



## **UNIVERSIDAD LAICA “ELOY ALFARO” DE MANABÍ**

### **Título:**

Estudio de la distribución térmica en sistemas de refrigeración para equipos electrónicos mediante software de simulación

### **Autores**

Joscar David Guanoluisa Morales  
Luis Enrique Ayala Zambrano

### **Tutor(a)**

Ing. Fernando René López Barberán

### **Unidad Académica:**

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

### **Carrera:**

Tecnología Superior en Electromecánica

**El Carmen, Febrero del 2026**

## **CERTIFICACION DEL TUTOR**

¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.; docente de la Universidad Laica “Eloy Alfaro” de Manabí, ¡Error! No se encuentra el origen de la referencia., en calidad de Tutor(a).

### **CERTIFICO:**

Que el presente proyecto integrador con el título: “Estudio de la distribución térmica en sistemas de refrigeración para equipos electrónicos mediante software de simulación” ha sido exhaustivamente revisado en varias sesiones de trabajo, está listo para su presentación y apto para su defensa.

Las opciones y conceptos vertidos en este documento son fruto de la perseverancia y originalidad de su(s) autor(es):

Joscar David Guanoluisa Morales , Luis Enrique Ayala Zambrano

Siendo de su exclusiva responsabilidad.

**El Carmen, Febrero del 202**



Ing. Fernando López

**TUTOR(A)**

## DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Quien(es) suscribe(n) la presente:

*Joscar David Guanoluisa Morales , Luis Enrique Ayala Zambrano*

Estudiante(s) de la Carrera de **Tecnología Superior en Electromecánica** , declaro(amos) bajo juramento que el presente proyecto integrador cuyo título: “Estudio de la distribución térmica en sistemas de refrigeración para equipos electrónicos mediante software de simulación”, 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 del 202**



Joscar David Guanoluisa Morales



Luis Enrique Ayala Zambrano



## APROBACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Los miembros del Tribunal Examinador aprueban el trabajo de Titulación con modalidad Proyecto Integrador, titulado: "Estudio de la distribución térmica en sistema de refrigeración para equipos electrónicos mediante software de simulación" de su(s) autor(es): Joscar David Guanoluisa Morales, Luis Enrique Ayala Zambrano de la carrera "Tecnología Superior en Electromecánica", y como Tutor del Trabajo de Tecnología Superior en Electromecánica, Fernando René López Barberán.

El Carmen, febrero de 2026

Ing. Bladimir Mora, Mg.  
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

Ing. Fernando René López Barberán  
TUTOR(A)

Ing. Roció Mendoza Mg.  
PRIMER MIEMBRO TRIBUNAL

Ing. Carlos López Mg.  
SEGUNDO MIEMBRO TRIBUNAL

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios, quien nos dio las fuerzas para no desistir en este camino, a nuestros padres, que están con nosotros siempre aconsejándonos y enseñándonos a través de su ejemplo, como excelentes seres humanos y sobre todo padres.

Con mucho amor y dedicación a ellos todos nuestros logros.

*Joscar David Guanoluisa Morales*

*Luis Enrique Ayala Zambrano*

## **DEDICATORIA**

A Dios por ser parte de cada logro que realizo en nuestra vida, por enseñarnos que en la vida todo lo que te propones se puede cumplir.

A nuestros padres por ser guía, ejemplo en este camino de saberes universitarios, por instruirnos en que todo sueño cuesta y que nada es fácil en la vida.

A la Universidad y a nuestros docentes por ser los que no guiaban con sus conocimientos académicos y profesionales.

A mis compañeros quienes compartimos no solo clases sino experiencias, risas, anécdotas, una parte de quien somos.

A todos, GRACIAS.

Joscar David Guanoluisa Morales

Luis Enrique Ayala Zambrano

## RESUMEN

El presente informe técnico aborda la problemática del sobrecalentamiento en sistemas embebidos de alto rendimiento, donde la elevada densidad de potencia en espacios reducidos compromete la integridad y vida útil de los componentes electrónicos. El objetivo general del proyecto consiste en estudiar la distribución térmica en los sistemas de refrigeración de estos equipos mediante el uso de software de simulación. La metodología empleada incluyó el modelado geométrico CAD de una tarjeta electrónica y su disipador de aluminio, seguido de un análisis térmico por elementos finitos bajo una carga de potencia de 12W y un coeficiente de convección de

Fórmula 1

Coeficiente de Transferencia de Calor por Convección h

$$40 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

. Los resultados obtenidos revelaron un punto crítico de temperatura máxima de 72,89°C localizado en la interfaz del procesador y una temperatura mínima de 54,65°C en las zonas periféricas del sistema. Se concluye que la refrigeración analizada es efectiva para mantener la temperatura operativa predominantemente bajo los 60°C, validando la simulación computacional como una herramienta de ingeniería precisa para la optimización de sistemas electromecánicos.

## PALABRAS CLAVE

Distribución térmica, Simulación computacional, Refrigeración electrónica, Electromecánica. Tarjeta electrónica

## ABSTRACT

This technical report addresses the problem of overheating in high-performance embedded systems, where high power density in compact spaces compromises component integrity and lifespan. The general objective is to study the thermal distribution in cooling systems through the use of simulation software. The methodology involved CAD modeling of a electronic board and its aluminum heatsink, followed by finite element analysis under a 12W power load and a convection coefficient of

Fórmula 2

Coeficiente de Transferencia de Calor por Convección h

$$40W / (m^2 \cdot K)$$

. The results revealed a critical maximum temperature of 72.89°C localized at the processor interface and a minimum temperature of 54.65°C in the system's peripheral areas. It is concluded that the cooling system effectively maintains the operating temperature predominantly below 60°C, validating computational simulation as a precise engineering tool for the optimization of electromechanical systems.

## KEYWORDS

Thermal distribution, Computational simulation, Electronic cooling, Electromechanics, Electronic Board

## ÍNDICE

CERTIFICACION DEL TUTOR .....	I
DECLARACIÓN DE AUTORÍA .....	II
APROBACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN.....	III
AGRADECIMIENTO .....	IV
DEDICATORIA.....	V
RESUMEN .....	VI
PALABRAS CLAVE .....	VI
ABSTRACT .....	VII
KEYWORDS .....	VII
ÍNDICE .....	VIII
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES .....	IX
ÍNDICE DE TABLAS .....	IX
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.....	8
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.....	10
2.1. DEFINICIONES .....	10
2.2. ANTECEDENTES .....	13
2.3. TRABAJOS RELACIONADOS.....	16
CAPÍTULO III: DESARROLLO DE LA PROPUESTA .....	18
3.1. DESARROLLO .....	18
3.1.1. Descripción de la propuesta .....	18
3.1.2. Etapas.....	19

3.1.3. Presupuesto.....	21
3.2. RESULTADOS.....	21
CAPÍTULO IV: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	26
4.1. CONCLUSIONES .....	26
4.2. RECOMENDACIONES.....	26
Bibliografía.....	28
ANEXOS .....	30

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

<b>Ilustración 1</b> <i>Detalle geométrico del sistema de refrigeración activa.</i> .....	22
<b>Ilustración 2</b> <i>Vista isométrica del modelo CAD simplificado de la Raspberry Pi 5.</i> .....	22
<b>Ilustración 3</b> <i>Distribución de gradientes térmicos en el ensamblaje completo bajo carga operativa.</i> .....	24
<b>Ilustración 4</b> <i>Localización del punto crítico de temperatura máxima 72,89°C en la interfaz del procesador.</i> .....	24
<b>Ilustración 5</b> <i>Gradiente de distribución térmica general sobre el sistema de refrigeración.</i> .....	30
<b>Ilustración 6</b> <i>Identificación del punto de temperatura máxima de 72.89°C en el área de contacto.</i> .....	30

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> <i>Presupuesto</i> .....	21
<b>Tabla 2</b> <i>Parámetros de configuración para la simulación térmica</i> .....	23
<b>Tabla 3</b> <i>Resultados de la distribución de temperatura en el sistema.</i> .....	23
<b>Fórmula 1</b> <i>Coeficiente de Transferencia de Calor por Convección h</i> .....	VI

Fórmula 2	Coeficiente de Transferencia de Calor por Convección h .....	VII
Fórmula 3	Coeficiente de Transferencia de Calor por Convección h .....	6
Fórmula 4	Resistencia Térmica por Unidad de Área.....	6
Fórmula 5	Coeficiente de Transferencia de Calor por Convección h .....	7
Fórmula 6	Intercambio de calor.....	8
Fórmula 7	Ley de Joule.....	10
Fórmula 8	Ley de Fourier .....	11
Fórmula 9	Ley de enfriamiento de Newton .....	11

## CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

En la actualidad, el avance constante en la miniaturización y el aumento de la potencia de procesamiento en dispositivos electrónicos han derivado en una mayor generación de calor por unidad de superficie. La gestión de la distribución térmica en estos sistemas es un factor crítico, ya que el exceso de temperatura no solo compromete la eficiencia operativa de los semiconductores, sino que también reduce significativamente la vida útil de los componentes (Alarcón, 2023). En procesadores de alto rendimiento, como los utilizados en sistemas embebidos modernos, la acumulación de calor residual requiere de estrategias de disipación precisas que permitan mantener los niveles de temperatura dentro de los rangos de operación segura establecidos por los fabricantes.

Para abordar esta problemática, la simulación de sistemas térmicos mediante herramientas computacionales se ha consolidado como una fase esencial en el diseño y validación de soluciones electromecánicas. El uso de software especializado permite modelar el comportamiento del flujo de calor y la interacción entre los componentes sólidos y el medio refrigerante sin la necesidad de prototipos físicos inmediatos (Alomia, 2025). A través de métodos numéricos, es posible predecir con alta precisión cómo se distribuye la temperatura en disipadores y sustratos bajo condiciones de carga específicas, facilitando la optimización de la geometría de las aletas y la selección de materiales de interfaz térmica que mejoren la transferencia de calor hacia el ambiente.

Diversas investigaciones han abordado la optimización de la gestión térmica en componentes electrónicos mediante enfoques experimentales y analíticos. Un antecedente relevante es el estudio de (Masip, 2015), quienes analizaron la refrigeración de un componente electrónico empleando aire como fluido refrigerante a través de una combinación de flujo cruzado y chorro incidente. En dicha investigación, se utilizó un túnel de viento para caracterizar la transferencia de calor mediante la obtención del número de Nusselt, determinando cómo la relación entre los números de Reynolds del chorro y del

canal influye en la capacidad de enfriamiento. Estos estudios previos demuestran que la caracterización precisa de los parámetros de convección es fundamental para predecir el comportamiento térmico de los sistemas, sentando las bases para el uso de herramientas de simulación computacional que permitan evaluar estas interacciones de manera eficiente en hardware específico.

La relevancia de este estudio radica en la necesidad de garantizar la estabilidad operativa de dispositivos de alto rendimiento, como la Raspberry Pi 5, la cual, debido a su incremento en la capacidad de cómputo y consumo energético, es propensa a alcanzar temperaturas críticas que pueden derivar en un estrangulamiento térmico (thermal-throttling) o daños permanentes. Comprender el comportamiento del flujo de calor mediante el análisis de la distribución térmica permite validar si los sistemas de refrigeración pasivos y activos son suficientes para mantener el procesador Broadcom 2712 dentro de rangos de trabajo seguros. La importancia de emplear simulación computacional en este proceso reside en la optimización de recursos, permitiendo predecir puntos calientes y evaluar la eficacia de la interfaz térmica antes de la implementación física.

Este proyecto se alinea directamente con el perfil profesional de la Tecnología Superior en Electromecánica, ya que integra de manera sinérgica el diseño mecánico y el control de sistemas eléctricos. El desarrollo de modelos CAD para disipadores de calor y la configuración de parámetros físicos, como la potencia calorífica y los coeficientes de transferencia de calor, son competencias fundamentales en el mantenimiento y diseño de equipos industriales y electrónicos. Al abordar la gestión térmica desde una perspectiva técnica y computacional, se fortalece la capacidad del tecnólogo para proponer soluciones electromecánicas que mejoren la eficiencia de los sistemas refrigerantes, asegurando que la integración de componentes electrónicos y estructuras mecánicas cumpla con los estándares técnicos exigidos por la industria actual.

## **1.1. PROBLEMA**

El incremento en la densidad de potencia de los sistemas embebidos de última generación ha generado un desafío crítico en la gestión de la energía térmica. En dispositivos de alto rendimiento, como la Raspberry Pi 5, la concentración de calor en superficies reducidas puede superar rápidamente los límites de operación segura de los semiconductores, provocando fallos en el procesamiento o el deterioro prematuro de los materiales del procesador Broadcom 2712. A nivel técnico, la principal dificultad radica en la imposibilidad de visualizar de forma directa y precisa cómo se distribuye el calor a través del disipador y las interfaces térmicas durante su funcionamiento. El uso de métodos tradicionales de ensayo y error para validar sistemas de refrigeración resulta ineficiente, costoso y no proporciona datos detallados sobre los gradientes de temperatura internos, lo que genera una incertidumbre técnica que puede comprometer la integridad electromecánica del equipo bajo condiciones de carga constante de 12W.

¿Cómo influyen las condiciones de transferencia de calor por convección y la resistencia térmica de contacto en la distribución de la temperatura de un sistema de refrigeración para un procesador Broadcom 2712, y de qué manera la simulación computacional permite validar la eficacia del disipador de calor para mantener el componente dentro de sus rangos operativos de seguridad?

## **1.2. JUSTIFICACIÓN**

Desde el ámbito académico, este estudio es fundamental para la consolidación de conocimientos teóricos en termodinámica y transferencia de calor aplicados a situaciones reales del campo electromecánico. La realización de este informe permite al estudiante integrar el manejo de herramientas de diseño asistido por computadora (CAD) con el análisis numérico, habilidades esenciales para un tecnólogo. Al estudiar la distribución térmica en un componente de alta densidad de potencia, se fortalece la capacidad analítica para interpretar fenómenos físicos complejos, como la convección y la resistencia térmica, garantizando una formación técnica alineada con las exigencias del diseño de ingeniería actual.

En el aspecto tecnológico, la justificación radica en la optimización de los procesos de validación de sistemas de enfriamiento mediante el uso de software de simulación. La capacidad de predecir que la temperatura en el disipador se mantendrá mayormente bajo los 60°C antes de fabricar un prototipo físico representa una ventaja técnica significativa. Esta metodología permite evaluar la eficiencia de materiales, como el disipador de aletas de aluminio y la pasta térmica, bajo condiciones de carga de 12W, reduciendo tiempos de desarrollo y costos. El uso de simulación computacional es una respuesta tecnológica necesaria para enfrentar los retos de disipación de calor que presentan los procesadores modernos de arquitectura reducida.

Finalmente, este proyecto se articula de manera directa con la línea de investigación institucional de Ingeniería, industria, construcción, urbanismo y arquitectura. El estudio de sistemas de refrigeración para equipos electrónicos es un componente crítico dentro de la ingeniería e industria, ya que la fiabilidad de la infraestructura tecnológica y de los sistemas de automatización industrial depende de una gestión térmica eficiente. Al proponer mejoras en la disipación de calor, se contribuye al desarrollo de equipos más duraderos y eficientes, cumpliendo con el objetivo de la línea de investigación de fomentar la innovación técnica y la sostenibilidad en el diseño de soluciones electromecánicas para el sector industrial.

### **1.3. OBJETIVOS**

#### **1.3.1. Objetivo general**

Analizar la distribución térmica en sistemas de refrigeración para equipos electrónicos mediante el uso de software de simulación computacional, con el fin de evaluar el comportamiento del flujo de calor en condiciones de carga específicas.

#### **1.3.2. Objetivos específicos**

Desarrollar el modelado tridimensional CAD de la tarjeta electrónica y el sistema de disipador de aletas, simplificando la geometría para optimizar el recurso computacional.

Ejecutar la simulación térmica mediante el uso de métodos numéricos, integrando parámetros de potencia calorífica, coeficientes de transferencia de calor por convección y resistencias térmicas de contacto.

Evaluar los gradientes de temperatura obtenidos en la simulación para determinar la eficiencia del sistema de enfriamiento y verificar la integridad térmica de los componentes del procesador.

### **1.4. METODOLOGÍA**

#### **1.4.1. Procedimiento**

El desarrollo de este informe técnico se estructuró en tres etapas fundamentales, orientadas a la evaluación del comportamiento térmico del sistema mediante herramientas de ingeniería asistida por computadora (CAE).

#### **Modelado Geométrico y Simplificación del Sistema**

En la fase inicial, se procedió a la construcción del modelo tridimensional utilizando software de diseño asistido por computadora (CAD). Se modeló con precisión la tarjeta electrónica Raspberry Pi 5 y un disipador de calor de aletas de aluminio acoplado a un ventilador. Con el fin de optimizar el costo computacional y reducir los tiempos de procesamiento sin comprometer la integridad de los resultados, se aplicó un criterio de simplificación geométrica. Este proceso consistió en la eliminación de componentes periféricos no críticos

para el flujo de calor, centrando el análisis exclusivamente en el chip del procesador principal Broadcom 2712 y su interacción con el bloque disipador.

### **Configuración del Entorno de Simulación y Condiciones de Contorno.**

Una vez definida la geometría, se establecieron las propiedades físicas y las condiciones de contorno para el análisis térmico:

**Carga Térmica:** Se aplicó una potencia calorífica de 12W sobre la cara superior del procesador Broadcom 2712, simulando una condición de alta demanda de procesamiento.

**Transferencia de Calor:** Se configuró un fenómeno de convección en las caras internas y externas del disipador, utilizando un coeficiente de película de

Fórmula 3

Coeficiente de Transferencia de Calor por Convección h

$$40W / (m^2 \cdot K)$$

**Ambiente:** Se fijó una temperatura ambiente de 298.15 °K 25°C como referencia térmica externa.

**Interfaz Térmica:** Para simular la presencia de la pasta térmica entre el chip y el disipador, se configuró una interacción de tipo resistencia térmica con un valor de Fórmula 4 Resistencia Térmica por Unidad de Área, garantizando que el modelo considere la oposición al flujo de calor en la zona de contacto.

$$2.85 \times 10^{-6}(K \cdot m^2) / W$$

**Procesamiento y Extracción de Resultados:** Tras la ejecución de la simulación mediante métodos computacionales, se procedió a la etapa de post-procesamiento. En esta fase se generaron gráficos de contorno de temperatura para visualizar la distribución del calor sobre toda la superficie del conjunto electromecánico. Se identificaron los puntos críticos de acumulación térmica y se extrajeron los valores numéricos de temperatura máxima y mínima, permitiendo verificar el comportamiento del gradiente térmico a través de las aletas del disipador y validar la eficacia del sistema de refrigeración propuesto.

## 1.4.2. Técnicas

### Modelado CAD 3D (Diseño Asistido por Computadora)

Es el proceso de crear representaciones digitales precisas de objetos físicos en un entorno tridimensional, esta técnica permite definir con exactitud las dimensiones, volúmenes y geometrías de los componentes antes de ser sometidos a cualquier tipo de análisis físico (Metrology Solutions, 2025), se empleó para obtener una réplica exacta de la Raspberry Pi 5 y el disipador de aletas. Fue fundamental para realizar la simplificación geométrica del procesador Broadcom 2712, lo cual permitió que el software de simulación procesara los datos de manera más eficiente y rápida, se aplicó al inicio del proyecto para construir la geometría de la tarjeta electrónica, el chip principal y el bloque disipador de aluminio.

### Simulación Térmica Computacional (Análisis Térmico)

Es un método numérico basado en algoritmos computacionales que permite predecir cómo se transfiere el calor a través de sólidos y cómo interactúa con el fluido circundante, esta técnica resuelve ecuaciones físicas complejas para determinar la distribución de temperatura en un sistema bajo condiciones de carga específicas, el uso de esta técnica evitó la necesidad de construir prototipos físicos y utilizar sensores térmicos costosos (Koontz, 2023). Permitted configurar variables críticas como la potencia de 12W y el coeficiente de convección de *Fórmula 5* Coeficiente de Transferencia de Calor por Convección  $h$

$$40W / (m^2.K)$$

Prediciendo el comportamiento térmico del sistema de forma segura, se utilizó en la etapa central del proyecto, donde se configuraron las condiciones de contorno y se ejecutó el cálculo para obtener los gradientes de temperatura en el conjunto chip-disipador.

### Visualización mediante Mapas de Contorno (Post-procesamiento)

Se trata de una técnica de representación gráfica que utiliza una escala cromática (gradientes de color) para mostrar la variación de una magnitud física,

en este caso la temperatura, sobre la superficie de un modelo. Los colores cálidos suelen representar temperaturas altas, mientras que los fríos indican zonas de menor calor, se utilizó para identificar visual y cuantitativamente los puntos críticos de calor (Rodríguez, 2025). Esta técnica facilitó la localización exacta del valor máximo de  $72,89^{\circ}\text{C}$  en la zona de contacto y del valor mínimo de  $54,65^{\circ}\text{C}$  en las aletas, permitiendo una interpretación inmediata de los resultados, su aplicación en la fase final de análisis de resultados para generar el gráfico de distribución térmica y verificar que la mayor parte del disipador se mantuviera por debajo de los  $60^{\circ}\text{C}$ .

### **1.4.3. Métodos**

#### **Método de Modelado Geométrico Digital.**

Este método consiste en la traducción de las características físicas, métricas y dimensionales de un objeto real hacia un entorno virtual especializado, permitiendo generar una representación matemática que conserva las propiedades volumétricas del sólido para su posterior análisis (Mendez, 2014). Se utilizó con el objetivo de representar fielmente la tarjeta Raspberry Pi 5 y el disipador de aluminio, siendo una etapa fundamental para aplicar la simplificación de componentes, donde se eliminaron elementos periféricos para centrar el estudio únicamente en el procesador Broadcom 2712 y así optimizar los recursos computacionales del sistema. Su aplicación se dio al inicio del proyecto, específicamente durante la construcción de la geometría CAD de la tarjeta, el chip y el bloque de aletas.

Método de Simulación Numérica. Este procedimiento se basa en la división de un dominio físico complejo en elementos finitos de menor tamaño para resolver de forma iterativa las ecuaciones diferenciales que rigen la transferencia de calor por conducción y convección (Neira, 2011). La razón principal de su empleo fue la posibilidad de predecir con alta precisión el comportamiento térmico del conjunto sin recurrir a prototipos físicos, permitiendo integrar simultáneamente parámetros críticos como la potencia de 12W, el coeficiente de convección de Fórmula 6, intercambio de calor  $40\text{W} / (\text{m}^2.\text{K})$  y la resistencia de contacto de la pasta térmica. Este método se aplicó estrictamente

durante la fase de ejecución del análisis térmico, donde se procesó la interacción física entre la fuente de calor y el sistema de enfriamiento.

Método Analítico-Sintético. Se define como un proceso de razonamiento técnico que descompone un sistema complejo en sus partes constitutivas para estudiarlas individualmente y, posteriormente, las integra para obtener una comprensión global del fenómeno observado (Lifeder, 2020.). Se seleccionó este método para realizar la interpretación de los gradientes de temperatura obtenidos, facilitando la comprensión de por qué se generó un punto crítico de 72,89°C en la superficie de contacto y cómo la geometría del disipador permitió reducir la temperatura hasta los 54,65°C en las zonas periféricas. Su aplicación tuvo lugar en la etapa de post-procesamiento y análisis de resultados, permitiendo verificar de forma sintética que la eficacia del sistema de refrigeración mantiene los valores operativos bajo los 60°C.

## **CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO**

### **2.1. DEFINICIONES**

#### **Fundamentación teórica del primer componente: Gestión y transferencia de calor en electrónica de alta densidad**

La gestión térmica en la ingeniería electromecánica actual representa uno de los desafíos más críticos debido a la tendencia de la "micro-miniaturización". A medida que los dispositivos electrónicos integran más transistores en áreas más reducidas, la densidad de flujo térmico se asemeja a la observada en reactores nucleares o en la entrada de vehículos espaciales a la atmósfera (González, 2014). En este contexto, el estudio de la distribución térmica no solo busca mantener el dispositivo "frío", sino garantizar que los gradientes de temperatura no generen tensiones mecánicas que fracturen las soldaduras o degraden el silicio.

#### **Principios de termodinámica aplicados a semiconductores**

El funcionamiento de un Sistema en Chip SoC como el Broadcom 2712 se rige por la Primera Ley de la Termodinámica. Toda la potencia eléctrica consumida por el procesador que no se convierte en trabajo lógico se disipa inevitablemente como calor residual mediante el efecto Joule. Este fenómeno se cuantifica mediante la relación:

Fórmula 7  
Ley de Joule

$$P = I^2 \cdot R$$

Donde P es la potencia disipada, I la corriente y R la resistencia eléctrica interna de los circuitos. En dispositivos de alto rendimiento, esta potencia genera una "huella térmica" no uniforme, creando puntos calientes por su traducción en ingles hotspots que pueden alcanzar temperaturas de falla en milisegundos si no existe un camino de baja resistencia térmica hacia el exterior [SUGERENCIA DE CITA: Termodinámica de los procesadores CMOS (Barnabas, 2015)].

#### **Mecanismos fundamentales de transferencia de calor**

Para realizar un análisis de distribución térmica preciso, es vital desglosar los tres mecanismos que operan en el sistema de la Raspberry Pi 5:

**Conducción térmica (Medio Sólido):** Es el mecanismo primario dentro del chip y a través del disipador. Se rige por la Ley de Fourier, que establece que la tasa de transferencia de calor es proporcional al área y al gradiente de temperatura:

Fórmula 8  
Ley de Fourier

$$q = -k \cdot A \cdot \nabla T$$

Aquí, la conductividad térmica  $k$  del aluminio y del silicio determina qué tan rápido el calor puede alejarse de la fuente de calor (Cabascango, 2024).

**Convección térmica (Interfaz Sólido-Fluido):** Es el proceso mediante el cual el calor se transfiere de las aletas del disipador al aire circundante. Se clasifica en:

**Convección Natural:** El movimiento del aire ocurre por diferencias de densidad aire caliente sube.

**Convección Forzada:** Se utiliza un agente externo (ventilador) para forzar el flujo. En este proyecto, la convección forzada es la que permite manejar una carga de 12W, aumentando significativamente el coeficiente de transferencia de calor  $h$  según la Ley de Enfriamiento de Newton:

Fórmula 9  
Ley de enfriamiento de Newton

$$Q = h \cdot A \cdot (T_s - T_\infty)$$

Donde  $T_s$  es la temperatura de la superficie y  $T_\infty$  la temperatura del fluido (Carranza, 2014).

**Radiación térmica:** Aunque es menos significativa a temperaturas bajas bajo los 100°C, juega un papel en la pérdida de energía global a través de ondas electromagnéticas, regida por la ley de Stefan-Boltzmann (Avenaño, 2013).

## **Fundamentación teórica del segundo componente: Simulación computacional y análisis por métodos numéricos**

La ingeniería asistida por computadora (CAE, por sus siglas en inglés) ha revolucionado la forma en que se validan los diseños electromecánicos. En lugar de depender exclusivamente de prototipos físicos costosos y ensayos de laboratorio destructivos, el uso de software de simulación permite predecir el comportamiento térmico de un sistema bajo condiciones controladas y variables (Rojas, 2006). En el caso de la gestión térmica, la simulación se basa en la resolución de ecuaciones matemáticas complejas que describen el flujo de calor y la dinámica de los fluidos.

### **Modelado Geométrico y Simplificación CAD**

El punto de partida de toda simulación es el Diseño Asistido por Computadora (CAD). Sin embargo, un modelo CAD diseñado para fabricación suele contener detalles tornillos, grabados, radios de curvatura mínimos que incrementan innecesariamente la complejidad del cálculo sin aportar precisión al resultado térmico. El proceso de "simplificación geométrica" o defeaturing es esencial para optimizar el costo computacional (Spaccesi, 2020). Al reducir el modelo a sus componentes esenciales el chip Broadcom 2712 y el disipador de aluminio se logra que el software concentre sus recursos en la resolución de los gradientes de temperatura en las zonas de interés.

### **Métodos Numéricos: El Método de Elementos Finitos MEF**

Dado que las ecuaciones diferenciales que gobiernan la transferencia de calor (como la ecuación de calor de Fourier) son extremadamente difíciles de resolver analíticamente para geometrías complejas, se recurre a los métodos numéricos. El Método de Elementos Finitos (MEF) o el Método de Volúmenes Finitos (MVF) consisten en la discretización del dominio espacial, es decir, dividir el sólido en miles de partes pequeñas llamadas "elementos" que forman una malla (Borja, 2017).

Cada elemento está conectado por nodos donde se calculan las variables de temperatura. La precisión de la simulación depende directamente de la calidad de esta malla:

Una malla muy gruesa genera resultados imprecisos, una malla muy fina exige excesiva memoria RAM y tiempo de procesamiento en este proyecto, la densidad de la malla en la interfaz procesador-disipador es crítica para capturar con exactitud el punto máximo de 72,89°C (Leonidivna, 2018).

### **Dinámica de Fluidos Computacional (CFD) y Convección**

Para el análisis de sistemas de refrigeración activa, la simulación debe integrar la Dinámica de Fluidos Computacional (CFD). Este método resuelve las ecuaciones de Navier-Stokes para predecir cómo el aire se mueve a través de las aletas del disipador impulsado por el ventilador (González, 2019). En el entorno de simulación, la convección no se trata solo como un número, sino como un fenómeno donde el aire retira calor de la superficie sólida basándose en la velocidad del flujo y la turbulencia generada, validando parámetros como el coeficiente de la fórmula de intercambio de calor utilizado en este estudio.

## **2.2. ANTECEDENTES**

La Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí (ULEAM) es una institución de educación superior pública, creada mediante Ley No. 10 publicada en el Registro Oficial No. 313 el 13 de noviembre de 1985 (ULEAM, 2023). Desde su fundación en la ciudad de Manta, la universidad ha expandido su presencia territorial con el objetivo de descentralizar la formación profesional y responder a las necesidades productivas de la provincia de Manabí, su extensión en El Carmen ubicada en la Avenida 3 de Julio y Carlos Alberto Aray, esta sede se ha transformado en un centro de referencia académica que articula la docencia, la investigación y la vinculación con la comunidad en un entorno eminentemente productivo.

El accionar de la universidad y su extensión en El Carmen se rige por preceptos que buscan la excelencia y el compromiso social. Según los estatutos vigentes, la misión de la ULEAM es formar profesionales competentes y emprendedores desde lo académico, la investigación y la vinculación, que

contribuyan de manera efectiva a mejorar la calidad de vida de la sociedad, por su parte, la visión institucional proyecta a la universidad como un referente nacional e internacional de Institución de Educación Superior que aporta al desarrollo social, cultural y productivo mediante la formación de profesionales éticos, creativos, cualificados y con sentido de pertinencia (ULEAM, 2023). Estos pilares fundamentan la ejecución de proyectos técnicos que, como el presente estudio de distribución térmica, buscan aplicar conocimientos científicos en la resolución de problemas técnicos locales.

Dentro de la oferta académica de la Extensión El Carmen, la carrera de Tecnología Superior en Electromecánica desempeña un rol crítico en el fortalecimiento del sector industrial y de servicios. El objetivo general de esta formación es capacitar profesionales en el diseño, implementación y mantenimiento de sistemas electromecánicos, sistemas térmicos, hidráulicos y de accionamiento eléctrico (ULEAM, 2024). La carrera se enfoca en dotar al estudiante de competencias técnicas para optimizar equipos mecánicos y eléctricos, aplicando normas de seguridad industrial y eficiencia energética. En este contexto, el desarrollo de informes técnicos basados en simulación computacional permite a los estudiantes de la extensión alcanzar los estándares de innovación que demanda la línea de investigación institucional en ingeniería e industria, garantizando que el mantenimiento y la operación de equipos electrónicos de alta complejidad, como los analizados en este proyecto, se realicen bajo criterios técnicos rigurosos.

Históricamente, la gestión del calor en dispositivos electrónicos se basaba en el sobredimensionamiento de componentes pasivos de disipación, confiando principalmente en la masa térmica del aluminio para evacuar el calor residual. Sin embargo, con la aparición de procesadores con arquitecturas de alta densidad y frecuencias de reloj elevadas, como los sistemas en chip (SoC), los métodos tradicionales de enfriamiento estático resultaron insuficientes. Antes de la ejecución de este análisis, se había identificado que dispositivos de alto rendimiento experimentaban fenómenos de "estrangulamiento térmico", donde

el procesador reduce automáticamente su velocidad para evitar daños permanentes al superar los 80°C (Benoit, 2020).

En el caso específico de la Raspberry Pi 5, lanzada como una evolución significativa en capacidad de procesamiento, los reportes técnicos preliminares indicaban un incremento considerable en la generación de energía térmica en comparación con sus predecesoras. Los datos técnicos previos sugerían que, bajo cargas de trabajo intensas, el chip Broadcom 2712 podía alcanzar temperaturas críticas en cuestión de segundos si no se contaba con una interfaz térmica adecuada y un flujo de aire forzado (Raspberry Pi, 2023). Hasta ese momento, las soluciones comunes consistían en el uso de disipadores estándar, pero sin una validación numérica que confirmara la homogeneidad de la distribución de calor sobre las aletas de aluminio.

En el ámbito de la simulación térmica, antes de la propuesta de este proyecto, el uso de herramientas de ingeniería asistida por computadora (CAE) en el nivel tecnológico solía ser limitado. Las prácticas predominantes se centraban en la medición empírica mediante termografía infrarroja o sensores de contacto una vez construido el prototipo (Kern, 1999). No obstante, estos métodos presentaban la desventaja de no permitir la visualización de la resistencia térmica de contacto interna, un factor determinante que a menudo se ignoraba o se estimaba de forma imprecisa.

La falta de modelos CAD simplificados para análisis térmico impedía predecir si un coeficiente de convección específico, como la fórmula de transferencia de calor, sería suficiente para disipar potencias superiores a los 10W. Finalmente, las investigaciones previas sobre disipadores de aletas indicaban que la eficiencia de la refrigeración depende críticamente de la geometría y de la conductividad del material. Sin embargo, no existía un estudio documentado dentro del contexto local de la carrera que integrara la simulación computacional para analizar específicamente la distribución térmica del modelo Pi 5 bajo una carga constante de 12W. Por lo tanto, el punto de partida de este proyecto se situó en la necesidad de transicionar de una validación puramente experimental a una validación predictiva basada en software, permitiendo

determinar con exactitud los gradientes térmicos y asegurar que los componentes se mantengan bajo los 60°C en condiciones operativas normales (Sandoval, 2025).

### **2.3. TRABAJOS RELACIONADOS**

En el continente europeo, específicamente en la Universidad de Barcelona, España, se desarrolló un estudio técnico enfocado en el enfriamiento de equipos electrónicos y placas de circuito impreso (PCB) utilizando como objeto de análisis la Raspberry Pi 3B+. Esta investigación integró conocimientos de termotecnia y electrónica para evaluar la generación de energía calorífica en el chip principal mediante software de pruebas de estrés, complementando las mediciones con sensores internos, termopares externos y el uso cualitativo de cámaras infrarrojas (Ruiz, 2024). El trabajo permitió compilar datos térmicos en formatos digitales para su posterior análisis gráfico y comparativo con ecuaciones teóricas de transferencia de calor. La relevancia de este antecedente para el presente informe radica en que establece una base comparativa sobre el comportamiento térmico de los sistemas embebidos, validando la necesidad de implementar soluciones de refrigeración eficientes ante el incremento de la carga térmica en arquitecturas similares a la Raspberry Pi 5.

En el contexto del continente americano, específicamente en Costa Rica, se ha desarrollado investigación técnica referente a la modelación y simulación de la transferencia de calor en disipadores para procesadores de computadoras de escritorio. Este estudio empleó software de simulación multifísica para representar las dimensiones reales de los dispositivos, modelando la generación térmica como una fuente puntual con el objetivo de prevenir el sobrecalentamiento y el deterioro de la vida útil de los componentes electrónicos. Mediante la optimización geométrica de los disipadores, específicamente al reducir el grosor de las placas de intercambio e incrementar su cantidad, se lograron reducciones de temperatura en un rango de entre 5 y 78 grados Kelvin (Garro, 2012). Los resultados de este trabajo demuestran que es factible desarrollar diseños de refrigeración más eficientes a través de una mejor ingeniería y el uso de herramientas computacionales, lo cual fundamenta

técnicamente el análisis de distribución térmica y el uso de simulación realizado en este informe para la evaluación del hardware Raspberry Pi 5.

En el ámbito nacional, específicamente en la provincia de Pichincha, se ha desarrollado investigación académica enfocada en el diseño y simulación de diversas configuraciones de aletas para optimizar los procesos de disipación de calor en dispositivos electrónicos. Este estudio abordó la problemática del incremento en la densidad de potencia y la reducción del tamaño de los componentes, factores que exigen soluciones térmicas más eficientes. Mediante la aplicación de simulaciones de dinámica de fluidos computacional (CFD), se analizó el comportamiento térmico y fluidodinámico de distintas geometrías, evaluando aspectos críticos como los patrones de temperatura y la evacuación de calor bajo mecanismos de convección (Alomia, 2025). La investigación destaca que la selección de materiales con alta conductividad térmica, como el aluminio, y la optimización de la disposición de las aletas son determinantes para el rendimiento del sistema, lo cual guarda una relación directa con la metodología de simulación y el análisis de distribución térmica aplicados en este proyecto.

Finalmente, en lo que respecta al ámbito local, se realizó una exhaustiva revisión de la literatura y de los repositorios académicos de las instituciones de educación superior dentro de la provincia de Manabí, específicamente en los cantones de Portoviejo y Manta. Tras este análisis, se determinó que no se han ejecutado trabajos relacionados que aborden específicamente el estudio de la distribución térmica en sistemas de refrigeración para equipos electrónicos mediante el uso de software de simulación. La mayoría de las investigaciones en la región dentro del área de la electromecánica se centran en el mantenimiento industrial, la eficiencia energética en sistemas motrices o el control de procesos automatizados, lo que resalta el carácter innovador y la pertinencia técnica del presente informe al introducir métodos de simulación computacional para la optimización de hardware electrónico en el contexto provincial.

## **CAPÍTULO III: DESARROLLO DE LA PROPUESTA**

### **3.1. DESARROLLO**

En esta sección se detalla la implementación técnica de la propuesta desarrollada para dar cumplimiento a los objetivos planteados en el Capítulo I, centrandose el análisis en el comportamiento térmico de la tarjeta Raspberry Pi 5 y su sistema de disipación de calor. El desarrollo se estructura de forma secuencial, iniciando con el modelado tridimensional (CAD) de los componentes, seguido por la configuración de los parámetros físicos en el entorno de simulación computacional y, finalmente, la interpretación de los fenómenos térmicos observados. A continuación, se describe la metodología empleada, las etapas clave de su ejecución y los aspectos técnicos relevantes que permitieron evaluar el sistema bajo una carga de 12W. Los resultados obtenidos se presentarán detalladamente en la sección posterior, validando el cumplimiento de cada uno de los objetivos específicos y la eficacia de la solución electromecánica propuesta.

#### **3.1.1. Descripción de la propuesta**

La presente propuesta técnica se fundamenta en el uso de herramientas de ingeniería asistida por computadora (CAE) para evaluar el comportamiento térmico de la Raspberry Pi 5 bajo condiciones de carga de trabajo. A continuación, se describen las actividades realizadas vinculadas a cada objetivo específico:

**Modelado CAD:** El primer paso consistió en la digitalización geométrica de los componentes. Se desarrolló el modelo tridimensional de la tarjeta electrónica y el disipador de calor de aluminio. La propuesta se centró en una simplificación estratégica: se conservó únicamente el chip procesador Broadcom 2712 como volumen de control, eliminando componentes secundarios. Esta decisión técnica permite concentrar el mallado y los recursos de procesamiento en la interfaz chip-disipador, asegurando resultados precisos en la zona de mayor flujo térmico sin incrementar innecesariamente el tiempo de cómputo.

**Simulación térmica** En esta etapa se aplicaron las leyes físicas de transferencia de calor al modelo digital. La propuesta contempló la configuración

de un entorno controlado mediante parámetros de frontera reales: una potencia térmica de 12W en el procesador y un coeficiente de convección de  $40W / (m^2.K)$  para representar el enfriamiento activo. Un aspecto crítico de esta descripción es la inclusión de la resistencia térmica de contacto ( $2.85 \times 10^{-6}$ ), la cual simula el comportamiento de la pasta térmica en la unión de los componentes, permitiendo observar cómo este material influye en la transición de calor entre el silicio y el aluminio.

Análisis de resultados: La parte final de la ejecución técnica consistió en la interpretación de los gradientes térmicos obtenidos. Mediante el uso de mapas de contorno termogramas, se identificaron los puntos críticos de temperatura. Este análisis permitió verificar la eficiencia del disipador de aletas bajo las condiciones preestablecidas, comparando los valores máximos de  $72,89^{\circ}C$  en el núcleo frente a los valores mínimos de  $54,65^{\circ}C$  en las zonas periféricas del disipador, validando así si el sistema mantiene el procesador dentro de los rangos de operación segura.

### **3.1.2. Etapas**

#### **Etapa 1: Actividades realizadas para cumplir el Objetivo Específico 1.**

##### **Modelado geométrico y simplificación del sistema**

En esta etapa se establecieron las bases espaciales para el análisis cuyas actividades principales fueron:

- Levantamiento de medidas y modelado: Se diseñó el entorno tridimensional de la Raspberry Pi 5 y su disipador de calor activo, respetando las dimensiones del fabricante para asegurar la fidelidad del flujo de aire sobre las aletas.
- Optimización del modelo (Costo computacional): Para garantizar una simulación fluida sin comprometer la precisión, se realizó una limpieza del modelo CAD. Se eliminaron conectores, puertos y componentes electrónicos menores, dejando únicamente el chip Broadcom 2712 y el conjunto disipador-ventilador como elementos de estudio.

- Definición de materiales: Se asignaron las propiedades físicas a los volúmenes, estableciendo al aluminio como material del disipador por su alta conductividad térmica.

## **Etapas 2: Actividades realizadas para cumplir el Objetivo Específico 2.**

En esta fase consistió en la preparación del entorno físico dentro del software de simulación para replicar las condiciones reales de operación:

**Aplicación de cargas térmicas:** Se configuró una potencia calorífica constante de 12W sobre el procesador, simulando un escenario de carga de trabajo intensa.

**Establecimiento de condiciones de borde:** Se aplicó un coeficiente de convección de  $40W/(m^2 \cdot K)$  en las caras del disipador para modelar el efecto del ventilador, y se fijó la temperatura ambiente en 25°C (298.15 K).

**Interfaz de contacto:** Se implementó una interacción de resistencia térmica de  $2.85 \times 10^{-6}$  entre el chip y el disipador para representar la capa de pasta térmica, asegurando que el paso del calor entre ambos cuerpos fuera realista.

**Procesamiento:** Se ejecutó el cálculo numérico para determinar la distribución de las temperaturas en todo el conjunto.

## **Etapas 3: Actividades realizadas para cumplir el Objetivo Específico 3.**

La última etapa se centró en la extracción y validación de la información generada:

**Generación de mapas térmicos:** Se obtuvieron los gráficos de contorno que muestran visualmente cómo se distribuye el calor desde el centro del procesador hacia los extremos del disipador.

**Identificación de puntos críticos:** Se localizaron los valores térmicos extremos, registrando la temperatura máxima de 72,89°C y la mínima de 54,65°C

**Evaluación de la eficiencia:** Se analizó el comportamiento del gradiente térmico, observando que la mayor parte de la superficie del disipador opera por

debajo de los 60°C, lo que permite validar el rendimiento del sistema de refrigeración diseñado para este equipo.

### 3.1.3. Presupuesto

**Tabla 1**  
*Presupuesto*

<b>Categoría</b>	<b>Descripción del Recurso</b>	<b>Función en el Proyecto</b>
<b>Talento Humano</b>	Investigadores (Ayala y Guanoluisa)	Diseño, configuración y análisis.
<b>Software</b>	SolidWorks Flow Simulation	Cálculos de CFD y transferencia de calor.
<b>Hardware</b>	Estación de trabajo industrial	Procesamiento de malla y renderizado.
<b>Información</b>	Repositorios y manuales	Parámetros y sustento bibliográfico.

*Nota:* El presupuesto general cubrió los tres objetivos de manera integral, haciendo uso de los activos tecnológicos y el tiempo de investigación de los autores sin requerir inversión en materiales físicos.

## 3.2. RESULTADOS

En esta sección se presentan los resultados obtenidos en el desarrollo del estudio, estructurados conforme a los objetivos específicos planteados para la evaluación térmica del sistema.

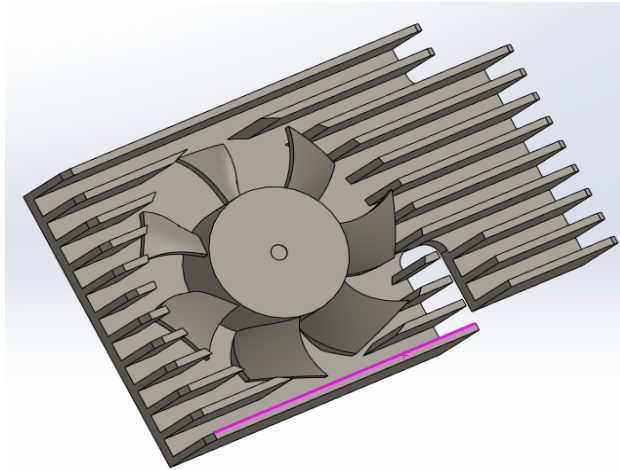
### **Objetivo 1: Elaborar el modelo CAD de la tarjeta electrónica y del disipador de calor.**

Como primer resultado, se logró la representación digital tridimensional de los componentes físicos. Se desarrolló un modelo detallado de la tarjeta Raspberry Pi 5, incluyendo la disposición precisa de sus puertos periféricos, conectores y circuitos integrados. De igual manera, se modeló el sistema de

refrigeración activa, consistente en un dissipador de calor de aletas de aluminio diseñado para acoplarse sobre la placa.

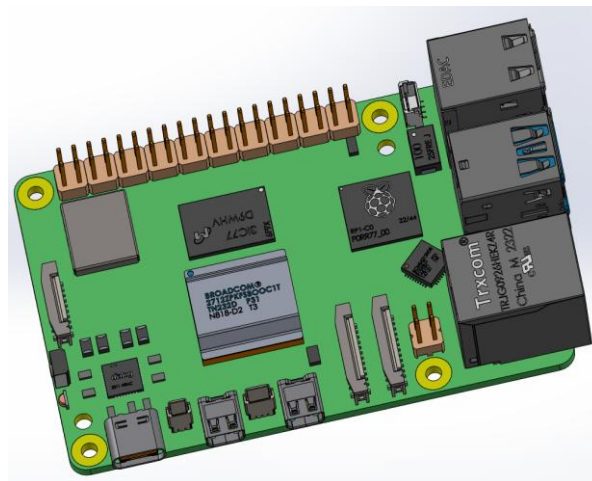
### **Ilustración 1**

*Detalle geométrico del sistema de refrigeración activa.*



### **Ilustración 2**

*Vista isométrica del modelo CAD simplificado de la Raspberry Pi 5.*



La precisión en el modelado CAD permitió establecer las superficies de contacto necesarias para la posterior etapa de simulación, asegurando que la geometría del dissipador coincidiera con las zonas críticas de generación de calor en la tarjeta.

**Objetivo 2: Realizar la simulación térmica por medio de métodos computacionales.**

Se ejecutó la simulación térmica utilizando el modelo simplificado para optimizar el rendimiento del software. Los parámetros técnicos configurados se resumen en la siguiente tabla:

**Tabla 2**

*Parámetros de configuración para la simulación térmica.*

<b>Parámetro de Simulación</b>	<b>Valor Configurado</b>
Potencia calorífica del chip (Broadcom 2712)	12 W
Coefficiente de convección	$40W / (m^2 \cdot K)$
Temperatura ambiente	25 °C (298.15 K)
Resistencia térmica de contacto (Pasta térmica)	$2,85 \times 10^{-6}$

La simulación se centró en el chip Broadcom 2712, eliminando componentes secundarios para reducir el costo computacional sin comprometer la integridad de los resultados térmicos en el área de estudio principal. Se aplicaron condiciones de frontera de convección en todas las caras expuestas del disipador para representar el flujo de aire generado por el ventilador.

**Objetivo 3: Hacer el análisis de los resultados de simulación.**

Tras la ejecución del proceso computacional, se obtuvieron los gradientes de temperatura sobre el sistema de refrigeración. El análisis de la distribución térmica arroja los siguientes valores clave.

**Tabla 3**

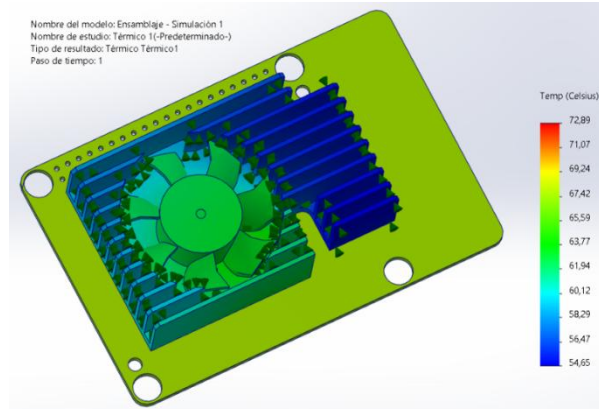
*Resultados de la distribución de temperatura en el sistema.*

<b>Punto de Interés</b>	<b>Temperatura Registrada</b>
Temperatura Máxima (Punto de contacto chip-disipador)	72.89 C
Temperatura Mínima (Extremo de aleta alejada)	54.65 °C

Rango predominante en el disipador	<60 °
------------------------------------	-------

### Ilustración 3

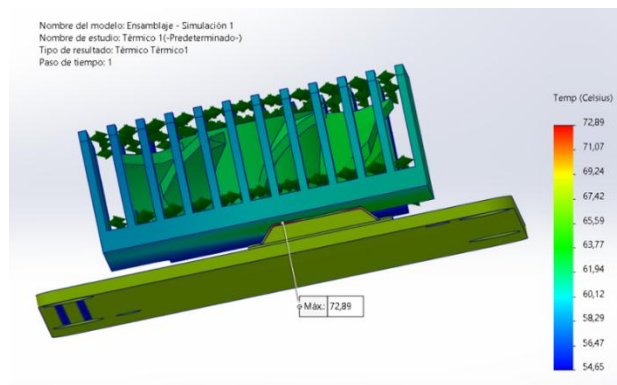
*Distribución de gradientes térmicos en el ensamblaje completo bajo carga operativa.*



Se observa que la distribución del calor es eficiente, concentrando el valor máximo de 72.89°C en la zona de interfaz directa con el procesador. A medida que el calor se desplaza hacia las aletas externas, la temperatura disminuye gradualmente hasta los 54.65°C.

### Ilustración 4

*Localización del punto crítico de temperatura máxima 72,89°C en la interfaz del procesador.*



La mayoría de la superficie del disipador presenta valores inferiores a los 56°C, lo que indica que el sistema de refrigeración de aluminio, bajo las condiciones de convección forzada configuradas, es capaz de disipar la carga térmica del chip manteniendo el componente dentro de márgenes operativos estables.



## CAPÍTULO IV: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 4.1. CONCLUSIONES

Cumplimiento del Objetivo Específico 1: Se cumplió satisfactoriamente con este objetivo mediante la elaboración de un modelo CAD detallado de la tarjeta Raspberry Pi 5 y su correspondiente disipador de calor de aletas de aluminio. La representación tridimensional permitió establecer con precisión las superficies de contacto y la geometría necesaria para la posterior etapa de análisis computacional.

Cumplimiento del Objetivo Específico 2: Se cumplió exitosamente con este objetivo al ejecutar la simulación térmica bajo parámetros técnicos rigurosos, tales como una potencia calorífica de 12 W en el chip Broadcom 2712 y un coeficiente de convección de  $40\text{W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ , la inclusión de una resistencia térmica de contacto de  $2,85 \times 10^{-6}$  aseguró que el comportamiento del flujo de calor entre el procesador y el disipador fuera modelado de manera realista.

Cumplimiento del Objetivo Específico 3: Se cumplió con este objetivo tras realizar el análisis de los resultados, los cuales arrojaron una temperatura máxima de  $72.89^\circ\text{C}$  en el punto crítico de contacto y una mínima de  $54.65^\circ\text{C}$  en las zonas periféricas del disipador. Se concluye que el sistema de refrigeración evaluado es eficiente para la carga térmica aplicada, manteniendo la mayor parte de la superficie del disipador por debajo de los  $60^\circ\text{C}$ , lo que garantiza la estabilidad operativa del equipo electrónico.

### 4.2. RECOMENDACIONES

Mantenimiento preventivo del sistema de ventilación: Se recomienda al personal técnico realizar limpiezas periódicas de las aletas de aluminio y del ventilador para evitar la acumulación de partículas de polvo, ya que estas pueden actuar como una capa aislante que reduciría el coeficiente de convección de  $40\text{W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$  configurado en este estudio.

**Aseguramiento del contacto térmico:** Al momento del ensamblaje, el personal encargado debe garantizar una aplicación uniforme de material de interfaz térmica (pasta térmica) de alta calidad entre el procesador Broadcom

2712 y la base del disipador, buscando mantener una resistencia térmica cercana o inferior al valor de  $2,85 \times 10^{-6}$  utilizado en la simulación para evitar puntos calientes.

**Control de las condiciones ambientales:** Se sugiere al usuario final operar el equipo en ambientes que no superen de forma constante los 25 °C (298.15 K), dado que este fue el valor base para la simulación; un incremento en la temperatura ambiente elevará proporcionalmente la temperatura máxima de 72.89 °C registrada en el chip, pudiendo afectar la estabilidad del sistema.

**Optimización del flujo de aire en gabinetes:** En caso de utilizar carcasas o gabinetes para la tarjeta, se recomienda que estos cuenten con rejillas de ventilación suficientes para no obstruir el flujo de aire, permitiendo que el sistema de refrigeración activa mantenga los niveles de temperatura observados en el análisis, donde la mayoría de la superficie del disipador opera por debajo de los 60 °C.

**Monitoreo de cargas de trabajo:** Debido a que el análisis se realizó bajo una carga constante de 12W, se recomienda a los desarrolladores y usuarios finales monitorear la temperatura del procesador mediante software cuando se ejecuten tareas de alta demanda de procesamiento, asegurando que los picos térmicos se mantengan dentro de los rangos operativos seguros validados en este informe.

## Bibliografía

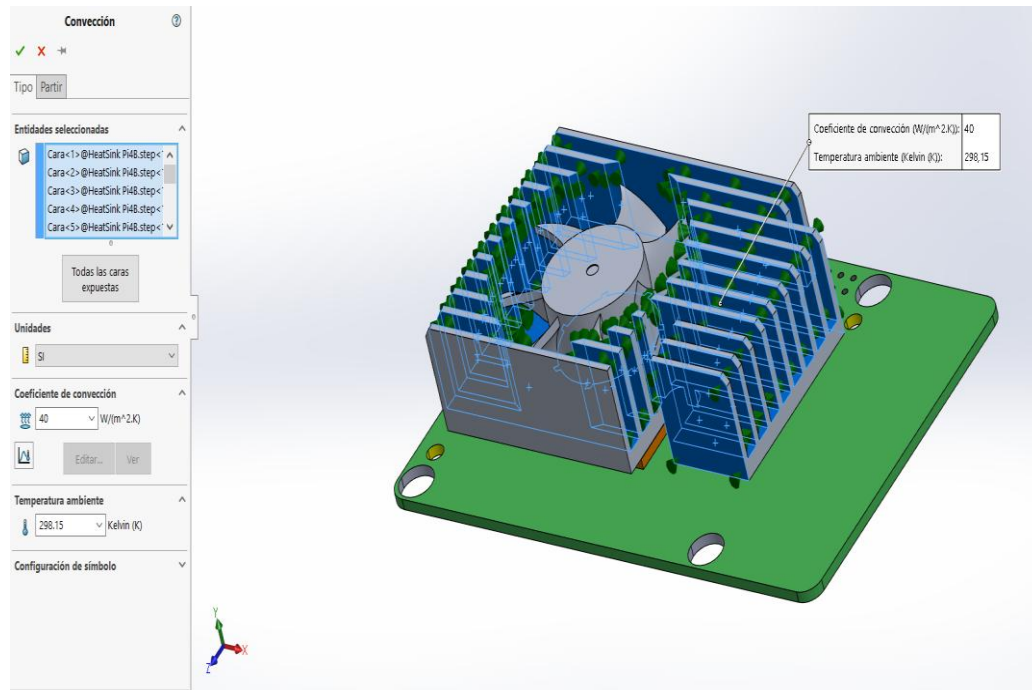
- Alarcón, J. T. (2023). *Diseño térmico en equipos*. València: Universitat Politècnica de València.
- Alomia, S. (2025). *diseño y simulación de la configuración de aletas para el quito: universidad politécnica salesiana*. Quito: UPN.
- Avenaño, J. G. (2013). *Radiación en sistemas electrónicos*. Guayaquí: Radiación en sistemas electrónicos.
- Barnabas, B. N. (2015). The Effect of Heat on Processors: A Challenge to Computer Usage in. *Journal of Global Research in Computer Science*, 11-14.
- Benoit, T. V. (2020). *Impacto de la limitación térmica en la inferencia visual a largo plazo en un dispositivo perimetral basado en CPU*. Sevilla: Instituto de Microelectrónica de Sevilla, Universidad de Sevilla.
- Borja, R. M. (2017). *Análisis estructural mediante el método de elementos finitos de chasis del vehículo formula sae eléctrico de unviersidad politécnica salesiana cuenca 2017. cuenca: universidad politécnica salesiana*. Cuenca: UPN.
- Cabascango, J. S. (2024). Estudio de las propiedades térmicas de los materiales. *Repositorio EPN*, 30-55.
- Carranza, Y. F. (2014). Estudio sobre la solución del problema de transferencia de calor por convección en un cuerpo tipo. *El Hombre y la Máquina*, 59-74.
- Garro, S. D. (2012). Modelación y simulación de disipadores de. *Multiphysics. Tecnología en Marcha.*, 70-80.
- Gonzáles, S. J. (2019). *Refrigeración de componentes electrónicos usando conveccion inducida electrohidrodinamicamente. madrid: universidad politécnica de madrid*. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid.
- González, M. (2014). Entorno histórico y social de la aparición de microchip. *Archivo Digital UPM*, 15-18.
- kern, D. Q. (1999). *Transferencia de Calor*. México: Continetal, S.A. de C.V.
- Koontz, K. (01 de 11 de 2023). *Smiths Interconnect*. Obtenido de ¿Qué es la simulación térmica y por qué es importante ...: <https://es.smithsinterconnect.com/smiths-interconnect-blog/what-is-thermal-simulation-and-why-is-it-important-to-reliability-burn-in-testing/>
- Leonidivna, O. T. (2018). *Introducción al análisis térmico y de fluidos mediante Ansys*. Editorial Universitaria Abya-Yala: Quito-Ecuador.

- Lifeder. (10 de 04 de 2020.). *Lifeder*. Obtenido de Método Sintético: Características, Leyes y Ejemplos: <https://maestraonline.es/los-metodos-analitico-y-sintetico-en-la-ensenanza/>
- Masip, Y. B. (2015). Análisis de la refrigeración de un componente electrónico. *Ingeniería Mecánica*, 116-121.
- Mendez, C. (2014). *Modelado tridimensional de piezas mecánicas*. Guanajuato: Centro de investigaciones en Óptica A.C.
- Metrology Solutions. (2025). *ATT Metrology Solutions*. Obtenido de ¿Qué es el modelado CAD? - Soluciones de metrología ATT: <https://www.attinc.com/news/what-is-cad-modeling/>
- Neira, I. O. (2011). *Método de Simulación Numérica*. Cuenca: Universidad Politécnica Salesiana.
- Raspberry Pi. (2023). *Raspberry*. Obtenido de <https://www.raspberrypi.com/documentation/computers/>
- Rodriguez, A. (09 de 01 de 2025). *diario electronico hoy*. Obtenido de Cómo realizar una simulación térmica con CFD: <https://www.diarioelectronico hoy.com/como-realizar-una-simulacion-termica-con-cfd/>
- Rojas, O. R. (2006). *Diseño asistido por computador*. Lima, Perú: Industrial Data.
- Ruiz, G. (2024). *Thermal Analysis of*. Barcelona: Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Industrial de Barcelona.
- Sandoval, A. D. (2025). *Diseño y simulación de la configuración de aletas para el proceso de disipación de calor mediante software especializado*. Guayaquil: Universidad Politecnica Salesiana.
- Spaccesi, H. (2020). *Desarrollo de metodología para la simplificación de modelos de redes de abastecimiento de agua realizados con el software epanet*. València: Universidad Politécnica de València.
- ULEAM. (2023). *ULEAM ¿quienes somos?* Obtenido de <https://www.uleam.edu.ec/prueba-2/>
- ULEAM. (2024). *Carrera Electromecánica*. Obtenido de <https://carreras.uleam.edu.ec/extension-el-carmen/carrera-electromecanica/>

## ANEXOS

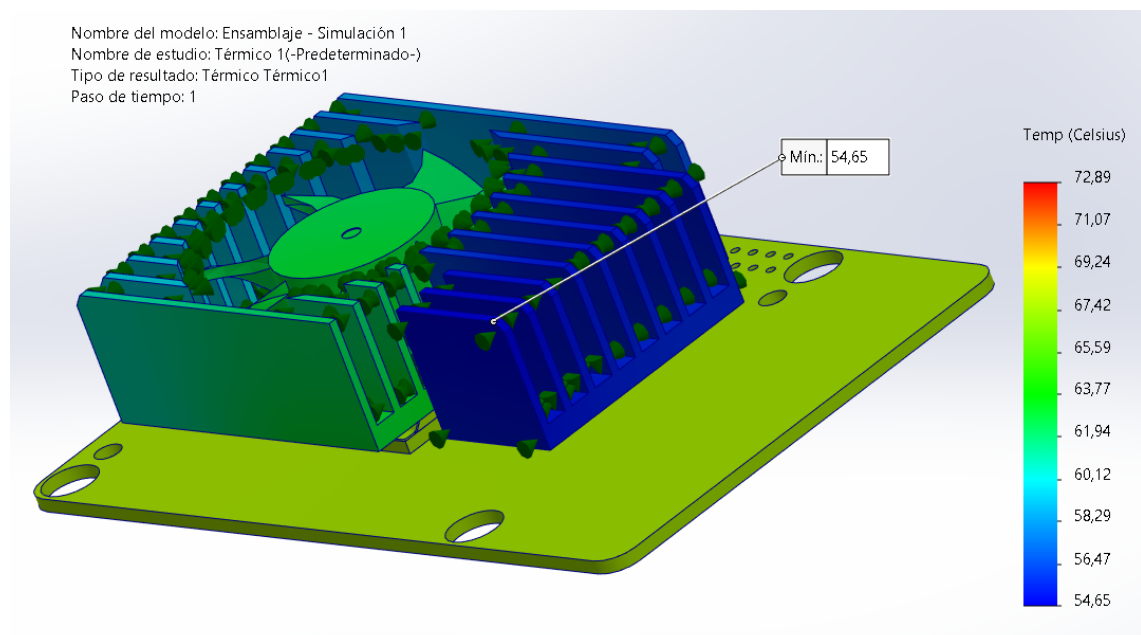
### Ilustración 5

*Gradiente de distribución térmica general sobre el sistema de refrigeración.*




### Ilustración 6

*Identificación del punto de temperatura máxima de 72.89°C en el área de contacto.*



## Ilustración 7 Certificado de plagio de Copilatio



**CERTIFICADO DE ANÁLISIS**  
magister

# Joscar Guanoluisa - Luis Ayala - copia

**5%**  
Textos sospechosos

**2%** Similitudes  
0% similitudes entre comillas  
0% entre las Fuentes mencionadas

**3%** Idiomas no reconocidos


**26%** Textos potencialmente generados por la IA (Ignorado)

Nombre del documento: Joscar Guanoluisa - Luis Ayala - copia.docx  
ID del documento: 329f5513c0da45b2eb5617964c99dd9e471a2d87  
Tamaño del documento original: 916,54 kB







Depositante: RENE FERNANDO LOPEZ BARBERAN  
Fecha de depósito: 4/2/2026  
Tipo de carga: interface  
fecha de fin de análisis: 4/2/2026

Número de palabras: 6725  
Número de caracteres: 45.673





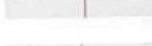


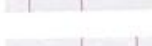







Ubicación de las similitudes en el documento:



### Fuentes principales detectadas

N°	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	 <a href="http://repositorio.espam.edu.ec/">repositorio.espam.edu.ec</a>   Estructura organizacional y relaciones en el entorno <a href="http://repositorio.espam.edu.ec/bitstream/42009/1259/4/TTA0810.pdf.txt">http://repositorio.espam.edu.ec/bitstream/42009/1259/4/TTA0810.pdf.txt</a> 1 fuente similar	< 1%		 Palabras idénticas: + 1% (13 palabras)
2	 Tesis Alex Sebastian.docx   Tesis Alex Sebastian #12204 Viene de de mi grupo 1 fuente similar	< 1%		 Palabras idénticas: + 1% (11 palabras)

### Fuentes con similitudes fortuitas

N°	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	 <a href="http://munayl.uileam.edu.ec/">munayl.uileam.edu.ec</a> <a href="https://munayl.uileam.edu.ec/wp-content/uploads/2021/01/web-integracion-de-funciones-su...">https://munayl.uileam.edu.ec/wp-content/uploads/2021/01/web-integracion-de-funciones-su...</a>	< 1%		 Palabras idénticas: + 1% (17 palabras)
2	 <a href="http://departamentos.uileam.edu.ec/">departamentos.uileam.edu.ec</a> <a href="https://departamentos.uileam.edu.ec/evaluacion-interna/leu/2016/05/plar_de_registro_uile...">https://departamentos.uileam.edu.ec/evaluacion-interna/leu/2016/05/plar_de_registro_uile...</a>	< 1%		 Palabras idénticas: + 1% (28 palabras)
3	 <a href="http://repositorio.uileam.edu.ec/">repositorio.uileam.edu.ec</a> <a href="https://repositorio.uileam.edu.ec/bitstream/123456789/1/1/UILEAM-ELECTA-032.pdf">https://repositorio.uileam.edu.ec/bitstream/123456789/1/1/UILEAM-ELECTA-032.pdf</a>	< 1%		 Palabras idénticas: + 1% (23 palabras)
4	 COOL ALVARADO.pdf   COOL ALVARADO #28415 Viene de de mi grupo	< 1%		 Palabras idénticas: + 1% (22 palabras)
5	 EM-2025-1-14.docx   EM-2025-1-14 #13162 Viene de de mi grupo	< 1%		 Palabras idénticas: + 1% (12 palabras)

