

Escuela Superior Politécnica del Litoral

Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción

Diseño de Banco de Pruebas para Disipadores de Calor de Enfriamiento Líquido
con Conducción Inversa

INGE-3097

Proyecto Integrador

Previo la obtención del Título de:

Ingeniero Mecánico

Presentado por:

Diego Javier Amores Cabrera

Omar David Camacho Quito

Guayaquil - Ecuador

Año: 2025

Dedicatoria

El presente proyecto lo dedico a mi familia y amigos, que me acompañaron en toda mi etapa universitaria. En especial a mi mamá, que es el pilar de mi vida y me ha enseñado todo lo que soy hoy en día. Te amo mamá.

Diego Javier Amores Cabrera.

Este proyecto está dedicado a cada persona que me dio su apoyo incondicional y creyó en mí. Gracias a mis amigos de toda la vida, Dany, Nahyr, Anthony, Juanxa. A mis amigos hechos en esta etapa. A mi compañero. Gracias a mi querida Ani. Gracias a mis hermanos, Valentina, Juan Diego, a Molly. Papá, Mamá, esto es por ustedes, gracias por hacerme quien soy, los amo.

Omar David Camacho Quito

Agradecimientos

Mi más sincero agradecimiento a todos aquellos que fueron participes en la realización de este proyecto, en especial al apoyo técnico brindado por el Ing. Marcelo Brito y Ing. Víctor Hugo Áviles, de los talleres CAMPRO, FIMCP y del Taller de Diseño de Productos, FADCOM. Su experiencia y asistencia en la fabricación y el mecanizado de los componentes mecánicos fueron fundamentales para la construcción del banco de pruebas experimental. Así también al Ph. D. Eduardo Castillo, al Ing. Mario Patiño y al Ing. Christian Garzón por su guía y las discusiones técnicas en virtud de la mejora del proyecto.

Declaración Expresa


Nosotros Diego Javier Amores Cabrera y Omar David Camacho Quito acordamos y reconocemos que:


La titularidad de los derechos patrimoniales de autor (derechos de autor) del proyecto de graduación corresponderá al autor o autores, sin perjuicio de lo cual la ESPOL recibe en este acto una licencia gratuita de plazo indefinido para el uso no comercial y comercial de la obra con facultad de sublicenciar, incluyendo la autorización para su divulgación, así como para la creación y uso de obras derivadas. En el caso de usos comerciales se respetará el porcentaje de participación en beneficios que corresponda a favor del autor o autores.

La titularidad total y exclusiva sobre los derechos patrimoniales de patente de invención, modelo de utilidad, diseño industrial, secreto industrial, software o información no divulgada que corresponda o pueda corresponder respecto de cualquier investigación, desarrollo tecnológico o invención realizada por nosotros durante el desarrollo del proyecto de graduación, pertenecerán de forma total, exclusiva e indivisible a la ESPOL, sin perjuicio del porcentaje que nos corresponda de los beneficios económicos que la ESPOL reciba por la explotación de nuestra innovación, de ser el caso.

En los casos donde la Oficina de Transferencia de Resultados de Investigación (OTRI) de la ESPOL comunique a los autores que existe una innovación potencialmente patentable sobre los resultados del proyecto de graduación, no se realizará publicación o divulgación alguna, sin la autorización expresa y previa de la ESPOL.

Guayaquil, miércoles 15 de octubre del 2025.


Diego Javier Amores
Cabrera


Omar David Camacho
Quito

Evaluadores

Emérita Alexandra Delgado Plaza

Profesor de Materia

Eduardo Adán Castillo Orozco

Tutor de proyecto

Resumen

El aumento continuo en la densidad de transistores en los procesadores modernos ha incrementado la generación de calor, imponiendo mayores exigencias a los sistemas de gestión térmica. Los disipadores de calor refrigerados por líquido son una solución; sin embargo, su evaluación experimental requiere condiciones de flujo de calor controladas, ya que los sensores directos suelen ser intrusivos y perturban el campo de flujo.

Este trabajo presenta el diseño y la validación experimental de un banco de pruebas para la caracterización térmica de disipadores de calor refrigerados por líquido. Se empleó simulación numérica para apoyar el diseño y definir el montaje experimental. El banco de pruebas permite aplicar un suministro de calor controlado, manteniendo un flujo no perturbado, mientras que el flujo de calor se estima mediante una metodología de conducción inversa de calor basada en mediciones internas de temperatura.

El sistema experimental utiliza un cartucho calefactor eléctrico de 250 W insertado en un bloque de cobre para reproducir la huella térmica de un procesador AMD TR4. Los resultados experimentales muestran desviaciones inferiores al 1 % respecto a las predicciones numéricas y a un modelo teórico de conducción de calor unidimensional, confirmando la precisión y confiabilidad del banco de pruebas propuesto.

Palabras Clave: Transferencia de calor, Simulación numérica térmica, Gestión Térmica, Medición de rendimiento térmico.

Abstract

The continuous increases in transistor density in modern processors has led to higher heat generation and more demanding thermal management requirements. Liquid-cooled heat sinks offer a solution; however, their experimental evaluation requires controlled heat flux conditions. Direct heat flux sensors are often and can disturb the flow.

This work presents the design and experimental validation of a test bench for thermal performance characterization of liquid-cooled heat sinks without the use of commercial processors or intrusive sensors. Numerical simulation was first used to optimize the heat sink design and to guide the development of the experimental setup. The test bench enables controlled heat input while preserving an undisturbed flow field. Surface heat flux is estimated using an inverse heat conduction methodology applied to internal temperature measurements acquired through a data acquisition system.

The experimental setup employs a 250 W electrical cartridge heater inserted into a copper block to replicate the thermal footprint an AMD TR4 processor. Experimental results are compared with numerical predictions and a one-dimensional theoretical heat conduction model. The measured heat flux deviates from the simulated and theoretical values by less than 1%, confirming the accuracy and reliability of the proposed test bench for liquid-cooled heat sink evaluation.

Keywords: *Heat Transfer, Thermal Numerical Simulation, Thermal Management, Thermal Performance Measurement*

Índice general

Resumen	I
<i>Abstract</i>	II
Índice general	III
Abreviaturas	V
Simbología	VI
Índice de figuras	VII
Índice de tablas.....	IX
ÍNDICE DE PLANOS	X
Capítulo 1	1
1.1 Introducción	2
1.2 Descripción del Problema	3
1.3 Justificación del Problema	4
1.4 Objetivos	6
1.4.1 <i>Objetivo general</i>	6
1.4.2 <i>Objetivos específicos</i>	6
1.5 Marco teórico	7
1.5.1. <i>Método de Conducción de Calor Inverso</i>	7
1.5.2. <i>Termocuplas o termopares</i>	8
Capítulo 2	10
2. Metodología.	11
2.1 Criterios de análisis para la matriz de ponderación	12
2.2 Alternativas propuestas.....	13
2.3 Matriz de selección de alternativas.....	15
2.4 Selección de los instrumentos de medición	16
2.5 Matriz de selección de instrumento de medición de temperatura	18
2.6 Selección componentes para el banco de pruebas	20

2.7	Utilización del programa LabVIEW.....	23
2.8	Diseño Inicial de banco de pruebas	25
2.8.1	<i>Diseño Inicial</i>	25
2.8.2	<i>Piezas y materiales para construcción del banco de pruebas</i>	25
2.8.3	<i>Análisis teórico de transferencia de calor</i>	28
2.9	Metodología de Construcción.....	31
2.10	Metodología de simulación	33
Capítulo 3		37
3.	Resultados y análisis	38
3.1	Elementos y piezas de diseño final del banco de pruebas.....	38
3.2	Análisis de funcionamiento teórico del equipo	44
3.3	Mecanizado del cilindro de cobre	48
3.4	Construcción y ensamblado de piezas del equipo	52
3.5	Costos de materiales y equipos del banco de pruebas.....	54
3.6	Costo de diseño y procesos de manufactura.....	57
3.7	Análisis de costos	57
3.8	Análisis de experimentación	61
Capítulo 4		68
4.1	Conclusiones y recomendaciones.....	69
4.1.1	<i>Conclusiones</i>	69
4.1.2	<i>Recomendaciones</i>	70
Referencias		72
Apéndices		75

Abreviaturas

CFD	Computational Fluid Dynamics
CIDNA	Centro de Investigación y Desarrollo en Nanotecnología
CNC	Computer Numerical Control
CPU	Central Processing Unit
DAQ	Data Acquisition System
ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
IHC	Inverse Heat Conduction
NIST	National Institute of Standards and Technology
ODS	Objetivos de Desarrollo Sostenible
PLA	Polylactic Acid
PVC	Polyvinyl Chloride
RT	Regularización de Tikhonov
TDP	Thermal Design Power

Simbología

A	Área de transferencia de calor
°C	Celsius
h	Coefficiente de transferencia de calor por convección
k	Conductividad térmica del material
K	Kelvin
L	Longitud característica del dominio de conducción
m	Metro
mm	Milímetro
q''	Flujo de calor
Q	Tasa de transferencia de calor
r	Radio
R	Resistencia térmica
s	Segundos
T	Temperatura
T_a	Temperatura ambiente
T_s	Temperatura de la superficie
t	Tiempo
U	Coefficiente global de transferencia de calor
ΔT	Diferencia de temperatura entre dos puntos
Δx	Diferencia de Coordenadas espacial axial
z	Coordenadas espacial longitudinal
ε	Emisividad superficial del material
η	Eficiencia de conducción axial
σ	Stefan–Boltzmann

Índice de figuras

Figura 1 <i>Cambio de temperatura del bloque de refrigeración (Vista Superior)</i>	5
Figura 2 <i>Computadora montada en un chasis de prueba</i>	5
Figura 3 <i>Posición de termocuplas</i>	7
Figura 4 <i>Diagrama de flujo de metodología del diseño de banco de pruebas</i>	11
Figura 5 <i>Diseño conceptual de alternativa de ciclo cerrado</i>	14
Figura 6 <i>Diseño conceptual de alternativa de ciclo abierto</i>	15
Figura 7 <i>Calentador eléctrico de cartucho de 250W</i>	21
Figura 8 <i>Interfaz de inicio de toma de mediciones</i>	24
Figura 9 <i>Programa de LabVIEW</i>	25
Figura 10 <i>Renderizado de diseño inicial del banco de pruebas</i>	25
Figura 11 <i>Diagrama de transferencia de calor del banco de pruebas</i>	29
Figura 12 <i>Modelo de cilindro de cobre</i>	33
Figura 13 <i>Mallado de 92113 elementos del cilindro de cobre</i>	35
Figura 14 <i>Gráfica de Temperatura promedio en la cara superior del cilindro en función del tiempo experimentales y obtenidas mediante simulación numérica</i>	36
Figura 15 <i>Proceso de impresión de piezas en 3D</i>	41
Figura 16 <i>Campo de temperatura del cilindro con cartuchos en configuración lineal</i>	42
Figura 17 <i>Valores de temperatura en la zona de instalación de las termocuplas</i>	43
Figura 18 <i>Valores teóricos para simulación de cilindro de cobre</i>	44
Figura 19 <i>Distribución de temperatura en la cara superior del cilindro de cobre</i>	45
Figura 20 <i>Distribución de temperatura en el cuerpo del cilindro de cobre</i>	45
Figura 21 <i>Valor de potencia disipada por convección en la cara superior del cilindro de cobre</i>	46
Figura 22 <i>Valor de potencia disipada por convección en la cara superior del calentador eléctrico de cartucho</i>	47
Figura 23 <i>Distribución de calor en la cara superior</i>	47
Figura 24 <i>Flujo de calor en la zona de instalación de las termocuplas dentro del cilindro de cobre</i>	48
Figura 25 <i>Corte del cilindro de cobre</i>	49
Figura 26 <i>Mecanización de perforaciones para instalación de termocuplas</i>	50
Figura 27 <i>Proceso de refrentado en torno convencional</i>	51
Figura 28 <i>Resultado de piezas mecanizadas</i>	51
Figura 29 <i>Soporte para la base de madera</i>	52

Figura 30 <i>Soporte de piezas de impresión 3D</i>	52
Figura 31 <i>Estructura principal con cilindro de cobre y bloque de refrigeración líquida integrado</i>	53
Figura 32 <i>Banco de pruebas final para evaluación de disipadores de calor con refrigeración líquida</i>	54
Figura 33 <i>Gráfica de datos experimentales de temperatura en función del tiempo comparados con resultados de la simulación numérica</i>	63
Figura 34 <i>Gráfica de errores entre los datos experimentales de temperatura y valores de la simulación numérica</i>	64
Figura 35 <i>Respuesta transitoria de la temperatura en las posiciones de instalación de las termocuplas (datos experimentales) comparados con los resultados de simulación numérica.</i> ..	65
Figura 36 <i>Distribución de temperatura a lo largo del eje de dirección de transferencia de calor en el cilindro de cobre comparando resultados experimentales, de simulación numérica, y teórica</i>	66

Índice de tablas

Tabla 1 <i>Parámetros de selección de las alternativas de diseño del banco de pruebas</i>	13
Tabla 2 <i>Rango de calificaciones</i>	15
Tabla 3 <i>Matriz de selección de alternativas</i>	16
Tabla 4 <i>Ventajas y desventajas de los instrumentos de medición de temperatura termoeléctrica</i>	17
Tabla 5 <i>Parámetros de selección con sus ponderaciones</i>	19
Tabla 6 <i>Rango de calificaciones</i>	19
Tabla 7 <i>Matriz de selección de los instrumentos de medición de temperatura</i>	20
Tabla 8 <i>Componentes usados para la parte de refrigeración</i>	22
Tabla 9 <i>Listado de partes y piezas del diseño preliminar del banco de pruebas</i>	26
Tabla 10 <i>Listado de partes y piezas del diseño final del banco de pruebas fabricado</i>	38
Tabla 11 <i>Tabla de costos de materiales y equipos requeridos del banco de pruebas</i>	55
Tabla 12 <i>Tabla de costos de fabricación y procesos de manufactura requeridos en el proyecto</i>	57
Tabla 13 <i>Tabla de costos reales de materiales y equipos del banco de pruebas</i>	58
Tabla 14 <i>Tabla de costos reales de fabricación y procesos de manufactura</i>	60
Tabla 15 <i>Tabla de comparación de costos totales</i>	61
Tabla 16 <i>Tabla comparativa del flujo de calor obtenido mediante simulación numérica y datos experimental con convección de aire libre</i>	64
Tabla 17 <i>Tabla comparativa del flujo de calor obtenido mediante simulación numérica, dato experimental, y valor teórico con convección forzada de agua</i>	66

ÍNDICE DE PLANOS

- PLANO 1 Plano de Conjunto Armado del Banco De Pruebas
- PLANO 2 Plano de Base
- PLANO 3 Plano de Soporte
- PLANO 4 Plano de Columnas
- PLANO 5 Plano de Cilindro
- PLANO 6 Plano detalle de secciones del Cilindro de Cobre

Capítulo 1

1.1 Introducción

Durante los últimos años, distintos dispositivos electrónicos y computadores han incrementado significativamente su capacidad de procesamiento debido al aumento de la densidad de transistores en los microprocesadores. Sin embargo, este avance implica un mayor consumo energético, lo que en consecuencia también genera un acrecentamiento en el flujo de calor. Las altas temperaturas sostenidas pueden provocar disminuciones en el rendimiento, afectando su estabilidad operativa y reduciendo la vida útil de los microprocesadores [1], [2].

Para contrarrestar estos efectos se han desarrollado distintos métodos de disipación de calor, entre los cuales, destacan la refrigeración por aire [3], la refrigeración por líquidos [4] y otras alternativas emergentes [5], [6] como la refrigeración por aspersion [7], [8], [9], la refrigeración por inmersión [10] [11], la refrigeración con nanofluidos [12], [13], [14], [15] y la refrigeración tipo “*Chip en laboratorio*” [16]. Entre estos enfoques, la refrigeración líquida ha demostrado ser una de las más eficientes en términos de costo, mantenimiento y desempeño térmico, motivo por el cual se ha consolidado como el método más empleado en aplicaciones de alto rendimiento computacional [4].

Bajo este contexto, el modelo de disipador de calor de refrigeración líquida con doble entrada y de chorros planos ha sido desarrollado para permitir el enfriamiento de unidades de procesamiento de computadora (CPU) reduciendo las resistencias térmicas. Estos resultados, han sido validados a través de simulaciones en Dinámica de Fluidos Computacional (CFD) [4]; no obstante, para comprobar experimentalmente el desempeño de este modelo, y de sus versiones futuras, es preciso llevar a cabo mediciones bajo controladas. Dichas pruebas consisten en simular distintos niveles de calor emitido por un microprocesador con el fin de registrar la variación en el flujo térmico.

La eficiencia de los disipadores de calor radica en un control de temperatura a estándares en los que los componentes pueden funcionar correctamente [17], evitando sobrecalentamientos.

Esto se puede contrastar con la temperatura interna del procesador en funcionamiento en presencia o no del disipador. Sin embargo, para un correcto análisis, el enfoque no se debe centrar en una sola medición de dicha variable física, sino en varias tomas que, acompañado de una estructura o soporte estable, faciliten la visualización de absorción de calor [1].

Los sensores directos de flujo de calor suelen ser intrusivos y pueden perturbar el flujo dentro de los microcanales, lo que limita su aplicabilidad. En contraste, el método de Conducción Inversa de Calor (IHC) permite estimar flujos de calor desconocidos en las fronteras a partir de mediciones de temperatura internas, resolviendo un problema inverso. [18], [19], [20]. Este enfoque indirecto y no intrusivo posibilita la reconstrucción del flujo de calor sin modificar el campo de flujo y resulta especialmente adecuado para la validación experimental de los flujos de calor en pared predichos mediante el programa de CFD.

Por tanto, el alcance de este proyecto consiste en la construcción de un banco de pruebas que permita medir el flujo de calor de manera continua, utilizando termocuplas, un equipo de adquisición de datos (DAQ) y LabVIEW, un programa de adquisición de datos.

1.2 Descripción del Problema

La continua miniaturización y el incremento de potencia en los dispositivos electrónicos han generado retos significativos en la gestión térmica. Los sistemas de enfriamiento por aire convencionales están alcanzando sus límites para manejar flujos de calor elevados, especialmente en aplicaciones como centros de datos, cómputo de alto rendimiento y electrónica de potencia. Entre las soluciones disponibles, el enfriamiento líquido con disipadores de calor basados en microcanales y chorros planos ha demostrado una capacidad superior de evacuación de calor [1], [4]. Sin embargo, la evaluación de este tipo de dispositivos requiere bancos de pruebas que reproduzcan condiciones de flujo de calor realistas y permitan obtener mediciones precisas de su desempeño térmico. Las técnicas de medición tradicionales presentan limitaciones para determinar de manera directa la distribución de flujo de calor en la superficie durante el

proceso de evacuación térmica, lo cual dificulta la validación de modelos computacionales y la optimización de diseños.

Por lo tanto, existe la necesidad de un banco de pruebas que permita la caracterización precisa del desempeño de los disipadores bajo condiciones controladas de flujo de calor constante, incorporando metodologías avanzadas como la de IHC [18], para estimar la distribución del flujo de calor en la interfaz y obtener una visión más detallada del comportamiento térmico.

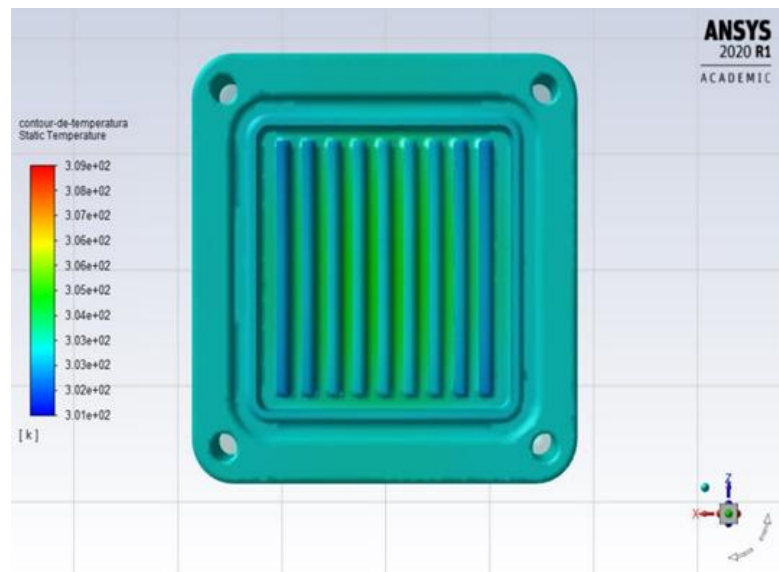
1.3 Justificación del Problema

Actualmente, la utilización de simulación computacional como CFD permite probar y hacer diseños preliminares de disipadores de calor por refrigeración líquida, además de predecir el comportamiento y la eficiencia de estos y la optimización de sus condiciones de operación.

El método utilizado fue presentado por los estudiantes de ingeniería mecánica de la Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL) como proyecto de grado en el año 2020, donde se muestra que un disipador puede llegar a extraer 54W de potencia con un coeficiente global de transferencia de calor teórico de $2,766.19 \frac{W}{m^2 \cdot K}$ al realizar la simulación de los perfiles de temperatura en el programa comercial de CFD, ANSYS Fluent (ver figura 1), y el valor experimental del coeficiente es de $439,990.53 \frac{W}{m^2 \cdot K}$, este valor se obtiene al montar el bloque de refrigeración líquida en un chasis de prueba donde se utiliza un microprocesador Intel Pentium G4560 (ver figura 2) [21].

Figura 1

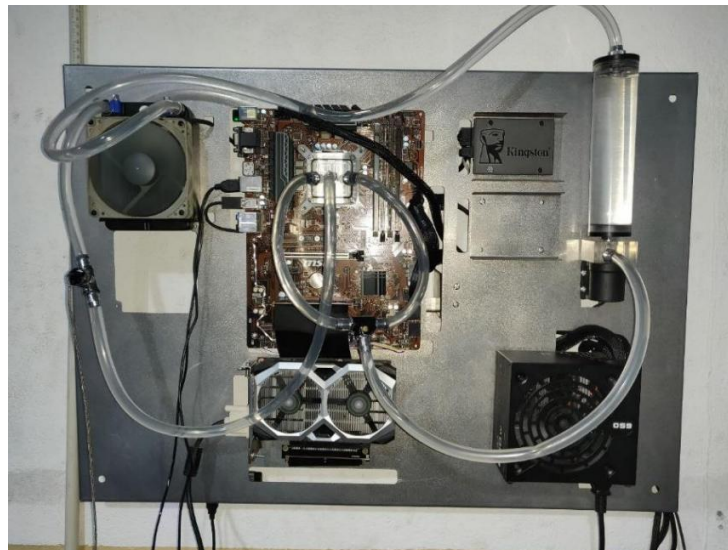
Cambio de temperatura del bloque de refrigeración (Vista Superior)



Nota. Figura obtenida de [21].

Figura 2

Computadora montada en un chasis de prueba



Nota. Figura obtenida de [21].

Estos métodos tienen una desventaja principal debido a que los datos obtenidos no pueden ser contrastados experimentalmente para distintos valores de flujo de temperatura, sino uno fijo dado por el propio calor generado de un microprocesador. Las pruebas experimentales dentro del campo de la ingeniería son de vital importancia, puesto que permiten recrear

escenarios más reales y simulan comportamientos más auténticos en entornos controlables, obteniendo datos muchos más confiables. El desarrollo de este banco de pruebas es crucial para poder garantizar un flujo de controlable, medible y comparable con buena uniformidad que permita evidenciar el desempeño real de los disipadores de calor a rangos variables de calor generado, utilizando como principio fundamental la metodología IHC, que permite la obtención de datos precisos en función de las características de transferencia térmica.

Este proyecto se relaciona con el objetivo de desarrollo sostenible (ODS) número 4 “Garantizar una educación inclusiva y equitativa de calidad y promover oportunidades de aprendizaje permanente para todos”, debido a que este banco de pruebas construido con materiales accesibles será utilizado también para fines educativos, de tal forma, que se permita a los estudiantes universitarios, realizar diversas prácticas en el mismo, como la oportunidad de evaluar térmicamente la conductividad térmica de distintos materiales.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

Realizar el diseño, construcción y puesta en marcha de un banco de pruebas para la evaluación del desempeño térmico de disipadores de calor con enfriamiento líquido bajo condiciones de flujo de calor constante utilizando la metodología de conducción inversa de calor.

1.4.2 Objetivos específicos

1. Realizar el diseño de un banco de pruebas que permita el análisis de las condiciones controladas de flujo de calor constante para la evaluación de disipadores con enfriamiento líquido.
2. Realizar la construcción y puesta en marcha del banco de pruebas, integrando el sistema de instrumentación para la medición de temperatura, control de flujo de fluido y adquisición de datos mediante un sistema de gestión por proceso.

3. Analizar los datos obtenidos para la determinación de la conducción inversa de calor en tiempo real (IHC).

1.5 Marco teórico

1.5.1. Método de Conducción de Calor Inverso

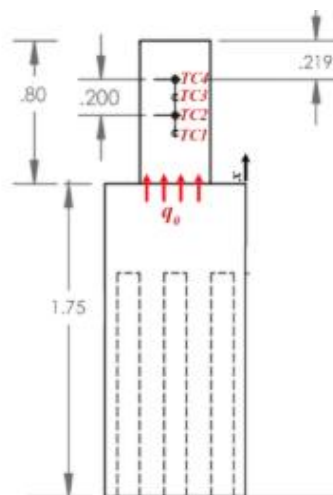
El flujo de calor de un cuerpo (\dot{q}) por medio de conducción en una dimensión se relaciona con la conductividad térmica del material (k), la diferencia de temperatura y posición mediante la ley de Fourier presentada en la ecuación 1:

$$\dot{q}_z = -k \frac{\Delta T}{\Delta z} \quad (1.1)$$

El método de conducción de calor inverso es un método que se basa en el cálculo del flujo de calor superficial de un cuerpo por medio de la adquisición de datos de temperatura desde posiciones interiores del cuerpo, en la figura 3 se muestra las posiciones donde deben ser instaladas las termocuplas para la experimentación:

Figura 3

Posición de termocuplas



Nota. Figura obtenida de [18].

Este método tiene una desventaja, debido a la adquisición de datos de temperatura a través de instrumentos de medición como termocuplas, da pie a errores de medición debido a la gran sensibilidad de estos. Por lo que es necesario aplicar una técnica secuencial computacional

que permita la adquisición de datos de temperatura en casi tiempo real sin grandes errores de medición. Muchos tipos de soluciones, como los métodos de dominio de tiempo completo convencionales, en los cuales se puede nombrar la Regularización de Tikhonov (RT) podrían ser usados. Estos métodos usan los datos de temperatura de todo el proceso de experimentación, mas no permiten el monitoreo térmico. Pero, si se usa una solución como los métodos secuenciales, de los que se destaca el filtro basado en RT, este problema desaparece, porque estos usan los datos de temperatura de un número limitado de pasos futuros para facilitar el control térmico arrojando la lectura cercana al tiempo real.

Para un dominio basado en una dimensión con dos sensores que están introducidos dentro del cuerpo a estudiar, en una posición $z = z_1$ y $z = z_2$, las temperaturas pueden ser definidas como:

$$T(z_1, t) = Y(T)$$

$$T(z_2, t) = Y(T)$$

$$T(z, 0) = T_i$$

Por lo que, para estimar el flujo de calor por conducción mediante la ley de Fourier en tiempo casi real, se muestra en la siguiente ecuación:

$$\ddot{q}_z(t) = -k * \frac{\partial T}{\partial z}(0, t) \quad (1.2)$$

1.5.2. Termocuplas o termopares

La termometría es la ciencia encargada de la medición de la temperatura de cuerpos o sistemas [22]. Para este fin, se utiliza un termómetro, que, teniendo una escala establecida entre el punto triple del agua, temperatura a la que coexisten en equilibrio los tres estados de la materia (0 °C) y el punto de ebullición del agua (100°C), permite realizar mediciones basadas en la propiedad de dilatación térmica de los cuerpos con el calor. Sin embargo, para mediciones continuas e integrado al DAQ, conviene entrar al grupo de medición de temperatura termoeléctrica.

Teniendo en cuenta esto, el instituto Nacional de Estándares y Tecnología (NIST) proporciona especificaciones y combinaciones de los materiales para la construcción de circuitos termopares, designados con una letra que sirve de información para el rango de temperatura, la aplicación y el nivel de incertidumbre deseado [22]. Entre ellos los más comunes son los tipos K (-200 a +1372 °C), J (-200 a +1200 °C) y T (-200 a +400 °C) [23], por su versatilidad de aplicaciones en la industria y los rangos de trabajo a condiciones no tan extremas.

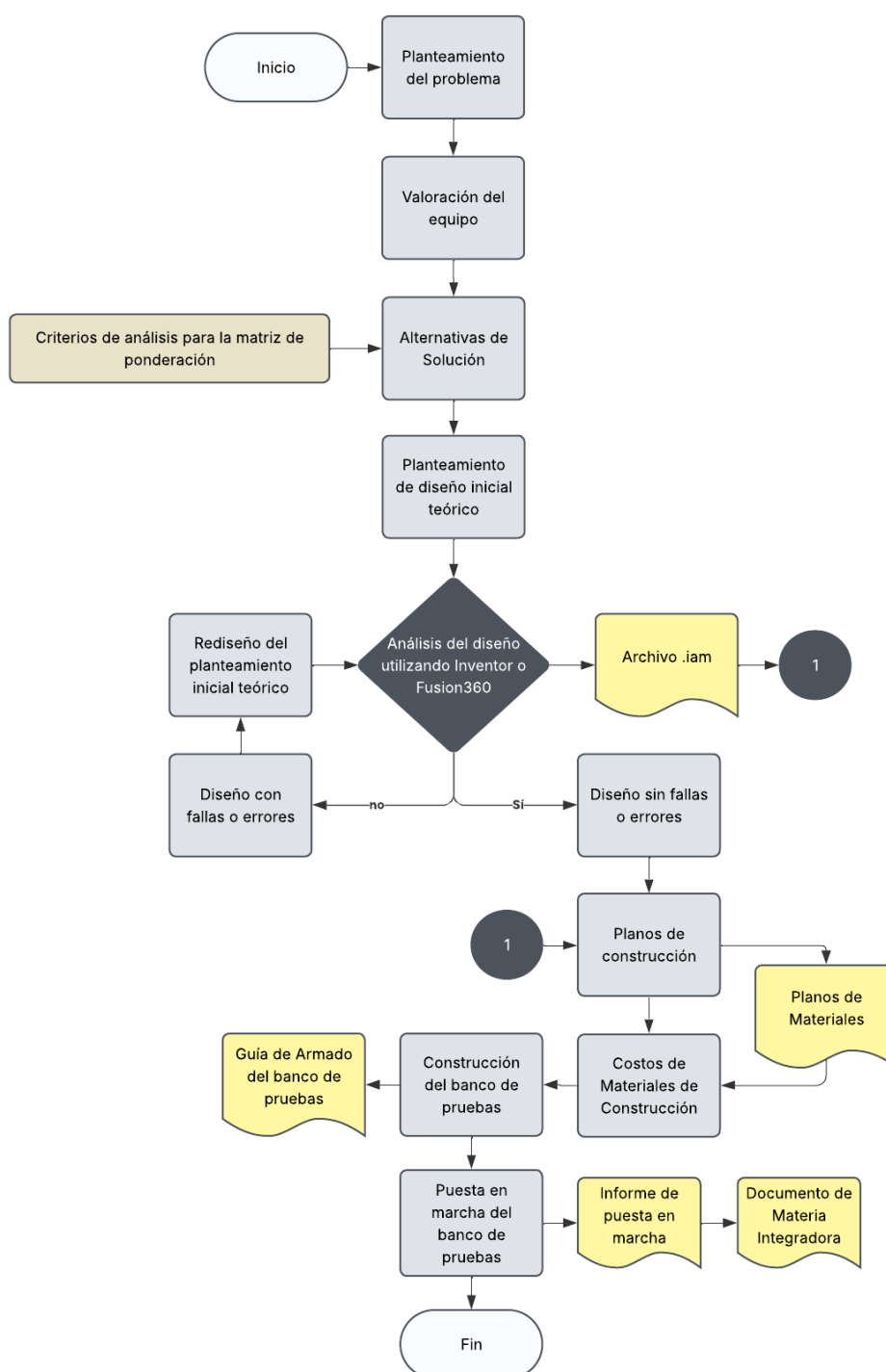
Capítulo 2

2. Metodología.

Fue necesario realizar el diagrama metodológico, que permita establecer los pasos para llevar a cabo el desarrollo de nuestro proyecto. Este diagrama se presenta en la figura 4.

Figura 4

Diagrama de flujo de metodología del diseño de banco de pruebas



2.1 Criterios de análisis para la matriz de ponderación

El banco de pruebas fue ideado con 4 módulos principales en los que se basaría cualquier alternativa planteada, el primero es un módulo de calentamiento, el segundo es el módulo de enfriamiento, el tercero es el módulo hidráulico y el último el módulo de adquisición de datos. Esto permitió enfocarnos en ciertos diseños posibles para cada módulo y así se aprovechó recursos como el espacio disponible para una base.

- **Ligero:** Que permita al usuario poder desplazarlo sin la restricción de ser muy pesado.
- **Transportable:** Que cuente con agarraderas o ruedas que permita la movilización del banco de pruebas.
- **Factibilidad de cambio de pieza:** Que sea factible el poder desarmar y rearmar las piezas, para así garantizar un mantenimiento más sencillo si fuese necesario.
- **Económico:** Que su valor monetario no supere el presupuesto destinado para este proyecto.
- **Seguridad:** Que no se comprometa la integridad física de los usuarios (piezas calefactoras, descargas eléctricas).

Mencionados los criterios, se definió la ponderación respectiva, esto en base a los requisitos dados por el cliente, como parámetro más importante para el desarrollo del diseño del banco de pruebas es su costo económico, debido a que se busca reutilizar la mayoría de componentes existentes en el Centro de Investigación y desarrollo en nanotecnología (CIDNA) en la ESPOL, los parámetros ligero, factibilidad del cambio de piezas y seguridad son de igual de importantes para el desarrollo del banco de pruebas, y la característica transportable tiene la menor ponderación debido a que si bien, sería interesante la capacidad de transportar un banco de pruebas, no es de vital importancia

para el desarrollo de la actividad dentro del mismo. Para que se visualice de forma numérica la importancia de cada una de estas, la ponderación es detallada en la tabla 1.

Tabla 1

Parámetros de selección de las alternativas de diseño del banco de pruebas

Parámetro	Ponderación
Ligero	0.2
Transportable	0.1
Factibilidad de cambio de piezas	0.2
Seguridad	0.2
Económico	0.3

2.2 Alternativas propuestas

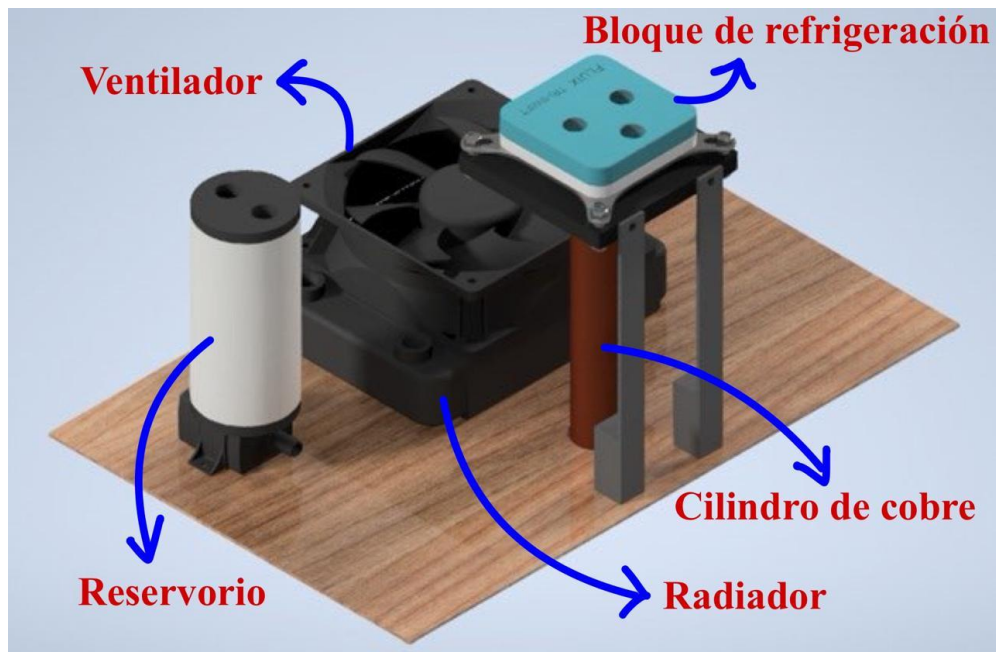
Las alternativas establecidas para el análisis de diseño son 2. A: Ciclo cerrado, B: Ciclo abierto.

a) Ciclo Cerrado

Se considera el sistema hidráulico y de enfriamiento como un sistema cerrado, donde el agua se recircula constantemente mediante una bomba por todo el circuito, hasta extraer el calor y luego enfriarlo mediante radiadores y ventiladores como se muestra en la figura 5.

Figura 5

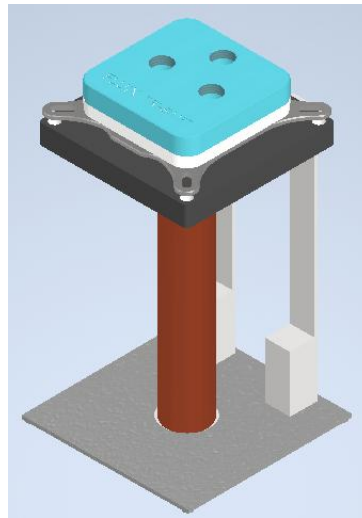
Diseño conceptual de alternativa de ciclo cerrado



Nota. El bloque de refrigeración está instalado sobre un soporte de color negro, que permite insertar 4 pernos y darle estabilidad al mismo. Todo está montado sobre una base de madera.

b) Ciclo Abierto

La siguiente alternativa llamada ciclo abierto, no cuenta con estos elementos, debido a que el agua una vez ingresada, llega hasta el disipador de calor y se circula hasta un extremo abierto de tubería donde será evacuada, tal como se muestra en la figura 6.

Figura 6*Diseño conceptual de alternativa de ciclo abierto*

Para elegir la alternativa adecuada, se realizó una matriz de ponderación en función de los criterios establecidos en el literal anterior.

2.3 Matriz de selección de alternativas

La calificación de cada una de las alternativas en función de los parámetros antes establecidos se realizó mediante una escala de 1-5 utilizando la referencia literaria establecida por Espinoza [21], detallada en la tabla 2. Además, se presenta en la tabla 3, la matriz de decisión de las alternativas propuestas.

Tabla 2*Rango de calificaciones*

Calificación	Valor
Muy Buena	5
Buena	4
Regular	3
Mala	2
Muy Mala	1

Tabla 3*Matriz de selección de alternativas*

Parámetros	Ponderación	Alternativas			
		Ciclo Abierto		Ciclo Cerrado	
		Valor	Puntaje	Valor	Puntaje
Ligero	0.2	4	0.8	3	0.6
Transportable	0.1	4	0.4	5	0.5
Factibilidad de cambio de piezas	0.2	5	1	4	0.8
Seguridad	0.2	5	1	5	1
Económico	0.3	5	1.5	3	0.9
Resultado	1		4.7		3.8

Se seleccionó la mejor alternativa de ciclo abierto en base a los parámetros establecidos en la sección 2.1 y la calificación obtenida en la tabla 3 de 4.7/5.

2.4 Selección de los instrumentos de medición

Para el presente proyecto se necesitó controlar la variable física de temperatura. Como las mediciones se realizaron de forma continua, se requirió de un método termoelectrónico, que dé una respuesta de voltaje para ser interpretada por un DAQ. La selección se basó en la valoración de ventajas y desventajas de cada instrumento como se muestra en la tabla 4.

Tabla 4*Ventajas y desventajas de los instrumentos de medición de temperatura termoeléctrica*

Instrumento	Ventajas	Desventajas
Detectores de temperatura por resistencia	-A temperaturas bajas son bien precisos -Producen una señal lineal	-Tienden a presentar fallas en ambientes corrosivos
Termopares	-Convierte una señal de voltaje a una medida de temperatura -Existen diversos tipos para determinada aplicación y de distintos tamaños	-Requiere una instalación minuciosa para que la junta exterior no toque otras superficies que alteren el valor medido
Termistores	-Altamente precisos -Ayudan a reducir la energía consumida en dispositivos electrónicos	-Pueden tener respuesta no lineal -Propensos a la corrosión
Termómetro	-No usan energía eléctrica para funcionar -Muy intuitivo	-No es muy versátil -Su escala graduada lo convierte en poco preciso

Dispositivo bimetálico	-No usan energía eléctrica para funcionar	-En la mayoría de las aplicaciones su lectura es
	-Pueden medir un gran rango de temperaturas de acuerdo con los metales usados en su construcción	análoga
		-Poco preciso a
		temperaturas bajas

2.5 Matriz de selección de instrumento de medición de temperatura

Para consideración de los distintos métodos de medición de temperatura, se estableció el grupo de alternativas que tuvieran de salida una tensión o que, en su defecto, puedan ser usados en dispositivos electrónicos que transformen la señal medida en una eléctrica. De esta manera se escogieron las siguientes características para la selección de la mejor alternativa:

- **Precisión:** Se buscó un instrumento al que no le afecte de forma significativa factores ambientales o externos.
- **Rango:** Se buscó un instrumento que permita medir la temperatura entre 25° a 100°C.
- **Versatilidad:** Se buscó un instrumento que pueda adaptarse al espacio sin generar obstrucción.
- **Disponibilidad:** Se buscó un instrumento presente en el CIDNA.

Mencionadas las características, se definió los siguientes parámetros de selección con las respectivas ponderaciones de importancia detalladas en la tabla 5.

Tabla 5*Parámetros de selección con sus ponderaciones*

Parámetro	Ponderación
Precisión	0.5
Rango	0.1
Versatilidad	0.2
Disponibilidad	0.2

Se otorgó una mayor ponderación a la precisión porque se requiere que las mediciones tengan bajos porcentajes de error. Por otro lado, se consideró que los parámetros de versatilidad y disponibilidad tengan igual valor dado que vienen relacionadas a la facilidad de construcción del banco de pruebas. Finalmente, el rango fue el menos importante porque la mayoría de los instrumentos operan entre los valores definidos.

La calificación que se dio a cada instrumento respecto a los parámetros de selección se relaciona con una escala de 1-5 como se detalla en la tabla 6.

Tabla 6*Rango de calificaciones*

Calificación	Valor
Muy Buena	5
Buena	4
Regular	3
Mala	2
Muy Mala	1

A continuación, en la tabla 7; se muestra la selección del instrumento de medición de temperatura de acuerdo con los valores otorgados a cada parámetro.

Tabla 7

Matriz de selección de los instrumentos de medición de temperatura

Parámetros	Ponderación	Alternativas									
		Detector de temperatura por resistencia		Termopares		Termistores		Termómetro		Dispositivo bimetalico	
		Valor	Puntaje	Valor	Puntaje	Valor	Puntaje	Valor	Puntaje	Valor	Puntaje
Precisión	0.5	4	2	4	2	2	1	2	1	2	1
Rango	0.1	4	0.4	5	0.5	4	0.4	4	0.4	4	0.4
Versatilidad	0.2	2	0.4	5	1	2	0.4	2	0.4	2	0.4
Disponibilidad	0.2	1	0.2	5	1	3	0.6	5	1	1	0.2
Resultado	1	3		4.5		2.4		2.8		2	

Se seleccionó la medición de temperatura termoeléctrica o más específicamente, los termopares. Por cuestiones de disponibilidad del CIDNA, se trabajó con termocuplas tipo K, modelo que cumple los rangos de operación del sistema y es apto para condiciones de trabajo en ambientes corrosivos.

2.6 Selección componentes para el banco de pruebas

Para el banco de pruebas se usaron los siguientes componentes en la parte de calentamiento

- Cilindro de cobre de 1 pulgada de diámetro
- Calentador eléctrico de cartucho

Esto en base al diseño óptimo para el proceso de IHC tal como se plantea en el texto bibliográfico presentado por Najafi [18].

En el texto bibliográfico, se plantea un cartucho calefactor eléctrico cilíndrico que actúa como una fuente volumétrica de calor controlada, generando una potencia térmica constante que se conduce hacia arriba a través del cuerpo de cobre hasta la superficie transversal superior. Esta superficie se encuentra en contacto directo con una placa difusora de cobre, la cual interactúa con el disipador de calor refrigerado por líquido de doble entrada. Esta configuración permite definir de forma adecuada las condiciones de frontera en la base del disipador, evitando al mismo tiempo la intrusión directa en el campo de flujo.

En base a esto, se diseñó el sistema para llegar a 3 rangos de potencia diferentes, 250W, 500W y 750W, esto por ser las potencias que llegan procesadores comunes como el Intel Core I9 que en su portal oficial indica un poder térmico de diseño (TDP) de 253W, y otros procesadores o componentes electrónicos pueden llegar a niveles más altos de TDP. En la figura 7 se presenta la imagen de la resistencia eléctrica de 250W y de 120V seleccionada.

Figura 7

Calentador eléctrico de cartucho de 250W

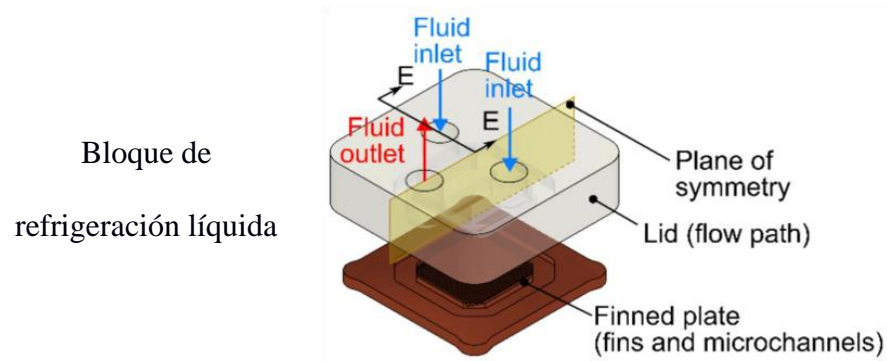


Nota. Resistencia cilíndrica de 250W y 120V, de acero inoxidable 304 con diámetro de 6mm y una longitud de 150mm. Imagen obtenida de <https://a.co/d/c5U3ilM>

En la parte de refrigeración, los sistemas según el estándar usan roscas Whitworth o G, generalmente con sistemas de un cuarto de pulgada (1/4”), por lo que se adoptó este modelo. Los elementos utilizados son establecidos en la tabla 8. Es necesario indicar que todos se encuentran en el CIDNA.

Tabla 8*Componentes usados para la parte de refrigeración*

Componente	Imagen
Tubería blanda de 3/8”	
Boquillas para tubería blanda: XSPC G1/4” to 3/8 y accesorios	



Reservorio de agua graduada



Como el proceso es de ciclo abierto, se estableció que el reservorio utilizado tenga una capacidad mayor a 2 litros para evitar derrames de agua o retrasos al querer realizar más pruebas de mediciones de temperatura.

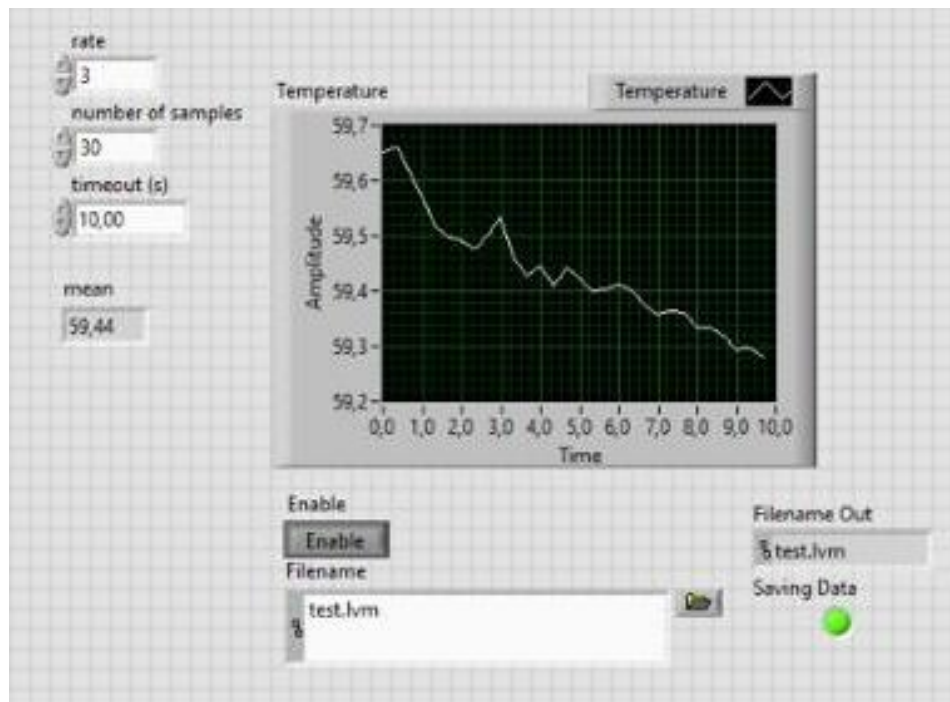
2.7 Utilización del programa LabVIEW

Para el proceso de adquisición de datos desde los instrumentos de medición de temperatura previamente seleccionado en la parte 2.1, se utilizó el programa LabVIEW, que permite determinar los valores de temperatura en una tasa de 3hz, para luego obtener un archivo en formato de Excel, que registre todos los datos de temperatura en el periodo de tiempo que dure la prueba, en este caso inicial, planteado en un tiempo de 10 segundos. En la figura 8, se muestra la interfaz que se desarrolló para iniciar la toma de

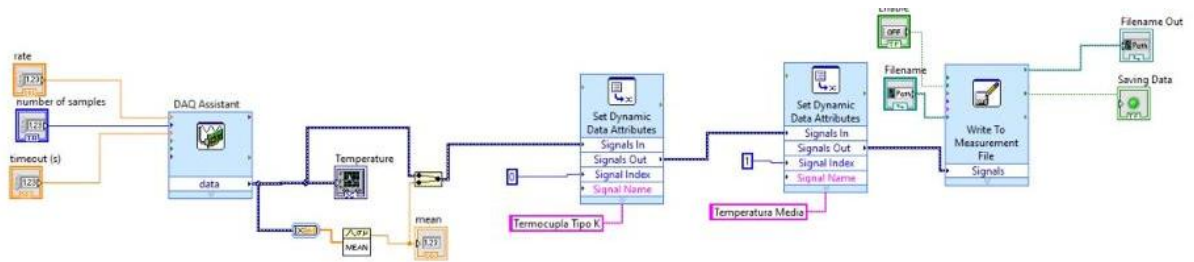
mediciones, detallando secciones para la tasa, el número de mediciones y el tiempo en que se realizan. Asimismo, se refleja la gráfica del comportamiento de los valores de temperatura obtenidos con el paso del tiempo y un icono que permitió guardar los datos en un documento Excel.

Figura 8

Interfaz de inicio de toma de mediciones



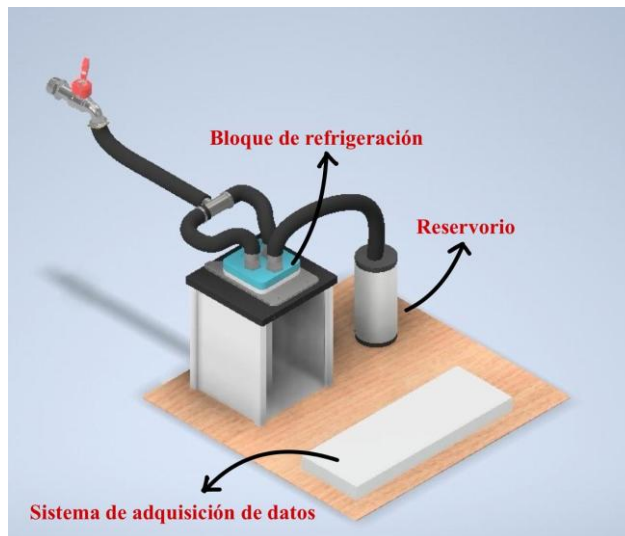
Por otro lado, en la figura 9, se muestra el diagrama de bloques elaborado. Allí se organizó el flujo de adquisición para que las mediciones obtenidas por el DAQ fueran procesadas, promediadas y etiquetadas adecuadamente antes de almacenarse. De esta manera, se garantizó que cada lectura siga un orden lógico desde la captura del dato hasta su registro final.

Figura 9*Programa de LabVIEW*

2.8 Diseño Inicial de banco de pruebas

2.8.1 Diseño Inicial

El diseño inicial para la futura construcción del banco de pruebas, en base a la alternativa de ciclo abierta seleccionada en la sección 2.2, se muestra en la figura 10.

Figura 10*Renderizado de diseño inicial del banco de pruebas*


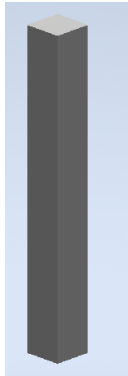

Nota. Cada uno de los componentes usados en este diseño se presentan detalladamente en la tabla 8, a excepción del DAQ, que, para facilidades de diseño, se lo ha presentado como un bloque rectangular gris, el cual permite observar sus dimensiones y su espacio ocupado sobre la base de madera.

2.8.2 Piezas y materiales para construcción del banco de pruebas

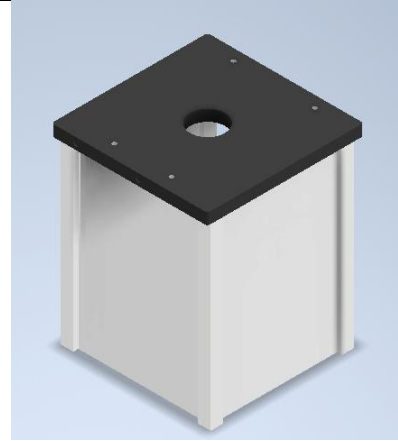
Las piezas utilizadas, junto con sus materiales, para el diseño inicial del banco de pruebas mostrado en la figura 10, se encuentran detallados en la tabla 8.

Tabla 9

Listado de partes y piezas del diseño preliminar del banco de pruebas

Cantidad	Partes	Descripción	Ilustración
1	Base	Madera	
4	Columna	Ácido Poliláctico (PLA)	
1	Cilindro De cobre	Cobre C110	

1 Soporte
Policloruro De
Vinilo
(PLA)

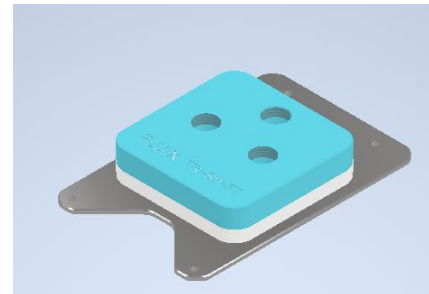


1 Tubería
PVC (Cloruro
de Polivinilo)



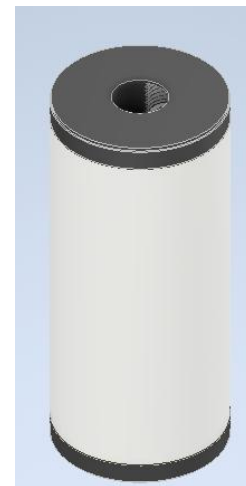
1 Bloque de
refrigeración
líquida “Doble
entrada para
procesador AMD
TR4”

Materiales
detallados en
[1]



1 Reservorio abierto
de agua

No aplica



1	DAQ (cDAQ-9172)	No aplica	
4	NF EN ISO 4015 - M4x20	Pernos de cabeza hexagonal.	
4	DIN EN 24 036 - M4	Tuercas hexagonales estrechas.	
8	ANSI B18.6.4 - 4- 24 - 0,25, SRIHHTSTBI(3)	Tornillo autorroscante de cabeza hexagonal	

Nota: los componentes del diseño final fabricado se encuentran detallados en la Tabla 10.

Los elementos a fabricar mediante procesos de impresión 3D o mecanización, cuentan con sus planos de fabricación mostrados en el apéndice A.

2.8.3 Análisis teórico de transferencia de calor

En base a este diseño inicial, se pudo la conducción del calor del cilindro de cobre, así como sus pérdidas de calor de forma radial. Todas las propiedades de transferencia de calor, y conductividad de las materias se basan en la literatura del libro Fundamentos de Transferencia de Calor, de Frank Incropera [21].

Se parte conociendo la capacidad calorífica que tienen el cartucho instalado en el interior del cilindro de cobre tal como se muestra en la ecuación 2.1.

$$Q_{el} = 250W \quad (2.1)$$

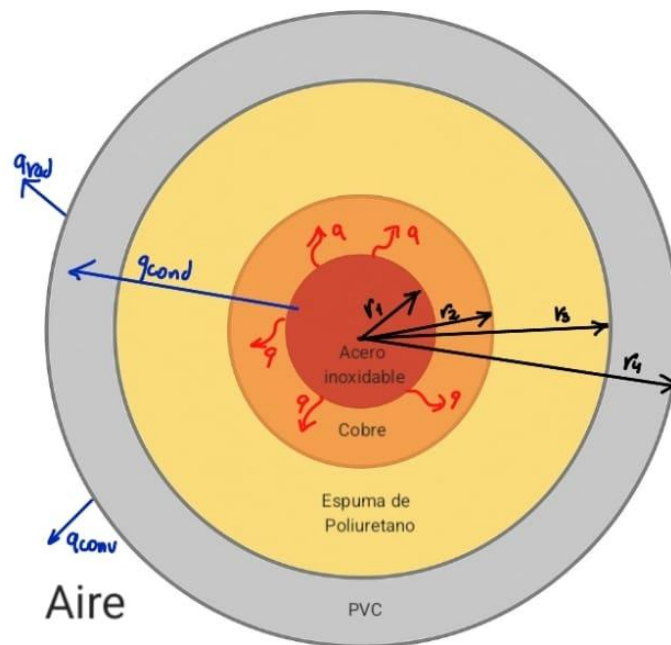
Dado a que se busca estimar la conducción en una dimensión, para un valor de estado estable y reemplazando el valor de k para el cobre, usando la fórmula 1.1 se puede obtener la ecuación 2.2.

$$\Delta T = -\frac{Q_{el}}{400 * A} * \Delta x \quad (2.2)$$

Este calor generado que teóricamente se estableció como conducción axial en 1 dimensión, va a perderse a través de las paredes del cilindro de cobre, por medio de conducción hacia los distintos materiales, y por convección y radiación al aire, tal como se muestra en la figura 11.

Figura 11

Diagrama de transferencia de calor del banco de pruebas



Por este motivo, se debe considerar los siguientes supuestos con los que se trabajará durante todo el análisis de pérdidas de calor.

- Régimen permanente (estado estacionario).
- Las pérdidas de calor por conducción serán consideradas de forma radial.
- Contacto perfecto entre cartuchos y cobre.
- Propiedades térmicas constantes.
- No se consideran pérdidas por el extremo inferior (solo pérdidas radiales).

2.8.3.1 Conducción. El calor generado por los cartuchos será transmitido por medio de conducción de calor alrededor de una distancia equivalente, denominado radio equivalente, mostrado por la ecuación (2.3).

$$3 * \pi(r_{cartucho})^2 = \pi(r_{eq})^2$$

$$r_{eq} = r_{cartucho}\sqrt{3} \quad (2.3)$$

La conducción por la que se transmite el calor será asumida de forma radial. El contacto entre las distintas superficies genera una resistencia (R) a la conducción de calor, dichas resistencias, dependen de la geometría del objeto, de la longitud (L), del radio interno (r_{int}) y externo del cilindro (r_{ext}). Además, se relacionan con el material mediante la conductividad térmica de los mismos (k). Para el cobre, el poliuretano, y el tubo de PVC, sus resistencias se muestran en la ecuación 2.4, 2.5 y 2.6 respectivamente.

$$R_{Cu} = \frac{\ln\left(\frac{r_{ext}}{r_{int}}\right)}{2\pi k_{Cu}L} \quad (2.4)$$

$$R_{PU} = \frac{\ln\left(\frac{r_{ext}}{r_{int}}\right)}{2\pi k_{PU}L} \quad (2.5)$$

$$R_{PVC} = \frac{\ln\left(\frac{r_{ext}}{r_{int}}\right)}{2\pi k_{PVC}L} \quad (2.6)$$

Luego cada una de las resistencias serán sumadas para obtener una resistencia total denominada $R_{cond,tot}$, mostrada en la ecuación 2.7.

$$R_{cond,tot} = R_{Cu} + R_{PU} + R_{PVC} \quad (2.7)$$

2.8.3.2 Convección. La convección se produce en la frontera del tubo de PVC, donde el calor va a ser transmitido hacia el exterior (Q_{conv}) tal como se muestra en la ecuación 2.7. Se relaciona con el área en contacto

con el fluido, en este caso el aire exterior, A_{ext} , la temperatura de la superficie, (T_s) la temperatura del ambiente (T_∞) y el coeficiente de convección del aire (h_{conv}) .

$$Q_{conv} = h_{conv}A_{ext}(T_s - T_\infty) \quad (2.8)$$

2.8.3.3 Radiación. La radiación se produce por la diferencia de temperatura de la superficie y el ambiente, en toda la superficie del cilindro. Se relaciona con el material a través de la emisividad (ε) y la constante de Stefan-Boltzmann (σ) . De esta forma se puede obtener el calor por radiación (Q_{rad}) , y el coeficiente de radiación (h_{rad}) , mostrados en la ecuación 2.9 y 2.10 respectivamente.

$$Q_{rad} = \varepsilon\sigma A_{ext}((T_s)^4 - (T_\infty)^4) \quad (2.9)$$

$$h_{rad} = \varepsilon\sigma(T_s + T_\infty)((T_s)^2 + (T_\infty)^2) \quad (2.10)$$

Con la resistencia de conducción total y los coeficientes de convección y radiación, se puede obtener el coeficiente de transferencia global (U) mostrados en la ecuación 2.11.

$$\frac{1}{UA} = \frac{1}{h_{conv}A} + \frac{1}{h_{rad}A} + R_{cond,tot} \quad (2.11)$$

2.9 Metodología de Construcción

Mientras que ciertas partes y componentes se adquirieron (como el cartucho calefactor mostrado en la figura 7) y otras ya se encuentran a disposición, como los

mostrados en la tabla 8 y las termocuplas tipo K (mostradas en la tabla 10), ciertas partes deben de fabricadas para construir el banco de prueba. Entre estos podemos nombrar a:

- Base de Madera
- Soporte de ABS con sus columnas y paredes
- Cilindro de cobre
- Tubería PVC

La base de madera, que inicialmente será de 35x35cm y de un espesor de 15mm, será adecuado las necesidades de diseño cortándolo con serruchos, además las perforaciones en el mismo serán realizadas con taladros y brocas, para el agujero que permitirá al cilindro encajar en el mismo, será realizado con brocas tipos paletas.

El soporte, que permite la instalación del bloque disipador de calor, será impreso en impresoras 3D utilizando filamento de ABS, así mismo como los 4 pilares que serán insertados en ese soporte y en la base de madera. Las paredes del soporte serán realizadas con acrílicos y cortados a medida, para ser insertadas entre los pilares. Las perforaciones de este soporte serán realizadas con brocas adecuadas en taladros de pedestal o con taladros manuales.

El cilindro de cobre, que será adquirido, necesita ser mecanizado para darle las medidas necesarias y buscadas, para esto se utilizará un torno, de preferencia de control numérico computacional (CNC), y brocas de 6mm y de 150mm de longitud, para realizar las perforaciones donde se instalaran los cartuchos. Las perforaciones para la instalación de las termocuplas tipo K serán realizadas con taladro y brocas adecuadas.

La tubería PVC, es una parte fundamental para evitar la disipación de calor hacia los exteriores del cilindro de cobre, por esta razón se adquirirá una tubería de PVC de media pulgada y cédula 40, cortada con sierras de mano para adecuarlas a las medidas

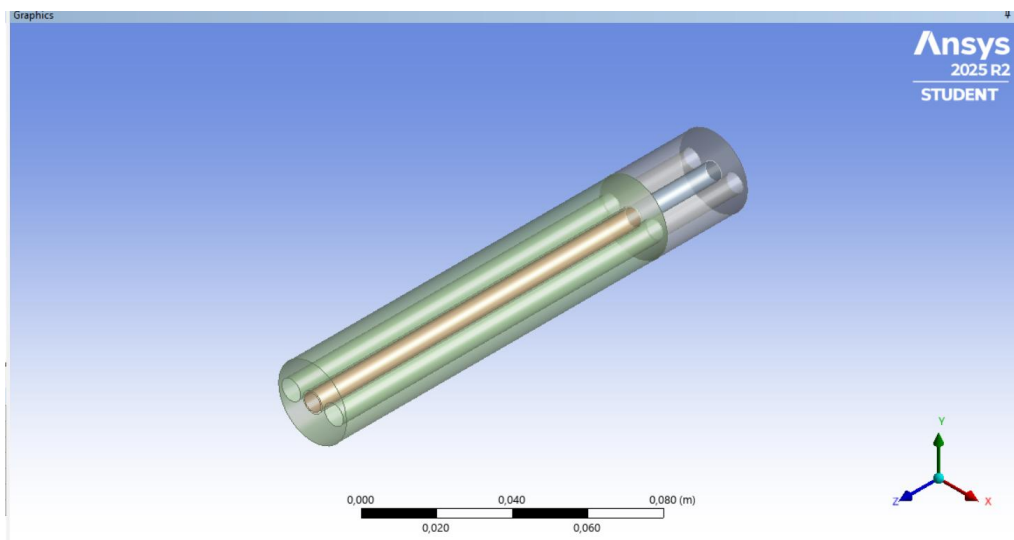
deseadas. Entre el radio interno de la tubería y el radio externo del cilindro de cobre, se dispondrá con la colocación de espuma de poliuretano que servirá de recubrimiento térmico para evitar pérdidas de calor.

2.10 Metodología de simulación

Las simulaciones numéricas del conjunto del bloque calefactor se realizaron utilizando ANSYS Mechanical (en ANSYS 2025R2), con el objetivo de respaldar el diseño experimental y definir las condiciones de frontera necesarias para el análisis mediante la Conducción Inversa de Calor (IHC). La generación precisa de la malla fue fundamental para garantizar predicciones de temperatura confiables en las regiones de interés, particularmente cerca de la interfaz superior y de las ubicaciones de medición de las termocuplas. Primero se comienza utilizando la herramienta de Calor Transiente, y realizando el diseño del cilindro de cobre en ANSYS Designer Modeler como se muestra en la figura 12.

Figura 12

Modelo de cilindro de cobre



Nota. Se observa de colores distintos el cilindro de cobre, como el cartucho calefactor insertado dentro de él (color anaranjado), además se muestra de color verde la región donde no hay

contacto entre estos dos elementos y la parte gris representa el contacto directo entre el cilindro de cobre y el cartucho.

Posterior a esto, se procedió en ANSYS Mechanical a realizar la simulación del cilindro de cobre. Para la simulación, lo indispensable, es garantizar resultados correctos y fiables, se debe realizar un buen mallado. El mallado se realizó considerando las zonas más importantes de evaluación como es la cara superior donde se instalará el bloque de refrigeración y en la zona donde se instalarán las termocuplas. Con un mallado simple con elementos lineales, un mallado centrado en la cara superficial e inflación en la cara superior, con el fin de mejorar la resolución de los gradientes de temperatura cercanos a la superficie.

Luego, se llevó a cabo un estudio de independencia de malla mediante la variación del número total de elementos para evaluar la sensibilidad de la solución. Se analizaron mallas con 7 324; 14 321; 36 986; 57 646; 72 137 y 92 113 elementos. En la figura 13 se observa la malla de 92 113 elementos antes descrita. Los números de elementos decrecen hasta poder garantizar una malla independiente tal como fue determinado también para el dissipador de calor en el estudio de Garzón et al. [4].

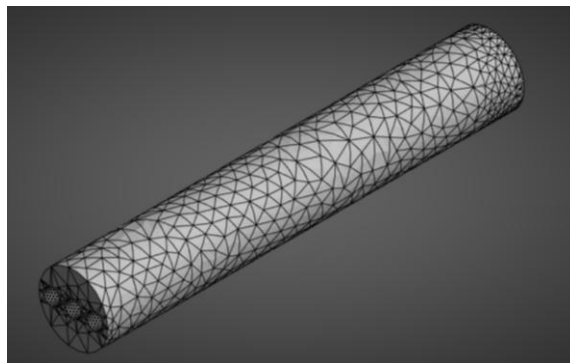
Como métrica de comparación se utilizó la temperatura predicha en la superficie superior del bloque calefactor. Los resultados indican que la malla más gruesa (7 324 elementos) presenta una desviación aproximada del 2 % respecto a la malla más fina (92 113 elementos). En contraste, la malla con 57 646 elementos muestra una desviación de solo 0,75 %, mientras que refinamientos adicionales producen cambios despreciables. Con base en estos resultados, se determinó que la independencia de malla se alcanza para mallas con 72 137 elementos o más. En la figura 14 se muestra la convergencia de la

temperatura de la superficie superior en función del tiempo para las diferentes densidades de malla, confirmando un comportamiento independiente de la malla.

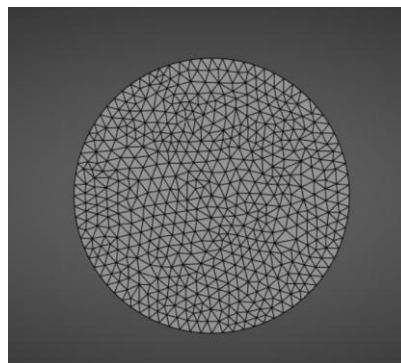
Estos resultados se obtuvieron utilizando un procesador de cuatro núcleos Intel Core I7 a 3.40Ghz y un tiempo de simulación de 10 minutos para garantizar medidas del proceso de simulación durante el estado estable y transiente.

Figura 13

Mallado de 92113 elementos del cilindro de cobre



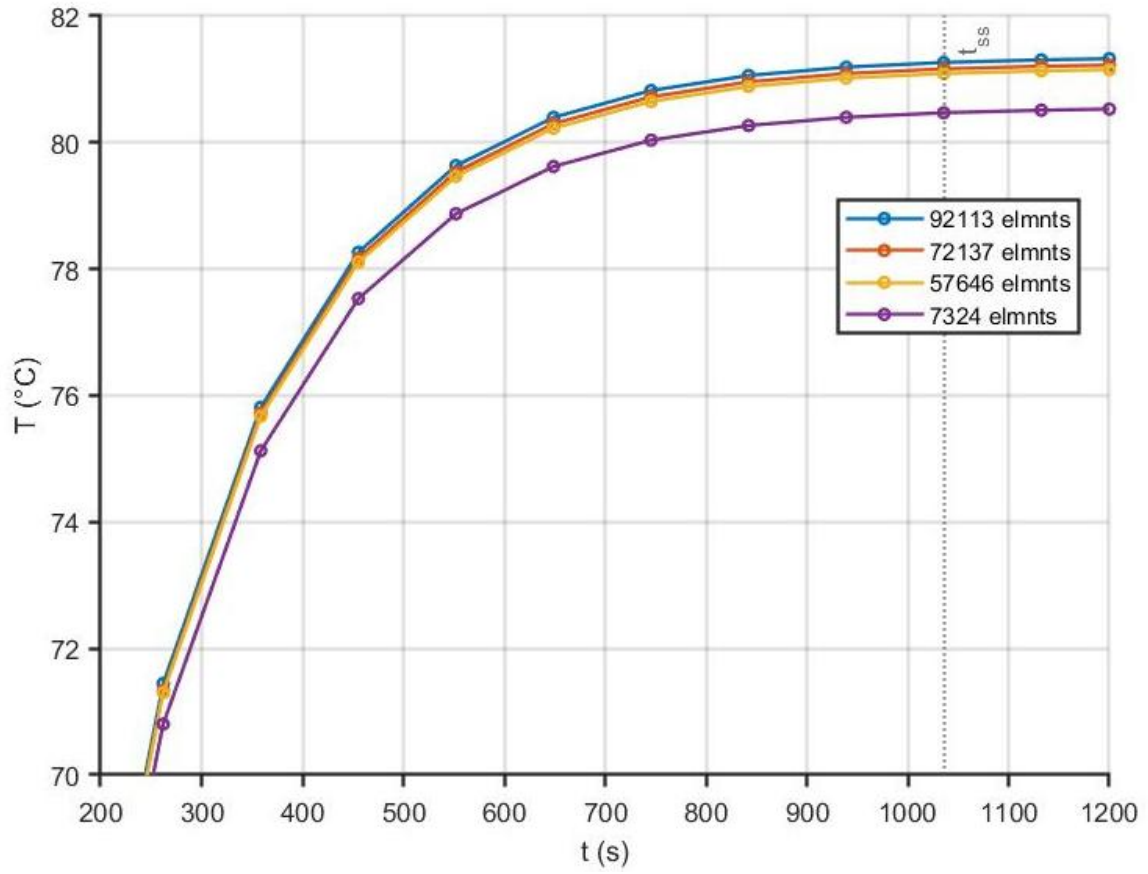
A. Mallado de la superficie lateral del cilindro de cobre



B. Mallado de la cara superior del cilindro de cobre

Figura 14

Gráfica de Temperatura promedio en la cara superior del cilindro en función del tiempo experimentales y obtenidas mediante simulación numérica



Capítulo 3

3. Resultados y análisis


Esta sección presenta el diseño final, como la construcción detallada del banco de pruebas, además se discute los resultados obtenidos (posterior de la puesta en marcha) a partir de la implementación experimental del banco de pruebas térmico desarrollado para la evaluación de disipadores de calor refrigerados por líquido. El análisis incluye una comparación entre las temperaturas medidas experimentalmente y las predicciones numéricas, así como la estimación del flujo de calor basada en la metodología IHC. Adicionalmente, se examina la distribución axial de temperatura a lo largo del bloque calefactor y se compara con un modelo teórico de conducción de calor unidimensional, con el fin de evaluar el nivel de concordancia entre los enfoques experimental, numérico y analítico bajo condiciones de operación controladas.

3.1 Elementos y piezas de diseño final del banco de pruebas

Las piezas y partes para la construcción del banco de pruebas fueron obtenidas siguiendo la metodología de construcción expuesta en la sección 2.9 del capítulo 2. Estas piezas se muestran en la siguiente tabla 10.

Tabla 10

Listado de partes y piezas del diseño final del banco de pruebas fabricado

Cantidad	Partes	Descripción	Ilustración
1	Base	Madera	

4 Columna PLA



1 Cilindro De cobre Cobre

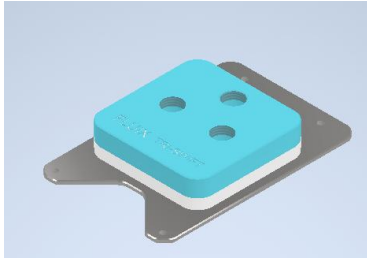
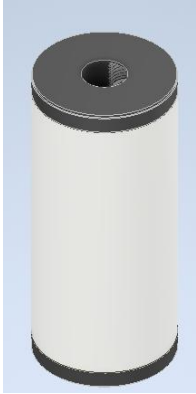

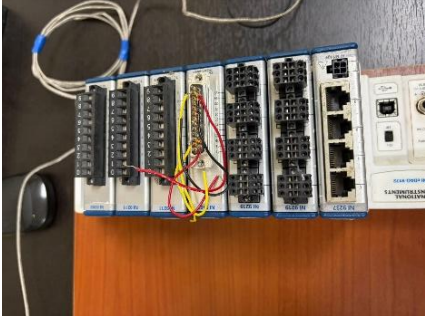


1 Soporte PLA



1 Tubería PVC

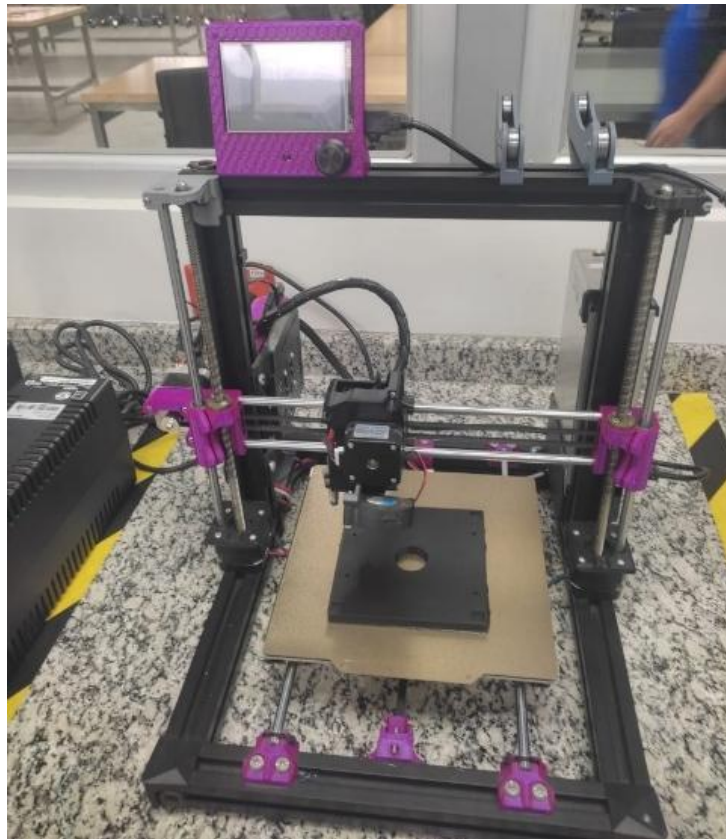


1	Bloque de refrigeración líquida “Doble entrada para procesador AMD TR4”	Materiales detallados en [1]	
1	Reservorio abierto de agua	No aplica	
4	Termocuplas	Tipo K	
1	DAQ (cDAQ-9172)	6 canales	

Para la fabricación de las piezas llamadas “Soporte” y “Columna”, se utilizó 100g de material PLA, esto al ser un material más amigable con el ambiente. Además, su tiempo de impresión para la base fue de 7 horas, y para las columnas 2 horas. Esto se puede observar en la figura 15.

Figura 15

Proceso de impresión de piezas en 3D

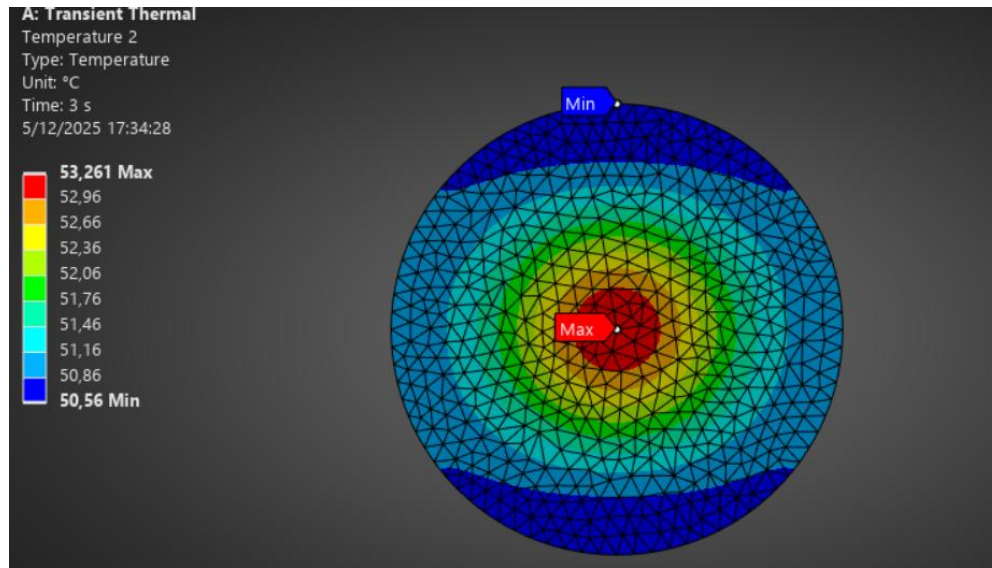


El elemento calefactor se instaló a lo largo del eje central del bloque calefactor con el fin de generar una distribución de temperatura controlada y predominantemente axial. Esta configuración fue seleccionada para aproximar la distribución espacial de calor típicamente observada en los microprocesadores como se muestra en la figura 16, manteniendo al mismo tiempo la compatibilidad con la hipótesis de conducción unidimensional.

El espacio de las termocupas fue diseñado para ser instaladas en el cilindro de cobre a una distancia de la cara lateral donde el calor generado por las resistencias no se disipa de forma considerable, esto se puede observar en la figura 17.

Figura 16

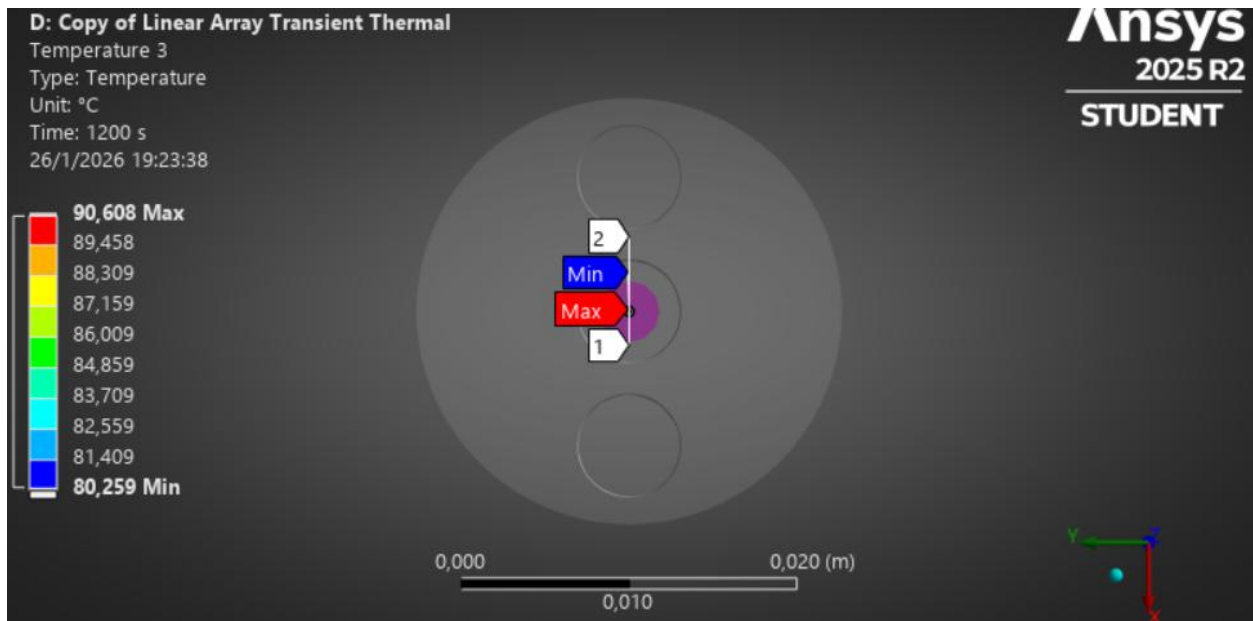
Campo de temperatura del cilindro con cartuchos en configuración lineal



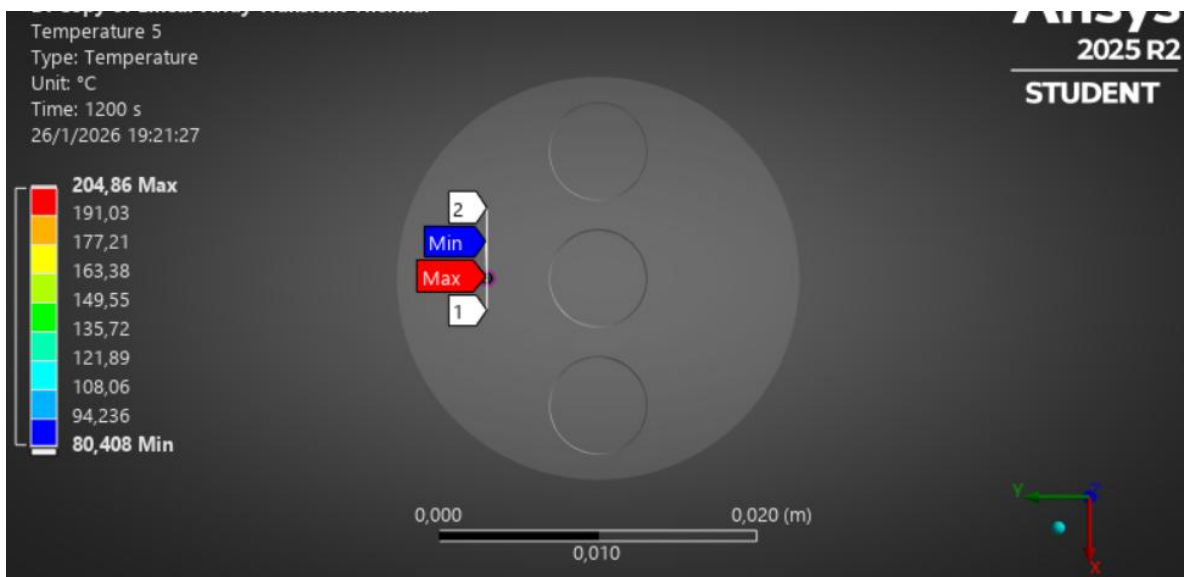
Nota. Se observa la cara superior del cilindro, en un tiempo inferior a 10 segundos para observar la evaluación de la transferencia de calor desde el cartucho de acero inoxidable y el cilindro de cobre.

Figura 17

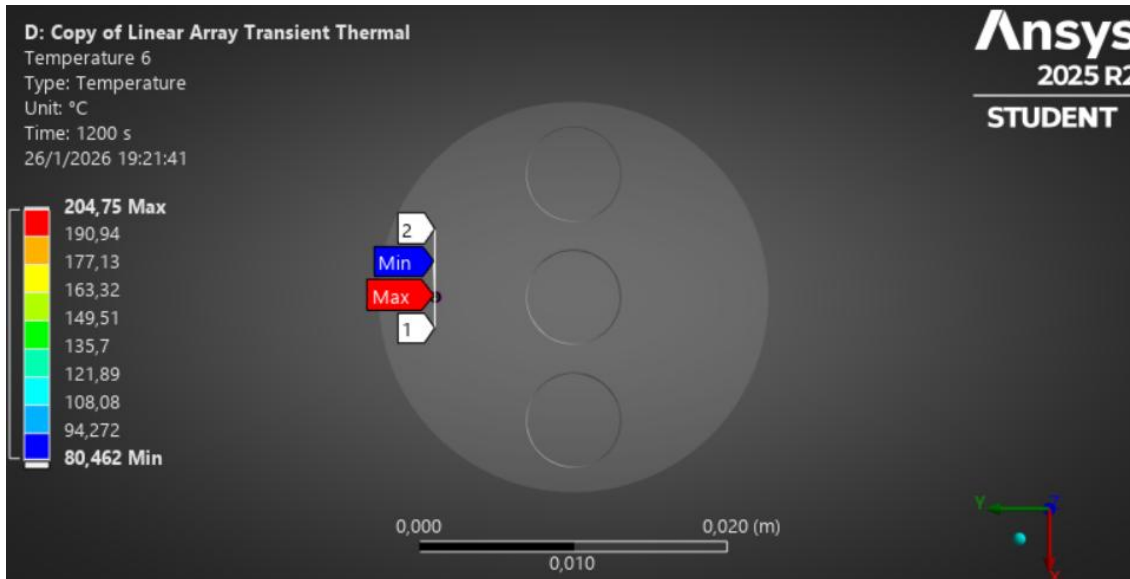
Valores de temperatura en la zona de instalación de las termocuplas



A. Valores mínimo y máximo de temperatura en el eje z, en el centro del cilindro de cobre



B. Valores mínimo y máximo de temperatura a lo largo del eje z, a 7 mm del centro del cilindro de cobre



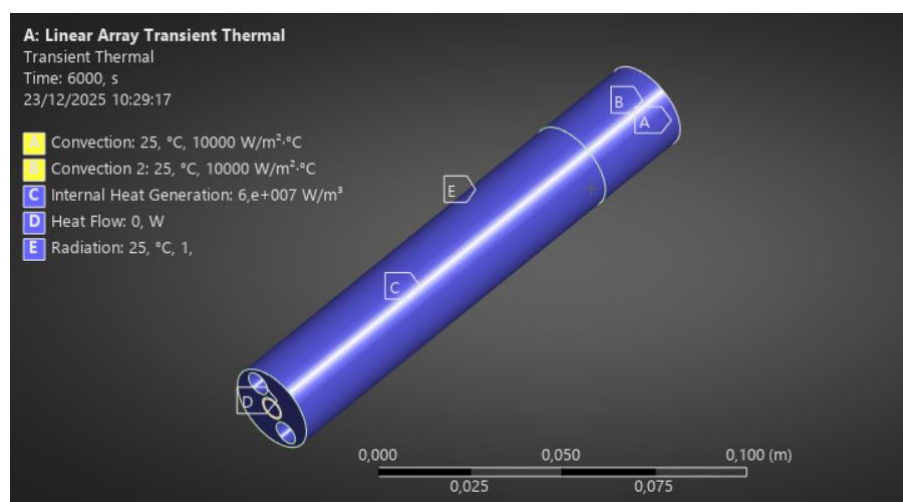
C. Valores mínimo y máximo de temperatura a lo largo del eje z, a 9 mm del centro del cilindro de cobre

3.2 Análisis de funcionamiento teórico del equipo

El cilindro de cobre fue simulado siguiendo la metodología explicada en el capítulo 2.9 y bajo los siguientes parámetros observados en la figura 18.

Figura 18

Valores teóricos para simulación de cilindro de cobre

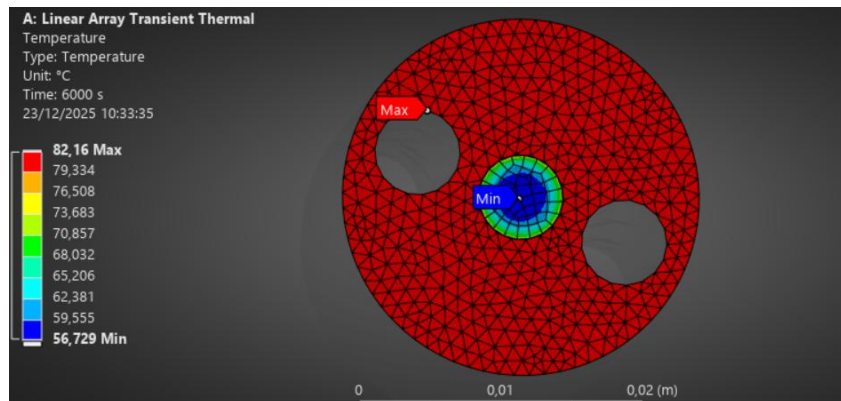


Nota. El valor de convección fue usado en base a los datos experimentales obtenidos al probar el disipador de calor con enfriamiento líquido fue determinado a partir de Garzón et al [4] (sección 3.4).

Se puede observar en las figuras 19 y 20 las temperaturas en distintos puntos que se obtendrán en la cara superior, así como también las temperaturas que se obtendrán a lo largo de la longitud del cilindro y en especial, a la altura de las termocuplas instaladas.

Figura 19

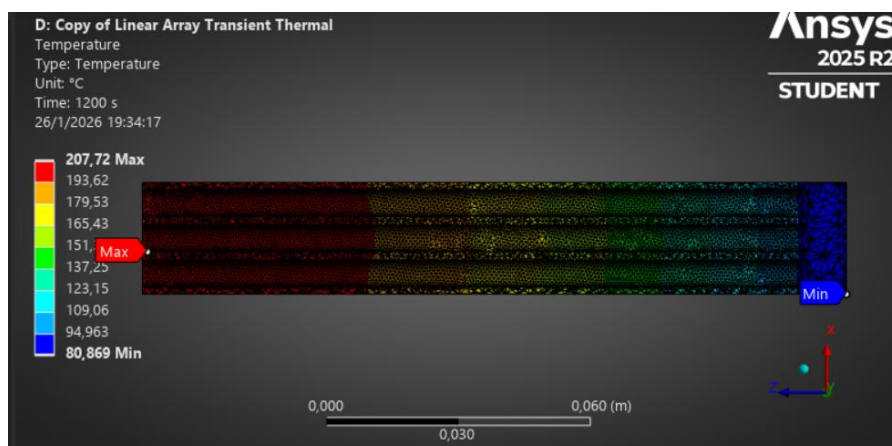
Distribución de temperatura en la cara superior del cilindro de cobre



Nota. Distribución de calor dentro del cilindro de cobre en un tiempo de 6000 segundos para garantizar un estado estable. La zona mostrada se encuentra en un plano cercano a las termocuplas instaladas, para mostrar que la zona fría se encuentra en la resistencia de cartucho, ya que, al ser de acero inoxidable, transfiere su calor al cobre, que es mejor conductor.

Figura 20

Distribución de temperatura en el cuerpo del cilindro de cobre



Nota: Distribución de calor a lo largo de la longitud del cilindro de cobre. La zona más caliente es en el lado inferior del cilindro, puesto a que se encuentra aislado en esa sección y se concentra

el calor. La cara superior del cilindro, la zona más fría, se encuentra en contacto con la disipación del bloque de refrigeración por lo que va a transferir su calor a este.

En las figuras 21 y 22 se muestra como en toda la cara superior (que incluye la superficie propia de la cara superior del cilindro de cobre más la parte superior del cartucho) se está disipando todo el calor generado por el cartucho de resistencia eléctrica de 250W, por lo que el asilamiento planteado en la sección de conducción 2.8.3.1 permite conservar el calor dentro del cilindro de cobre.

Figura 21

Valor de potencia disipada por convección en la cara superior del cilindro de cobre

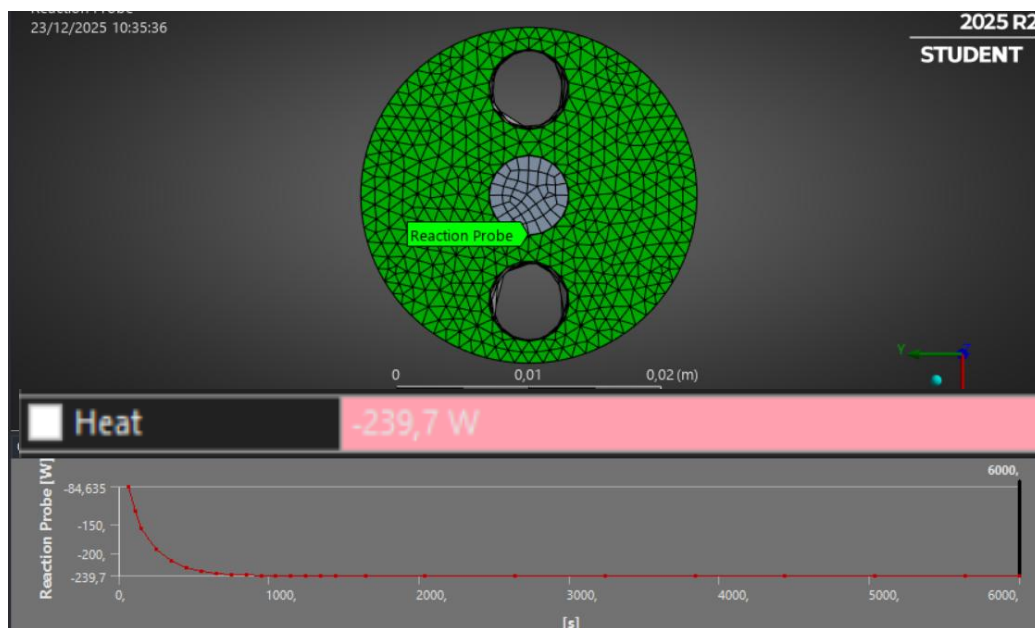
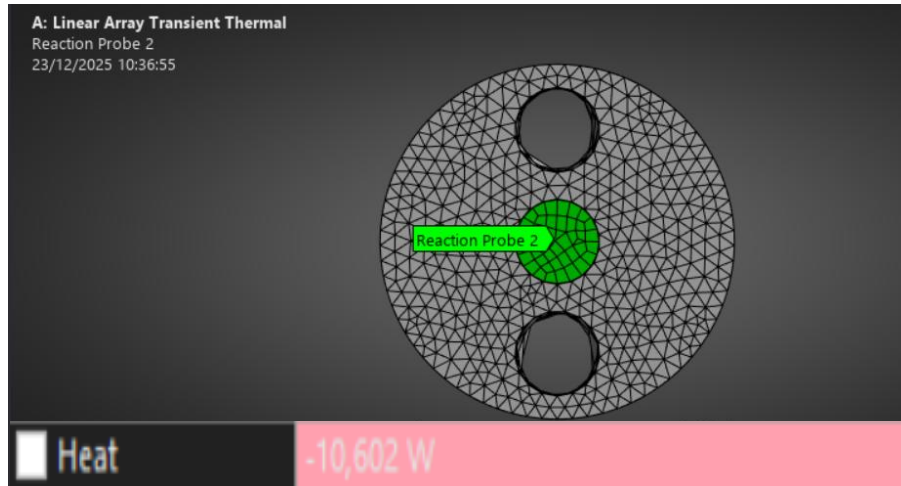


Figura 22

Valor de potencia disipada por convección en la cara superior del calentador eléctrico de cartucho



En la figura 23 y 24 se muestran la temperatura en la cara superior del cilindro de cobre y el flujo de calor en la zona de instalación de las termocupas, respectivamente. Dichas mediciones teóricas, fueron comparadas directamente con los datos experimentales mostrados en la sección 3.8.

Figura 23

Distribución de calor en la cara superior

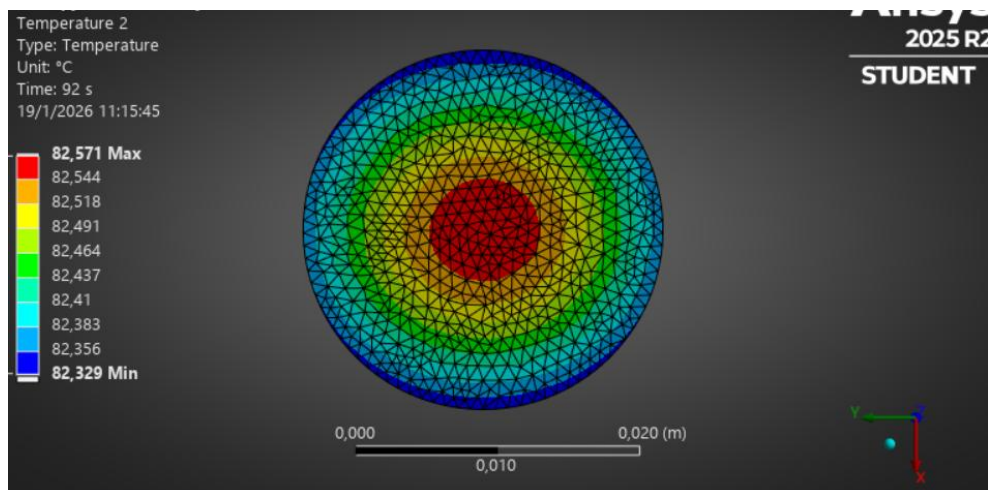
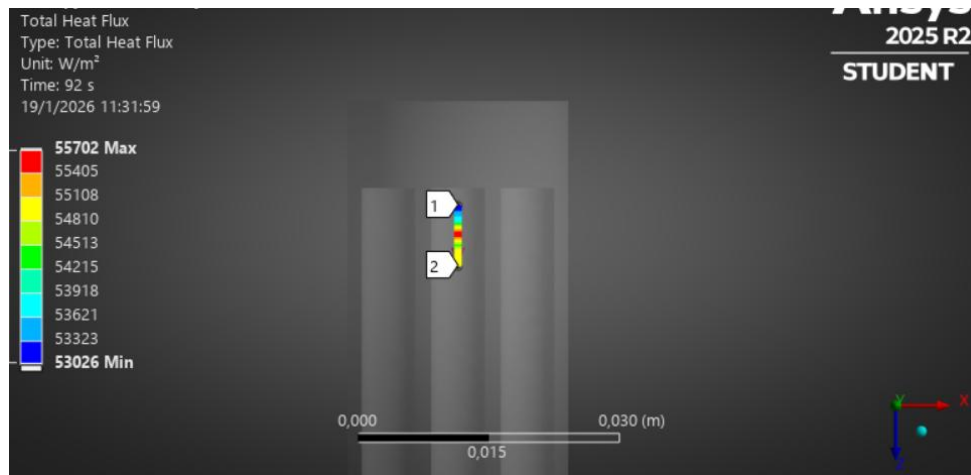


Figura 24

Flujo de calor en la zona de instalación de las termocupas dentro del cilindro de cobre



3.3 Mecanizado del cilindro de cobre

El conjunto del bloque calefactor se fabricó a partir de un cilindro de cobre de 1 pulgada de diámetro y se mecanizó de acuerdo con las especificaciones de diseño establecidas

El largo de los cartuchos calefactores, presentaron un reto en la elaboración de los huecos pasantes para estos. El conjunto calefactor está compuesto por tres secciones coaxiales de cobre: un segmento superior con una longitud de 40 mm y dos segmentos inferiores, cada uno de 60 mm de longitud. Estas secciones se unen mecánicamente para formar un único cuerpo sólido continuo, lo que favorece predominantemente la conducción de calor en dirección axial, manteniendo al mismo tiempo la rigidez estructural. El seccionado de estas 3 partes se las realizó en el Laboratorio Del Centro De Desarrollo Tecnológico Sustentable y se muestra el proceso en la figura 25.

Figura 25

Corte del cilindro de cobre



Una vez obtenida las piezas, una perforación con brocas de 1/4 de pulgada permite el alojamiento del cartucho calefactor (véase figura 7 de la sección 2.6).

Solo en el segmento superior de cobre, se diseñó para estar instrumentado para las mediciones de temperatura requeridas en el análisis mediante IHC. En esta sección se mecanizan (en un taladro de pedestal) cuatro orificios radiales con un diámetro de 3.16 mm y una profundidad de 7 mm, destinados al alojamiento de termocuplas, este mecanizado se observa en la figura 26. Los puntos de medición se distribuyen uniformemente con un espaciamiento de 6 mm entre ellos y se orientan radialmente hacia el eje central del bloque de cobre. Esta disposición (véase figura 17b) permite la adquisición de datos de temperatura localizados y la obtención de gradientes de temperatura axiales cercanos a la interfaz con el disipador, necesarios para los cálculos de la IHC.

Figura 26

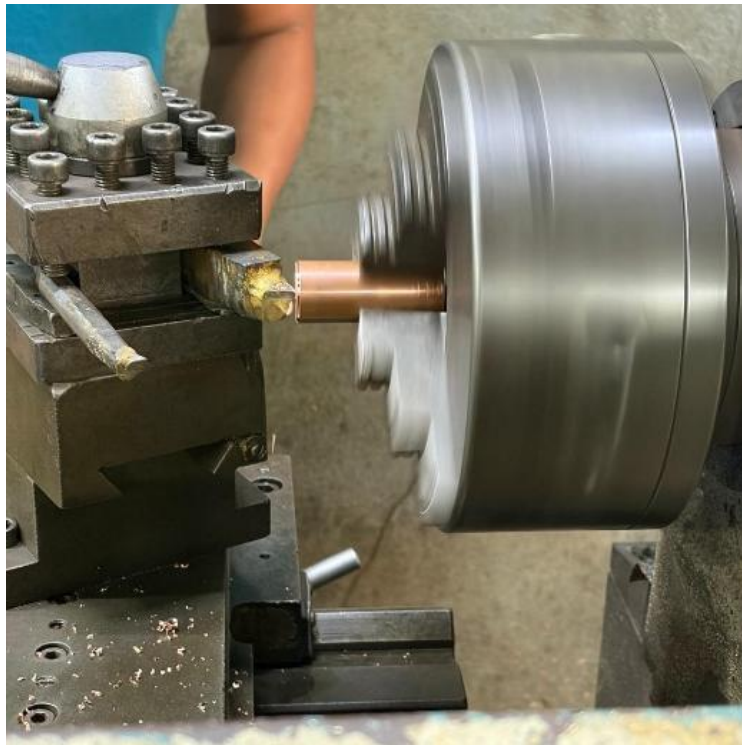
Mecanización de perforaciones para instalación de termocuplas



En un torno convencional, con herramientas de hierro blanco, se realizó el proceso de refrentado en todas las superficies de contacto para garantizar la planicidad y maximizar el contacto térmico entre los componentes adyacentes. En cada interfaz de contacto se aplicó pasta térmica para reducir la resistencia de contacto y mejorar la transferencia de calor. Finalmente, el bloque calefactor fue aislado mediante recubrimiento de PVC, con el fin de minimizar las pérdidas de calor hacia el ambiente y mejorar la seguridad operativa durante los ensayos.

Figura 27

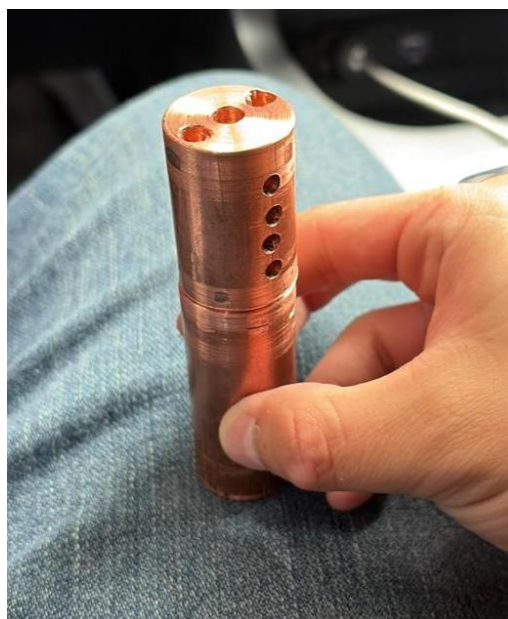
Proceso de refrentado en torno convencional



Finalmente, se muestra en la figura 28, la pieza principal con los agujeros de las termocupas, se puede observar una pieza encima de otra.

Figura 28

Resultado de piezas mecanizadas



3.4 Construcción y ensamblado de piezas del equipo

Para darle soporte y altura a la base, necesaria para que el cableado se oculte, en la parte inferior de la madera, se pusieron como base de soporte 4 tapas de botellones de agua, como se muestra en la figura 29.

Figura 29

Soporte para la base de madera



Por otro lado, la estructura de impresión 3D que se utilizará como agarre del cilindro de cobre se visualiza en la figura 30.

Figura 30

Soporte de piezas de impresión 3D



Para una correcta instalación del soporte, se necesitó realizar huecos en la base de madera con el suficiente espacio para las columnas, y uno céntrico para el cilindro; además de colocar cinta aislante y tornillos que permitan sujetar el bloque de refrigeración líquida de doble entrada [4] en contacto con la cara superior, como se muestra en la figura 31.

Figura 31

Estructura principal con cilindro de cobre y bloque de refrigeración líquida integrado



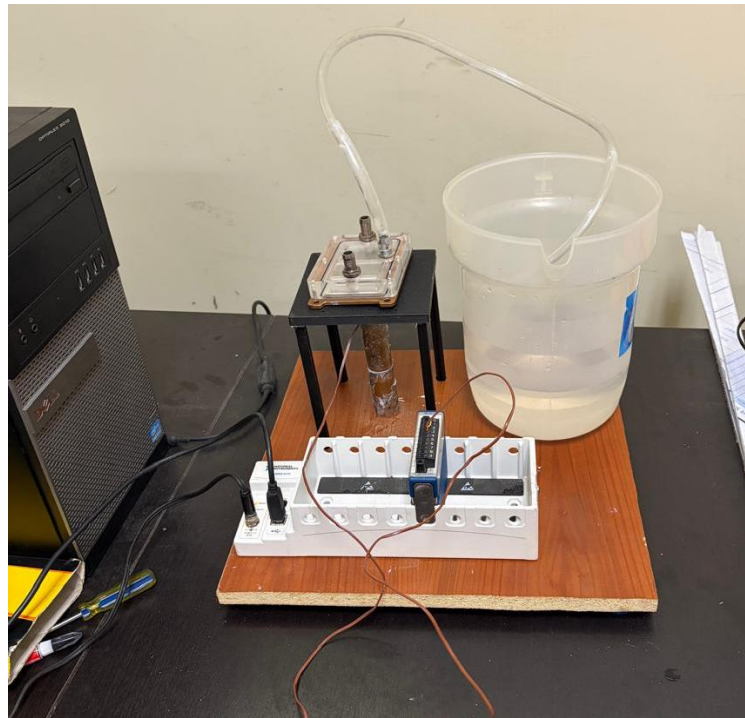
En la figura 32, se muestra el banco de pruebas térmico experimental completamente ensamblado desarrollado en este estudio. El sistema integra toda la estructura mecánica, el conjunto calefactor, el circuito hidráulico y la instrumentación necesarios para la evaluación controlada de disipadores de calor refrigerados por líquido bajo condiciones de operación en régimen estacionario.

El conjunto calefactor se encuentra montado verticalmente sobre un bastidor estructural rígido, lo que garantiza estabilidad mecánica y una alineación repetible entre la fuente de calor y el dispositivo de enfriamiento. La superficie superior del bloque calefactor interactúa con el disipador de calor refrigerado por líquido a través de la placa difusora de calor, asegurando un contacto térmico consistente y condiciones de frontera convectivas reproducibles.

Las termocuplas embebidas se conectan a un sistema de adquisición de datos (DAQ) para el monitoreo continuo de la temperatura, mientras que la potencia eléctrica es suministrada al cartucho calefactor mediante una fuente de alimentación dedicada. El circuito hidráulico incluye conexiones de entrada y salida que permiten controlar el caudal de agua a través del disipador, reproduciendo condiciones de operación representativas de sistemas electrónicos refrigerados por líquido.

Figura 32

Banco de pruebas final para evaluación de disipadores de calor con refrigeración líquida



3.5 Costos de materiales y equipos del banco de pruebas

Para la fabricación del banco de pruebas, se debería realizar la compra de los elementos listados en la tabla 11.

Tabla 11*Tabla de costos de materiales y equipos requeridos del banco de pruebas*

Ítem	Descripción	Cantidad	Valor unitario (\$)	Costo total (\$)
Tabla base	Forma cuadrada de 35x35 cm con 2cm de ancho	1	5.00	5.00
Cartuchos de calefactores	De acero inoxidable 250W cada uno	3	11.00	33.00
DAQ	Con 6 canales para conexiones	1	100.00	100.00
PLA	Rollo completo	1	25.50	25.50
Cilindro de cobre	De 1" de diámetro y 16cm de largo	1	23.43	23.43
Tubería flexible	Plástico	3	1.00	3.00
Bloque de refrigeración líquida	Aluminio	1	11.50	11.50

Soporte de fijación para orejas	Aluminio	1	18.00	18.00
Termocuplas tipo K	Sin montaje	4	8.00	32.00
Pasta térmica	-	1	15.00	15.00
Caja de tornillos de 3/4 para acople	50 unidades	1	0.85	0.85
Broca de 6mm	Punta de cobalto	1	2.50	2.50
Broca de 1/4"	Punta de cobalto	1	3.00	3.00
Broca de 3/16"	Punta de cobalto	1	0.75	0.75
Broca de 5/32"	Punta de cobalto	1	1.00	1.00
TOTAL				272.53

3.6 Costo de diseño y procesos de manufactura

Con el fin de cuantificar los costos asociados a la fabricación y ensamblaje del banco de pruebas, se presenta la tabla 12.

Tabla 12

Tabla de costos de fabricación y procesos de manufactura requeridos en el proyecto

Proceso / Actividad	Descripción	Costo unitario (\$/h)	Costo total (\$)
Impresión 3D	4 columnas y una base	-	30.00
Mano de obra	5 horas	12.00	70.00
Diseño del banco de pruebas	10 horas	20.00	200.00
Taladrado	13 agujeros	-	30.00
Refrentado	6 caras refrentadas	-	10.00
		TOTAL	340.00

3.7 Análisis de costos

Como la mayoría de los elementos se reutilizaron y se encontraron en el CIDNA; el valor total real de la adquisición de equipos y materiales para el presente proyecto se muestra en la tabla 13.

Tabla 13*Tabla de costos reales de materiales y equipos del banco de pruebas*

Ítem	Descripción	Cantidad	Valor unitario (\$)	Costo total (\$)
Tabla base	Forma cuadrada de 35x35 cm con 2cm de ancho	1	Reusado	Reusado
Cartuchos de calefactores	De acero inoxidable 250W cada uno	3	11.00	33.00
DAQ	Con 6 canales para conexiones	1	Proporcionado	Proporcionado
PLA	Rollo completo	1	25.50	25.50
Cilindro de cobre	De 1" de diámetro y 16cm de largo	1	23.43	23.43
Tubería flexible	Plástico	3	Proporcionado	Proporcionado
Bloque de refrigeración líquida	Aluminio	1	Proporcionado	Proporcionado

Soporte de fijación para orejas	Aluminio	1	Proporcionado	Proporcionado
Termocuplas tipo K	Sin montaje	4	Proporcionado	Proporcionado
Pasta térmica		1	15.00	15.00
Caja de tornillos de 3/4 para acople	50 unidades	1	0.85	0.85
Broca de 6mm	Punta de cobalto	1	2.50	2.50
Broca de 1/4"	Punta de cobalto	1	3.00	1.00
Broca de 3/16"	Punta de cobalto	1	0.75	0.75
Broca de 5/32"	Punta de cobalto	1	1.00	1.00
			TOTAL	103.03

De igual forma, en cuanto a mecanización, procesos de manufactura y ensamble, se aprovecharon las instalaciones de ESPOL, por lo que los costos reales cambian como se muestra en la tabla 14.

Tabla 14

Tabla de costos reales de fabricación y procesos de manufactura

Proceso / Actividad	Descripción	Costo unitario (\$/h)	Costo total (\$)
Impresión 3D	4 columnas y una base	-	-
Mano de obra	5 horas	12.00	70.00
Diseño del banco de pruebas	10 horas	20.00	200.00
Taladrado	13 agujeros	-	-
Refrentado	6 caras refrentadas	-	-
		TOTAL	270.00

Finalmente, la tabla 15 presenta una comparación entre el costo estimado de implementación del banco de pruebas partiendo desde cero, considerando la adquisición total de materiales y la contratación de servicios externos de mecanizado, y el costo real del presente proyecto, en el cual se reutilizaron materiales y se emplearon procesos de fabricación realizados en las instalaciones de la ESPOL sin costo adicional.

Tabla 15*Tabla de comparación de costos totales*

	Costo del proyecto	Costo del proyecto con reutilización de materiales
Materiales y equipos	272.53	103.03
Fabricación y procesos de manufactura	370.00	270.00
TOTAL	642.53	373.03

Desde el punto de vista económico, requerimiento primordial de nuestro cliente, el ahorro obtenido en el desarrollo de nuestro proyecto fue del 42%, esto mediante la reutilización de componentes presentes en el CIDNA, en comparación con otras alternativas que requieran adquirir todos los equipos y materiales desde cero.

Así se resalta la viabilidad de realizar un banco de pruebas para disipadores de calor por refrigeración líquida funcional y representativo a un menor costo, sin comprometer las capacidades experimentales de gestión térmica.

3.8 Análisis de experimentación

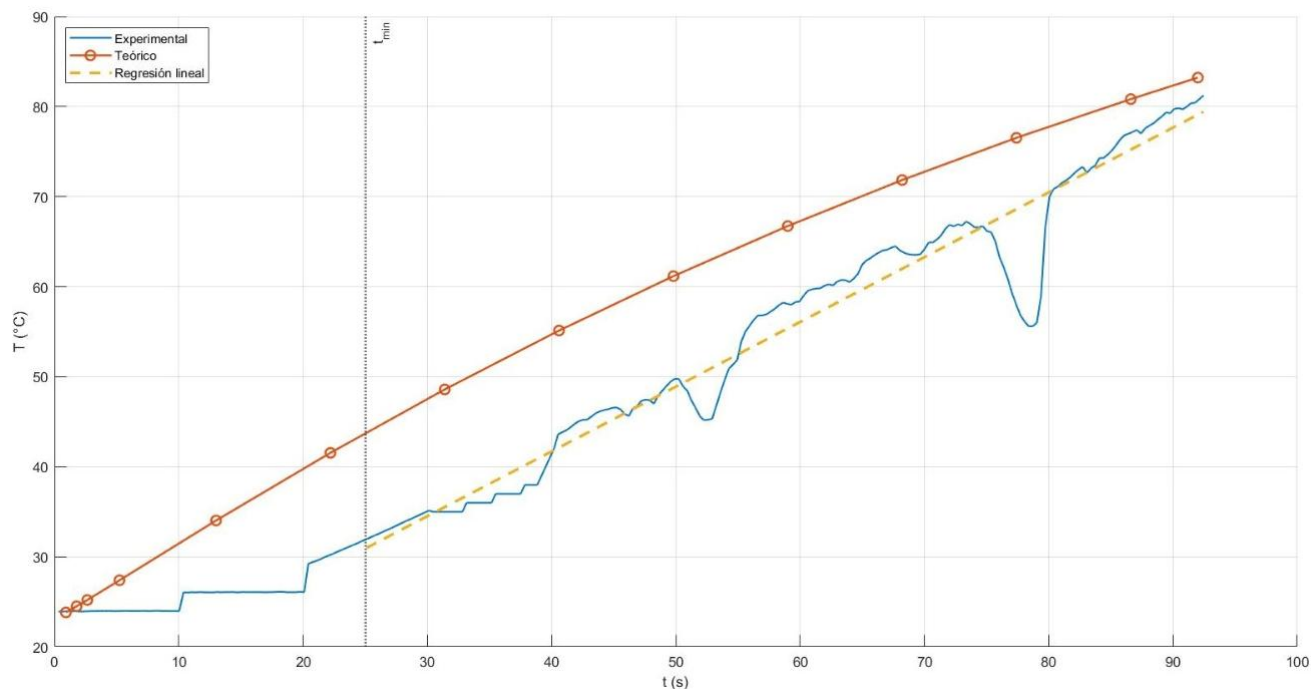
En esta sección se presentan los resultados experimentales, las mediciones experimentales están sujetas a limitaciones inherentes asociadas a la configuración del banco de pruebas. Estas incluyen pérdidas de calor radiales a través del aislamiento, resistencia térmica de

contacto y variaciones en las condiciones de frontera convectivas causadas por fluctuaciones en el circuito hidráulico. Estos efectos introducen pequeñas desviaciones respecto a las suposiciones idealizadas adoptadas en los modelos numéricos y analíticos. A pesar de estas limitaciones, el banco de pruebas desarrollado reproduce de manera satisfactoria condiciones térmicas representativas de dispositivos electrónicos de alta potencia y proporciona una plataforma confiable para la evaluación comparativa de disipadores de calor. El uso combinado de experimentación controlada, modelado numérico y análisis teórico simplificado permite identificar de forma consistente los mecanismos dominantes de transferencia de calor y respalda una evaluación cuantitativa del desempeño térmico.

Mediante el programa de LabVIEW mostrado en la sección 2.7, y la configuración del banco de pruebas mostrados en la sección 3.4, se obtuvieron resultados de temperaturas en un tiempo de 92 segundos, dicho tiempo fue seleccionado por obtener datos de temperatura cercanos a los 80°, que son valores de temperatura cercanos a los obtenidos por un procesador funcionando a su capacidad segura. Estos datos fueron recopilados en Excel, y luego contrastados con los datos obtenidos a partir de la simulación numérica mostrados en la figura 33. En esta figura se muestra en un estado transiente, la representación del incremento de temperatura en función del tiempo para el caso experimental (curva de color azul) y teórico (curva de color rojo).

Figura 33

Gráfica de datos experimentales de temperatura en función del tiempo comparados con resultados de la simulación numérica

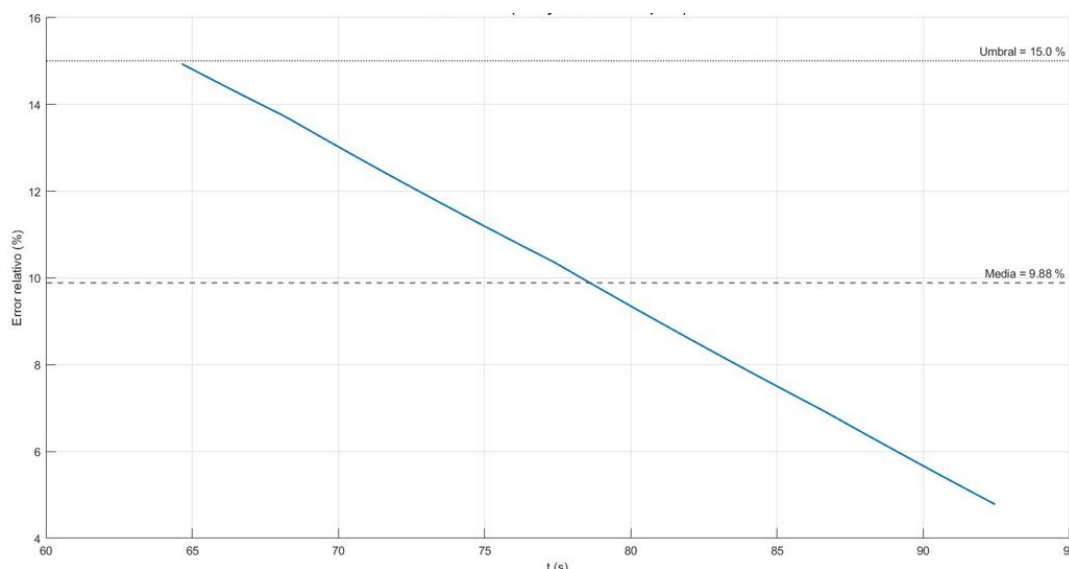


Nota. La regresión lineal mostrada nos permite identificar los datos aberrantes que se obtuvieron al momento de realizar la medición experimental, estos datos se deben a pequeños momentos de dilatación dentro de la perforación de la termocupla que hacen un falso contacto, pero luego rápidamente se corrige la tendencia. La regresión lineal no debe tomarse como una medida de tendencia del crecimiento de la curva experimental.

En la figura 34, se muestra el error entre ambas mediciones. Los valores atípicos con respecto a los valores teóricos representan un error mayor del 15%, los demás valores se encuentran por debajo de ese umbral. La media de los errores es menor al 10%, y la tendencia decrece a medida que se acerca a un estado cuasi-estable (cerca de los 80°C), obteniendo en un dato final, un error del 4.5%.

Figura 34

Gráfica de errores entre los datos experimentales de temperatura y valores de la simulación numérica



Con los datos de temperatura obtenidos experimentalmente, y la ecuación 1.2, se obtuvo el valor de flujo de calor experimental. Este valor fue contrastado con el de la simulación numérica mostrado en la figura 24, tal como se muestra en la tabla 16.

Tabla 16

Tabla comparativa del flujo de calor obtenido mediante simulación numérica y datos experimental con convección de aire libre

IHT	Valor de Simulación	Valor Experimental	Error
Flujo de calor (W/m^2)	54 556.00	57 085.71	4.64%

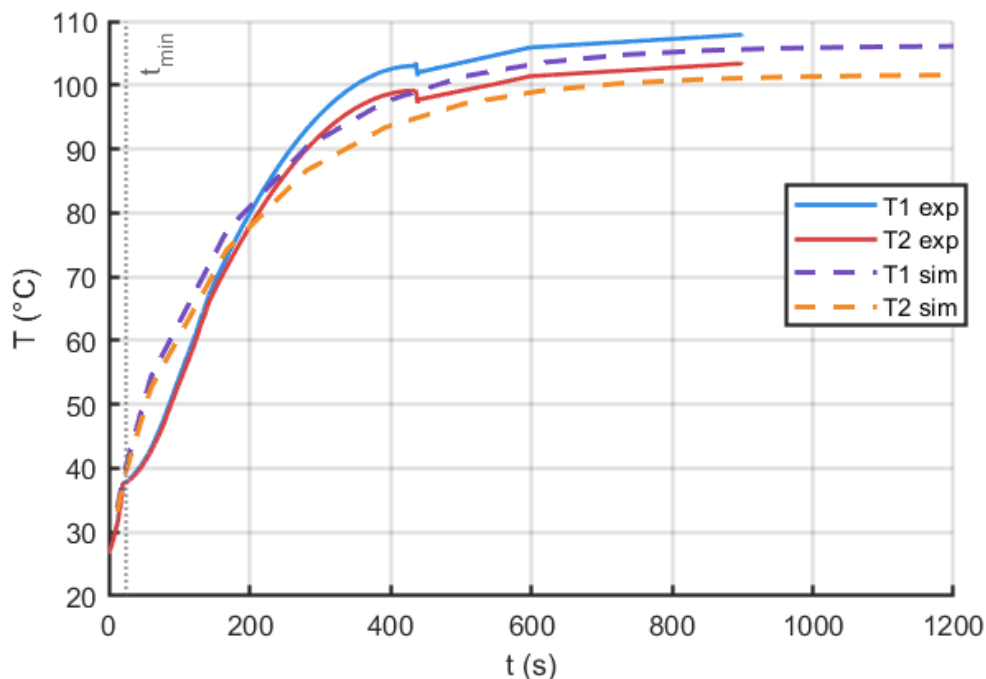
Nota: El valor teórico es un valor promedio entre el promedio entre las posiciones de ambas termocuplas, esto se hace debido al que programa da valores de flujos locales entre ambas posiciones de las termocuplas.

Para una mejor obtención de los datos, se hizo la prueba utilizando un bloque disipador de calor de doble entrada [4] durante 15 minutos, esto debido a que el bloque disipador de calor nos permite trabajar en rango de temperatura más seguras en ese tiempo. En la figura, se puede contrastar los datos obtenidos de temperatura por las termocuplas instaladas (una a 6mm de la

otra) y las temperaturas dadas a la misma distancia en la simulación. Podemos también observar que el sistema alcanza un estado estable alrededor de los 800s, donde la diferencia de temperatura experimental se encuentra alrededor de los 4.5°C mientras que en la simulación este valor alcanza los 4.3°C esta diferencia puede deberse al valor convectivo utilizado en la simulación (valor que se observa en la figura 18) que es posiblemente mayor al valor de la prueba, esto debido a pequeñas pérdidas de calor de forma radial del cilindro hacia el exterior, considerando que usando las ecuaciones expuestas en la sección 2.8.3 el coeficiente global de transferencia de calor es de $2.09 \frac{W}{m^2K}$ lo que nos da un valor de pérdidas hacia el aire de 0.1 W.

Figura 35

Respuesta transitoria de la temperatura en las posiciones de instalación de las termocuplas (datos experimentales) comparados con los resultados de simulación numérica.

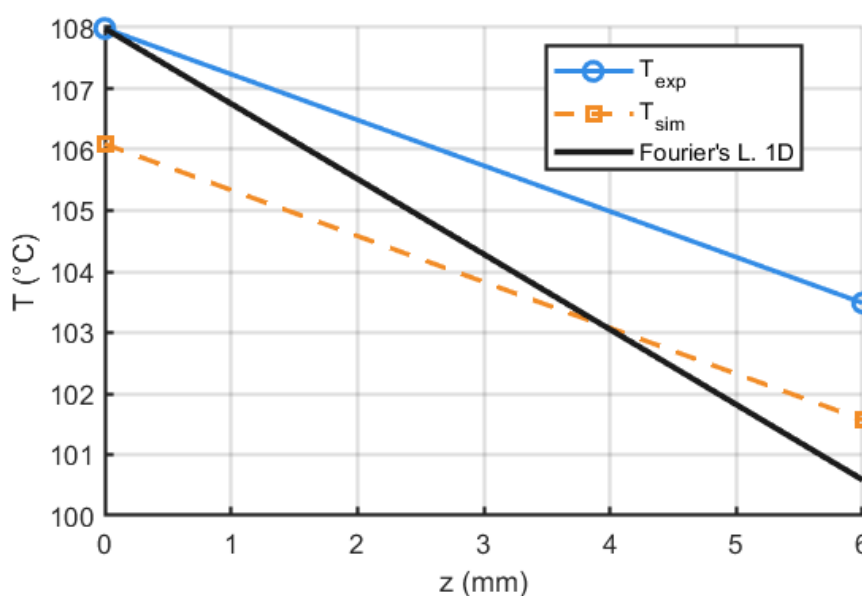


En la figura 36 se muestra el valor de temperatura a lo largo del eje z del cilindro de cobre, donde se instalan las termocuplas. El valor de ΔT calculado en estado estable (figura 35) tanto experimentalmente como de la simulación numérica se pueden contrastar con la ecuación de la recta de la ecuación 2.2, comparando así sus pendientes. Las pendientes de las curvas

experimentales y de simulación son congruentes, en comparación de la pendiente teórica (llamaremos teórica a una solución simplificada de la ley de Fourier asumiendo transferencia de calor en una dirección), que es una pendiente más pronunciada al ser un análisis netamente axial en una dimensión.

Figura 36

Distribución de temperatura a lo largo del eje de dirección de transferencia de calor en el cilindro de cobre comparando resultados experimentales, de simulación numérica, y teórica



Con base a los valores obtenidos, se pueden calcular nuevamente el flujo de calor, en este caso, comparando los valores experimentales, de simulación y teóricos.

Tabla 17

Tabla comparativa del flujo de calor obtenido mediante simulación numérica, dato experimental, y valor teórico con convección forzada de agua

IHT	Valor Simulación	Valor Experimental	Valor Teórico	Error (experimental y simulación)
Flujo de calor (W/m ²)	301 333.33	300 004.65	466 500.00	0.44%

Si se compara los gradientes de temperatura obtenidos a partir de la simulación numérica de las mediciones experimentales con el gradiente de temperatura teórica predicho por el modelo unidimensional de conducción de calor, se puede definir una eficiencia de conducción axial η , como el cociente entre estos gradientes. Esta eficiencia representa la fracción de flujo total térmico que se manifiesta como conducción axial entre las dos ubicaciones de las termocupas instaladas.

Este resultado es coherente con la configuración experimental, dado que la simulación numérica considera las pérdidas por conducción axial y da un error menor al 1%, además, la sugiere una descripción más cuantitativa en la influencia de la conducción radial del calor.

Si bien una reducción del diámetro del cilindro podría disminuir las pérdidas térmicas radiales y aproximar el comportamiento del sistema a un régimen más cercano a la conducción de calor en 1 dimensión, dicho cambio implicaría sacrificar el área de contacto representativa de procesadores comerciales de alta potencia.

Por esta razón, el uso de un diámetro de una pulgada responde a la necesidad del cliente de emular una superficie efectiva comparable a la de procesadores reales, donde la disipación térmica ocurre sobre áreas de orden de magnitud similar y, por lo tanto, el valor de η obtenido no debe interpretarse como una mala experimentación, sino como una consecuencia previsible del compromiso entre la geometría a simular y una simplificación analítica del modelo, lo cual refuerza la validez del banco como herramienta para evaluar disipadores bajo condiciones representativas de operación.

Capítulo 4

4.1 Conclusiones y recomendaciones

4.1.1 Conclusiones

Tras la finalización del proyecto, luego de aplicar diversas fases para la realización del mismo, se obtuvo un banco de pruebas funcional y se realizan las siguientes conclusiones en función de los objetivos planteados inicialmente:

- Se diseñó exitosamente un banco de pruebas capaz de reproducir condiciones controladas de flujo de calor, proponiendo dos alternativas de diseño, las cuales fueron comparadas en función de criterios de eficiencia térmica, de seguridad operacional de costo de fabricación. El cual, luego de una matriz de ponderación, el diseño de ciclo abierto fue la alternativa seleccionada por su bajo costo, y su capacidad de representar el comportamiento térmico de los procesadores.
- Se construyó y se puso en funcionamiento el banco de prueba, mediante procesos de manufactura aditiva como es la impresión 3D usando PLA como material para soporte, y procesos de mecanización tradicional, como lo fue el torneado y seccionado del cobre, así, luego se integró adecuadamente el sistema de instrumentación, control de flujo y adquisición de datos en un banco de pruebas que cumple los parámetros de diseño establecidos,
- Se analizaron los datos experimentales siguiendo la metodología de IHC, usando termocuplas instaladas en el banco de pruebas, y el software de LabVIEW, para así compararlos con los resultados numéricos de simulación en ANSYS y con un modelo teórico de conducción unidimensional, dada por la ecuación de Fourier, evidenciando una diferencia inferior al 1% entre el flujo de calor experimental y el simulado, validando así la metodología empleada y confirmando la validez de nuestros resultados como una buena aproximación teórica de un flujo de calor por conducción unidimensional.

4.1.2 Recomendaciones

Una vez concluido el proyecto, y considerando los resultados obtenidos durante el diseño, construcción y validación del banco de pruebas, se recomienda para mejorar el desempeño del sistema, ampliar su aplicabilidad experimental y abordar algunas limitaciones inherentes al alcance del presente estudio lo siguiente:

- Se recomienda utilizar cartuchos calefactores de menor longitud, ya que facilitan el mecanizado preciso de los orificios de alojamiento, mejoran el ajuste geométrico y reducen desviaciones durante la fabricación del bloque calefactor.
- El mecanizado de piezas macizas de cobre presenta limitaciones para garantizar la concetricidad de los orificios internos, lo que puede introducir incertidumbre en la posición del cartucho calefactor. Se recomienda evaluar diseños seccionados o modulares, así como técnicas otras técnicas de manufactura, como el proceso de fundición, que permitan un mayor control geométrico y una mejor repetibilidad del ensamblaje.
- Si bien la espuma de poliuretano utilizada demostró ser efectiva como aislante térmico, el estudio no abordó el uso de revestimientos adicionales. Investigaciones futuras podrían incorporar materiales como fibra de vidrio u otros aislantes, con el fin de reducir aún más las pérdidas de calor por conducción radial.
- La utilización de madera como material base resultó adecuada para una etapa inicial del diseño, siempre que se implementaran medidas de aislamiento térmico complementarias, tal como se hizo en la construcción. No obstante, una posible ampliación del trabajo consiste en analizar el uso de materiales metálicos de baja conductividad térmica únicamente en la zona de soporte del cilindro de cobre, lo que permitiría aumentar la rigidez estructural sin comprometer el aislamiento térmico.
- Por los resultados, se sabe que el banco de pruebas operó de forma estable con una conexión directa a la red de agua. Pero, como trabajo futuro, se recomienda la

implementación de un sistema de control de flujo más preciso, que permita garantizar condiciones de operación constantes y reproducibles durante campañas experimentales más rigurosas.

- La ausencia de un análisis de incertidumbre integral del banco de pruebas limita la correcta cuantificación del error asociado a los resultados experimentales. Considerar de manera conjunta la incertidumbre aportada por los sensores de temperatura, el sistema de adquisición de datos y las fuentes de potencia permitiría estimar la incertidumbre total del sistema, fortaleciendo la autoevaluación metrológica del banco y posibilitando una comparación más sólida con resultados reportados en la literatura.
- El sistema de montaje actual de los bloques de refrigeración presenta limitaciones en su adaptabilidad a distintas geometrías comerciales. La implementación de un sistema de sujeción universal o modular facilitaría el montaje y la repetibilidad experimental, ampliando la versatilidad del banco de pruebas.

Referencias

- [1] E. Castillo-Orozco, C. Garzón , O. Garvitto, M. Kourmpetis y M. Gronfula, «Computational design and optimization of a dual-inlet liquid-cooled heat sink with flat jets for electronics,» de *Proceedings of the ASME 2025 Heat Transfer Summer Conference*, Westminster,CO, 2025.
- [2] A. R. Dhumal , A. P. Kulkarn y N. H. Ambhore, «A comprehensive review on thermal management of electronic,» *Journal of Engineering and Applied Science*, vol. 70, n° 1, p. 140, 2023.
- [3] M. Ngo, Y. Cao, D. Dong, R. Burgos y K. Nguyen, «Forced air-cooling thermal design Emerging and Selected Topics in Power Electronics,» *IEEE Journal of*, vol. 11, n° 2, p. 2028, 2022.
- [4] C. Garzón, E. Castillo-Orozco, A. Kar y R. Kumar, «Mixing Optimization for Enhanced Thermal Performance in the Dual-Inlet Liquid-Cooled Heat Sink,» *ASME Journal of Thermal Science and Engineering Applications*, p. 12, Octubre 2025.
- [5] K. R. Y. R. K. T. S. B. Aglawe, «Current technologies on electronics cooling and scope for further improvement: a typical review. Optimization in Industrial and Manufacturing Systems and Ap,» *Proceedings of the International Conference on Industrial and Manufacturing Systems (CIMS-2020)*, vol. Cham: Springer International Publishing, pp. 398-408, 2021.
- [6] X. C. Tong, «Advanced materials for thermal management of electronic packaging,» *Springer Science & Business Media.*, vol. 30, 2011.
- [7] R. Yakut, «Determining the cooling performance of the optimized nozzle electrospray cooling system with uniquely designed lattice heat sink,» *International Journal of Thermal Sciences*, n° 109972, p. 26, 2025.
- [8] P. K. Choudhury, A. Davanlou, E. Castillo Orozco y R. Kumar, «Global and Local Measurements and Proper Orthogonal Decomposition of a Swirling Conical Liquid Sheet,» de *Proceedings of the ASME 2016 Fluids Engineering Division, Summer Meeting*, Washington, DC, EUA, 2016.
- [9] S. Shivankar, E. Castillo , A. Miglani y R. Kumar, «The interaction of a droplet with an immiscible deep liquid pool for density ratio greater than unity,» *Phys. Fluids*, vol. 35, n° 112117, p. 11, 2023.

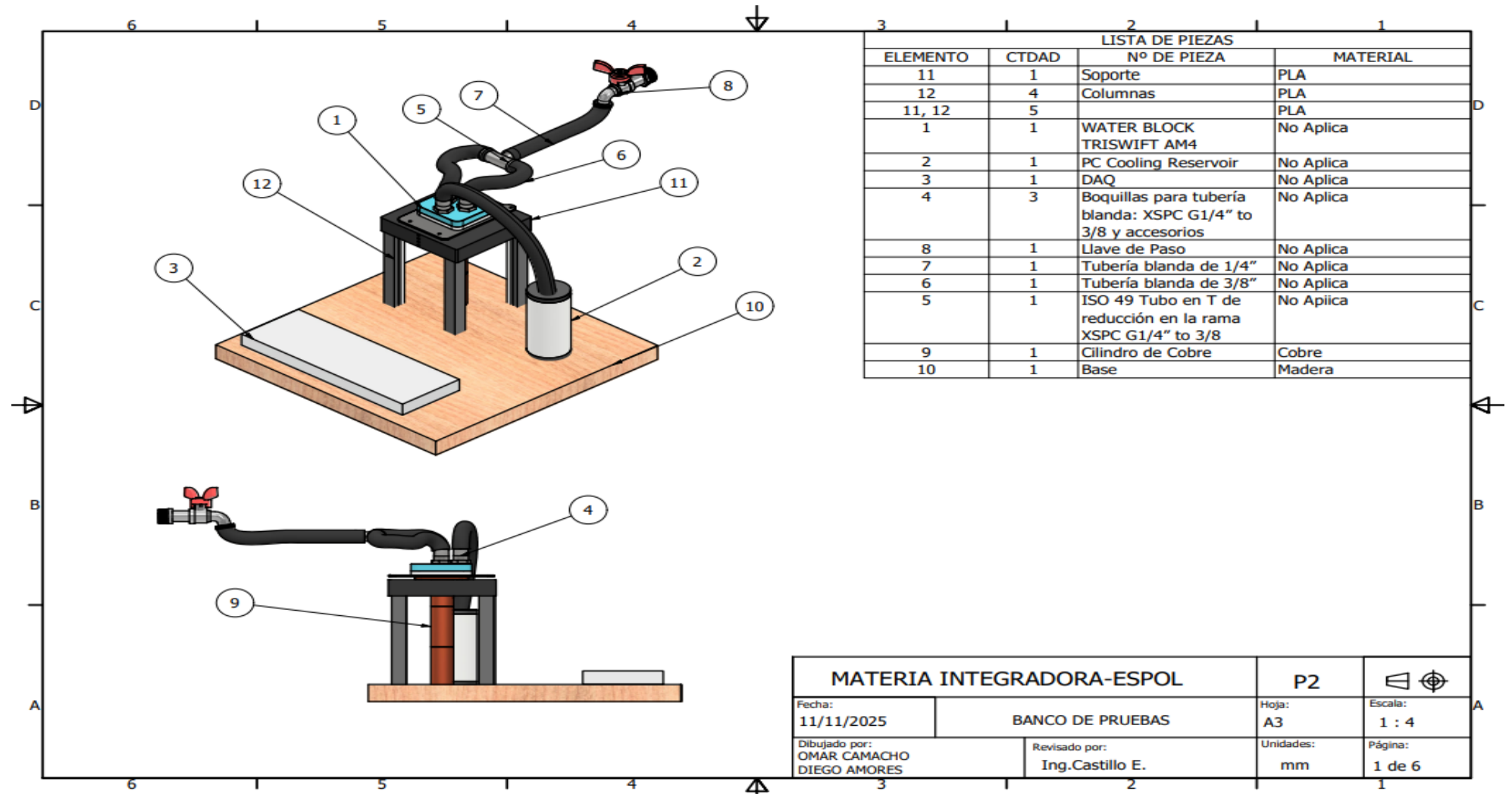
- [10] C. Zhang, H. Wang, Y. Huang, L. Zhang y Y. Chen, «Immersion liquid cooling for electronics: Materials, systems, applications and prospects,» *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, n° 114989, p. 208, 2025.
- [11] E. D. A. C. P. y. K. R. Castillo-Orozco, «On the Impact of Liquid Drops on Immiscible Liquids,» de *Proceedings of the ASME 2016 14th International Conference on Nanochannels, Microchannels, and Minichannels.*, Washington, DC, USA., Julio 10–14, 2016.
- [12] S. Siahchehrehghadikolaei, S. Ghadikolaei, M. Gholinia y G. Ahmadi, «Application of CNTs/H₂O nanofluid and the wavy fin with dimples in thermal management of CPU: A numerical modeling of hybrid passive cooling,» *Numerical Heat Transfer, Part A: Applications*, vol. 18, n° 86, pp. 6545-6562, 2025.
- [13] P. Pathak, E. Castillo-Orozco, R. Kumar, A. Kar y H. J. Cho, «Effect of laser power on conductivity and morphology of silver nanoparticle thin films prepared by a laser assisted electro spray deposition method,» *J. Laser Appl.*, vol. 1, n° 012034, p. 33, 2021.
- [14] J. A. Lazo y R. H. Chen, «Dynamic behavior of Coulombic fissions and shell morphology of evaporating nanofluid droplets,» *International Journal of Heat and Mass Transfer*, n° 126519., p. 239, 2025.
- [15] E. R. K. A. K. Castillo-Orozco, «Thermal response of Bessel beam-heated microdroplets carrying nanoparticles for deposition.,» *J. Laser Appl.*, vol. 1, n° 012043., p. 33, 1 February 2021.
- [16] S. Rangarajan, S. N. Schiffres y B. Sammakia, «A review of recent developments in “on-chip” embedded cooling technologies for heterogeneous integrated applications,» *Engineering*, n° 26, pp. 185-197, 2023.
- [17] L. V. Vajravel, S. K. Swaminathan, S. Baskaran y R. K. Sekar, «Experimental investigations on heat transfer in a new minichannel heat sink,» *International Journal of Thermal Sciences*, n° 140, pp. 144-153, 2019.
- [18] H. Najafi, K. Woodbury y H. Hu, «Thermal Monitoring For Pool Boiling Experiment Using Filter-Based Solution Of Inverse Heat Conduction Problems,» de *Proceedings of the ASME 2025 Heat Transfer Summer Conference HT2025*, Westminster, CO, 2025.
- [19] A. D. Roy y S. K. Dhiman, «Solutions of one-dimensional inverse heat conduction problems: a review,» *Transactions of the Canadian Society for Mechanical Engineering*, vol. 3, n° 47, pp. 271-285, 2023.

- [20] J. V. Beck, B. Blackwell y A. Haji-Sheikh, «Comparison of some inverse heat conduction methods using experimental data,» *International Journal of Heat and Mass Transfer*, vol. 17, n° 39, pp. 3649-3657, 1996.
- [21] Y. I. Espinoza Nieto y C. E. Rodríguez Echeverría, *Construcción de un Disipador de Calor por Enfriamiento Líquido para una Unidad Central de Procesamiento (CPU) y Validación Experimental de su Rendimiento Térmico*, Guayaquil, Ecuador: Escuela Superior Politécnica Del Litoral, 2020.
- [22] R. B. Northrop, *Introduction to Instrumentation and Measurements*, Boca Ratón, FL: CRC Press, 2014, p. 947.
- [23] A. Creus, *Instrumentación Industrial*, España: Alfa Omega, 2010.
- [24] F. P. Incropera y D. P. DeWitt, *Fundamentos de transferencia de calor*, 5th ed., Naucalpán de Juárez, México: Prentice Hall, 1999.

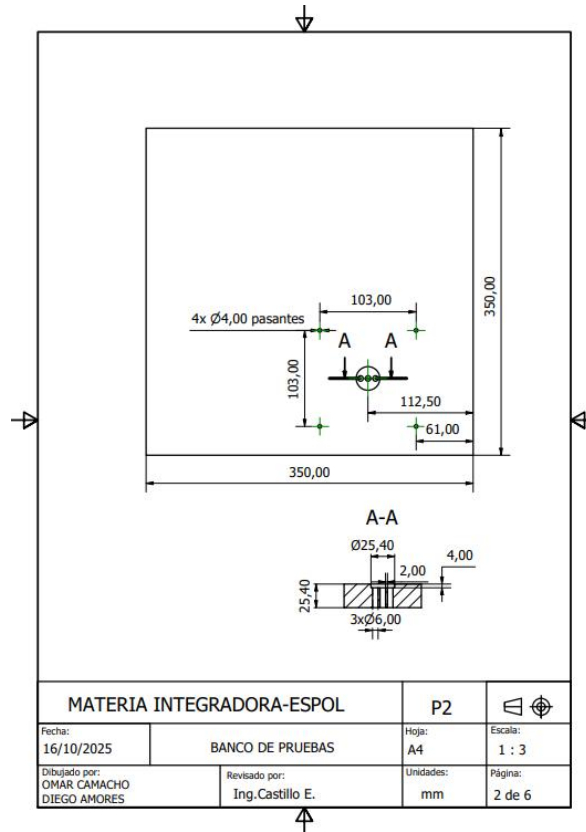
Apéndices

Apéndice A- Plano de Fabricación de banco de pruebas

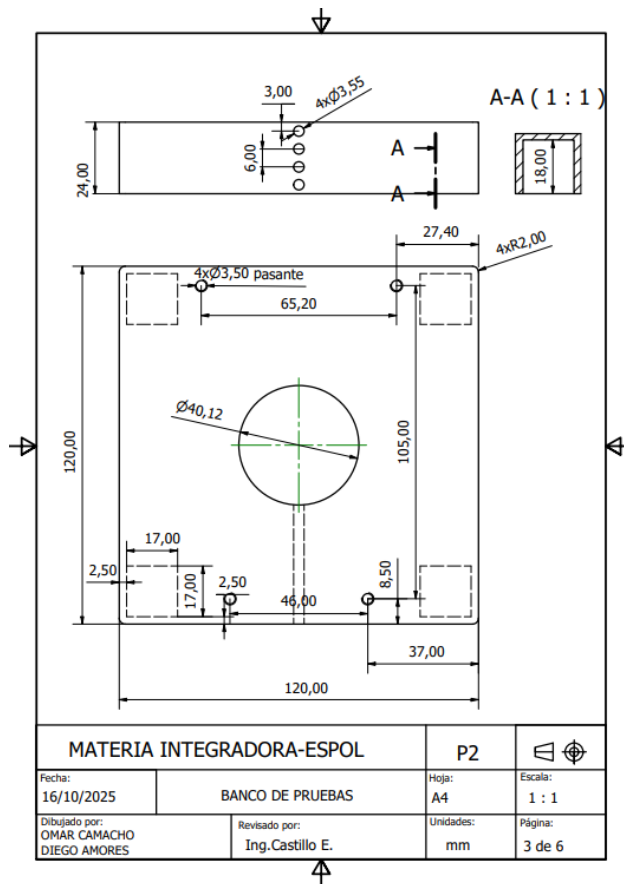
PLANO 1: Plano de Conjunto Armado del Banco De Pruebas



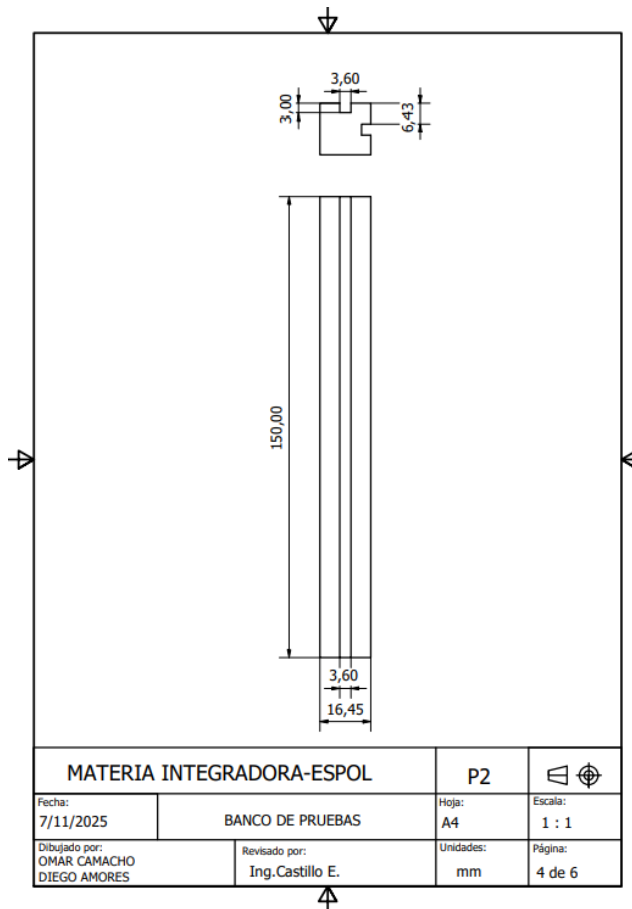
PLANO 2: Plano de Base de Madera



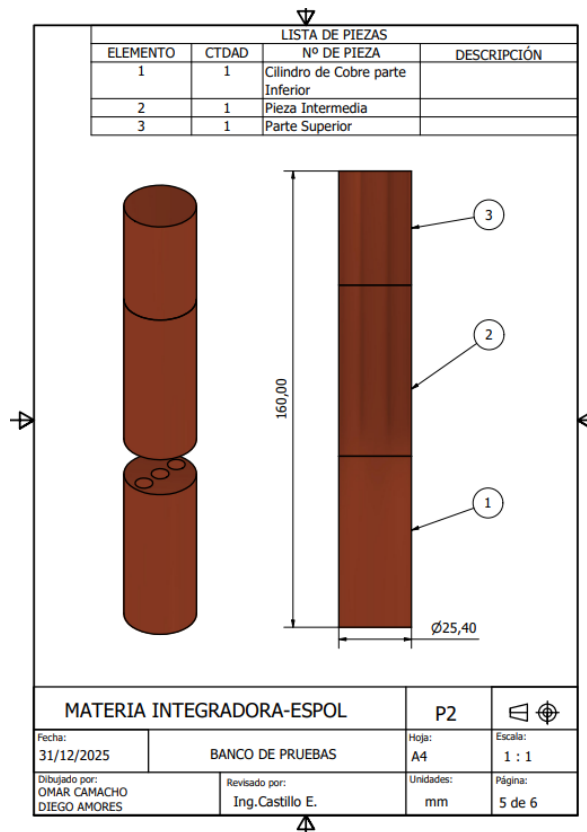
PLANO 3 Plano de Soporte



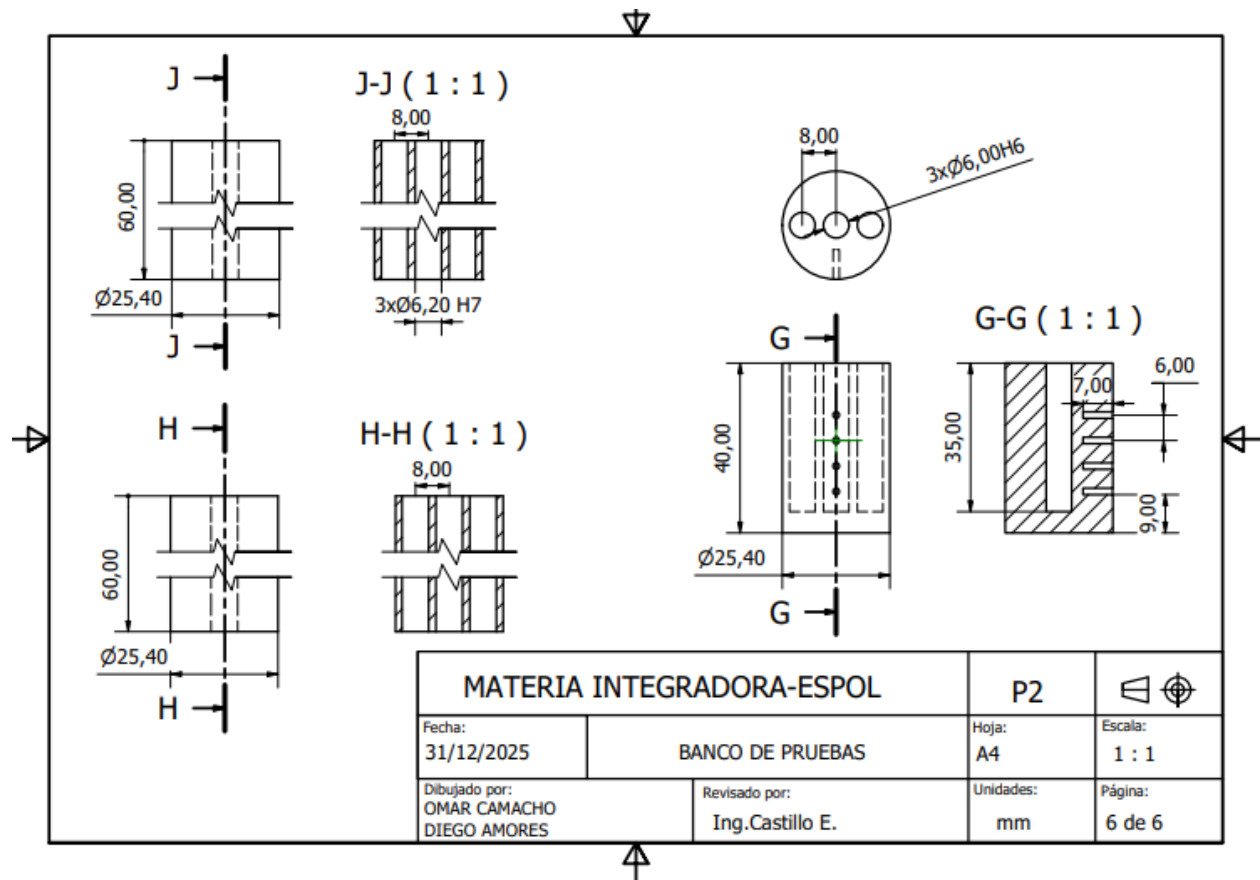
PLANO 4: Plano de Columnas



PLANO 5: Plano de Cilindro



PLANO 6: Plano detalle de secciones del Cilindro de Cobre



Apéndice B - Datos Obtenidos

Datos obtenidos de Experimentación

t (s)	T _{1exp} (°C)	T _{2exp} (°C)	DeltaT (°C)	Flujo de Calor (W/m ²)
0	26,77	26,66	0,12	7797,53
0,5	26,86	26,74	0,12	8079,93
1	26,94	26,80	0,15	9776,93
1,5	27,14	27,04	0,10	6694,73
2	27,24	27,16	0,08	5028,40
2,5	27,33	27,29	0,04	2953,87
3	27,61	27,52	0,10	6377,60
3,5	27,77	27,64	0,13	8795,47
4	27,92	27,78	0,14	9328,27
4,5	28,18	28,09	0,09	6122,93
5	28,32	28,25	0,08	5054,67
5,5	28,44	28,41	0,03	2009,07
6	28,86	28,66	0,19	12897,73
6,5	29,08	28,82	0,26	17319,33
7	29,20	28,98	0,22	14368,13
7,5	29,49	29,39	0,10	6805,33
8	29,65	29,57	0,08	5142,40
8,5	29,81	29,70	0,12	7743,93
9	30,06	29,97	0,09	6206,13
9,5	30,20	30,10	0,09	6236,67
10	30,32	30,25	0,07	4355,67
10,5	30,56	30,63	0,07	4980,93
11	30,67	30,82	0,14	9615,93
11,5	30,81	31,00	0,19	12871,53
12	31,17	31,33	0,17	11176,73
12,5	31,44	31,54	0,10	6573,00
13	31,69	31,62	0,07	4725,67
13,5	32,41	32,08	0,33	22144,80
14	32,70	32,28	0,41	27549,47
14,5	32,95	32,47	0,49	32420,93
15	33,60	33,11	0,49	32903,60
15,5	33,89	33,57	0,33	21683,00
16	34,13	34,06	0,07	4545,53
16,5	34,74	33,66	1,07	71526,07
17	34,96	34,20	0,76	50634,53
17,5	35,20	34,85	0,35	23389,27
18	35,78	35,48	0,31	20425,33
18,5	36,02	35,70	0,31	20812,27
19	36,25	35,88	0,37	24474,87
19,5	37,70	37,60	0,10	6567,20
20	37,71	37,62	0,08	5512,87
20,5	37,71	37,60	0,11	7184,53

21	37,72	37,63	0,09	5715,73
21,5	37,75	37,63	0,11	7622,40
22	37,77	37,64	0,14	9141,07
22,5	37,78	37,66	0,12	7966,13
23	37,79	37,66	0,12	8207,00
23,5	37,83	37,68	0,15	9725,47
24	37,85	37,70	0,15	10205,47
24,5	37,89	37,73	0,16	10403,07
25	37,92	37,77	0,15	10065,93
25,5	37,96	37,77	0,19	12420,47
26	38,00	37,81	0,19	12621,00
26,5	38,04	37,84	0,19	12849,73
27	38,06	37,87	0,20	13071,87
27,5	38,12	37,92	0,20	13141,80
28	38,15	37,95	0,20	13064,33
28,5	38,20	37,99	0,22	14357,53
29	38,26	38,05	0,21	13879,93
29,5	38,31	38,09	0,23	15283,73
30	38,37	38,15	0,22	14836,47
30,5	38,43	38,20	0,23	15416,73
31	38,48	38,23	0,25	16650,27
31,5	38,55	38,29	0,26	17033,93
32	38,60	38,34	0,26	17244,87
32,5	38,67	38,40	0,27	18174,60
33	38,74	38,45	0,28	18924,67
33,5	38,80	38,49	0,30	20144,07
34	38,86	38,55	0,31	20365,40
34,5	38,91	38,61	0,31	20410,93
35	38,98	38,65	0,33	21886,67
35,5	39,04	38,72	0,32	21558,07
36	39,08	38,77	0,31	20426,33
36,5	39,16	38,82	0,33	22296,13
37	39,23	38,89	0,34	22585,33
37,5	39,29	38,94	0,35	23613,87
38	39,36	39,00	0,36	23764,07
38,5	39,44	39,07	0,37	24829,13
39	39,49	39,10	0,39	26236,40
39,5	39,56	39,18	0,38	25334,87
40	39,63	39,27	0,36	23959,47
40,5	39,68	39,29	0,39	26074,47
41	39,76	39,38	0,38	25156,47
41,5	39,83	39,44	0,39	25986,53
42	39,90	39,50	0,40	26680,40
42,5	39,97	39,57	0,40	26690,80
43	40,05	39,64	0,41	27361,33
43,5	40,12	39,72	0,39	26296,27

44	40,19	39,79	0,40	26540,73
44,5	40,28	39,88	0,40	26876,27
45	40,35	39,94	0,41	27307,13
45,5	40,45	40,01	0,43	28979,87
46	40,49	40,08	0,41	27474,87
46,5	40,57	40,16	0,41	27665,93
47	40,66	40,26	0,40	26539,20
47,5	40,75	40,33	0,42	28088,60
48	40,83	40,39	0,44	29376,93
48,5	40,91	40,48	0,43	28632,67
49	40,99	40,57	0,42	27726,73
49,5	41,07	40,67	0,40	26796,60
50	41,16	40,75	0,41	27029,47
50,5	41,24	40,82	0,42	28226,47
51	41,33	40,91	0,43	28618,27
51,5	41,41	41,02	0,39	26027,53
52	41,50	41,09	0,41	27415,40
52,5	41,61	41,16	0,45	29761,87
53	41,70	41,26	0,44	29412,00
53,5	41,78	41,37	0,41	27530,73
54	41,89	41,45	0,44	29164,27
54,5	41,98	41,53	0,44	29451,53
55	42,07	41,65	0,42	27978,87
55,5	42,17	41,72	0,44	29583,07
56	42,29	41,84	0,45	30260,60
56,5	42,38	41,92	0,46	30537,20
57	42,50	42,03	0,46	30963,87
57,5	42,60	42,12	0,48	31957,33
58	42,68	42,21	0,47	31604,13
58,5	42,80	42,31	0,49	32516,07
59	42,92	42,44	0,48	31751,33
59,5	43,02	42,53	0,49	32508,27
60	43,13	42,63	0,50	33093,60
60,5	43,24	42,73	0,51	34119,53
61	43,35	42,85	0,51	33800,53
61,5	43,48	42,97	0,51	33976,27
62	43,58	43,09	0,49	32910,27
62,5	43,70	43,16	0,54	35829,13
63	43,82	43,27	0,55	36687,27
63,5	43,94	43,41	0,53	35421,93
64	44,06	43,51	0,55	36396,00
64,5	44,18	43,62	0,56	37344,80
65	44,29	43,74	0,55	36957,47
65,5	44,42	43,82	0,60	39993,87
66	44,54	43,96	0,58	38605,20
66,5	44,66	44,06	0,60	39971,60

67	44,79	44,20	0,59	39379,27
67,5	44,93	44,29	0,63	42281,87
68	45,05	44,39	0,67	44604,80
68,5	45,17	44,52	0,65	43632,47
69	45,31	44,64	0,66	44238,93
69,5	45,42	44,76	0,66	44226,80
70	45,56	44,87	0,70	46427,07
70,5	45,69	45,00	0,69	45755,60
71	45,82	45,12	0,69	46304,87
71,5	45,95	45,24	0,71	47395,13
72	46,07	45,35	0,71	47656,27
72,5	46,21	45,46	0,75	50294,93
73	46,33	45,60	0,73	48984,13
73,5	46,46	45,71	0,75	49737,73
74	46,57	45,83	0,73	48780,93
74,5	46,71	45,93	0,77	51465,93
75	46,84	46,08	0,76	50791,87
75,5	46,97	46,22	0,75	50096,87
76	47,12	46,34	0,77	51611,73
76,5	47,24	46,47	0,77	51138,87
77	47,37	46,60	0,77	51263,47
77,5	47,51	46,72	0,79	52581,20
78	47,65	46,86	0,79	52739,40
78,5	47,78	46,98	0,80	53548,13
79	47,91	47,11	0,80	53397,53
79,5	48,18	47,35	0,83	55105,13
80	48,29	47,47	0,82	54566,93
80,5	48,42	47,61	0,81	54263,00
81	48,56	47,76	0,80	53201,00
81,5	48,71	47,91	0,80	53603,00
82	48,86	48,05	0,81	53836,27
82,5	48,99	48,19	0,80	53570,13
83	49,14	48,31	0,83	55654,20
83,5	49,28	48,50	0,79	52386,13
84	49,44	48,63	0,81	53887,60
84,5	49,58	48,78	0,81	53766,00
85	49,73	48,94	0,79	52736,60
85,5	49,88	49,05	0,83	55263,80
86	50,03	49,23	0,79	52924,07
86,5	50,15	49,35	0,80	53422,07
87	50,30	49,49	0,80	53371,73
87,5	50,45	49,65	0,81	53783,47
88	50,59	49,78	0,81	53753,27
88,5	50,75	49,95	0,79	52871,47
89	50,88	50,07	0,81	53792,60
89,5	51,03	50,23	0,80	53320,13

90	51,18	50,38	0,80	53225,20
90,5	51,34	50,52	0,82	54390,07
91	51,50	50,68	0,82	54555,47
91,5	51,65	50,81	0,84	55782,47
92	51,82	50,98	0,84	55835,87
92,5	51,98	51,10	0,87	58292,87
93	52,13	51,28	0,85	56820,07
93,5	52,26	51,39	0,87	58144,33
94	52,43	51,54	0,89	59339,00
94,5	52,58	51,70	0,88	58354,80
95	52,73	51,85	0,87	58098,00
95,5	52,90	52,00	0,90	59848,47
96	53,03	52,11	0,92	61359,07
96,5	53,17	52,27	0,90	59840,40
97	53,32	52,41	0,91	60355,93
97,5	53,46	52,55	0,91	60884,73
98	53,60	52,68	0,92	61245,67
98,5	53,74	52,84	0,91	60615,80
99	53,89	52,95	0,93	62082,40
99,5	54,04	53,10	0,93	62276,80
100	54,18	53,24	0,93	62249,40
100,5	54,34	53,39	0,95	63464,47
101	54,47	53,53	0,94	62412,07
101,5	54,60	53,66	0,95	63144,27
102	54,75	53,81	0,94	62663,60
102,5	54,91	53,94	0,97	64726,07
103	55,06	54,07	0,99	66002,33
103,5	55,21	54,21	1,00	66539,07
104	55,37	54,39	0,98	65531,67
104,5	55,52	54,50	1,02	68068,20
105	55,68	54,63	1,05	70284,60
105,5	55,83	54,79	1,04	69337,53
106	55,98	54,91	1,07	71472,73
106,5	56,14	55,05	1,09	72684,93
107	56,30	55,20	1,10	73577,60
107,5	56,44	55,33	1,11	74004,53
108	56,59	55,47	1,12	74499,47
108,5	56,73	55,59	1,14	75922,07
109	56,88	55,75	1,13	75170,13
109,5	57,02	55,88	1,14	76031,80
110	57,15	56,03	1,12	74878,80
110,5	57,33	56,14	1,19	79492,27
111	57,47	56,30	1,17	78227,20
111,5	57,60	56,45	1,15	76391,00
112	57,76	56,59	1,17	78259,60
112,5	57,90	56,72	1,18	78751,13

113	58,04	56,86	1,18	78404,00
113,5	58,18	57,02	1,16	77378,60
114	58,32	57,15	1,17	78207,80
114,5	58,45	57,29	1,16	77331,93
115	58,61	57,43	1,18	78433,40
115,5	58,74	57,58	1,16	77138,20
116	58,87	57,72	1,15	76559,80
116,5	59,03	57,88	1,15	76700,20
117	59,17	58,00	1,17	77683,13
117,5	59,31	58,17	1,14	76155,20
118	59,47	58,29	1,17	78256,13
118,5	59,61	58,44	1,16	77565,60
119	59,74	58,59	1,15	76881,00
119,5	59,89	58,72	1,17	77980,93
120	60,04	58,87	1,16	77569,87
120,5	60,17	59,01	1,16	77388,60
121	60,32	59,16	1,16	77534,00
121,5	60,47	59,30	1,17	78250,93
122	60,64	59,46	1,19	79141,53
122,5	60,79	59,62	1,17	77941,93
123	60,90	59,79	1,11	73706,33
123,5	61,06	59,95	1,10	73534,40
124	61,20	60,14	1,06	70878,33
124,5	61,37	60,32	1,05	69971,53
125	61,53	60,50	1,03	68570,13
125,5	61,71	60,64	1,08	71775,93
126	61,89	60,82	1,07	71415,33
126,5	62,07	60,99	1,09	72586,07
127	62,24	61,13	1,11	74220,67
127,5	62,40	61,30	1,10	73261,93
128	62,56	61,47	1,09	72413,47
128,5	62,71	61,63	1,08	71889,47
129	62,91	61,78	1,12	74903,33
129,5	63,08	61,95	1,14	75862,47
130	63,27	62,13	1,14	75769,93
130,5	63,43	62,29	1,14	75752,40
131	63,59	62,45	1,14	76091,33
131,5	63,76	62,59	1,16	77481,53
132	63,93	62,77	1,16	77399,47
132,5	64,09	62,93	1,15	76830,73
133	64,26	63,09	1,17	77713,27
133,5	64,32	63,24	1,09	72371,47
134	64,43	63,35	1,08	72006,93
134,5	64,51	63,50	1,01	67126,47
135	64,69	63,63	1,07	71144,27
135,5	64,83	63,77	1,06	70990,13

136	64,97	63,93	1,04	69496,67
136,5	65,17	64,10	1,07	71074,80
137	65,33	64,26	1,07	71449,67
137,5	65,50	64,42	1,08	71982,73
138	65,66	64,58	1,08	72107,40
138,5	65,86	64,75	1,11	74203,20
139	66,04	64,91	1,13	75255,80
139,5	66,37	65,21	1,16	77370,00
140	66,49	65,34	1,16	77015,73
140,5	66,64	65,47	1,17	78148,27
141	66,79	65,60	1,18	78987,60
141,5	66,95	65,73	1,22	81340,00
142	67,04	65,88	1,16	77097,60
142,5	67,20	66,03	1,17	77715,13
143	67,32	66,16	1,16	77555,73
143,5	67,46	66,28	1,17	78266,40
144	67,54	66,41	1,14	75753,13
144,5	67,67	66,52	1,15	76790,33
145	67,79	66,63	1,16	77413,12
145,5	67,91	66,74	1,17	78034,84
146	68,04	66,86	1,18	78655,48
146,5	68,16	66,97	1,19	79275,05
147	68,28	67,08	1,20	79893,55
147,5	68,40	67,19	1,21	80510,98
148	68,52	67,30	1,22	81127,33
148,5	68,64	67,41	1,23	81742,61
149	68,76	67,52	1,24	82356,82
149,5	68,88	67,63	1,24	82969,95
150	69,00	67,74	1,25	83582,01
150,5	69,12	67,85	1,26	84193,00
151	69,23	67,96	1,27	84802,92
151,5	69,35	68,07	1,28	85411,76
152	69,47	68,18	1,29	86019,53
152,5	69,59	68,29	1,30	86626,23
153	69,71	68,40	1,31	87231,85
153,5	69,83	68,51	1,32	87836,40
154	69,94	68,62	1,33	88439,88
154,5	70,06	68,73	1,34	89042,29
155	70,18	68,83	1,34	89643,62
155,5	70,30	68,94	1,35	90243,88
156	70,41	69,05	1,36	90843,07
156,5	70,53	69,16	1,37	91441,18
157	70,65	69,27	1,38	92038,23
157,5	70,76	69,37	1,39	92634,19
158	70,88	69,48	1,40	93229,09
158,5	70,99	69,59	1,41	93822,91

159	71,11	69,69	1,42	94415,66
159,5	71,23	69,80	1,43	95007,34
160	71,34	69,91	1,43	95597,94
160,5	71,46	70,01	1,44	96187,48
161	71,57	70,12	1,45	96775,94
161,5	71,69	70,23	1,46	97363,32
162	71,80	70,33	1,47	97949,63
162,5	71,91	70,44	1,48	98534,87
163	72,03	70,54	1,49	99119,04
163,5	72,14	70,65	1,50	99702,14
164	72,26	70,75	1,50	100284,16
164,5	72,37	70,86	1,51	100865,11
165	72,48	70,96	1,52	101444,98
165,5	72,59	71,06	1,53	102023,79
166	72,71	71,17	1,54	102601,52
166,5	72,82	71,27	1,55	103178,17
167	72,93	71,38	1,56	103753,76
167,5	73,04	71,48	1,56	104328,27
168	73,16	71,58	1,57	104901,71
168,5	73,27	71,69	1,58	105474,08
169	73,38	71,79	1,59	106045,37
169,5	73,49	71,89	1,60	106615,59
170	73,60	71,99	1,61	107184,74
170,5	73,71	72,10	1,62	107752,81
171	73,82	72,20	1,62	108319,81
171,5	73,93	72,30	1,63	108885,74
172	74,04	72,40	1,64	109450,60
172,5	74,15	72,50	1,65	110014,38
173	74,26	72,60	1,66	110577,09
173,5	74,37	72,71	1,67	111138,73
174	74,48	72,81	1,68	111699,29
174,5	74,59	72,91	1,68	112258,79
175	74,70	73,01	1,69	112817,20
175,5	74,81	73,11	1,70	113374,55
176	74,92	73,21	1,71	113930,82
176,5	75,03	73,31	1,72	114486,02
177	75,13	73,41	1,73	115040,15
177,5	75,24	73,51	1,73	115593,21
178	75,35	73,61	1,74	116145,19
178,5	75,46	73,71	1,75	116696,10
179	75,56	73,81	1,76	117245,93
179,5	75,67	73,90	1,77	117794,70
180	75,78	74,00	1,78	118342,39
180,5	75,89	74,10	1,78	118889,00
181	75,99	74,20	1,79	119434,55
181,5	76,10	74,30	1,80	119979,02

182	76,20	74,40	1,81	120522,42
182,5	76,31	74,49	1,82	121064,75
183	76,42	74,59	1,82	121606,00
183,5	76,52	74,69	1,83	122146,18
184	76,63	74,79	1,84	122685,29
184,5	76,73	74,88	1,85	123223,32
185	76,84	74,98	1,86	123760,29
185,5	76,94	75,08	1,86	124296,17
186	77,04	75,17	1,87	124830,99
186,5	77,15	75,27	1,88	125364,73
187	77,25	75,36	1,89	125897,40
187,5	77,36	75,46	1,90	126429,00
188	77,46	75,56	1,90	126959,53
188,5	77,56	75,65	1,91	127488,98
189	77,67	75,75	1,92	128017,36
189,5	77,77	75,84	1,93	128544,66
190	77,87	75,94	1,94	129070,90
190,5	77,97	76,03	1,94	129596,06
191	78,08	76,12	1,95	130120,15
191,5	78,18	76,22	1,96	130643,16
192	78,28	76,31	1,97	131165,10
192,5	78,38	76,41	1,98	131685,97
193	78,48	76,50	1,98	132205,77
193,5	78,58	76,59	1,99	132724,49
194	78,69	76,69	2,00	133242,14
194,5	78,79	76,78	2,01	133758,72
195	78,89	76,87	2,01	134274,23
195,5	78,99	76,97	2,02	134788,66
196	79,09	77,06	2,03	135302,02
196,5	79,19	77,15	2,04	135814,30
197	79,29	77,24	2,04	136325,52
197,5	79,39	77,33	2,05	136835,66
198	79,49	77,43	2,06	137344,73
198,5	79,59	77,52	2,07	137852,72
199	79,68	77,61	2,08	138359,64
199,5	79,78	77,70	2,08	138865,49
200	79,88	77,79	2,09	139370,27
200,5	79,98	77,88	2,10	139873,97
201	80,08	77,97	2,11	140376,60
201,5	80,18	78,06	2,11	140878,16
202	80,27	78,15	2,12	141378,65
202,5	80,37	78,24	2,13	141878,06
203	80,47	78,33	2,14	142376,40
203,5	80,56	78,42	2,14	142873,66
204	80,66	78,51	2,15	143369,86
204,5	80,76	78,60	2,16	143864,98

205	80,85	78,69	2,17	144359,03
205,5	80,95	78,78	2,17	144852,00
206	81,05	78,87	2,18	145343,90
206,5	81,14	78,95	2,19	145834,73
207	81,24	79,04	2,19	146324,49
207,5	81,33	79,13	2,20	146813,17
208	81,43	79,22	2,21	147300,78
208,5	81,52	79,31	2,22	147787,32
209	81,62	79,39	2,22	148272,79
209,5	81,71	79,48	2,23	148757,18
210	81,81	79,57	2,24	149240,50
210,5	81,90	79,66	2,25	149722,74
211	81,99	79,74	2,25	150203,92
211,5	82,09	79,83	2,26	150684,02
212	82,18	79,91	2,27	151163,05
212,5	82,28	80,00	2,27	151641,00
213	82,37	80,09	2,28	152117,88
213,5	82,46	80,17	2,29	152593,69
214	82,55	80,26	2,30	153068,43
214,5	82,65	80,34	2,30	153542,09
215	82,74	80,43	2,31	154014,68
215,5	82,83	80,51	2,32	154486,20
216	82,92	80,60	2,32	154956,65
216,5	83,01	80,68	2,33	155426,02
217	83,11	80,77	2,34	155894,32
217,5	83,20	80,85	2,35	156361,55
218	83,29	80,93	2,35	156827,70
218,5	83,38	81,02	2,36	157292,78
219	83,47	81,10	2,37	157756,79
219,5	83,56	81,19	2,37	158219,72
220	83,65	81,27	2,38	158681,59
220,5	83,74	81,35	2,39	159142,38
221	83,83	81,43	2,39	159602,09
221,5	83,92	81,52	2,40	160060,74
222	84,01	81,60	2,41	160518,31
222,5	84,10	81,68	2,41	160974,81
223	84,19	81,76	2,42	161430,23
223,5	84,27	81,85	2,43	161884,58
224	84,36	81,93	2,44	162337,86
224,5	84,45	82,01	2,44	162790,07
225	84,54	82,09	2,45	163241,20
225,5	84,63	82,17	2,46	163691,26
226	84,71	82,25	2,46	164140,25
226,5	84,80	82,33	2,47	164588,17
227	84,89	82,41	2,48	165035,01
227,5	84,98	82,49	2,48	165480,78

228	85,06	82,57	2,49	165925,48
228,5	85,15	82,65	2,50	166369,10
229	85,24	82,73	2,50	166811,65
229,5	85,32	82,81	2,51	167253,13
230	85,41	82,89	2,52	167693,54
230,5	85,49	82,97	2,52	168132,87
231	85,58	83,05	2,53	168571,13
231,5	85,66	83,13	2,54	169008,31
232	85,75	83,21	2,54	169444,43
232,5	85,83	83,29	2,55	169879,47
233	85,92	83,36	2,55	170313,44
233,5	86,00	83,44	2,56	170746,33
234	86,09	83,52	2,57	171178,16
234,5	86,17	83,60	2,57	171608,91
235	86,25	83,67	2,58	172038,58
235,5	86,34	83,75	2,59	172467,19
236	86,42	83,83	2,59	172894,72
236,5	86,51	83,91	2,60	173321,18
237	86,59	83,98	2,61	173746,56
237,5	86,67	84,06	2,61	174170,87
238	86,75	84,13	2,62	174594,11
238,5	86,84	84,21	2,63	175016,28
239	86,92	84,29	2,63	175437,37
239,5	87,00	84,36	2,64	175857,40
240	87,08	84,44	2,64	176276,34
240,5	87,16	84,51	2,65	176694,22
241	87,24	84,59	2,66	177111,02
241,5	87,33	84,66	2,66	177526,75
242	87,41	84,74	2,67	177941,41
242,5	87,49	84,81	2,68	178354,99
243	87,57	84,89	2,68	178767,50
243,5	87,65	84,96	2,69	179178,94
244	87,73	85,03	2,69	179589,31
244,5	87,81	85,11	2,70	179998,60
245	87,89	85,18	2,71	180406,82
245,5	87,97	85,25	2,71	180813,97
246	88,05	85,33	2,72	181220,04
246,5	88,13	85,40	2,72	181625,04
247	88,20	85,47	2,73	182028,97
247,5	88,28	85,55	2,74	182431,83
248	88,36	85,62	2,74	182833,61
248,5	88,44	85,69	2,75	183234,32
249	88,52	85,76	2,75	183633,96
249,5	88,59	85,83	2,76	184032,52
250	88,67	85,91	2,77	184430,01
250,5	88,75	85,98	2,77	184826,43

251	88,83	86,05	2,78	185221,78
251,5	88,90	86,12	2,78	185616,05
252	88,98	86,19	2,79	186009,25
252,5	89,06	86,26	2,80	186401,38
253	89,13	86,33	2,80	186792,43
253,5	89,21	86,40	2,81	187182,41
254	89,29	86,47	2,81	187571,32
254,5	89,36	86,54	2,82	187959,16
255	89,44	86,61	2,83	188345,92
255,5	89,51	86,68	2,83	188731,61
256	89,59	86,75	2,84	189116,23
256,5	89,66	86,82	2,84	189499,77
257	89,74	86,89	2,85	189882,24
257,5	89,81	86,96	2,85	190263,64
258	89,88	87,03	2,86	190643,97
258,5	89,96	87,09	2,87	191023,22
259	90,03	87,16	2,87	191401,40
259,5	90,11	87,23	2,88	191778,51
260	90,18	87,30	2,88	192154,54
260,5	90,25	87,36	2,89	192529,50
261	90,33	87,43	2,89	192903,39
261,5	90,40	87,50	2,90	193276,21
262	90,47	87,57	2,90	193647,95
262,5	90,54	87,63	2,91	194018,62
263	90,62	87,70	2,92	194388,22
263,5	90,69	87,77	2,92	194756,74
264	90,76	87,83	2,93	195124,19
264,5	90,83	87,90	2,93	195490,57
265	90,90	87,96	2,94	195855,88
265,5	90,97	88,03	2,94	196220,11
266	91,04	88,09	2,95	196583,27
266,5	91,11	88,16	2,95	196945,36
267	91,18	88,22	2,96	197306,37
267,5	91,25	88,29	2,96	197666,31
268	91,32	88,35	2,97	198025,18
268,5	91,39	88,42	2,98	198382,98
269	91,46	88,48	2,98	198739,70
269,5	91,53	88,55	2,99	199095,35
270	91,60	88,61	2,99	199449,93
270,5	91,67	88,67	3,00	199803,43
271	91,74	88,74	3,00	200155,86
271,5	91,81	88,80	3,01	200507,22
272	91,88	88,86	3,01	200857,51
272,5	91,95	88,93	3,02	201206,72
273	92,01	88,99	3,02	201554,86
273,5	92,08	89,05	3,03	201901,93

274	92,15	89,11	3,03	202247,92
274,5	92,22	89,18	3,04	202592,84
275	92,28	89,24	3,04	202936,69
275,5	92,35	89,30	3,05	203279,47
276	92,42	89,36	3,05	203621,17
276,5	92,48	89,42	3,06	203961,80
277	92,55	89,48	3,06	204301,36
277,5	92,62	89,55	3,07	204639,84
278	92,68	89,61	3,07	204977,26
278,5	92,75	89,67	3,08	205313,59
279	92,81	89,73	3,08	205648,86
279,5	92,88	89,79	3,09	205983,05
280	92,94	89,85	3,09	206316,17
280,5	93,01	89,91	3,10	206648,22
281	93,07	89,97	3,10	206979,20
281,5	93,14	90,03	3,11	207309,10
282	93,20	90,09	3,11	207637,93
282,5	93,26	90,14	3,12	207965,68
283	93,33	90,20	3,12	208292,37
283,5	93,39	90,26	3,13	208617,98
284	93,45	90,32	3,13	208942,51
284,5	93,52	90,38	3,14	209265,98
285	93,58	90,44	3,14	209588,37
285,5	93,64	90,49	3,15	209909,69
286	93,71	90,55	3,15	210229,93
286,5	93,77	90,61	3,16	210549,11
287	93,83	90,67	3,16	210867,21
287,5	93,89	90,72	3,17	211184,24
288	93,95	90,78	3,17	211500,19
288,5	94,02	90,84	3,18	211815,07
289	94,08	90,89	3,18	212128,88
289,5	94,14	90,95	3,19	212441,62
290	94,20	91,01	3,19	212753,28
290,5	94,26	91,06	3,20	213063,87
291	94,32	91,12	3,20	213373,39
291,5	94,38	91,17	3,21	213681,83
292	94,44	91,23	3,21	213989,20
292,5	94,50	91,28	3,21	214295,50
293	94,56	91,34	3,22	214600,73
293,5	94,62	91,39	3,22	214904,88
294	94,68	91,45	3,23	215207,96
294,5	94,74	91,50	3,23	215509,97
295	94,79	91,56	3,24	215810,91
295,5	94,85	91,61	3,24	216110,77
296	94,91	91,67	3,25	216409,56
296,5	94,97	91,72	3,25	216707,27

297	95,03	91,77	3,26	217003,92
297,5	95,09	91,83	3,26	217299,49
298	95,14	91,88	3,26	217593,98
298,5	95,20	91,93	3,27	217887,41
299	95,26	91,98	3,27	218179,76
299,5	95,31	92,04	3,28	218471,04
300	95,37	92,09	3,28	218761,25
300,5	95,43	92,14	3,29	219050,38
301	95,48	92,19	3,29	219338,44
301,5	95,54	92,24	3,29	219625,43
302	95,59	92,30	3,30	219911,34
302,5	95,65	92,35	3,30	220196,18
303	95,71	92,40	3,31	220479,95
303,5	95,76	92,45	3,31	220762,65
304	95,82	92,50	3,32	221044,27
304,5	95,87	92,55	3,32	221324,82
305	95,93	92,60	3,32	221604,30
305,5	95,98	92,65	3,33	221882,71
306	96,03	92,70	3,33	222160,04
306,5	96,09	92,75	3,34	222436,30
307	96,14	92,80	3,34	222711,48
307,5	96,19	92,85	3,34	222985,60
308	96,25	92,90	3,35	223258,64
308,5	96,30	92,95	3,35	223530,61
309	96,35	93,00	3,36	223801,50
309,5	96,41	93,05	3,36	224071,32
310	96,46	93,09	3,37	224340,07
310,5	96,51	93,14	3,37	224607,75
311	96,56	93,19	3,37	224874,35
311,5	96,61	93,24	3,38	225139,88
312	96,67	93,29	3,38	225404,34
312,5	96,72	93,33	3,39	225667,72
313	96,77	93,38	3,39	225930,04
313,5	96,82	93,43	3,39	226191,28
314	96,87	93,47	3,40	226451,44
314,5	96,92	93,52	3,40	226710,54
315	96,97	93,57	3,40	226968,56
315,5	97,02	93,61	3,41	227225,50
316	97,07	93,66	3,41	227481,38
316,5	97,12	93,71	3,42	227736,18
317	97,17	93,75	3,42	227989,91
317,5	97,22	93,80	3,42	228242,57
318	97,27	93,84	3,43	228494,15
318,5	97,32	93,89	3,43	228744,66
319	97,37	93,93	3,43	228994,10
319,5	97,42	93,98	3,44	229242,46

320	97,46	94,02	3,44	229489,76
320,5	97,51	94,07	3,45	229735,98
321	97,56	94,11	3,45	229981,12
321,5	97,61	94,15	3,45	230225,20
322	97,65	94,20	3,46	230468,20
322,5	97,70	94,24	3,46	230710,12
323	97,75	94,28	3,46	230950,98
323,5	97,80	94,33	3,47	231190,76
324	97,84	94,37	3,47	231429,47
324,5	97,89	94,41	3,48	231667,11
325	97,93	94,46	3,48	231903,67
325,5	97,98	94,50	3,48	232139,16
326	98,03	94,54	3,49	232373,58
326,5	98,07	94,58	3,49	232606,93
327	98,12	94,62	3,49	232839,20
327,5	98,16	94,67	3,50	233070,40
328	98,21	94,71	3,50	233300,52
328,5	98,25	94,75	3,50	233529,58
329	98,30	94,79	3,51	233757,56
329,5	98,34	94,83	3,51	233984,47
330	98,38	94,87	3,51	234210,30
330,5	98,43	94,91	3,52	234435,06
331	98,47	94,95	3,52	234658,75
331,5	98,52	94,99	3,52	234881,37
332	98,56	95,03	3,53	235102,91
332,5	98,60	95,07	3,53	235323,38
333	98,64	95,11	3,53	235542,78
333,5	98,69	95,15	3,54	235761,11
334	98,73	95,19	3,54	235978,36
334,5	98,77	95,23	3,54	236194,54
335	98,81	95,27	3,55	236409,65
335,5	98,86	95,31	3,55	236623,68
336	98,90	95,34	3,55	236836,64
336,5	98,94	95,38	3,56	237048,53
337	98,98	95,42	3,56	237259,34
337,5	99,02	95,46	3,56	237469,09
338	99,06	95,50	3,57	237677,76
338,5	99,10	95,53	3,57	237885,35
339	99,14	95,57	3,57	238091,88
339,5	99,18	95,61	3,57	238297,33
340	99,22	95,64	3,58	238501,71
340,5	99,26	95,68	3,58	238705,01
341	99,30	95,72	3,58	238907,24
341,5	99,34	95,75	3,59	239108,40
342	99,38	95,79	3,59	239308,49
342,5	99,42	95,83	3,59	239507,50

343	99,46	95,86	3,60	239705,44
343,5	99,50	95,90	3,60	239902,31
344	99,53	95,93	3,60	240098,11
344,5	99,57	95,97	3,60	240292,83
345	99,61	96,00	3,61	240486,48
345,5	99,65	96,04	3,61	240679,06
346	99,68	96,07	3,61	240870,56
346,5	99,72	96,11	3,62	241060,99
347	99,76	96,14	3,62	241250,35
347,5	99,79	96,17	3,62	241438,63
348	99,83	96,21	3,62	241625,85
348,5	99,87	96,24	3,63	241811,99
349	99,90	96,27	3,63	241997,05
349,5	99,94	96,31	3,63	242181,05
350	99,98	96,34	3,64	242363,97
350,5	100,01	96,37	3,64	242545,82
351	100,05	96,41	3,64	242726,59
351,5	100,08	96,44	3,64	242906,30
352	100,12	96,47	3,65	243084,92
352,5	100,15	96,50	3,65	243262,48
353	100,19	96,53	3,65	243438,97
353,5	100,22	96,57	3,65	243614,38
354	100,25	96,60	3,66	243788,72
354,5	100,29	96,63	3,66	243961,98
355	100,32	96,66	3,66	244134,17
355,5	100,35	96,69	3,66	244305,29
356	100,39	96,72	3,67	244475,34
356,5	100,42	96,75	3,67	244644,31
357	100,45	96,78	3,67	244812,22
357,5	100,49	96,81	3,67	244979,04
358	100,52	96,84	3,68	245144,80
358,5	100,55	96,87	3,68	245309,48
359	100,58	96,90	3,68	245473,09
359,5	100,61	96,93	3,68	245635,63
360	100,65	96,96	3,69	245797,09
360,5	100,68	96,99	3,69	245957,48
361	100,71	97,02	3,69	246116,80
361,5	100,74	97,04	3,69	246275,05
362	100,77	97,07	3,70	246432,22
362,5	100,80	97,10	3,70	246588,32
363	100,83	97,13	3,70	246743,35
363,5	100,86	97,16	3,70	246897,30
364	100,89	97,18	3,71	247050,18
364,5	100,92	97,21	3,71	247201,99
365	100,95	97,24	3,71	247352,73
365,5	100,98	97,27	3,71	247502,39

366	101,01	97,29	3,71	247650,98
366,5	101,04	97,32	3,72	247798,50
367	101,06	97,35	3,72	247944,94
367,5	101,09	97,37	3,72	248090,31
368	101,12	97,40	3,72	248234,61
368,5	101,15	97,42	3,73	248377,84
369	101,18	97,45	3,73	248519,99
369,5	101,20	97,47	3,73	248661,07
370	101,23	97,50	3,73	248801,08
370,5	101,26	97,52	3,73	248940,01
371	101,29	97,55	3,74	249077,87
371,5	101,31	97,57	3,74	249214,66
372	101,34	97,60	3,74	249350,38
372,5	101,36	97,62	3,74	249485,02
373	101,39	97,65	3,74	249618,59
373,5	101,42	97,67	3,75	249751,08
374	101,44	97,69	3,75	249882,51
374,5	101,47	97,72	3,75	250012,86
375	101,49	97,74	3,75	250142,14
375,5	101,52	97,76	3,75	250270,34
376	101,54	97,79	3,76	250397,48
376,5	101,57	97,81	3,76	250523,54
377	101,59	97,83	3,76	250648,52
377,5	101,62	97,85	3,76	250772,44
378	101,64	97,88	3,76	250895,28
378,5	101,66	97,90	3,77	251017,05
379	101,69	97,92	3,77	251137,74
379,5	101,71	97,94	3,77	251257,37
380	101,73	97,96	3,77	251375,92
380,5	101,76	97,98	3,77	251493,39
381	101,78	98,01	3,77	251609,80
381,5	101,80	98,03	3,78	251725,13
382	101,82	98,05	3,78	251839,39
382,5	101,85	98,07	3,78	251952,58
383	101,87	98,09	3,78	252064,69
383,5	101,89	98,11	3,78	252175,73
384	101,91	98,13	3,78	252285,70
384,5	101,93	98,15	3,79	252394,59
385	101,95	98,17	3,79	252502,41
385,5	101,97	98,19	3,79	252609,16
386	101,99	98,20	3,79	252714,84
386,5	102,02	98,22	3,79	252819,44
387	102,04	98,24	3,79	252922,97
387,5	102,06	98,26	3,80	253025,43
388	102,08	98,28	3,80	253126,81
388,5	102,09	98,30	3,80	253227,12

389	102,11	98,31	3,80	253326,36
389,5	102,13	98,33	3,75	250000,00
390	102,15	98,35	3,80	253333,33
390,5	102,17	98,37	3,82	254666,67
391	102,19	98,38	3,84	256000,00
391,5	102,21	98,40	3,86	257333,33
392	102,23	98,42	3,88	258666,67
392,5	102,24	98,43	3,90	260000,00
393	102,26	98,45	3,92	261333,33
393,5	102,28	98,47	3,94	262666,67
394	102,30	98,48	3,96	264000,00
394,5	102,31	98,50	3,98	265333,33
395	102,33	98,51	3,99	266000,00
395,5	102,35	98,53	4,00	266666,67
396	102,36	98,54	4,02	268000,00
396,5	102,38	98,56	4,04	269333,33
397	102,40	98,57	4,06	270666,67
397,5	102,41	98,59	4,08	272000,00
398	102,43	98,60	4,10	273333,33
398,5	102,44	98,62	4,12	274666,67
399	102,46	98,63	4,14	276000,00
399,5	102,47	98,64	4,16	277333,33
400	102,49	98,66	4,18	278666,67
400,5	102,50	98,67	4,20	280000,00
401	102,52	98,69	4,20	280000,00
401,5	102,53	98,70	4,20	280066,67
402	102,54	98,71	4,20	280133,33
402,5	102,56	98,72	4,20	280200,00
403	102,57	98,74	4,20	280266,67
403,5	102,58	98,75	4,21	280333,33
404	102,60	98,76	4,21	280400,00
404,5	102,61	98,77	4,21	280466,67
405	102,62	98,78	4,21	280533,33
405,5	102,64	98,80	4,21	280600,00
406	102,65	98,81	4,21	280666,67
406,5	102,66	98,82	4,21	280733,33
407	102,67	98,83	4,21	280800,00
407,5	102,68	98,84	4,21	280866,67
408	102,69	98,85	4,21	280933,33
408,5	102,71	98,86	4,21	281000,00
409	102,72	98,87	4,22	281066,67
409,5	102,73	98,88	4,22	281133,33
410	102,74	98,89	4,22	281200,00
410,5	102,75	98,90	4,22	281266,67
411	102,76	98,91	4,22	281333,33
411,5	102,77	98,92	4,22	281400,00

412	102,78	98,93	4,22	281466,67
412,5	102,79	98,94	4,22	281533,33
413	102,80	98,94	4,22	281600,00
413,5	102,81	98,95	4,22	281666,67
414	102,82	98,96	4,23	281733,33
414,5	102,82	98,97	4,23	281800,00
415	102,83	98,98	4,23	281866,67
415,5	102,84	98,99	4,23	281933,33
416	102,85	98,99	4,23	282000,00
416,5	102,86	99,00	4,23	282066,67
417	102,86	99,01	4,23	282133,33
417,5	102,87	99,01	4,23	282200,00
418	102,88	99,02	4,23	282266,67
418,5	102,89	99,03	4,23	282333,33
419	102,89	99,03	4,24	282400,00
419,5	102,90	99,04	4,24	282466,67
420	102,91	99,05	4,24	282533,33
420,5	102,91	99,05	4,24	282600,00
421	102,92	99,06	4,24	282666,67
421,5	102,92	99,06	4,24	282733,33
422	102,93	99,07	4,24	282800,00
422,5	102,93	99,07	4,24	282866,67
423	102,94	99,08	4,24	282933,33
423,5	102,94	99,08	4,24	283000,00
424	102,95	99,09	4,25	283066,67
424,5	102,95	99,09	4,25	283133,33
425	102,96	99,09	4,25	283200,00
425,5	102,96	99,10	4,25	283266,67
426	102,97	99,10	4,25	283333,33
426,5	102,97	99,10	4,25	283400,00
427	102,97	99,11	4,25	283466,67
427,5	102,98	99,11	4,25	283533,33
428	102,98	99,11	4,25	283600,00
428,5	102,98	99,12	4,25	283666,67
429	102,98	99,12	4,26	283733,33
429,5	102,99	99,12	4,26	283800,00
430	102,99	99,12	4,26	283866,67
430,5	102,99	99,12	4,26	283933,33
431	102,99	99,13	4,26	284000,00
431,5	102,99	99,13	4,26	284066,67
432	103,00	99,13	4,26	284133,33
432,5	103,00	99,13	4,26	284200,00
433	103,00	99,13	4,26	284266,67
433,5	103,00	99,13	4,26	284333,33
434	103,00	99,13	4,27	284400,00
434,5	103,00	99,13	4,27	284466,67

435	103,40	99,13	4,27	284533,33
435,5	103,50	99,23	4,27	284600,00
436	103,50	99,23	4,27	284666,67
436,5	103,30	99,03	4,27	284733,33
437	102,90	98,63	4,27	284800,00
437,5	102,40	98,13	4,27	284866,67
438	102,00	97,73	4,27	284933,33
438,5	101,70	97,43	4,27	285000,00
439	101,40	97,12	4,28	285066,67
439,5	102,00	97,72	4,28	285133,33
440	102,01	97,73	4,28	285200,00
440,5	102,02	97,75	4,28	285266,67
441	102,04	97,76	4,28	285333,33
441,5	102,05	97,77	4,28	285400,00
442	102,06	97,78	4,28	285466,67
442,5	102,07	97,79	4,28	285533,33
443	102,09	97,80	4,28	285600,00
443,5	102,10	97,81	4,28	285666,67
444	102,11	97,82	4,29	285733,33
444,5	102,12	97,84	4,29	285800,00
445	102,13	97,85	4,29	285866,67
445,5	102,15	97,86	4,29	285933,33
446	102,16	97,87	4,29	286000,00
446,5	102,17	97,88	4,29	286066,67
447	102,18	97,89	4,29	286133,33
447,5	102,20	97,90	4,29	286200,00
448	102,21	97,91	4,29	286266,67
448,5	102,22	97,93	4,29	286333,33
449	102,23	97,94	4,30	286400,00
449,5	102,24	97,95	4,30	286466,67
450	102,26	97,96	4,30	286533,33
450,5	102,27	97,97	4,30	286600,00
451	102,28	97,98	4,30	286666,67
451,5	102,29	97,99	4,30	286733,33
452	102,31	98,00	4,30	286800,00
452,5	102,32	98,01	4,30	286866,67
453	102,33	98,03	4,30	286933,33
453,5	102,34	98,04	4,30	287000,00
454	102,35	98,05	4,31	287066,67
454,5	102,37	98,06	4,31	287133,33
455	102,38	98,07	4,31	287200,00
455,5	102,39	98,08	4,31	287266,67
456	102,40	98,09	4,31	287333,33
456,5	102,42	98,10	4,31	287400,00
457	102,43	98,12	4,31	287466,67
457,5	102,44	98,13	4,31	287533,33

458	102,45	98,14	4,31	287600,00
458,5	102,46	98,15	4,31	287666,67
459	102,48	98,16	4,32	287733,33
459,5	102,49	98,17	4,32	287800,00
460	102,50	98,18	4,32	287866,67
460,5	102,51	98,19	4,32	287933,33
461	102,53	98,21	4,32	288000,00
461,5	102,54	98,22	4,32	288066,67
462	102,55	98,23	4,32	288133,33
462,5	102,56	98,24	4,32	288200,00
463	102,57	98,25	4,32	288266,67
463,5	102,59	98,26	4,32	288333,33
464	102,60	98,27	4,33	288400,00
464,5	102,61	98,28	4,33	288466,67
465	102,62	98,30	4,33	288533,33
465,5	102,64	98,31	4,33	288600,00
466	102,65	98,32	4,33	288666,67
466,5	102,66	98,33	4,33	288733,33
467	102,67	98,34	4,33	288800,00
467,5	102,68	98,35	4,33	288866,67
468	102,70	98,36	4,33	288933,33
468,5	102,71	98,37	4,33	289000,00
469	102,72	98,39	4,34	289066,67
469,5	102,73	98,40	4,34	289133,33
470	102,75	98,41	4,34	289200,00
470,5	102,76	98,42	4,34	289266,67
471	102,77	98,43	4,34	289333,33
471,5	102,78	98,44	4,34	289400,00
472	102,79	98,45	4,34	289466,67
472,5	102,81	98,46	4,34	289533,33
473	102,82	98,48	4,34	289600,00
473,5	102,83	98,49	4,34	289666,67
474	102,84	98,50	4,35	289733,33
474,5	102,86	98,51	4,35	289800,00
475	102,87	98,52	4,35	289866,67
475,5	102,88	98,53	4,35	289933,33
476	102,89	98,54	4,35	290000,00
476,5	102,90	98,55	4,35	290066,67
477	102,92	98,56	4,35	290133,33
477,5	102,93	98,58	4,35	290200,00
478	102,94	98,59	4,35	290266,67
478,5	102,95	98,60	4,35	290333,33
479	102,97	98,61	4,36	290400,00
479,5	102,98	98,62	4,36	290466,67
480	102,99	98,63	4,36	290533,33
480,5	103,00	98,64	4,36	290600,00

481	103,01	98,65	4,36	290666,67
481,5	103,03	98,67	4,36	290733,33
482	103,04	98,68	4,36	290800,00
482,5	103,05	98,69	4,36	290866,67
483	103,06	98,70	4,36	290933,33
483,5	103,08	98,71	4,36	291000,00
484	103,09	98,72	4,37	291066,67
484,5	103,10	98,73	4,37	291133,33
485	103,11	98,74	4,37	291200,00
485,5	103,12	98,76	4,37	291266,67
486	103,14	98,77	4,37	291333,33
486,5	103,15	98,78	4,37	291400,00
487	103,16	98,79	4,37	291466,67
487,5	103,17	98,80	4,37	291533,33
488	103,19	98,81	4,37	291600,00
488,5	103,20	98,82	4,37	291666,67
489	103,21	98,83	4,38	291733,33
489,5	103,22	98,85	4,38	291800,00
490	103,23	98,86	4,38	291866,67
490,5	103,25	98,87	4,38	291933,33
491	103,26	98,88	4,38	292000,00
491,5	103,27	98,89	4,38	292066,67
492	103,28	98,90	4,38	292133,33
492,5	103,30	98,91	4,38	292200,00
493	103,31	98,92	4,38	292266,67
493,5	103,32	98,94	4,38	292333,33
494	103,33	98,95	4,39	292400,00
494,5	103,34	98,96	4,39	292466,67
495	103,36	98,97	4,39	292533,33
495,5	103,37	98,98	4,39	292600,00
496	103,38	98,99	4,39	292666,67
496,5	103,39	99,00	4,39	292733,33
497	103,41	99,01	4,39	292800,00
497,5	103,42	99,02	4,39	292866,67
498	103,43	99,04	4,39	292933,33
498,5	103,44	99,05	4,39	293000,00
499	103,45	99,06	4,40	293066,67
499,5	103,47	99,07	4,40	293133,33
500	103,48	99,08	4,40	293200,00
500,5	103,49	99,09	4,40	293266,67
501	103,50	99,10	4,40	293333,33
501,5	103,52	99,11	4,40	293400,00
502	103,53	99,13	4,40	293466,67
502,5	103,54	99,14	4,40	293533,33
503	103,55	99,15	4,40	293600,00
503,5	103,56	99,16	4,40	293666,67

504	103,58	99,17	4,41	293733,33
504,5	103,59	99,18	4,41	293800,00
505	103,60	99,19	4,41	293866,67
505,5	103,61	99,20	4,41	293933,33
506	103,63	99,22	4,41	294000,00
506,5	103,64	99,23	4,41	294066,67
507	103,65	99,24	4,41	294133,33
507,5	103,66	99,25	4,41	294200,00
508	103,67	99,26	4,41	294266,67
508,5	103,69	99,27	4,41	294333,33
509	103,70	99,28	4,42	294400,00
509,5	103,71	99,29	4,42	294466,67
510	103,72	99,31	4,42	294533,33
510,5	103,74	99,32	4,42	294600,00
511	103,75	99,33	4,42	294666,67
511,5	103,76	99,34	4,42	294733,33
512	103,77	99,35	4,42	294800,00
512,5	103,78	99,36	4,42	294866,67
513	103,80	99,37	4,42	294933,33
513,5	103,81	99,38	4,42	295000,00
514	103,82	99,40	4,43	295066,67
514,5	103,83	99,41	4,43	295133,33
515	103,85	99,42	4,43	295200,00
515,5	103,86	99,43	4,43	295266,67
516	103,87	99,44	4,43	295333,33
516,5	103,88	99,45	4,43	295400,00
517	103,89	99,46	4,43	295466,67
517,5	103,91	99,47	4,43	295533,33
518	103,92	99,49	4,43	295600,00
518,5	103,93	99,50	4,43	295666,67
519	103,94	99,51	4,44	295733,33
519,5	103,96	99,52	4,44	295800,00
520	103,97	99,53	4,44	295866,67
520,5	103,98	99,54	4,44	295933,33
521	103,99	99,55	4,44	296000,00
521,5	104,00	99,56	4,44	296066,67
522	104,02	99,57	4,44	296133,33
522,5	104,03	99,59	4,44	296200,00
523	104,04	99,60	4,44	296266,67
523,5	104,05	99,61	4,44	296333,33
524	104,07	99,62	4,45	296400,00
524,5	104,08	99,63	4,45	296466,67
525	104,09	99,64	4,45	296533,33
525,5	104,10	99,65	4,45	296600,00
526	104,11	99,66	4,45	296666,67
526,5	104,13	99,68	4,45	296733,33

527	104,14	99,69	4,45	296800,00
527,5	104,15	99,70	4,45	296866,67
528	104,16	99,71	4,45	296933,33
528,5	104,18	99,72	4,45	297000,00
529	104,19	99,73	4,46	297066,67
529,5	104,20	99,74	4,46	297133,33
530	104,21	99,75	4,46	297200,00
530,5	104,22	99,77	4,46	297266,67
531	104,24	99,78	4,46	297333,33
531,5	104,25	99,79	4,46	297400,00
532	104,26	99,80	4,46	297466,67
532,5	104,27	99,81	4,46	297533,33
533	104,29	99,82	4,46	297600,00
533,5	104,30	99,83	4,46	297666,67
534	104,31	99,84	4,47	297733,33
534,5	104,32	99,86	4,47	297800,00
535	104,33	99,87	4,47	297866,67
535,5	104,35	99,88	4,47	297933,33
536	104,36	99,89	4,47	298000,00
536,5	104,37	99,90	4,47	298066,67
537	104,38	99,91	4,47	298133,33
537,5	104,40	99,92	4,47	298200,00
538	104,41	99,93	4,47	298266,67
538,5	104,42	99,95	4,47	298333,33
539	104,43	99,96	4,48	298400,00
539,5	104,44	99,97	4,48	298466,67
540	104,46	99,98	4,48	298533,33
540,5	104,47	99,99	4,48	298600,00
541	104,48	100,00	4,48	298666,67
541,5	104,49	100,01	4,48	298733,33
542	104,51	100,02	4,48	298800,00
542,5	104,52	100,04	4,48	298866,67
543	104,53	100,05	4,48	298933,33
543,5	104,54	100,06	4,48	299000,00
544	104,55	100,07	4,49	299066,67
544,5	104,57	100,08	4,49	299133,33
545	104,58	100,09	4,49	299200,00
545,5	104,59	100,10	4,49	299266,67
546	104,60	100,11	4,49	299333,33
546,5	104,62	100,12	4,49	299400,00
547	104,63	100,14	4,49	299466,67
547,5	104,64	100,15	4,49	299533,33
548	104,65	100,16	4,49	299600,00
548,5	104,66	100,17	4,49	299666,67
549	104,68	100,18	4,50	299733,33
549,5	104,69	100,19	4,50	299800,00

550	104,70	100,20	4,50	299866,67
550,5	104,71	100,21	4,50	299933,33
551	104,73	100,23	4,50	300000,00
551,5	104,74	100,24	4,50	300000,01
552	104,75	100,25	4,50	300000,01
552,5	104,76	100,26	4,50	300000,02
553	104,77	100,27	4,50	300000,03
553,5	104,79	100,29	4,50	300000,03
554	104,80	100,30	4,50	300000,04
554,5	104,81	100,31	4,50	300000,05
555	104,82	100,32	4,50	300000,05
555,5	104,84	100,34	4,50	300000,06
556	104,85	100,35	4,50	300000,07
556,5	104,86	100,36	4,50	300000,07
557	104,87	100,37	4,50	300000,08
557,5	104,88	100,38	4,50	300000,09
558	104,90	100,40	4,50	300000,09
558,5	104,91	100,41	4,50	300000,10
559	104,92	100,42	4,50	300000,11
559,5	104,93	100,43	4,50	300000,11
560	104,95	100,45	4,50	300000,12
560,5	104,96	100,46	4,50	300000,13
561	104,97	100,47	4,50	300000,13
561,5	104,98	100,48	4,50	300000,14
562	104,99	100,49	4,50	300000,15
562,5	105,01	100,51	4,50	300000,15
563	105,02	100,52	4,50	300000,16
563,5	105,03	100,53	4,50	300000,17
564	105,04	100,54	4,50	300000,17
564,5	105,06	100,56	4,50	300000,18
565	105,07	100,57	4,50	300000,19
565,5	105,08	100,58	4,50	300000,19
566	105,09	100,59	4,50	300000,20
566,5	105,10	100,60	4,50	300000,21
567	105,12	100,62	4,50	300000,21
567,5	105,13	100,63	4,50	300000,22
568	105,14	100,64	4,50	300000,23
568,5	105,15	100,65	4,50	300000,23
569	105,17	100,67	4,50	300000,24
569,5	105,18	100,68	4,50	300000,25
570	105,19	100,69	4,50	300000,25
570,5	105,20	100,70	4,50	300000,26
571	105,21	100,71	4,50	300000,27
571,5	105,23	100,73	4,50	300000,27
572	105,24	100,74	4,50	300000,28
572,5	105,25	100,75	4,50	300000,29

573	105,26	100,76	4,50	300000,29
573,5	105,28	100,78	4,50	300000,30
574	105,29	100,79	4,50	300000,31
574,5	105,30	100,80	4,50	300000,31
575	105,31	100,81	4,50	300000,32
575,5	105,32	100,82	4,50	300000,33
576	105,34	100,84	4,50	300000,33
576,5	105,35	100,85	4,50	300000,34
577	105,36	100,86	4,50	300000,35
577,5	105,37	100,87	4,50	300000,35
578	105,39	100,89	4,50	300000,36
578,5	105,40	100,90	4,50	300000,37
579	105,41	100,91	4,50	300000,37
579,5	105,42	100,92	4,50	300000,38
580	105,43	100,93	4,50	300000,39
580,5	105,45	100,95	4,50	300000,39
581	105,46	100,96	4,50	300000,40
581,5	105,47	100,97	4,50	300000,41
582	105,48	100,98	4,50	300000,41
582,5	105,50	101,00	4,50	300000,42
583	105,51	101,01	4,50	300000,43
583,5	105,52	101,02	4,50	300000,43
584	105,53	101,03	4,50	300000,44
584,5	105,54	101,04	4,50	300000,45
585	105,56	101,06	4,50	300000,45
585,5	105,57	101,07	4,50	300000,46
586	105,58	101,08	4,50	300000,47
586,5	105,59	101,09	4,50	300000,47
587	105,61	101,11	4,50	300000,48
587,5	105,62	101,12	4,50	300000,49
588	105,63	101,13	4,50	300000,49
588,5	105,64	101,14	4,50	300000,50
589	105,66	101,16	4,50	300000,51
589,5	105,67	101,17	4,50	300000,51
590	105,68	101,18	4,50	300000,52
590,5	105,69	101,19	4,50	300000,53
591	105,70	101,20	4,50	300000,53
591,5	105,72	101,22	4,50	300000,54
592	105,73	101,23	4,50	300000,55
592,5	105,74	101,24	4,50	300000,55
593	105,75	101,25	4,50	300000,56
593,5	105,77	101,27	4,50	300000,57
594	105,78	101,28	4,50	300000,57
594,5	105,79	101,29	4,50	300000,58
595	105,80	101,30	4,50	300000,59
595,5	105,81	101,31	4,50	300000,59

596	105,83	101,33	4,50	300000,60
596,5	105,84	101,34	4,50	300000,61
597	105,85	101,35	4,50	300000,61
597,5	105,86	101,36	4,50	300000,62
598	105,88	101,38	4,50	300000,63
598,5	105,89	101,39	4,50	300000,63
599	105,90	101,40	4,50	300000,64
599,5	105,91	101,41	4,50	300000,65
600	105,90	101,40	4,50	300000,65
600,5	105,90	101,40	4,50	300000,66
601	105,91	101,41	4,50	300000,67
601,5	105,91	101,41	4,50	300000,67
602	105,91	101,41	4,50	300000,68
602,5	105,92	101,42	4,50	300000,69
603	105,92	101,42	4,50	300000,69
603,5	105,92	101,42	4,50	300000,70
604	105,93	101,43	4,50	300000,71
604,5	105,93	101,43	4,50	300000,71
605	105,93	101,43	4,50	300000,72
605,5	105,94	101,44	4,50	300000,73
606	105,94	101,44	4,50	300000,73
606,5	105,94	101,44	4,50	300000,74
607	105,95	101,45	4,50	300000,75
607,5	105,95	101,45	4,50	300000,75
608	105,95	101,45	4,50	300000,76
608,5	105,96	101,46	4,50	300000,77
609	105,96	101,46	4,50	300000,77
609,5	105,96	101,46	4,50	300000,78
610	105,97	101,47	4,50	300000,79
610,5	105,97	101,47	4,50	300000,79
611	105,97	101,47	4,50	300000,80
611,5	105,98	101,48	4,50	300000,81
612	105,98	101,48	4,50	300000,81
612,5	105,98	101,48	4,50	300000,82
613	105,99	101,49	4,50	300000,83
613,5	105,99	101,49	4,50	300000,83
614	105,99	101,49	4,50	300000,84
614,5	106,00	101,50	4,50	300000,85
615	106,00	101,50	4,50	300000,85
615,5	106,00	101,50	4,50	300000,86
616	106,01	101,51	4,50	300000,87
616,5	106,01	101,51	4,50	300000,87
617	106,01	101,51	4,50	300000,88
617,5	106,02	101,51	4,50	300000,89
618	106,02	101,52	4,50	300000,89
618,5	106,02	101,52	4,50	300000,90

619	106,02	101,52	4,50	300000,91
619,5	106,03	101,53	4,50	300000,91
620	106,03	101,53	4,50	300000,92
620,5	106,03	101,53	4,50	300000,93
621	106,04	101,54	4,50	300000,93
621,5	106,04	101,54	4,50	300000,94
622	106,04	101,54	4,50	300000,95
622,5	106,05	101,55	4,50	300000,95
623	106,05	101,55	4,50	300000,96
623,5	106,05	101,55	4,50	300000,97
624	106,06	101,56	4,50	300000,97
624,5	106,06	101,56	4,50	300000,98
625	106,06	101,56	4,50	300000,99
625,5	106,07	101,57	4,50	300000,99
626	106,07	101,57	4,50	300001,00
626,5	106,07	101,57	4,50	300001,01
627	106,08	101,58	4,50	300001,01
627,5	106,08	101,58	4,50	300001,02
628	106,08	101,58	4,50	300001,03
628,5	106,09	101,59	4,50	300001,03
629	106,09	101,59	4,50	300001,04
629,5	106,09	101,59	4,50	300001,05
630	106,10	101,60	4,50	300001,05
630,5	106,10	101,60	4,50	300001,06
631	106,10	101,60	4,50	300001,07
631,5	106,11	101,61	4,50	300001,07
632	106,11	101,61	4,50	300001,08
632,5	106,11	101,61	4,50	300001,09
633	106,12	101,62	4,50	300001,09
633,5	106,12	101,62	4,50	300001,10
634	106,12	101,62	4,50	300001,11
634,5	106,13	101,63	4,50	300001,11
635	106,13	101,63	4,50	300001,12
635,5	106,13	101,63	4,50	300001,13
636	106,14	101,64	4,50	300001,13
636,5	106,14	101,64	4,50	300001,14
637	106,14	101,64	4,50	300001,15
637,5	106,15	101,65	4,50	300001,15
638	106,15	101,65	4,50	300001,16
638,5	106,15	101,65	4,50	300001,17
639	106,16	101,66	4,50	300001,17
639,5	106,16	101,66	4,50	300001,18
640	106,16	101,66	4,50	300001,19
640,5	106,17	101,67	4,50	300001,19
641	106,17	101,67	4,50	300001,20
641,5	106,17	101,67	4,50	300001,21

642	106,18	101,68	4,50	300001,21
642,5	106,18	101,68	4,50	300001,22
643	106,18	101,68	4,50	300001,23
643,5	106,19	101,69	4,50	300001,23
644	106,19	101,69	4,50	300001,24
644,5	106,19	101,69	4,50	300001,25
645	106,20	101,70	4,50	300001,25
645,5	106,20	101,70	4,50	300001,26
646	106,20	101,70	4,50	300001,27
646,5	106,21	101,71	4,50	300001,27
647	106,21	101,71	4,50	300001,28
647,5	106,21	101,71	4,50	300001,29
648	106,22	101,72	4,50	300001,29
648,5	106,22	101,72	4,50	300001,30
649	106,22	101,72	4,50	300001,31
649,5	106,23	101,73	4,50	300001,31
650	106,23	101,73	4,50	300001,32
650,5	106,23	101,73	4,50	300001,33
651	106,24	101,74	4,50	300001,33
651,5	106,24	101,74	4,50	300001,34
652	106,24	101,74	4,50	300001,35
652,5	106,25	101,75	4,50	300001,35
653	106,25	101,75	4,50	300001,36
653,5	106,25	101,75	4,50	300001,37
654	106,26	101,76	4,50	300001,37
654,5	106,26	101,76	4,50	300001,38
655	106,26	101,76	4,50	300001,39
655,5	106,27	101,77	4,50	300001,39
656	106,27	101,77	4,50	300001,40
656,5	106,27	101,77	4,50	300001,41
657	106,28	101,78	4,50	300001,41
657,5	106,28	101,78	4,50	300001,42
658	106,28	101,78	4,50	300001,43
658,5	106,29	101,79	4,50	300001,43
659	106,29	101,79	4,50	300001,44
659,5	106,29	101,79	4,50	300001,45
660	106,30	101,80	4,50	300001,45
660,5	106,30	101,80	4,50	300001,46
661	106,30	101,80	4,50	300001,47
661,5	106,31	101,81	4,50	300001,47
662	106,31	101,81	4,50	300001,48
662,5	106,31	101,81	4,50	300001,49
663	106,32	101,82	4,50	300001,49
663,5	106,32	101,82	4,50	300001,50
664	106,32	101,82	4,50	300001,51
664,5	106,33	101,83	4,50	300001,51

665	106,33	101,83	4,50	300001,52
665,5	106,33	101,83	4,50	300001,53
666	106,34	101,84	4,50	300001,53
666,5	106,34	101,84	4,50	300001,54
667	106,34	101,84	4,50	300001,55
667,5	106,34	101,84	4,50	300001,55
668	106,35	101,85	4,50	300001,56
668,5	106,35	101,85	4,50	300001,57
669	106,35	101,85	4,50	300001,57
669,5	106,36	101,86	4,50	300001,58
670	106,36	101,86	4,50	300001,59
670,5	106,36	101,86	4,50	300001,59
671	106,37	101,87	4,50	300001,60
671,5	106,37	101,87	4,50	300001,61
672	106,37	101,87	4,50	300001,61
672,5	106,38	101,88	4,50	300001,62
673	106,38	101,88	4,50	300001,63
673,5	106,38	101,88	4,50	300001,63
674	106,39	101,89	4,50	300001,64
674,5	106,39	101,89	4,50	300001,65
675	106,39	101,89	4,50	300001,65
675,5	106,40	101,90	4,50	300001,66
676	106,40	101,90	4,50	300001,67
676,5	106,40	101,90	4,50	300001,67
677	106,41	101,91	4,50	300001,68
677,5	106,41	101,91	4,50	300001,69
678	106,41	101,91	4,50	300001,69
678,5	106,42	101,92	4,50	300001,70
679	106,42	101,92	4,50	300001,71
679,5	106,42	101,92	4,50	300001,71
680	106,43	101,93	4,50	300001,72
680,5	106,43	101,93	4,50	300001,73
681	106,43	101,93	4,50	300001,73
681,5	106,44	101,94	4,50	300001,74
682	106,44	101,94	4,50	300001,75
682,5	106,44	101,94	4,50	300001,75
683	106,45	101,95	4,50	300001,76
683,5	106,45	101,95	4,50	300001,77
684	106,45	101,95	4,50	300001,77
684,5	106,46	101,96	4,50	300001,78
685	106,46	101,96	4,50	300001,79
685,5	106,46	101,96	4,50	300001,79
686	106,47	101,97	4,50	300001,80
686,5	106,47	101,97	4,50	300001,81
687	106,47	101,97	4,50	300001,81
687,5	106,48	101,98	4,50	300001,82

688	106,48	101,98	4,50	300001,83
688,5	106,48	101,98	4,50	300001,83
689	106,49	101,99	4,50	300001,84
689,5	106,49	101,99	4,50	300001,85
690	106,49	101,99	4,50	300001,85
690,5	106,50	102,00	4,50	300001,86
691	106,50	102,00	4,50	300001,87
691,5	106,50	102,00	4,50	300001,87
692	106,51	102,01	4,50	300001,88
692,5	106,51	102,01	4,50	300001,89
693	106,51	102,01	4,50	300001,89
693,5	106,52	102,02	4,50	300001,90
694	106,52	102,02	4,50	300001,91
694,5	106,52	102,02	4,50	300001,91
695	106,53	102,03	4,50	300001,92
695,5	106,53	102,03	4,50	300001,93
696	106,53	102,03	4,50	300001,93
696,5	106,54	102,04	4,50	300001,94
697	106,54	102,04	4,50	300001,95
697,5	106,54	102,04	4,50	300001,95
698	106,55	102,05	4,50	300001,96
698,5	106,55	102,05	4,50	300001,97
699	106,55	102,05	4,50	300001,97
699,5	106,56	102,06	4,50	300001,98
700	106,56	102,06	4,50	300001,99
700,5	106,56	102,06	4,50	300001,99
701	106,57	102,07	4,50	300002,00
701,5	106,57	102,07	4,50	300002,01
702	106,57	102,07	4,50	300002,01
702,5	106,58	102,08	4,50	300002,02
703	106,58	102,08	4,50	300002,03
703,5	106,58	102,08	4,50	300002,03
704	106,59	102,09	4,50	300002,04
704,5	106,59	102,09	4,50	300002,05
705	106,59	102,09	4,50	300002,05
705,5	106,60	102,10	4,50	300002,06
706	106,60	102,10	4,50	300002,07
706,5	106,60	102,10	4,50	300002,07
707	106,61	102,11	4,50	300002,08
707,5	106,61	102,11	4,50	300002,09
708	106,61	102,11	4,50	300002,09
708,5	106,62	102,12	4,50	300002,10
709	106,62	102,12	4,50	300002,11
709,5	106,62	102,12	4,50	300002,11
710	106,63	102,13	4,50	300002,12
710,5	106,63	102,13	4,50	300002,13

711	106,63	102,13	4,50	300002,13
711,5	106,64	102,14	4,50	300002,14
712	106,64	102,14	4,50	300002,15
712,5	106,64	102,14	4,50	300002,15
713	106,65	102,15	4,50	300002,16
713,5	106,65	102,15	4,50	300002,17
714	106,65	102,15	4,50	300002,17
714,5	106,66	102,16	4,50	300002,18
715	106,66	102,16	4,50	300002,19
715,5	106,66	102,16	4,50	300002,19
716	106,67	102,17	4,50	300002,20
716,5	106,67	102,17	4,50	300002,21
717	106,67	102,17	4,50	300002,21
717,5	106,67	102,17	4,50	300002,22
718	106,68	102,18	4,50	300002,23
718,5	106,68	102,18	4,50	300002,23
719	106,68	102,18	4,50	300002,24
719,5	106,69	102,19	4,50	300002,25
720	106,69	102,19	4,50	300002,25
720,5	106,69	102,19	4,50	300002,26
721	106,70	102,20	4,50	300002,27
721,5	106,70	102,20	4,50	300002,27
722	106,70	102,20	4,50	300002,28
722,5	106,71	102,21	4,50	300002,29
723	106,71	102,21	4,50	300002,29
723,5	106,71	102,21	4,50	300002,30
724	106,72	102,22	4,50	300002,31
724,5	106,72	102,22	4,50	300002,31
725	106,72	102,22	4,50	300002,32
725,5	106,73	102,23	4,50	300002,33
726	106,73	102,23	4,50	300002,33
726,5	106,73	102,23	4,50	300002,34
727	106,74	102,24	4,50	300002,35
727,5	106,74	102,24	4,50	300002,35
728	106,74	102,24	4,50	300002,36
728,5	106,75	102,25	4,50	300002,37
729	106,75	102,25	4,50	300002,37
729,5	106,75	102,25	4,50	300002,38
730	106,76	102,26	4,50	300002,39
730,5	106,76	102,26	4,50	300002,39
731	106,76	102,26	4,50	300002,40
731,5	106,77	102,27	4,50	300002,41
732	106,77	102,27	4,50	300002,41
732,5	106,77	102,27	4,50	300002,42
733	106,78	102,28	4,50	300002,43
733,5	106,78	102,28	4,50	300002,43

734	106,78	102,28	4,50	300002,44
734,5	106,79	102,29	4,50	300002,45
735	106,79	102,29	4,50	300002,45
735,5	106,79	102,29	4,50	300002,46
736	106,80	102,30	4,50	300002,47
736,5	106,80	102,30	4,50	300002,47
737	106,80	102,30	4,50	300002,48
737,5	106,81	102,31	4,50	300002,49
738	106,81	102,31	4,50	300002,49
738,5	106,81	102,31	4,50	300002,50
739	106,82	102,32	4,50	300002,51
739,5	106,82	102,32	4,50	300002,51
740	106,82	102,32	4,50	300002,52
740,5	106,83	102,33	4,50	300002,53
741	106,83	102,33	4,50	300002,53
741,5	106,83	102,33	4,50	300002,54
742	106,84	102,34	4,50	300002,55
742,5	106,84	102,34	4,50	300002,55
743	106,84	102,34	4,50	300002,56
743,5	106,85	102,35	4,50	300002,57
744	106,85	102,35	4,50	300002,57
744,5	106,85	102,35	4,50	300002,58
745	106,86	102,36	4,50	300002,59
745,5	106,86	102,36	4,50	300002,59
746	106,86	102,36	4,50	300002,60
746,5	106,87	102,37	4,50	300002,61
747	106,87	102,37	4,50	300002,61
747,5	106,87	102,37	4,50	300002,62
748	106,88	102,38	4,50	300002,63
748,5	106,88	102,38	4,50	300002,63
749	106,88	102,38	4,50	300002,64
749,5	106,89	102,39	4,50	300002,65
750	106,89	102,39	4,50	300002,65
750,5	106,89	102,39	4,50	300002,66
751	106,90	102,40	4,50	300002,67
751,5	106,90	102,40	4,50	300002,67
752	106,90	102,40	4,50	300002,68
752,5	106,91	102,41	4,50	300002,69
753	106,91	102,41	4,50	300002,69
753,5	106,91	102,41	4,50	300002,70
754	106,92	102,42	4,50	300002,71
754,5	106,92	102,42	4,50	300002,71
755	106,92	102,42	4,50	300002,72
755,5	106,93	102,43	4,50	300002,73
756	106,93	102,43	4,50	300002,73
756,5	106,93	102,43	4,50	300002,74

757	106,94	102,44	4,50	300002,75
757,5	106,94	102,44	4,50	300002,75
758	106,94	102,44	4,50	300002,76
758,5	106,95	102,45	4,50	300002,77
759	106,95	102,45	4,50	300002,77
759,5	106,95	102,45	4,50	300002,78
760	106,96	102,46	4,50	300002,79
760,5	106,96	102,46	4,50	300002,79
761	106,96	102,46	4,50	300002,80
761,5	106,97	102,47	4,50	300002,81
762	106,97	102,47	4,50	300002,81
762,5	106,97	102,47	4,50	300002,82
763	106,98	102,48	4,50	300002,83
763,5	106,98	102,48	4,50	300002,83
764	106,98	102,48	4,50	300002,84
764,5	106,99	102,49	4,50	300002,85
765	106,99	102,49	4,50	300002,85
765,5	106,99	102,49	4,50	300002,86
766	107,00	102,50	4,50	300002,87
766,5	107,00	102,50	4,50	300002,87
767	107,00	102,50	4,50	300002,88
767,5	107,00	102,50	4,50	300002,89
768	107,01	102,51	4,50	300002,89
768,5	107,01	102,51	4,50	300002,90
769	107,01	102,51	4,50	300002,91
769,5	107,02	102,52	4,50	300002,91
770	107,02	102,52	4,50	300002,92
770,5	107,02	102,52	4,50	300002,93
771	107,03	102,53	4,50	300002,93
771,5	107,03	102,53	4,50	300002,94
772	107,03	102,53	4,50	300002,95
772,5	107,04	102,54	4,50	300002,95
773	107,04	102,54	4,50	300002,96
773,5	107,04	102,54	4,50	300002,97
774	107,05	102,55	4,50	300002,97
774,5	107,05	102,55	4,50	300002,98
775	107,05	102,55	4,50	300002,99
775,5	107,06	102,56	4,50	300002,99
776	107,06	102,56	4,50	300003,00
776,5	107,06	102,56	4,50	300003,01
777	107,07	102,57	4,50	300003,01
777,5	107,07	102,57	4,50	300003,02
778	107,07	102,57	4,50	300003,03
778,5	107,08	102,58	4,50	300003,03
779	107,08	102,58	4,50	300003,04
779,5	107,08	102,58	4,50	300003,05

780	107,09	102,59	4,50	300003,05
780,5	107,09	102,59	4,50	300003,06
781	107,09	102,59	4,50	300003,07
781,5	107,10	102,60	4,50	300003,07
782	107,10	102,60	4,50	300003,08
782,5	107,10	102,60	4,50	300003,09
783	107,11	102,61	4,50	300003,09
783,5	107,11	102,61	4,50	300003,10
784	107,11	102,61	4,50	300003,11
784,5	107,12	102,62	4,50	300003,11
785	107,12	102,62	4,50	300003,12
785,5	107,12	102,62	4,50	300003,13
786	107,13	102,63	4,50	300003,13
786,5	107,13	102,63	4,50	300003,14
787	107,13	102,63	4,50	300003,15
787,5	107,14	102,64	4,50	300003,15
788	107,14	102,64	4,50	300003,16
788,5	107,14	102,64	4,50	300003,17
789	107,15	102,65	4,50	300003,17
789,5	107,15	102,65	4,50	300003,18
790	107,15	102,65	4,50	300003,19
790,5	107,16	102,66	4,50	300003,19
791	107,16	102,66	4,50	300003,20
791,5	107,16	102,66	4,50	300003,21
792	107,17	102,67	4,50	300003,21
792,5	107,17	102,67	4,50	300003,22
793	107,17	102,67	4,50	300003,23
793,5	107,18	102,68	4,50	300003,23
794	107,18	102,68	4,50	300003,24
794,5	107,18	102,68	4,50	300003,25
795	107,19	102,69	4,50	300003,25
795,5	107,19	102,69	4,50	300003,26
796	107,19	102,69	4,50	300003,27
796,5	107,20	102,70	4,50	300003,27
797	107,20	102,70	4,50	300003,28
797,5	107,20	102,70	4,50	300003,29
798	107,21	102,71	4,50	300003,29
798,5	107,21	102,71	4,50	300003,30
799	107,21	102,71	4,50	300003,31
799,5	107,22	102,72	4,50	300003,31
800	107,22	102,72	4,50	300003,32
800,5	107,22	102,72	4,50	300003,33
801	107,23	102,73	4,50	300003,33
801,5	107,23	102,73	4,50	300003,34
802	107,23	102,73	4,50	300003,35
802,5	107,24	102,74	4,50	300003,35

803	107,24	102,74	4,50	300003,36
803,5	107,24	102,74	4,50	300003,37
804	107,25	102,75	4,50	300003,37
804,5	107,25	102,75	4,50	300003,38
805	107,25	102,75	4,50	300003,39
805,5	107,26	102,76	4,50	300003,39
806	107,26	102,76	4,50	300003,40
806,5	107,26	102,76	4,50	300003,41
807	107,27	102,77	4,50	300003,41
807,5	107,27	102,77	4,50	300003,42
808	107,27	102,77	4,50	300003,43
808,5	107,28	102,78	4,50	300003,43
809	107,28	102,78	4,50	300003,44
809,5	107,28	102,78	4,50	300003,45
810	107,29	102,79	4,50	300003,45
810,5	107,29	102,79	4,50	300003,46
811	107,29	102,79	4,50	300003,47
811,5	107,30	102,80	4,50	300003,47
812	107,30	102,80	4,50	300003,48
812,5	107,30	102,80	4,50	300003,49
813	107,31	102,81	4,50	300003,49
813,5	107,31	102,81	4,50	300003,50
814	107,31	102,81	4,50	300003,51
814,5	107,32	102,82	4,50	300003,51
815	107,32	102,82	4,50	300003,52
815,5	107,32	102,82	4,50	300003,53
816	107,33	102,83	4,50	300003,53
816,5	107,33	102,83	4,50	300003,54
817	107,33	102,83	4,50	300003,55
817,5	107,33	102,83	4,50	300003,55
818	107,34	102,84	4,50	300003,56
818,5	107,34	102,84	4,50	300003,57
819	107,34	102,84	4,50	300003,57
819,5	107,35	102,85	4,50	300003,58
820	107,35	102,85	4,50	300003,59
820,5	107,35	102,85	4,50	300003,59
821	107,36	102,86	4,50	300003,60
821,5	107,36	102,86	4,50	300003,61
822	107,36	102,86	4,50	300003,61
822,5	107,37	102,87	4,50	300003,62
823	107,37	102,87	4,50	300003,63
823,5	107,37	102,87	4,50	300003,63
824	107,38	102,88	4,50	300003,64
824,5	107,38	102,88	4,50	300003,65
825	107,38	102,88	4,50	300003,65
825,5	107,39	102,89	4,50	300003,66

826	107,39	102,89	4,50	300003,67
826,5	107,39	102,89	4,50	300003,67
827	107,40	102,90	4,50	300003,68
827,5	107,40	102,90	4,50	300003,69
828	107,40	102,90	4,50	300003,69
828,5	107,41	102,91	4,50	300003,70
829	107,41	102,91	4,50	300003,71
829,5	107,41	102,91	4,50	300003,71
830	107,42	102,92	4,50	300003,72
830,5	107,42	102,92	4,50	300003,73
831	107,42	102,92	4,50	300003,73
831,5	107,43	102,93	4,50	300003,74
832	107,43	102,93	4,50	300003,75
832,5	107,43	102,93	4,50	300003,75
833	107,44	102,94	4,50	300003,76
833,5	107,44	102,94	4,50	300003,77
834	107,44	102,94	4,50	300003,77
834,5	107,45	102,95	4,50	300003,78
835	107,45	102,95	4,50	300003,79
835,5	107,45	102,95	4,50	300003,79
836	107,46	102,96	4,50	300003,80
836,5	107,46	102,96	4,50	300003,81
837	107,46	102,96	4,50	300003,81
837,5	107,47	102,97	4,50	300003,82
838	107,47	102,97	4,50	300003,83
838,5	107,47	102,97	4,50	300003,83
839	107,48	102,98	4,50	300003,84
839,5	107,48	102,98	4,50	300003,85
840	107,48	102,98	4,50	300003,85
840,5	107,49	102,99	4,50	300003,86
841	107,49	102,99	4,50	300003,87
841,5	107,49	102,99	4,50	300003,87
842	107,50	103,00	4,50	300003,88
842,5	107,50	103,00	4,50	300003,89
843	107,50	103,00	4,50	300003,89
843,5	107,51	103,01	4,50	300003,90
844	107,51	103,01	4,50	300003,91
844,5	107,51	103,01	4,50	300003,91
845	107,52	103,02	4,50	300003,92
845,5	107,52	103,02	4,50	300003,93
846	107,52	103,02	4,50	300003,93
846,5	107,53	103,03	4,50	300003,94
847	107,53	103,03	4,50	300003,95
847,5	107,53	103,03	4,50	300003,95
848	107,54	103,04	4,50	300003,96
848,5	107,54	103,04	4,50	300003,97

849	107,54	103,04	4,50	300003,97
849,5	107,55	103,05	4,50	300003,98
850	107,55	103,05	4,50	300003,99
850,5	107,55	103,05	4,50	300003,99
851	107,56	103,06	4,50	300004,00
851,5	107,56	103,06	4,50	300004,01
852	107,56	103,06	4,50	300004,01
852,5	107,57	103,07	4,50	300004,02
853	107,57	103,07	4,50	300004,03
853,5	107,57	103,07	4,50	300004,03
854	107,58	103,08	4,50	300004,04
854,5	107,58	103,08	4,50	300004,05
855	107,58	103,08	4,50	300004,05
855,5	107,59	103,09	4,50	300004,06
856	107,59	103,09	4,50	300004,07
856,5	107,59	103,09	4,50	300004,07
857	107,60	103,10	4,50	300004,08
857,5	107,60	103,10	4,50	300004,09
858	107,60	103,10	4,50	300004,09
858,5	107,61	103,11	4,50	300004,10
859	107,61	103,11	4,50	300004,11
859,5	107,61	103,11	4,50	300004,11
860	107,62	103,12	4,50	300004,12
860,5	107,62	103,12	4,50	300004,13
861	107,62	103,12	4,50	300004,13
861,5	107,63	103,13	4,50	300004,14
862	107,63	103,13	4,50	300004,15
862,5	107,63	103,13	4,50	300004,15
863	107,64	103,14	4,50	300004,16
863,5	107,64	103,14	4,50	300004,17
864	107,64	103,14	4,50	300004,17
864,5	107,65	103,15	4,50	300004,18
865	107,65	103,15	4,50	300004,19
865,5	107,65	103,15	4,50	300004,19
866	107,66	103,16	4,50	300004,20
866,5	107,66	103,16	4,50	300004,21
867	107,66	103,16	4,50	300004,21
867,5	107,66	103,16	4,50	300004,22
868	107,67	103,17	4,50	300004,23
868,5	107,67	103,17	4,50	300004,23
869	107,67	103,17	4,50	300004,24
869,5	107,68	103,18	4,50	300004,25
870	107,68	103,18	4,50	300004,25
870,5	107,68	103,18	4,50	300004,26
871	107,69	103,19	4,50	300004,27
871,5	107,69	103,19	4,50	300004,27

872	107,69	103,19	4,50	300004,28
872,5	107,70	103,20	4,50	300004,29
873	107,70	103,20	4,50	300004,29
873,5	107,70	103,20	4,50	300004,30
874	107,71	103,21	4,50	300004,31
874,5	107,71	103,21	4,50	300004,31
875	107,71	103,21	4,50	300004,32
875,5	107,72	103,22	4,50	300004,33
876	107,72	103,22	4,50	300004,33
876,5	107,72	103,22	4,50	300004,34
877	107,73	103,23	4,50	300004,35
877,5	107,73	103,23	4,50	300004,35
878	107,73	103,23	4,50	300004,36
878,5	107,74	103,24	4,50	300004,37
879	107,74	103,24	4,50	300004,37
879,5	107,74	103,24	4,50	300004,38
880	107,75	103,25	4,50	300004,39
880,5	107,75	103,25	4,50	300004,39
881	107,75	103,25	4,50	300004,40
881,5	107,76	103,26	4,50	300004,41
882	107,76	103,26	4,50	300004,41
882,5	107,76	103,26	4,50	300004,42
883	107,77	103,27	4,50	300004,43
883,5	107,77	103,27	4,50	300004,43
884	107,77	103,27	4,50	300004,44
884,5	107,78	103,28	4,50	300004,45
885	107,78	103,28	4,50	300004,45
885,5	107,78	103,28	4,50	300004,46
886	107,79	103,29	4,50	300004,47
886,5	107,79	103,29	4,50	300004,47
887	107,79	103,29	4,50	300004,48
887,5	107,80	103,30	4,50	300004,49
888	107,80	103,30	4,50	300004,49
888,5	107,80	103,30	4,50	300004,50
889	107,81	103,31	4,50	300004,51
889,5	107,81	103,31	4,50	300004,51
890	107,81	103,31	4,50	300004,52
890,5	107,82	103,32	4,50	300004,53
891	107,82	103,32	4,50	300004,53
891,5	107,82	103,32	4,50	300004,54
892	107,83	103,33	4,50	300004,55
892,5	107,83	103,33	4,50	300004,55
893	107,83	103,33	4,50	300004,56
893,5	107,84	103,34	4,50	300004,57
894	107,84	103,34	4,50	300004,57
894,5	107,84	103,34	4,50	300004,58

895	107,85	103,35	4,50	300004,59
895,5	107,85	103,35	4,50	300004,59
896	107,85	103,35	4,50	300004,60
896,5	107,86	103,36	4,50	300004,61
897	107,86	103,36	4,50	300004,61
897,5	107,86	103,36	4,50	300004,62
898	107,87	103,37	4,50	300004,63
898,5	107,87	103,37	4,50	300004,63
899	107,87	103,37	4,50	300004,64
899,5	107,88	103,38	4,50	300004,65
900	107,99	103,49	4,50	300004,65

Datos Obtenidos de Simulación

T (s)	T1sim (°C)	T2sim (°C)
12	33,202	33,805
24	39,229	40,181
60	52,603	54,314
168	74,28	77,235
281,12	86,645	90,312
393,07	93,384	97,439
505,02	97,1	101,37
616,97	99,15	103,54
728,91	100,28	104,73
840,86	100,9	105,39
952,81	101,25	105,76
1064,8	101,44	105,96
1132,4	101,52	106,04
1200	101,57	106,09