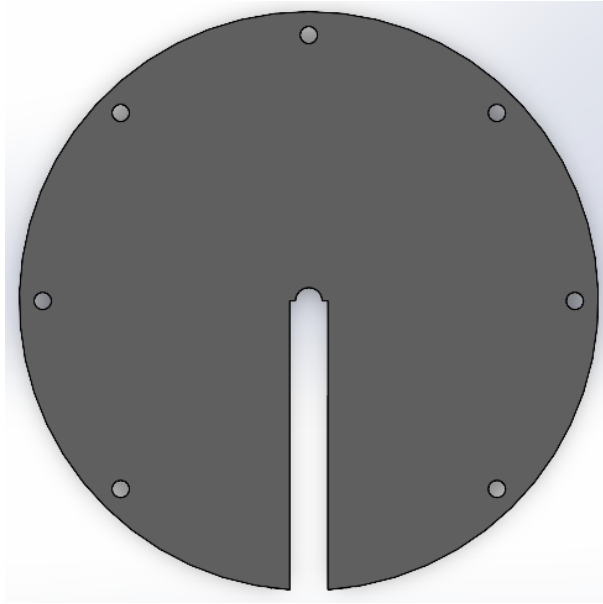


Figura 36: Imagen diseño aislante superior

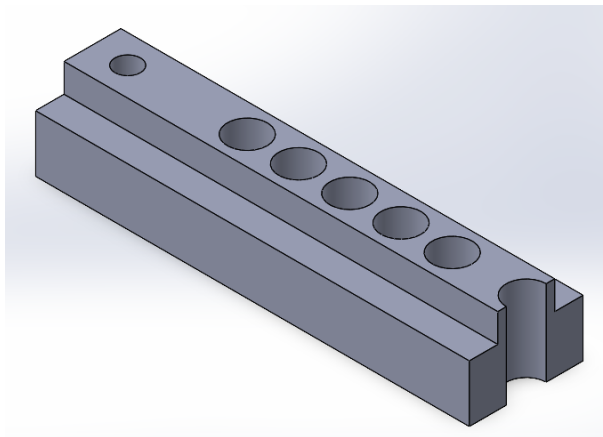


Figura 37: Imagen diseño aislante cables

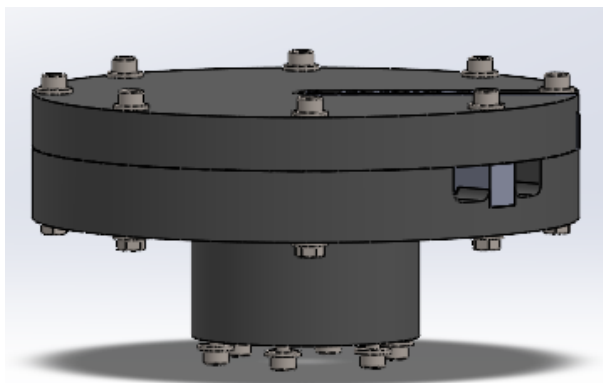


Figura 38: Imagen diseño sujeción (Radial) 1

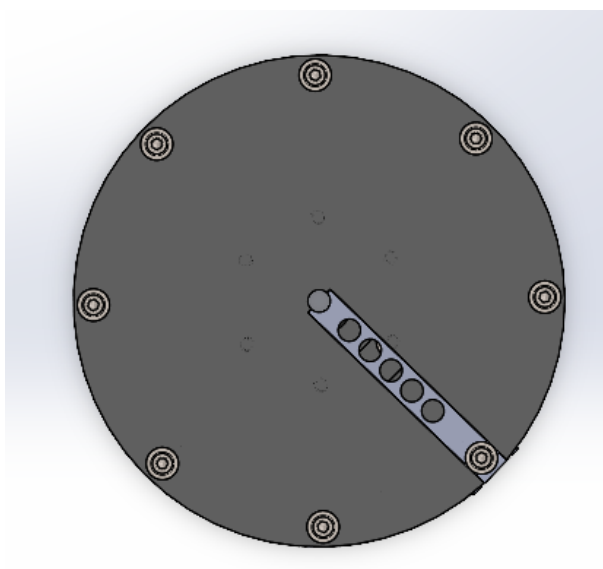


Figura 39: Imagen diseño sujeción (Radial) 2

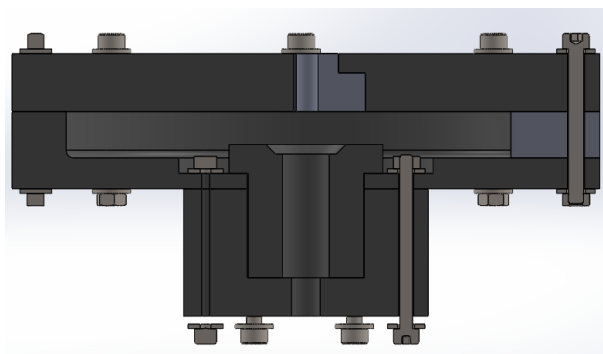


Figura 40: Imagen diseño sujeción (Radial) 3

## 6. Etapa de fabricación

### 6.1 Costos

Ya teniendo los diseños establecidos se realizaron las compras de todas las piezas necesarias (tabla 20), los elementos que no tienen un costo es debido a que fueron tomados de la universidad.

Ha de mencionarse que las compras fueron realizadas por medio de solicitudes de compra a la universidad y por circunstancias que se escapan a mi control hubieron piezas que se retardaron en llegar, una de estas fueron las resistencias eléctricas que fueron pedidas a mitad del año 2025 y llegaron a finales de noviembre, por esta razón no se tienen en cuenta en la tabla de costos debido que al momento de su llegada la fase de fabricación ya había terminado y no fueron integradas a lo construido.

Tabla 20: Tabla completa de costos

Descripcion	Sistema	Subtotal (COP)
Barra redonda de acetal para mecanizar 1000mm de longitud y 2.5" (63.5mm) de diámetro	Aislante térmico	\$ 230.000,00
Barra redonda de acetal para mecanizar 50mm de longitud y 6" (152.4mm) de diámetro o Lámina de acetal de 6" x 6" x 2" de espesor	Aislante térmico	\$ 230.000,00
Barra redonda de cobre puro (C101 o C102) 500mm de longitud y 1" (25.4mm) de diámetro	Probeta para pruebas y para transmitir calor	\$ 266.000,00
Barra redonda de bronce latón de 300mm de longitud y 1" (25.4mm) de diámetro	Probeta para pruebas	\$ 68.900,00
Barra redonda de aluminio (6061 o 6063) 300mm de longitud y 1" (25.4mm) de diámetro	Probeta para pruebas	\$ 13.940,00
Barra redonda de acero inoxidable 304 de 300mm de longitud y 1" (25.4mm) de diámetro	Probeta para pruebas	\$ 17.061,00
Barra redonda de acero 1045 de 300mm de longitud y 1" (25.4mm) de diámetro	Probeta para pruebas	\$ 8.591,00
Disco redondo de bronce latón 10mm de longitud y 4 1/2" (114.3mm) de diámetro	Probeta para pruebas	\$ 250.000,00
Tatoko 0.315 X 1.575 In 100 W Cartucho Calentador Electrico	Calentamiento de muestras	
Bomba de agua SCT-300T	Enfriamiento de muestras	\$ 67.366,00
Pasta disipadora de refrigeración de 25 gramos	Transmisor de calor	\$ 16.132,00
Varilla Roscada Trapezoidal 8x300 mm 4 Hilos	Sujeción (lineal)	\$ 19.601,00
Tuerca T8 Para Varilla Trapezoidal 4 Hilos	Sujeción (lineal)	\$ 8.850,00
Varilla Lisa Acero Inoxidable 10 mm Para Eje Lineal 1 Metro	Estructural	\$ 102.100,00
[FK8+FF8] Rodamientos soporte para eje guía o varilla roscada T8 de 8mm	Sujeción (lineal)	\$ 77.707,00
Platina aluminio 6061 T6	Sujeción (lineal)	\$ 400.000,00
Tubo de Cobre de 1/4 in X 40 cm	Enfriamiento de muestras	\$ 15.000,00
Tornillos	Estructural	\$ 61.670,69
MANGUERA CAUCHO Y LONA DE 1/4 X 2 MT	Enfriamiento de muestras	\$ 25.000,00
thermalright Aqua Elite 240 V6 Argb	Enfriamiento de muestras	\$ 244.069,00
ABRAZADERA CREMALLE RA TIPO ALEMANA CERR ADA 7-11MMX3/16	Enfriamiento de muestras	\$ 16.000,00
RACOR TEE BRONCE 1/4	Enfriamiento de muestras	\$ 14.000,00
GRIFO 1/4 LATON	Enfriamiento de muestras	\$ 25.210,08
Extrusiones de aluminio	Estructural	\$ 0,00
Nivelador 1/4	Estructural	\$ 6.000,00
	Total	\$ 1.098.705,77

## 6.2 Fabricación

En esta etapa se agregaran algunas imágenes de la fabricación y piezas finalizadas. No obstante, el archivo gráfico es parcial y no abarca la totalidad de las piezas fabricadas ni todas las fases de su elaboración



Figura 41: Fotografía de la fabricación 1

En la imagen 41 se observan los muestras de pruebas, y en la imagen imagen 43 observamos que se realizo un procedimiento de pulido en ambas caras de una muestra para reducir la resistencia térmica de contacto, este preso se realizo con cada una de las muestras.

En la imagen 44 se muestra una probeta insertada en el cilindro aislante de PVC, la unión de estos dos elementos es por interferencia

En la imagen 45 y la 46 son los discos de aislante para la pieza de aislante superior e inferior

En la imagen 47 se observa la fabricación del disco para la conducción radial.

En la imagen 48 y 49 se presenta el sistema de sujeción radial casi completo faltando solo el montaje del aislante superior

Y finalmente en la imagen 50 y 51 se presenta tanto el sistema lineal como el radial montados en una base.

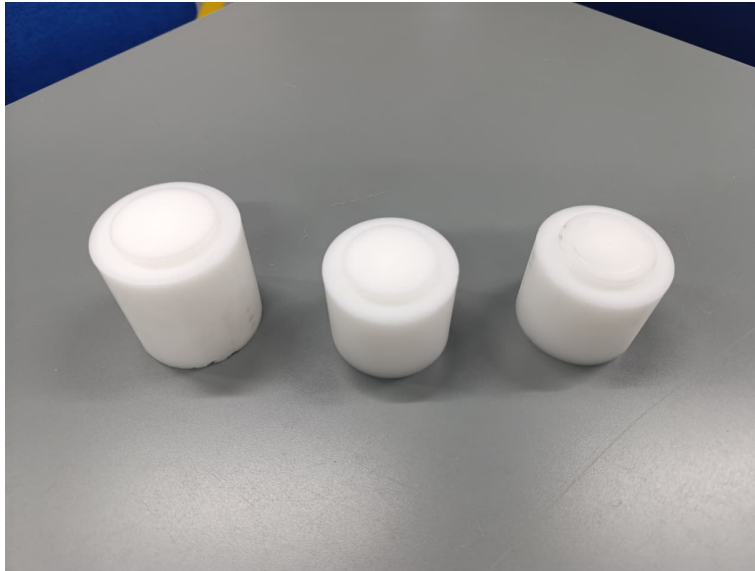


Figura 42: Fotografía de la fabricación 2



Figura 43: Fotografía de la fabricación 11



Figura 44: Fotografía de la fabricación 4



Figura 45: Fotografía de la fabricación 6

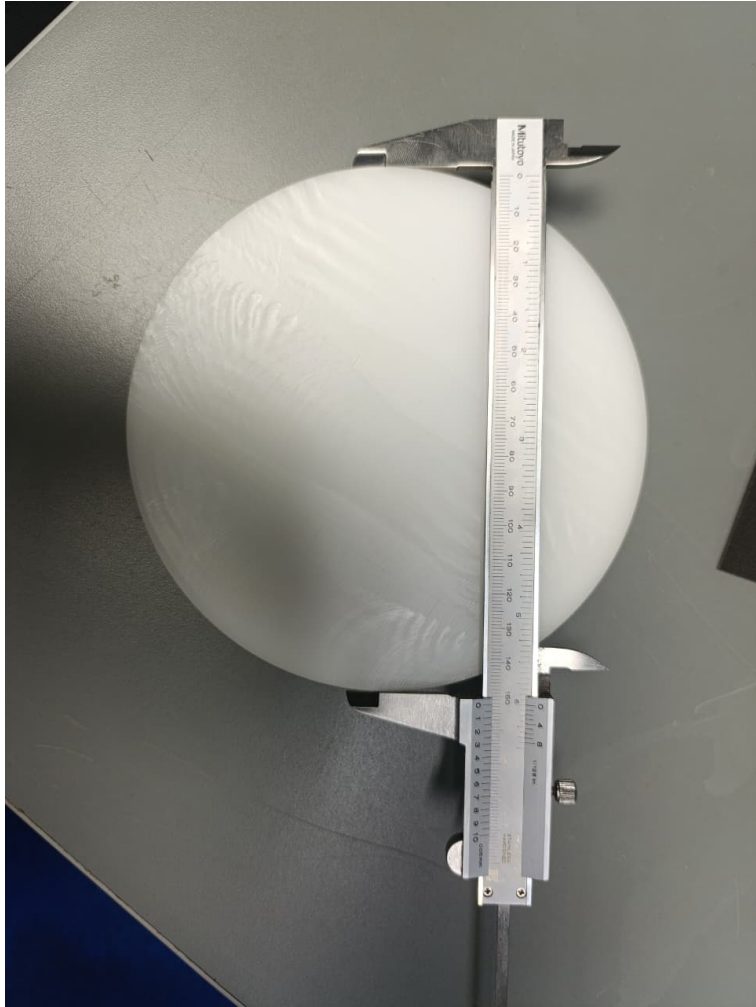


Figura 46: Fotografía de la fabricación 7



Figura 47: Fotografía de la fabricación 8



Figura 48: Fotografía de la fabricación 9

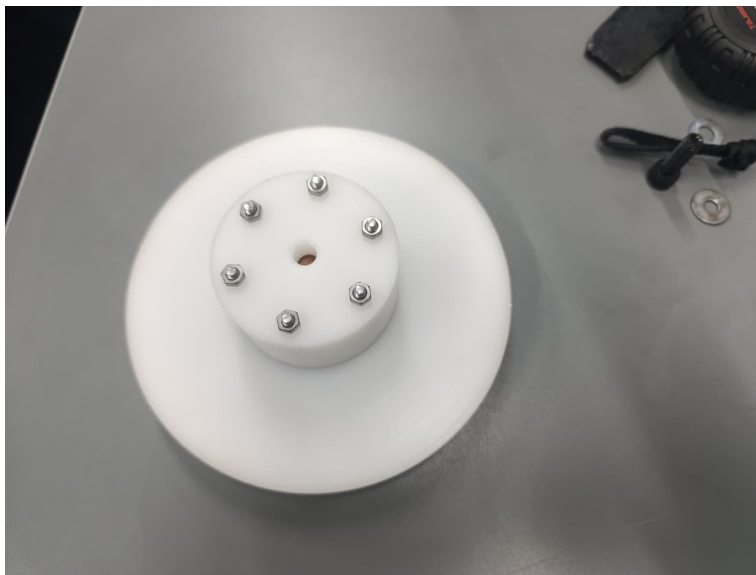


Figura 49: Fotografía de la fabricación 10

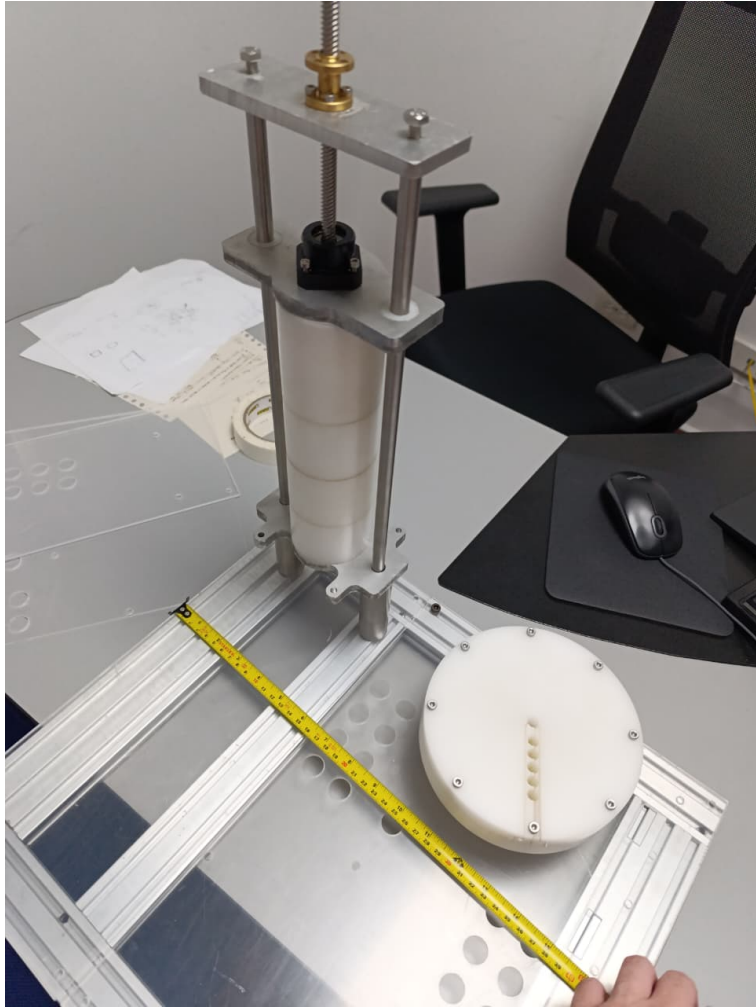


Figura 50: Fotografía de la fabricación 12



Figura 51: Fotografía de la fabricación 13

## 7. Conclusiones

El proyecto buscaba diseñar y construir un prototipo de banco de pruebas modular para el estudio de la conducción de calor, garantizando su arquitectura abierta y su capacidad de expansión para futuros experimentos en otros mecanismos de transferencia de calor, y para lograr dicho objetivo se establecieron objetivos específicos que son:

Establecer una revisión bibliográfica-teórica y un análisis de equipos para fundamentar el diseño, el cual cumplido al realizar el capítulo .

Desarrollar un diseño eficiente de banco de prueba, considerando factores como modularidad, escalabilidad, costos, fácil manejo entre otros, este objetivo fue cumplido con la realización del capítulo 5.

Construir un prototipo funcional que cumpla con los requisitos de diseño, aunque el prototipo fue en su mayoría terminado, teniendo que las funciones de sujeción (lineal), sujeción (radial), probetas lineales finalizados, los sistemas de refrigeración y enfriamiento no fueron terminados en su mayoría debido a los retrasos en compras siendo estos las resistencias eléctricas que llegaron al final del semestre 2025-2 y la refrigeración líquida que también se comprada después de un largo tiempo después de haber sido pedida.

Validar el prototipo según los requerimientos funcionales establecidos, no pudo ser realizado debido a que el prototipo no fue finalizado, no obstante se puede mencionar que debido a todos los cálculos realizados en el capítulo de diseño de detalle 5, el banco de pruebas podría cumplir los requerimientos funcionales establecidos

# Bibliografía

- [1] MarketsandMarkets Research Pvt. Ltd. *Thermal Management Market*. 2025. URL: <https://goo.su/00401Xx> (visitado 20-02-2025).
- [2] ASME. *C177-19 Standard Test Method for Steady-State Heat Flux Measurements and Thermal Transmission Properties by Means of the Guarded-Hot-Plate Apparatus*. Inf. téc. Estados Unidos: American Society of Mechanical Engineers, 2019.
- [3] David Gordon Ullman. *The Mechanical Design Process 4th Edition*. McGraw-Hill, 2009.
- [4] ISO. *ISO 9001:2015(es)*. Inf. téc. Estados Unidos: International Organization for Standardization, 2015.
- [5] Táng Yún, Zhū Liángsēn e Yáng Jiànhóng. “Testing arrangement of heat conduction material heat conduction effect”. Pat. CN218584702U (China). 7 de mar. de 2023.
- [6] Masatake Onoder, Mikinori Tsuboi y Takahiro Omura. “Thermal conductivity measuring device and thermal conductivity measuring method”. Pat. JP2005227010A (Japan). 25 de ago. de 2005.
- [7] Alexander Bohnsack. “Vorrichtung zur Ermittlung der Wärmeleitfähigkeit eines Probekörpers”. Pat. DE102022200422B3 (Alemania). 2 de mar. de 2023.
- [8] Zhào Zhèngāng et al. “System and method for testing heat conductivity coefficient and interface thermal resistance of sheet material”. Pat. CN107688039B (China). 10 de ene. de 2020.
- [9] TecEquipment Ltd. *Heat Transfer Experiment Base Unit*. 2025. URL: <https://www.tecequipment.com/es/heat-transfer-experiment-base-unit> (visitado 20-02-2025).
- [10] Armfield Ltd. *HT10X – Computer Controlled Heat Transfer Service Unit*. 2025. URL: <https://goo.su/U6BhAAK> (visitado 20-02-2025).
- [11] Armfield Ltd. *HT11X – Linear Heat Conduction*. 2025. URL: <https://goo.su/PTpEUoP> (visitado 20-02-2025).
- [12] PA Hilton Ltd. *HEAT TRANSFER SERVICE UNIT*. 2025. URL: <https://goo.su/bmrrIG5> (visitado 20-02-2025).
- [13] PA Hilton Ltd. *LINEAR HEAT CONDUCTION MODULE*. PA Hilton. 2025. URL: <https://goo.su/rGFr> (visitado 20-02-2025).
- [14] G.U.N.T. Gerätebau GmbH. *WL 430 Línea térmica y convección*. 2025. URL: <https://goo.su/4chMaz> (visitado 20-02-2025).
- [15] G.U.N.T. Gerätebau GmbH. *WL 422 Conducción de calor en fluidos*. 2025. URL: <https://goo.su/bXz2jo> (visitado 20-02-2025).
- [16] G.U.N.T. Gerätebau GmbH. *WL 420 Heat conduction in metals*. 2025. URL: <https://goo.su/ggcVUy> (visitado 20-02-2025).
- [17] G.U.N.T. Gerätebau GmbH. *WL 460 Transferencia de calor por radiación*. 2025. URL: <https://goo.su/J6UQEyG> (visitado 20-02-2025).

- [18] G.U.N.T. Gerätebau GmbH. *WL 376 Conductividad térmica de materiales para construcción*. 2025. URL: <https://goo.su/rXKAk> (visitado 20-02-2025).
- [19] American Society of Mechanical Engineers. *Y14.5 - Dimensioning and Tolerancing*. Inf. téc. Nueva York: American Society of Mechanical Engineers, 2018.
- [20] ASTM International. *Standard Test Method for Thermal Conductivity of Solids Using the Guarded-Comparative-Longitudinal Heat Flow Technique*. Inf. téc. West Conshohocken: ASTM International, 2025.
- [21] Yunus A. Çengel. *Transferencia de Calor y Masa: Un Enfoque Práctico*. McGraw-Hill Interamericana Editores, S.A. de C.V., 2007.
- [22] SolidWorks Corp. *Coefficiente de transferencia de calor por convección*. 2025. URL: [https://help.solidworks.com/2011/spanish/SolidWorks/cworks/LegacyHelp/Simulation/AnalysisBackground/ThermalAnalysis/Convection\\_Topics/Convection\\_Heat\\_Coefficient.htm](https://help.solidworks.com/2011/spanish/SolidWorks/cworks/LegacyHelp/Simulation/AnalysisBackground/ThermalAnalysis/Convection_Topics/Convection_Heat_Coefficient.htm) (visitado 20-02-2025).
- [23] EK Water Blocks. *Radiators Part 2: Performance*. 2020. URL: <https://www.ekwb.com/blog/radiators-part-2-performance/> (visitado 20-07-2025).
- [24] Ferdinand P. Beer et al. *Mecánica de Materiales*. 6<sup>a</sup> ed. México: McGraw-Hill, 2015.

## 8. Anexos

# ORDEN DE COMPRA

## PONTIFICIA UNV. JAVERIANA

NIT 860.013.720-1  
 CALLE 18 # 118-250  
 Parcelación el Retiro  
 22  
 Cali VAL 76001  
 COLOMBIA

**Proveedor:** 0000066774  
 VISTRONICA SAS  
 CALLE 17A # 14 -76 BARRIO PIEDRA GRANDE  
 25290-Fusagasuga CUN  
 COLOMBIA

**Factura Física: Punto de Recepción Documental (PRD)**  
 CALLE 18 # 118-250  
 Parcelación el Retiro  
 22  
 Cali VAL 76001  
 COLOMBIA

Puede enviar directamente su factura con remisión y número de pedido.

**Factura electrónica** facturajaverianacali@javerianacali.edu.co

**Despacho p/Impr**

<b>ORDEN DE COMPRA</b>		<b>F</b>	<b>Revisión</b>	<b>Pág</b>
PUJCC-0000122581		09/25/2025		1
<b>Cond Pago</b>	<b>Cond Flete</b>	<b>Estado</b>	<b>Mét Env</b>	
45 dias	Proveedor	Aprobado	Terrestre	
<b>Compr</b>	<b>Teléf</b>		<b>Moneda</b>	
LAURA MARCELA ASTUDILLO			COP	

**Envío:** CALLE 18 # 118-250  
 El Retiro Pance  
 17  
 Cali VAL 76001  
 COLOMBIA

No. Edificio:EDIF-CENNo. Piso:1  
 Ed Central P1

Exnc Fisc	N	ID Exnc Fisc:	Opción Reaprov:	Sin Stock				
Lín-Env	Art/Descripción	ID Fab	Cantidad	UM	Prc Ped	Impt Extend	F Vto	

1- 1	Varilla Roscada Trapezoidal 8x300 mm 4 Hilos UM: UNIDAD	1.00	UND	19,601.00	19,601.00	09/25/2025
				<b>Cd IVA: CL1 (19.0000%)</b>	3,724.19	

**Total Programa** 23,325.19

**Total Art** 000000000000030840 23,325.19

2- 1	Tuerca T8 Para Varilla Trapezoidal 4 Hilos UM: UNIDAD	3.00	UND	2,950.00	8,850.00	09/25/2025
				<b>Cd IVA: CL1 (19.0000%)</b>	1,681.50	

**Total Programa** 10,531.50

**Total Art** 000000000000030841 10,531.50

3- 1	Varilla Lisa Acero Inoxidable 10 mm Para Eje Lineal 1 Metro UM: UNIDAD	1.00	UND	102,100.00	102,100.00	09/25/2025
				<b>Cd IVA: CL1 (19.0000%)</b>	19,399.00	

**Total Programa** 121,499.00

**Total Art** 000000000000030842 121,499.00

**Firma Autorizada**

CARLOS ARTUR TROCHEZ MARMOLEJO

# ORDEN DE COMPRA

## PONTIFICIA UNV. JAVERIANA

NIT 860.013.720-1  
CALLE 18 # 118-250  
Parcelación el Retiro  
22  
Cali VAL 76001  
COLOMBIA

**Proveedor:** 0000066774  
VISTRONICA SAS  
CALLE 17A # 14 -76 BARRIO PIEDRA GRANDE  
25290-Fusagasuga CUN  
COLOMBIA

**Factura Física: Punto de Recepción Documental (PRD)**

CALLE 18 # 118-250  
Parcelación el Retiro  
22  
Cali VAL 76001  
COLOMBIA

Puede enviar directamente su factura con remisión y número de pedido.

**Factura electrónica** facturajaverianacali@javerianacali.edu.co

### Despacho p/Impr

<b>ORDEN DE COMPRA</b>	<b>F</b>	<b>Revisión</b>	<b>Pág</b>
PUJCC-0000122581	09/25/2025		2
<b>Condición Pago</b>	<b>Cond Flete</b>	<b>Estado</b>	<b>Mét Env</b>
45 días	Proveedor	Aprobado	Terrestre
<b>Compr</b>	<b>Teléf</b>	<b>Moneda</b>	
LAURA MARCELA ASTUDILLO		COP	

**Envío:** CALLE 18 # 118-250  
El Retiro Pance  
17  
Cali VAL 76001  
COLOMBIA

No. Edificio:No. Edificio:EDIF-CENNo. Pi  
Ed Central P1

Exnc Fisc	N	ID Exnc Fisc:	Opción Reaprov:	Sin Stock				
Lín-Env	Art/Descripción	ID Fab	Cantidad	UM	Prc Ped	Impt Extend	F Vto	

**Total Cd IVA: CL1 (19.0000%)** 24,804.69

**Impt Total Ped** 155,355.69

Compras Equipo Transferencia de Calor  
Entregar a Victoria Ceron - profesor David Serje

Asesor comercial:Elkin Fabian Cedeño Chala  
No. de Celular: 3118679028  
No. Teléfono fijo:  
Correo electrónico: VISTRONICA <ventas@vistronica.com>

Señor proveedor: Los pedidos solo pueden ser despachados con una orden de compra previa, expedida por la oficina de Compras de la Pontificia Universidad Javeriana.

Dirección entrega: Calle 17a #121-121 callejón Cataya Universidad Javeriana - Almacén de Compras

Lunes a viernes de 8:00/11:30 a.m. y 2:00/4:00 p.m.

Contacto de entrega: Laura Marcela Astudillo Molano

Tiempo de entrega: 20 días hábiles

Forma de pago: 30 días hábiles

NOTA: Favor coordinar entrega antes del despacho, enviar número de guía y transportadora.

Las facturas serán recibidas los 20 primeros días del mes, por cierre contable.

Factura Electrónica: Representación gráfica, archivo XML y anexos deben enviarse a:  
facturajaverianacali@javerianacali.edu.co, copiar al correo laura.astudillo@javerianacali.edu.co

La factura debe incluir:

Número de Orden de Compra o pedido

Nombre del comprador Laura Marcela Astudillo Molano

Resolución de facturación vigente

Calidad de retenedor de impuestos nacional y municipal

No enviar la factura dentro del paquete, se debe radicar electrónicamente

No facturar despachos parciales, se debe facturar la orden total (pueden entregar remisionado)

No. Teléfono fijo:

Correo electrónico: servicio.cliente@intercomercialmedica.com

Señor proveedor: Los pedidos solo pueden ser despachados con una orden de compra previa, expedida por la oficina de Compras de la Pontificia Universidad Javeriana.

Dirección entrega: Calle 17a #121-121 callejón Cataya Universidad Javeriana - Almacén de Compras

**Firma Autorizada**

CARLOS ARTUR TROCHEZ MARMOLEJO

# ORDEN DE COMPRA

## PONTIFICIA UNV. JAVERIANA

NIT 860.013.720-1  
CALLE 18 # 118-250  
Parcelación el Retiro  
22  
Cali VAL 76001  
COLOMBIA

**Proveedor:** 0000066774  
VISTRONICA SAS  
CALLE 17A # 14 -76 BARRIO PIEDRA GRANDE  
25290-Fusagasuga CUN  
COLOMBIA

**Factura Física: Punto de Recepción Documental (PRD)**

CALLE 18 # 118-250  
Parcelación el Retiro  
22  
Cali VAL 76001  
COLOMBIA

Puede enviar directamente su factura con remisión y número de pedido.

**Factura electrónica** facturajaverianacali@javerianacali.edu.co

### Despacho p/Impr

<b>ORDEN DE COMPRA</b>	<b>F</b>	<b>Revisión</b>	<b>Pág</b>
PUJCC-0000122581		09/25/2025	3
<b>Condición Pago</b>	<b>Cond Flete</b>	<b>Estado</b>	<b>Mét Env</b>
45 días	Proveedor	Despachado	Terrestre
<b>Compr</b>	<b>Teléf</b>	<b>Moneda</b>	
LAURA MARCELA ASTUDILLO		COP	
<b>Envío:</b>	CALLE 18 # 118-250 El Retiro Pance 17 Cali VAL 76001 COLOMBIA	No. Edificio:No. Edificio:No. Edificio:E Ed Central P1	

**Exnc Fisc** N **ID Exnc Fisc:** **Opción Reaprov:** Sin Stock

Lín-Env	Art/Descripción	ID Fab	CantidadUM	Prc Ped	Impt Extend	F Vto
---------	-----------------	--------	------------	---------	-------------	-------

Lunes a viernes de 8:00/11:30 a.m. y 2:00/4:00 p.m.

Contacto de entrega: Laura Marcela Astudillo Molano

Tiempo de entrega: 20 días hábiles

Forma de pago: 30 días hábiles

NOTA: Favor coordinar entrega antes del despacho, enviar número de guía y transportadora.

Las facturas serán recibidas los 20 primeros días del mes, por cierre contable.

Factura Electrónica: Representación gráfica, archivo XML y anexos deben enviarse a:  
facturajaverianacali@javerianacali.edu.co, copiar al correo laura.astudillo@javerianacali.edu.co

La factura debe incluir:

Número de Orden de Compra o pedido

Nombre del comprador Laura Marcela Astudillo Molano

Resolución de facturación vigente

Calidad de retenedor de impuestos nacional y municipal

No enviar la factura dentro del paquete, se debe radicar electrónicamente

No facturar despachos parciales, se debe facturar la orden total (pueden entregar remisionado)

**Firma Autorizada**

CARLOS ARTUR TROCHEZ MARMOLEJO

# ORDEN DE COMPRA

## PONTIFICIA UNV. JAVERIANA

NIT 860.013.720-1  
 CALLE 18 # 118-250  
 Parcelación el Retiro  
 22  
 Cali VAL 76001  
 COLOMBIA

**Proveedor:** 0000062480  
 ELECTRONICA I+D S.A.S.  
 CALLE 48-D # 65-A-35  
 05001-Medellin ANT  
 COLOMBIA

**Factura Física: Punto de Recepción Documental (PRD)**

CALLE 18 # 118-250  
 Parcelación el Retiro  
 22  
 Cali VAL 76001  
 COLOMBIA

Puede enviar directamente su factura con remisión y número de pedido.

**Factura electrónica** facturajaverianacali@javerianacali.edu.co

### Despacho p/Impr

<b>ORDEN DE COMPRA</b>		<b>F</b>	<b>Revisión</b>	<b>Pág</b>
PUJCC-0000122592		09/25/2025		1
<b>Condic Pago</b>	<b>Cond Flete</b>	<b>Estado</b>	<b>Mét Env</b>	
45 dias	Proveedor	Despachado	Terrestre	
<b>Compr</b>	<b>Teléf</b>	<b>Moneda</b>		
LAURA MARCELA ASTUDILLO		COP		

**Envío:** CALLE 18 # 118-250  
 El Retiro Pance  
 17  
 Cali VAL 76001  
 COLOMBIA

No. Edificio:EDIF-CENNo. Piso:1  
 Ed Central P1

Exnc Fisc	N	ID Exnc Fisc:	Opción Reaprov:	Sin Stock	Prc Ped	Impt Extend	F Vto
Lín-Env	Art/Descripción	ID Fab	Cantidad	UM	Prc Ped	Impt Extend	F Vto

1- 1	rodamientos soporte para eje guía o varilla roscada T8 de 8m UM: UNIDAD	1.00	UND	65,300.00	65,300.00	09/25/2025
------	---	------	-----	-----------	-----------	------------

**Cd IVA: CL1 (19.0000%)**      12,407.00

**Total Programa**      77,707.00

**Total Art** 000000000000030843      77,707.00

2- 1	Thermalright Frozen Notte 240 Black ARGB V2 Enfriador de CPU UM: UNIDAD	1.00	UND	205,100.00	205,100.00	09/25/2025
------	---	------	-----	------------	------------	------------

**Cd IVA: CL1 (19.0000%)**      38,969.00

**Total Programa**      244,069.00

**Total Art** 000000000000030844      244,069.00

**Total Cd IVA: CL1 (19.0000%)**      51,376.00

**Impt Total Ped**      321,776.00

Compras Equipo Transferencia de Calor  
 Entregar a Victoria Ceron - profesor David Serje

No. de Celular: 31212687438

No. Teléfono fijo:

Correo electrónico: Luisa Sierra <innovacion.edu@didacticaselectronicas.com>

Señor proveedor: Los pedidos solo pueden ser despachados con una orden de compra previa, expedida por la oficina de Compras de la Pontificia Universidad Javeriana.

Dirección entrega: Calle 17a #121-121 callejón Cataya Universidad Javeriana - Almacén de Compras

Lunes a viernes de 8:00/11:30 a.m. y 2:00/4:00 p.m.

Contacto de entrega: Laura Marcela Astudillo Molano

**Firma Autorizada**

CARLOS ARTUR TROCHEZ MARMOLEJO

# ORDEN DE COMPRA

## PONTIFICIA UNV. JAVERIANA

NIT 860.013.720-1  
CALLE 18 # 118-250  
Parcelación el Retiro  
22  
Cali VAL 76001  
COLOMBIA

**Proveedor:** 0000062480  
ELECTRONICA I+D S.A.S.  
CALLE 48-D # 65-A-35  
05001-Medellin ANT  
COLOMBIA

**Factura Física: Punto de Recepción Documental (PRD)**

CALLE 18 # 118-250  
Parcelación el Retiro  
22  
Cali VAL 76001  
COLOMBIA

Puede enviar directamente su factura con remisión y número de pedido.

**Factura electrónica** facturajaverianacali@javerianacali.edu.co

### Despacho p/Impr

<b>ORDEN DE COMPRA</b>	<b>F</b>	<b>Revisión</b>	<b>Pág</b>
PUJCC-0000122592		09/25/2025	2
<b>Condic Pago</b>	<b>Cond Flete</b>	<b>Estado</b>	<b>Mét Env</b>
45 dias	Proveedor	Despachado	Terrestre
<b>Compr</b>	<b>Teléf</b>	<b>Moneda</b>	
LAURA MARCELA ASTUDILLO		COP	

**Envío:** CALLE 18 # 118-250  
El Retiro Pance  
17  
Cali VAL 76001  
COLOMBIA

No. Edificio:No. Edificio:EDIF-CENNo. Pi  
Ed Central P1

**Exnc Fisc** N **ID Exnc Fisc:** **Opción Reaprov:** Sin Stock

Lín-Env	Art/Descripción	ID Fab	CantidadUM	Prc Ped	Impt Extend	F Vto
---------	-----------------	--------	------------	---------	-------------	-------

Tiempo de entrega: 20 días hábiles

Forma de pago: 30 días hábiles

NOTA: Favor coordinar entrega antes del despacho, enviar número de guía y transportadora.

Las facturas serán recibidas los 20 primeros días del mes, por cierre contable.

Factura Electrónica: Representación gráfica, archivo XML y anexos deben enviarse a:

facturajaverianacali@javerianacali.edu.co, copiar al correo laura.astudillo@javerianacali.edu.co

La factura debe incluir:

Número de Orden de Compra o pedido

Nombre del comprador Laura Marcela Astudillo Molano

Resolución de facturación vigente

Calidad de retenedor de impuestos nacional y municipal

No enviar la factura dentro del paquete, se debe radicar electrónicamente

No facturar despachos parciales, se debe facturar la orden total (pueden entregar remisionado)

**Firma Autorizada**

CARLOS ARTUR TROCHEZ MARMOLEJO

FECHA COTIZACIÓN

**22/09/2025**

VIGENCIA	3	DÍAS
ENTREGA	3	DÍAS

CONDICIONES DE PAGO

**CRÉDITO**

Página 1 de 1

**COTIZACIÓN CT00289653-0**
**CLIENTE:** PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA - SUC.: 000

**TELÉFONO:** 3218200 - 0 - 0 - 0

**DOCUMENTO:** 860013720 - 2

**DIRECCIÓN:** CL 18 118 250 AV CAÑASGORDAS

**SEÑOR(A):**
**CIUDAD:** SANTIAGO DE CALI

**NO SOMOS GRANDES CONTRIBUYENTES**
**NO SOMOS AUTO RETENEDORES**
**EN ATENCIÓN A SU SOLICITUD, NOS ES GRATO COTIZAR LOS SIGUIENTES MATERIALES:**

Código	Descripción	Cant.	Largo	Ancho	Kilos	Valor Unit.	Total	
099-0001-000100	PLATINA ALUMINIO 6061 T6 230X150X10MM	1,000	0,000	0,000	UN	0,000	400.000,00	400.000

**FOB**

**C&F**


ELABORADO POR:

JOHN FELIPE VALENCIA

<b>Total Bruto:</b>	<b>400.000</b>
<b>Total Dcto.:</b>	<b>0</b>
<b>Subtotal:</b>	<b>400.000</b>
<b>Total IVA:</b>	<b>76.000</b>
<b>Total</b>	<b>476.000</b>

CALLE 52 N° 1N-97 CONMUTADOR:447 5500  
 FAX: 447 2095 TEL: 680 1311 CELULAR: 317 657 8642  
 E-MAIL: ventas@aceroscol.com  
 www.aceroscol.com  
 CALI - COLOMBIA

NIT 890.310.500-0  
 IVA RÉGIMEN COMÚN - RADICACIÓN 05-0489-14

**¡MUCHA ATENCIÓN, ESTIMADO(A) CLIENTE!**
**Por favor revise que esta cotización cumpla con sus requerimientos en cuanto a:**

- El tipo de material solicitado
- Las cantidades solicitadas
- Las unidades de medida solicitadas (diámetro, espesor, largo, ancho, etc.)

**Una vez firmada, se da por entendida su aceptación. ¡Muchas gracias!**

FECHA COTIZACIÓN

18/06/2025

VIGENCIA	3	DÍAS
ENTREGA	1	DÍAS

CONDICIONES DE PAGO

CONTADO

**COTIZACIÓN CT00278869-0**

CLIENTE: UNIVERSIDAD JAVERIANA UNIVERSIDAD JAVERIANA - SUC.: 000

TELÉFONO: 3218200

DOCUMENTO: 860013720 - 1

DIRECCIÓN: CALLE 18 118-55

SEÑOR(A):

CIUDAD: SANTIAGO DE CALI

NO SOMOS GRANDES CONTRIBUYENTES

NO SOMOS AUTO RETENEDORES

EN ATENCIÓN A SU SOLICITUD, NOS ES GRATO COTIZAR LOS SIGUIENTES MATERIALES:

Código	Descripción	Cant.	Largo	Ancho		Kilos	Valor Unit.	Total
099-0001-000740	BARRA ACETAL RED. 2.1/2"	1.000	1.000	0.000	UN	0.000	230,000.00	230,000
099-0001-000750	COBRE RED. 1"	1.000	0.500	0.000	UN	0.000	266,000.00	266,000
017-0001-000160	LATÓN REDONDO 1"	1.000	0.300	0.000	MT	1.300	68,900.00	68,900
025-0001-000110	ALUMINIO RED. 1"	1.000	0.300	0.000	MT	0.410	13,940.00	13,940
001-0001-000120	ACERO INOX. 304 RED. 1"	1.000	0.300	0.000	MT	1.210	17,061.00	17,061
003-0033-000140	ACERO 1045 RED. CAL. 1"	1.000	0.300	0.000	MT	1.210	8,591.00	8,591
098-0001-000760	LATON REDONDO 4.1/2"	1.000	0.010	0.000		0.000	250,000.00	250,000
099-0001-000760	BARRA REDONDA ACETAL 6"	1.000	0.051	0.000	UN	0.000	230,000.00	230,000

FOB



C&amp;F



ELABORADO POR:

JOHN FELIPE VALENCIA

Total Bruto:	1,084,492
Total Dcto.:	0
Subtotal:	1,084,492
Total IVA:	206,054
Total	1,290,546

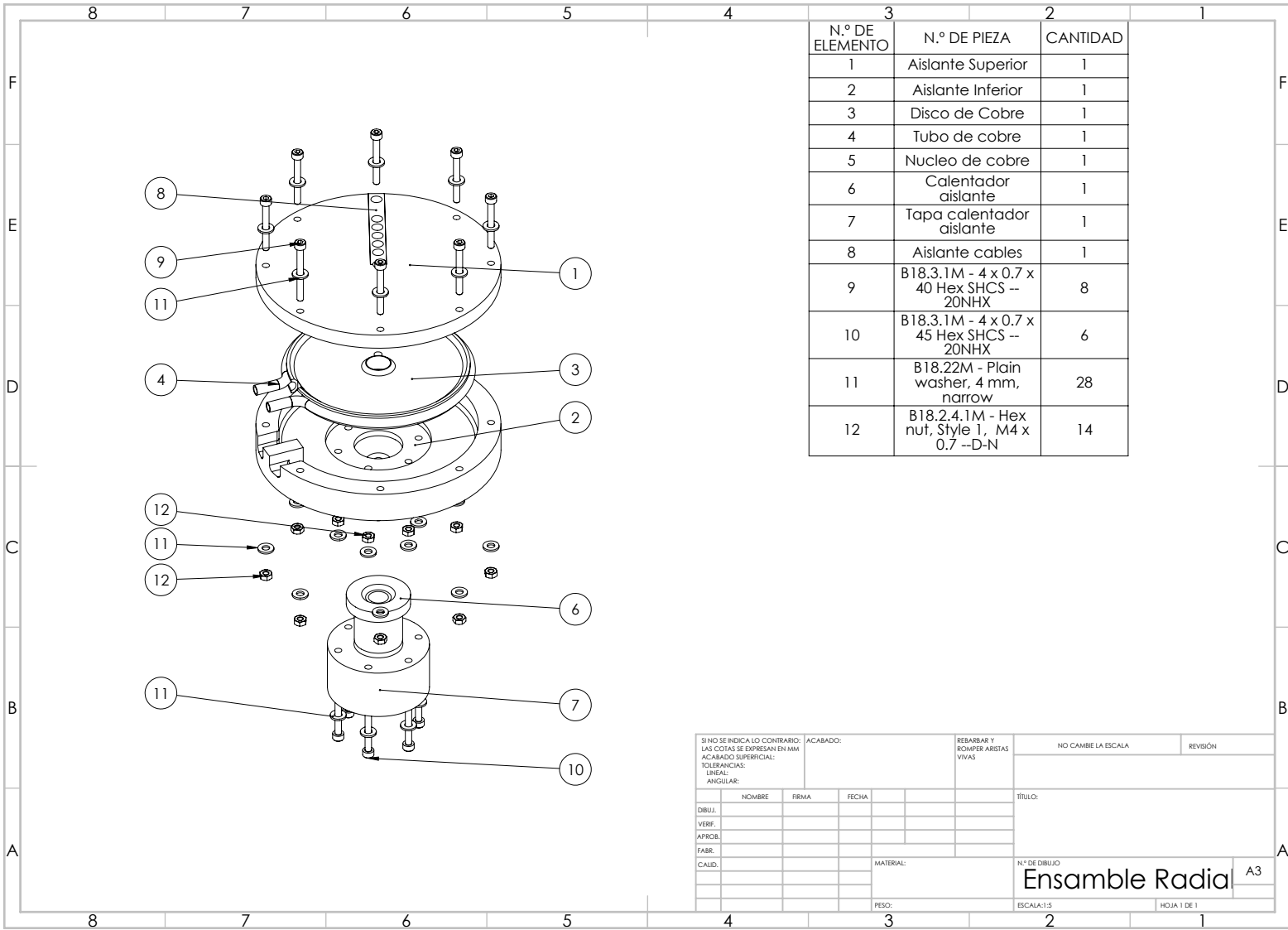
CALLE 52 N° 1N-97 CONMUTADOR:447 5500  
 FAX: 447 2095 TEL: 680 1311 CELULAR: 317 657 8642  
 E-MAIL: ventas@aceroscol.com  
 www.aceroscol.com  
 CALI - COLOMBIA

NIT 890.310.500-0  
 IVA RÉGIMEN COMÚN - RADICACIÓN 05-0489-14

**¡MUCHA ATENCIÓN, ESTIMADO(A) CLIENTE!**
**Por favor revise que esta cotización cumpla con sus requerimientos en cuanto a:**

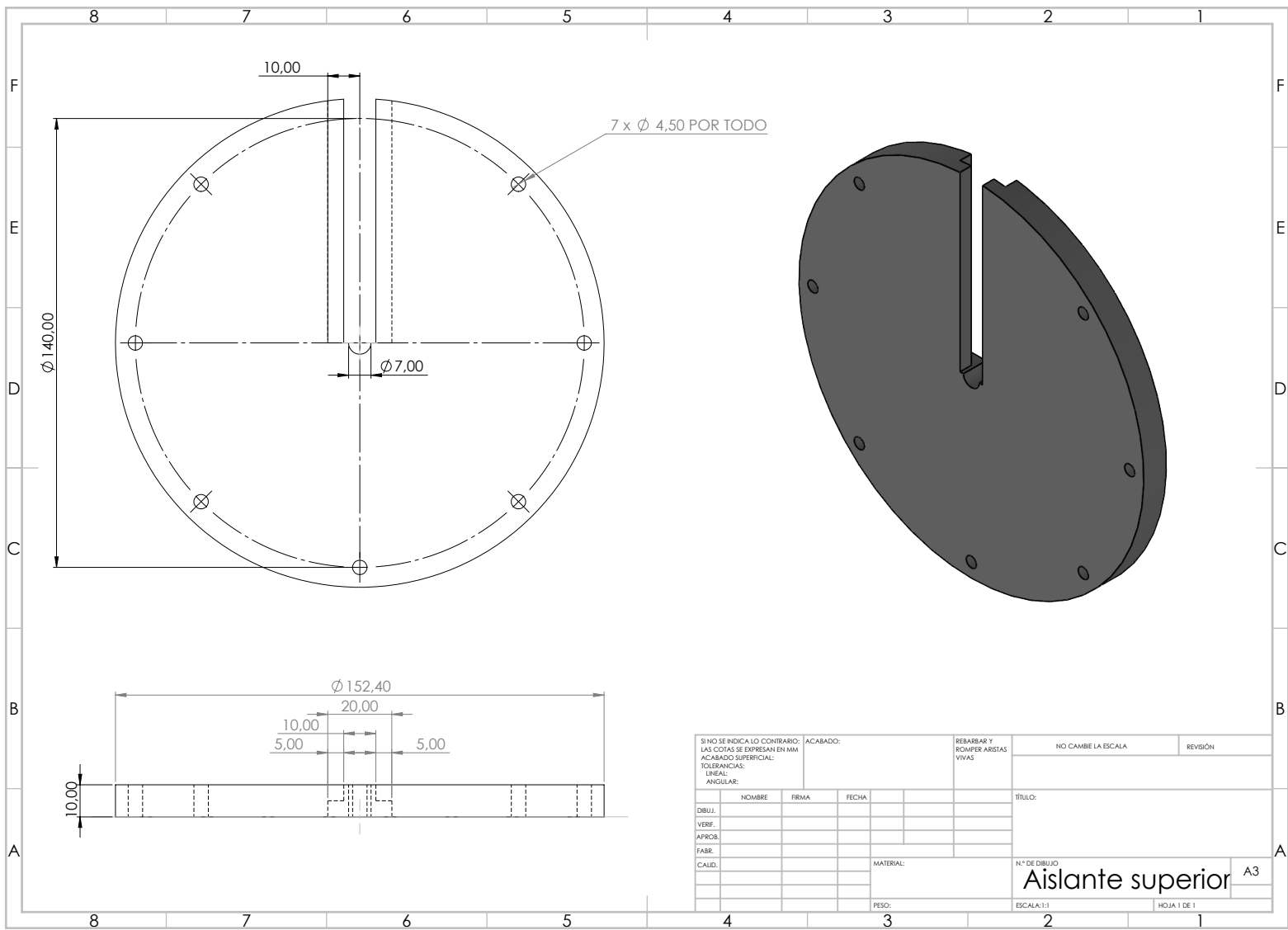
- El tipo de material solicitado
- Las cantidades solicitadas
- Las unidades de medida solicitadas (diámetro, espesor, largo, ancho, etc.)

**Una vez firmada, se da por entendida su aceptación. ¡Muchas gracias!**

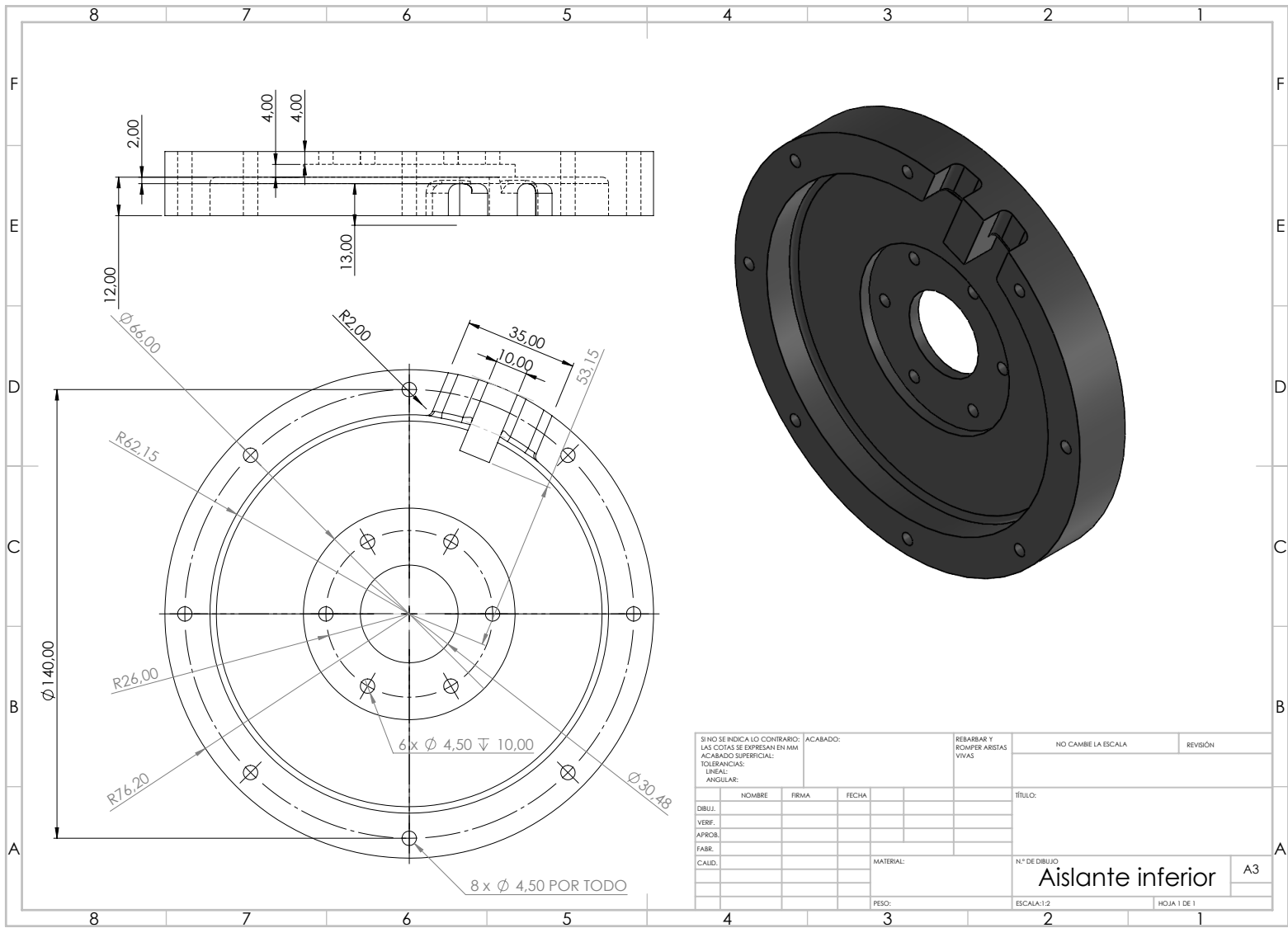


N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	CANTIDAD
1	Aislante Superior	1
2	Aislante Inferior	1
3	Disco de Cobre	1
4	Tubo de cobre	1
5	Nucleo de cobre	1
6	Calentador aislante	1
7	Tapa calentador aislante	1
8	Aislante cables	1
9	B18.3.1M - 4 x 0.7 x 40 Hex SHCS -- 20NHX	8
10	B18.3.1M - 4 x 0.7 x 45 Hex SHCS -- 20NHX	6
11	B18.22M - Plain washer, 4 mm, narrow	28
12	B18.2.4.1M - Hex nut, Style 1, M4 x 0.7 --D-N	14

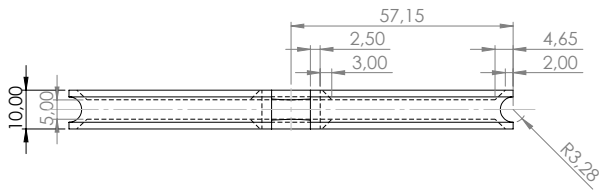
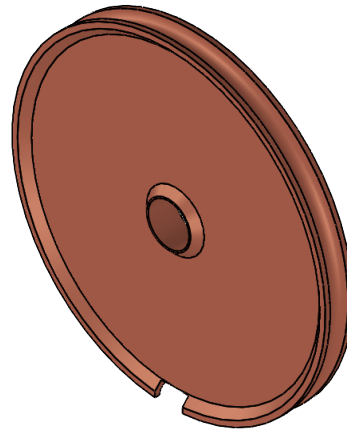
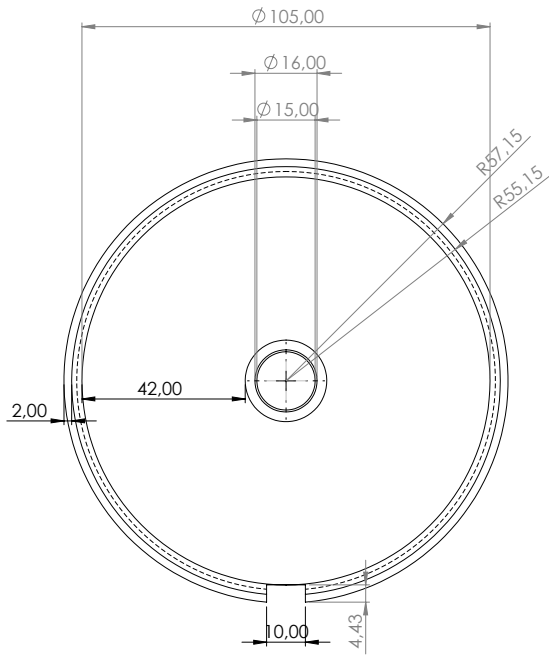
SINO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:			ACABADO:	REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS	NO CAMBIE LA ESCALA	REVISIÓN
DIBUJ.	NOMBRE	FIRMA	FECHA		TÍTULO:	
VERIF.						
APROB.						
FABR.						
CALID.				MATERIAL:	N.º DE DIBUJO	
					<b>Ensamble Radial</b>	A3
				PESO:	ESCALA:1:5	HOJA 1 DE 1



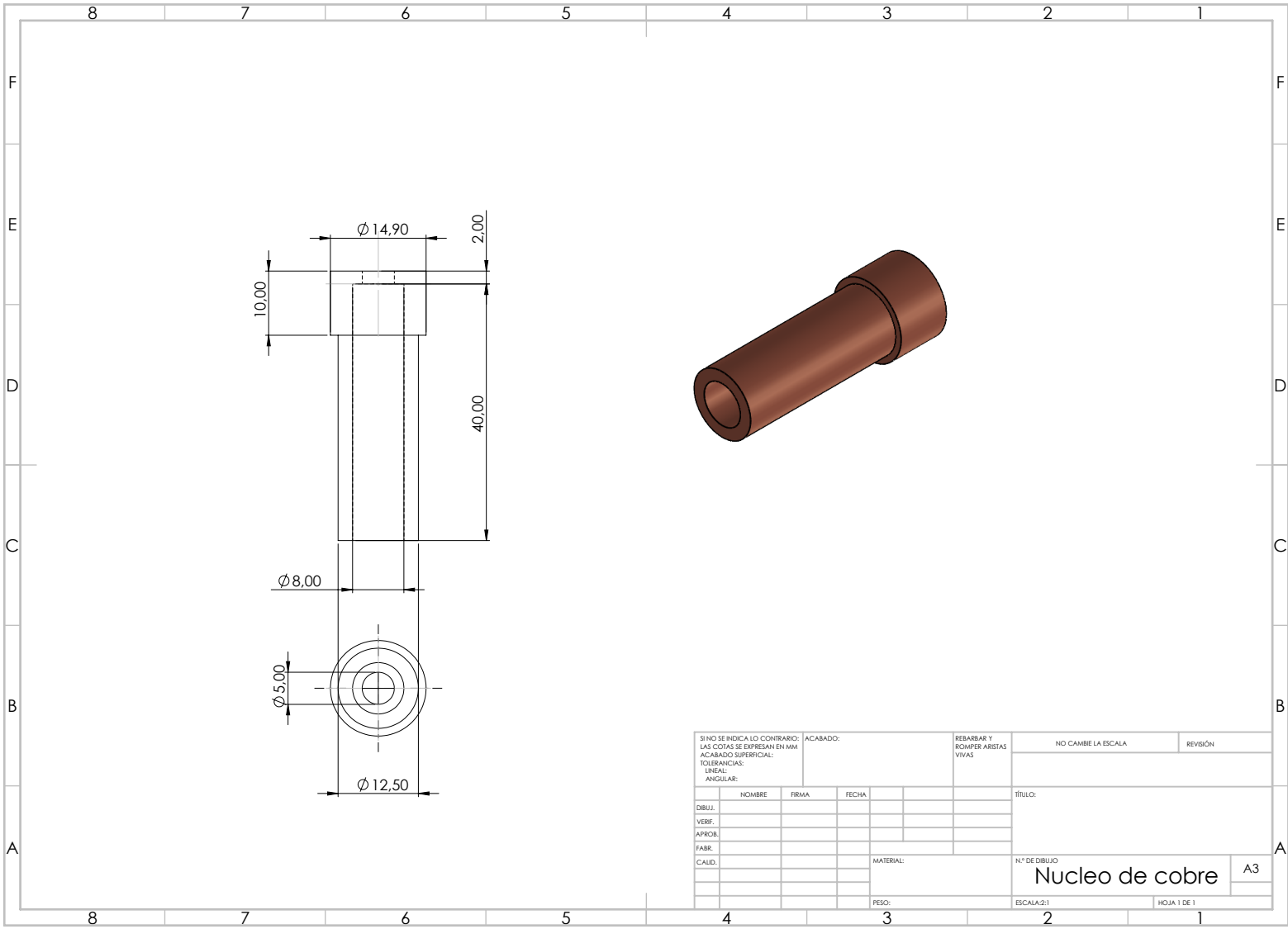
SINO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM		ACABADO:	REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS	NO CAMBIE LA ESCALA	REVISIÓN
ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:					
DIBUJ.	NOMBRE	FIRMA	FECHA	TÍTULO:	
VERIF.					
APROB.					
FABR.					
CALIB.				MATERIAL:	N.º DE DIBUJO
					<b>Aislante superior</b> A3
				PESO:	ESCALA: 1:1
					HOJA 1 DE 1



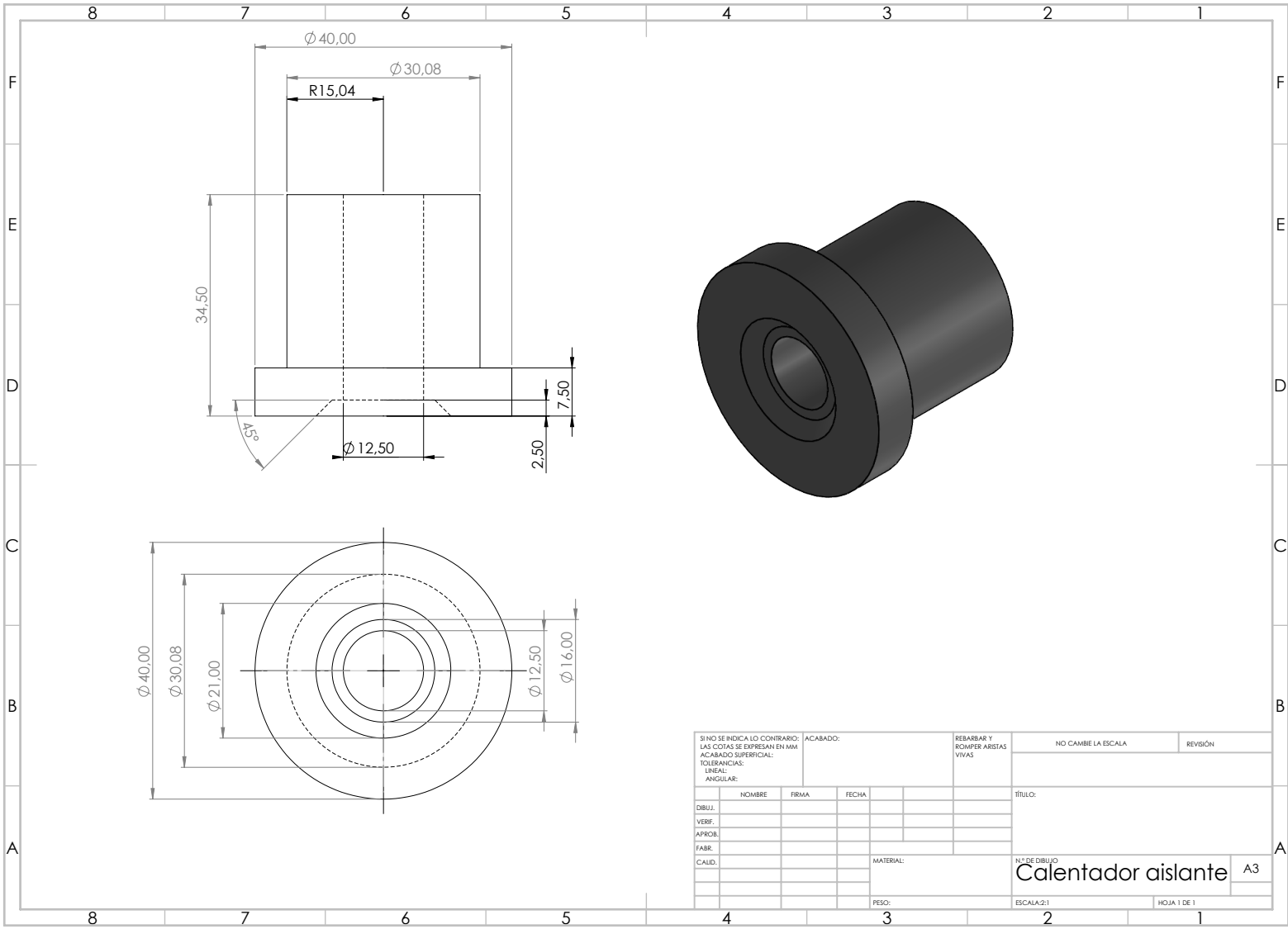
SINO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:				ACABADO:	REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS	NO CAMBIE LA ESCALA	REVISIÓN
DIBUJ.	NOMBRE	FIRMA	FECHA			TÍTULO:	
VERIF.							
APROB.							
FABR.							
CALID.					MATERIAL:	N.º DE DIBUJO	
						<b>Aislante inferior</b>	A3
					PESO:	ESCALA:1:2	HOJA 1 DE 1

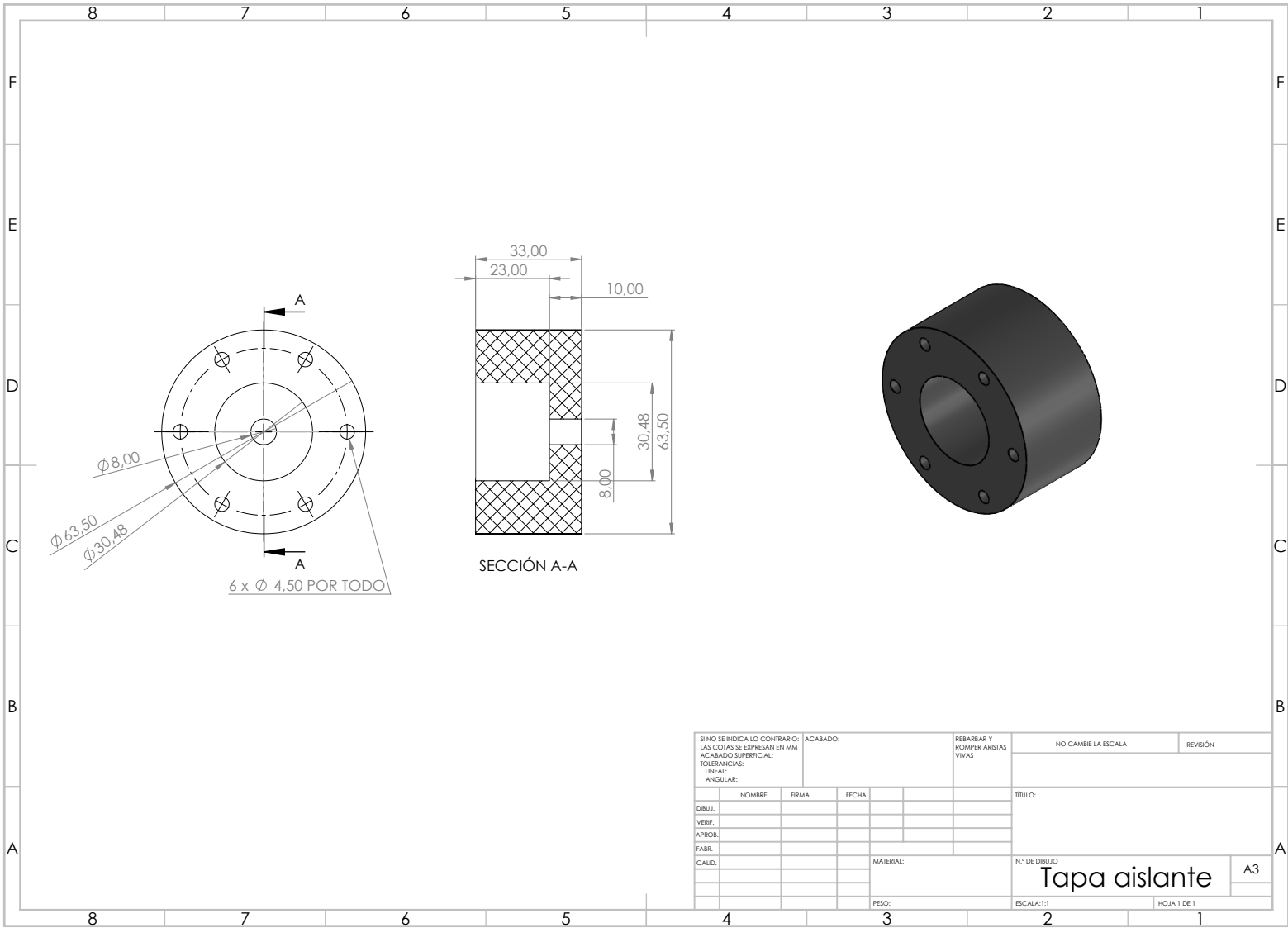


SINO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM		ACABADO:	REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS	NO CAMBIE LA ESCALA	REVISIÓN
ACABADO SUPERFICIAL:					
TOLERANCIAS:					
LINEAL:					
ANGULAR:					
DIBUJ.	NOMBRE	FIRMA	FECHA		TÍTULO:
VERIF.					
APROB.					
FABR.					
CALID.				MATERIAL:	N.º DE DIBUJO
					<b>Disco de cobre</b>
				PESO:	A3
				ESCALA: 1:1	HOJA 1 DE 1



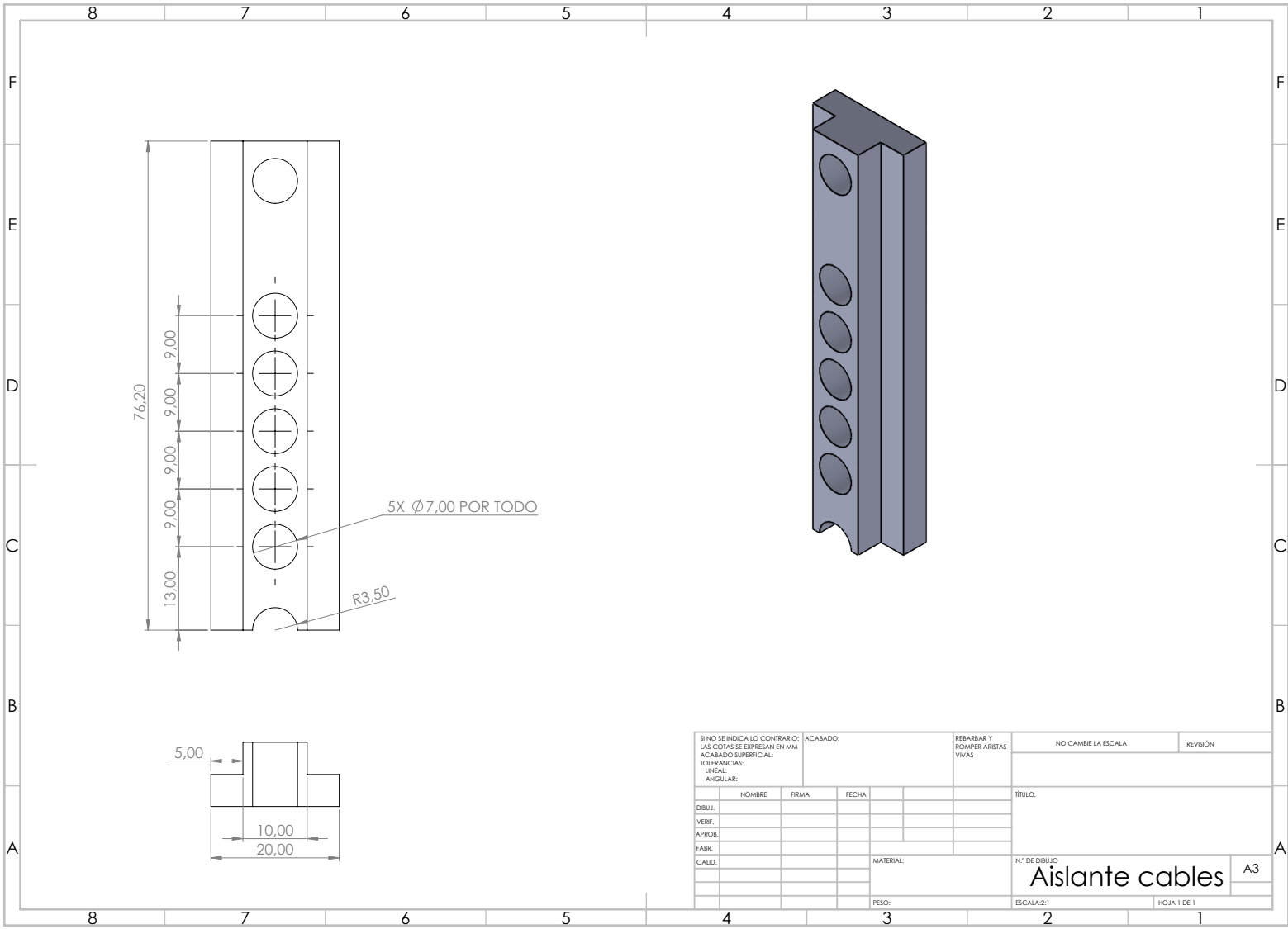
SINO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:		ACABADO:	REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS	NO CAMBIE LA ESCALA	REVISIÓN
DIBUJ.	NOMBRE	FIRMA	FECHA	TÍTULO:	
VERIF.					
APROB.					
FABR.					
CALIB.				MATERIAL:	N.º DE DIBUJO
					<b>Nucleo de cobre</b>
				PESO:	A3
				ESCALA: 2:1	HOJA 1 DE 1



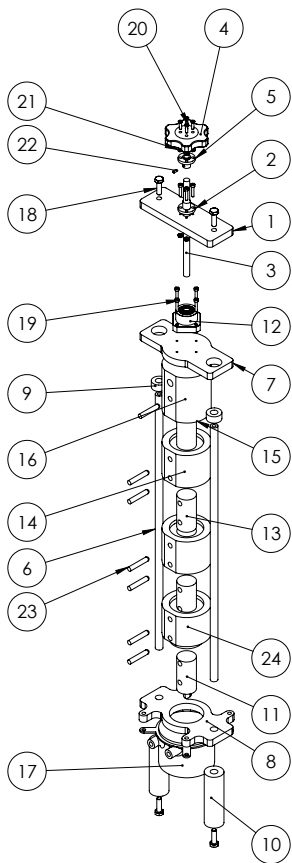


SECCIÓN A-A

SINO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:			ACABADO:	REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS	NO CAMBIE LA ESCALA	REVISIÓN
DIBUJ.	NOMBRE	FIRMA	FECHA		TÍTULO:	
VERIF.						
APROB.						
FABR.						
CALIB.				MATERIAL:	N.º DE DIBUJO	
					<b>Tapa aislante</b>	A3
				PESO:	ESCALA: 1:1	HOJA 1 DE 1



SINO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM		ACABADO:		REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		NO CAMBIE LA ESCALA		REVISIÓN	
ACABADO SUPERFICIAL:									
TOLERANCIAS:									
LINEAL:									
ANGULAR:									
DIBUJ.		NOMBRE		FIRMA		FECHA		TÍTULO:	
VERIF.									
APROB.									
FABR.									
CALIB.						MATERIAL:		N.º DE DIBUJO	
								Aislante cables A3	
						PESO:		ESCALA: 2:1	
								HOJA 1 DE 1	



N.º DE ELEMENTO	NOMBRE DE PIEZA	CANTIDAD
1	Placa superior	1
2	Tuerca T8 Para Varilla Trapezoidal 4 Hilos	1
3	Varilla roscada	1
4	Pomo estrella	1
5	Tuerca T8 Para Varilla Trapezoidal 4 Hilos	1
6	Varilla Lisa	2
7	Placa central	1
8	Soporte AM5 cpu coole	1
9	Rodamiento lineal D10	2
10	Cilindro Soporte Enfriador	2
11	Placa inferior	1
12	Rodamiento FK8	1
13	Metal Probeta	2
14	Aislante Transmisor Paso	2
15	Cilindro calentador	1
16	Aislante Cilindro Calentador Paso	1
17	CPU Frozen Noite 240 BLACK ARGB	1
18	B18.2.3.1M - Hex cap screw, M6 x 1.0 x 20 --20N	4
19	B18.3.1M - 3 x 0.5 x 16 Hex SHCS -- 16NHX	8
20	B18.3.5M - 3 x 0.5 x 12 Socket FCHS -- 12N	4
21	B18.2.4.1M - Hex nut, Style 1, M3 x 0.5 --D-N	8
22	B18.3.6M - M3 x 0.5 x 6 Hex Socket Cone Pt. SS --N	1
23	Sonda Sensor Ds18b20	7
24	Aislante Transmisor enfriador	1

PONTIFICIA  
UNIVERSIDAD  
JAVERIANA

tolerancias

long.

ang.

tipo de soldadura

Diseño

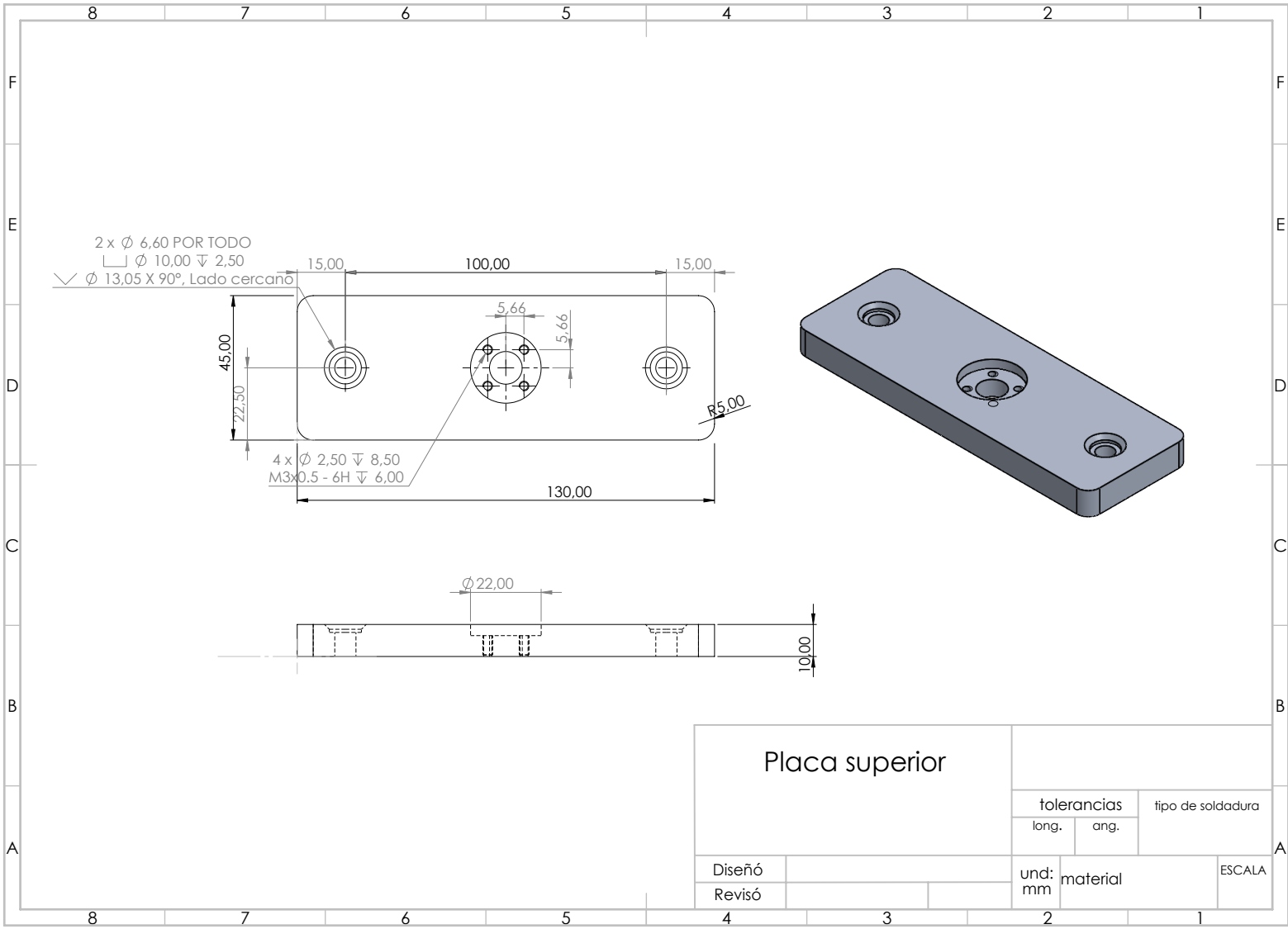
Revisó

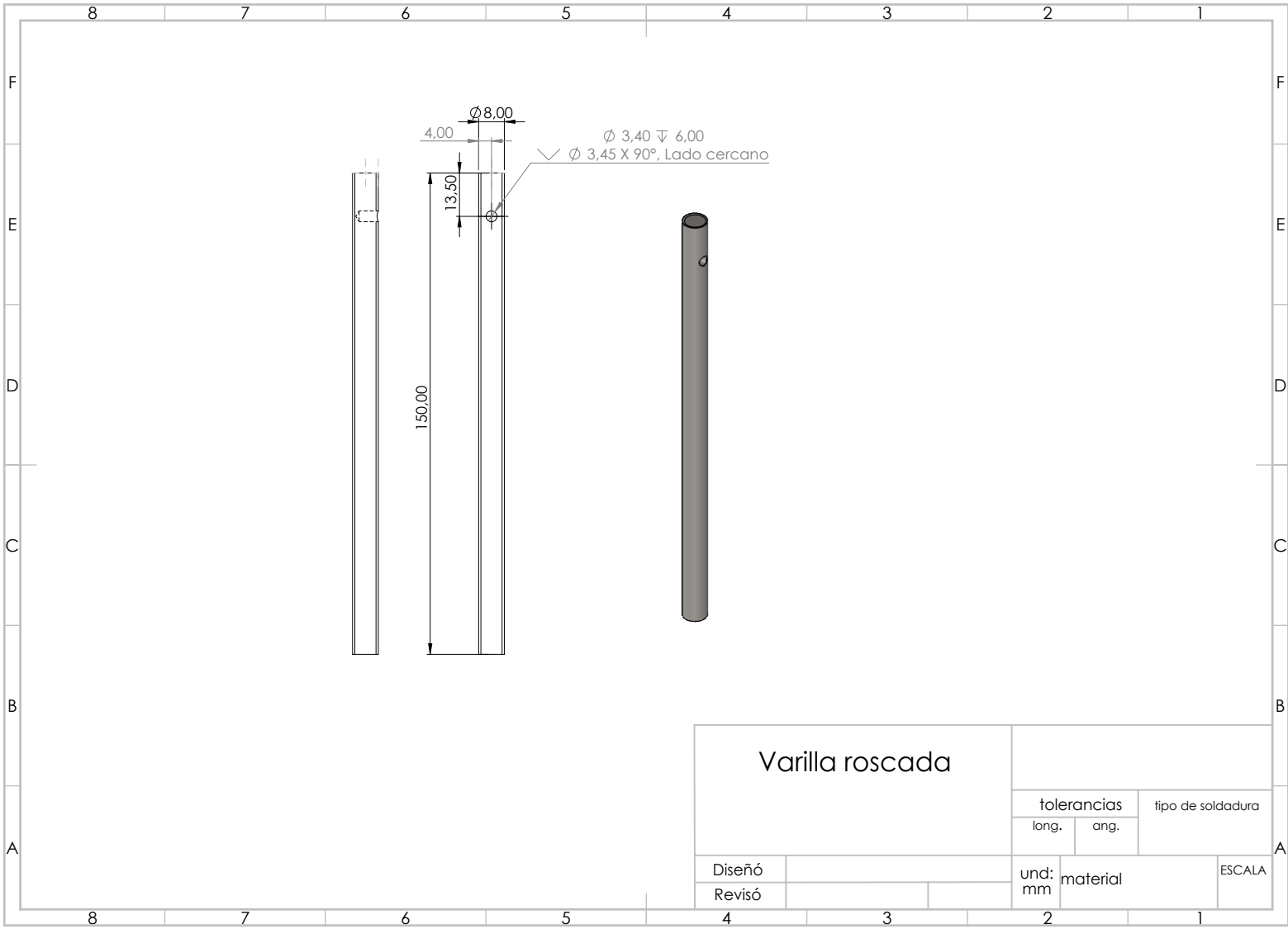
und:

mm

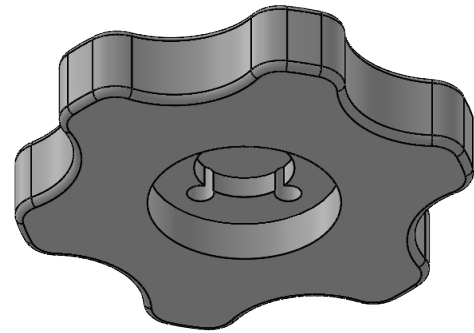
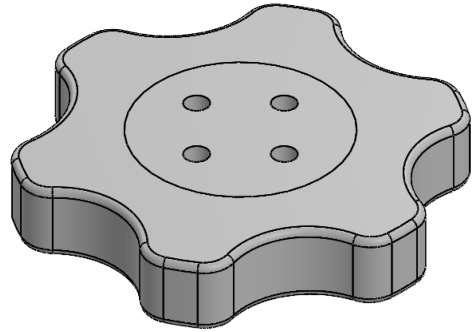
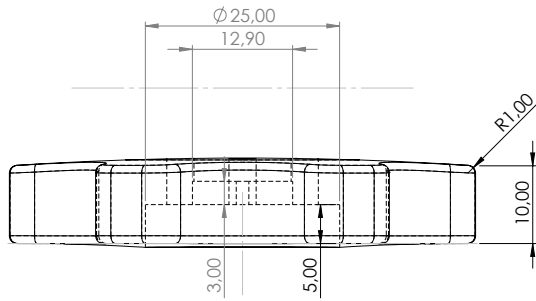
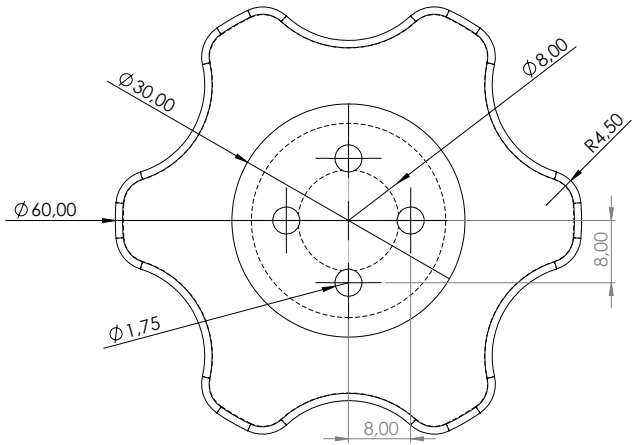
material

ESCALA



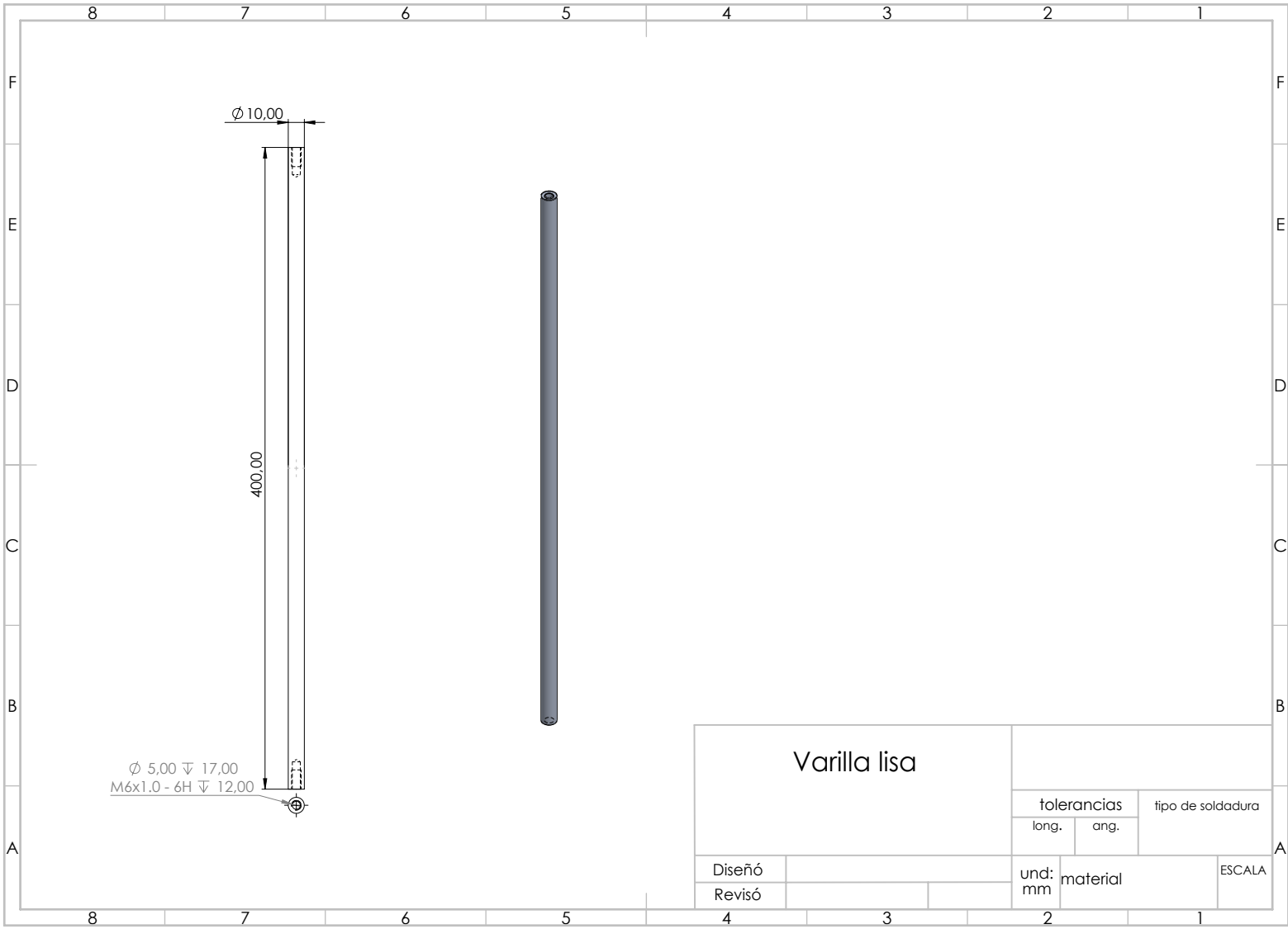


Diseño		tolerancias		tipo de soldadura
		long.	ang.	
Revisó		und:	material	ESCALA
		mm		

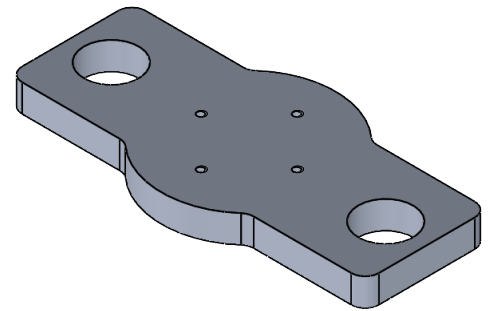
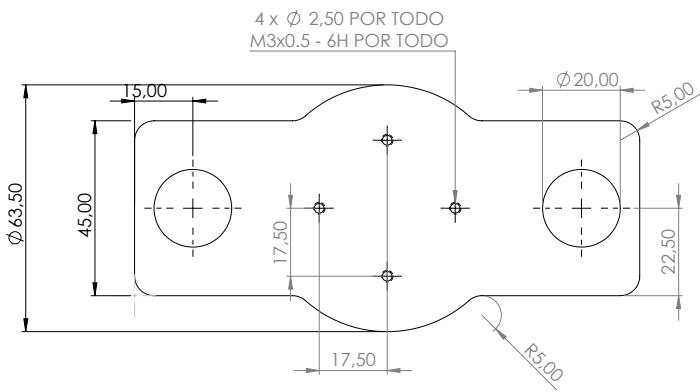
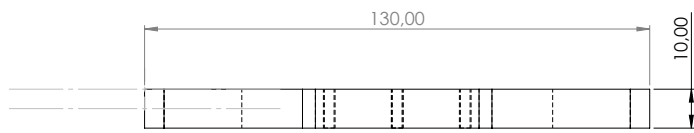


### Pomo estrella

Diseño		tolerancias		tipo de soldadura
		long.	ang.	
Revisó		und: mm	material	ESCALA

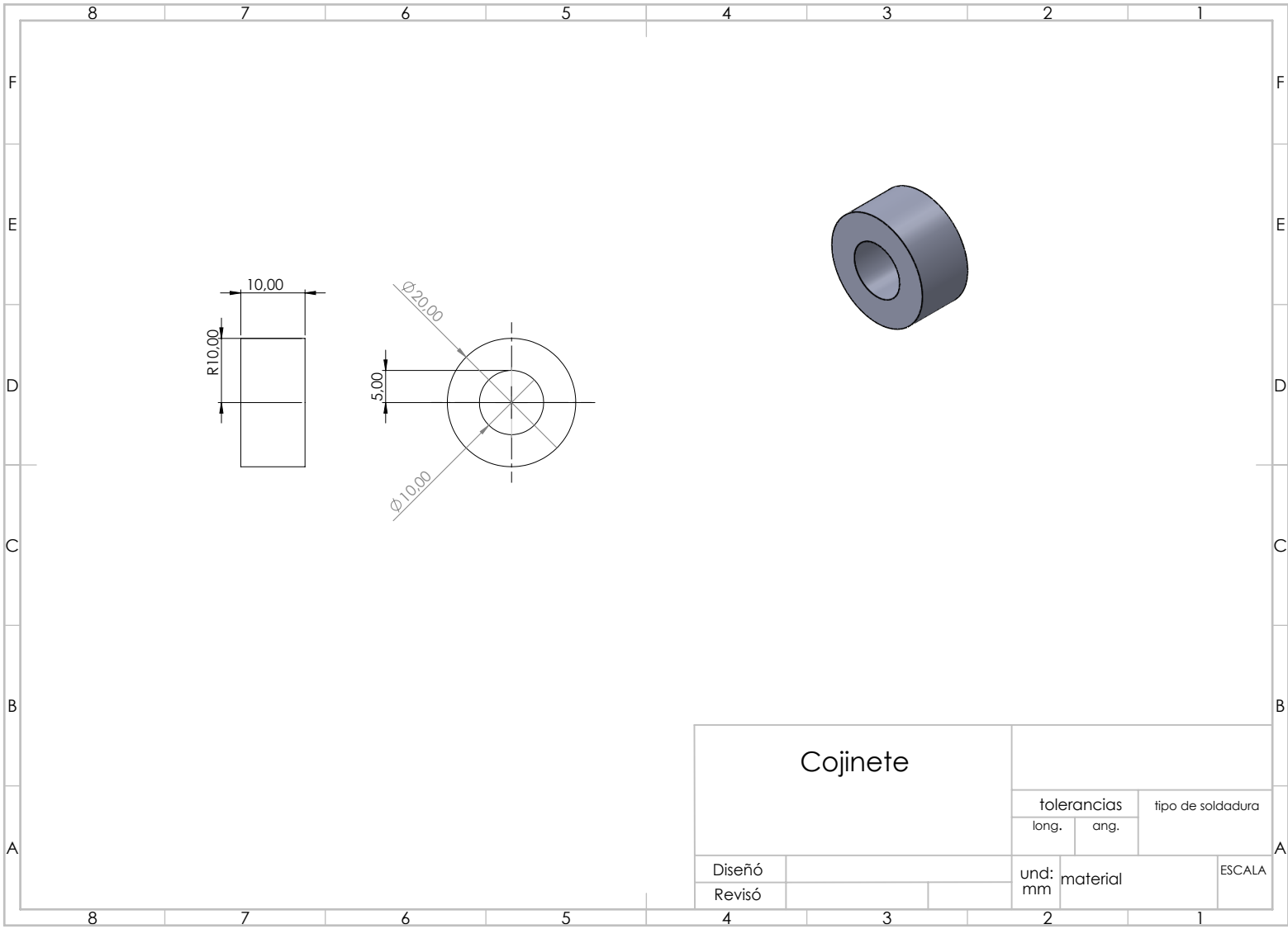


Varilla lisa		tolerancias		tipo de soldadura
		long.	ang.	
Diseño		und: mm	material	ESCALA
Revisó				



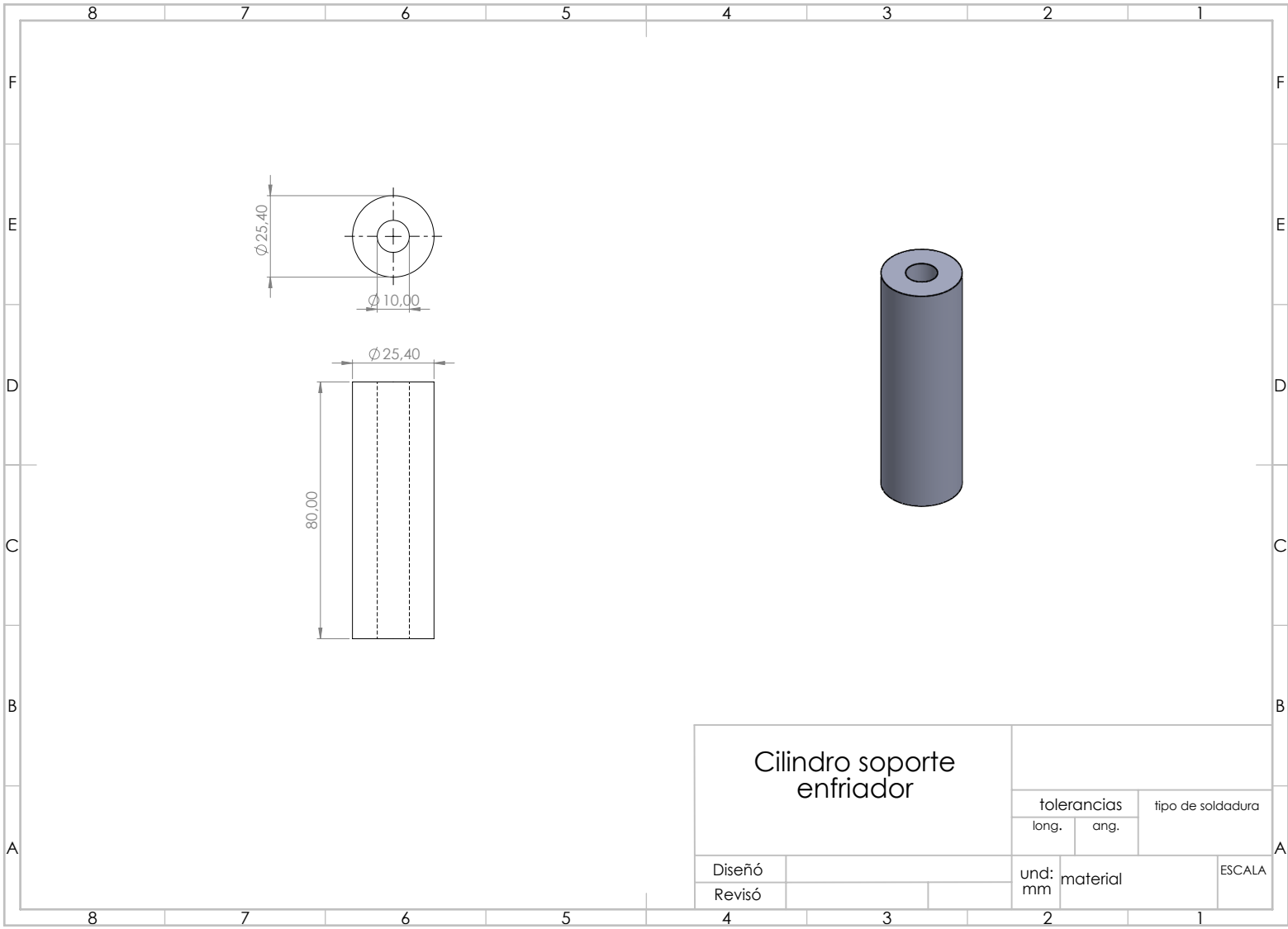
### Placa central

		tolerancias		tipo de soldadura
		long.	ang.	
Diseño		und: mm	material	ESCALA
Revisó				

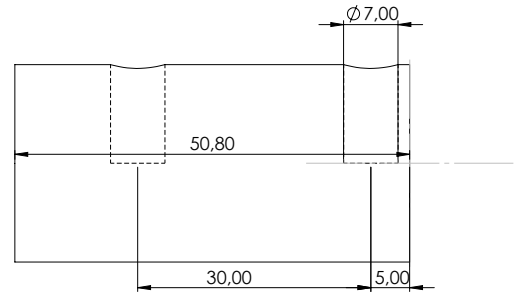
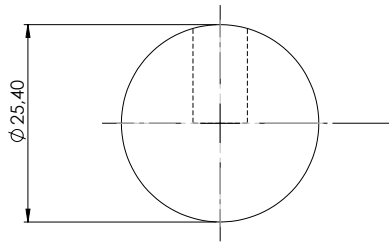
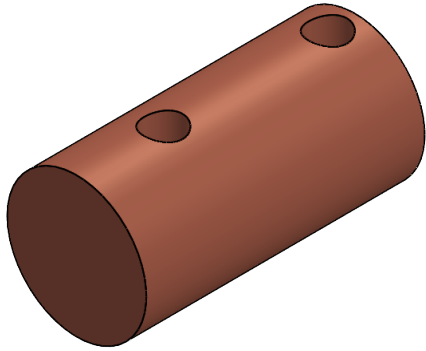


## Cojinete

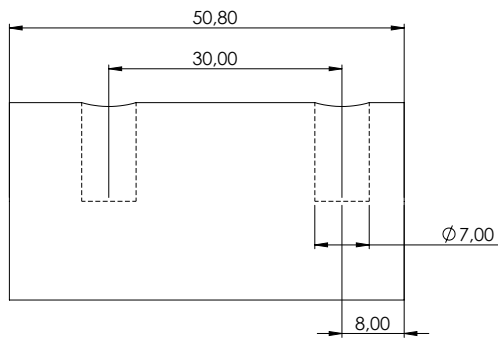
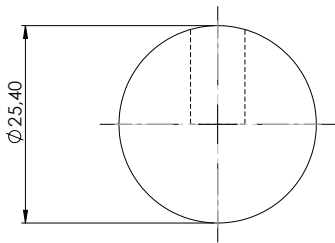
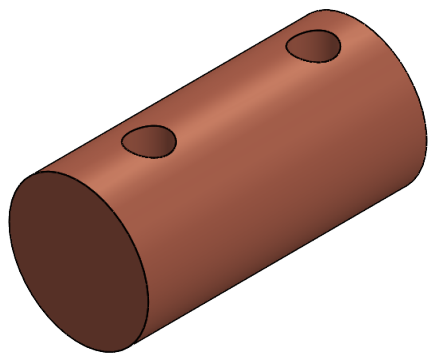
Diseño		tolerancias		tipo de soldadura
		long.	ang.	
Revisó		und:	material	ESCALA
		mm		



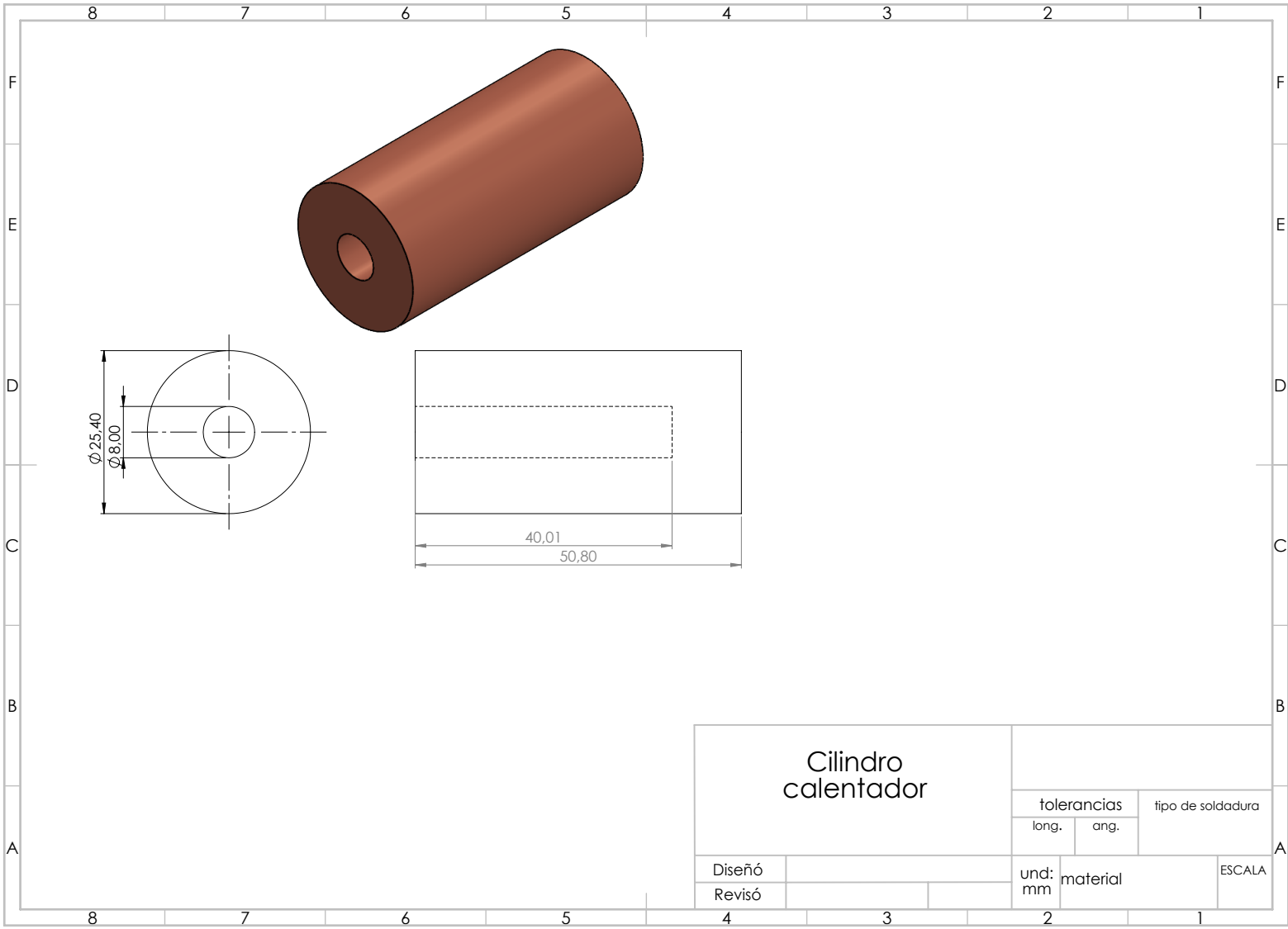
Cilindro soporte enfriador		tolerancias		tipo de soldadura
		long.	ang.	
Diseño		und: mm	material	ESCALA
Revisó				



Metal probeta enfriador		tolerancias		tipo de soldadura
		long.	ang.	
Diseño		und: mm	material	ESCALA
Revisó				

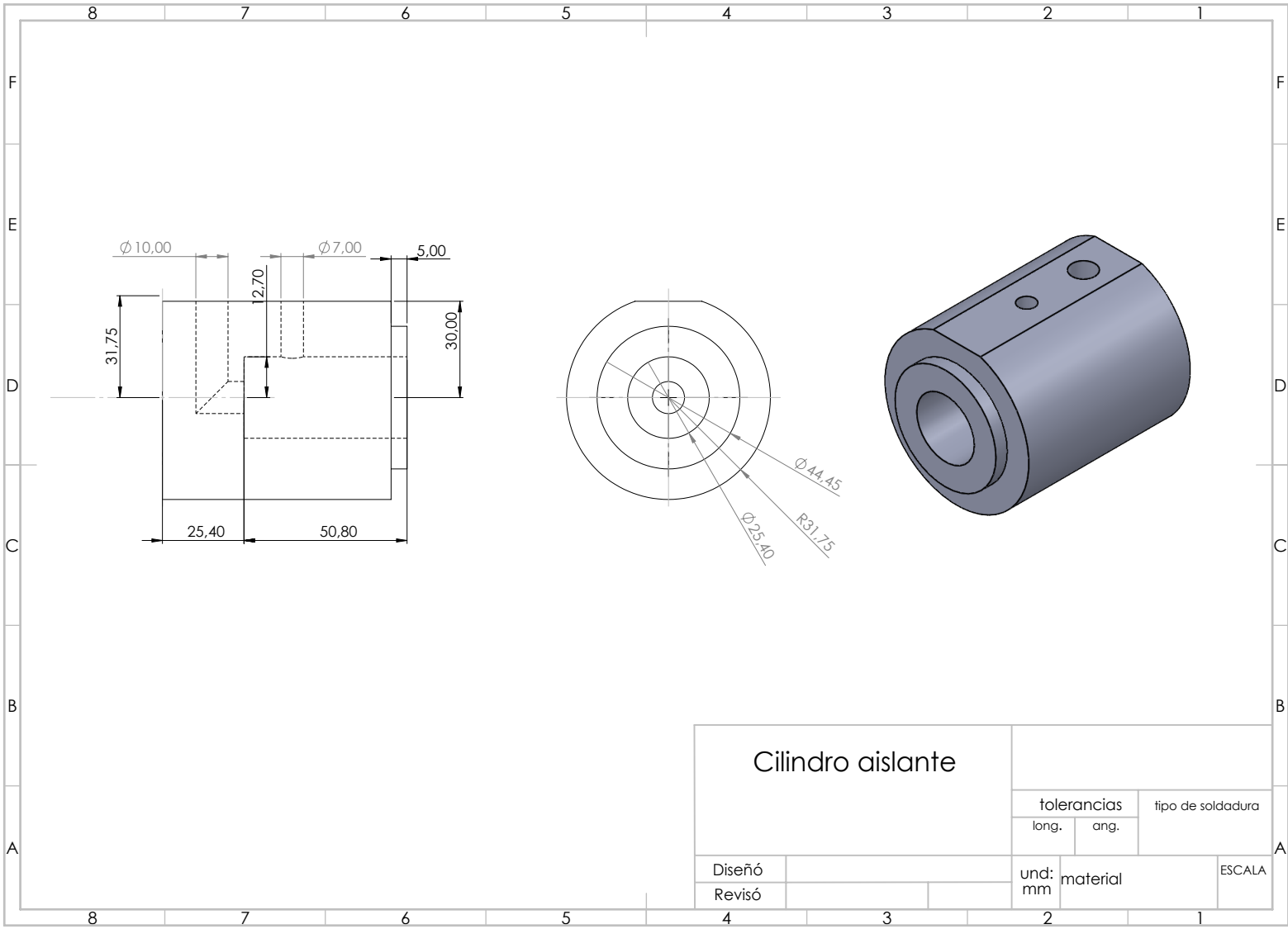


Metal probeta		tolerancias		tipo de soldadura
		long.	ang.	
Diseño		und: mm	material	ESCALA
Revisó				



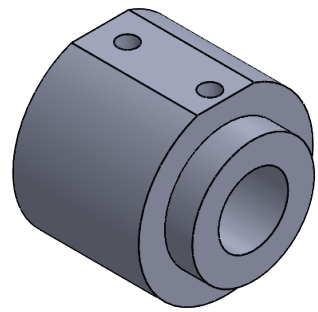
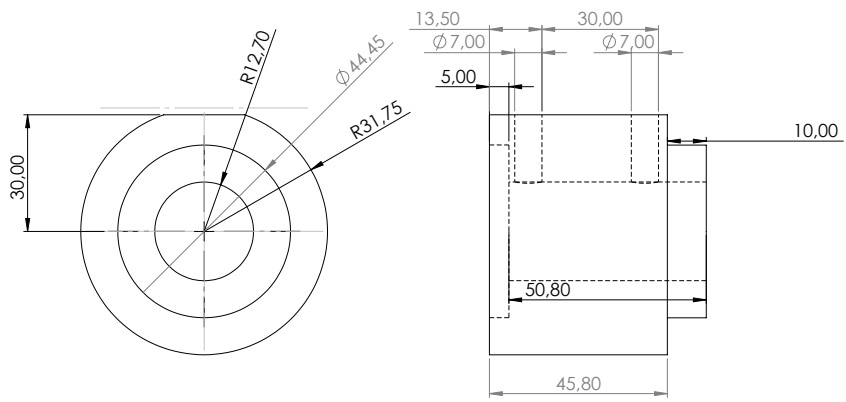
### Cilindro calentador

Diseño	Revisó	tolerancias		tipo de soldadura	ESCALA
		long.	ang.		
		und:	material		
		mm			



### Cilindro aislante

Diseño		tolerancias		tipo de soldadura
		long.	ang.	
Revisó		und:	material	ESCALA
		mm		



### Cilindro aislante enfriador

Diseño		tolerancias		tipo de soldadura
		long.	ang.	
Revisó		und:	material	ESCALA
		mm		