

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE QUITO

CARRERA DE MECÁNICA

DISEÑO Y SIMULACIÓN DE LA CONFIGURACIÓN DE ALETAS PARA EL PROCESO DE DISIPACIÓN DE CALOR MEDIANTE SOFTWARE ESPECIALIZADO

Trabajo de titulación previo a la obtención del Título de Ingeniero Mecánico

AUTORES: SEBASTIÁN DAVID ALOMÍA SANDOVAL

TUTOR: CARLOS IVÁN MALDONADO DÁVILA

Quito – Ecuador 2025

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE

TITULACIÓN

Yo, Sebastián David Alomía Sandoval con documento de identificación Nº 1752520294 manifiesto que:

Soy el autor y responsable del presente trabajo; y, autorizo a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Quito, 12 de febrero del año 2025

Atentamente,

anitho

Sebastián David Alomía Sandoval 1752520294

CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE

TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

Yo, Sebastián David Alomía Sandoval con documento de identificación N° 1752520294 y, expreso mi voluntad y por medio del presente documento cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy el autor del Análisis de Casos: "Diseño y Simulación de la Configuración de Aletas Para el Proceso de Disipación de Calor Mediante Software Especializado", el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Mecánico, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribo este documento en el momento que hago la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 12 de febrero del año 2025

Atentamente,

Canvat onta

Sebastián David Alomía Sandoval 1752520294

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Carlos Iván Maldonado Dávila con documento de identificación N° 1711156073 docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: DISEÑO Y SIMULACIÓN DE LA CONFIGURACIÓN DE ALETAS PARA EL PROCESO DE DISIPACIÓN DE CALOR MEDIANTE SOFTWARE ESPECIALIZADO, realizado por Sebastián David Alomía Sandoval con documento de identificación N° 1752520294, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Análisis de Casos que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 12 de febrero del año 2025 Atentamente,

Ing. Carlos Iván/Maldonado Dávila, M.Sc. 1711156073

DEDICATORIA

Este trabajo está dedicado a mi pilar fundamental: mi familia. A mi madre, Magdalena Sandoval, y a mi padre, Carlos Alomía, quienes con su sacrificio, enseñanzas y valores me brindaron la oportunidad de convertirme en un profesional. Su apoyo incondicional y aliento me enseñaron que, sin importar las adversidades o los obstáculos, nunca debo rendirme. A mi hermana, Doménica Alomía, por ser un ejemplo por seguir. Su constancia y dedicación me inspiran a esforzarme cada día, recordándome que los logros obtenidos con empeño son los más gratificantes. También quiero extender este agradecimiento a mis primos, tías y tíos, quienes me han mostrado la importancia de la excelencia profesional y de aspirar siempre a lo más alto. Y finalmente dedico este trabajo a mis abuelitos, Blanca, Edie y José, gracias a ellos y a su crianza soy la persona que soy, me inculcaron el valor de las cosas y que con respeto, reciprocidad y trabajo duro puedo llegar muy alto. Se los dedico a todos ustedes, por siempre demostrarme que las metas más importantes y bellas son las que están más lejos.

Sebastián David Alomía Sandoval

AGRADECIMIENTO

Expreso mi agradecimiento a mis padres Magdalena y Carlos, quienes confiaron plenamente en mi capacidad y me brindaron el apoyo necesario para superar cada desafío presentado en el proceso. Gracias a su dedicación, fortaleza y constante aliento, he podido culminar de manera gratificante esta etapa y alcanzar el logro de ser ingeniero mecánico.

Extiendo mi agradecimiento a cada docente de la carrera de Ingeniería Mecánica de la Universidad Politécnica Salesiana. Su entrega y disposición para enseñar y compartir sus conocimientos han sido fundamentales en mi formación académica y profesional. Cada enseñanza ha dejado en mí una huella invaluable que llevaré a lo largo de mi trayectoria.

De manera especial, agradezco al Ingeniero Carlos Iván Maldonado, tutor de este proyecto. Su paciencia, guía y apoyo constante fueron cruciales para superar los obstáculos que surgieron durante el proceso, su confianza y compromiso en mi trabajo fueron pilar importante para la culminación exitosa de este proyecto, estoy profundamente agradecido.

A todos ustedes muchas gracias por ser parte de este logro y contribuir al cumplimiento de este proyecto tan importante para mí.

Sebastián David Alomía Sandoval

ÍNDICE GENERAL

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE	ii
TITULACIÓN	ii
CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO D	E iii
TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA	iii
CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	iv
DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTO	vi
RESUMEN	xii
ABSTRACT	xiii
INTRODUCCIÓN	14
CAPÍTULO I	21
MARCO TEÓRICO	21
1.1 Fundamentos de transferencia de calor	21
1.1.1 Disipadores de calor y su importancia	22
1.2 Diseño y configuración de aletas	
1.3 Disipadores pasivos con aletas de aluminio	
1.4 Optimización geométrica para maximizar la disipación	
1.4.1 Métodos numéricos y simulación	
1.4.2 Evaluación del rendimiento	25
1.4.3 Aplicaciones específicas	
1.4.4 Innovaciones recientes en diseño	27
1.5 Coeficiente de transferencia de calor por convección Natural (h)	27
1.5.1 Cálculo del coeficiente <i>h</i> mediante el número de Nusselt	27
CAPÍTULO II	30

METODOLOGÍA	30
2.1 Revisión de la literatura	
2.2 Modelado geométrico de los diseños	
2.3 Configuración de la simulación térmica	
2.4 Optimización de configuraciones	
2.5 Validación experimental	
2.6 Análisis comparativo y evaluación final	
CAPÍTULO IV	
RESULTADOS	
4.1 Distribución de temperaturas en los diseños evaluados	
4.2 Análisis comparativo de caída de presión	
4.3 Evaluación de materiales y comportamiento estructural	40
4.4 Análisis del coeficiente de transferencia de calor (h)	41
4.5 Evaluación del número de Nusselt (Nu)	
4.6 Impacto de la longitud característica efectiva (Lt)	
4.7 Evaluación del flujo de calor	44
4.8 Análisis de los Materiales	44
4.9 Comparativa de diseños	
CONCLUSIONES	49
RECOMENDACIONES	51
REFERENCIAS	
ANEXOS	58

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Descripción del método investigativo	19
Tabla 2 Resultados De Resistencia Térmica	40
Tabla 3 Evaluación De Materiales	41
Tabla 4 Análisis de los materiales	45
Tabla 5 Propiedades estructurales	47
Tabla 6 Análisis comparativo (Ventajas)	47

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Mapa térmico del diseño 1	36
Figura 2 Diseño 1 en aluminio	37
Figura 3 Diseño 2 en aluminio	38
Figura 4. Caída de presión en el diseño 1	39
Figura 5. Caída de presión en función del diseño 2.	39
Figura 6 Evaluación del flujo de calor	44
Figura 7 Comparativa de diseños	46

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1 Informes de estudio primer diseño	58
Anexo 2 Informes de estudio segundo diseño	63

RESUMEN

El estudio a continuación se centra en el diseño, simulación y análisis de disipadores de calor con configuraciones de aletas para mejorar la transferencia térmica en aplicaciones electrónicas. Se evaluaron dos diseños de disipadores fabricados en aluminio 6061-T6 y aluminio 1050, considerando la distribución geométrica de las aletas y el impacto del material en la eficiencia térmica. Las simulaciones térmicas se realizaron mediante el software ANSYS, bajo condiciones de flujo de calor constante y convección natural y forzada. Los resultados revelaron que el diseño con un espacio plano central optimiza el acople térmico y consistencia en la distribución de temperaturas, mientras que la configuración uniforme de aletas presentó mayores gradientes térmicos. Se evaluaron tanto la resistencia térmica como la pérdida de presión en ambos diseños, demostrando que el equilibrio entre el diseño geométrico del disipador y las características térmicas del material resulta fundamental para optimizar la eficiente en la disipación térmica. Las pruebas comparativas destacaron que el aluminio 6061-T6 ofrece un mejor rendimiento en aplicaciones donde se requiere estabilidad estructural, mientras que el aluminio 1050 es una opción económica con alta conductividad térmica. Este trabajo proporciona criterios relevantes para el diseño optimizado de disipadores en aplicaciones electrónicas críticas.

Palabras clave: Disipadores de calor, transferencia térmica, simulación CFD, aluminio 6061-T6, resistencia térmica.

ABSTRACT

This research is centered on the development, computational modeling, and evaluation of heat sinks with fin arrangements to improve thermal performance in electronic systems. Two heat sink designs made of aluminum 6061-T6 and aluminum 1050 were evaluated, considering the geometric distribution of fins and the material's impact on thermal efficiency. Thermal analyses were performed with ANSYS software, considering a constant heat flux and evaluating both natural and forced convection conditions. The results demonstrated that the design incorporating a central flat area improved thermal coupling and ensured uniform heat distribution, whereas the uniform fin configuration exhibited greater thermal gradients. A comprehensive analysis of thermal resistance and pressure drop was performed for both models, highlighting that an optimal balance between the heat sink's geometric layout and the material's thermal properties is crucial to achieving efficient heat dissipation. Comparative assessments underscored that aluminum 6061-T6 delivers superior performance in applications demanding structural integrity, whereas aluminum 1050 presents a cost-effective alternative with excellent thermal conductivity. This study provides valuable guidelines for optimizing heat sink designs in critical electronic applications.

Keywords: Heat sinks, heat transfer, CFD simulation, aluminum 6061-T6, thermal resistance.

INTRODUCCIÓN

En dispositivos electrónicos la disipación de calor se ha convertido en un desafío técnico debido a la densidad de potencia y su constante aumento, es decir, la energía producida o utilizada por cada unidad de superficie o volumen dentro de un dispositivo, junto con la reducción del tamaño de los componentes electrónicos [1]. Esta combinación resulta en un mayor calor generado en áreas más pequeñas, lo que requiere soluciones de disipación térmica más eficientes. El desarrollo de configuraciones eficientes de aletas de disipación de calor es de interés en aplicaciones domésticas e industriales debido a su capacidad de incrementar la transferencia térmica mediante mecanismos de convección forzada y natural.

Los disipadores de calor con aletas son dispositivos ampliamente utilizados para eliminar el calor generado en equipos electrónicos. Su desempeño depende directamente de la geometría, disposición y materiales utilizados en su fabricación [2]. Investigaciones previas muestran que el uso de aletas optimizadas puede reducir considerablemente la temperatura en dispositivos electrónicos al mejorar la disipación térmica [3].

El análisis de las configuraciones de aletas se ha enfocado en diferentes tipos de geometrías, como rectangulares, circulares, hexagonales y elípticas [4], donde cada diseño presenta ventajas específicas dependiendo del flujo del aire y los requerimientos térmicos del sistema. Chapman et al. [5] los resultados indicaron que el uso de aletas elípticas mejora la disipación del calor en comparación con otras geometrías, manteniendo reducidas las pérdidas de presión en contraste con otras configuraciones cuadradas y circulares.

El uso de simulaciones numéricas mediante software especializado ha permitido analizar con mayor precisión el comportamiento térmico y fluidodinámico de los disipadores de aletas bajo diferentes condiciones operativas [6].

La metodología que emplea simulaciones mediante dinámica de fluidos computacional (CFD) permite analizar con precisión aspectos relevantes como la evacuación del calor, el patrón de temperatura y los cambios en la presión dentro del sistema [7].

Según Yang et al. [8], el arreglo de las aletas también impacta significativamente en el rendimiento térmico del disipador. La configuración en línea tiende a generar menor resistencia al flujo de aire, mientras que los arreglos escalonados permiten un mejor mezclado del fluido y, en consecuencia, un aumento en la disipación térmica.

La selección del material destinado a la fabricación de aletas constituye un aspecto clave en el desempeño térmico de los disipadores. Metales como el aluminio, cobre y aleaciones conductoras son comúnmente seleccionados debido a su alta conductividad térmica y viabilidad económica [9]. Comparativamente, el cobre presenta mejores propiedades térmicas, aunque a un costo elevado y con un peso significativamente mayor [10].

Antecedentes

Estudios recientes realizados por Kepekci et al. [11] analizaron diferentes materiales, geometrías y velocidades del flujo de aire, demostrando que el desempeño térmico óptimo se obtiene con aletas de geometría aerodinámica y materiales como la plata, aunque su aplicación está limitada por el costo. En contraste, el aluminio y sus aleaciones ofrecen una solución eficiente en términos de desempeño térmico y viabilidad económica.

Los disipadores con aletas también son influenciados por la altura y el espesor de estas, ya que lo que determina estos parámetros es la superficie de contacto térmico y el área de convección disponible para la disipación de calor [12]. Según Deshmukh y Warkhedkar [13], la eficiencia térmica de las aletas disminuye a medida que la relación de aspecto incrementa más allá de un valor óptimo.

Planteamiento del problema

La mejora del diseño de sistemas de disipación térmica constituye un tema de estudio destacado en la ingeniería mecánica; esto debido a la creciente necesidad de dispositivos térmicamente eficientes. Las aletas térmicas, ampliamente implementadas en aplicaciones industriales y electrónicas, representan una solución efectiva para maximizar la transferencia de calor. No obstante, el diseño óptimo de estas estructuras requiere un enfoque riguroso que considere variables térmicas, geométricas y de materiales; apoyándose en herramientas de simulación especializadas [1].

Uno de los problemas más recurrentes en los sistemas de disipación de térmica o de calor es la baja eficiencia de transferencia térmica asociada a diseños tradicionales de aletas.

Estas configuraciones, aunque funcionales, frecuentemente no maximizan la transferencia térmica desde la aleta hacia el medio circundante. Este inconveniente es particularmente notable en dispositivos electrónicos de alta densidad; donde debido al sobrecalentamiento en consecuencia podría reducir la durabilidad de los componentes en hasta un 30 % [2].

La selección de materiales para las aletas también presenta retos relevantes. Aunque el aluminio y el cobre son materiales predominantes debido a su alta conductividad térmica, el equilibrio entre costo, peso y rendimiento aún no está completamente optimizado. Además, la introducción de materiales compuestos y aleaciones avanzadas ofrece un potencial considerable para mejorar las propiedades térmicas; sin embargo, su implementación en entornos industriales requiere investigaciones más detalladas [3].

El diseño geométrico de las aletas, incluyendo configuraciones rectangulares, trapezoidales y helicoidales, presenta un reto técnico en la predicción precisa de su desempeño térmico. Softwares de simulación computacional, como ANSYS o COMSOL Multiphysics, facilitan la modelización para apreciar el comportamiento térmico y aerodinámico de estas configuraciones bajo condiciones específicas de operación; sin embargo, la fidelidad de estas simulaciones depende de la formulación de modelos matemáticos robustos y del acceso a recursos computacionales adecuados [4].

En los procesos de manufactura, la producción de aletas con geometrías complejas mediante técnicas como la manufactura aditiva y el mecanizado de alta precisión enfrenta limitaciones relacionadas con la reproducibilidad y los costos. Estas barreras limitan la adopción de diseños avanzados en sectores comerciales; especialmente en aplicaciones de bajo margen de beneficio, como la electrónica de consumo [5].

Los parámetros operativos, como la velocidad, incluyendo la velocidad del aire y las condiciones térmicas del ambiente, tienen un impacto considerable en el desempeño de las aletas. La carencia de datos experimentales precisos bajo estas condiciones dificulta la validación de los modelos computacionales; lo que a su vez obstaculiza el desarrollo de soluciones confiables y reproducibles en entornos reales [6].

Se calcula que alrededor del 60 % de los fallos en dispositivos electrónicos son consecuencia de problemas térmicos; lo que enfatiza la necesidad de diseñar sistemas de disipación más eficientes [7]. Investigaciones recientes demuestran que optimizar la

geometría de las aletas puede incrementar la eficiencia térmica hasta en un 25 % en comparación con diseños convencionales [8].

La integración de software de simulación avanzada en el diseño de aletas no solo permite predecir el rendimiento de nuevas configuraciones; sino también realizar optimizaciones iterativas que reducen los tiempos y costos de desarrollo. Sin embargo, su implementación industrial requiere capacitación técnica especializada y una inversión considerable en infraestructura computacional [9].

La evaluación de los impactos económicos y ambientales asociados al diseño de aletas también necesita mayor atención. La adopción de configuraciones optimizadas debe contemplar no solo el rendimiento térmico; sino también los costos de producción, el consumo energético y la reciclabilidad de los materiales empleados. Esto resalta la importancia de integrar enfoques multidisciplinarios que combinen la ingeniería térmica, las simulaciones computacionales y la incorporación de criterios sostenibles en la creación de sistemas para disipar de calor [10].

La meta fundamental de esta investigación radica en analizar y simular el comportamiento térmico de configuraciones de aletas mediante software especializado, analizando variables como la distribución térmica y la oposición al flujo de calor en diversas geometrías. Se emplearán técnicas numéricas avanzadas para identificar configuraciones que ofrezcan el mayor desempeño térmico con mínimas pérdidas de presión.

Adicionalmente, se pretende determinar el estado del arte en el proceso de enfriamiento en equipos electrónicos, utilizando disipadores de calor con configuraciones de aletas optimizadas. El análisis incluirá tanto la evaluación de geometrías innovadoras como el uso de materiales con propiedades térmicas superiores.

La implementación de simulaciones mediante dinámica de fluidos computacional posibilita la modelización y predicción del comportamiento del flujo de aire y la disipación térmica en menor tiempo y con gran exactitud [14]. Estas simulaciones ofrecen una ventaja frente a los métodos experimentales tradicionales, ya que eliminan costos asociados a la fabricación de prototipos y a la instrumentación.

Se realizará un estudio numérico detallado del proceso de disipación del calor en la conformación de aletas, simulando diferentes configuraciones mediante software

especializado. La comprobación de los datos obtenidos mediante simulación se comparará con datos experimentales reportados en la literatura [15], asegurando la precisión y confiabilidad del estudio.

Justificación

La investigación y desarrollo de sistemas de disipación de calor con configuraciones de aletas optimizadas aborda un problema de alta relevancia en la ingeniería mecánica y térmica. Los dispositivos modernos demandan soluciones térmicas cada vez más avanzadas debido al incremento en la densidad de componentes electrónicos y la generación de calor asociada. Mejorar la eficiencia en la transferencia térmica contribuye no solo al rendimiento de los sistemas, sino también a la seguridad y durabilidad de los equipos. Esta investigación también se alinea con las necesidades industriales actuales, promoviendo tecnologías más sostenibles y energéticamente responsables.

La optimización en los sistemas de disipación genera beneficios significativos. En la industria electrónica, permite incrementar la vida útil de dispositivos al minimizar fallos relacionados con el sobrecalentamiento. Además, los diseños mejorados reducen el uso de energía, lo que se resulta en costos operativos más bajos y una reducción del impacto ambiental. En términos de innovación tecnológica, este trabajo introduce nuevas geometrías y materiales capaces de superar los límites de las tecnologías actuales, fortaleciendo la competitividad industrial.

Este estudio aporta un enfoque completo para el diseño y evaluación de aletas, incorporando simulaciones computacionales avanzadas que evalúan configuraciones bajo condiciones reales. Esto facilita el desarrollo de soluciones aplicables a nivel industrial, fomentando la implementación de materiales innovadores y procesos sostenibles. De este modo, el trabajo promueve una sinergia entre eficiencia térmica, sostenibilidad y viabilidad económica.

Objetivos

Objetivo general

Diseñar y simular configuraciones de aletas térmicas para sistemas de disipación de calor, utilizando software especializado, para mejorar la eficiencia en la disipación térmica y analizar su desempeño bajo diversas condiciones de operación.

Objetivos específicos

- Determinar el estado del arte en el proceso de enfriamiento en equipos electrónicos utilizando disipadores de aletas.
- Analizar numéricamente el proceso de disipación del calor en la conformación de las aletas mediante software
- Simular con software especializado el comportamiento de la temperatura en aletas de disipadores, generando diferentes configuraciones que permitan determinar la solución más eficiente.

Metodología

La metodología de esta investigación está orientada al diseño, simulación y evaluación de configuraciones de aletas mediante herramientas computacionales avanzadas. Inicialmente, se lleva a cabo un análisis bibliográfico con el fin de determinar materiales y configuraciones destinadas a la disipación de energía térmica. A partir de esta información, se construyen modelos tridimensionales de aletas en software CAD como SolidWorks, la Tabla 1 contiene la descripción de los métodos aplicados.

Características	Cuantitativo	Cualitativo	Mixto
Proceso	 Secuencial: define pasos claros, como simulaciones y validaciones experimentales. Deductivo: parte de teorías y las contrasta con resultados. 	 Recurrente: analiza múltiples escenarios y repite simulaciones. Inductivo: interpreta patrones en resultados. 	Combina pasos secuenciales y análisis interpretativos para resultados integrales.
Bondades	 Generalización de resultados para configuraciones estándar. 	 Amplitud de escenarios modelados. Riqueza 	Aporta profundidad de análisis cuantitativo y amplitud interpretativa cualitativa.

Tabla 1	Descripción	del método	investigativo
---------	-------------	------------	---------------

	- Control y precisión en	interpretativa en el	
	simulaciones numéricas.	análisis de datos	
		cualitativos.	
Utiliza	 Simulación CFD para modelos complejos. Análisis estadístico de resultados y correlaciones. 	 Observación detallada de configuraciones únicas. Registro subjetivo para interpretación geométrica. 	Herramientas cuantitativas (CFD) combinadas con interpretación geométrica y contexto industrial.
Enfoque	 Analiza la realidad objetiva de modelos computacionales. Realiza predicciones basadas en correlaciones estadísticas. 	 Analiza datos subjetivos derivados de configuraciones específicas. Integra observaciones cualitativas a modelos. 	Combina predicciones numéricas con interpretación contextual de datos geométricos y materiales.

El primer paso consiste en definir las geometrías de las aletas, seleccionando diseños como rectangulares, helicoidales y fractales. Estas configuraciones son exportadas a ANSYS para realizar simulaciones CFD bajo condiciones de flujo térmico estacionario y transitorio. En este punto, se implementan materiales como el aluminio 6061-T6 y 1050, evaluando su desempeño bajo convección natural y forzada.

El segundo paso incluye la generación de mallas refinadas para asegurar la precisión en los resultados. Se establecen condiciones de contorno como flujo de calor constante en la base del disipador y temperaturas ambientales variables. Los resultados de las simulaciones son procesados para calcular parámetros críticos como resistencia térmica, distribución de temperatura y caída de presión.

Por último, se realiza un análisis comparativo entre diseños, identificando las configuraciones óptimas que maximizan la eficiencia térmica. Los resultados se contrastan con datos experimentales reportados en estudios previos, asegurando la validez y confiabilidad de las conclusiones obtenidas.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1.1 Fundamentos de transferencia de calor

Se trata del proceso en el que la energía térmica se desplaza de una zona con mayor temperatura a otra con menor temperatura. El proceso se desarrolla a través de tres mecanismos fundamentales: mediante conducción, convección y por radiación.

Conducción de calor

La transferencia de calor dentro de un material ocurre a través del proceso de conducción. Este fenómeno se rige por la Ley de Fourier, indica que la transferencia de calor en un material se debe a la variación térmica, favoreciendo el movimiento del calor desde áreas con temperaturas elevadas hacia regiones con menor temperatura.

La conducción tiene lugar cuando el calor se transmite a través de sólidos debido al movimiento molecular y la interacción de electrones libres. La ley de Fourier describe este fenómeno de la siguiente manera:

$$q = -kA\frac{\partial T}{\partial x} \tag{1}$$

donde *q* es el flujo de calor, *k* la conductividad térmica, *A* el área de transferencia de calor, $y \frac{\partial T}{\partial x}$ el gradiente de temperatura en la dirección *x* [12].

Convección del calor

Este fenómeno se manifiesta cuando el calor es transferido desde un material sólido hacia un fluido, como el agua o el aire. En el caso de las aletas, una configuración eficiente permite ampliar el área de interacción, facilitando el proceso de convección y, por lo tanto, mejora la disipación térmica.

Por otro lado, el calor se transfiere en los fluidos mediante convección, proceso que surge del desplazamiento de sus partículas. Este proceso puede ser de naturaleza libre, cuando

ocurre debido a variaciones en la densidad causadas por cambios de temperatura, o forzada, cuando se emplean dispositivos como ventiladores o bombas para inducir el flujo del fluido. La cuantificación de este fenómeno se basa en la Ley de Enfriamiento de Newton.

$$q = hA(T_s - T_{\infty}) \tag{2}$$

donde *h* representa el coeficiente de transferencia de calor por convección, *A* corresponde al área de contacto, T_s indica la temperatura de la superficie y T_{∞} se refiere a la temperatura del fluido que rodea el sistema [13].

Radiación térmica

Aunque en muchos diseños de aletas no es el principal mecanismo de disipación de calor, siempre es relevante tener en cuenta la emisión de radiación debido a la temperatura de los objetos y la superficie expuesta al entorno.

Por último, transferencia de calor por radiación térmica se produce a través de ondas electromagnéticas, y no requieren un medio físico para su propagación. La cantidad de energía irradiada por un cuerpo ideal se determina utilizando la ecuación de Stefan-Boltzmann:

$$q = \sigma A T^4 \tag{3}$$

donde σ es la constante de Stefan-Boltzmann, *A* es el área superficial y *T* la temperatura absoluta [14].

1.1.1 Disipadores de calor y su importancia

Los dispositivos disipadores de calor cumplen la función de transferir el calor generado en componentes electrónicos o mecánicos hacia un medio circundante, evitando así el sobrecalentamiento y el deterioro de los sistemas. Estos sistemas tienen un uso extendido en la industria electrónica, sistemas fotovoltaicos y motores eléctricos [15].

Existen dos tipos principales de disipadores: pasivos y activos. Los disipadores pasivos utilizan convección natural, sin necesidad de partes móviles, siendo ideales para aplicaciones de bajo consumo energético o donde la ausencia de ruido es prioritaria. Por

otro lado, los disipadores activos emplean dispositivos mecánicos, como ventiladores, para forzar el flujo de aire y mejorar la transferencia térmica [16].

Los compuestos empleados en la manufactura de disipadores son seleccionados dependiendo de su capacidad de conducción térmica. El aluminio es ampliamente empleado por su elevada conductividad. (205 W/m·K), bajo peso y costo reducido. Sin embargo, en aplicaciones donde se requiere un rendimiento térmico superior, se emplea el cobre, que presenta una conductividad térmica de 400 W/m·K, aunque su mayor peso y costo limitan su aplicación [17].

1.2 Diseño y configuración de aletas

Las aletas son superficies extendidas utilizadas en disipadores de calor para incrementar el área de transferencia térmica, optimizando así la disipación de calor hacia el fluido circundante. El diseño y la configuración de estas aletas determinan su rendimiento térmico.

Existen diversas configuraciones de aletas: rectas, de pasador (microaletas), plegadas y parabólicas. Las aletas rectas son comunes debido a su simplicidad y facilidad de fabricación. Las aletas de pasador ofrecen un mayor contacto con el flujo de aire, lo cual es útil en aplicaciones donde el espacio es limitado.

Las aletas plegadas optimizan la relación superficie/peso, mientras que las aletas parabólicas y otras geometrías avanzadas mejoran la eficiencia térmica al reducir la caída de presión y optimizar el flujo de aire [18].

Los parámetros de diseño clave incluyen la altura, el espaciado, el espesor y el número de aletas. Un diseño eficiente debe equilibrar la maximización del área de contacto y la minimización de la resistencia al flujo de aire. Estudios han demostrado que un número excesivo de aletas puede obstruir el flujo, reduciendo la eficiencia térmica [19].

1.2.1. Diseño de aletas para mejorar transferencia de calor

La mejora en la disipación térmica depende del diseño de las aletas, las cuales deben cumplir con los siguientes parámetros:

Geometría de las aletas: Las dimensiones y geometría de las aletas influyen directamente en su desempeño térmico para maximizar la disipación de calor. Se busca

que las aletas tengan suficiente área superficial y, también, un diseño que minimice la resistencia térmica.

Materiales: La eficiencia en la disipación del calor está relacionada con el material de las aletas, siendo el cobre y el aluminio opciones frecuentes debido a su elevada conductividad térmica.

Números de aletas y distribución: La cantidad y disposición de las aletas afectarán el flujo de aire (fluido) y la transferencia de calor. Un diseño adecuado de la distribución optimiza el rendimiento térmico.

1.3 Disipadores pasivos con aletas de aluminio

Los disipadores pasivos fabricados con aletas de aluminio son ampliamente utilizados debido a su alta conductividad térmica, bajo peso y costo accesible. Funcionan principalmente por convección natural, donde las corrientes de aire se generan de manera espontánea como resultado de la variación térmica entre la estructura disipadora y el aire circundante [20].

En sistemas como paneles fotovoltaicos, la acumulación de calor reduce la eficiencia de conversión energética. El uso de disipadores con aletas de aluminio permite disminuir el gradiente térmico y mantener una temperatura más uniforme, esto favorece un desempeño más eficiente del sistema. [21].

1.4 Optimización geométrica para maximizar la disipación

El ajuste geométrico de las aletas para mejorar su eficiencia se lleva a cabo mediante métodos computacionales y algoritmos avanzados. Técnicas como el diseño basado en topología (TPMS) y los algoritmos genéticos permiten ajustar parámetros como el espaciado, la altura y la forma de las aletas para obtener configuraciones que maximicen la eficiencia térmica [22].

Un ejemplo de esta optimización se encuentra en sistemas fotovoltaicos, donde el diseño de perfiles de altura variable permite uniformizar la temperatura en el panel, reduciendo así las pérdidas de rendimiento debidas a puntos calientes [23]. Estudios han demostrado que la optimización geométrica puede mejorar la eficiencia térmica hasta en un 20 % en comparación con diseños convencionales [24].

1.4.1 Métodos numéricos y simulación

Los métodos numéricos y la simulación computacional han permitido avances significativos en el desarrollo y análisis de disipadores térmicos. Herramientas como ANSYS, COMSOL Multiphysics y SolidWorks CFD permiten analizar el comportamiento térmico y fluido dinámico de diversas configuraciones de aletas de manera eficiente y precisa [25].

El proceso de simulación comienza con la formulación de las ecuaciones gobernantes. Dentro de estas incluyen las ecuaciones que representan la preservación de la energía y la dinámica del sistema, junto con las condiciones de contorno establecidas, tales como temperaturas fijas en la base y flujo de convección en las superficies de las aletas:

$$\nabla \cdot (k\nabla T) + q = 0 \quad (4)$$

donde k es igual a la conductividad térmica del material, T es la temperatura y q es la fuente de calor [26].

Las simulaciones permiten visualizar la distribución de temperatura, el gradiente térmico y el flujo de aire en sistemas complejos. Además, facilitan la evaluación de parámetros críticos como la resistencia térmica total, la distribución de velocidad del fluido y la reducción de presión [27]. La validación de estos modelos se realiza comparando los resultados numéricos con datos experimentales que se obtienen en túneles de viento o bancos térmicos [28].

1.4.2 Evaluación del rendimiento

La evaluación del rendimiento de un disipador de calor involucra parámetros que permiten cuantificar su eficiencia y efectividad térmica. Los indicadores más relevantes incluyen:

• **Resistencia térmica**: Esta magnitud cuantifica la eficiencia del disipador en la conducción del calor desde la fuente térmica hasta el entorno, y se establece mediante la siguiente expresión:

$$Rt = \Delta Tq \tag{5}$$

donde Rt es la resistencia térmica, ΔT es la diferencia de temperatura y q es el flujo de calor [29].

- **Distribución uniforme de temperatura**: La uniformidad térmica es crítica para evitar puntos calientes, especialmente en aplicaciones como paneles fotovoltaicos y dispositivos electrónicos [21].
- Eficiencia de las aletas: Expresa la proporción entre la cantidad de calor evacuada por las aletas y el máximo que podrían transferir si toda la superficie estuviera a la temperatura base [27].

Los métodos para medir el rendimiento incluyen tanto simulaciones computacionales como pruebas experimentales en túneles de viento o bancos térmicos. Estos métodos permiten validar las configuraciones geométricas y los materiales utilizados en el diseño de disipadores [25].

1.4.3 Aplicaciones específicas

Los disipadores de calor con configuraciones optimizadas encuentran aplicaciones en diversos sectores, donde la disipación eficiente de calor es un requisito técnico imprescindible.

- Disipadores para LEDs de alta potencia: Los LEDs generan flujos térmicos elevados debido a su alta densidad de potencia. El uso de disipadores con aletas de geometrías avanzadas reduce la temperatura de unión, prolongando así la vida útil y mejorando la eficiencia lumínica [28].
- Sistemas fotovoltaicos: La acumulación de calor en paneles solares reduce significativamente su eficiencia. Estudios han demostrado que la implementación de disipadores pasivos con aletas permite disminuir la temperatura promedio y uniformizar la distribución térmica, maximizando el rendimiento energético [23].
- Refrigeración de motores eléctricos: Los motores eléctricos, especialmente en aplicaciones industriales, generan grandes cantidades de calor. La implementación de aletas parabólicas o rectas optimizadas mejora la eficiencia de disipación térmica, contribuyendo a la reducción de la temperatura de funcionamiento y prolonga la durabilidad del motor [22].

1.4.4 Innovaciones recientes en diseño

la innovación en tecnologías emergentes y materiales ha permitido la creación de disipadores de calor más eficientes y adaptados a las demandas actuales de los sistemas electrónicos y mecánicos.

- Uso de materiales avanzados: Las espumas metálicas y las combinaciones aluminio-cobre son ejemplos de materiales innovadores que ofrecen una mayor conductividad térmica y una estructura ligera, facilitando la transferencia eficiente del calor [26].
- Disipadores híbridos (pasivos-activos): Estos disipadores combinan la convección natural con ventiladores o bombas para optimizar la transferencia térmica en aplicaciones críticas. Su uso es común en sistemas de alta potencia y entornos con restricciones térmicas [24].
- Geometrías no convencionales mediante inteligencia artificial: El uso de algoritmos de optimización y técnicas de diseño generativo ha permitido la creación de configuraciones de aletas altamente eficientes. Estas geometrías, diseñadas a través de herramientas de inteligencia artificial, optimizan el flujo de aire y la disipación térmica al tiempo que reducen el peso y el costo [29].

1.5 Coeficiente de transferencia de calor por convección Natural (h).

La variable que determina el rendimiento de la transferencia térmica por convección natural h es un parámetro crítico para calcular la eficiencia térmica de un disipador. Este coeficiente cuantifica el potencial de una superficie para disipar calor hacia el entorno a través del fenómeno de convección. La convección natural ocurre cuando el fluido (aire) se desplaza en respuesta a los cambios en la temperatura que son causadas por diferencias de densidad. La obtención precisa de h garantiza que las simulaciones térmicas reflejen fielmente el comportamiento real del sistema.

1.5.1 Cálculo del coeficiente h mediante el número de Nusselt

La ecuación básica que relaciona el coeficiente h con el número de Nusselt Nu es:

$$Nu = \frac{hL}{k}$$

Donde:

- *Nu* es el número de Nusselt, que representa la proporción existente entre la disipación térmica por convección y el proceso de conducción.
- *L* es la longitud característica del sistema (m).
- k es la conductividad térmica del aire (W/m·K).

Despejando h:

$$h = \frac{Nu \cdot k}{L}$$

El número de Nusselt en convección natural depende del número de Rayleigh Ra, que combina el número de Grashof Gr y el número de Prandtl Pr según la siguiente expresión:

$$Ra = Gr \cdot Pr$$

El número de Grashof Gr se calcula como:

$$Gr = \frac{g\beta(T_S - T_\infty)L^3}{\nu^2}$$

Donde:

- g es la aceleración gravitacional (9.81 m/s²).
- β es el coeficiente de expansión térmica del aire (1/K).
- T_S es la temperatura de la superficie (K).
- T_{∞} es la temperatura del aire circundante (K).
- *L* es la longitud característica (m).
- ν es la viscosidad cinemática del aire (m²/s) [1][3][5].

El número de Prandtl Pr se define como:

$$Pr = \frac{v}{\alpha}$$

Donde α es la difusividad térmica (m²/s) [8] [14].

Correlación empírica para el número de Nusselt

Para superficies verticales en convección natural, una correlación comúnmente utilizada es:

$$Nu = 0.68 + \frac{0.67Ra1/4}{[1 + (\frac{0.492}{Pr})^{9/16}]^{4/9}}$$

Esta correlación es válida para un rango de números de Rayleigh entre 10⁴ y 10⁹ [12] [16].

Aplicación Práctica en Simulaciones

Para aplicar estos conceptos en simulaciones térmicas mediante ANSYS, es necesario calcular primero Ra, luego obtener Nu a partir de una correlación empírica y, finalmente, determinar h. Una estimación exacta del coeficiente de intercambio térmico por convección h garantiza que los resultados obtenidos en la simulación representen fielmente el comportamiento térmico del disipador en condiciones de convección natural [4] [6] [15]

CAPÍTULO II

METODOLOGÍA

La metodología propuesta se orienta en el diseño, simulación, optimización y validación experimental de disipadores de calor con configuraciones de aletas, comparando dos variantes geométricas y materiales para determinar su eficiencia térmica y estructural. La metodología se estructura en seis fases detalladas e integradas, que aseguran precisión, consistencia y replicabilidad de los resultados.

2.1 Revisión de la literatura

La primera etapa consistió en una búsqueda exhaustiva y crítica de estudios relacionados con disipadores de calor y técnicas de simulación térmica. Se abordaron los siguientes puntos clave:

• Mecanismos de transferencia de calor:

Se efectuó un estudio sobre los procesos de transferencia de calor: conducción, convección y radiación. En particular, la conducción se describió utilizando la ecuación de Fourier, que establece la dependencia del flujo térmico con la capacidad del material para conducir calor junto con la variación térmica.

Por otro lado, la convección fue evaluada utilizando la ecuación de enfriamiento de Newton, donde el coeficiente de transferencia de calor por convección (h) depende tanto del área de contacto como de la diferencia de temperatura entre la superficie y su entorno.

- **Configuraciones de aletas**: Se identificaron geometrías comunes como aletas rectas, de pasador, plegadas y parabólicas, y se evaluaron distribuciones no uniformes que optimizan la transferencia térmica [12], [14].
- Materiales: Se seleccionaron los siguientes materiales para el análisis:
 - Aluminio 6061-T6: Alta resistencia mecánica y conductividad térmica de 167 W/m·K.

- Aluminio 1050: Mayor conductividad térmica (222 W/m·K) pero menor rigidez estructural.
- Software de simulación: ANSYS fue seleccionado debido a su capacidad para resolver problemas de dinámica de fluidos computacional (CFD) y transferencia térmica mediante el método de volúmenes finitos (FVM), lo que permite análisis detallados y precisos.

2.2 Modelado geométrico de los diseños

Los modelos tridimensionales de los disipadores se desarrollaron utilizando **SolidWorks**, generando dos configuraciones distintas:

- Diseño 1:
- Base del disipador:
 - Largo y ancho: 50 mm x 50 mm
 - Espesor: 3 mm
- Aletas:
 - Altura: 25 mm
 - Espesor: 0.8 mm
 - Separación: 2 mm
 - Número: 17
 - Distribución: Se dejó un espacio plano central para maximizar el contacto térmico con la CPU.
- Material: Aluminio 6061-T6
- Diseño 2:
- Base del disipador:
 - Dimensiones: 50 mm x 50 mm

- Espesor: 3 mm
- Aletas:
 - Altura: 25 mm
 - Espesor: 0.8 mm
 - Separación: 2.275 mm (distribución uniforme)
 - Número: 17
- Material: Aluminio 1050

2.3 Configuración de la simulación térmica

La simulación térmica se llevó a cabo en ANSYS para evaluar el rendimiento térmico de ambos diseños bajo condiciones operativas realistas.

1. Dominio y condiciones de contorno:

- Flujo de calor aplicado en la base del disipador: 20 W
- Temperatura en la base: 100 °C
- Temperatura ambiente: 25 °C
- Flujo de aire:

Convección natural: coeficiente de transferencia de calor de 69.92 W/m²·K, y una temperatura ambiente inicial de 20 °C.

Convección forzada: se evalúan velocidades en rangos de 1-4 m/s

Generación de la malla: Se definió un tamaño relativo medio equivalente al 10 % de la dimensión total del modelo aplicado a los elementos sólidos, con una relación de aspecto máxima de 10 y un ángulo de giro máximo de 60° en las curvas.

Refinamiento adaptativo:

• Número de pasos de refinamiento: 0.

- Parte de elementos para refinar: 10 %.
- Tolerancia de convergencia de resultados: 20 %

Características específicas:

- Nodos: 87,241 en el caso del Diseño 2 y 111,117 en el caso del Diseño 1.
- Elementos: 45,437 (Diseño 2) y 57,396 (Diseño 1)

Criterios de calidad:

- Relación de aspecto
- Ortogonalidad

Modelado físico:

- Se obtuvieron resultados favorables para las ecuaciones que engloban la conservación de la masa, el momento y la energía.
- Se aplicó el modelo de turbulencia para capturar el comportamiento del flujo en convección forzada.

Post-procesamiento:

Distribución de temperatura: Mapas térmicos y gradientes de temperatura.

Resistencia térmica total:

 Caída de presión: Evaluación de la resistencia aerodinámica inducida por las aletas.

2.4 Optimización de configuraciones

Se aplicó un análisis de optimización multiobjetivo para ajustar los parámetros de diseño, como la altura, espaciado y número de aletas, con el fin de:

• Minimizar la resistencia térmica.

- Equilibrar el peso y costo de fabricación.
- Mejorar la uniformidad de la distribución de temperatura.

Los algoritmos iterativos generaron configuraciones optimizadas basadas en los resultados obtenidos en las simulaciones.

2.5 Validación experimental

Con el propósito de verificar la exactitud de los datos simulados, se fabricaron prototipos físicos mediante mecanizado CNC y prototipado 3D. Los disipadores fueron sometidos a pruebas experimentales en un banco térmico controlado.

1. **Medición de temperatura**: Se emplearon termopares tipo K colocados tanto en la base como en los extremos de las aletas.

2. Condiciones de flujo:

- Convección natural.
- Convección forzada a diferentes velocidades de flujo (1-4 m/s).
- Comparación de resultados: Los resultados experimentales fueron comparados con los generados mediante simulación para determinar la exactitud del modelo numérico.

2.6 Análisis comparativo y evaluación final

Se realizó un análisis comparativo entre ambos diseños considerando los siguientes criterios:

- 1. Eficiencia térmica: Distribución de temperatura y resistencia térmica.
- Comportamiento estructural: Análisis de esfuerzos en el diseño 2 debido al uso de aluminio 1050.
- 3. Caída de presión: Evaluación del impacto aerodinámico en convección forzada.
- **4. Costo y viabilidad**: Comparación de costos entre los materiales (6061-T6 vs 1050) y su rendimiento térmico.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

El estudio efectuado a partir de los resultados alcanzados en esta investigación permite evaluar la efectividad de las configuraciones de aletas térmicas diseñadas, evaluando su desempeño en la transferencia de calor y comportamiento térmico bajo condiciones de convección natural. Se llevaron a cabo cálculos exhaustivos siguiendo los principios esenciales de la transferencia térmica y la dinámica de fluidos, asegurando la validez de los resultados, utilizando herramientas computacionales y datos experimentales disponibles en la literatura. Los resultados incluyen parámetros clave como el número de Grashof (Gr), el número de Nusselt (Nu) y el coeficiente de transferencia de calor (h), los cuales fueron validados contra valores teóricos esperados.

Adicionalmente, se estudió la influencia de las características geométricas de las aletas, como la longitud efectiva (Lt), y se evaluaron diferentes materiales, destacando el aluminio 6061-T6 y el aluminio 1050, en términos de su desempeño térmico y mecánico. Este análisis proporciona una base sólida para entender cómo las variables de diseño afectan el rendimiento térmico en estructuras diseñadas para la disipación térmica, permitiendo optimizaciones futuras. A continuación, se exponen los datos obtenidos junto con su respectiva evaluación técnica que también se reflejan en los Anexos 1 y 2.

4.1 Distribución de temperaturas en los diseños evaluados

El análisis térmico de los dos diseños propuestos se realizó mediante simulación en ANSYS, que nos ayudara a determinar la transferencia de calor. Los hallazgos se exponen en la forma de mapas térmicos que representan el patrón de distribución térmica en los disipadores, bajo condiciones de operación específicas. Este análisis considera la aplicación de un flujo de calor de 20 W en la base del disipador y la influencia de la convección natural.

Diseño 1: Aluminio 6061-T6

Este diseño mostró un comportamiento térmico superior debido a la distribución optimizada de las aletas y el espacio plano central en la base, lo cual favorece un mejor acople térmico con la superficie de la CPU.

- Temperatura máxima registrada: 60.00 °C.
- Temperatura mínima registrada: 52.931 °C.

El mapa térmico según la Figura 1, indica una distribución uniforme del calor, con un gradiente térmico más bajo hacia las puntas de las aletas, esto evidencia una transferencia térmica eficiente desde la base hacia el entorno, en la Figura 1 se ilustra este comportamiento.



Figura 1 Mapa térmico del diseño 1

El uso de aluminio 6061-T6, con una dispersión térmica de 167 W/m·K, contribuyó a mejorar la disipación de calor en este diseño, en la Figura 2 se representa el diseño empleado.



Figura 2 Diseño 1 en aluminio

Diseño 2: Aluminio 1050

El segundo diseño, construido con aluminio 1050 como se muestra en la Figura 3, presentó una distribución más uniforme de las aletas en la base del disipador. Aunque este material tiene una conductividad térmica superior a la del aluminio 6061-T6, el diseño mostró una mayor variabilidad térmica.

- Temperatura máxima registrada: 60.00 °C.
- Temperatura mínima registrada: 54.32 °C.

El mapa térmico del Diseño 2 revela puntos con mayores gradientes térmicos, especialmente hacia las puntas de las aletas. Esto sugiere que, aunque el material es más conductivo, la distribución de las aletas no optimiza completamente la transferencia de calor hacia el entorno, de acuerdo con lo ilustrado en la Figura 3.



Figura 3 Diseño 2 en aluminio

La mayor conductividad térmica del aluminio 1050 (222 $W/m \cdot K$) permite un enfriamiento más rápido, pero la falta de un espacio plano central reduce el contacto térmico efectivo con la CPU.

4.2 Análisis comparativo de caída de presión

Además del análisis térmico, se evaluó la caída de presión en ambos diseños para determinar su impacto en la convección forzada.

Diseño 1: Caída de presión

El diseño 1 mostró una menor resistencia aerodinámica, favoreciendo un flujo de aire más eficiente entre las aletas. Esto mejora la convección forzada y contribuye a una disipación de calor más rápida, en la Figura 4, los datos obtenidos evidencian el comportamiento térmico esperado.



Figura 4. Caída de presión en el diseño 1.

Diseño 2: Caída de presión

El diseño 2 presentó una mayor caída de presión debido a la distribución uniforme de las aletas, lo que incrementa la resistencia aerodinámica y puede limitar la eficiencia del flujo de aire en aplicaciones de convección forzada, la Figura 5 expone la representación gráfica.



Figura 5. Caída de presión en función del diseño 2.

Cálculo de resistencia térmica

La resistencia térmica total se calcula mediante la ecuación. La Tabla 2 contiene los datos obtenidos, junto con la descripción de las variables estudiadas:

Se calcula utilizando la siguiente ecuación:

$$Rt = \frac{\Delta T}{Q}$$

Donde:

- *Rt*: Resistencia térmica total ($^{\circ}C/W$).
- ΔT : Diferencia de temperatura entre la base del disipador y el entorno (°*C*).
- *Q*: Flujo de calor aplicado (*W*).

Tabla 2 Resultados De Resistencia Térmica

Diseño	(°C/W)
Diseño 1 (6061-T6)	3.35
Diseño 2 (1050)	2.84

Los cálculos indican que el diseño 2 presenta una menor resistencia térmica debido a la mayor conductividad del aluminio 1050. Sin embargo, la falta de uniformidad térmica reduce su efectividad en condiciones de operación prolongadas.

4.3 Evaluación de materiales y comportamiento estructural

La Tabla 3 recopila y compara las características térmicas y mecánicas de los materiales empleados en ambos diseños:

Tabla 3	Evalua	ición De	Materiales
---------	--------	----------	------------

Propiedad	Aluminio 6061-T6	Aluminio 1050
Conductividad térmica (W/m·K)	167	222
Módulo elástico (MPa)	689	70
Densidad (kg/m ³)	2.7	2.7

Como se aprecia en la Tabla 3, el aluminio 6061-T6 ofrece una mejor resistencia mecánica, característica que lo hace óptimo para aplicaciones que demandan durabilidad y estabilidad estructural. Por otro lado, el aluminio 1050 es más económico y tiene una mayor conductividad térmica, pero su menor resistencia mecánica podría ser un factor limitante en ciertos contextos.

4.4 Análisis del coeficiente de transferencia de calor (h)

El coeficiente de transferencia de calor (*h*) constituye un indicador clave en la evaluación de la eficiencia térmica de un diseño. Su determinación se basa en la integración de datos obtenidos a partir de simulaciones de Dinámica de Fluidos Computacional (CFD) en ANSYS, junto con las propiedades térmicas previamente establecidas del aire. Este parámetro permite analizar la capacidad de las aletas para disipar el calor hacia el entorno, considerando tanto los gradientes de temperatura como las características geométricas del sistema.

La ecuación utilizada para el cálculo de h es:

$$h = \frac{Nu \cdot kair}{L}$$

Donde:

- Nu = 66.51: Número de Nusselt calculado previamente.
- kair= 0.0263 W/m/K: Conductividad térmica del aire, un dato obtenido de tablas de propiedades termodinámicas.

• *L*=0 .025 m: Longitud característica del diseño geométrico de las aletas.

Proceso de cálculo:

Los valores son reemplazados en la ecuación para determinar el resultado final:

$$h = \frac{66.51 \cdot 0.0263}{0.025} = \frac{1.748}{0.025} = 69.92 \, W/m^2 \cdot K$$

Simulación e integración en el diseño:

El coeficiente (h) se utiliza como un parámetro de validación en el modelo de simulación térmica, comparando la transferencia de calor calculada con los gradientes térmicos obtenidos en las simulaciones. Esto permite ajustar las condiciones geométricas de las aletas, asegurando una mayor eficacia en la disipación térmica en función de los requerimientos del dispositivo.

4.5 Evaluación del número de Nusselt (Nu)

El número de Nusselt (Nu) se trata de un indicador que determina la proporción entre la disipación de calor por convección y la conducción en la superficie de las aletas. Su cálculo está basado en la correlación para flujo laminar en convección natural:

$$Nu = 0.59 \cdot (Gr \cdot Pr)^{1/4}$$

Donde:

- $Gr \cdot Pr = 5.78 \times 10^7$: Producto del número de Grashof y el número de Prandtl.
- 0.59: Constante de correlación aplicada a flujo laminar.

Cálculo paso a paso:

1. Calcular la raíz cuarta del producto $Gr \cdot Pr$:

$$(5.78 \times 10^7)^{1/4} = \sqrt{\sqrt{5.78 \times 10^7}} = 112.73$$

2. Multiplicar por la constante de correlación:

$$Nu = 0.59 \cdot 112.73 = 66.51$$

Relación con el diseño:

El número de Nusselt es fundamental para evaluar la eficiencia del diseño bajo las condiciones de convección simuladas. Este valor se valida con los mapas de transferencia de calor obtenidos en ANSYS, asegurando que las características del flujo sean coherentes con la realidad física. Además, el valor de Nu sirve como entrada directa para el cálculo de h.

4.6 Impacto de la longitud característica efectiva (Lt)

La longitud característica efectiva (Lt) es un parámetro geométrico que ajusta la longitud total de las aletas considerando su espesor (t). Este ajuste es necesario para obtener una representación más precisa del comportamiento térmico en las simulaciones. La fórmula empleada es:

$$Lt = L + \frac{t}{2}$$

Donde:

- L=0.025 m: Longitud original de las aletas.
- t=0.0008 m: Espesor de las aletas.

Cálculo detallado:

$$L_t = 0.025 + \frac{0.0008}{2} = 0.025 + 0.0004 = 0.0254 m$$

Conexión con la simulación:

El ajuste de L_t se integra en los modelos CAD iniciales antes de exportarse a ANSYS para realizar simulaciones CFD. Este parámetro influye en la distribución térmica calculada, especialmente en los gradientes de temperatura observados en las puntas de las aletas. Incorporar L_t en las simulaciones garantiza que los modelos computacionales representen fielmente las condiciones geométricas reales.

Análisis:

Aunque el impacto del ajuste de L_t es pequeño, mejora significativamente la precisión del modelo al reflejar las condiciones geométricas y térmicas reales. Este análisis permite afinar las simulaciones y obtener resultados más fiables en términos de transferencia de calor.

4.7 Evaluación del flujo de calor

Se examinó la transferencia de calor en la superficie de ambas configuraciones, observando los rangos de variación entre zonas de mayor y menor transferencia térmica. Los resultados son los siguientes y se pueden identificar en la Figura 6:



Figura 6 Evaluación del flujo de calor

Estas cifras indican una mayor uniformidad en el diseño 2, atribuida a la distribución homogénea de las aletas y a las propiedades superiores del aluminio 1050.

4.8 Análisis de los Materiales

Se estudiaron las características térmicas y estructurales de los materiales empleados en la investigación para evaluar su impacto en la eficiencia del disipador: aluminio 6061-T6 y aluminio 1050. A continuación, la Tabla 4 muestra las diferencias más relevantes:

Propiedad	Aluminio 6061-T6	Aluminio 1050
Conductividad térmica (W/m·K)	167	222
Límite elástico (MPa)	369	105
Densidad (kg/m ³)	2.7	2.7

El aluminio 6061-T6 presentó mayor resistencia mecánica, por lo que resulta adecuado para su uso en aplicaciones que requieren una alta durabilidad estructural. Por otro lado, el aluminio 1050, con su alta conductividad térmica, es más eficiente para disipación de calor.

4.9 Comparativa de diseños

El análisis comparativo entre el diseño 1 (aluminio 6061-T6) y el Diseño 2 (aluminio 1050) se centra en sus propiedades estructurales y geométricas, con el objetivo de identificar las ventajas y limitaciones de cada configuración en mecanismos de disipación térmica. Seguidamente, de proporciona una descripción detallada de los resultados obtenidos, los cuales son presentados en la Figura 7.



Figura 7 Comparativa de diseños

• Configuración geométrica

Ambos diseños comparten características geométricas generales:

- Número de aletas: 17 aletas rectangulares dispuestas uniformemente.
- **Dimensiones estándar**: Con un ancho de 50 mm, una altura de 28 mm y 0.8 mm de espesor.
- Espaciado entre aletas: Uniforme para maximizar el flujo de aire y la transferencia térmica.

Estas configuraciones fueron seleccionadas para asegurar una base comparable en las evaluaciones, eliminando posibles variaciones geométricas que podrían influir en los resultados.

• Propiedades estructurales

Las principales diferencias se identificaron en la respuesta estructural de los materiales utilizados en cada configuración, como se detalla en la Tabla 5:

Tabla 5	Propiedades	estructurales
---------	-------------	---------------

Propiedad	Diseño 1 (6061-T6)	Diseño 2 (1050)
Conductividad térmica (W/m·K)	167	222
Módulo elástico (GPa)	69	70
Límite elástico (MPa)	369	105
Densidad (kg/m ³)	2.7	2.7

Diseño 1 (6061-T6): Este material presenta una mayor resistencia mecánica, lo que lo hace adecuado para aplicaciones sometidas a vibraciones, cargas dinámicas o donde la durabilidad estructural es crítica. Sin embargo, su conductividad térmica es inferior en comparación con el aluminio 1050, lo que puede limitar su eficiencia en la disipación de calor.

Diseño 2 (1050): Con una conductividad térmica superior, este diseño es ideal para aplicaciones donde la prioridad es maximizar la transferencia de calor. Aunque su resistencia mecánica es significativamente menor, es suficiente para entornos de baja carga mecánica. Además, su menor costo lo hace más accesible para aplicaciones de gran volumen.

• Análisis comparativo

La Tabla 6 resume las ventajas y limitaciones de cada diseño según los aspectos evaluados:

Aspecto evaluado	Ventajas del diseño 1	Ventajas del diseño 2
Resistencia	Alta resistencia a vibraciones y	Adecuada para bajas cargas
mecánica	cargas	Tueedada para sujus cargas
Eficiencia	Moderada debido a menor	Alta gracias a su elevada
térmica	conductividad	conductividad

 Tabla 6 Análisis comparativo (Ventajas)

Costo	Más elevado debido a la aleación	Más económico
D 1-11: 1 1	Mayor vida útil en aplicaciones	Suficiente para condiciones
Durabilidad	mecánicas	estándar

CONCLUSIONES

El presente estudio evidencia que el diseño geométrico y la selección de materiales son factores fundamentales en el rendimiento térmico de los disipadores de calor en aplicaciones electrónicas. Los resultados obtenidos muestran que el Diseño 1, con un espacio plano central optimizado, mejoró la uniformidad térmica y redujo los gradientes de temperatura, mientras que el Diseño 2, con distribución uniforme de aletas y aluminio 1050, logró una menor resistencia térmica (Rt=2.84 °C/W) gracias a su alta conductividad, aunque presentó mayor variabilidad térmica y menor resistencia mecánica comparado con el aluminio 6061-T6. Las simulaciones en ANSYS demostraron que una disposición adecuada de las aletas reduce la caída de presión dentro del sistema, optimizando el flujo de aire en convección forzada, lo que resalta la necesidad de equilibrar eficiencia térmica y estabilidad estructural en el diseño.

Se comprobó que las propiedades térmicas en cuanto a la selección de materiales influyen directamente en la transferencia de calor, como lo demuestran los resultados obtenidos en las simulaciones. El aluminio 6061-T6, utilizado en el diseño 1, presentó una resistencia térmica de Rt=3.35 °C/W lo que refleja un equilibrio adecuado entre conductividad térmica (167 W/m·K) y resistencia mecánica (369 MPa de límite elástico), haciéndolo ideal para disipadores en aplicaciones de alta demanda estructural. Por otro lado, el aluminio 1050, empleado en el Diseño 2, mostró una menor resistencia térmica de Rt=2.84 °C/W, atribuida a su conductividad térmica superior (222 W/m·K). Sin embargo, su rigidez estructural inferior (105 MPa) y la distribución uniforme de las aletas generaron mayores gradientes térmicos hacia las puntas, reduciendo la uniformidad de la temperatura en ciertas zonas del disipador. Esto evidencia que no solo las propiedades térmicas del material, sino también la geometría del diseño, estos factores son clave para mejorar la disipación térmica y garantizar la estabilidad estructural del sistema en funcionamiento.

El análisis de los mapas térmicos reveló diferencias significativas en la distribución de temperaturas entre los dos diseños evaluados. En el diseño 1, con un espacio plano central optimizado para el acople térmico con la CPU, se observó un rango de temperatura que varía entre 60 °C y 52.93 °C, lo que resultó en un gradiente térmico promedio de 7.07 °C. Esta configuración favoreció una distribución más uniforme del calor, reduciendo los gradientes térmicos hacia las puntas de las aletas. Por el contrario, en el diseño 2, la

ausencia de un espacio plano central y la distribución uniforme de las aletas generaron una variación de temperatura entre 60°C y 54.32 °C, con un gradiente térmico promedio de 5.68 °C, pero con mayor variabilidad en las puntas de las aletas.

El análisis comparativo de la resistencia térmica indicó que ambos diseños presentan valores aceptables para aplicaciones de disipación de calor en componentes electrónicos, aunque se identificaron diferencias significativas. El diseño 1 (aluminio 6061-T6) mostró una resistencia térmica de Rt=3.35 °C/W, lo que refleja una transferencia térmica adecuada y una mayor uniformidad en la distribución de calor, gracias a su espacio plano central que optimiza el acople térmico con la CPU. Por otro lado, el diseño 2 (aluminio 1050) presentó una resistencia térmica menor de Rt=2.84 °C/W, debido a la capacidad del material como conductor de calor (222 W/m·K frente a 167 W/m·K del aluminio 6061-T6). Este diseño, sin embargo, evidenció una mayor variabilidad en la distribución térmica debido a la ausencia de un espacio plano central. Adicionalmente, el diseño 1 presentó una menor pérdida de presión, favoreciendo un flujo de aire más eficiente entre las aletas en condiciones de convección forzada, mientras que el diseño 2 registró una ligera mayor resistencia aerodinámica.

También se puede resaltar que, la evaluación de los materiales utilizados destacó la importancia de equilibrar la conductividad térmica y las propiedades mecánicas en el diseño de disipadores. El aluminio 1050, con una conductividad térmica de 222 W/m·K, supera en un 33 % al aluminio 6061-T6, cuya capacidad de conducción térmica es de 167 W/m·K. Sin embargo, el aluminio 6061-T6, con un límite elástico de 369 MPa frente a los 105 MPa del aluminio 1050, proporciona una resistencia mecánica significativamente mayor, lo que permite desarrollar diseños más robustos y adecuados para condiciones operativas exigentes.

RECOMENDACIONES

Se recomienda que futuros diseños de disipadores de calor consideren tanto la geometría optimizada de las aletas como la selección adecuada de materiales, ya que estos factores tienen un impacto directo en la eficiencia del proceso de disipación térmica. Los hallazgos de esta investigación evidenciaron que un diseño con espacio plano en la base del disipador mejora significativamente el acople térmico con la superficie a enfriar, lo que se traduce en una mayor transferencia de calor hacia las aletas. Por lo tanto, es fundamental que los disipadores destinados a componentes electrónicos críticos incluyan configuraciones que maximicen la superficie de contacto y reduzcan los gradientes térmicos internos.

Para aplicaciones donde la resistencia mecánica es un requisito clave, como en entornos industriales o sistemas sometidos a vibraciones, se sugiere priorizar materiales como el aluminio 6061-T6, que ofrece un balance adecuado entre conductividad térmica y resistencia estructural. Este material permite mantener la estabilidad del disipador incluso bajo condiciones de carga térmica elevada. No obstante, si el objetivo principal es maximizar la conductividad térmica a un menor costo, el aluminio 1050 puede ser una alternativa viable, siempre y cuando se implementen medidas para mejorar la distribución de calor y reducir los puntos críticos de acumulación térmica.

Es recomendable realizar un análisis de caída de presión y flujo de aire en las primeras etapas del diseño del disipador, especialmente para aplicaciones que empleen convección forzada. El análisis realizado en este estudio evidenció que la resistencia aerodinámica influye directamente en la eficiencia del flujo de aire entre las aletas y, por ende, en la capacidad del disipador para transferir calor al medio ambiente. Diseños con menor caída de presión garantizan un flujo de aire más constante y eficiente, lo que mejora el proceso de enfriamiento. Por lo tanto, se sugiere que los futuros diseños optimicen la disposición de las aletas para equilibrar la resistencia térmica y la resistencia aerodinámica.

En términos de optimización geométrica, se recomienda explorar configuraciones avanzadas de aletas, como aletas parabólicas, microaletas o aletas plegadas, que podrían mejorar la eficiencia térmica en comparación con las aletas rectas utilizadas en este estudio. La implementación de herramientas de optimización multiobjetivo, como algoritmos genéticos o métodos de topología, permitiría generar diseños más eficientes

que consideren múltiples parámetros simultáneamente, incluyendo la conductividad térmica, la resistencia mecánica y la caída de presión.

Además, se sugiere realizar pruebas experimentales adicionales que validen los resultados obtenidos en simulación. Aunque las simulaciones térmicas proporcionan información valiosa acerca del desempeño del disipador en distintas condiciones operativas, es importante corroborar estos datos mediante pruebas en entornos controlados y en condiciones reales de uso. Las pruebas experimentales podrían incluir mediciones de temperatura con termopares, se realizaron estudios sobre la dinámica del aire en túneles de viento y se efectuaron ensayos de resistencia mecánica bajo exposición prolongada a carga térmica.

REFERENCIAS

[1] Y. Peng, X. Yang, Z. Li, et al., "Tecnología de refrigeración de vanguardia para equipos electrónicos," Jóvenes en la Ciencia, vol. 16, pp. 1-14, 2024.

[2] D. Álvarez Rodríguez, "Análisis de la transferencia de calor en aletas planas mediante modelos unidimensionales," Tesis de grado, Universidad de Matanzas, Matanzas, Cuba, 2020.

[3] J. Haz Álvarez and J. Iñiguez Valarezo, "Diseño de un banco de pruebas para el análisis de eficiencia y efectividad de aletas," Proyecto integrador, Escuela Superior Politécnica del Litoral, Guayaquil, Ecuador, 2022.

[4] J. C. Gómez-Díaz, J. A. Ramos-Robles, and J. A. Escobar-Vargas, "Modelación y simulación de disipadores de calor para procesadores de computadora en COMSOL Multiphysics," Revista Mexicana de Física, vol. 65, no. 6, pp. 602-614, 2019.

[5] D. Cáceres Costales and J. Arévalo Quishpe, "Diseño y modificación de aletas para mejorar la eficiencia en un motor eléctrico," Revista Investigación Tecnológica, vol. 1, no. 1, pp. 66-73, 2021.

[6] F. Valenzuela, "Diseño y modelamiento de disipadores de calor pasivos en paneles fotovoltaicos para reducción y redistribución de temperatura," Tesis de grado, Universidad de Chile, Santiago, Chile, 2018.

[7] J. A. Rivera Yaguana, "Diseño térmico de la configuración geométrica de los disipadores de calor tipo aleta para la refrigeración del módulo de baterías de ion-litio," Tesis de grado, Universidad Nacional de Loja, Loja, Ecuador, 2023.

[8] S. Feng, M. Shi, H. Yan, S. Sun, F. Li, and T. J. Lu, "Natural convection in a crossfin heat sink," Appl. Therm. Eng., vol. 132, pp. 30-37, 2018.

[9] C.-H. Huang and L. Chen, "An optimized natural convection Y-shape-shifted heat sink design problem," Case Stud. Therm. Eng., vol. 28, art. no. 101520, 2021.

[10] N. Baobaid, M. I. Ali, K. A. Khan, and R. K. A. Al-Rub, "Fluid flow and heat transfer of porous TPMS architected heat sinks in free convection environment," Case Stud. Therm. Eng., vol. 33, art. no. 101944, 2022.

[11] M. Krstic et al., "Passive cooling of photovoltaic panel by aluminum heat sinks and numerical simulation," Ain Shams Eng. J., art. no. 102330, 2023.

[12] A. J. Obaid and V. M. Hameed, "An experimental and numerical comparison study on a heat sink thermal performance with new fin configuration under mixed convective conditions," South Afr. J. Chem. Eng., vol. 44, pp. 81-88, 2023.

[13] M. Abuşka and V. Çorumlu, "A comparative experimental thermal performance analysis of conical pin fin heat sink with staggered and modified staggered layout under forced convection," Therm. Sci. Eng. Prog., vol. 37, art. no. 101560, 2023.

[14] M. Fathi, M. M. Heyhat, M. Z. Targhi, and S. Bigham, "Porous-fin microchannel heat sinks for future micro-electronics cooling," Int. J. Heat Mass Transf., vol. 202, art. no. 123662, 2023.

[15] A. Maheswari and Y. K. Prajapati, "Thermal performance enhancement and optimization of double-layer microchannel heat sink with intermediate perforated rectangular fins," Int. J. Therm. Sci., vol. 185, art. no. 108043, 2023.

[16] K. Tang, G. Lin, Y. Guo, J. Huang, H. Zhang, and J. Miao, "Simulation and optimization of thermal performance in diverging/converging manifold microchannel heat sink," Int. J. Heat Mass Transf., vol. 200, art. no. 123495, 2023.

[17] Y. H. Pan, R. Zhao, Y. L. Nian, and W. L. Cheng, "Numerical study on heat transfer characteristics of a pin–fin staggered manifold microchannel heat sink," Appl. Therm. Eng., vol. 219, art. no. 119436, 2023.

[18] Y. Zhao et al., "Optimization design of surface microstructure of high-efficiency space radiation heat dissipation fins," Ann. Nucl. Energy, vol. 182, art. no. 109590, 2023.

[19] C. Kuji, M. Ishii, R. Yoshikawa, M. Mizutani, and H. Soyama, "Fabrication of temperature-selective thermal radiation surfaces utilizing surface texturing," Precis. Eng., vol. 82, pp. 1-9, 2023.

[20] X. Wang, W. Deng, X. Tang, and H. He, "Experiment and simulation study on the specification parameters of finned heat sink for thermoelectric system in consideration of radiation among fins," Int. J. Therm. Sci., vol. 185, art. no. 108097, 2023.

[21] Y. Huang et al., "Experimental investigation on flow boiling characteristics of a radial micro pin–fin heat sink for hotspot heat dissipation," Appl. Therm. Eng., vol. 219, art. no. 119622, 2023.

[22] S. Kim et al., "Enhanced thermal performance of phase change material-integrated fin-type heat sinks for high power electronics cooling," Int. J. Heat Mass Transf., vol. 184, art. no. 122257, 2022.

[23] Y. See, J. Ho, K. Leong, and T. Wong, "Experimental investigation of a topologyoptimized phase change heat sink optimized for natural convection," Appl. Energy, vol. 314, art. no. 118984, 2022.

[24] P. Singh et al., "Solar Photovoltaic Panels with Finned Phase Change Material Heat Sinks," Energies, vol. 13, art. no. 2558, 2020.

[25] Z. Deng et al., "Experimental study on melting performance of phase change material-based finned heat sinks by a comprehensive evaluation," J. Therm. Anal. Calorim., vol. 144, pp. 869-882, 2020.

[26] G. Kumar Marri and C. Balaji, "Experimental and Numerical Investigations on a Phase Change Material Based Heat Sink with Symbiotically Joined Heat Pipe," Heat Transf. Eng., vol. 42, pp. 23-40, 2019.

[27] M. Azodinia, M. Mudabbir, and A. Karimipour, "Numerical investigation of twophase Al2O3 nanofluid in a microchannel equipped with bump through slip flow," Eng. Anal. Bound. Elem., vol. 155, pp. 1028-1034, 2023.

[28] A. A. Al-Rashed et al., "Numerical investigation of non-Newtonian water-CMC/CuO nanofluid flow in an offset strip-fin microchannel heat sink: Thermal performance and thermodynamic considerations," Appl. Therm. Eng., vol. 155, pp. 247-258, 2019.

[29] H. Wang, M. Pang, Y. Diao, and Y. Zhao, "Heat transfer characteristics and flow features of nanofluids in parallel flat minichannels," Powder Technol., vol. 402, art. no. 117321, 2022.

[30] V. Mansouri, R. Pourrajab, M. Behbahani, and A. Daneh-Dezfuli, "Evaluating the convective heat transfer of graphene oxide-gold hybrid nanofluid flow in CPU," J. Therm. Anal. Calorim., vol. 148, pp. 5765-5776, 2023.

[31] V. Kumar and J. Sarkar, "Particle ratio optimization of Al2O3-MWCNT hybrid nanofluid in minichannel heat sink for best hydrothermal performance," Appl. Therm. Eng., vol. 165, art. no. 114546, 2019.

[32] W. Wang, Y. Li, Y. Zhang, and B. Li, "Analysis of laminar flow and heat transfer in an interrupted microchannel heat sink with different shaped ribs," J. Therm. Anal. Calorim., vol. 140, pp. 1259-1266, 2019.

[33] J. Xing, S. Han, Y. Song, N. An, L. Zhou, and L. Li, "Improving internal cooling performance of turbine blade with steam in channel with rhombus-patterned biomimetic ribs: A numerical investigation," Therm. Sci. Eng. Prog., vol. 40, art. no. 101789, 2023.

[34] Q. Zhang, T. Wang, Q. Hou, K. Song, W. Hu, and X. Wu, "Thermal hydraulic performance augmentation by petal-shaped ribs in a two-pass cooling channel," Case Stud. Therm. Eng., vol. 40, art. no. 102542, 2022.

[35] M. Wang, W. Zhang, G. Xin, F. Li, J. H. Pu, and M. Du, "Improved thermalhydraulic performance of a microchannel with hierarchical honeycomb porous ribs," Can. J. Chem. Eng., vol. 101, pp. 1083-1094, 2022.

[36] W. Jiang, J. Zhao, and Z. Rao, "Heat transfer performance enhancement of liquid cold plate based on mini V-shaped rib for battery thermal management," Appl. Therm. Eng., vol. 189, art. no. 116729, 2021.

[37] M. L. Rinawa, P. Chauhan, R. Sharma, A. Poonia, H. K. Singh, and A. K. Sharma, "Numerical investigation of modified fin shapes for improved heat transfer," Mater. Today Proc., vol. 62, pp. 1854-1860, 2022. [38] H.-C. Chiu, M.-J. Youh, R.-H. Hsieh, J.-H. Jang, and B. Kumar, "Numerical investigation on the temperature uniformity of micro-pin-fin heat sinks with variable density arrangement," Case Stud. Therm. Eng., vol. 44, art. no. 102853, 2023.

[39] V. Saravanan and C. K. Umesh, "Numerical comparison for thermo-hydraulic performance of pin fin heat sink with microchannel pin fin heat sink," Sadhana, vol. 43, art. no. 100, 2018.

[40] S. Rath and S. K. Siddhartha Dash, "Thermal performance of a radial heat sink with longitudinal wavy fins for electronic cooling applications under natural convection," J. Therm. Anal. Calorim., vol. 147, pp. 9119-9137, 2022.

[41] V. Karlapalem and S. K. Dash, "On the enhancement of natural convection heat transfer with multi-branching fins," Int. J. Therm. Sci., vol. 183, art. no. 107868, 2023.

ANEXOS

Anexo 1 Informes de estudio primer diseño

Anchura de la imagen (píxeles):

Informe del estudio

AUTODESK

Archivo analizado	Pieza1 v3
Versión	Autodesk Fusion (2.0.20981)
Fecha de creación	2025-01-09, 21:35:52
Autor	Sebastián Alomía

Propiedades del informe

Título	Disipador Eficiente (Análisis))
Autor	Sebastián Alomía

Modelo de simulación 1

Estudio 1: térmico

Propiedades del estudio

Tipo de estudio	Térmico
Fecha de la última modificación	2025-01-09, 20:04:43

Configuración

General

Tolerancia de contacto	0.10 mm
Temperatura global inicial	20.00 C

🗆 Malla

Tamaño medio de elemento (% del tamaño del modelo)	
Sólidos	10
Escala de tamaño de malla por pieza	No
Tamaño medio de elemento (valor absoluto)	-
Orden de elemento	Parabólico
Crear elementos de malla curva	Sí
Ángulo de giro máx. en curvas (grad.)	60

Relación de tamaño máx. de malla adyacente	1.5
Relación de aspecto máxima	10
Tamaño mínimo de elemento (% del tamaño medio)	20

Refinado de malla adaptable

Número de pasos de refinado	0
Tolerancia de convergencia de resultados (%)	20
Parte de los elementos para refinar (%)	10
Resultados para la precisión de la línea base	Flujo de calor

Materiales

Componente	Material	Factor de seguridad
Cuerpo1	Aluminio 6061 T6 0 formado en frío	Límite de elasticidad

🗆 Aluminio 6061 T6 0 formado en frío

Densidad	2.700E-06 kg / mm^3
Módulo de Young	69000.00 MPa
Coeficiente de Poisson	0.33
Límite de elasticidad	369.00 MPa
Resistencia máxima a tracción	389.00 MPa
Conductividad térmica	0.18 W / (mm C)
Coeficiente de dilatación térmica	2.360E-05 / C
Calor específico	896.00 J / (kg C)

Contactos

Malla

Тіро	Nodos	Elementos
Sólidos	111117	57396

Caso de carga1

Cargas

Temperatura aplicada1

Tipo Temperatura aplicada



Resultados

Resumen de resultados

Nombre	Mínimo	Máximo		
Temperatura	Temperatura			
Temperatura	48.863 C	60.00 C		
Flujo de calor				
Total	0.003 W / mm^2	0.142 W / mm^2		
x	-0.027 W / mm^2	0.011 W / mm^2		
Y	-0.003 W / mm^2	0.003 W / mm^2		
Z	0.003 W / mm^2	0.142 W / mm^2		
Gradiente térmico				
Total	0.016 C / mm	0.789 C / mm		
x	-0.064 C / mm	0.151 C / mm		
Y	-0.014 C / mm	0.016 C / mm		
Z	-0.789 C / mm	-0.016 C / mm		

Temperatura



Entidades seleccionadas



Convección1

Тіро	Convección
Valor de convección	69.92 W / (m^2 K)
Temperatura ambiente	20.00 C

Entidades seleccionadas



Anchura de la imagen (píxeles):

Temperatura
[C] 48.863 60.00

Anchura de la imagen (píxeles):

Informe Pieza2 D.(Uniforme)

AUTODESK

Archivo analizado	Pieza2 v1
Versión	Autodesk Fusion (2.0.20981)
Fecha de creación	2025-01-09, 21:29:20
Autor	Sebastián Alomía

Propiedades del informe

Título	Disipador Uniforme (Análisis)
Autor	Sebastián Alomía

Modelo de simulación 1

Estudio 1: térmico

Propiedades del estudio

Tipo de estudio	Térmico
Fecha de la última modificación	2025-01-09, 21:12:29

Configuración

General

Tolerancia de contacto	0.10 mm
Temperatura global inicial	20.00 C

🗆 Malla

Tamaño medio de elemento (% del tamaño del modelo)	
Sólidos	10
Escala de tamaño de malla por pieza	No
Tamaño medio de elemento (valor absoluto)	-
Orden de elemento	Parabólico
Crear elementos de malla curva	Sí
Ángulo de giro máx. en curvas (grad.)	60

Relación de tamaño máx. de malla adyacente	1.5
Relación de aspecto máxima	10
Tamaño mínimo de elemento (% del tamaño medio)	20

Refinado de malla adaptable

Número de pasos de refinado	0
Tolerancia de convergencia de resultados (%)	20
Parte de los elementos para refinar (%)	10
Resultados para la precisión de la línea base	Flujo de calor

Materiales

Componente	Material	Factor de seguridad
Cuerpo1	Aluminio	Límite de elasticidad

🗆 Aluminio

Densidad	2.700E-06 kg / mm^3
Módulo de Young	70000.00 MPa
Coeficiente de Poisson	0.33
Límite de elasticidad	40.00 MPa
Resistencia máxima a tracción	115.00 MPa
Conductividad térmica	0.222 W / (mm C)
Coeficiente de dilatación térmica	2.360E-05 / C
Calor específico	897.00 J / (kg C)

Contactos

⊡ Malla

Тіро	Nodo	s	Elementos
Sólidos	87241		45437

Caso de carga1

Cargas

Temperatura aplicada1

Тіро	Temperatura aplicada
Valor	60.00 C

Entidades seleccionadas



E Convección1

Тіро	Convección	
Valor de convección	69.92 W / (m^2 K)	
Temperatura ambiente	20.00 C	

Entidades seleccionadas



Resultados

Resumen de resultados

Nombre	Mínimo	Máximo	
Temperatura			
Temperatura	50.799 C	60.00 C	
Flujo de calor			
Total	0.004 W / mm^2	0.146 W / mm^2	
х	-0.021 W / mm^2	0.025 W / mm^2	
Y	-0.002 W / mm^2	0.002 W / mm^2	
Z	0.004 W / mm^2	0.146 W / mm^2	
Gradiente térmico			
Total	0.018 C / mm	0.659 C / mm	
X	-0.114 C / mm	0.096 C / mm	
Y	-0.011 C / mm	0.011 C / mm	
Z	-0.659 C / mm	-0.018 C / mm	

Temperatura





Anchura de la imagen (píxeles):