



UNIVERSIDAD LAICA “ELOY ALFARO” DE MANABÍ

Título:

Diseño y simulación de un calentador de agua solar para la carrera de Electromecánica en la ULEAM Extensión El Carmen.

Autores:

José Alfredo Montes Montalván
Erick Danilo Ávila Vergara

Tutor

Ing. César Sinchiguano, MSc.

Unidad Académica:

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

Carrera:

Tecnología Superior en Electromecánica.

El Carmen, febrero 2026.

CERTIFICACION DEL TUTOR

Ing. César Sinchiguano, MSc.; docente de la Universidad Laica “Eloy Alfaro” de Manabí, Unidad Académica de Formación Técnica y Tecnológica, Educación Virtual y Otras Modalidades, en calidad de Tutor(a).

CERTIFICO:

Que el presente proyecto integrador con el título: “Diseño y simulación de un calentador de agua solar para la carrera de Electromecánica en la ULEAM Extensión El Carmen.” 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):

José Alfredo Montes Montalván, Erick Danilo Ávila Vergara

Siendo de su exclusiva responsabilidad.

El Carmen, febrero 2026.


Ing. César Sinchiguano, Mg.
TUTOR

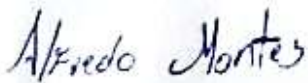
DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Quienes suscriben la presente:


José Alfredo Montes Montalván, Erick Danilo Ávila Vergara

Estudiante(s) de la Carrera de **Tecnología Superior en Electromecánica**, declaro(amos) bajo juramento que el presente proyecto integrador cuyo título: “Diseño y simulación de un calentador de agua solar para la carrera de Electromecánica 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 2026.



José Alfredo Montes Montalván



Erick Danilo Ávila Vergara



Uleam
UNIVERSIDAD LAICA
ELOY ALFARO DE MANABÍ

APROBACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Los miembros del Tribunal Examinador aprueban el Trabajo de Titulación con modalidad Proyecto Integrador, titulado: "Diseño y simulación de un calentador de agua solar para la carrera de Electromecánica en la ULEAM Extensión El Carmen." de su(s) autor(es): José Alfredo Montes Montalván, Erick Danilo Ávila Vergara de la Carrera "Tecnología Superior en Electromecánica", y como Tutor(a) del Trabajo el/la Ing. César Sinchiguano, MSc.

El Carmen, febrero 2026

Ing. Wladimir Minaya, Mg.
PRESIDENTE TRIBUNAL

Ing. César Sinchiguano, Mg.
TUTOR

Ing. Bladimir Mora, Mg.
SEGUNDO MIEMBRO TRIBUNAL

Ing. Danilo Arévalo, Mg.
TERCER MIEMBRO TRIBUNAL

DEDICATORIA

Dedico este trabajo, con todo mi corazón a quienes han sido mi inspiración y mi fuerza en cada etapa de este camino. A mis padres, por su amor incondicional, por enseñarme con su ejemplo que la perseverancia y el esfuerzo son las llaves para abrir cualquier puerta. A mi hermana, esposa, sobrinas por apoyarme sin medida, por sus palabras de aliento y por recordarme siempre quién soy y hacia dónde voy. A las personas que confiaron en mí, incluso en los momentos más difíciles, y me recordaron que los sueños se alcanzan con dedicación y fe. Este logro es para todos ustedes, porque sin su luz y compañía, este camino no habría tenido el mismo sentido.

José Alfredo Montes Montalvan

RESUMEN

El uso de sistemas convencionales para calentar agua en la región de El Carmen representa un desafío tanto económico como ambiental, pese al alto potencial solar disponible. Por ello, esta investigación tuvo como objetivo diseñar y simular un sistema de calentamiento solar de agua mediante termosifón, adaptado a las condiciones climáticas locales, que sirva como recurso didáctico para la carrera de Tecnología Superior en Electromecánica de la ULEAM. La metodología se basó en tres etapas: modelado tridimensional del sistema, simulación térmica con diferentes ángulos de inclinación (25°, 40° y 45°) y validación de los resultados frente a fundamentos teóricos. Los resultados demostraron un aumento progresivo de la temperatura del agua con cada configuración, alcanzando hasta 41.01 °C con una inclinación de 45°. La simulación permitió observar el comportamiento del flujo por convección natural, validando así la eficiencia del diseño. Se concluye que el modelo propuesto es técnicamente viable y representa una herramienta pedagógica útil, con potencial para ser implementado físicamente en el entorno educativo.

PALABRAS CLAVE

Energía solar, calentador solar, termosifón, simulación térmica, transferencia de calor.

ABSTRACT

The use of conventional water heating systems in El Carmen poses economic and environmental challenges, despite the area's high solar potential. Therefore, this study aimed to design and simulate a solar water heating system using a thermosiphon, adapted to local weather conditions, as a didactic tool for the Electromechanics program at ULEAM. The methodology was structured in three stages: 3D modeling of the system, thermal simulation at different inclination angles (25°, 40°, and 45°) and validation of the results against theoretical principles. Results showed a progressive increase in water temperature, reaching up to 41.01 °C at a 45° angle. The simulation revealed natural convection patterns, confirming the thermal efficiency of the proposed design. It is concluded that the system is technically feasible and serves as an effective pedagogical resource, with the potential to be physically implemented in academic settings.

KEYWORDS

Solar energy, solar heater, thermosiphon, thermal simulation, heat transfer.

ÍNDICE

UNIVERSIDAD LAICA “ELOY ALFARO” DE MANABÍ.....	1
Título:.....	1
Autores:	1
Tutor	1
Unidad Académica:.....	1
Carrera:	1
CERTIFICACION DEL TUTOR	1
CERTIFICO:	1
El Carmen, febrero 2026.....	1
DECLARACIÓN DE AUTORÍA	2
El Carmen, febrero 2026.....	2
APROBACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	¡Err
or! Marcador no definido.	
El Carmen, febrero 2026	¡Err
or! Marcador no definido.	
AGRADECIMIENTO	3
DEDICATORIA	4
RESUMEN.....	5
PALABRAS CLAVE	5
ABSTRACT.....	6
KEYWORDS.....	6
ÍNDICE	7

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	9
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	1
1.1. PROBLEMA	3
1.2. JUSTIFICACIÓN.....	3
1.3. OBJETIVOS.....	5
1.4. METODOLOGÍA	5
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.....	8
2.1. DEFINICIONES	8
2.2. ANTECEDENTES.....	11
2.3. TRABAJOS RELACIONADOS.....	13
CAPÍTULO III: DESARROLLO DE LA PROPUESTA.....	15
3.1.1. DESARROLLO	15
3.1.2. Descripción de la propuesta.....	15
3.1.3. Etapas.....	16
3.1.4. Presupuesto.....	18
3.1.5. RESULTADOS.....	18
CAPÍTULO IV: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	25
4.1. CONCLUSIONES	25
4.2. RECOMENDACIONES	26
BIBLIOGRAFÍA.....	27
ANEXOS.....	29

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Modelo CAD simplificado del calentador solar	18
Ilustración 2. Subdominio de fluido en el interior de los tanques y los tubos.	18
Ilustración 3. Datos de radiación configurados en el software	19
Ilustración 4. Vista lateral de los resultados iniciales de simulación a 25 de inclinación	19
Ilustración 5. Vista lateral de los resultados iniciales de simulación a 40 de inclinación	20
Ilustración 6. Vista lateral de los resultados iniciales de simulación a 45 de inclinación	20
Ilustración 7. Contornos de temperatura de los tubos y del tanque para un ángulo de inclinación de los tubos de 25°	21
Ilustración 8. Contornos de temperatura de los tubos y del tanque para un ángulo de inclinación de los tubos de 40°	21
Ilustración 9. Contornos de temperatura de los tubos y del tanque para un ángulo de inclinación de los tubos de 45°	22
Ilustración 10. Contornos de temperatura y líneas de corriente para un ángulo de inclinación de los tubos de 25°	23
Ilustración 11. Contornos de temperatura y líneas de corriente para un ángulo de inclinación de los tubos de 40°	23
Ilustración 12. Contornos de temperatura y líneas de corriente para un ángulo de inclinación de los tubos de 45°	23
Ilustración 13. Resultados generales de la última iteración de la simulación.....	30
Ilustración 14. Gráfico de residuos normalizados por iteración	30

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

Diseñar y simular un sistema de calentamiento solar es clave para mejorar su funcionamiento antes de fabricarlo. En el caso de un calentador de agua, este proceso permite ver cómo se transfiere el calor, cómo rinde el colector y cómo interactúan sus partes en diferentes condiciones. Gracias a la simulación, es posible prever pérdidas de energía, hacer ajustes y optimizar el diseño sin necesidad de construir prototipos costosos. Esto ayuda a garantizar que el sistema funcione bien y cumpla con lo que se espera. Por esa razón, la simulación es una etapa muy útil en el desarrollo de estos sistemas (Ballagan & Pico, 2018).

Los calentadores solares de agua son una alternativa eficiente y sostenible para aprovechar la energía del sol, tanto en casas como en pequeñas industrias. Funcionan al captar la radiación solar con colectores, los cuales calientan un fluido que luego transfiere esa energía al agua. Para que sean eficientes, es importante tener en cuenta factores como la radiación solar de la zona, las pérdidas de calor, y los materiales utilizados. En lugares con buen nivel de sol, como muchas zonas del Ecuador, esta tecnología puede ser muy efectiva. Simular su funcionamiento antes de construirlos ayuda a asegurar que se adapten bien al clima local (AQUA, 2015).

En años recientes, varios estudios han mostrado lo útil que puede ser la simulación para diseñar sistemas solares. Un ejemplo claro es el proyecto desarrollado en la Universidad de Sevilla, donde se simuló un sistema de energía solar para generar vapor en un proceso de pasteurización. Gracias a la simulación, se pudieron ajustar varios aspectos técnicos y mejorar el diseño. Aunque ese estudio se enfocó en una aplicación industrial, los principios que usaron también aplican a calentadores de agua más pequeños. Esto demuestra que las herramientas de modelado son muy versátiles y útiles para validar y optimizar sistemas solares antes de construirlos (Ayuso, 2021).

El uso de calentadores solares es especialmente importante hoy en día, cuando se busca reemplazar energías contaminantes por fuentes más limpias. Estos

sistemas ayudan a reducir el uso de combustibles fósiles y las emisiones de CO₂. Bien diseñados, pueden ofrecer agua caliente de forma eficiente incluso en días con poca radiación. En zonas como Manabí, donde hay buena disponibilidad solar, pueden aplicarse tanto en viviendas como en negocios pequeños. Simular su funcionamiento previamente permite adaptar mejor el diseño a las condiciones locales, lo que garantiza un mejor desempeño y un mayor beneficio.

Este proyecto se relaciona directamente con las habilidades que se desarrollan en la carrera de Tecnología Superior en Electromecánica. Involucra conocimientos en energías renovables, sistemas térmicos, materiales y simulación, todos temas que forman parte del perfil profesional del tecnólogo. Además, al usar herramientas de modelado computacional, se fortalecen competencias clave como el análisis técnico y la interpretación de resultados. La ejecución del calentador solar permite aplicar la teoría en un caso práctico, al mismo tiempo que abre la puerta a futuras aplicaciones en el campo de la energía solar, un sector en constante crecimiento.

1.1. PROBLEMA

Los sistemas tradicionales para calentar agua, como los que usan electricidad o gas, tienen varias desventajas. Suelen ser costosos a largo plazo y poco amigables con el ambiente, ya que consumen energía no renovable y emiten gases contaminantes. En lugares como El Carmen, donde hay buena radiación solar durante todo el año, seguir usando estas tecnologías parece poco lógico. A pesar del potencial solar de la zona, aún no se han desarrollado prototipos adaptados al clima local, lo que impide aprovechar esta energía de forma eficiente y sostenible.

Este proyecto busca responder a una pregunta clave: ¿cómo diseñar y simular un calentador solar de agua que sea eficiente, accesible y que se adapte bien al clima y necesidades de la ULEAM Extensión El Carmen? La idea es crear un sistema que aproveche al máximo la energía solar, garantizando buen rendimiento y bajo costo de mantenimiento. Para lograrlo, se usa la simulación como herramienta principal, lo que permite evaluar su funcionamiento sin necesidad de construirlo primero. El modelo propuesto no solo servirá como ejemplo práctico para los estudiantes, sino que también puede inspirar soluciones reales en la comunidad.

1.2. JUSTIFICACIÓN

Este proyecto fortalece el perfil de egreso de los estudiantes de Tecnología Superior en Electromecánica al integrar conocimientos teórico-prácticos en energías renovables, termodinámica aplicada y simulación de sistemas térmicos. Al desarrollar y simular un calentador solar, los estudiantes aplican competencias clave de su formación como el análisis de transferencia de calor, selección de materiales y uso de software especializado, consolidando así habilidades demandadas en el sector industrial. Además, el prototipo resultante servirá como material didáctico para futuras generaciones, actualizando los contenidos prácticos de la carrera hacia tecnologías sostenibles.

Desde la perspectiva tecnológica, este proyecto demuestra la viabilidad de implementar sistemas solares térmicos en la región utilizando herramientas de simulación avanzadas, que permiten optimizar diseños antes de su fabricación. El calentador propuesto incorpora innovaciones en diseño de colectores y gestión térmica para maximizar la eficiencia en condiciones climáticas locales, representando un avance respecto a sistemas convencionales. Su desarrollo contribuye a la transferencia tecnológica en la zona, mostrando cómo soluciones sostenibles pueden ser técnicamente robustas y económicamente competitivas frente a métodos tradicionales de calentamiento de agua.

El presente proyecto se vincula directamente con la línea de investigación institucional “Ingeniería, Industria, Construcción, Urbanismo y Arquitectura para un Desarrollo Sustentable y Sostenible”, al proponer el diseño y simulación de un sistema de calentamiento solar de agua como alternativa tecnológica eficiente y de bajo impacto ambiental. Esta iniciativa promueve el uso responsable de los recursos energéticos disponibles en la región, fomenta el desarrollo de soluciones aplicadas al contexto local y aporta al fortalecimiento de prácticas sostenibles en el ámbito académico y social. Además, se alinea con los objetivos de formación técnica de la carrera, al integrar conocimientos de ingeniería aplicada, energías renovables y modelado computacional en un enfoque orientado al desarrollo sostenible.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. Objetivo general

Diseñar y simular computacionalmente un prototipo de calentador solar de agua mediante herramientas de modelado térmico.

1.3.2. Objetivos específicos

Desarrollar el modelo geométrico completo del calentador utilizando software CAD, incorporando parámetros técnicos como dimensiones, materiales y propiedades termofísicas.

Implementar un análisis computacional de transferencia de calor y flujo de fluidos mediante CFD.

Contrastar los resultados de la simulación con modelos teóricos de termodinámica solar o datos obtenidos de sistemas reales semejantes.

1.4. METODOLOGÍA

1.4.1. Procedimiento

El desarrollo de la presente investigación se llevó a cabo siguiendo una metodología estructurada en función de los objetivos específicos planteados:

Paso 1: Modelado CAD del sistema *(Alineado al Objetivo Específico 1)*

- Recopilar parámetros de diseño.
- Modelar en 3D cada componente mediante software CAD.
- Definir propiedades termofísicas de materiales en el software.

Paso 2: Simulación CFD *(Alineado al Objetivo Específico 2)*

- Configurar condiciones de contorno:
- Ejecutar simulaciones para analizar la distribución de temperaturas en el colector, posibles pérdidas energéticas por convección/radiación y la

eficiencia térmica en diferentes horarios.

Paso 3: Validación teórico-experimental (*Alineado al Objetivo Específico 3*)

- Comparar datos de simulación con:
 - Modelos teóricos.
 - Datos de sistemas reales publicados en literatura técnica.

1.4.2. Técnicas

Modelado CAD paramétrico

Fundamentación: Esta técnica permite crear geometrías 3D precisas con parámetros ajustables, facilitando iteraciones rápidas durante la fase de diseño (Goebel Engineering, 2021). Se aplicó en la construcción del prototipo virtual del calentador, utilizando SOLIDWORKS para garantizar que el modelo cumpliera con las especificaciones técnicas antes de la simulación.

Dinámica de Fluidos Computacional (CFD)

Fundamentación: La CFD resuelve numéricamente ecuaciones de transferencia de calor y flujo de fluidos, permitiendo analizar el comportamiento térmico del sistema sin prototipos físicos (ESSS, 2016). Se utilizó software CFD para simular el rendimiento del calentador bajo condiciones realistas de radiación solar y flujo de agua.

Análisis termodinámico comparativo

Fundamentación: Técnica basada en contrastar datos simulados con modelos teóricos estandarizados o datos empíricos publicados (Lujan, 2000). Se usó en la validación para asegurar que los resultados de la simulación tuvieran consistencia científica y aplicabilidad real.

1.4.3. Métodos

Método de simulación numérica

Fundamentación: El método de simulación numérica discretiza el dominio del sistema en pequeñas celdas para resolver ecuaciones diferenciales complejas (ESSS, 2017). Se aplicó en las simulaciones CFD para calcular distribuciones de temperatura y pérdidas energéticas con alta precisión.

Método de simulación transitoria

Fundamentación: Consiste en evaluar el comportamiento del sistema a lo largo del tiempo (Cadence, 2025). Se implementó en software de simulación para analizar la eficiencia térmica del calentador en diferentes franjas del día.

Método de validación de simulaciones

Fundamentación: Compara resultados simulados con fuentes independientes para reducir incertidumbre (SOLIDWORKS, 2018). Se empleó en la fase final usando tanto modelos termodinámicos como estudios de casos reales publicados.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. DEFINICIONES

Diseño y Simulación

El diseño asistido por computadora (CAD) es la base para desarrollar sistemas térmicos eficientes, permitiendo la creación de modelos virtuales con parámetros ajustables antes de su fabricación. El modelado 3D en herramientas como SOLIDWORKS facilita la optimización geométrica de componentes críticos, como colectores solares, al integrar propiedades termofísicas de materiales directamente en el entorno digital. Este enfoque reduce errores de diseño y costos asociados a prototipos físicos iterativos (Erazo, 2022).

La simulación computacional, mediante dinámica de fluidos computacional (CFD), es esencial para predecir el comportamiento térmico-fluídico de sistemas solares. La CFD resuelve numéricamente las ecuaciones de Navier-Stokes y

energía, analizando variables como distribución de temperaturas y pérdidas por convección. En el contexto de calentadores solares, las simulaciones CFD han demostrado precisión al validar eficiencias térmicas con márgenes de error menores al 5% comparado con datos experimentales (Kinenergy Internacional, 2024).

El método de elementos finitos complementa la CFD al discretizar el dominio computacional en mallas estructuradas o no estructuradas. Esta técnica mejora la exactitud en simulaciones de transferencia de calor, especialmente en interfaces sólido-fluido. Para este proyecto, el MEF permitirá evaluar tensiones térmicas en los materiales bajo cargas variables de radiación solar (Goebel Engineering, 2021).

La validación de modelos virtuales requiere contrastar resultados con estándares teóricos. Existen modelos ampliamente usados para estimar la eficiencia de colectores solares planos, relacionando parámetros como absorbancia de la placa y coeficientes de pérdida (Forero & Garzón, 2020). Este marco teórico servirá como referencia para verificar la confiabilidad de las simulaciones realizadas.

Finalmente, la integración CAD-CFD optimiza ciclos de diseño, esta sinergia reduce el tiempo de desarrollo en sistemas térmicos, al permitir iteraciones rápidas en geometrías y condiciones de contorno (Sobachkin, Dumnov, & Sobachkin, 2014). En este proyecto, dicho flujo de trabajo garantizará un prototipo virtual funcional antes de su eventual implementación física.

Calentador de Agua Solar

Los calentadores solares de agua operan bajo principios termodinámicos que convierten radiación solar en energía térmica utilizable. Estos sistemas constan de tres componentes clave: colector solar, circuito hidráulico y tanque de almacenamiento, donde el fluido caloportador transfiere calor mediante convección forzada o natural. La eficiencia del proceso depende críticamente del

diseño del absorbedor, cuya superficie selectiva maximiza la absorción de radiación infrarroja (Clysermur, 2020).

Los colectores solares planos son los más empleados en aplicaciones residenciales por su costo-efectividad; su eficiencia térmica está determinada por la temperatura del absorbedor, la temperatura ambiente y la irradiancia solar, además, factores como el espaciamiento entre cubiertas de vidrio y el espesor del aislante térmico inciden directamente en las pérdidas energéticas (Enercity, 2020).

El almacenamiento térmico es otro aspecto crítico; los tanques estratificados mejoran la eficiencia al mantener gradientes de temperatura que reducen mezclas entre agua fría y caliente, siendo materiales como acero inoxidable o polietileno de alta densidad son preferidos por su resistencia a la corrosión y bajas pérdidas térmicas, especialmente en climas tropicales húmedos (Román, 2019).

En entornos académicos, los calentadores solares sirven como plataformas didácticas para estudiar energías renovables, donde resalta que su simulación computacional permite a estudiantes analizar variables como flujo másico óptimo o ángulo de inclinación del colector, vinculando teoría con aplicaciones reales, por lo que este proyecto aprovechará dicho potencial para la carrera de Electromecánica.

Finalmente, estudios regionales demuestran la viabilidad de esta tecnología en Ecuador, ya que costeras este país recibe radiación solar promedio de entre 4.5 y 5.2 kWh/m²/día, suficiente para cubrir la mayoría de la demanda doméstica de agua caliente (RDS, 2025). Adaptar diseños a estas condiciones mediante simulación asegurará un balance óptimo entre eficiencia y costos.

2.2. ANTECEDENTES

Contexto Institucional

La Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, Extensión El Carmen, mantiene un fuerte compromiso con la formación técnica y tecnológica en la región. La carrera de Tecnología Superior en Electromecánica tiene como objetivo preparar profesionales capaces de desenvolverse en áreas como el mantenimiento industrial, las energías renovables y el diseño de sistemas electromecánicos, atendiendo así las necesidades del entorno productivo local. El plan de estudios incluye asignaturas clave como Termodinámica, Mecánica de Fluidos y Automatización, con un enfoque práctico que promueve el uso de herramientas tecnológicas actuales (ULEAM, 2025).

En la sede de El Carmen, la carrera cuenta con laboratorios para prácticas de electricidad, mecánica y control de motores. También dispone de módulos fotovoltaicos que permiten realizar actividades básicas en generación de energía solar (ULEAM, 2025). Sin embargo, no existe aún una infraestructura específica para trabajar con sistemas solares térmicos, lo cual limita el desarrollo de proyectos prácticos en esta área. A pesar de ello, algunas materias ya han incorporado ejercicios de simulación computacional que, aunque básicos, han servido de base para trabajos más complejos, como el que plantea esta tesis.

El Carmen cuenta con condiciones climáticas favorables para el uso de energía solar, con una irradiación promedio de 5.1 kWh/m² por día (RDS, 2025). Este potencial, sumado a la necesidad de aplicar soluciones sostenibles en la región, justifica la creación de proyectos que conecten el aprendizaje en el aula con aplicaciones reales. En ese sentido, este trabajo busca marcar un precedente al ser el primer proyecto en la carrera que utiliza simulación térmica solar para el diseño de un sistema funcional, aprovechando recursos digitales en lugar de infraestructura física especializada.

Antecedentes Técnicos

Hasta ahora, las actividades relacionadas con energía solar en la ULEAM Extensión El Carmen se han centrado en sistemas fotovoltaicos. Las prácticas han consistido principalmente en la instalación y medición de paneles solares, sin abordar aspectos térmicos de forma aplicada. No se han registrado trabajos previos que incluyan el diseño o la simulación de calentadores solares, ya sea en formato físico o virtual, por parte de estudiantes o docentes.

En el ámbito académico, se han llevado a cabo algunas simulaciones básicas sobre transferencia de calor, especialmente en la asignatura de Termodinámica. No obstante, estos ejercicios solían ser de carácter general, sin un enfoque específico en sistemas solares térmicos. Tampoco se habían desarrollado estudios que incorporen análisis mediante dinámica de fluidos computacional (CFD) para evaluar el desempeño de colectores solares en condiciones reales, lo que representa una limitación importante que este proyecto busca superar.

A nivel nacional, universidades como la ESPOL y la Universidad Central han desarrollado investigaciones enfocadas en calentadores solares, pero principalmente desde una perspectiva experimental. Esto abre una oportunidad para que desde la ULEAM Extensión El Carmen se pueda innovar con una propuesta basada en simulación computacional. Esta metodología permite avanzar técnicamente sin depender de laboratorios complejos, adaptándose a las condiciones de la institución.

En definitiva, esta tesis representa el primer esfuerzo registrado en la Extensión El Carmen por integrar herramientas de diseño asistido por computadora (CAD) y simulación CFD para modelar un sistema solar térmico. El proyecto se apoya en las capacidades ya disponibles en la carrera y responde a una necesidad concreta de incorporar energías renovables en la formación técnica, sentando las bases para futuras investigaciones en el área.

2.3. TRABAJOS RELACIONADOS

Un trabajo destacado en el campo de la simulación de sistemas solares térmicos fue realizado en la Universidad de Sevilla, donde se evaluó de forma dinámica una instalación solar para producir agua caliente sanitaria en un hotel europeo, utilizando el software TRNSYS. El estudio demostró que al combinar captadores solares con sistemas convencionales se podía mejorar la eficiencia energética entre un 35% y 40%, reduciendo significativamente el uso de combustibles fósiles en climas templados. A través de modelos paramétricos, se analizaron variables como la inclinación de los colectores y el volumen de almacenamiento, confirmando que la simulación dinámica es clave para optimizar este tipo de sistemas. Estos hallazgos respaldan el uso de herramientas de simulación computacional, incluso en contextos climáticos diferentes al ecuatoriano (Montes, 2020).

En 2023, un equipo de investigadores en México desarrolló un sistema de calefacción solar para espacios interiores de hasta 100 m³, empleando SolidWorks Flow Simulation. El sistema combinaba radiadores de aluminio y serpentines de cobre, logrando aumentar la temperatura del espacio en 5 °C por hora. Mediante el método de elementos finitos, se modelaron los procesos de transferencia de calor y se identificó que la eficiencia dependía en gran medida del diseño de los componentes y del flujo dentro de las tuberías. La simulación permitió ajustar estos parámetros antes de construir el sistema, aunque los autores también señalaron que su rendimiento podría mejorar incluyendo aislantes térmicos y sistemas de circulación forzada (Madrigal, Maldonado, & Velázquez, 2023).

En Ecuador, un estudio reciente en la provincia del Guayas diseñó y simuló un calentador solar con colectores planos y circulación forzada, destinado a cubrir la demanda de agua caliente para un edificio con 40 personas. El sistema, compuesto por cuatro baterías de colectores (con un área total de 40 m²) y un tanque interacumulador de 2200 litros, alcanzó una eficiencia térmica del 57% y una fracción solar del 86%. Se utilizó propilenglicol como fluido caloportador y se aplicaron herramientas computacionales para optimizar el aislamiento y la

temperatura de la placa absorbente. Además del análisis técnico, se realizó una evaluación económica que demostró un retorno de inversión en apenas 3 a 4 años frente al uso de gas o electricidad, lo que refuerza la viabilidad de estos sistemas en contextos residenciales nacionales (Marcillo & Estrella, 2024).

Según la revisión bibliográfica realizada, no se han encontrado estudios previos sobre el diseño y simulación computacional de calentadores solares específicamente desarrollados para el cantón El Carmen, Manabí. El trabajo más cercano fue llevado a cabo en Manta, donde se diseñó un calentador solar doméstico como alternativa a los sistemas convencionales, motivado por el alto costo de los combustibles. Sin embargo, dicho proyecto no incluyó simulaciones térmicas ni análisis detallados de transferencia de calor, limitándose a una descripción básica de los componentes y una revisión general del tema (Merchancano, 2016). Esta ausencia de investigaciones técnicas en la zona pone en evidencia la originalidad del presente proyecto, que propone por primera vez un modelo validado con simulación CFD, adaptado a las condiciones locales de radiación solar y demanda térmica. Esta contribución resulta pertinente y necesaria para el desarrollo de soluciones energéticas sostenibles en la región.

CAPÍTULO III: DESARROLLO DE LA PROPUESTA

3.1.1. DESARROLLO

En esta parte del trabajo se describe cómo se llevó a la práctica la propuesta planteada en el Capítulo I, explicando paso a paso cómo se cumplieron los objetivos específicos. Se detalla el diseño del sistema, la metodología usada para simular su funcionamiento, y las actividades realizadas en cada etapa. También se explican los criterios técnicos aplicados para comprobar que el modelo es válido. Los resultados se presentan en el siguiente apartado, donde se analiza cómo varía la temperatura del sistema según el ángulo de inclinación de los tubos colectores, y se comparan estos datos con lo que establece la teoría sobre transferencia de calor.

3.1.2. Descripción de la propuesta

Para representar de forma clara el sistema, se construyó un modelo en 3D compuesto por un tanque cilíndrico horizontal y un conjunto de tubos inclinados. El tanque, hecho virtualmente en acero AISI 302, tiene un diámetro de 250 mm y un largo de 1 metro. Los tubos, por su parte, están diseñados en cobre, con un diámetro externo de 60 mm y una longitud de 1.5 metros. Todo el conjunto fue colocado sobre una estructura que permite variar la inclinación de los tubos, con el fin de analizar cómo afecta al calentamiento del agua. Además, se añadió un volumen interior de agua en el modelo, para simular cómo circula y se calienta dentro del sistema.

Objetivo Específico 1: Modelado geométrico del sistema

Una vez definido el modelo, se configuró la simulación usando condiciones reales del entorno: una temperatura ambiente de 30 °C, latitud 0°16', y una fecha representativa como el 21 de marzo al mediodía, justo en el equinoccio. Se asumió un cielo despejado (cloudiness = 0) y se fijó la temperatura inicial del agua y los materiales sólidos en 25 °C. Para observar los cambios en el comportamiento térmico, se realizaron tres simulaciones variando solo el ángulo de inclinación de los tubos: 25°, 40° y 45°. Las superficies de los tubos fueron configuradas para absorber la radiación solar, lo que permitió evaluar cómo se transfiere el calor al agua y cómo se genera el flujo natural.

Objetivo Específico 2: Simulación del fenómeno térmico

Se implementó una simulación computacional basada en transferencia de calor y dinámica de fluidos, configurando condiciones ambientales realistas: una temperatura ambiente de 30 °C, una latitud de 0°16', fecha 21 de marzo a las 12:00 (equinoccio) y cielo despejado (cloudiness = 0). Las superficies exteriores de los tubos se definieron como superficies absorbentes para permitir la captación de radiación solar. Se asignaron temperaturas iniciales de 25 °C tanto al agua como al sólido. El análisis se realizó bajo tres configuraciones de inclinación de los tubos: 25°, 40° y 45°, con el objetivo de observar el comportamiento térmico y de circulación interna en cada caso.

Objetivo Específico 3: Contraste y validación de resultados

Para comprobar si el modelo era correcto, se compararon los resultados de la simulación con conceptos teóricos relacionados con la transferencia de calor por convección natural y la captación solar. En todos los casos se observó un aumento de temperatura del agua en el tanque, alcanzando los 35.97 °C con los tubos a 25°, 40.74 °C a 40°, y 41.01 °C a 45°. Los gráficos obtenidos mostraron claramente cómo circula el agua y cómo cambia la temperatura en el sistema, confirmando que una mayor inclinación mejora la eficiencia del termosifón. Esta validación respalda la propuesta como un modelo útil para fines educativos, ya que permite visualizar de forma clara el efecto de las condiciones de diseño en el rendimiento térmico del sistema.

3.1.3. Etapas

El desarrollo del proyecto se organizó en tres etapas, cada una correspondiente a los objetivos específicos planteados. A continuación, se detallan las actividades realizadas en cada una.

Etapa 1: Actividades realizadas para cumplir el Objetivo Específico 1

Durante esta etapa se trabajó en el diseño tridimensional del sistema. Se tomaron como referencia varios modelos comerciales de calentadores solares por termosifón para definir dimensiones adaptadas a un prototipo didáctico. El

tanque fue diseñado con un diámetro de 250 mm y una longitud de 1 metro, mientras que los tubos de cobre se modelaron con 60 mm de diámetro externo y 1.5 metros de largo. También se incluyó la estructura de soporte que permite variar la inclinación de los tubos. Por último, se creó un volumen interno en el modelo que representa el agua contenida en el sistema.

Etapa 2: Actividades realizadas para cumplir el Objetivo Específico 2

Con el modelo completo, se configuró el entorno de simulación para analizar su comportamiento térmico. Se definieron condiciones ambientales acordes con la ubicación de la ULEAM Extensión El Carmen: latitud $0^{\circ}16'$, temperatura ambiente de 30°C , cielo despejado y una fecha representativa como el 21 de marzo a las 12:00, día del equinoccio. El sistema partió de una temperatura inicial de 25°C tanto en el agua como en los materiales sólidos. Se definieron las superficies de los tubos como absorbentes de radiación solar y se realizaron tres simulaciones variando solo el ángulo de inclinación: 25° , 40° y 45° , para evaluar cómo influye en el rendimiento térmico del sistema.

Etapa 3: Actividades realizadas para cumplir el Objetivo Específico 3

En esta etapa se analizaron los resultados obtenidos para validar el funcionamiento del modelo. Se revisaron las temperaturas medias alcanzadas en el agua del tanque, así como los patrones de flujo interno representados mediante vectores de velocidad y líneas de corriente. También se generaron gráficos de temperatura en cortes del tanque y en las superficies de los tubos colectores. Los datos mostraron que a mayor inclinación, mejor fue la eficiencia térmica, alcanzando hasta 41.01°C en el caso de 45° . Estos resultados se compararon con principios teóricos relacionados con la convección natural y la captación solar, confirmando que el modelo funciona correctamente y puede usarse como herramienta de apoyo para el aprendizaje.

3.1.4. Presupuesto

Este proyecto fue desarrollado íntegramente en entorno virtual, utilizando herramientas de diseño y simulación computacional. Por tanto, no fue necesario adquirir materiales, utilizar equipos físicos ni contratar mano de obra. Esto permitió llevar a cabo el análisis térmico del sistema sin costos económicos, lo cual representa una ventaja significativa tanto en términos de viabilidad como de accesibilidad para su aplicación académica.

3.1.5. RESULTADOS

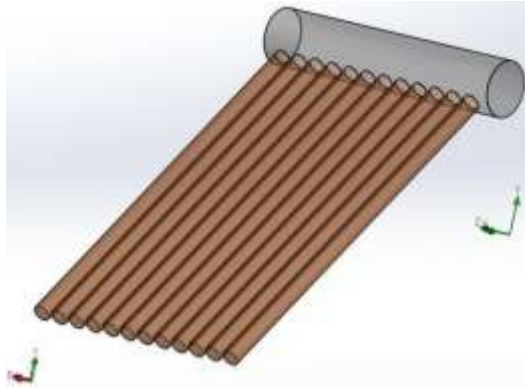
Los resultados obtenidos a lo largo del desarrollo del proyecto permitieron comprobar el cumplimiento de cada uno de los objetivos específicos propuestos. A continuación, se presentan los logros alcanzados en cada fase, junto con el análisis correspondiente respaldado por los datos numéricos y visuales obtenidos en las simulaciones.

Objetivo 1: Logros obtenidos en el modelado geométrico

Como primer paso, se logró construir un modelo tridimensional completo del sistema de calentamiento solar por termosifón. Este incluyó un tanque acumulador horizontal y una serie de tubos colectores inclinados. El tanque fue diseñado con 250 mm de diámetro y 1 metro de longitud, dimensiones que permiten representar un volumen intermedio de almacenamiento sin complicar la estructura. Los tubos, fabricados virtualmente en cobre, tienen un diámetro de 60 mm y una longitud de 1.5 metros, lo que proporciona una buena superficie de captación solar. Todo el conjunto fue dispuesto sobre una estructura metálica que permite cambiar el ángulo de inclinación de los tubos, lo cual fue clave para los estudios posteriores.

Ilustración 1.

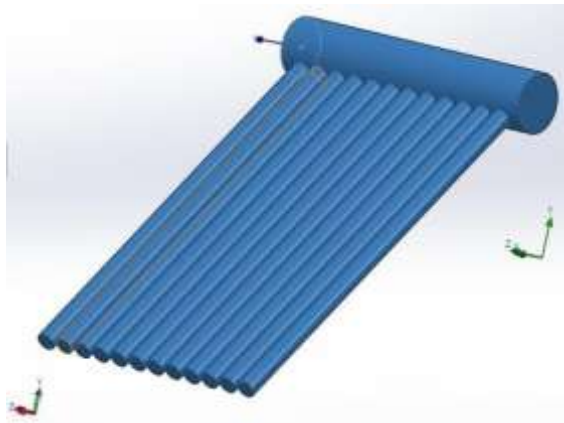
Modelo CAD simplificado del calentador solar.



Además del diseño estructural, se incorporó un subdominio de fluido al que se le asignó el material agua, con sus propiedades térmicas correspondientes. Esto permitió representar de forma realista cómo se transfiere el calor entre el tanque, los tubos y el agua. También se definieron correctamente los contactos entre tubos y tanque para asegurar continuidad térmica y fluida dentro del sistema, algo esencial para la validez del modelo.

Ilustración 2.

Subdominio de fluido en el interior de los tanques y los tubos.



Gracias a este modelo detallado, se pudieron generar representaciones visuales claras y precisas del sistema. Estas imágenes no solo facilitaron su interpretación técnica, sino que también lo convierten en un recurso útil para fines didácticos. Además, el diseño está pensado para adaptarse fácilmente a una futura implementación física en laboratorio.

Objetivo 2: Logros obtenidos en la simulación térmica y de flujo

En esta etapa se configuró una simulación térmica en condiciones realistas para evaluar el comportamiento del sistema. La simulación se definió como transitoria, partiendo de una temperatura inicial de 25 °C tanto en el agua como en los materiales sólidos. Se estableció un entorno solar con temperatura ambiente de 30 °C, latitud de 0°16' y cielo completamente despejado (cloudiness = 0), todo esto para una fecha representativa: el 21 de marzo a las 12:00, coincidiendo con el equinoccio. Las superficies exteriores de los tubos fueron configuradas como absorbentes para permitir la captación directa de la radiación solar.

Ilustración 3.

Datos de radiación configurados en el software.



Se realizaron tres estudios diferentes, variando únicamente el ángulo de inclinación de los tubos: 25°, 40° y 45°. Esta comparación permitió observar cómo cambia el rendimiento térmico y la circulación interna del fluido dependiendo de la inclinación. En cada caso, se dejó correr la simulación hasta que el sistema alcanzara un estado estable, permitiendo visualizar el resultado final en condiciones constantes.

Ilustración 4.

Vista lateral de los resultados iniciales de simulación a 25 de inclinación.



Ilustración 5.

Vista lateral de los resultados iniciales de simulación a 40 de inclinación.

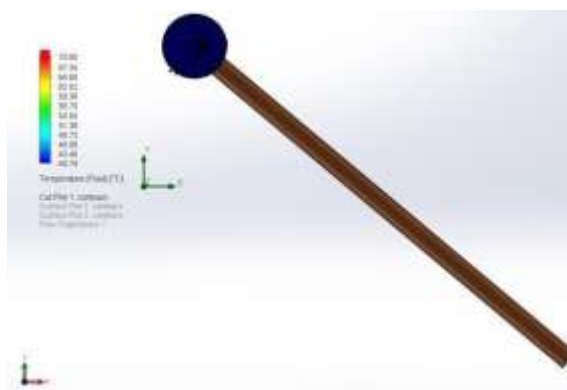
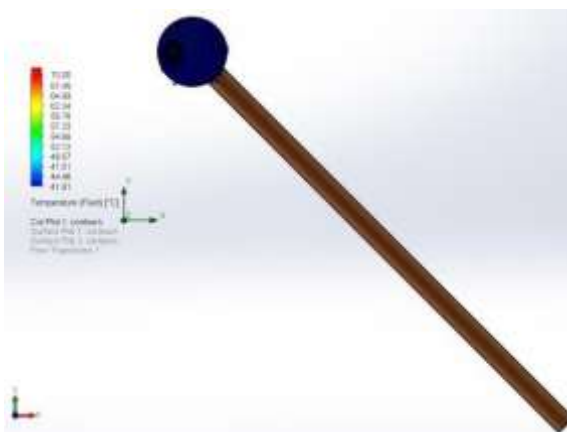


Ilustración 6.

Vista lateral de los resultados iniciales de simulación a 45 de inclinación.



Los datos mostraron un aumento progresivo en la temperatura del agua dentro del tanque a medida que se incrementaba el ángulo de inclinación. Con los tubos a 25° se alcanzó una temperatura de 35.97 °C; a 40°, de 40.74 °C; y a 45°, de 41.01 °C. Estos resultados coinciden con lo que indica la teoría del termosifón: a mayor inclinación, se favorece el flujo natural del agua caliente hacia el tanque y el retorno del agua fría hacia los tubos. Las simulaciones también generaron contornos térmicos y líneas de corriente que permiten visualizar estos efectos de forma clara.

Objetivo 3: Logros obtenidos en la validación teórica de los resultados

La etapa final del proyecto consistió en validar los resultados obtenidos en la simulación mediante su comparación con principios teóricos de transferencia de calor y funcionamiento de sistemas reales por termosifón. En todos los casos, se observó el comportamiento esperado: el agua caliente sube hacia la parte superior del tanque y el agua fría descende por los tubos, creando un circuito natural de convección.

Ilustración 7.

Contornos de temperatura de los tubos y del tanque para un ángulo de inclinación de los tubos de 25°.

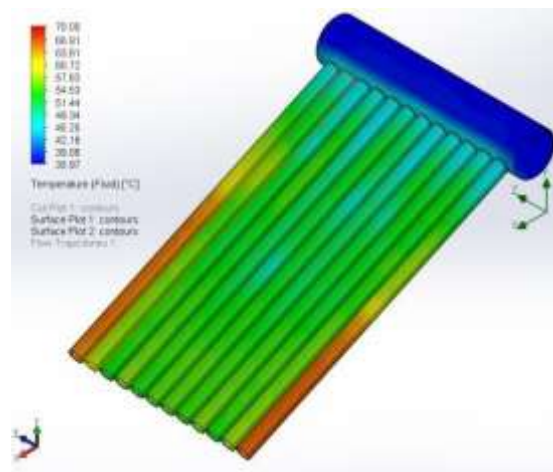


Ilustración 8.

Contornos de temperatura de los tubos y del tanque para un ángulo de inclinación de los tubos de 40°.

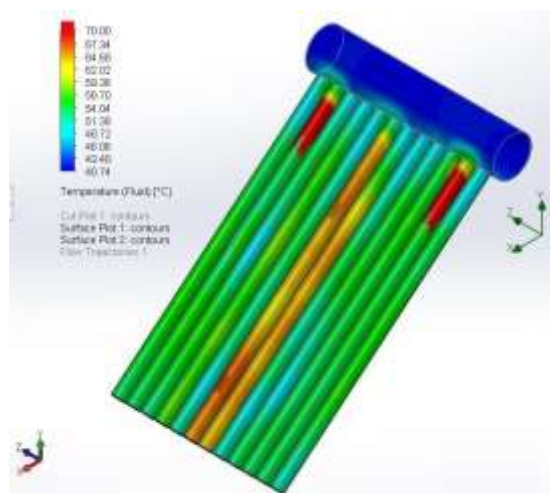
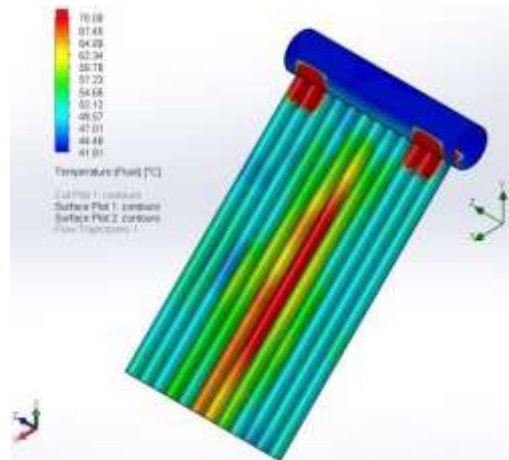


Ilustración 9.

Contornos de temperatura de los tubos y del tanque para un ángulo de inclinación de los tubos de 45°.



Las temperaturas alcanzadas concuerdan con estudios previos y recomendaciones técnicas para zonas con alta radiación solar, como El Carmen. Es sabido que en regiones tropicales un ángulo de entre 30° y 45° optimiza la captación solar, por lo que los resultados obtenidos en los casos de 40° y 45° son coherentes y técnicamente válidos.

Además de los datos numéricos, los gráficos de contorno y las líneas de corriente permitieron observar con claridad la eficiencia térmica y la estabilidad del flujo. Estas representaciones visuales refuerzan el valor pedagógico del modelo, ya que ayudan a entender cómo funcionan la conducción y la convección en este tipo de sistemas. En conjunto, los resultados validan el diseño y demuestran que el modelo es útil tanto para análisis técnico como para fines educativos.

Ilustración 10.

Contornos de temperatura y líneas de corriente para un ángulo de inclinación de los tubos de 25°.

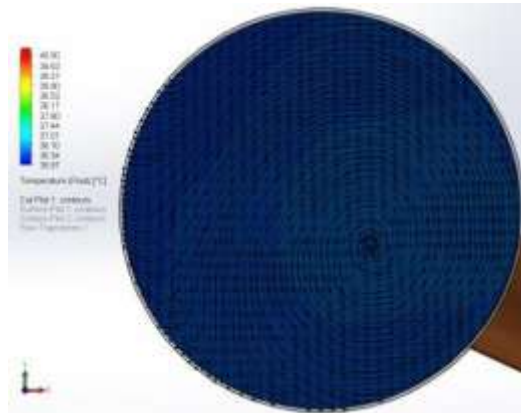


Ilustración 11.

Contornos de temperatura y líneas de corriente para un ángulo de inclinación de los tubos de 40°.

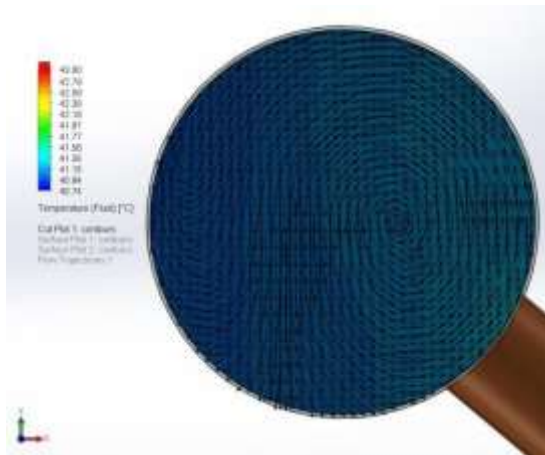
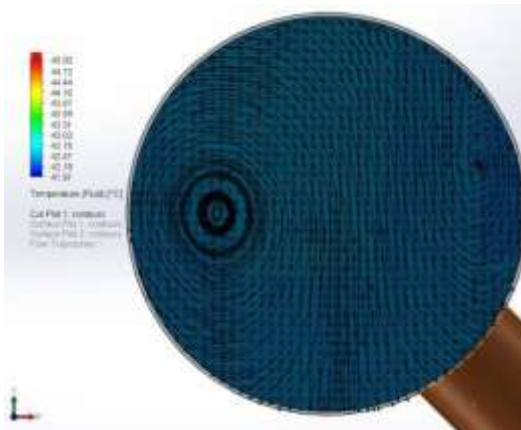


Ilustración 12.



Contornos de temperatura y líneas de corriente para un ángulo de inclinación de los tubos de 45°

CAPÍTULO IV: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. CONCLUSIONES

Conclusión del Objetivo Específico 1:

El diseño geométrico del sistema de calentamiento solar se completó con éxito. Se elaboró un modelo tridimensional claro y funcional, incorporando un tanque acumulador fabricado virtualmente en acero AISI 302 y tubos colectores de cobre conectados directamente al tanque. Las dimensiones y materiales fueron seleccionados con criterios técnicos adecuados, permitiendo que el modelo no solo sea útil para la simulación, sino que también sea factible para una futura construcción física. Esto confirma su viabilidad como herramienta didáctica en el contexto académico.

Conclusión del Objetivo Específico 2:

Se alcanzó de forma satisfactoria la simulación del sistema, lo que permitió analizar cómo se transfiere el calor y cómo se comporta el flujo interno. La simulación se configuró utilizando condiciones reales del entorno de El Carmen, lo cual le dio mayor valor técnico. Se analizaron tres configuraciones de inclinación (25°, 40° y 45°), y en cada una se evidenció un aumento gradual en la temperatura del agua, junto con la circulación natural provocada por el efecto termosifón. El objetivo fue cumplido con resultados sólidos.

Conclusión del Objetivo Específico 3:

Finalmente, se contrastaron los datos obtenidos con principios teóricos ampliamente aceptados sobre transferencia de calor y funcionamiento de sistemas solares térmicos. Las simulaciones coincidieron con lo que se esperaba: un mejor rendimiento con mayor inclinación de los tubos. Además, los análisis de temperatura, velocidad del fluido y las líneas de corriente demostraron que el modelo es técnicamente correcto y puede ser utilizado como una herramienta pedagógica. El cumplimiento del objetivo fue completo y bien fundamentado.

4.2. RECOMENDACIONES

Sería conveniente considerar la construcción física del prototipo desarrollado en este proyecto. Contar con un modelo real permitiría a los estudiantes observar de forma directa conceptos clave como la transferencia de calor, el uso de energía solar y el efecto invernadero.

Se recomienda incluir este modelo como parte de las prácticas en asignaturas como Termodinámica, Energías Renovables o Sistemas Térmicos. Tanto la simulación como una posible versión física aportarían mucho valor en el proceso de enseñanza-aprendizaje.

Este trabajo puede servir como punto de partida para investigaciones futuras. Por ejemplo, se podría analizar la eficiencia energética del sistema con diferentes materiales aislantes, automatizar la medición de temperatura o compararlo con otros tipos de colectores solares.

Finalmente, se sugiere que la carrera promueva más el uso de herramientas de simulación computacional en proyectos de titulación. Este enfoque permite analizar sistemas complejos sin necesidad de recursos físicos costosos, fomentando así el aprendizaje técnico con soluciones accesibles y eficaces.

BIBLIOGRAFÍA

- AQUA. (6 de Noviembre de 2015). Aqua - Calentadores solares. Obtenido de ¿Qué es y cómo funciona un Calentador Solar?: <https://calentador.mx/blog/que-es-y-como-funciona-un-calentador-solar--n2>
- Ayuso, A. (2021). Diseño y simulación de un sistema de energía solar térmica para producción de vapor en un proceso de pasteurización. Sevilla: Universidad de Sevilla.
- Ballagan, J., & Pico, J. (2018). Diseño y simulación de un sistema solar térmico forzado, acoplado a un sistema centralizado de agua caliente sanitaria de GLP en la ciudad de Quito. Quito: EPN.
- Cadence. (Junio de 2025). Cadence. Obtenido de Análisis térmico transitorio: https://www.cadence.com/en_US/home/explore/transient-thermal-analysis.html
- Clysermur. (20 de Octubre de 2020). Clysermur. Obtenido de ¿Qué son los calentadores solares?: <https://clysermur.com/calentadores-solares/>
- Enercity. (23 de Enero de 2020). Enercity. Obtenido de Colector solar plano: <https://enercitysa.com/blog/colector-solar-plano/>
- Erazo, V. (2022). El diseño, la manufactura y análisis asistido por computadora (CAD/CAM/CAE) y otras técnicas de fabricación digital en el desarrollo de productos en América Latina. Información tecnológica, 297-308.
- ESSS. (24 de Junio de 2016). ESSS. Obtenido de Dinámica de Fluidos Computacional: ¿qué es?: <https://www.esss.com/es/blog/dinamica-de-fluidos-computacional-que-es/>
- ESSS. (30 de Noviembre de 2017). ESSS. Obtenido de Métodos numéricos para simulación en la ingeniería: <https://www.esss.com/es/blog/metodos-numericos-para-simulacion-en-la-ingenieria/>
- Forero, N., & Garzón, P. (2020). Medida de la eficiencia de un colector solar de placa plana, mediante un montaje experimental desarrollado con instrumentación virtual. Tecnura, 109-124.
- Goebel Engineering. (16 de Septiembre de 2021). Goebel Engineering. Obtenido de Modelado CAD - todo lo que necesita saber: <https://www.goebel-engineering.com/es/modelado-cad/>
- Goebel Engineering. (Junio de 2021). Goebel Engineering. Obtenido de ¿Qué es el Método de elementos finitos?: <https://www.goebel-engineering.com/es/que-es-el-metodos-de-elementos-finitos/amp/>
- Kinenergy Internacional. (30 de Enero de 2024). Kinenergy Internacional. Obtenido de CFD: una herramienta para la simulación y modelado en ingeniería:

<https://www.kin.energy/blogs/post/cfd-una-herramienta-para-la-simulaci%C3%B3n-y-modelado-en-ingenier%C3%ADa>

- Lujan, M. (2000). El análisis termodinámico en la optimización de. ACTA NOVA, 19-33.
- Madrigal, M., Maldonado, J., & Velázquez, S. (2023). Diseño y simulación de un sistema de calefacción solar para incrementar la temperatura en una habitación de 100 m³. South Florida Journal of Development, 3995-4008.
- Marcillo, F., & Estrella, A. (2024). Diseño y simulación de un calentador solar de agua con colector plano y circulación forzada. Guayaquil: ESPOL.
- Merchancano, J. (2016). Estudio y Diseño de un Calentador Solar de Agua. Manta: ULEAM.
- Montes, M. (2020). Simulación dinámica y evaluación de una instalación de energía solar térmica para producción de agua caliente sanitaria en un hotel. Sevilla: Universidad de Sevilla.
- RDS. (Junio de 2025). RDS. Obtenido de Energía Solar en Ecuador: <https://republicadelsol.net/impacto-de-la-energia-solar-en-ecuador/>
- Román, J. (2019). Modelado y simulación de sistemas de almacenamiento térmico estratificado. Sevilla: Universidad de Sevilla.
- Sobachkin, A., Dumnov, G., & Sobachkin, A. (2014). Base numérica de CFD integrada en CAD. Massachusetts: Dassault Systèmes.
- SOLIDWORKS. (23 de Octubre de 2018). SOLIDWORKS LATAM y España. Obtenido de Cómo comparar resultados de una simulación entre diferentes configuraciones: <https://blogs.solidworks.com/solidworkslatamyesp/solidworks-blog/simulacion/como-comparar-resultados-de-una-simulacion-entre-diferentes-configuraciones/>
- ULEAM. (24 de Junio de 2025). ULEAM Extensión El Carmen. Obtenido de <https://carreras.uleam.edu.ec/extension-el-carmen/>
- ULEAM. (24 de Junio de 2025). ULEAM Extensión El Carmen. Obtenido de Electromecánica: <https://carreras.uleam.edu.ec/extension-el-carmen/carrera-electromecanica/>

ANEXOS

Anexo 1. Resultados generales de la última iteración de la simulación.

Name	Current Value
GG Average Temperature (Fluid) 2	45.0233 °C
GG Average Total Pressure 1	98765.6 Pa
GG Average Velocity 3	0.00647393 m/s
SG Average Temperature (Fluid) 1	54.4046 °C

Anexo 2. Gráfico de residuos normalizados por iteración.

