



UNIVERSIDAD LAICA “ELOY ALFARO” DE MANABÍ

Título:

Análisis Térmico de un Sistema de Refrigeración para Equipos
Electrónicos en la Carrera de Electromecánica en la ULEAM
Extensión El Carmen

Autores:

Toala Ramos Jean Pierre
Zambrano Cedeño Miguel Ángel

Tutor(a)

Ing. César Sinchiguano, Mag.

Unidad Académica:

Unidad Académica de Formación Técnica y Tecnológica, Educación
Virtual y Otras Modalidades.

Carrera:

Tecnología Superior en Electromecánica.

El Carmen, febrero de 2026.

	NOMBRE DEL DOCUMENTO: CERTIFICADO DE TUTOR(A).	CÓDIGO: PAT-05-IT-001-F-004
	PROCEDIMIENTO: TITULACIÓN DE ESTUDIANTES DE LAS CARRERAS TÉCNICAS Y TECNOLÓGICAS	VERSIÓN: 3
		Página 1 de 1

CERTIFICACIÓN

En calidad de docente tutor(a) de la Extensión El Carmendela carrera de Electromecánica de la Universidad Laica “Eloy Alfaro” de Manabí, CERTIFICO:

Haber dirigido, revisado y aprobado preliminarmente el Trabajo de Integración Curricular bajo la autoría del estudiante Toala Ramos jean Pierre, legalmente matriculado/a en la carrera de Electromecánica, período académico 2025(2), cumpliendo el total de 144 horas, cuyo tema del proyecto es “Análisis Térmico de un Sistema de Refrigeración para Equipos Electrónicos”.

El presente trabajo de titulación ha sido desarrollado en apego al cumplimiento de los requisitos académicos exigidos por el Reglamento de Régimen Académico y en concordancia con los lineamientos internos de la opción de titulación en mención, reuniendo y cumpliendo con los méritos académicos, científicos y formales, suficientes para ser sometida a la evaluación del tribunal de titulación que designe la autoridad competente.

Particular que certifico para los fines consiguientes, salvo disposición de Ley en contrario.

Lugar, 5 de febrero de 2026.

Lo certifico,



Ing. Cesar Sinehi Guano, MSc.
Docente Tutor(a)
Área: Electromecánica

	NOMBRE DEL DOCUMENTO: CERTIFICADO DE TUTOR(A).	CÓDIGO: PAT-05-IT-001-F-004
	PROCEDIMIENTO: TITULACIÓN DE ESTUDIANTES DE LAS CARRERAS TÉCNICAS Y TECNOLÓGICAS	VERSIÓN: 3 Página 1 de 1

CERTIFICACIÓN

En calidad de docente tutor(a) de la Extensión El Carmendela carrera de Electromecánica de la Universidad Laica "Eloy Alfaro" de Manabí, CERTIFICO:

Haber dirigido, revisado y aprobado preliminarmente el Trabajo de Integración Curricular bajo la autoría del estudiante Zambrano Cedeño Miguel Angel, legalmente matriculado/a en la carrera de Electromecánica, período académico 2025(2), cumpliendo el total de 144 horas, cuyo tema del proyecto es "Análisis Térmico de un Sistema de Refrigeración para Equipos Electrónicos".

El presente trabajo de titulación ha sido desarrollado en apego al cumplimiento de los requisitos académicos exigidos por el Reglamento de Régimen Académico y en concordancia con los lineamientos internos de la opción de titulación en mención, reuniendo y cumpliendo con los méritos académicos, científicos y formales, suficientes para ser sometida a la evaluación del tribunal de titulación que designe la autoridad competente.

Particular que certifico para los fines consiguientes, salvo disposición de Ley en contrario.

Lugar, 5 de febrero de 2026.

Lo certifico,



Ing. Cesar Sinchi Guano, MSc.
Docente Tutor(a)
Área: Electromecánica

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Quienes suscriben la presente:

Zambrano Cedeño Miguel Ángel, Tóala Ramos Jean Pierre

Estudiantes de la Carrera de **Tecnología Superior en Electromecánica**, declaramos bajo Juramento que el presente Proyecto Integrador cuyo Título: "ANÁLISIS TÉRMICO DE UN SISTEMA DE REFRIGERACIÓN PARA EQUIPOS ELECTRÓNICOS EN LA CARRERA DE ELECTROMECAÁNICA EN LA ULEAM EXTENSIÓN EL CARMEN", previa a la obtención del Título de Tecnólogo Superior En Electromecánica, es de autoría propia y ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros y consultando las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

El Carmen, Febrero de 2026



Zambrano Cedeño Miguel Ángel



Tóala Ramos Jean Pierre



APROBACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Los Miembros del Tribunal Examinador aprueban el Trabajo de Titulación con Modalidad Proyecto Integrador, Titulado: "ANÁLISIS TÉRMICO DE UN SISTEMA DE REFRIGERACIÓN PARA EQUIPOS ELECTRÓNICOS EN LA CARRERA DE ELECTROMECAÁNICA EN LA ULEAM EXTENSIÓN EL CARMEN" de sus Autores: Zambrano Cedeño Miguel Ángel, Tóala Ramos JEAN PIERRE de la Carrera "Tecnología Superior en Electromecánica", y como Tutor del Trabajo el Ing. Jiménez Gonzales Jonathan Paúl

El Carmen, Febrero de 2026

Ing. Bladimir Mora, Mag.
Presidente de Tribunal

Ing. César Sinchiguano, Mag.
Tutor

Ing. Marlon Serrano, Mag.
Primer Miembro del Tribunal

Ing. Danilo Arévalo, Mag.
Segundo Miembro de Tribunal

AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mi más profundo agradecimiento a Dios por darme la fortaleza, la sabiduría y la perseverancia necesarias para culminar esta etapa tan importante de mi vida.

A mis padres, por su amor incondicional, apoyo constante y sacrificios a lo largo de mi formación académica. Este logro también es suyo. Gracias por creer en mí incluso en los momentos más difíciles.

A mi dirigente de tesis, por su orientación, paciencia y valiosas enseñanzas durante el desarrollo de este trabajo. Su experiencia y compromiso fueron fundamentales para la realización de esta investigación.

A mis profesores, quienes a lo largo de la carrera compartieron sus conocimientos y contribuyeron a mi crecimiento profesional y personal.

A mis amigos y compañeros, por su apoyo, motivación y por compartir conmigo momentos de esfuerzo, aprendizaje y alegría.

Finalmente, a todas aquellas personas que, de una u otra manera, contribuyeron a la realización de esta tesis, mi más sincero agradecimiento.

Toala Ramos Jean Pierre, Zambrano Cedeño Miguel Ángel

DEDICATORIA

A mis amados padres,

Con el corazón lleno de gratitud y amor, les dedico este trabajo de tesis, que representa no solo la culminación de una etapa académica, sino también el reflejo de todos los valores y enseñanzas que ustedes sembraron en mí desde el primer día.

Gracias por ser mi guía constante, por acompañarme en cada paso de este camino y por brindarme un apoyo incondicional incluso en los momentos más difíciles. Cada sacrificio que hicieron, cada esfuerzo silencioso y cada renuncia personal fueron el cimiento sobre el cual hoy se construye este logro.

Me enseñaron que la constancia, la disciplina y la humildad son herramientas fundamentales para alcanzar los sueños. Su ejemplo de trabajo honesto y perseverancia ha sido siempre mi mayor inspiración. Cuando sentí cansancio, ustedes fueron mi fuerza; cuando dudé, fueron mi confianza; y cuando quise rendirme, fueron la voz que me recordó que era capaz de lograrlo.

Esta tesis no es solo un requisito académico, es el resultado de años de amor, formación y apoyo incondicional. Detrás de cada página escrita están sus consejos, sus oraciones, su paciencia y su fe en mí. Todo lo que soy y todo lo que estoy logrando se lo debo en gran parte a ustedes.

Hoy culmino esta etapa con la satisfacción del deber cumplido, pero sobre todo con el orgullo de saber que cuento con los mejores padres del mundo. Espero que este logro sea una pequeña muestra de agradecimiento por todo lo que me han dado.

Con infinito amor, respeto y gratitud, les dedico este triunfo, que también es suyo.

Toala Ramos Jean Pierre, Zambrano Cedeño Miguel Ángel

RESUMEN

El sobrecalentamiento de los componentes electrónicos representa un problema importante que puede afectar el rendimiento, la confiabilidad y la vida útil de los dispositivos electrónicos utilizados en aplicaciones industriales y académicas. El objetivo general de este trabajo fue realizar el análisis térmico de un sistema de refrigeración aplicado a un sistema electrónico, utilizando herramientas de simulación computacional. La metodología empleada consistió en la selección de un driver de motores A4988 como objeto de estudio, el modelado tridimensional del sistema mediante software CAD y la ejecución de una simulación térmica en SolidWorks Simulation bajo condiciones de convección natural. Para la simulación se consideró una potencia calorífica de 1.2 W en el circuito integrado, una temperatura ambiente de 298 K y coeficientes de convección aplicados al disipador y a la placa. Los resultados mostraron una temperatura máxima de 287.73 °C en el encapsulado del circuito integrado y una temperatura mínima de 93.27 °C en la placa y los pines. Se concluye que el sistema de refrigeración pasiva analizado no es suficiente para mantener temperaturas seguras, por lo que se recomienda optimizar el diseño o implementar métodos de enfriamiento adicionales.

PALABRAS CLAVE

Análisis térmico, Simulación CAD, Refrigeración electrónica, Disipación de calor.

ABSTRACT

Overheating of electronic components represents a significant problem that can affect the performance, reliability, and lifespan of electronic devices used in industrial and academic applications. The general objective of this study was to perform a thermal analysis of a cooling system applied to an electronic system using computational simulation tools. The methodology consisted of selecting an A4988 motor driver as the study object, creating a three-dimensional model of the system using CAD software, and performing a thermal simulation in SolidWorks Simulation under natural convection conditions. The simulation considered a heat power of 1.2 W applied to the integrated circuit, an ambient temperature of 298 K, and convection coefficients assigned to the heat sink and the printed circuit board. The results showed a maximum temperature of 287.73 °C on the integrated circuit package and a minimum temperature of 93.27 °C on the board and pins. It is concluded that the passive cooling system analyzed is not sufficient to maintain safe operating temperatures, and therefore improvements in the design or the implementation of additional cooling methods are recommended.

KEYWORDS

Thermal analysis, CAD simulation, Electronic cooling, Heat dissipation.

ÍNDICE

CERTIFICACION DEL TUTOR.....	I
DECLARACIÓN DE AUTORÍA.....	¡Error! Marcador no definido.
APROBACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN¡Error! Marcador no definido.	
AGRADECIMIENTO	V
DEDICATORIA.....	VI
RESUMEN	VII
PALABRAS CLAVE	VII
ABSTRACT	VIII
KEYWORDS	VIII
ÍNDICE	IX
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	X
ÍNDICE DE TABLAS	X
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. PROBLEMA.....	3
1.2. JUSTIFICACIÓN.....	3
1.3. OBJETIVOS.....	5
1.3.1. Objetivo general.....	5
1.3.2. Objetivos específicos	5
1.4. METODOLOGÍA	5
1.4.1. Procedimiento	5
1.4.2. Técnicas	7
1.4.3. Métodos	7
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	8
2.1. DEFINICIONES	8
2.2. ANTECEDENTES.....	10
2.3. TRABAJOS RELACIONADOS	12
CAPÍTULO III: DESARROLLO DE LA PROPUESTA	15
3.1. DESARROLLO	15
3.1.1. Descripción de la propuesta.....	15
3.1.2. Etapas	16

3.1.3. Presupuesto	17
3.2. RESULTADOS	17
CAPÍTULO IV: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	23
4.1. CONCLUSIONES	23
4.2. RECOMENDACIONES.....	24
BIBLIOGRAFÍA	25
ANEXOS	26

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Modelo 3D de la tarjeta electrónica.....	18
Ilustración 2. Gráfico de contornos con la distribución de temperatura.	21

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Parámetros de funcionamiento del driver A4988.....	18
Tabla 2. Características del diseño CAD.	19
Tabla 3. Resultados de la simulación térmica.....	21

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

El análisis térmico mediante software de simulación constituye una herramienta fundamental para evaluar el comportamiento de sistemas electrónicos bajo distintas condiciones de operación. Esta metodología permite predecir la distribución de temperatura, identificar puntos críticos y optimizar el diseño antes de su implementación física, reduciendo así costos y tiempos de desarrollo. En el contexto de la carrera de Tecnología Superior en Electromecánica, su aplicación facilita a los estudiantes la comprensión de fenómenos de transferencia de calor y el uso de herramientas CAD/CAE como parte de su formación técnica (Naidiuk & Torres, 2018).

La refrigeración de equipos electrónicos es un aspecto esencial para garantizar su rendimiento, estabilidad y vida útil, especialmente en entornos industriales donde las exigencias de operación son elevadas. Un diseño adecuado del sistema de refrigeración evita el sobrecalentamiento de los componentes, minimiza fallos prematuros y asegura un funcionamiento continuo. En este trabajo, se busca integrar criterios prácticos de refrigeración con técnicas de diseño asistido por computadora, de manera que se logre una propuesta eficiente y acorde con las necesidades de sistemas electrónicos industriales, manteniendo la simplicidad y viabilidad propias de un proyecto de titulación tecnológica.

Diversos estudios recientes han abordado la problemática del sobrecalentamiento en componentes electrónicos y la necesidad de desarrollar sistemas de refrigeración más eficientes. Un ejemplo destacado es el trabajo de, quien investigó un sistema de refrigeración basado en convección inducida electrohidrodinámicamente, empleando simulaciones CFD para evaluar el efecto del campo eléctrico en la transferencia de calor y la caída de presión en un flujo laminar a través de un mini canal (Salgado, 2019). Sus resultados evidenciaron que la aplicación de voltajes en el electrodo superior puede mejorar la eficiencia térmica en configuraciones bidimensionales, especialmente a bajos números de Reynolds, aunque también puede generar fenómenos de recirculación que

afectan localmente el desempeño térmico. Este tipo de investigaciones constituye un referente importante para el desarrollo de nuevas estrategias de refrigeración aplicables a equipos electrónicos industriales, y sustenta la relevancia del presente estudio.

La gestión térmica de equipos electrónicos es un factor determinante para garantizar su funcionamiento continuo, estabilidad y prolongar su vida útil. El sobrecalentamiento puede provocar fallos prematuros, pérdida de rendimiento e incluso daños irreversibles en los componentes, lo que conlleva costes económicos y tiempos de inactividad. En entornos industriales y académicos, disponer de métodos confiables para el diseño y evaluación de sistemas de refrigeración no solo contribuye a la eficiencia operativa, sino que también favorece la incorporación de tecnologías más compactas y potentes. Este trabajo, al integrar herramientas de simulación y criterios de diseño térmico, aporta una solución viable que responde a necesidades reales de mantenimiento y optimización de sistemas electrónicos.

El presente estudio se enmarca plenamente en el perfil profesional de la carrera de Tecnología Superior en Electromecánica, ya que combina conocimientos de análisis térmico, diseño mecánico y gestión de sistemas eléctricos y electrónicos. La capacidad de diagnosticar y resolver problemas de refrigeración en equipos electrónicos es una competencia técnica clave para los tecnólogos en electromecánica, tanto en el ámbito industrial como en el académico. Además, el uso de software de simulación en el desarrollo de este proyecto fortalece las habilidades en herramientas CAD/CAE, esenciales para el diseño, optimización y validación de sistemas, y fomenta una formación integral acorde a las demandas del sector productivo.

1.1. PROBLEMA

En la actualidad, los sistemas electrónicos utilizados en aplicaciones industriales y académicas operan cada vez con mayores exigencias de potencia y en entornos más compactos, lo que incrementa de manera significativa la generación de calor. Este fenómeno, si no es controlado adecuadamente, puede ocasionar sobrecalentamientos que derivan en disminución del rendimiento, fallos prematuros o daños permanentes en los componentes. A pesar de que existen soluciones de refrigeración convencionales, muchas veces estas no están optimizadas para las condiciones específicas de trabajo o resultan costosas en su implementación. Esta situación evidencia la necesidad de desarrollar métodos de análisis y diseño de sistemas de refrigeración que permitan evaluar, predecir y optimizar el comportamiento térmico de los equipos electrónicos antes de su construcción, reduciendo así riesgos, costos y tiempo de desarrollo.

En el entorno académico de la carrera de Tecnología Superior en Electromecánica de la ULEAM Extensión El Carmen, se carece de estudios aplicados que permitan evaluar de manera precisa el comportamiento térmico de sistemas electrónicos bajo distintas condiciones de operación, así como de diseños adaptados a sus necesidades específicas de refrigeración. Esta carencia dificulta la implementación de estrategias preventivas y correctivas en la gestión térmica de dichos equipos, lo que puede afectar su durabilidad y desempeño. Por lo tanto, surge la necesidad de realizar un análisis térmico, apoyado en herramientas de simulación y diseño asistido por computadora, que permita proponer un sistema de refrigeración eficiente y viable para equipos electrónicos, con el fin de mejorar su funcionamiento y optimizar su vida útil.

1.2. JUSTIFICACIÓN

Desde el ámbito académico, el presente trabajo constituye una oportunidad para que los estudiantes de la carrera de Tecnología Superior en Electromecánica

apliquen de manera práctica los conocimientos adquiridos en áreas como transferencia de calor, diseño mecánico, electrónica y simulación computacional. El desarrollo de un análisis térmico de sistemas de refrigeración para equipos electrónicos fortalece las competencias de investigación aplicada y resolución de problemas técnicos, al mismo tiempo que fomenta el uso de metodologías modernas de diseño y validación. Este tipo de proyectos, además, contribuye a enriquecer el acervo académico de la institución, sirviendo como referencia para futuras investigaciones y prácticas de laboratorio.

En el ámbito tecnológico, la gestión térmica de equipos electrónicos es un aspecto crítico que influye directamente en su rendimiento y durabilidad. El avance constante de la electrónica industrial ha derivado en dispositivos más compactos y con mayor densidad de potencia, lo que incrementa las demandas de sistemas de refrigeración eficientes y confiables. La implementación de un análisis térmico mediante software de simulación permite optimizar el diseño y evaluar el comportamiento del sistema antes de su fabricación, reduciendo así el riesgo de fallos, los costos asociados y el tiempo de desarrollo. Esta aproximación técnica no solo mejora la calidad del producto final, sino que también promueve la incorporación de tecnologías modernas en los procesos académicos y productivos.

El tema “Análisis Térmico de un sistema de refrigeración para equipos electrónicos en la carrera de Electromecánica en la ULEAM Extensión El Carmen” se vincula directamente con la línea de investigación institucional de la ULEAM: *Ingeniería, industria, construcción, urbanismo y arquitectura para un desarrollo sustentable y sostenible*. Esta relación se fundamenta en que el proyecto aborda un problema técnico desde la perspectiva de la ingeniería aplicada, proponiendo soluciones que optimizan recursos, mejoran la eficiencia energética y prolongan la vida útil de los equipos electrónicos. De esta forma, se contribuye al desarrollo sostenible al minimizar el desperdicio de materiales, reducir el consumo energético y fomentar prácticas responsables en el diseño y mantenimiento de sistemas tecnológicos.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. Objetivo general

Realizar el análisis térmico de un sistema de refrigeración aplicado a equipos electrónicos, empleando herramientas de simulación para evaluar su desempeño y eficiencia.

1.3.2. Objetivos específicos

Determinar los parámetros de funcionamiento y las condiciones operativas de una tarjeta electrónica.

Diseñar un sistema de refrigeración para circuitos electrónicos mediante software de diseño asistido por computadora.

Analizar los resultados obtenidos de la simulación del sistema de refrigeración, identificando su comportamiento térmico.

1.4. METODOLOGÍA

1.4.1. Procedimiento

El desarrollo de la propuesta se llevó a cabo siguiendo una metodología secuencial, en correspondencia con los objetivos específicos establecidos, integrando las etapas de identificación de parámetros, diseño del sistema de refrigeración, simulación térmica y análisis de resultados.

Paso 1. Identificación de parámetros de funcionamiento de la tarjeta electrónica

- Se seleccionó como objeto de estudio un *driver* de motores A4988.
- Se revisaron las especificaciones técnicas para determinar los niveles de disipación térmica, identificándose una potencia calorífica de **1.2 W** en la cara superior del circuito integrado.

- Se determinó el entorno de operación bajo **convección natural**, con una temperatura ambiente de **298 K (25°C)**.

Paso 2. Modelado y selección de materiales en software CAD

- Se elaboró el modelo tridimensional de la tarjeta y su sistema de disipación utilizando SolidWorks, tomando como referencia dimensiones reales del *driver*.
- Se seleccionaron materiales de la librería de SolidWorks: aluminio para el disipador de calor, ABS para el encapsulado del circuito integrado y ABS-PC para la placa.
- Se definieron las superficies de aplicación de cargas térmicas y las zonas expuestas a convección.

Paso 3. Configuración de la simulación térmica

- Se establecieron condiciones de contorno para convección natural con los siguientes parámetros:
 - Coeficiente de convección del disipador de calor: 20 W/(m²·K).
 - Coeficiente de convección de la placa: 5 W/(m²·K).
- Se asignó la potencia térmica de 1.2 W al área correspondiente del circuito integrado.
- Se ejecutó la simulación en SolidWorks Simulation evaluando la distribución de temperaturas en estado estacionario.

Paso 4. Análisis e interpretación de resultados

- A partir de los gráficos de contorno térmico, se identificó una temperatura máxima de 287.73°C localizada en el circuito

integrado y una temperatura mínima de 93.27°C en la placa y los pines.

- Se evaluó el rendimiento del disipador de calor de aluminio bajo convección natural, evidenciando la necesidad de optimizar el sistema de refrigeración para reducir la temperatura máxima y mejorar la seguridad térmica del componente.

1.4.2. Técnicas

Técnica de modelado 3D en CAD – El modelado tridimensional asistido por computadora (CAD) permite representar con precisión las dimensiones, formas y características físicas de un objeto, facilitando el análisis y la optimización de su diseño (Zeid, 2018). En este proyecto, se utilizó SolidWorks para crear el modelo del *driver* A4988, incluyendo el disipador de calor y la placa electrónica. Esta técnica fue esencial para definir la geometría y asignar materiales antes de realizar la simulación térmica.

Técnica de simulación por elementos finitos (FEA) – El análisis por elementos finitos es una técnica numérica que permite resolver problemas físicos complejos dividiendo el dominio en pequeñas partes llamadas elementos, sobre los que se aplican ecuaciones diferenciales aproximadas (Cook et al., 2014). En este trabajo, se empleó FEA a través de SolidWorks Simulation para determinar la distribución de temperaturas en el *driver*, simulando las condiciones de convección natural y potencia calorífica establecidas.

1.4.3. Métodos

Método experimental de asignación de condiciones de contorno – La correcta definición de condiciones de contorno es esencial para garantizar la precisión de las simulaciones numéricas (Incropera & DeWitt, 2017). En este proyecto, se aplicó este método para establecer el coeficiente de convección en

el disipador ($20 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$) y en la placa ($5 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$), así como la temperatura ambiente (298 K), permitiendo simular un entorno realista de operación bajo convección natural.

Método de análisis comparativo de resultados de simulación – Este método consiste en evaluar y contrastar los datos obtenidos en la simulación con criterios de rendimiento previamente establecidos, a fin de identificar mejoras (Montgomery, 2017). En este trabajo, se utilizó para analizar la temperatura máxima y mínima obtenidas en el *driver* y determinar la eficacia del sistema de refrigeración actual, orientando la propuesta de optimización.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. DEFINICIONES

Fundamentación teórica del primer componente: Análisis térmico con software de simulación

El análisis térmico es el proceso mediante el cual se estudia la distribución y transferencia de calor dentro de un sistema o componente, con el objetivo de determinar su comportamiento bajo distintas condiciones operativas. Este tipo de análisis es esencial para prevenir fallos derivados del sobrecalentamiento, optimizar el diseño y garantizar la seguridad y eficiencia de los dispositivos (Incropera & DeWitt, 2017). En el caso de los sistemas electrónicos, el análisis térmico permite identificar zonas críticas de temperatura que podrían comprometer el rendimiento o la vida útil de los componentes.

La simulación por software se ha convertido en una herramienta indispensable para realizar análisis térmicos debido a su capacidad para predecir el comportamiento del calor antes de la construcción física del prototipo. Este enfoque se apoya en modelos matemáticos y numéricos, como el método de elementos finitos (FEA), que dividen el objeto de estudio en pequeñas secciones sobre las que se resuelven ecuaciones de transferencia de calor (Cook et al.,

2014). Esto reduce costos y tiempos, y facilita realizar ajustes de diseño con base en resultados precisos.

En entornos de diseño asistido por computadora (CAD), como SolidWorks Simulation, el análisis térmico se realiza asignando materiales, propiedades físicas y condiciones de contorno que simulan el entorno real de operación. Estos parámetros incluyen la potencia calorífica generada por los componentes, la temperatura ambiente y los coeficientes de convección, que determinan la tasa de transferencia de calor hacia el entorno. El software procesa esta información y genera mapas de temperatura que permiten visualizar zonas críticas y evaluar la efectividad del sistema de refrigeración (Zeid, 2018).

El uso de análisis térmico por simulación en el ámbito académico ofrece múltiples ventajas, ya que permite a los estudiantes y profesionales experimentar con diferentes configuraciones de diseño y materiales sin incurrir en los costos y riesgos asociados a la fabricación física. Además, facilita la validación de conceptos teóricos mediante resultados visuales y cuantitativos, fortaleciendo así el aprendizaje y la toma de decisiones técnicas fundamentadas.

Fundamentación teórica del segundo componente: Refrigeración de equipos electrónicos

La refrigeración de equipos electrónicos es el conjunto de técnicas y dispositivos destinados a mantener la temperatura de los componentes dentro de un rango seguro de operación, evitando daños y prolongando su vida útil. La disipación de calor en estos sistemas puede lograrse mediante métodos pasivos, como disipadores y radiadores, o activos, como ventiladores y sistemas de refrigeración líquida (Kraus & Bar-Cohen, 2011). La elección del método adecuado depende de factores como la potencia disipada, el espacio disponible, el nivel de ruido permitido y los costos de implementación.

Uno de los mecanismos más comunes para la refrigeración de componentes electrónicos es la convección, que puede ser natural o forzada. En la convección

natural, el flujo de aire se genera por diferencias de densidad debidas a gradientes de temperatura, mientras que en la convección forzada se emplean ventiladores o bombas para incrementar la tasa de transferencia de calor (Çengel & Ghajar, 2015). El coeficiente de convección es un parámetro clave en el diseño, ya que influye directamente en la capacidad del sistema para extraer calor.

El uso de materiales de alta conductividad térmica, como el aluminio o el cobre, es otra estrategia esencial en la refrigeración de equipos electrónicos. Estos materiales facilitan el transporte de calor desde el componente caliente hacia las aletas del disipador, donde se transfiere al aire circundante. El diseño geométrico de los disipadores, incluyendo el número, la forma y la orientación de las aletas, también tiene un impacto significativo en su rendimiento térmico (Kraus & Bar-Cohen, 2011).

En entornos industriales y académicos, la optimización de los sistemas de refrigeración se apoya en simulaciones térmicas que permiten probar diferentes configuraciones sin necesidad de fabricar múltiples prototipos. Esto no solo reduce costos y tiempo de desarrollo, sino que también facilita la integración de soluciones sostenibles y energéticamente eficientes, alineadas con la tendencia hacia el diseño responsable y el desarrollo tecnológico sustentable.

2.2. ANTECEDENTES

Datos de la institución donde se ejecutó el proyecto

La Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí (ULEAM) es una institución de educación superior ubicada en la provincia de Manabí, Ecuador, que ofrece formación académica en diversas áreas del conocimiento, incluyendo la ingeniería y la tecnología (ULEAM, 2012). En la extensión universitaria de El Carmen, se imparte la carrera de Tecnología Superior en Electromecánica, la cual forma profesionales con competencias técnicas y prácticas en áreas como sistemas eléctricos, mecánicos, electrónicos y de automatización.

La carrera está orientada a desarrollar habilidades para la operación, mantenimiento, diseño y optimización de sistemas y equipos utilizados en sectores productivos e industriales. Dentro de su plan de estudios, se promueve el desarrollo de proyectos de titulación que integren conocimientos teóricos y prácticos, aplicados a situaciones reales del entorno académico e industrial. Estos proyectos no solo fortalecen las competencias técnicas de los estudiantes, sino que también aportan soluciones a necesidades concretas de la institución y la comunidad (ULEAM, 2025).

En este contexto, la extensión de El Carmen dispone de infraestructura y recursos para el desarrollo de prácticas y proyectos, incluyendo laboratorios, talleres y equipos de simulación. Sin embargo, la constante evolución tecnológica y la necesidad de mantener actualizados los equipos y métodos de enseñanza hacen que sea indispensable implementar proyectos innovadores, que permitan a los estudiantes manejar herramientas modernas como el software CAD y las simulaciones computacionales.

El presente trabajo se ejecutó en este entorno académico, aprovechando las facilidades que ofrece la institución para la realización de modelados tridimensionales, análisis térmicos y pruebas de diseño, contribuyendo al fortalecimiento de las capacidades de los estudiantes y al desarrollo de propuestas aplicables a la gestión térmica de sistemas electrónicos.

Datos de lo que se había hecho antes del proyecto

Antes de la ejecución del presente proyecto, en la carrera de Tecnología Superior en Electromecánica se habían realizado trabajos relacionados con el uso de herramientas de diseño asistido por computadora y simulaciones aplicadas a componentes mecánicos y eléctricos. Sin embargo, los estudios específicos orientados al análisis térmico de equipos electrónicos eran limitados, especialmente en lo que respecta a la simulación de la disipación de calor y la evaluación de la efectividad de sistemas de refrigeración.

En años anteriores, algunos proyectos de titulación se habían enfocado en el diseño de sistemas de refrigeración en un sentido general, aplicados principalmente a motores eléctricos y sistemas de ventilación. Aunque estos trabajos abordaban la transferencia de calor, no profundizaban en la evaluación térmica de componentes electrónicos a pequeña escala, como placas controladoras, *drivers* o módulos de control.

En el caso particular de la extensión de El Carmen, la mayoría de las experiencias prácticas relacionadas con equipos electrónicos se centraban en la instalación, mantenimiento y pruebas funcionales, dejando en segundo plano el análisis de su comportamiento térmico bajo condiciones reales de operación. Esto representaba una oportunidad para incorporar un enfoque más especializado, que incluyera la simulación térmica y la evaluación de soluciones de disipación de calor.

El presente proyecto surge con el propósito de llenar ese vacío, aplicando un análisis térmico detallado a un sistema de refrigeración para un componente electrónico específico —en este caso, un *driver* de motores A4988— utilizando herramientas de modelado y simulación modernas. Esto no solo aporta un precedente en el área de la gestión térmica de sistemas electrónicos dentro de la carrera, sino que también sienta las bases para futuros trabajos que integren metodologías de análisis computacional con aplicaciones prácticas en la industria y en el ámbito académico.

2.3. TRABAJOS RELACIONADOS

En el ámbito internacional, se han desarrollado investigaciones relevantes que emplean la simulación numérica como herramienta para el análisis térmico de sistemas eléctricos. Un ejemplo de ello es el trabajo realizado en la Universidad de Cantabria, España, en el que se evaluó el comportamiento térmico de un conductor eléctrico bajo distintas condiciones ambientales y de carga. En dicho

estudio, se empleó la aplicación *Workbench* del software ANSYS, utilizando un método de análisis termoeléctrico que incorporó la definición precisa de materiales, la configuración estructural del conductor, el mallado y las condiciones de contorno (Ruiz, 2021). Los resultados permitieron determinar la temperatura superficial del conductor sin contacto físico, optimizando así la evaluación de su ampacidad y proponiendo estrategias para mejorar la eficiencia en el transporte de energía eléctrica. Este trabajo evidencia la aplicabilidad de la simulación computacional en la caracterización térmica de sistemas eléctricos y respalda su uso como metodología efectiva en el diseño y optimización de infraestructuras tecnológicas.

En el contexto latinoamericano se desarrolló en Cuba un estudio enfocado en el análisis térmico de la placa de circuito impreso (PCB) perteneciente a la fuente de alimentación de un equipo electrónico. El trabajo empleó herramientas de diseño asistido por computadora para electrónica (ECAD), integrando criterios térmicos desde las primeras etapas del diseño con el fin de prevenir problemas de sobrecalentamiento que pudieran afectar el rendimiento y la confiabilidad del dispositivo. La metodología incluyó la simulación de diversas alternativas de diseño para gestionar la disipación de calor, minimizando el autocalentamiento y optimizando el tamaño de la PCB. Los resultados demostraron que la inclusión temprana de requisitos térmicos permite obtener un diseño más eficiente y confiable, lo que evidencia la importancia de la simulación computacional en la mejora del desempeño de sistemas electrónicos (Siles, Cordero, Mendoza, Bazán, & Martínez, 2024).

En la provincia de Pichincha, Toapanta, Cortez, Orellana y Quitiaquez desarrollaron un estudio numérico mediante dinámica de fluidos computacional (CFD) para analizar el proceso de enfriamiento en sistemas computacionales utilizando un intercambiador de calor tubular de flujo cruzado. El objetivo principal fue refrigerar componentes críticos como el procesador y la tarjeta gráfica, evaluando su desempeño bajo distintas condiciones operativas. Las simulaciones, realizadas en el software ANSYS, consideraron temperaturas de ingreso del fluido refrigerante entre 75 °C y 90 °C, así como diferentes flujos

másicos. Los resultados indicaron que un incremento en la temperatura de entrada del fluido produce un aumento proporcional en la temperatura de salida, mientras que el aumento del flujo másico reduce la capacidad de rechazo de calor del sistema (Toapanta, Orellana, & Quitiaquez, 2021). Este estudio evidencia la utilidad de la simulación CFD en la optimización de sistemas de refrigeración aplicados a hardware de alto rendimiento.

De acuerdo con la revisión de la literatura realizada, no se encontraron trabajos previos en otros cantones de la provincia de Manabí que aborden específicamente el análisis térmico de sistemas de refrigeración para equipos electrónicos mediante simulación computacional. Esta ausencia de antecedentes locales en el ámbito provincial resalta la novedad y relevancia del presente proyecto, el cual se convierte en un aporte pionero dentro de la región. Además, establece un precedente que puede servir como referencia para futuros estudios y desarrollos en el área de gestión térmica de sistemas electrónicos en la provincia.

CAPÍTULO III: DESARROLLO DE LA PROPUESTA

3.1. DESARROLLO

En esta sección se presenta el desarrollo e implementación de la propuesta orientada al análisis térmico de un sistema de refrigeración para equipos electrónicos, con el fin de dar respuesta al problema identificado en el Capítulo I. Se describe la ejecución de cada uno de los objetivos específicos, abarcando desde la determinación de los parámetros de funcionamiento de la tarjeta electrónica seleccionada, hasta el diseño y la simulación computacional del sistema de refrigeración. Asimismo, se detallan las herramientas y técnicas empleadas, las etapas clave del proceso, los recursos requeridos y los criterios técnicos que guiaron cada fase. Los resultados obtenidos serán expuestos en el siguiente apartado, permitiendo validar la eficacia de la propuesta y el grado de cumplimiento de los objetivos planteados.

3.1.1. Descripción de la propuesta

Relacionar directamente la propuesta con los objetivos.

Descripción del Objetivo Específico 1

El primer objetivo específico consistió en determinar los parámetros de funcionamiento de una tarjeta electrónica de uso industrial, seleccionándose para este proyecto un *driver* de motores A4988. Para cumplir con este objetivo se identificaron las características técnicas más relevantes del componente, incluyendo su potencia calorífica, condiciones de operación y entorno térmico. Este análisis inicial permitió definir las condiciones de contorno necesarias para la simulación, como la temperatura ambiente, el tipo de convección presente y los coeficientes de transferencia de calor en las diferentes superficies del sistema.

Descripción del Objetivo Específico 2

El segundo objetivo específico estuvo orientado al diseño de un sistema de refrigeración para circuitos electrónicos mediante software de diseño asistido por computadora (CAD). Para ello, se elaboró un modelo tridimensional del *driver* y su disipador de calor en SolidWorks, asignando materiales de la librería del

software (aluminio para el disipador, ABS para el encapsulado y ABS-PC para la placa). El diseño consideró criterios de eficiencia térmica, dimensiones reales y facilidad de integración con el componente electrónico, de modo que pudiera simularse su comportamiento bajo condiciones operativas reales.

Descripción del Objetivo Específico 3

El tercer objetivo específico se enfocó en realizar el análisis de los resultados de la simulación térmica del sistema de refrigeración propuesto. Utilizando el módulo Simulation de SolidWorks, se aplicaron las condiciones de contorno definidas previamente, incluyendo una potencia calorífica de 1.2 W en la superficie del circuito integrado y coeficientes de convección de $20 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ para el disipador y $5 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ para la placa. El análisis arrojó una temperatura máxima de $287.73 \text{ }^\circ\text{C}$ en el encapsulado del circuito integrado y una mínima de $93.27 \text{ }^\circ\text{C}$ en la placa y pines, lo que permitió evaluar la eficacia del sistema y proponer mejoras para optimizar su rendimiento térmico.

3.1.2. Etapas

Etape 1: Actividades realizadas para cumplir el Objetivo Específico 1.

- Selección del componente electrónico a analizar, determinándose el *driver* de motores A4988 como objeto de estudio.
- Revisión de la ficha técnica del componente para identificar parámetros eléctricos y térmicos relevantes.
- Determinación de la potencia calorífica generada por el circuito integrado, establecida en 1.2 W.
- Definición de las condiciones de operación bajo convección natural y temperatura ambiente de 298 K ($25 \text{ }^\circ\text{C}$).
- Establecimiento de los coeficientes de convección para el disipador ($20 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$) y para la placa ($5 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$), como parte de las condiciones de contorno necesarias para la simulación.

Etape 2: Actividades realizadas para cumplir el Objetivo Específico 2.

- Creación del modelo tridimensional del *driver* de motores A4988 en SolidWorks, incluyendo placa, encapsulado del circuito integrado y disipador de calor.
- Asignación de materiales desde la librería de SolidWorks: aluminio para el disipador, ABS para el encapsulado y ABS-PC para la placa.
- Ajuste de las dimensiones del modelo para representar con precisión las características físicas del componente real.
- Definición de las zonas de aplicación de cargas térmicas y las superficies expuestas a convección.
- Preparación del modelo para la ejecución de la simulación térmica, verificando la correcta aplicación de las propiedades y restricciones.

Etapa 3: Actividades realizadas para cumplir el Objetivo Específico 3.

- Configuración de la simulación térmica en el módulo Simulation de SolidWorks, incorporando las condiciones de contorno definidas en la etapa inicial.
- Ejecución de la simulación para obtener la distribución de temperaturas en el sistema de refrigeración.
- Análisis de los resultados obtenidos, identificando una temperatura máxima de 287.73 °C sobre el circuito integrado y una mínima de 93.27 °C en la placa y pines.

3.1.3. Presupuesto

En el desarrollo del presente proyecto no se generaron gastos asociados a la adquisición de materiales o equipos físicos, ya que todo el trabajo se realizó mediante modelado y simulación computacional utilizando software disponible en la institución.

3.2. RESULTADOS

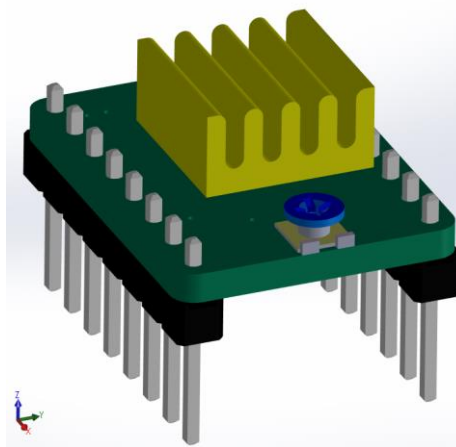
Objetivo 1: Logros obtenidos en el objetivo 1.

Para cumplir con este objetivo, se seleccionó el *driver* de motores A4988 como objeto de estudio, debido a su uso frecuente en aplicaciones de control de

motores paso a paso en entornos industriales y académicos. Se revisaron sus especificaciones técnicas y se determinaron los valores de potencia calorífica, tipo de convección, temperatura ambiente y coeficientes de transferencia de calor. Estos parámetros fueron esenciales para configurar de forma precisa la simulación térmica y garantizar que los resultados se acercaran a las condiciones reales de operación.

Ilustración 1.

Modelo 3D de la tarjeta electrónica.



Se estableció una potencia calorífica de 1.2 W generada en la superficie del encapsulado del circuito integrado, una temperatura ambiente de 298 K (25 °C) y condiciones de convección natural. El coeficiente de convección se fijó en 20 W/(m²·K) para el disipador y 5 W/(m²·K) para la placa PCB, valores que representan condiciones típicas de disipación en sistemas pasivos. La Tabla 1 resume estos datos clave que sirvieron como base para las siguientes etapas del proyecto.

Tabla 1.

Parámetros de funcionamiento del driver A4988.

Parámetro	Valor	Unidad	Observación
Potencia calorífica	1.2	W	Generada en el encapsulado del CI

Temperatura ambiente	298	K (25 °C)	Condición inicial para la simulación
Tipo de convección	Natural	-	Flujo de aire por diferencia de densidad
Coeficiente de convección disipador	20	W/(m ² ·K)	Aplicado a superficie de aluminio
Coeficiente de convección placa	5	W/(m ² ·K)	Aplicado a superficie de ABS-PC

Objetivo 2: Logros obtenidos en el objetivo 2.

El diseño se realizó en SolidWorks, elaborando un modelo tridimensional preciso del *driver* A4988 y su sistema de disipación. Se asignaron materiales desde la librería del software, seleccionando aluminio para el disipador por su alta conductividad térmica, ABS para el encapsulado del circuito integrado y ABS-PC para la placa, debido a sus propiedades mecánicas y estabilidad dimensional. El diseño se ajustó a dimensiones reales para garantizar compatibilidad con el componente original.

Se definieron las zonas de aplicación de cargas térmicas y las superficies expuestas a convección, lo que permitió configurar correctamente la simulación posterior. El diseño se centró en optimizar la disipación pasiva de calor y facilitar posibles mejoras futuras. La **Tabla 2** muestra las características clave del diseño realizado.

Tabla 2.
Características del diseño CAD.

Elemento	Material	Dimensiones aproximadas	Función principal
----------	----------	-------------------------	-------------------

Disipador de calor	Aluminio	20 mm × 15 mm × 10 mm	Extraer calor del CI y transferirlo al aire
Encapsulado del circuito integrado	ABS	10 mm × 10 mm × 3 mm	Proteger el CI
Placa PCB	ABS-PC	45 mm × 20 mm × 2 mm	Soporte físico y conexiones electrónicas

Objetivo 3: Logros obtenidos en el objetivo 2.

La simulación, realizada en SolidWorks Simulation bajo condiciones de convección natural, mostró que la temperatura máxima alcanzada en el encapsulado del circuito integrado fue de 287.73 °C, mientras que la temperatura mínima registrada en la placa y los pines fue de 93.27 °C. Estos resultados evidencian que, bajo las condiciones actuales, el sistema de refrigeración pasiva con disipador de aluminio no es suficiente para mantener temperaturas seguras en el CI.

Ilustración 2.

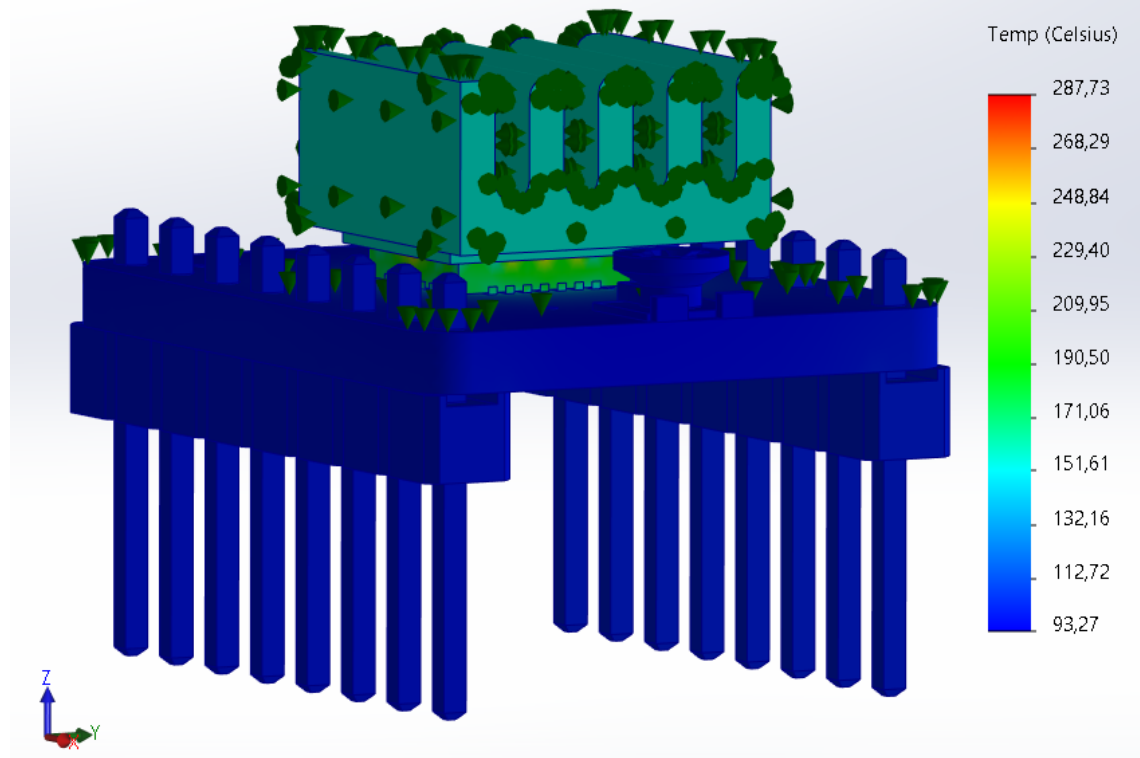
Gráfico de contornos con la distribución de temperatura.

Nombre del modelo: A4988-1

Nombre de estudio: Térmico 2(-Défaut-)

Tipo de resultado: Térmico Térmico1

Paso de tiempo: 1



El análisis de los resultados permite concluir que es necesario optimizar el diseño, ya sea mejorando la geometría del disipador, incorporando ventilación forzada o cambiando a materiales de mayor conductividad térmica. La Tabla 3 presenta un resumen de las temperaturas obtenidas en los distintos puntos del sistema.

Tabla 3.

Resultados de la simulación térmica

Ubicación de la medición	Temperatura (°C)	Observación
Encapsulado del circuito integrado	287.73	Zona de mayor acumulación de calor

Superficie del disipador	220.15	Alta temperatura debido a convección natural limitada
Placa PCB	93.27	Área de menor temperatura
Pines de conexión	93.27	Coinciden con la temperatura mínima

CAPÍTULO IV: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. CONCLUSIONES

Conclusión del Objetivo Específico 1

Se cumplió con la determinación de los parámetros de funcionamiento de la tarjeta electrónica industrial seleccionada (*driver* de motores A4988). Se identificaron las características técnicas relevantes, incluyendo potencia calorífica, condiciones de operación y coeficientes de convección. Estos datos permitieron establecer condiciones de contorno precisas para la simulación, garantizando un análisis térmico representativo de la realidad operativa del componente.

Conclusión del Objetivo Específico 2

Se cumplió con el diseño de un sistema de refrigeración para circuitos electrónicos mediante software CAD. El modelo tridimensional desarrollado en SolidWorks incluyó la asignación de materiales reales, dimensiones ajustadas y definición de zonas críticas de disipación térmica. El diseño elaborado sirvió como base sólida para la simulación posterior y permitió visualizar el comportamiento esperado del sistema bajo condiciones de convección natural.

Conclusión del Objetivo Específico 3

Se cumplió con el análisis de los resultados de la simulación térmica del sistema de refrigeración propuesto. Los resultados evidenciaron que la temperatura máxima en el encapsulado del circuito integrado alcanzó 287.73 °C, mientras que la mínima, registrada en la placa y pines, fue de 93.27 °C. Se concluye que, si bien el disipador de aluminio mejora parcialmente la distribución de calor, no es suficiente para mantener el CI en un rango térmico seguro bajo convección natural, siendo necesarias mejoras en el diseño o la implementación de refrigeración activa.

4.2. RECOMENDACIONES

Incorporar proyectos de simulación térmica como parte de las prácticas académicas en la carrera de Tecnología Superior en Electromecánica, fortaleciendo la formación en análisis y optimización de sistemas electrónicos.

Evaluar la implementación de sistemas de refrigeración activa (ventiladores, módulos Peltier, refrigeración líquida) o rediseño de disipadores con mayor superficie de intercambio térmico para mejorar la eficiencia en la disipación de calor.

Mantener actualizadas las licencias y herramientas de simulación CAD/CAE, garantizando que se cuente con software capaz de realizar análisis térmicos avanzados para proyectos de titulación y prácticas de laboratorio.

Ampliar el estudio a diferentes configuraciones de disipadores y materiales, comparando los resultados obtenidos con métodos experimentales para validar la precisión de la simulación.

BIBLIOGRAFÍA

- Naidiuk, O., & Torres, P. (2018). *Introducción al análisis térmico y fluidos mediante Ansys*. Quito: UPS.
- Ruiz, J. (2021). *Análisis térmico de sistemas eléctricos mediante simulación numérica*. Cantabria: UC.
- Salgado, J. (2019). *Refrigeración de componentes electrónicos usando convección inducida electrohidrodinámicamente*. Madrid: UPM.
- Siles, I., Cordero, L., Mendoza, M., Bazán, C., & Martínez, A. (2024). Análisis térmico basado en simulación asistida por computadora del circuito impreso de una fuente de alimentación. *Revista Científica de Ingeniería Electrónica, Automática y Comunicaciones*, 1-12.
- Toapanta, F., Orellana, J. C., & Quitiaquez, W. (2021). Estudio Numérico Mediante CFD del Proceso de Enfriamiento con Intercambiadores de Calor en Sistemas Computacionales. *Revista Técnica "energía"*, 55-64.
- ULEAM. (18 de Julio de 2012). *ULEAM*. Obtenido de <https://www.uleam.edu.ec/historia/>
- ULEAM. (18 de Julio de 2025). *Electromecánica*. Obtenido de <https://carreras.uleam.edu.ec/extension-el-carmen/carrera-electromecanica/>

ANEXOS

