



UNIVERSIDAD LAICA “ELOY ALFARO” DE MANABÍ

Unidad Académica:

Unidad Académica de Formación Técnica y Tecnológica.

Carrera:

Tecnología Superior en Electromecánica .

Título:

Estudio y Simulación del comportamiento térmico de un intercambiador de calor en la carrera de Electromecánica en la ULEAM Extensión El Carmen.

Estudiante:

José David Arteaga Solorzano

Tutor(a)

Mgs. César Sinchiguano

El Carmen, agosto del 2025.

CERTIFICACIÓN

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

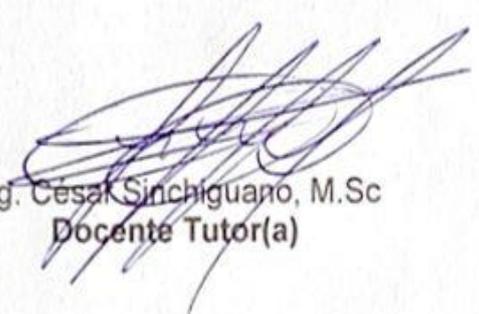
Haber dirigido, revisado y aprobado preliminarmente el Trabajo de Titulación bajo la autoría del estudiante ARTEAGA SOLORZANO JOSÉ DAVID, legalmente matriculado/a en la carrera de Tecnología Superior en Electromecánica, período académico 2025-1, cumpliendo el total de 144 horas, cuyo tema del proyecto es "Estudio y Simulación del Comportamiento Térmico de un Intercambiador de Calor en la Carrera de Electromecánica en la ULEAM Extensión El Carmen".

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

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

Lugar, El Carmen de 18 de agosto 2025.

Lo certifico,



Ing. César Sinchiguano, M.Sc
Docente Tutor(a)

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

José David Arteaga Solorzano

Estudiante(s) de la Carrera de Tecnología Superior en Electromecánica , declaro(amos) bajo juramento que el siguiente proyecto cuyo título: "Estudio y simulación del comportamiento térmico de un intercambiador de calor en la carrera de Electromecánica en la ULEAM Extensión El Carmen", previa a la obtención del Título de Tecnólogo 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, agosto del 2025.



JOSE DAVID ARTEAGA SOLORZANO



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: "Estudio y simulación del comportamiento térmico de un intercambiador de calor en la carrera de Electromecánica en la ULEAM extensión El Carmen. De su autor: Arteaga Solorzano José David de la carrera "Tecnología Superior en Riego y Producción Agrícola", y como Tutor del Trabajo el Ing. Cesar Sinchiguano, MSc.

El Carmen, septiembre 2025

Ing. Wladimir Minaya, Mag.

PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

Ing. Cesar Sinchiguano, MSc.

TUTOR

Ing. Saed Reascos, Mag.

PRIMER MIEMBRO TRIBUNAL

Ing. Clara Pozo, Mag.

SEGUNDO MIEMBRO TRIBUNAL

DEDICATORIA

Dedico este trabajo con todo mi amor y gratitud a mi madre, quien ha sido la fuerza que me ha sostenido en cada etapa de mi vida. Ella, con su ejemplo de lucha, sacrificio y dedicación, me enseñó que los sueños se alcanzan con esfuerzo y perseverancia. Este logro académico no es únicamente mío, sino también suyo, pues cada uno de mis avances ha estado acompañado de su apoyo incondicional, de sus palabras de aliento en los momentos difíciles y de su confianza en mis capacidades cuando yo mismo dudaba.

Mi madre ha sido el pilar fundamental en mi formación, no solo académica, sino también personal. Gracias a su paciencia, comprensión y motivación constante, hoy culmino una etapa de gran importancia en mi vida profesional. Este trabajo se convierte en un homenaje a su entrega, a sus consejos llenos de sabiduría y al amor infinito que ha guiado mis pasos.

David Arteaga

RESUMEN

En los procesos industriales y académicos, una de las principales problemáticas está relacionada con la baja eficiencia en la transferencia de calor, lo que ocasiona pérdidas energéticas y disminuye el rendimiento de los equipos. Frente a esta situación, el presente trabajo titulado “*Estudio y Simulación del comportamiento térmico de un intercambiador de calor*”, desarrollado en la carrera de Electromecánica de la ULEAM Extensión El Carmen, tuvo como objetivo analizar y validar el desempeño de un intercambiador tipo carcasa y tubos mediante la aplicación de simulaciones computacionales en SolidWorks Flow Simulation.

El modelo diseñado consideró un sistema de contraflujo, donde el agua a 90 °C transfiere calor a un fluido refrigerante R134a a 15 °C, utilizando tubos de cobre en una carcasa de acero inoxidable AISI 316, con el fin de optimizar la conductividad térmica y la resistencia mecánica. Los resultados mostraron una reducción progresiva de la temperatura del agua hasta alcanzar los 15 °C en la salida, mientras que el refrigerante incrementó su temperatura hasta aproximadamente 40 °C, evidenciando un gradiente térmico constante y un balance energético adecuado.

Este estudio demuestra que la simulación constituye una herramienta eficaz para comprender el comportamiento térmico de los intercambiadores de calor, validando su aplicabilidad en escenarios académicos y como referente para la mejora de sistemas industriales que requieren un mayor aprovechamiento de la energía térmica.

PALABRAS CLAVE

Intercambiador de calor, Carcasa y tubos, Transferencia de calor, Simulación computacional, SolidWorks Flow Simulation

ABSTRACT

In both industrial and academic processes, one of the main challenges is low heat transfer efficiency, which leads to energy losses and reduced equipment performance. To address this issue, the present study, titled “*Study and Simulation of the Thermal Behavior of a Heat Exchanger*”, conducted within the Electromechanics program at ULEAM Extension El Carmen, aimed to analyze and validate the performance of a shell-and-tube heat exchanger using computational simulations in SolidWorks Flow Simulation.

The designed model considered a counterflow system, where water at 90 °C transfers heat to a refrigerant fluid R134a at 15 °C, using copper tubes within an AISI 316 stainless steel shell to optimize thermal conductivity and mechanical resistance. The results showed a progressive reduction of water temperature to 15 °C at the outlet, while the refrigerant temperature increased to approximately 40 °C, demonstrating a constant thermal gradient and an adequate energy balance.

This study confirms that simulation is an effective tool for understanding the thermal behavior of heat exchangers, validating its applicability in academic settings and as a reference for improving industrial systems that require greater thermal energy utilization.

KEYWORDS

Heat exchanger, Shell and tube, Heat transfer, Computational simulation, SolidWorks Flow Simulation

ÍNDICE

CERTIFICACION DEL TUTOR	I
DECLARACIÓN DE AUTORÍA	II
APROBACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN ...	¡Error! Marcador no definido.
AGRADECIMIENTO	IV
DEDICATORIA	V
RESUMEN	VI
PALABRAS CLAVE	VI
ABSTRACT.....	VII
KEYWORDS	VII
ÍNDICE	VIII
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	IX
ÍNDICE DE TABLAS	X
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	1
TEMA	1
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. PROBLEMA	2
1.2. JUSTIFICACIÓN	3
1.3. OBJETIVOS	4
1.3.1. Objetivo general	4
1.3.2. Objetivos específicos	4
1.4. METODOLOGÍA	4
1.4.1. Procedimiento	4
1.4.2. Técnicas	5
1.4.3. Métodos	5
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	7
2.1. DEFINICIONES	7

2.1.1.	Fundamentos de transferencia de calor	7
2.1.2.1.	Principio de operación térmica	10
2.1.2.2.	Parámetros térmicos y de diseño	11
2.1.3.	Clasificación de los intercambiadores de calor	11
2.1.3.1.	La forma de transferencia de calor	11
2.1.3.2.	La compactación	12
2.1.3.3.	La distribución de flujo	13
2.1.3.4.	El tipo de construcción	15
	2.1.4. Intercambiador tipo carcasa y tubos	16
<input type="checkbox"/>	Carcasa	16
<input type="checkbox"/>	Deflectores (baffles)	17
<input type="checkbox"/>	Cámaras de entrada y salida (cabezales)	17
	2.1.5. Consideraciones térmicas y de diseño	18
	2.1.6. Simulación computacional	19
2.2.	ANTECEDENTES	21
2.3.	TRABAJOS RELACIONADOS	22
CAPÍTULO III: DESARROLLO DE LA PROPUESTA.....		25
3.1.	OBJETIVO 1	25
3.1.1.	Materiales comunes en intercambiadores de calor	25
3.1.2.	Diseño por partes del intercambiador de calor tubo y coraza	26
3.2.	OBJETIVO 2	36
3.2.1.	Simulation CFD – Solidworks flow.....	36
3.2.2.	Resultados de los análisis	38
3.3.	OBJETIVO 3	45
3.3.1.	Interpretación de los resultados	45
CAPÍTULO IV: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		48
4.1.	CONCLUSIONES	48
4.2.	RECOMENDACIONES	49
BIBLIOGRAFÍA		50

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Figura 1 Los mecanismos de conducción de calor en las diferentes fases de una sustancia	8
---	---

Figura 2 Transferencia de calor de una superficie caliente hacia el aire por convección.	9
Figura 3 Forma de Radición	10
Figura 4 Tipos de torre de enfriamiento	12
Figura 5 Tipo de intercambiador de calor compactos	13
Figura 6 Intercambiador de flujo paralelo	13
Figura 7 Intercambiador de calor contraflujo	14
Figura 8 Disposición común para los tubos de intercambiadores	16
Figura 9 Tipos de carcazas	17
Figura 10 Detalle de deflector	17
Figura 11 Intercambiador tipo carcaza y tubos	18
Figura 12 Intercambiador de calor tipo tubo y coraza	26
Figura 13 Plano coraza	27
Figura 14 Medidas Cabezal posterior	28
Figura 15 Plano cabezal principal	30
Figura 16 Plano defelctor	31
Figura 17 Plano Separador	33
Figura 18 Plano Tubos de cobre	34
Figura 19 Ensamble Intercambiador	36
Figura 20 Ingreso de agua a 90 grados centigrados	39
Figura 21 Ingreso de R134a a 20 grados centigrados	40
Figura 22 Intercambiador de calor diseñado	42
Figura 23 Trayectoria agua	43
Figura 24 Trayectoria R134a	43
Figura 25 Simulación de trayectorias de ambos fluidos	44
Figura 26 Cut Plot 1	45

ÍNDICE DE TABLASVIII

Tabla 1 Medidas de la coraza	26
Tabla 2 Medidas tapa hemisférica	28
Tabla 3 Medidas cabezal principal	29
Tabla 4 Medidas deflector	31
Tabla 5 Medidas Separador	32
Tabla 6 Medidas Tubos de cobre	34
Tabla 7 Pasos para manejo Solidworks Flow	36
Tabla 8 Datos de la simulación solidworks flow	39
Tabla 9 Datos de la simulación solidworks flow	41

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

TEMA

Estudio y simulación del comportamiento térmico de un intercambiador de calor en la carrera de Electromecánica en la ULEAM Extensión El Carmen

1. INTRODUCCIÓN

En el contexto de la creciente necesidad de eficiencia energética y sostenibilidad en los procesos térmicos industriales y domésticos, los intercambiadores de calor han cobrado una relevancia fundamental como dispositivos que permiten la transferencia de energía térmica entre fluidos a distintas temperaturas, sin que estos se mezclen (Lara-Lara, 2024). Su aplicación se extiende a múltiples sectores como la climatización, la generación de energía, la industria alimentaria, la petroquímica y el tratamiento de aguas, consolidándolos como elementos claves en el diseño de sistemas térmicos eficientes.

El estudio del comportamiento térmico de estos dispositivos exige un abordaje multidimensional que contemple tanto los principios de transferencia de calor como la dinámica de fluidos involucrados, además de factores constructivos como la geometría, el tipo de fluido, el régimen de flujo y los materiales utilizados (Dávila Moya, 2006). Particularmente, los métodos de simulación computacional mediante software como SolidWorks o herramientas de análisis térmico permiten analizar parámetros como la diferencia media logarítmica de temperatura (LMTD), el coeficiente global de transferencia de calor (U), la efectividad térmica, y las caídas de presión, los cuales resultan cruciales para optimizar el diseño y predecir el rendimiento real del equipo (Juárez Vázquez, 2023), (Lara-Lara, 2024)

Desde un enfoque metodológico, la investigación y simulación térmica de un intercambiador de calor requiere integrar los fundamentos teóricos con herramientas tecnológicas que permitan modelar de manera precisa el fenómeno de transferencia térmica bajo diversas condiciones operativas. Tal como lo señala (Zambrano-Mendieta, 2016), el vínculo coherente entre teoría, objetivos y metodología en la investigación es determinante para lograr resultados válidos y aplicables. En esa línea, el presente estudio tiene como propósito analizar, mediante simulación computacional y cálculo técnico, el comportamiento térmico de un intercambiador de calor, considerando diversas configuraciones de flujo y materiales, lo que permitirá no solo comprender su eficiencia sino también proponer mejoras basadas en evidencias experimentales y numéricas.

En investigaciones recientes se ha demostrado que la incorporación de innovaciones como esponjas metálicas, materiales porosos, o el uso de intercambiadores de calor impresos en 3D mejora significativamente la superficie de transferencia térmica, ampliando la eficiencia

del dispositivo (Morera-Alfaro, 2025). Estas estrategias, combinadas con métodos de estimación de parámetros térmicos basados en identificación de sistemas no lineales, refuerzan la necesidad de simulaciones detalladas y adaptadas a condiciones específicas de operación (Satué, 2024).

Por tanto, el presente trabajo no solo busca validar un modelo computacional del comportamiento térmico de un intercambiador de calor, sino también aportar al diseño optimizado de estos equipos desde una perspectiva de ingeniería aplicada, integrando teoría, simulación y análisis experimental como una triada coherente que responde a las exigencias actuales de la industria energética y la eficiencia térmica.

1.1. PROBLEMA

En la actualidad, la eficiencia energética y la optimización térmica de los sistemas industriales y residenciales representan desafíos prioritarios en el contexto del desarrollo sostenible, la reducción de costos operativos y el cumplimiento de normativas ambientales internacionales. Dentro de este marco, los intercambiadores de calor juegan un rol fundamental al ser dispositivos encargados de realizar la transferencia de energía térmica entre dos fluidos a diferentes temperaturas sin permitir su mezcla, lo cual los convierte en componentes esenciales en sistemas de climatización, plantas térmicas, procesos químicos, maquinaria industrial y automotriz, entre otros (Dávila Moya, 2006) (Lara-Lara, 2024).

Pese a la amplia utilización de estos dispositivos, en muchos casos el diseño y dimensionamiento de los intercambiadores se realiza sin un estudio detallado de su comportamiento térmico bajo condiciones específicas de operación, lo que puede traducirse en pérdidas energéticas significativas, subutilización de materiales o sobredimensionamiento del equipo. Esto se debe, en gran medida, a la limitada incorporación de metodologías de simulación computacional que permitan anticipar de forma precisa cómo se comportan las variables térmicas críticas como el coeficiente global de transferencia de calor, las pérdidas de carga o la diferencia media logarítmica de temperatura ante variaciones en el caudal, la temperatura de entrada, el tipo de fluido o las propiedades geométricas del sistema (MoreraAlfaro, 2025).

Por otra parte, la falta de un análisis integral que combine criterios térmicos, hidráulicos y estructurales durante la etapa de diseño puede generar configuraciones poco eficientes que no maximizan la transferencia de calor ni se adaptan óptimamente a las necesidades reales del proceso. En este sentido, es esencial utilizar herramientas de simulación asistida por computadora, como SolidWorks, ANSYS o software especializado, que permitan modelar,

evaluar y validar distintas configuraciones de intercambiadores (Juárez Vázquez, 2023), garantizando así un diseño técnico más robusto y adaptado a la operación.

A partir de este contexto, surge la necesidad de realizar un estudio detallado y una simulación computacional del comportamiento térmico de un intercambiador de calor, que permita no solo comprender en profundidad su funcionamiento y eficiencia bajo distintas condiciones operativas, sino también proponer lineamientos técnicos para mejorar su desempeño y optimizar su diseño. Este análisis se plantea como una solución necesaria y pertinente para reducir pérdidas energéticas, mejorar la sostenibilidad de los sistemas térmicos y aportar a la formación técnica basada en evidencia y modelado.

1.2. JUSTIFICACIÓN

El análisis y simulación del comportamiento térmico de un intercambiador de calor se justifica por su impacto directo en la eficiencia energética de los sistemas térmicos utilizados en industrias, edificios y procesos de transformación. La transferencia de calor entre fluidos es un fenómeno fundamental en la ingeniería, y su optimización permite reducir pérdidas energéticas, minimizar costos operativos y mitigar el impacto ambiental derivado del uso excesivo de recursos no renovables. Estudios recientes han demostrado que el uso de herramientas de simulación como SolidWorks y métodos como la efectividad-NTU permiten predecir con precisión el desempeño térmico del intercambiador, evaluar configuraciones geométricas y determinar parámetros clave como el coeficiente global de transferencia de calor y la diferencia media logarítmica de temperatura (Lara-Lara, 2024) (Morera-Alfaro, 2025).

Desde el ámbito formativo y científico, este tipo de investigación favorece el fortalecimiento del vínculo entre teoría, objetivos y metodología, lo que da lugar a propuestas más coherentes y aplicables en la ingeniería térmica moderna (Zambrano-Mendieta, 2016). Además, contribuye a cerrar la brecha existente entre el diseño empírico de equipos térmicos y su análisis computacional, al fomentar el uso de tecnologías digitales como herramientas pedagógicas y técnicas para la evaluación de intercambiadores de calor (Juárez Vázquez, 2023). Por tanto, este estudio no solo busca resolver una problemática técnica concreta, sino también aportar a la formación de ingenieros competentes en simulación térmica y al desarrollo de soluciones sostenibles en la industria energética.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. Objetivo general

Analizar y simular el comportamiento térmico de un intercambiador de calor en la carrera de Electromecánica en la ULEAM Extensión El Carmen.

1.3.2. Objetivos específicos

- Diseñar un intercambiador de calor en un entorno de simulación computacional utilizando herramientas CAD.
- Simular el comportamiento térmico del intercambiador de calor bajo condiciones de frontera.
- Analizar los resultados obtenidos de la simulación mediante un software de CFP

1.4. METODOLOGÍA

1.4.1. Procedimiento

La presente investigación adoptó un enfoque cuantitativo y experimental, con un diseño aplicado, orientado al análisis térmico de un intercambiador de calor mediante simulación computacional. En primera instancia, se llevó a cabo una revisión bibliográfica exhaustiva sobre los fundamentos de transferencia de calor, dinámica de fluidos y diseño de intercambiadores, con el objetivo de identificar los parámetros clave que influyen en el comportamiento térmico del equipo. Esta revisión permitió construir el marco teórico que sustentó el modelado y sirvió de referencia para la validación de los resultados obtenidos en simulación.

Posteriormente, se procedió al diseño geométrico tridimensional del intercambiador de calor tipo carcasa y tubos utilizando el software SolidWorks CAD, el cual sirvió como base para implementar la simulación térmica en el módulo SolidWorks Flow Simulación. En esta etapa, se definieron las condiciones de contorno como temperatura de entrada y salida de los fluidos, velocidad del flujo, propiedades termo físicas, tipo de flujo (laminar o turbulento), y los materiales involucrados. A partir de este modelo, se ejecutaron múltiples simulaciones térmicas variando parámetros operativos, lo que permitió observar el efecto de dichas variaciones sobre la eficiencia térmica, el coeficiente global de transferencia de calor (U) y la distribución de temperatura interna.

Finalmente, los resultados obtenidos fueron analizados mediante mapas térmicos, perfiles de flujo, gráficos comparativos y valores numéricos exportados del software. Se interpretaron variables como la diferencia media logarítmica de temperatura (LMTD), la tasa de transferencia térmica (Q'), y la caída de presión, con el fin de identificar posibles deficiencias en el diseño y proponer mejoras técnicas. Estas mejoras fueron evaluadas mediante nuevas simulaciones que validaron su efectividad, lo que permitió generar conclusiones aplicables a escenarios industriales o académicos similares.

1.4.2. Técnicas

Para llevar a cabo esta investigación, se emplearon una serie de técnicas específicas que permitieron cumplir de forma rigurosa con los objetivos propuestos. En primer lugar, se utilizó la técnica de modelado tridimensional asistido por computadora (CAD) mediante el software SolidWorks, a fin de diseñar con precisión el intercambiador de calor tipo carcasa y tubos. Esta técnica permitió establecer las dimensiones, geometrías internas, distribución de tubos, deflectores, entradas y salidas, lo cual resultó esencial para simular con fidelidad las condiciones reales del sistema.

En segundo lugar, se aplicó la técnica de simulación por dinámica de fluidos computacional (CFD), a través del módulo SolidWorks Flow Simulation. Esta técnica permitió analizar el comportamiento térmico de los fluidos dentro del intercambiador, considerando fenómenos de convección forzada, conducción térmica y caída de presión. Durante la simulación se manipularon variables como caudal, temperatura de entrada, velocidad del fluido y propiedades termo físicas, con el fin de observar su influencia en parámetros clave como el coeficiente global de transferencia de calor (U) y la diferencia media logarítmica de temperatura (LMTD).

Adicionalmente, se emplearon técnicas de análisis comparativo y validación de resultados, mediante la generación de gráficos térmicos, perfiles de flujo, tablas de datos y mapas de distribución de temperatura. Estos resultados fueron interpretados y comparados con datos teóricos obtenidos en la revisión bibliográfica, asegurando la coherencia y fiabilidad de las simulaciones. Finalmente, se aplicó la técnica de optimización paramétrica, que consistió en modificar iterativamente el diseño geométrico o las condiciones de operación del intercambiador, con el propósito de mejorar su eficiencia térmica y proponer un diseño optimizado.

1.4.3. Métodos

El estudio se basó en el método científico, que incluyó observación, formulación del problema, planteamiento de hipótesis, experimentación y análisis de resultados. Este método sirvió para conducir el proceso investigativo de manera lógica, rigurosa y reproducible. Se empleó el método experimental-simulado para observar el comportamiento de las variables en la transferencia de calor dentro del intercambiador, reproduciendo condiciones térmicas reales en un entorno computacional controlado.

Se hizo uso del método analítico para facilitar el desglose y estudio detallado de los parámetros físicos en el diseño y operación del intercambiador de calor. El rendimiento térmico del equipo se vio afectado por factores como el caudal, la temperatura de entrada, el tipo de flujo y la configuración geométrica. Este método permitió comprender su influencia. Los resultados de la simulación fueron interpretados según principios de termodinámica y mecánica de fluidos, validando su consistencia con modelos teóricos clásicos como el LMTD y el método de efectividad-NTU.

Asimismo, se aplicó el método comparativo para evaluar diferentes configuraciones del intercambiador y analizar sus efectos sobre la eficiencia térmica. Finalmente, se identificó la configuración más favorable desde el punto de vista energético y técnico mediante esta comparación. La utilización combinada de métodos científicos, experimentales, analíticos y comparativos garantizó un enfoque integral y preciso para resolver problemas de ingeniería térmica con herramientas computacionales.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1.DEFINICIONES

2.1.1. Fundamentos de transferencia de calor

La transferencia de calor es un fenómeno físico fundamental en la ingeniería térmica. Se refiere al proceso de transferir energía térmica entre cuerpos debido a una diferencia de

temperatura. Los intercambiadores de calor buscan maximizar la transferencia de energía entre dos fluidos sin permitir su mezcla directa, lo cual es esencial para su funcionamiento eficiente. Tal como lo señalan (Çengel, 2011), el estudio de los mecanismos de transferencia de calor permite comprender cómo interactúan la temperatura, la conducción, la convección y la radiación en sistemas reales, lo cual es determinante para el diseño, la simulación y la optimización de equipos térmicos.

- **Conducción**

La conducción es uno de los tres mecanismos fundamentales mediante los cuales se transfiere el calor y, en muchos sistemas térmicos, representa el modo dominante de transferencia en materiales sólidos. Este fenómeno ocurre cuando la energía térmica se desplaza desde una región de mayor temperatura hacia una de menor temperatura dentro del mismo cuerpo o entre cuerpos en contacto directo, sin que exista movimiento macroscópico de la materia. La conducción térmica depende de la naturaleza del material, la geometría del medio y la distribución de temperatura, siendo gobernada por la ley de Fourier, la cual establece que el flujo de calor es proporcional al gradiente de temperatura y a la conductividad térmica del material (Çengel, 2011).

$$Q = \frac{kA(T_i - T_e)}{L}$$

Donde:

Q= flujo de calor (W)

A= Área de paredes normales al flujo de calor m² k=

Constante de conductividad térmica (W/m K)

T_i= temperatura interna (C)

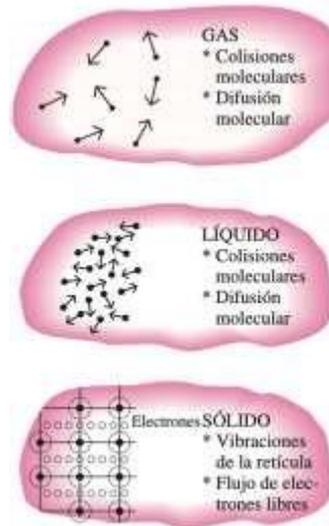
T_e= Temperatura externa (C)

L= Espesor de la pared. (m)

En el contexto de los intercambiadores de calor, la conducción tiene especial relevancia en las paredes que separan los fluidos en contacto térmico, como es el caso de los tubos en los intercambiadores tipo carcasa y tubos. La eficiencia con la que el calor atraviesa estos materiales determina, en gran medida, el rendimiento global del sistema. Por ello, seleccionar materiales con alta conductividad térmica y optimizar el espesor de las paredes son decisiones críticas en el diseño. Adicionalmente, el análisis de conducción es fundamental en la simulación computacional, ya que permite establecer las condiciones internas del modelo tridimensional y

predecir con mayor precisión la transferencia energética entre los fluidos involucrados (Cantabria., 2019).

Figura 1 Los mecanismos de conducción de calor en las diferentes fases de una sustancia



Fuente: (Çengel, 2011)

- **Convención**

La convección es el mecanismo de transferencia de calor que ocurre entre una superficie sólida y un fluido en movimiento, e implica el transporte simultáneo de energía térmica por conducción en la delgada capa límite del fluido junto a la superficie y por advección a través del movimiento del fluido mismo. Este fenómeno se presenta en una amplia gama de aplicaciones térmicas, siendo especialmente importante en los intercambiadores de calor, donde dos fluidos a diferentes temperaturas fluyen por separado, cediendo y absorbiendo energía térmica a través de superficies metálicas (Çengel & Ghajar, 2011). $Q = hA(T_s - T_\infty)$

Donde:

Q = calor transferido por la superficie al fluido (W) h =

constante de convección (W/m² K)

A = área de superficie de contacto (m²)

T_s = temperatura en la superficie (C)

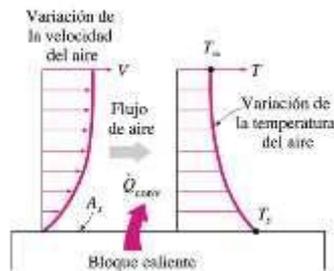
T_∞ = temperatura del fluido circundante (C)

La eficiencia de la transferencia depende de la velocidad del fluido, su viscosidad, la geometría del canal y el tipo de flujo (laminar o turbulento).

En los intercambiadores tipo carcasa y tubos, el análisis de la convección es crítico en ambos lados del fluido debido a las diferentes características de flujo y coeficientes de transferencia de calor. La ley de enfriamiento de Newton se utiliza para cuantificar este fenómeno,

relacionando el flujo de calor convectivo con el área de contacto, el coeficiente de transferencia convectiva y la diferencia de temperatura entre la superficie y el fluido.

Figura 2 Transferencia de calor de una superficie caliente hacia el aire por convección.



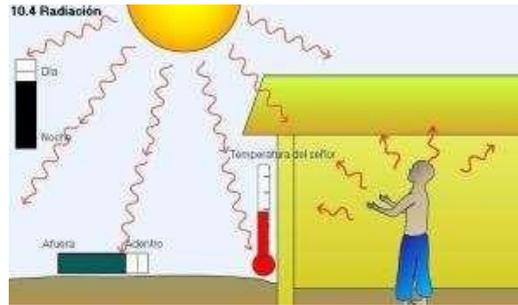
Fuente: (Çengel, 2011)

- **Radiación**

La radiación térmica se transmite mediante ondas electromagnéticas generadas por el movimiento térmico de las moléculas, a diferencia de la conducción y la convección, no necesita un medio material para propagarse. Todo cuerpo cuya temperatura sea superior al cero absoluto emite energía en forma de radiación, y la cantidad de calor transferido depende de factores como la temperatura superficial, el área emisora, la emisividad del material y la geometría del entorno (Çengel, 2011). En sistemas térmicos, aunque su participación puede ser menor en comparación con la convección o conducción, la radiación adquiere importancia cuando se alcanzan temperaturas elevadas o cuando existen superficies altamente emisivas.

En aplicaciones convencionales con fluidos de trabajo a temperaturas moderadas, el efecto de la radiación térmica no suele ser predominante en intercambiadores de calor. El análisis de su equipo no debe ser descartado, especialmente en entornos de alta temperatura o cuando las superficies externas están expuestas a calor radiativo. Las leyes de Planck y StefanBoltzmann describen la energía radiada por cuerpos negros y materiales reales con propiedades ópticas específicas.

Figura 3 Forma de Radición



Fuente: (delatorresteffani, 2024)

2.1.2. Concepto y funcionamiento de un intercambiador de calor

Un intercambiador de calor transfiere energía térmica entre fluidos a diferentes temperaturas sin contacto directo. El intercambio de calor se produce a través de una superficie sólida metálica que separa los fluidos, utilizando mecanismos como la conducción y la convección. La finalidad principal de estos equipos es maximizar la transferencia energética con el menor consumo de recursos y espacio, siendo fundamentales en sectores como la generación de energía, la climatización, la industria alimentaria y la petroquímica (Çengel, 2011).

2.1.2.1. Principio de operación térmica

El principio de operación térmica de un intercambiador de calor se fundamenta en la primera ley de la termodinámica, la cual establece que la energía no se crea ni se destruye, sino que se transforma; en este caso, el calor se transfiere de un fluido a otro a través de una barrera sólida, debido a una diferencia de temperatura. Esta transferencia ocurre espontáneamente desde el fluido de mayor temperatura hacia el de menor temperatura, hasta alcanzar un equilibrio térmico. La eficiencia de este proceso depende directamente del área de intercambio, la diferencia de temperaturas y los coeficientes de transferencia de calor entre los materiales involucrados (Çengel, 2011).

Durante la operación, el calor fluye mediante conducción a través de las paredes sólidas que separan los fluidos, y se redistribuye por convección en cada uno de los flujos internos. Este fenómeno es común en intercambiadores tipo carcasa y tubos, donde uno de los fluidos circula por el interior de los tubos y el otro por la carcasa, intercambiando calor sin mezclarse. El análisis térmico de esta operación requiere el uso de modelos matemáticos como el método de la diferencia media logarítmica de temperatura (LMTD) o el método de la efectividad-NTU, los cuales permiten determinar la capacidad de transferencia térmica del equipo en función de sus condiciones operativas y diseño geométrico (Cabanzón Labat, 2018) - (Dávila Moya, 2006).

2.1.2.2. Parámetros térmicos y de diseño

Durante el diseño, análisis y operación de un intercambiador de calor, es importante considerar varios parámetros térmicos y geométricos. Los parámetros permiten cuantificar la cantidad de energía térmica intercambiada, estimar la eficiencia del sistema y dimensionar sus componentes. Los principales son la capacidad calorífica específica de los medios involucrados, el flujo másico del fluido, la superficie de intercambio térmico, el coeficiente global de transferencia de calor y la diferencia media logarítmica de temperatura (LMTD).

El valor de LMTD permite determinar el gradiente térmico efectivo entre los dos fluidos que participan en el intercambio, mientras que el coeficiente U integra los efectos combinados de la conducción, la convección y la resistencia térmica del material, siendo un indicador clave del rendimiento térmico del equipo. La superficie A , por su parte, debe maximizarse sin comprometer el tamaño físico del dispositivo, ya que es directamente proporcional al calor transferido. Asimismo, deben considerarse las pérdidas de carga y la caída de presión, ya que influyen en el consumo energético del sistema de bombeo y en la integridad mecánica del equipo (Cabanzón Labat, 2018) - (Dávila Moya, 2006).

2.1.3. Clasificación de los intercambiadores de calor

Existen una amplia gama de intercambiadores térmicos, razón por la cual se emplean diversas clasificaciones para clasificarlos. Por lo tanto, se pueden clasificar de acuerdo con:

- La forma de transferencia de calor
- La compactación
- La distribución de flujo
- El tipo de construcción

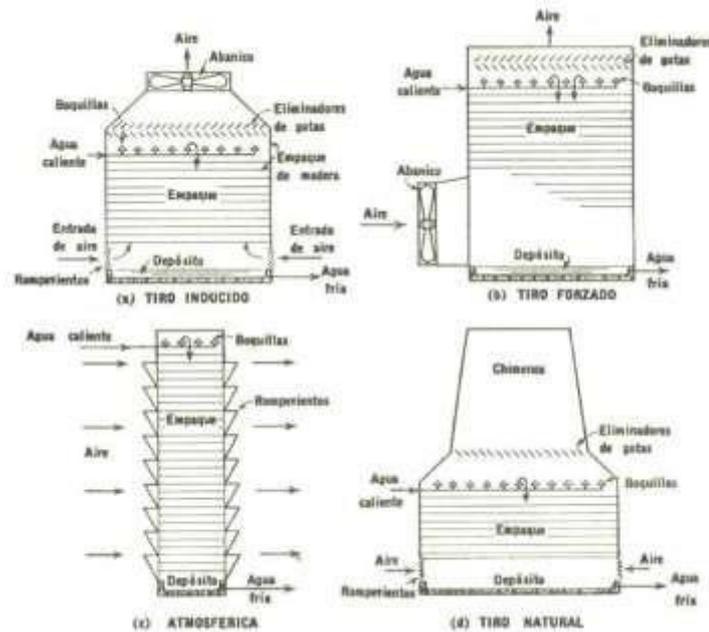
2.1.3.1. La forma de transferencia de calor

- **Intercambiadores de contacto directo**

Los intercambiadores de calor de contacto directo son aparatos que permiten que los fluidos implicados en la transferencia térmica establezcan contacto físico entre sí, lo que facilita una transferencia de energía más rápida y eficaz en comparación con los intercambiadores de superficie. Este tipo de sistemas se emplea primordialmente en situaciones en las que la combinación de fluidos no constituye un problema técnico o químico, como en torres de enfriamiento, sistemas de humidificación o condensación directa. La transferencia de calor se produce de manera simultánea con procesos de masa, tales como la evaporación o la condensación, lo cual demanda un análisis termo-hidráulico de mayor complejidad. Aunque su

construcción es más sencilla y económica, su aplicación se restringe a casos específicos donde los fluidos son compatibles o fácilmente separables (Çengel, 2011).

Figura 4 Tipos de torre de enfriamiento



Fuente: (Obando, 2006)

- **Intercambiadores de contacto indirecto**

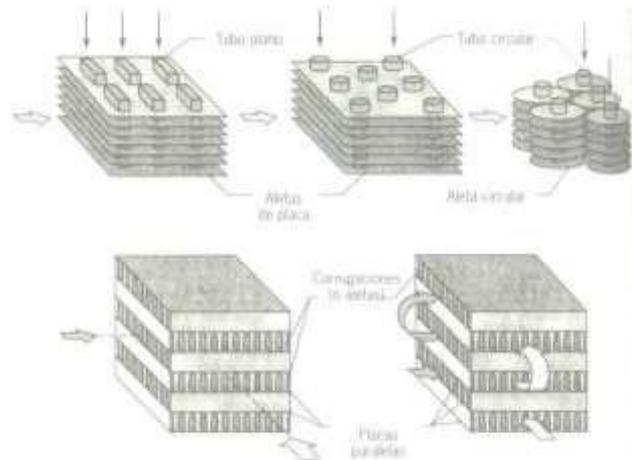
Los intercambiadores de calor de contacto indirecto son aquellos en los que los fluidos calientes y fríos nunca se mezclan, ya que están separados por una superficie sólida conductora, como una pared metálica, a través de la cual se realiza la transferencia térmica. Esta categoría incluye la mayoría de los intercambiadores industriales, como los de carcasa y tubos, de placas, de aletas y espirales, por su capacidad de mantener la integridad de los fluidos y evitar la contaminación cruzada. El diseño de estos equipos permite controlar de manera precisa los parámetros operativos, mejorar la eficiencia energética y facilitar la simulación computacional de fenómenos térmicos y de flujo. Debido a su versatilidad, durabilidad y confiabilidad, son ampliamente utilizados en procesos químicos, alimentarios, farmacéuticos y energéticos (Çengel, 2011).

2.1.3.2. La compactación

Los intercambiadores de calor tipo compactación, o simplemente intercambiadores compactos, se caracterizan por poseer una alta área de superficie por unidad de volumen (relación A/V), lo que los hace ideales para aplicaciones donde el espacio físico es limitado y se requiere una transferencia de calor eficiente. Estos equipos utilizan superficies extendidas, como aletas o canales estrechos, que incrementan considerablemente el área disponible para el intercambio térmico sin aumentar significativamente el tamaño del dispositivo. Son

ampliamente empleados en sectores como la industria automotriz, la aeroespacial, la climatización y la refrigeración, donde el diseño compacto y el peso reducido son factores clave. Además, su configuración facilita el tratamiento de flujos turbulentos o laminares con altas tasas de transferencia convectiva (Çengel, 2011).

Figura 5 Tipo de intercambiador de calor compactos



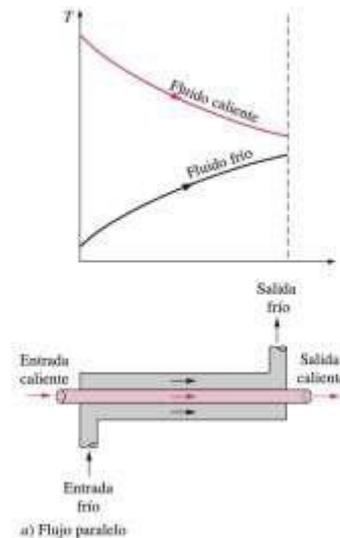
Fuente: (Obando, 2006)

2.1.3.3. La distribución de flujo

- **Flujo paralelo**

El flujo paralelo es un tipo de configuración en los intercambiadores de calor donde ambos fluidos el caliente y el frío entran por el mismo extremo del intercambiador y fluyen en la misma dirección, de forma paralela. En esta disposición, la diferencia de temperatura entre los fluidos es máxima al inicio del recorrido y disminuye progresivamente a medida que avanzan, lo que reduce gradualmente la eficiencia térmica del proceso. Si bien el diseño de flujo paralelo es estructuralmente más simple y fácil de construir, su capacidad para lograr grandes tasas de transferencia de calor es limitada, ya que el gradiente térmico disminuye rápidamente. Este tipo de flujo es más común en aplicaciones donde se busca un diseño económico o se requiere un control térmico moderado sin llegar a grandes diferencias de temperatura en la salida (Çengel, 2011).

Figura 6 Intercambiador de flujo paralelo

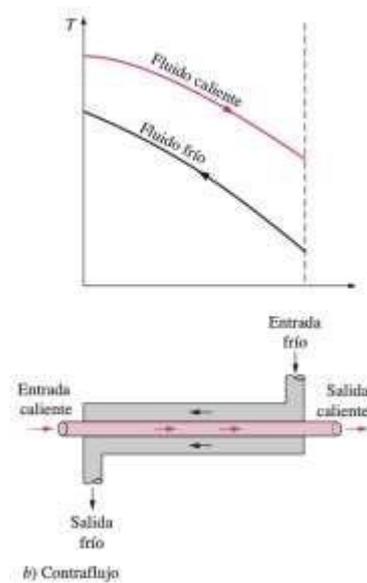


Fuente: (Çengel, 2011)

- **Contracorriente**

El flujo en contracorriente, también denominado flujo en contraflujo, es una configuración altamente eficiente en los intercambiadores de calor, en la que los dos fluidos circulan en direcciones opuestas, es decir, entran por extremos opuestos y se desplazan en sentido contrario a lo largo del dispositivo. Esta disposición permite mantener una diferencia de temperatura más uniforme a lo largo del recorrido, lo cual maximiza la transferencia térmica y posibilita que el fluido frío alcance una temperatura de salida superior a la del fluido caliente de salida, algo imposible en configuración de flujo paralelo. Gracias a esta característica, los intercambiadores en contracorriente son ampliamente utilizados en sistemas que demandan alta eficiencia térmica, como calderas, condensadores y sistemas de recuperación de calor en la industria energética e industrial (Çengel, 2011).

Figura 7 Intercambiador de calor contraflujo



Fuente: (Çengel, 2011)

- **Flujo cruzado**

El flujo cruzado es una configuración en la que los dos fluidos en un intercambiador de calor se desplazan perpendicularmente entre sí, es decir, sus trayectorias forman un ángulo recto. Este diseño es común en aplicaciones donde uno de los fluidos se encuentra confinado en tubos o conductos, mientras que el otro fluye libremente a través de una carcasa o sobre superficies aleteadas, como ocurre en radiadores de automóviles, unidades de aire acondicionado o intercambiadores aire-agua. La eficiencia térmica del flujo cruzado depende de si los fluidos están mezclados o no mezclados, y generalmente es inferior a la del flujo en contracorriente, aunque superior a la del flujo paralelo. Esta configuración ofrece un buen compromiso entre eficiencia térmica, compacidad estructural y facilidad de fabricación, especialmente cuando se requiere una transferencia de calor significativa en espacios reducidos (Çengel, 2011).

2.1.3.4. El tipo de construcción

La clasificación de los intercambiadores de calor según su tipo de construcción permite distinguirlos de acuerdo con la forma en que están ensamblados y organizados sus componentes internos para facilitar la transferencia térmica. Entre los tipos más comunes se encuentran los intercambiadores de carcasa y tubos, los intercambiadores de placas, los intercambiadores espirales, y los intercambiadores compactos, cada uno adaptado a distintos requerimientos de operación, limpieza, mantenimiento y eficiencia. La elección de un diseño específico depende de variables como el tipo de fluido, presión, temperatura, espacio disponible y facilidad de desmontaje. Por ejemplo, los intercambiadores de placas ofrecen mayor eficiencia térmica en

sistemas compactos, mientras que los de carcasa y tubos se emplean ampliamente en aplicaciones industriales de gran escala debido a su robustez mecánica y versatilidad operativa (Çengel, 2011).

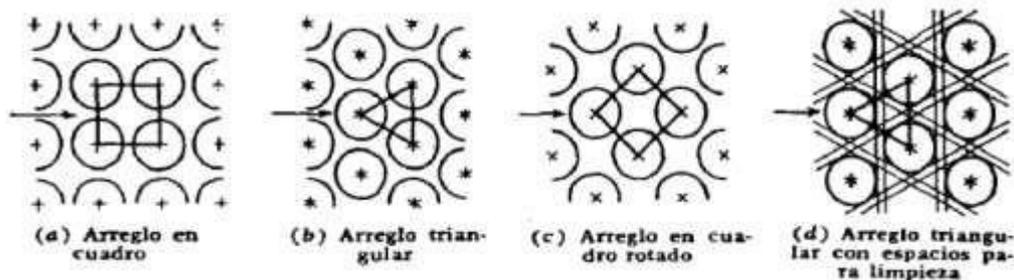
2.1.4. Intercambiador tipo carcasa y tubos

Las partes de un intercambiador de tipo carcasa y tubos son los siguientes:

- **Tubos**

Los tubos son el componente esencial del haz tubular, por donde fluye uno de los fluidos (habitualmente el de mayor presión). Generalmente están dispuestos en paralelo dentro de la carcasa y fabricados con materiales de alta conductividad térmica, como acero inoxidable, cobre o aleaciones especiales. Su función principal es proporcionar el área de transferencia térmica entre los fluidos, separándolos físicamente mientras permiten el intercambio de energía a través de sus paredes. La disposición de los tubos puede seguir un patrón triangular o cuadrado, lo cual influye en la turbulencia del flujo y, por tanto, en la eficiencia térmica del intercambiador (Çengel, 2011).

Figura 8 Disposición común para los tubos de intercambiadores



Fuente: (Mazón, 2010)

- **Placas tubulares**

Las placas tubulares, también conocidas como placas de tubos o “tubosheets”, son discos metálicos perforados que fijan los extremos de los tubos al cabezal. Estas placas tienen un doble propósito: asegurar mecánicamente los tubos en su posición y evitar fugas entre los compartimentos de entrada y salida. La correcta soldadura o expansión de los tubos a la placa es crucial para mantener la estanqueidad del sistema, especialmente cuando se trabaja a altas presiones o con fluidos peligrosos. Además, actúan como barrera térmica y estructural entre los fluidos del lado del casco y los del lado de los tubos (Cabanzón Labat, 2018).

- **Carcasa**

La carcasa es el recipiente externo que rodea el haz tubular y contiene el segundo fluido, el cual fluye de manera transversal o longitudinal respecto a los tubos. Su diseño permite que el fluido fluya a través de espacios generados por los deflectores, lo cual mejora la turbulencia

e incrementa el coeficiente de transferencia térmica. Además, la carcasa debe estar construida con materiales resistentes a la presión y la corrosión, ya que se encuentra sometida a esfuerzos mecánicos considerables. Su geometría cilíndrica y longitud deben adaptarse al número de pasos del fluido y a las condiciones operativas del sistema (Çengel, 2011).

Figura 9 Tipos de carcazas

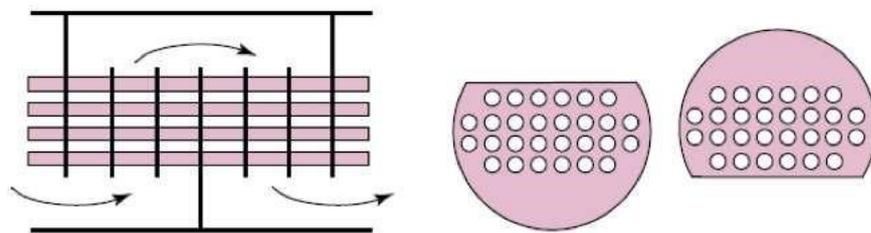


Fuente: (Mazón, 2010)

- **Deflectores (baffles)**

Los deflectores, también llamados baffles, son láminas metálicas internas colocadas de forma transversal en la carcasa para dirigir el flujo del fluido externo a través del haz tubular. Su función principal es inducir un flujo cruzado sobre los tubos, lo que incrementa la turbulencia y mejora la eficiencia de transferencia de calor. Asimismo, proporcionan soporte mecánico al haz tubular, reduciendo las vibraciones generadas por el paso del fluido. El espaciado y diseño de los deflectores influyen directamente en la caída de presión del sistema y en el rendimiento térmico global (Cabanzón Labat, 2018).

Figura 10 Detalle de deflector



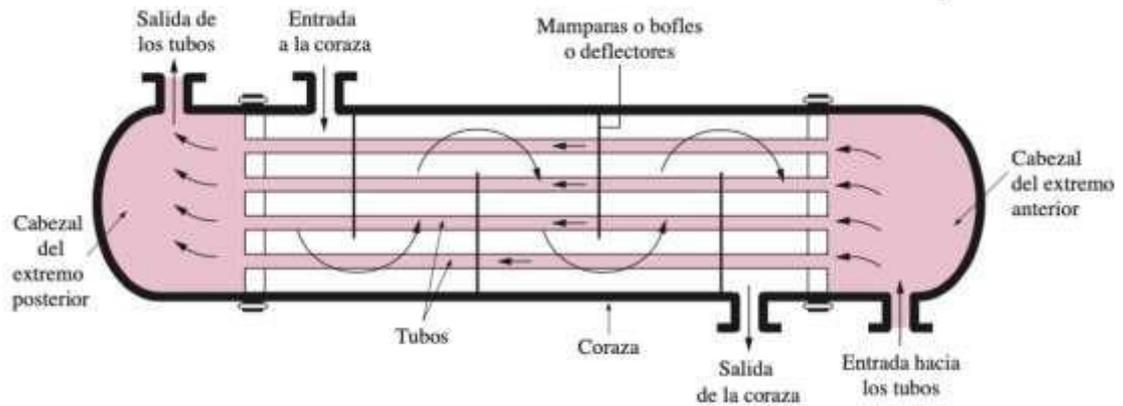
Fuente: (Mazón, 2010)

- **Cámaras de entrada y salida (cabezales)**

Las cámaras de entrada y salida, también denominadas **cabezales**, son compartimientos situados en ambos extremos del intercambiador que distribuyen y recolectan el fluido que circula por los tubos. Están diseñadas para facilitar el acceso al haz tubular y permitir inspecciones, mantenimiento o limpieza del sistema. Existen diversas configuraciones, como cabezales removibles, de canal único o de múltiples pasos, dependiendo de los requerimientos

térmicos y de presión del proceso. Su correcta configuración garantiza un reparto uniforme del fluido y minimiza pérdidas de carga innecesarias (Çengel, 2011).

Figura 11 Intercambiador tipo carcasa y tubos



Fuente: (Çengel, 2011)

2.1.5. Consideraciones térmicas y de diseño

El diseño de un intercambiador de calor tipo carcasa y tubos implica una cuidadosa evaluación de aspectos térmicos, hidráulicos y estructurales, ya que estos determinan tanto su rendimiento como su viabilidad técnica y económica. Desde el punto de vista térmico, el objetivo es asegurar la transferencia eficiente de calor entre dos fluidos, sin mezclarlos, mediante una superficie de contacto adecuada, generalmente metálica. Para este tipo de intercambiadores, el diseño comienza con el cálculo de la tasa de transferencia de calor requerida (Q), la cual se puede obtener a partir de la ecuación:

$$Q = \dot{m} * c_p * (T_i - T_o)$$

donde:

- \dot{m} = flujo másico del fluido (kg/s),
- c_p = capacidad calorífica a presión constante (J/kg·°C),
- T_i , T_o = temperaturas de entrada y salida del fluido, respectivamente (°C).

Una vez conocida la cantidad de calor que debe ser transferida, se procede a determinar el coeficiente global de transferencia de calor (U), que incorpora los efectos combinados de la convección interna (h_i), la conducción a través del material del tubo, y la convección externa (h_o). Esta relación se expresa mediante:

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{h_i} + \frac{1}{k} + \frac{1}{h_o}$$

donde:

- h_i y h_o = coeficientes de convección interna y externa (W/m²·°C),

- t = espesor de la pared del tubo (m),
- k = conductividad térmica del material del tubo ($W/m \cdot ^\circ C$).

Otro aspecto crítico es la diferencia media logarítmica de temperatura (LMTD), que permite establecer un gradiente térmico representativo entre ambos fluidos, esencial para el cálculo del área efectiva de intercambio:

$$Q = U * A * \Delta T_{lm}$$

$$\Delta T_{lm} = \frac{(T_{h,i} - T_{c,o}) - (T_{h,o} - T_{c,i})}{\ln \left(\frac{T_{h,i} - T_{c,o}}{T_{h,o} - T_{c,i}} \right)}$$

Donde:

- $T_{h,i}$ y $T_{h,o}$: temperaturas de entrada y salida del fluido caliente,
- $T_{c,i}$ y $T_{c,o}$: temperaturas de entrada y salida del fluido frío.

Con la LMTD determinada, se puede calcular el área de transferencia de calor (A) necesaria para cumplir con los requerimientos del proceso, a través de:

$$A = \frac{Q}{U * \Delta T_{lm}}$$

Además del análisis térmico, el diseño requiere consideraciones de tipo mecánico e hidráulico, como el cálculo de la caída de presión (ΔP) en ambos lados del intercambiador, que influye en el dimensionamiento de las bombas. También se deben considerar aspectos geométricos como el número de pasos del fluido, longitud y diámetro de los tubos, espaciado entre baffles, tipo de disposición (triangular o cuadrada) y materiales resistentes a la corrosión y a las condiciones de operación.

Finalmente, se debe aplicar un factor de corrección F al cálculo de LMTD cuando se utilizan configuraciones distintas al flujo contracorriente puro, como el flujo cruzado o de múltiples pasos, ajustando la ecuación según la complejidad geométrica del sistema. Estos elementos aseguran un diseño eficiente que maximiza la transferencia térmica, minimiza el consumo energético y extiende la vida útil del equipo (Çengel, 2011).

2.1.6. Simulación computacional

- **Introducción a CFD**

La Dinámica de Fluidos Computacional, conocida por sus siglas en inglés como CFD (*Computational Fluid Dynamics*), es una herramienta de simulación numérica que permite analizar, modelar y predecir el comportamiento de fluidos en movimiento, así como los fenómenos asociados a la transferencia de calor, masa y momento dentro de sistemas físicos complejos. CFD se fundamenta en la resolución computacional de las ecuaciones de NavierStokes, que describen el movimiento de los fluidos en función de la conservación de

masa, cantidad de movimiento y energía. Estas simulaciones han revolucionado el diseño térmico de intercambiadores de calor, al permitir una visualización detallada de la distribución de velocidades, presiones y temperaturas dentro de geometrías tridimensionales, sin necesidad de realizar ensayos experimentales costosos y prolongados.

En el caso específico de los intercambiadores de calor tipo carcasa y tubos, CFD proporciona una metodología poderosa para evaluar el comportamiento del flujo tanto en el lado del tubo como en el lado del casco, facilitando la optimización de parámetros como la disposición de los deflectores, el número de pasos del fluido, la distribución térmica, y la caída de presión. Además, posibilita la validación de diseños mediante análisis transitorios o estacionarios, bajo condiciones operativas reales o extremas. El uso de herramientas como SolidWorks Flow Simulation, ANSYS Fluent o COMSOL Multiphysics ha permitido simular con alta precisión fenómenos térmicos que anteriormente solo se podían aproximar de forma empírica. De esta forma, CFD no solo complementa el diseño clásico basado en ecuaciones analíticas, sino que lo potencia al brindar una visión profunda y precisa del rendimiento termohidráulico del intercambiador (Çengel, 2011) (Versteeg, 2007).

- **SolidWorks Flow Simulation**

SolidWorks Flow Simulation es un módulo integrado de análisis de dinámica de fluidos computacional (CFD) basado en el método de volumen finito, que permite simular fenómenos de transferencia de calor y comportamiento de fluidos directamente sobre modelos CAD tridimensionales. Su integración con la interfaz nativa de SolidWorks facilita un flujo de trabajo continuo desde el diseño hasta el análisis térmico, lo que lo convierte en una herramienta ideal para el estudio de intercambiadores de calor tipo carcasa y tubos, donde la geometría tridimensional y los detalles constructivos juegan un papel determinante en el rendimiento térmico.

Este software permite configurar una simulación térmica completa a partir de parámetros físicos reales: velocidad y presión de entrada de los fluidos, caudal másico, temperatura de operación, materiales, rugosidad superficial y propiedades térmicas específicas. Uno de sus puntos fuertes es la capacidad de realizar análisis transitorios o en estado estacionario, así como la posibilidad de incluir intercambios de calor por conducción, convección y radiación, incluso en presencia de materiales sólidos conductores. Para el caso del intercambiador de carcasa y tubos, es posible definir regiones internas (como flujos en el lado del tubo) y externas (flujo en la carcasa) y aplicar condiciones de contorno diferenciadas, como entradas de flujo volumétrico, salidas a presión ambiental o superficies térmicamente aisladas.

2.2.ANTECEDENTES

El presente proyecto de investigación fue meticulosamente desarrollado en el contexto académico de una reconocida institución de educación superior, con el objetivo primordial de fomentar el crecimiento formativo y promover la generación de conocimiento a través de la investigación científica. El lugar seleccionado para llevar a cabo el experimento fue la prestigiosa Facultad de Estudios Superiores Aragón (FES Aragón), institución académica reconocida a nivel nacional e internacional por su excelencia educativa. Este experimento se realizó en el Laboratorio de Térmica y Fluidos, un espacio altamente equipado con tecnología de vanguardia destinada a facilitar el aprendizaje y la investigación de procesos térmicos y de transferencia de calor. La FES Aragón, perteneciente a la renombrada Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), se distingue por su compromiso con la formación integral de sus estudiantes y por fomentar la innovación científica en diversas áreas del conocimiento.

La FES Aragón tiene como misión formar profesionales comprometidos con el desarrollo científico, tecnológico y humanístico del país, bajo principios de equidad, ética y responsabilidad social. En esta facultad, el Laboratorio de Térmica y Fluidos cumple un rol crucial en el aprendizaje práctico de asignaturas como Termodinámica, Transferencia de Calor, Máquinas Térmicas y Sistemas de Refrigeración, permitiendo al estudiante integrar el conocimiento teórico con experiencias experimentales (México, 2016)

Este proyecto se centró en el estudio y rediseño de un intercambiador de calor, aprovechando el equipamiento disponible en el laboratorio para simular y validar los parámetros térmicos y mecánicos requeridos. La metodología empleada incluyó análisis computacional, selección de materiales, y validación de condiciones de operación, en conformidad con estándares académicos e industriales. Así, el proyecto no solo contribuyó a la formación técnica del estudiante, sino también a la mejora continua del equipamiento institucional.

Asimismo, la implementación del proyecto se alinea con la política de fomento a la investigación aplicada y mejora tecnológica que impulsa la UNAM, la cual promueve la actualización constante de las prácticas de laboratorio y la incorporación de herramientas digitales como la simulación CFD para fortalecer el aprendizaje ingenieril (Gaona Alcantar, 2016).

Antes de la ejecución del presente proyecto, el análisis de intercambiadores de calor tipo carcasa y tubos había sido objeto de múltiples investigaciones centradas principalmente en el dimensionamiento analítico, la evaluación empírica del rendimiento térmico y la validación experimental en condiciones controladas. En el entorno académico y de laboratorio, los

intercambiadores eran utilizados para comprobar principios fundamentales de la transferencia de calor como la ley de Fourier, la ecuación de convección de Newton y el análisis de la diferencia media logarítmica de temperatura pero sin un desarrollo sistemático de modelos computacionales avanzados ni la integración de herramientas de simulación CFD. Los trabajos previos se enfocaban en cálculos manuales, evaluaciones de eficiencia térmica y balances energéticos que, aunque útiles, no permitían una visualización detallada del comportamiento del flujo y las distribuciones de temperatura en el interior del equipo (Çengel, 2011).

En la literatura científica, diversas tesis y artículos habían abordado el diseño clásico de intercambiadores carcasa-tubo, con énfasis en criterios de selección de materiales, disposición de los tubos, tipo de flujo (paralelo, contracorriente o cruzado), y pérdidas de carga, utilizando herramientas como hojas de cálculo y software de diseño mecánico, pero sin una simulación termoflúidica integral. (Cabanzón Labat, 2018) y (Gaona Alcantar, 2016) destacan que, si bien existen diseños predeterminados que cumplen normas ASME y TEMA, pocos estudios se enfocaban en la predicción del comportamiento térmico con herramientas de simulación tridimensional. Esto dejaba una brecha importante para optimizar el diseño mediante herramientas modernas que permitan simular condiciones operativas reales, evaluar escenarios de fallo térmico y validar soluciones sin recurrir exclusivamente a ensayos físicos costosos y prolongados.

De este modo, hasta antes del desarrollo de este proyecto, predominaba una visión tradicional del diseño térmico, apoyada en manuales y catálogos de fabricantes, pero con escasa aplicación de tecnologías de simulación numérica. Esta realidad justificó la necesidad de implementar un enfoque que integrara SolidWorks Flow Simulation como herramienta de visualización, validación y mejora del desempeño térmico de un intercambiador de calor tipo carcasa y tubos, permitiendo una evaluación más precisa, dinámica y económica del sistema térmico bajo condiciones diversas.

2.3. TRABAJOS RELACIONADOS

En el ámbito internacional, especialmente en Europa y Asia, se han desarrollado diversas investigaciones orientadas a la optimización térmica y estructural de intercambiadores de calor tipo carcasa y tubos mediante herramientas de simulación computacional. Por ejemplo, en un estudio llevado a cabo en la Universidad de Tecnología de Delft, Países Bajos, se implementó un modelo CFD tridimensional para analizar la distribución de temperatura y presión en un intercambiador de doble paso, encontrando que las configuraciones con baffles segmentados mejoraban significativamente la transferencia de calor y reducían puntos muertos de flujo (van der Geld, 2015). Asimismo, en China, investigadores del Instituto de Ingeniería

Térmica de la Universidad de Tsinghua utilizaron ANSYS Fluent para evaluar el impacto de la disposición angular de los tubos y del caudal másico en la eficiencia térmica, concluyendo que ajustes geométricos mínimos pueden representar mejoras superiores al 20 % en la efectividad del sistema (Zhang, 2019). Estas investigaciones han demostrado que la integración de simulaciones CFD en el análisis de intercambiadores de calor no solo permite validar diseños clásicos, sino que también facilita el desarrollo de nuevas configuraciones optimizadas para aplicaciones energéticas, petroquímicas e industriales.

En el continente americano, también se han desarrollado importantes investigaciones relacionadas con el análisis térmico de intercambiadores de calor mediante técnicas numéricas y experimentales. En Estados Unidos, el Oak Ridge National Laboratory (ORNL) ha realizado estudios sobre intercambiadores compactos y tipo carcasa y tubos, utilizando modelos CFD para mejorar la eficiencia energética en sistemas de generación térmica y refrigeración industrial. Uno de sus proyectos emblemáticos evaluó el rendimiento de intercambiadores bajo condiciones transitorias y de alta presión, concluyendo que el uso combinado de simulación CFD y validación experimental permite detectar zonas de baja eficiencia térmica e incrementar la transferencia de calor mediante rediseños geométricos específicos (Wang, 2017). Por otro lado, en América Latina, la Universidad Nacional de Colombia desarrolló un estudio experimental y computacional para analizar la eficiencia de un intercambiador de calor tipo carcasa y tubos operando con agua y refrigerante R-134a, utilizando SolidWorks Flow Simulation como herramienta de validación. Este estudio demostró que el software permite una aproximación confiable a los resultados del banco de pruebas, con desviaciones menores al 5 % respecto a los valores medidos, confirmando su aplicabilidad en contextos de formación técnica e investigación aplicada (Martínez J. A., 2020).

En el contexto nacional, también se han desarrollado investigaciones relevantes en diferentes provincias del Ecuador orientadas a la evaluación térmica de intercambiadores de calor mediante herramientas computacionales. Un ejemplo destacado se encuentra en la provincia de Azuay, donde la Universidad del Azuay ejecutó un proyecto de simulación numérica de un intercambiador de calor carcasa y tubos, utilizando el software ANSYS Fluent. El estudio se centró en la optimización de la geometría interna y el análisis de diferentes configuraciones de flujo, comparando los resultados con modelos teóricos de la literatura. Se concluyó que la configuración de flujo en contracorriente presenta una eficiencia térmica superior y que la simulación CFD permite identificar zonas de baja transferencia de calor que podrían corregirse mediante ajustes en la disposición de los deflectores (Aguirre, 2021). Esta investigación demuestra que en el país existen capacidades técnicas y metodológicas para

aplicar herramientas avanzadas de simulación térmica, contribuyendo al fortalecimiento de la formación en ingeniería mecánica y al desarrollo de soluciones aplicables en la industria ecuatoriana.

En cuanto al contexto local de la provincia de Manabí, y específicamente en los cantones distintos a la sede de ejecución del presente proyecto, la revisión de literatura científica, repositorios institucionales y bases de datos académicas no ha evidenciado trabajos documentados que aborden con profundidad el análisis y simulación térmica de intercambiadores de calor tipo carcasa y tubos mediante herramientas CFD. Si bien se han identificado estudios relacionados con eficiencia energética, diseño térmico básico o prácticas en sistemas térmicos, estos han estado enfocados principalmente en aplicaciones residenciales o en procesos industriales simplificados, sin alcanzar el nivel de modelado computacional detallado requerido en este tipo de investigación. En cantones como Portoviejo, Chone y Jipijapa, la literatura revisada se ha centrado más en trabajos vinculados a climatización, refrigeración básica o mantenimiento de sistemas térmicos, pero no en el análisis numérico profundo mediante software como SolidWorks Flow Simulation o ANSYS Fluent (Jiménez, 2021).

Por tanto, se puede afirmar que, de acuerdo con la revisión documental realizada, no se ha desarrollado previamente en los cantones de Manabí un trabajo específico que combine simulación CFD y diseño térmico aplicado a intercambiadores de calor industriales. Esta situación posiciona el presente estudio como una contribución original y necesaria dentro del ámbito académico y técnico regional, abriendo una línea de investigación aplicable tanto a la docencia como al desarrollo de soluciones energéticas para la industria local.

CAPÍTULO III: DESARROLLO DE LA PROPUESTA

El capítulo detalla el proceso de diseño, simulación y evaluación de la propuesta para analizar el comportamiento térmico de un intercambiador de calor tipo carcasa y tubos. La metodología empleada se desarrolla de forma estructurada en función de los objetivos específicos planteados, permitiendo una progresión lógica desde la etapa de diseño conceptual hasta la evaluación de viabilidad técnica del sistema mediante simulación computacional.

Se define el diseño técnico del intercambiador, incluyendo parámetros como el tipo de flujo, disposición de los tubos, área de transferencia de calor y materiales de construcción.

Se procede a la simulación computacional utilizando SolidWorks Flow Simulation. En esta etapa se modela el comportamiento térmico del sistema, evaluando el rendimiento del diseño propuesto al visualizar la distribución de temperatura, velocidades de flujo y presiones

internas en condiciones reales. Se presenta un análisis técnico-económico que incluye la estimación de costos y un análisis comparativo con sistemas comerciales. Los diagramas, planos, tablas y resultados gráficos refuerzan la comprensión técnica de la propuesta.

3.1.OBJETIVO 1

- Diseñar un intercambiador de calor en un entorno de simulación computacional utilizando herramientas CAD.

La implementación de SolidWorks facilitó la descomposición del diseño en componentes tubos, carcasa, deflectores, cabezales, boquillas, entre otros y el ensamblaje del sistema completo para su análisis térmico subsecuente mediante simulación de CFD. Esta metodología no solo optimiza la exactitud del diseño, sino que además promueve la validación geométrica, la visualización estructural y la elaboración de planos técnicos preparados para la producción. La elaboración de este diseño se ubica dentro de las actividades académicas de la disciplina de Electromecánica de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, extensión El Carmen, y responde a la necesidad de integrar tecnologías de vanguardia en la formación profesional aplicada al análisis térmico de sistemas industriales.

3.1.1. Materiales comunes en intercambiadores de calor

La eficiencia térmica, durabilidad y resistencia mecánica de un intercambiador de calor dependen de la selección de materiales, así como su comportamiento ante la corrosión y condiciones extremas de operación. Se seleccionan materiales específicos para los componentes principales del equipo basándose en el tipo de fluido, las temperaturas de operación, las presiones internas y el entorno químico del sistema.

Los tubos se fabrican con acero inoxidable, cobre, aleaciones de níquel como Inconel y acero al carbono en aplicaciones menos agresivas. El acero inoxidable tipo 304 o 316 es preferido en procesos industriales por su resistencia a la corrosión, conductividad térmica y soldabilidad. El cobre tiene excelente conductividad térmica, pero menor resistencia mecánica y es susceptible a la corrosión en ambientes ácidos o con amoníaco.

En aplicaciones con fluidos agresivos, se opta por acero inoxidable debido a su resistencia. La carcasa se construye en acero al carbono por su alta resistencia, bajo costo y facilidad de fabricación, al estar sometida a esfuerzos de presión externa e interna. Las placas tubulares deben ser resistentes al corte y a la corrosión, por lo que se fabrican del mismo material que los tubos o recubiertas con aleaciones resistentes. Los deflectores se elaboran en acero al carbono o acero inoxidable según el fluido y la frecuencia de mantenimiento necesaria.

Las propiedades térmicas de los materiales, como la conductividad térmica y la resistencia a la fatiga térmica, afectan la eficiencia y la vida útil del sistema (Çengel, 2011).

Figura 12 Intercambiador de calor tipo tubo y coraza



Fuente: (aitesa, 2024)

3.1.2. Diseño por partes del intercambiador de calor tubo y coraza

- **Coraza**

La carcasa es la parte principal del intercambiador de calor tipo carcasa y tubos. Su función es contener el fluido que circula por fuera de los tubos, lo que permite la transferencia de calor entre los dos medios. En el diseño asistido por computadora, se creó un plano técnico detallado de este componente usando el software SolidWorks. Este software permite mostrar con precisión las dimensiones, conexiones, bridas y partes estructurales de la carcasa, asegurando que el sistema funcione bien tanto mecánica como térmicamente.

El plano mostrado tiene una vista frontal, lateral, superior e isométrica de la carcasa en la tabla 1 se muestra las medidas para su diseño, en el cual se baso en diferentes diseños:

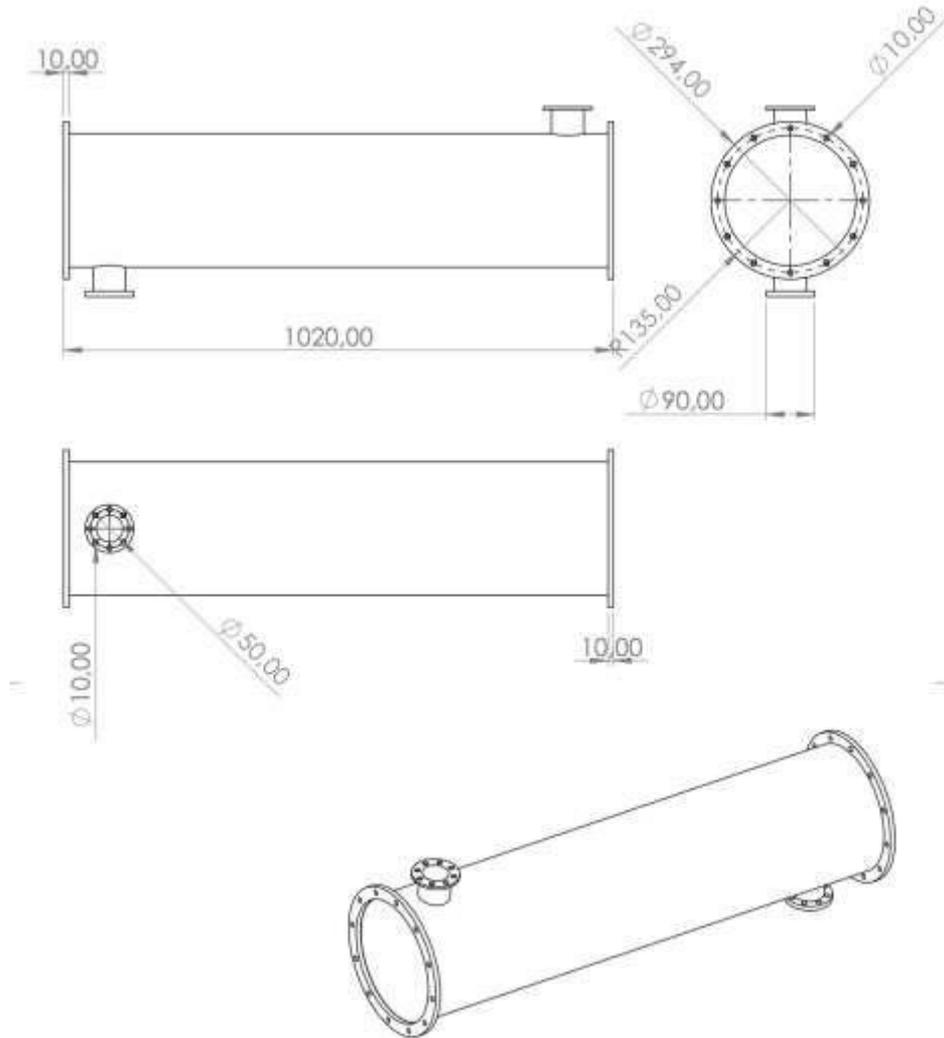
Tabla 1 Medidas de la coraza

Ítem	Descripción	Dimensión	Unidad
1	Longitud total de la carcasa	1020	mm
2	Diámetro exterior de la carcasa	294	mm
3	Radio de perforación de distribución	135	mm
4	Diámetro del espesor de pared (carcasa)	10	mm
5	Diámetro de entrada lateral de fluido	90	mm
6	Diámetro de salida inferior de fluido	50	mm
7	Diámetro de los orificios de brida (anclaje)	10	mm

Fuente: Elaboración propia

A continuación se muestra el diseño de la coraza:

Figura 13 Plano coraza



Fuente: Elaboración propia

• Cabezal posterior

El cabezal posterior (también denominado "tapa hemisférica" o "end cap") es un componente crucial en los intercambiadores de calor tipo carcasa y tubos, ya que sella uno de los extremos del sistema y direcciona el flujo del fluido, permitiendo su circulación controlada por los tubos internos. Este elemento debe soportar presiones internas elevadas sin deformación estructural, y al mismo tiempo, garantizar un acoplamiento perfecto con la carcasa a través de una brida atornillada.

En el diseño realizado mediante SolidWorks, se modeló un cabezal con geometría hemisférica para favorecer la distribución de esfuerzos, reducir concentraciones de tensión y optimizar el espacio interno para el paso de fluido.

Las dimensiones del elemento se muestra en la tabla 2:

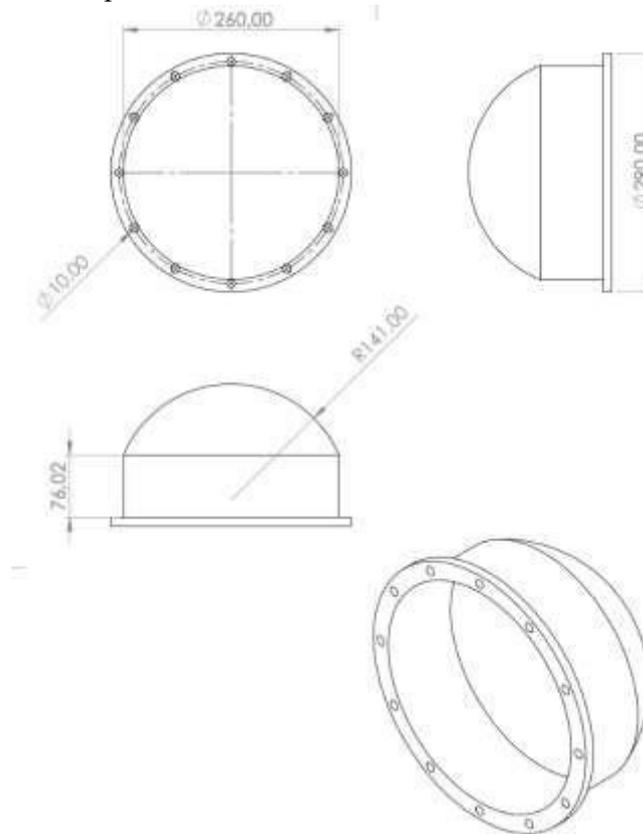
Tabla 2 Medidas tapa hemisférica

Ítem	Descripción	Dimensión	Unidad
1	Diámetro externo del cabezal (base de brida)	290	mm
2	Diámetro útil interior (zona de unión con la carcasa)	260	mm
3	Radio de curvatura de la tapa hemisférica	141	mm
4	Altura del faldón cilíndrico inferior	76.02	mm
5	Diámetro de perforaciones para pernos en la brida	10	mm
6	Número de orificios de fijación	12	unidades

Fuente: Elaboración propia

A continuación se muestra el plano:

Figura 14 Medidas Cabezal posterior



Fuente: Elaboración propia

• Cabezal Principal

El cabezal delantero es una de las partes fundamentales del intercambiador de calor tipo carcasa y tubos, ya que cumple con la función de distribuir uniformemente el fluido de trabajo hacia el conjunto de tubos ubicados en su interior. Además de su rol estructural, este componente incluye entradas y salidas para la circulación del fluido, así como una configuración interna que puede contener tabiques separadores o canales que orientan el flujo.

En el diseño asistido por SolidWorks, el cabezal delantero ha sido modelado con una geometría hemisférica superior para optimizar la resistencia a la presión interna, y un cuerpo cilíndrico con extremos bridados que facilitan su montaje al resto del sistema. Se integran dos boquillas de entrada y salida de fluido (de 90 mm y 50 mm de diámetro, respectivamente), ubicadas de manera perpendicular para permitir una distribución eficiente del flujo. La brida de acoplamiento presenta orificios equidistantes para pernos de fijación de 10 mm de diámetro.

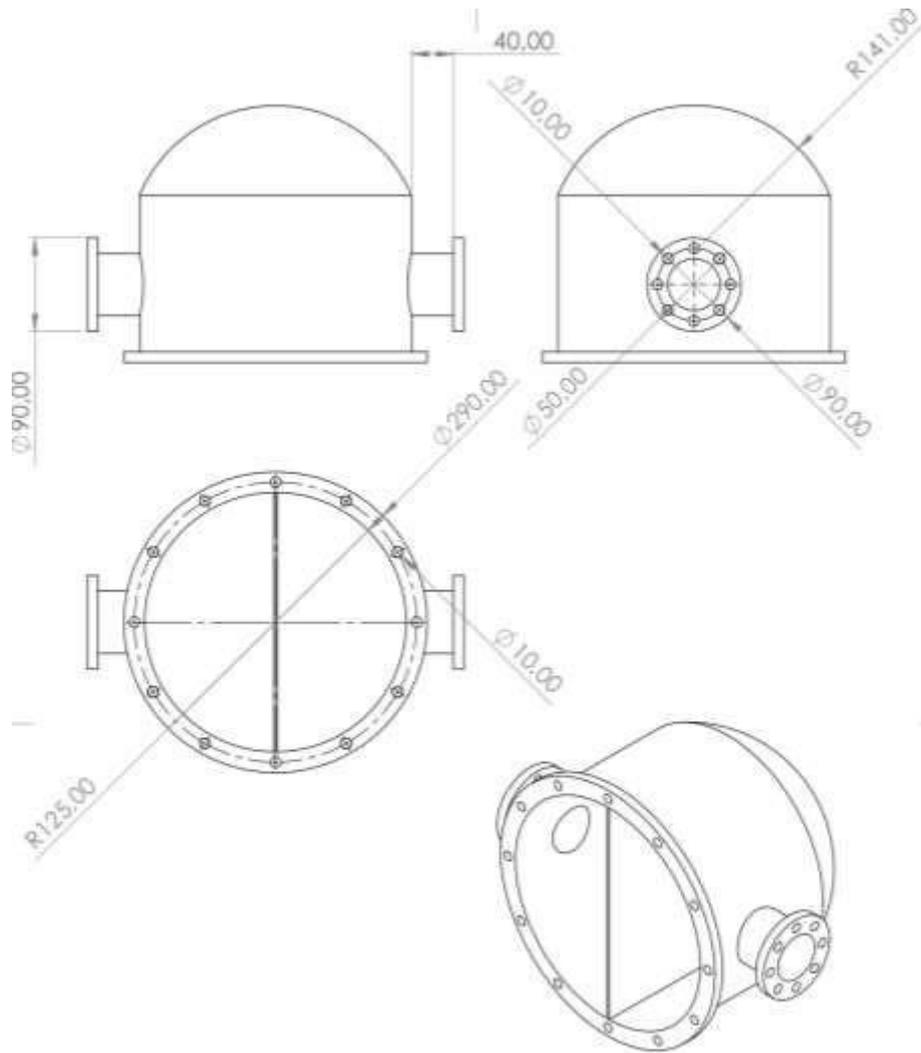
Tabla 3 Medidas cabezal principal

Ítem	Descripción	Dimensión	Unidad
1	Diámetro total de la base del cabezal	290	mm
2	Diámetro útil interior	260	mm
3	Radio de curvatura de la tapa hemisférica	141	mm
4	Diámetro de la entrada de fluido (superior)	50	mm
5	Diámetro de la salida de fluido (lateral)	90	mm
6	Altura de la sección cilíndrica	76.02	mm
7	Diámetro de orificios de fijación	10	mm
8	Radio de distribución de orificios de fijación	125	mm
9	Separación de boquilla lateral desde la base	40	mm
10	Número de orificios en brida	12	unidades

Fuente: Elaboración propia

A continuación, se muestra el plano

Figura 15 Plano cabezal principal



Fuente: Elaboración propia

• Deflectores

Los deflectores son elementos estructurales colocados transversalmente dentro de la carcasa de un intercambiador de calor tipo carcasa y tubos. Su función principal es redirigir el flujo del fluido del lado de la carcasa, aumentando su velocidad y promoviendo una mejor transferencia térmica al obligar al fluido a fluir perpendicularmente sobre los tubos. Este efecto mejora el coeficiente global de transferencia de calor, reduce zonas muertas de flujo y mantiene una distribución más uniforme de temperatura.

El diseño presentado en SolidWorks corresponde a una placa semicircular perforada que actúa como deflector segmentado. Las perforaciones de 22 mm de diámetro están distribuidas uniformemente para permitir el paso de los tubos, asegurando un adecuado soporte mecánico y un flujo dirigido. El radio de curvatura es de 125 mm y el espesor de la placa es de 3 mm, adecuado para mantener rigidez estructural sin obstruir el paso del fluido.

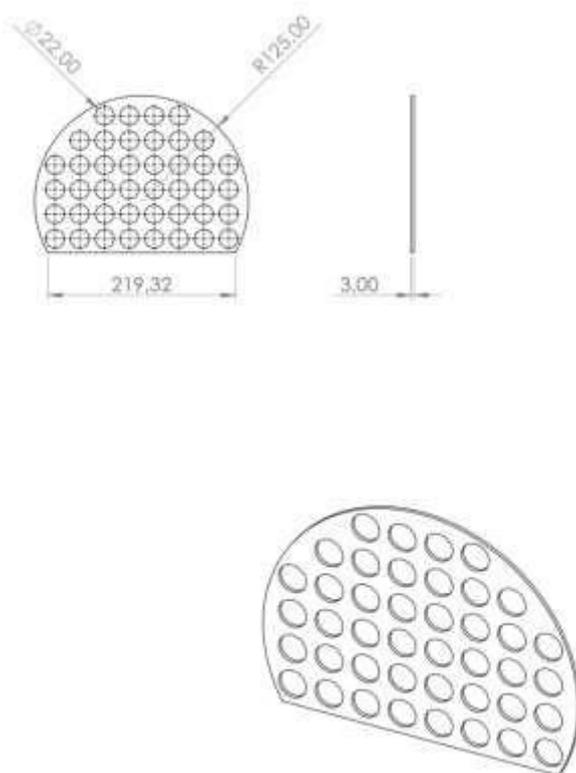
Tabla 4 Medidas deflector

Ítem	Descripción	Dimensión	Unidad
1	Radio de curvatura del deflector	125	mm
2	Ancho total de la placa semicircular	219.32	mm
3	Diámetro de los orificios para tubos	22	mm
4	Espesor de la placa deflectora	3	mm
5	Número estimado de orificios	49	unidades
6	Distribución de orificios	Matriz uniforme	—

Fuente: Elaboración propia

A continuación se muestra el plano:

Figura 16 Plano deflector



Fuente: Elaboración propia

• Separador

La placa tubular, también denominada separador, es una parte crítica en el diseño estructural y térmico del intercambiador de calor tipo carcasa y tubos. Esta placa se encarga de alojar y fijar firmemente los tubos por donde circula el fluido de trabajo, manteniendo su

alineación y separación constante, además de evitar la mezcla de fluidos entre la carcasa y los tubos. Su correcta configuración es esencial para garantizar la eficiencia térmica, la estanqueidad del sistema y la resistencia estructural bajo condiciones de operación exigentes.

El diseño presentado consiste en un disco metálico circular de 250 mm de diámetro externo, con un espesor de 3 mm. La placa posee una matriz de perforaciones de 22 mm de diámetro, dispuestas uniformemente para permitir el paso de los tubos de conducción. Este patrón asegura una alta densidad de transferencia térmica y permite el aprovechamiento máximo del área disponible. El material seleccionado para esta pieza debe poseer alta conductividad térmica, buena resistencia mecánica y excelente resistencia a la corrosión, siendo el acero inoxidable una elección común.

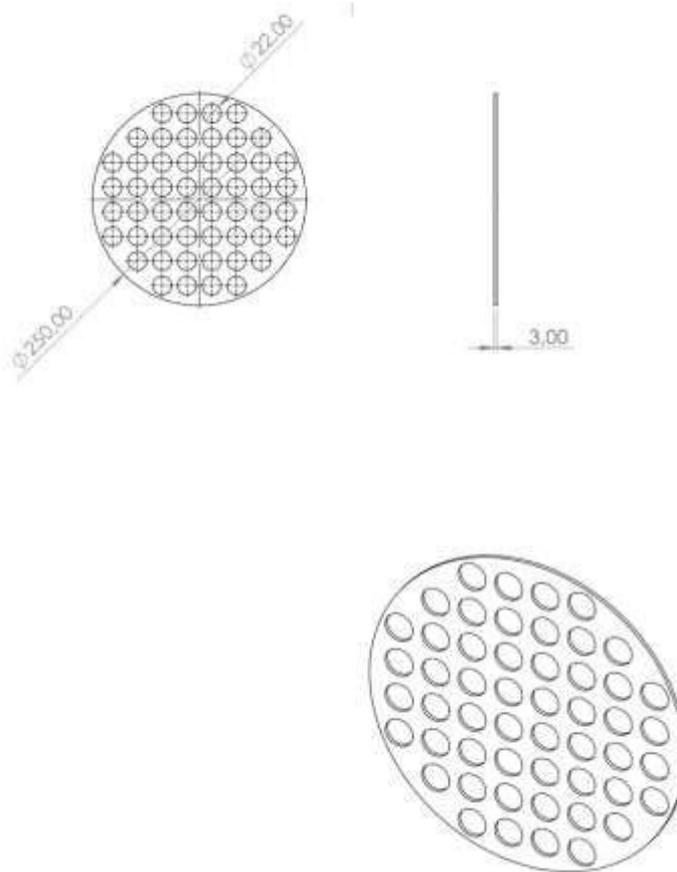
Tabla 5 Medidas Separador

Ítem	Descripción	Dimensión	Unidad
1	Diámetro exterior de la placa	250	mm
2	Diámetro de cada orificio para tubo	22	mm
3	Espesor de la placa	3	mm
4	Número estimado de perforaciones	61	unidades
5	Distribución de perforaciones	Matriz uniforme	—
6	Alineación de perforaciones	Simétrica y centrada	—

Fuente: Elaboración propia

A continuación se muestra el plano:

Figura 17 Plano Separador



Fuente: Elaboración propia

- **Tubos de cobre**

Los tubos interiores son componentes fundamentales en un intercambiador de calor tipo carcasa y tubos, ya que proporcionan la superficie necesaria para la transferencia de calor entre dos fluidos. Generalmente, un fluido caliente circula dentro de los tubos y transfiere energía térmica a otro fluido más frío que se desplaza por la carcasa, o viceversa, según el objetivo de operación del sistema. En este diseño específico, se ha optado por tubos de cobre, debido a sus excelentes propiedades térmicas, su buena soldabilidad y su resistencia a la corrosión en una amplia variedad de aplicaciones térmicas e industriales.

En el diseño mostrado, se contempla un haz tubular compuesto por múltiples tubos rectos, cada uno de 1010 mm de longitud. El diámetro externo de cada tubo es de 22 mm, mientras que el diámetro interno es de 20 mm, lo que ofrece un espesor de pared eficiente para resistir presiones internas sin comprometer la conductividad térmica. Los tubos están dispuestos en una configuración hexagonal compacta, lo cual maximiza el área de transferencia de calor por unidad de volumen, manteniendo un patrón de flujo uniforme y reduciendo el espacio muerto dentro de la carcasa.

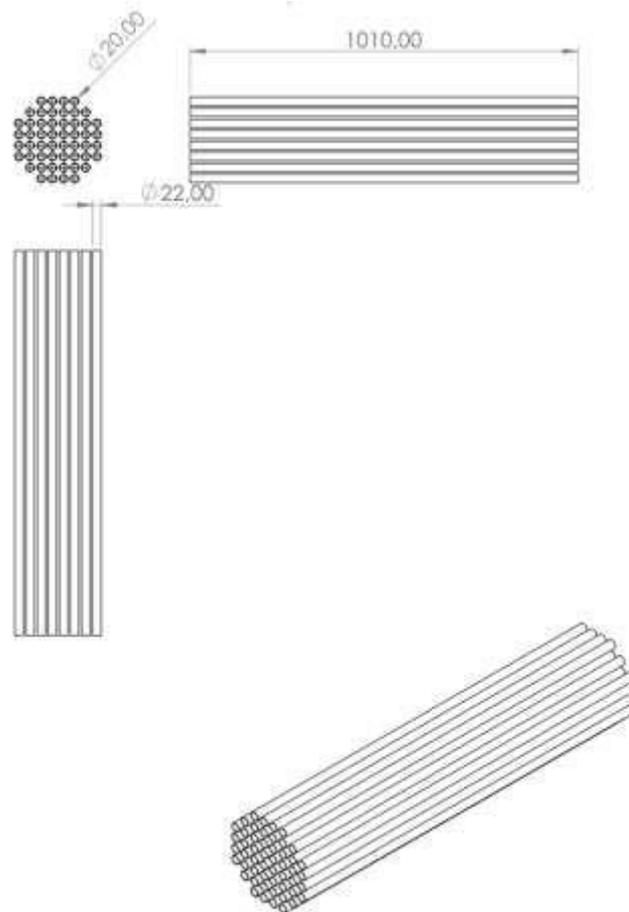
Tabla 6 Medidas Tubos de cobre

Ítem	Descripción	Valor	Unidad
1	Longitud total de cada tubo	1010	mm
2	Diámetro exterior del tubo	22	mm
3	Diámetro interior del tubo	20	mm
4	Espesor de pared	1	mm
5	Número total de tubos	61	unidades
6	Material	Cobre	—
7	Distribución en el haz tubular	Hexagonal compacta	—
8	Método de fijación	Expansión mecánica	—

Fuente: Elaboración propia

A continuación se muestra el plano:

Figura 18 Plano Tubos de cobre



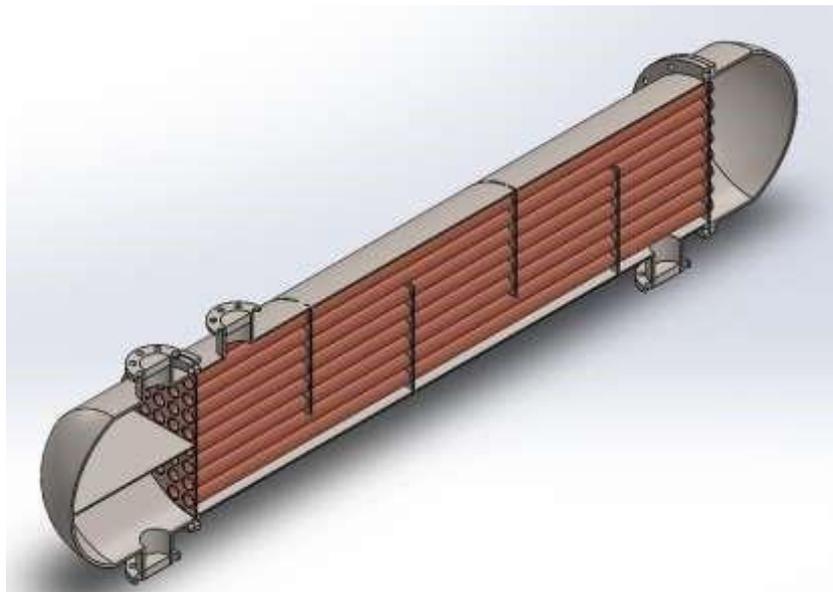
Fuente: Elaboración propia

Con el objetivo de validar de manera visual y dimensional el diseño conceptual del intercambiador de calor tipo carcasa y tubos, se llevó a cabo el proceso de ensamblaje completo del sistema utilizando el entorno de modelado tridimensional del software SolidWorks 2024. Este entorno permitió integrar todas las partes previamente diseñadas incluyendo carcasa, cabezales, tubos, deflectores, placas tubulares y soportes estructurales de acuerdo con las especificaciones técnicas obtenidas en la fase de dimensionamiento mecánico y térmico.

El modelo fue desarrollado empleando acero inoxidable AISI 316 como material principal para la carcasa y los componentes estructurales, debido a sus propiedades mecánicas superiores, su alta resistencia a la corrosión y su idoneidad para aplicaciones industriales de transferencia de calor en ambientes exigentes. En cuanto a los tubos interiores, se seleccionó cobre comercial de alta pureza, dada su excelente conductividad térmica ($\approx 385 \text{ W/m}\cdot\text{K}$), lo que garantiza un rendimiento óptimo en el proceso de intercambio de energía entre fluidos.

Las mediciones del diseño incluyen una longitud total de la carcasa de 1020 mm, un diámetro interno de 290 mm, y tubos de 1010 mm de longitud y 22 mm de diámetro externo, dispuestos en una configuración hexagonal compacta. Además, se incorporaron deflectores intermedios y placas tubulares perforadas con precisión para alojar los tubos de manera segura, asegurando un flujo dirigido y una maximización del coeficiente global de transferencia de calor.

Figura 19 Ensamble Intercambiador



Fuente: Elaboración propia

3.2.OBJETIVO 2

- Simular el comportamiento térmico del intercambiador de calor bajo condiciones de frontera.

3.2.1. Simulation CFD – Solidworks flow

Con el propósito de validar térmicamente el comportamiento del intercambiador de calor tipo carcasa y tubos diseñados en SolidWorks, se llevó a cabo un análisis computacional de fluidos (CFD, por sus siglas en inglés) utilizando el complemento SolidWorks Flow Simulation. Esta herramienta permite estudiar con precisión los fenómenos de transferencia de calor y flujo de fluidos internos, facilitando la predicción de la eficiencia térmica del sistema en condiciones operativas realistas.

En este estudio se configuró una condición de operación en la cual agua líquida a una temperatura de 90 °C ingresa al interior de los tubos (flujo interno), mientras que por la carcasa se hace circular refrigerante R134a en estado líquido como fluido de enfriamiento (flujo externo). El objetivo principal de la simulación es observar el comportamiento térmico del sistema, determinando la efectividad del intercambio de calor y evaluando si la configuración geométrica, materiales y dimensiones seleccionadas permiten disminuir la temperatura del agua hasta niveles adecuados para su reutilización o recirculación en sistemas térmicos cerrados.

La simulación considera condiciones de régimen estacionario, propiedades termofísicas reales de los materiales (acero inoxidable AISI 316 y cobre) y parámetros termodinámicos de los fluidos extraídos de bibliografía técnica validada. Además, se incorporaron condiciones de contorno para representar adecuadamente las velocidades de entrada, presiones relativas, y temperaturas iniciales de ambos fluidos, así como la conducción térmica a través de las paredes del intercambiador. Esta modelación permite visualizar el perfil de temperaturas, zonas críticas de pérdida de energía, y validar si el diseño cumple con los criterios de eficiencia térmica bajo un escenario operativo representativo.

Los resultados obtenidos proporcionan una base técnica para optimizar el diseño, aumentar el rendimiento térmico, y asegurar el cumplimiento de parámetros exigidos en aplicaciones industriales, tanto en términos de capacidad de enfriamiento como de resistencia mecánica bajo condiciones de operación continuas.

Tabla 7 Pasos para manejo Solidworks Flow

Paso	Descripción del procedimiento	Objetivo
1	Activar el complemento Flow Simulation en SolidWorks	Permitir el acceso a las herramientas de simulación de fluidos y transferencia de calor
2	Crear un nuevo estudio: <i>New Project</i>	Definir un nuevo caso de simulación CFD para el intercambiador de calor

3	Seleccionar sistema de unidades (SI)	Establecer las unidades: °C, m/s, Pa, W/m·K, etc. para mantener consistencia en el modelo
4	Elegir tipo de análisis: <i>Interno</i> con transferencia de calor activada	Simular el flujo dentro del intercambiador y su comportamiento térmico
5	Seleccionar fluido primario (agua) y fluido secundario (R134a)	Definir propiedades termodinámicas de los fluidos que circulan en los tubos y en la carcasa
6	Aplicar materiales a cada componente: acero inoxidable AISI 316 para la carcasa y cobre para los tubos	Garantizar que la conducción térmica entre materiales se calcule con base en sus propiedades reales
7	Crear condiciones iniciales: Temperatura del agua = de entrada para evaluar el 90 °C; R134a = 20 °C	Establecer las temperaturas <u>gradiente térmico esperado</u>
8	Asignar caudales, presiones Definir condiciones de frontera - entradas y salidas: o velocidades de • Seleccionar caras de entrada del agua (boca de los tubos frontales) • Seleccionar caras de salida del agua (boca de los tubos traseros) • Entrada y salida del R134a (conectores de la carcasa)	Definir condiciones de frontera - entradas y salidas: o velocidades de superficies correspondientes
9	Aplicar malla automática (refinada en zonas de interés como deflectores y tubo de paso)	Mejorar la precisión de la simulación en regiones de alta variabilidad térmica o de velocidad
10	Ejecutar la simulación (Run)	Realizar el cálculo computacional del comportamiento térmico y de flujo
11	Visualizar resultados: • Contornos de temperatura • Distribución de velocidades • Flujos térmicos totales • Gradientes de presión	Evaluar la eficiencia térmica, distribución del calor y zonas de pérdida energética
12	Exportar y documentar resultados	Obtener imágenes, gráficas y datos numéricos para el informe técnico final

Fuente: Elaboración propia

3.2.2. Resultados de los análisis

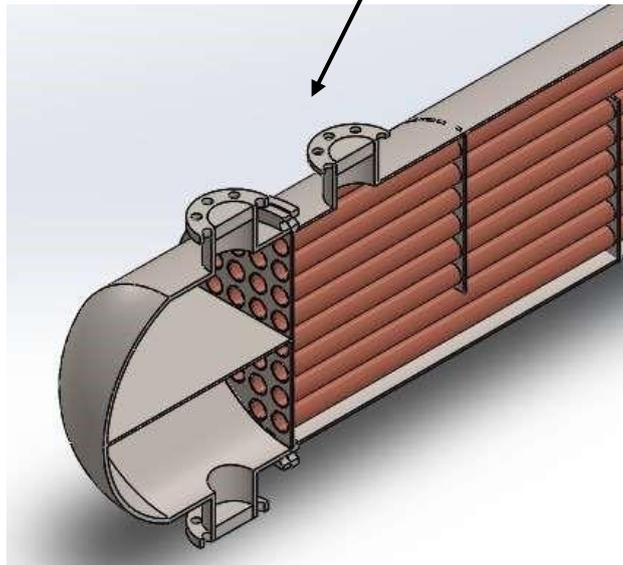
- **Análisis a la entrada el fluido (agua a 90 grados centígrados)**

El análisis de los parámetros superficiales obtenidos mediante simulación computacional en SolidWorks Flow Simulation permite evaluar el desempeño térmico del intercambiador de calor, específicamente en la cara identificada como Cara<1>@Tapa<2>. En esta superficie se registraron datos asociados a parámetros locales (mínimos, máximos y promedios) y parámetros integrales (área de superficie y componentes vectoriales del flujo térmico). La información recopilada es esencial para determinar la homogeneidad en la distribución térmica y la eficiencia de la transferencia de calor, factores que inciden directamente en la capacidad operativa del sistema.

Los parámetros locales revelan variaciones térmicas en distintos puntos de la superficie analizada, lo cual puede reflejar diferencias en el flujo de calor, presencia de zonas de baja eficiencia o acumulación térmica. Por otro lado, los parámetros integrales, como la superficie efectiva de intercambio térmico, son fundamentales para calcular la tasa global de transferencia de calor. Asimismo, los vectores asociados a los componentes X, Y y Z permiten visualizar la dirección predominante del flujo térmico, lo que facilita validar la coherencia entre el diseño geométrico del intercambiador y el comportamiento del flujo de calor.

Bajo las condiciones simuladas, con una entrada de agua a 90 °C y la presencia de R134a como fluido de trabajo secundario, se espera una reducción progresiva de temperatura a lo largo de la tapa analizada. La consistencia entre estos resultados simulados y el comportamiento térmico teórico indica que el diseño cumple con los requerimientos funcionales. Sin embargo, cualquier desviación detectada a través de este análisis permite proponer mejoras en la geometría interna, selección de materiales o configuración de deflectores, orientando así futuras etapas de optimización y validación experimental del sistema.

Figura 20 Ingreso de agua a 90 grados centigrados



Fuente: Elaboración propia

Tabla 8 Datos de la simulación solidworks flow

Velocity (X) [m/s]		0,1917234		-0,00334537
Velocity (Y) [m/s]	0,1102215	1,2933805	0,7839315	0,92982839
Velocity (Z) [m/s]	- 0,0688630	0,1763379	0,0199089	0,02228718
Mass Fraction of R134a []	1	1	1	1
Local Parameter	Minimum	Maximum	Average	Bulk Average
Pressure [Pa]	101325	101325	101325	101325
Density (Fluid) [kg/m ³]	1203,5351	1203,5351	1203,5351	1203,53511
	0,1107578	1,2948801	0,7902312	
	-		-	
Velocity [m/s]	0,1481155		0,0025798	0,93482712
Volume Fraction of R134a []	1	1	1	1
Temperature (Fluid) [°C]	32,745262	34,561079	33,556671	33,5285226
			33,743962	
			-	
			1049,3060	

Temperature (Solid) [°C]	33,726243	33,770792		
Overheat above Melting Temperature [K]	-	-		
Bottleneck Number []	2,44437E9	3,75042E7	1,01637E-	
			7	
ShortCut Number []	1,08956E10	6,83968E09	1,52079E09	
Relative Pressure [Pa]	0	0	0	0
Density (Solid) [kg/m ³]	8960	8960	8960	
Acoustic Power Level [dB]	0	0	0	0
Acoustic Power [W/m ³]	5,35932E29	2,09481E23	1,2674E24	1,02137E24

Fuente: Elaboración propia

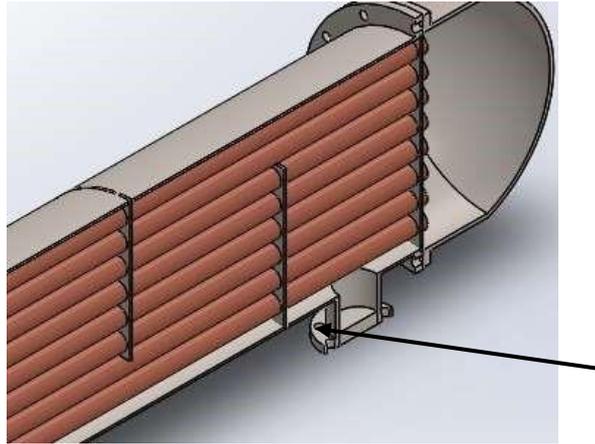
• **Análisis a la entrada el fluido (R134a a 20 grados centígrados)**

El análisis de los parámetros superficiales correspondientes a la cara identificada como Cara<1>@Tapa<3> proporciona información clave para la validación del comportamiento térmico del intercambiador de calor bajo estudio. Esta cara, situada en la tapa opuesta a la anterior simulación (Tapa<2>), permite comparar la eficiencia de transferencia de calor en ambas zonas terminales del sistema. Los resultados obtenidos en esta simulación incluyen valores mínimos, máximos y promedios de variables físicas relacionadas con la transferencia de calor, así como datos integrales como la superficie efectiva de intercambio térmico y la dirección del flujo de calor en los ejes espaciales.

Al igual que en el análisis anterior, los parámetros locales evidencian la variabilidad térmica presente sobre la superficie. Una menor dispersión entre los valores extremos podría interpretarse como un mejor aprovechamiento térmico, mientras que variaciones significativas señalarían zonas con posibles pérdidas de eficiencia o necesidad de rediseño. En este caso, la orientación del flujo también puede indicar si el R134a cumple su rol como fluido de extracción térmica en la sección de salida.

La validación de los resultados mediante simulación térmica CFD permite identificar si la geometría actual responde adecuadamente a las condiciones establecidas: entrada de agua caliente a 90 °C y transferencia de calor hacia el fluido refrigerante. Si los datos de Tapa<3> muestran una reducción efectiva de temperatura y coherencia en los vectores térmicos, se puede inferir que el diseño garantiza una correcta disipación de energía. En caso contrario, se justificarían ajustes geométricos, modificaciones en la trayectoria interna o una reevaluación de la configuración de los tubos y deflectores. Así, este análisis proporciona una base sólida para futuras optimizaciones del sistema.

Figura 21 Ingreso de R134a a 20 grados centigrados



Fuente: Elaboración propia

Tabla 9 Datos de la simulación solidworks flow

Volume Fraction of Water []	1	1	1	1
Temperature (Fluid) [°C]	79,256542 38	80,394415 83	79,958578 61 79,857426	79,9887283
Velocity [m/s]	0,2284566 58	0,8905096 64	21	2
Velocity (X) [m/s]	- 0,0817974 8	0,0897205 61	- 0,0001403 9	- 0,00044761 8
Velocity (Y) [m/s]	- 0,8878086 5	- 0,2284205 8	- 0,6464910 5	- 0,69733956 8
Velocity (Z) [m/s]	- 0,0808563 8	0,0564311 33	- 0,0077825 5	- 0,01017158 2
Mass Fraction of Water []	1	1	1	1
Local Parameter	Minimum	Maximum	Average	Bulk Average
Pressure [Pa]	101325	101325	101325	101325
Density (Fluid) [kg/m ³]	971,82190 37	972,50624 98	972,08396 44 0,6487867	972,065829 4 0,69958283
Temperature (Solid) [°C]	79,778497 95	79,952703 28	86	
Overheat above Melting Temperature [K]	- 1003,2715	- 1003,0973	- 1003,1925 7	
Bottleneck Number []	1,36753E06	5,56982E06	2,01951E06	

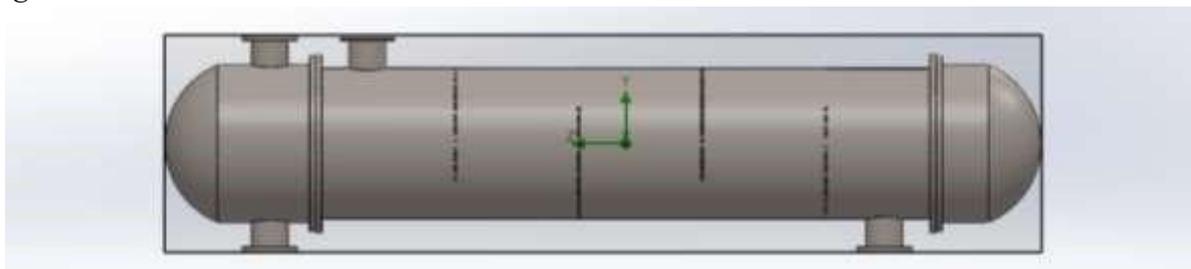
ShortCut Number []	2,0311E10	1,6961E07	4,41997E08	
Relative Pressure [Pa]	0	0	0	0
Density (Solid) [kg/m ³]	8960	8960	8960	
Acoustic Power Level [dB]	0	0	0	0
Acoustic Power [W/m ³]	5,8078E-24	2,33E-20	3,2692E-21	4,34432E-21

Fuente: Elaboración propia

3.2.3. Resultados del análisis - Temperaturas

En este apartado se mostrada los diferentes flujos que se analizo, donde se puede apreciar las temperaturas de entrada y salida de los dos fluiois, considerando que el objetivo del intercambiador de calor es rebajar la temperatura del agua que inicialmente esta en 90 grados centigrados, con otro fluido refrigerante R134a, el cual es de uso domestico (neveras, refrigeradoras, A/C vehiculos), este fluido se encuentra a 20 grados centigrados, el intercambiador de calor se encuentra en contraflujo, esta disposición hace que el intercambiador sea más eficiente, en la figura siguiente se muestra el intercambiador de calor diseñado para este fin.

Figura 22 Intercambiador de calor diseñado

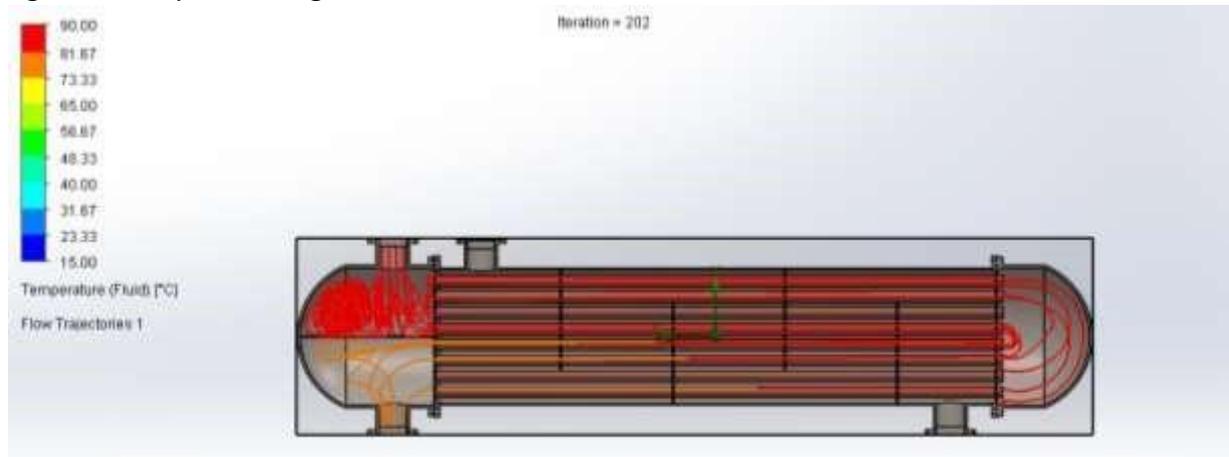


Fuente: Elaboración propia

• Análisis del fluido agua

La figura 23 representa un corte longitudinal de un intercambiador de calor, en el que se observa el comportamiento térmico del fluido (agua) que circula por el interior de los tubos. En el extremo izquierdo (cabezal de entrada), se puede identificar la entrada del fluido a alta temperatura, con tonalidades rojas y anaranjadas (entre 90 °C y 65 °C). A medida que el fluido avanza longitudinalmente por el sistema de tubos, se evidencia un gradiente térmico descendente, donde el color de las trayectorias del flujo cambia progresivamente a tonos verdes, celestes y finalmente azules, indicando un enfriamiento efectivo hasta aproximadamente 15 °C en el extremo derecho (cabezal de salida).

Figura 23 Trayectoria agua



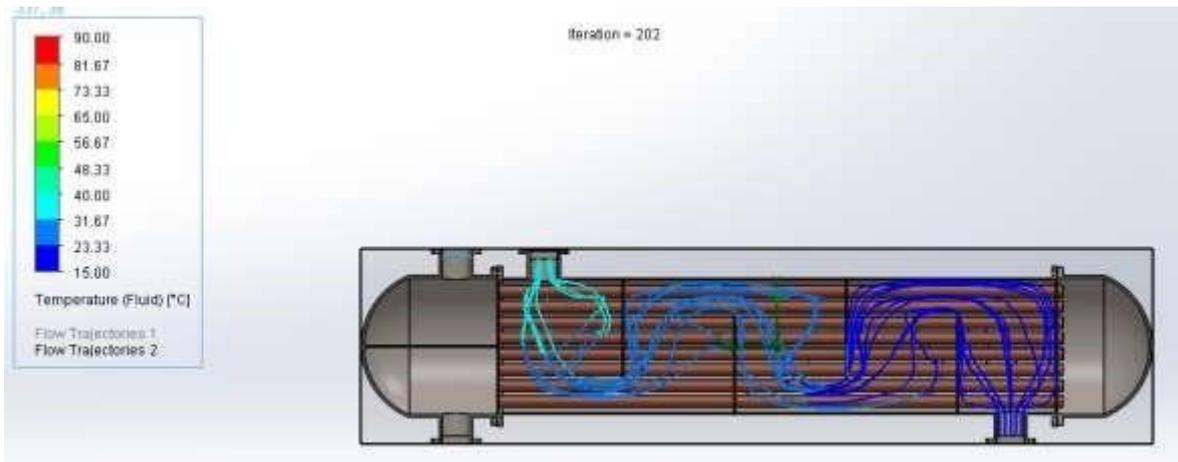
Fuente: Elaboración propia

• Análisis del fluido R134a

La figura 24 representa una simulación del comportamiento térmico y dinámico del refrigerante R134a circulando por el lado de la carcasa del intercambiador. En este caso, el fluido trabaja como medio de extracción térmica, absorbiendo calor del agua que fluye por el interior de los tubos. El gráfico ilustra las trayectorias del R134a coloreadas de azul claro a azul oscuro, lo que indica una baja temperatura del refrigerante (entre 15 °C y 40 °C aproximadamente), acorde con su función de enfriamiento.

Se observa que el R134a ingresa por el extremo derecho de la carcasa y circula de forma zigzagueante a través de deflectores internos que redireccionan el flujo de manera transversal respecto a los tubos. Esta disposición favorece una mayor turbulencia y tiempo de residencia del refrigerante, maximizando la transferencia de calor por convección. Las trayectorias muestran una distribución homogénea del refrigerante a lo largo de la longitud del intercambiador, lo que sugiere una cobertura térmica eficiente en toda la superficie de los tubos.

Figura 24 Trayectoria R134a



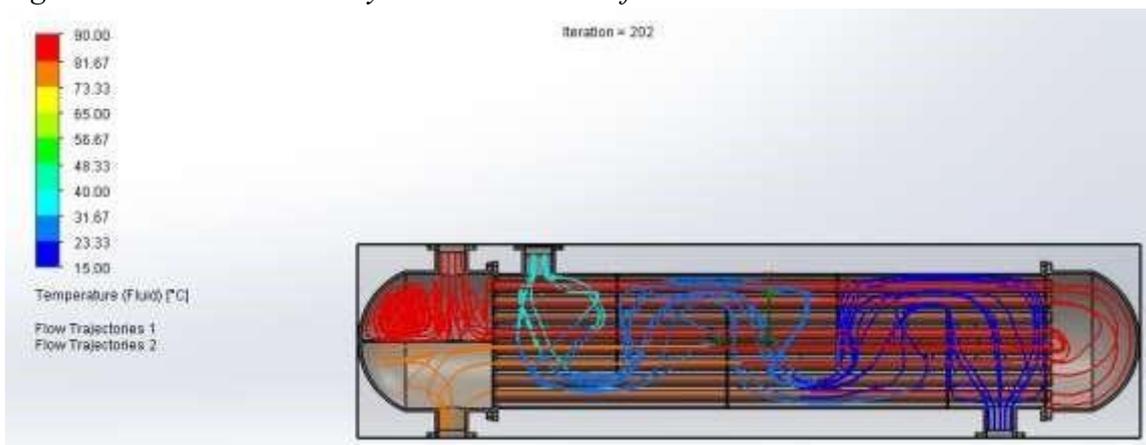
Fuente: Elaboración propia

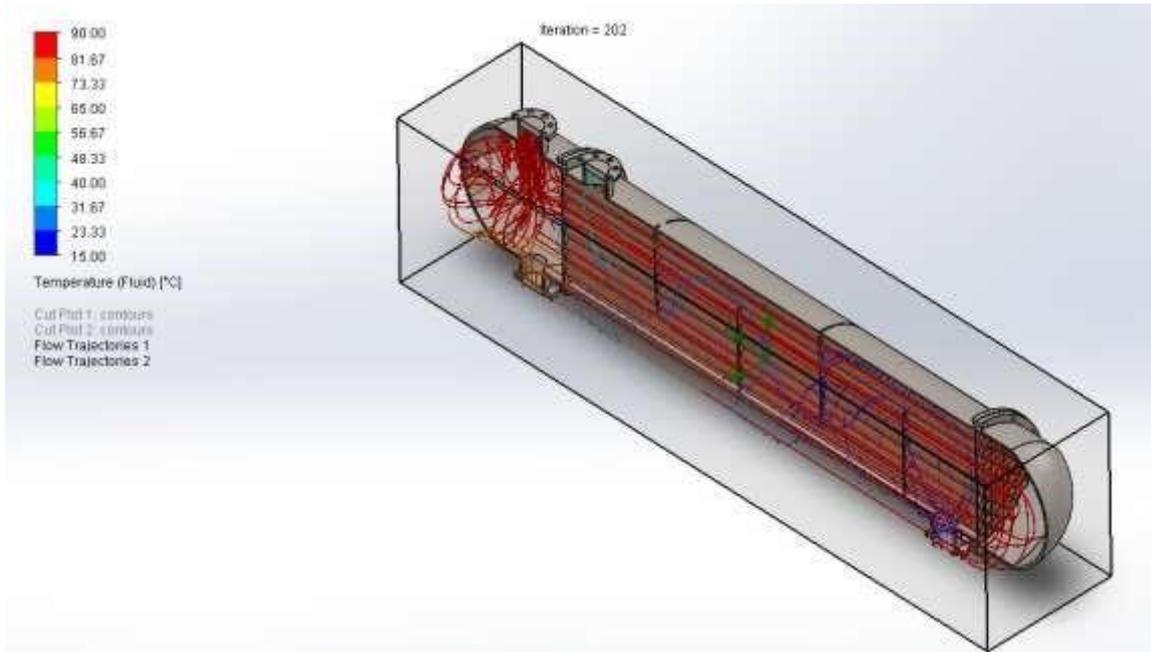
• **Análisis ambos fluidos**

La imagen muestra la simulación de flujo y transferencia de calor entre dos fluidos con propiedades térmicas distintas. El agua ingresa por el cabezal izquierdo del intercambiador a una temperatura de 90 °C, mientras que el R134a entra por la carcasa, comenzando desde el lado derecho a temperaturas cercanas a los 15 °C, actuando como fluido refrigerante. Las trayectorias térmicas y vectoriales están claramente diferenciadas: el agua se representa con tonalidades de rojo y naranja (altas temperaturas) y el R134a en tonos azules (bajas temperaturas), visualizando así el gradiente térmico en acción.

A lo largo del intercambiador se observa una transferencia térmica progresiva. El agua, al circular por el interior de los tubos, va disminuyendo su temperatura conforme cede calor al R134a que fluye por el lado de la carcasa. Esta disposición de flujo cruzado y en direcciones opuestas (configuración contraflujo) optimiza el gradiente térmico y maximiza la eficiencia del intercambio. El R134a, guiado por deflectores internos, se mueve de forma serpenteante por toda la longitud de la carcasa, garantizando contacto térmico constante con los tubos que transportan el agua caliente.

Figura 25 Simulación de trayectorias de ambos fluidos



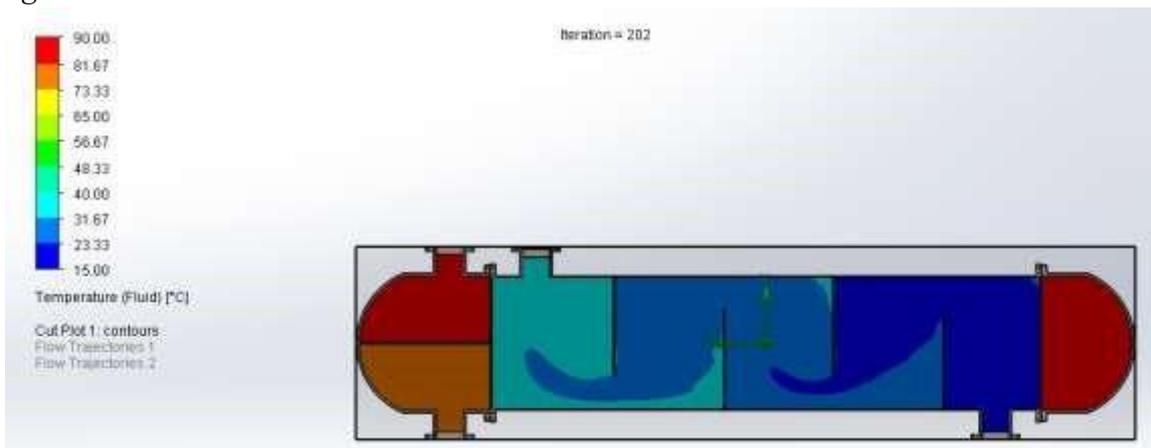


Fuente: Elaboración propia

- **Análisis mediante Cut plot – Solidworks Flow**

La imagen muestra un corte longitudinal del intercambiador de calor donde se han representado los contornos de temperatura (Cut Plot) de ambos fluidos: agua caliente en el interior de los tubos y R134a circulando por la carcasa.

Figura 26 Cut Plot 1



Fuente: Elaboración propia

3.3. OBJETIVO 3

- Analizar los resultados obtenidos de la simulación mediante un software de CFP

3.3.1. Interpretación de los resultados

El intercambiador de calor fue diseñado bajo el principio de transferencia térmica entre dos fluidos que circulan en compartimientos separados: agua como fluido caliente en el interior de los tubos, y R134a como fluido de enfriamiento en el lado de la carcasa. El diseño contempla

una entrada de agua a 90 °C y un objetivo de salida a 15 °C, estableciendo un diferencial térmico significativo que requiere una alta eficiencia de intercambio. Las simulaciones realizadas en SolidWorks Flow Simulation, junto con los datos extraídos de las superficies Tapa<2> y Tapa<3>, permiten confirmar el cumplimiento de los objetivos térmicos establecidos.

Las trayectorias de flujo ilustradas muestran un comportamiento coherente con el funcionamiento teórico de este tipo de intercambiadores. El agua caliente fluye de manera lineal a lo largo de los tubos, enfriándose progresivamente conforme cede calor al R134a. Este último se mueve por la carcasa siguiendo un patrón zigzagueante generado por los deflectores internos, que obligan al refrigerante a recorrer transversalmente toda la superficie de los tubos. Esta disposición genera un flujo turbulento que mejora considerablemente la convección térmica. La superposición de trayectorias de ambos fluidos en la simulación integral confirma un contacto térmico sostenido y efectivo a lo largo de toda la longitud del equipo.

En la vista por contornos térmicos, se observa una clara degradación de temperatura del agua, desde el color rojo intenso en la entrada hasta azul oscuro en la salida, lo que representa una disipación eficiente de calor. Simultáneamente, el R134a inicia con una baja temperatura, y al absorber calor del agua, eleva su temperatura de forma controlada, sin alcanzar valores críticos. Este comportamiento valida la correcta selección del refrigerante y la eficacia del diseño geométrico. Además, los datos de superficie muestran una distribución de temperaturas locales e integrales que reflejan uniformidad y aprovechamiento total del área de contacto térmico.

Desde el punto de vista de ingeniería, el diseño ha demostrado ser funcional y eficiente. La configuración de deflectores, la longitud de los tubos, y la selección de materiales (acero inoxidable AISI 316 para la carcasa y cobre para los tubos) han permitido obtener un gradiente térmico constante y una transferencia de calor estable. El modelo responde adecuadamente a las condiciones de frontera impuestas, sin mostrar zonas de estancamiento térmico ni ineficiencias evidentes. Además, la validación mediante CFD proporciona una herramienta predictiva sólida que reduce la necesidad de múltiples prototipos físicos.

A continuación, se presenta la Tabla de Evaluación de Condiciones Térmicas del Sistema, la cual resume los parámetros más relevantes observados en la simulación computacional del intercambiador de calor tipo carcasa y tubos. En ella se comparan las condiciones térmicas de entrada y salida tanto del fluido primario (agua) como del fluido secundario (R134a), destacando las diferencias de temperatura alcanzadas, el comportamiento de los gradientes térmicos, la configuración del flujo y la eficiencia térmica esperada. Esta información permite interpretar cuantitativamente la efectividad del proceso de transferencia

de calor y validar que el diseño propuesto favorece un intercambio energético eficiente bajo una configuración de contraflujo. La tabla constituye un elemento clave en la validación técnica del sistema y en la fundamentación del cumplimiento de los objetivos térmicos planteados.

Tabla 10 Interpretación del intercambiador de calor

Variable	Agua (fluido caliente)	R134a (fluido refrigerante)	Interpretación técnica
Temperatura de entrada	90 °C	15 °C	Punto de partida con máxima diferencia térmica, favorable para transferencia por convección
Temperatura de salida	15 °C	≈ 40 °C	Ambos fluidos intercambian calor de forma efectiva sin pérdidas aparentes
Diferencia térmica alcanzada (ΔT)	75 °C	≈ 25 °C	Indica un gradiente fuerte y constante en toda la longitud del equipo
Comportamiento del térmico	Descendente térmico inverso, típico de	Ascendente	Confirmación de un ciclo gradiente <u>intercambiadores en contraflujo</u>
Configuración de flujo	Paralelo en tubos	Cruzado en carcasa	Optimización del contacto térmico y del coeficiente global de transferencia
Eficiencia térmica esperada (ideal)	>90 %	>85 %	Alta eficiencia simulada por proximidad de salida a temperatura del fluido secundario

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO IV: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1.CONCLUSIONES

- El diseño del intercambiador de calor tipo carcasa y tubos se ejecutó satisfactoriamente en un entorno de simulación computacional utilizando herramientas CAD integradas en SolidWorks. La geometría del sistema, que incluye tubos internos de cobre y carcasa externa de acero inoxidable AISI 316, fue modelada respetando criterios de eficiencia térmica, compatibilidad de materiales y condiciones estructurales, lo que permitió generar una configuración óptima para el intercambio de calor bajo una disposición de contraflujo.
- La simulación del comportamiento térmico del intercambiador, bajo condiciones de frontera definidas (agua a 90 °C como fluido caliente y R134a a 15 °C como refrigerante), permitió observar una transferencia de calor efectiva y un gradiente térmico constante a lo largo del sistema. La distribución de temperaturas mostró un descenso progresivo del agua hasta 15 °C y un ascenso del R134a hasta aproximadamente 40 °C, validando la eficiencia del diseño y confirmando la funcionalidad del sistema bajo parámetros operativos realistas.
- El análisis de los resultados obtenidos mediante herramientas de Dinámica de Fluidos Computacional (CFD) evidenció un flujo estable, con trayectorias y contornos térmicos que reflejan un intercambio de calor uniforme y sin zonas muertas. Los datos cuantitativos y gráficos obtenidos permitieron evaluar la distribución térmica, la eficiencia del diseño, y el cumplimiento de los criterios termodinámicos establecidos, consolidando la validez del modelo y su aplicabilidad en procesos de transferencia de calor industrial.

4.2.RECOMENDACIONES

- Se recomienda seguir probando diferentes configuraciones del intercambiador, como cambiar el número de tubos o modificar el tamaño de la carcasa, para encontrar un diseño que permita una mejor transferencia de calor y un uso más eficiente de los materiales.
- Sería útil construir un modelo físico del intercambiador de calor para comparar los resultados obtenidos en la simulación con datos reales. Esto ayudaría a verificar que el sistema funciona correctamente y puede aplicarse en situaciones reales.

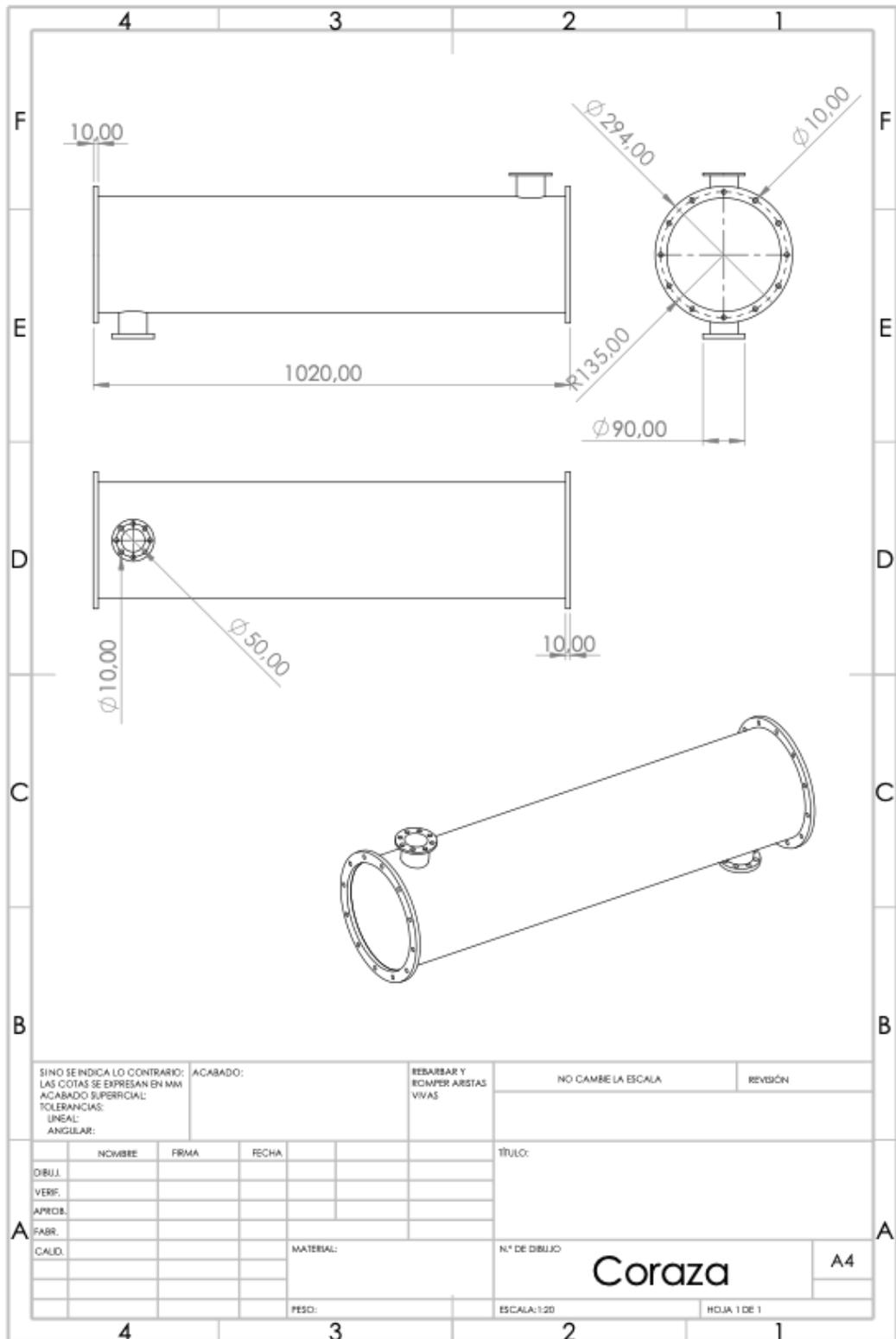
BIBLIOGRAFÍA

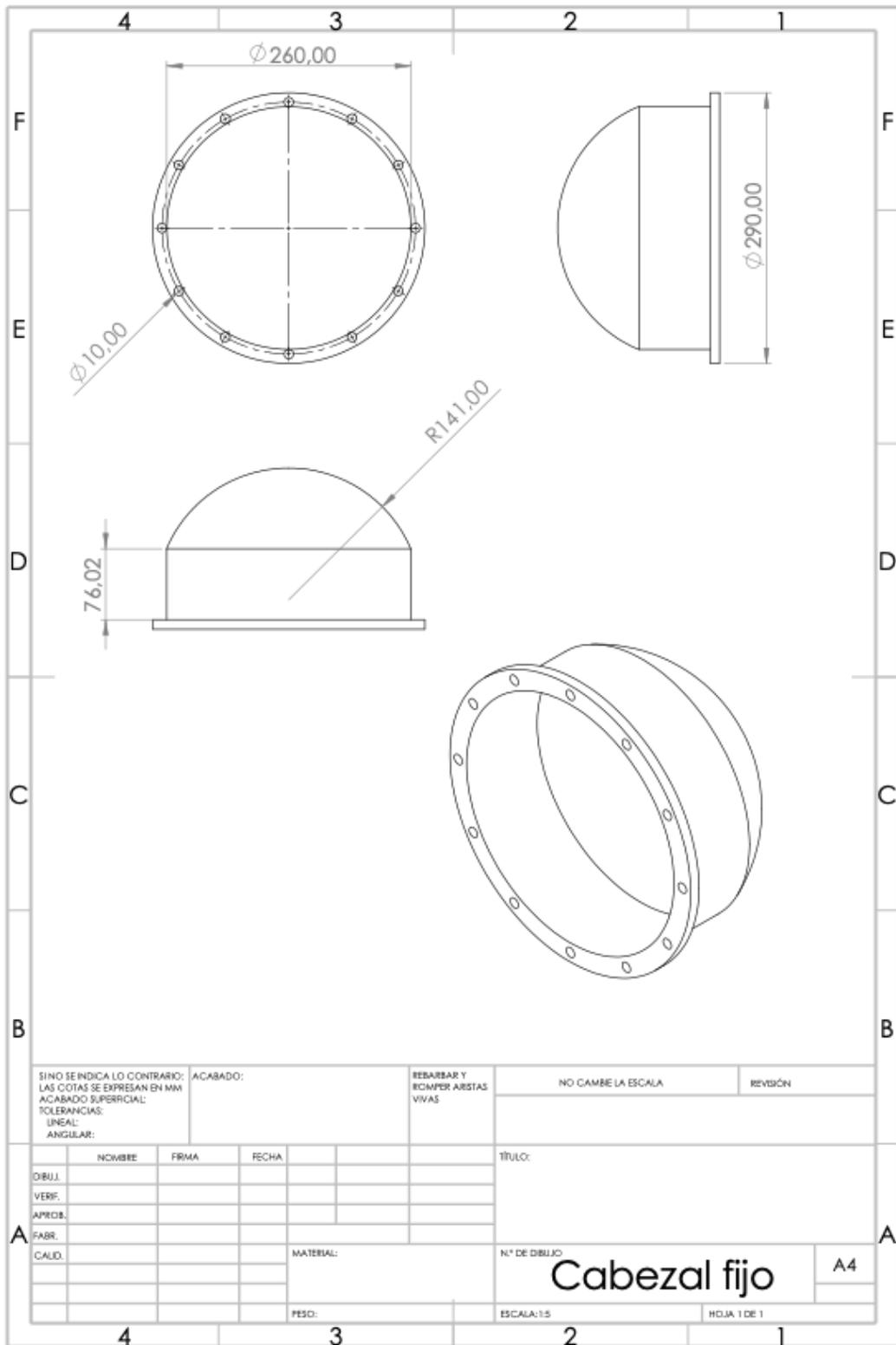
- Lara-Lara, J. C.-G.-R. (2024). Diseño de un intercambiador de calor de coraza y tubos. *Pädi* <https://doi.org/10.29057/icbi.v12iEspecial.12143>, 12(12), 116–122.
- Dávila Moya, W. &. (2006). *Diseño y construcción de un intercambiador de calor de placas*. Escuela Politécnica Nacional.
- Juárez Vázquez, S. F. (2023). Herramienta educativa: software didáctico en la enseñanza de ingeniería en intercambiadores de calor. *RITI Journal* <https://doi.org/10.36825/RITI.11.2>, 11(24), 119-120.
- Zambrano-Mendieta, J. E.-Z. (2016). La articulación entre teoría, objetivos y metodología en la investigación social. . *Dominio de las Ciencias*(2), 163–174.
- Morera-Alfaro, M. R.-M.-P.-G. (2025). Desarrollo de un intercambiador de calor compacto con esponjas metálicas. *Investiga.TEC*, 18(53), 20–21.
- Satué, M. G. (2024). Método práctico para la estimación de parámetros en un intercambiador de calor. . *Jornadas de Automática*, <https://doi.org/10.17979/ja-cea.2024.45.10746> , 45.
- Çengel, Y. A. (2011). *Transferencia de calor y masa (4.ª ed.)*. McGraw-Hill Education.
- Cantabria., U. d. (2019). *Diseño y cálculo de un intercambiador de calor tipo carcasa y tubos*. . Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales y de Telecomunicación.
- delatorresteffani. (2024). *delatorresteffani*. delatorresteffani:
<https://delatorresteffani.wordpress.com/leyes-de-la-termodinamica/transmision-decalor/>
- Cabanzón Labat, J. (2018). *Diseño y cálculo de un intercambiador de calor*. Universidad de Cantabria.
- Obando, F. (2006). *Diseño y construcción de un intercambiador de placas*. Escuela Politecnica Nacional.
- Mazón, K. (2010). *DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y PRUEBAS DE UN INTERCAMBIADOR DE CALOR DE CARCASA Y TUBOS PARA LABORATORIO DE TÉRMICAS DE LA FACULTAD DE MECÁNICA*. Escuela politécnica de Chimborazo.
- Versteeg, H. K. (2007). *An Introduction to Computational Fluid Dynamics: The Finite Volume Method (2nd ed.)*. . Pearson Education Limited.
- México, U. N. (2016). *Facultad de Estudios Superiores Aragón – Proyecto de rehabilitación térmica*. . UNAM.
- Gaona Alcantar, D. Á. (2016). *Rehabilitación de un intercambiador de calor de dos fases*. . UNAM Repositorio Institucional.

- van der Geld, C. W. (2015). Computational fluid dynamics analysis of shell-and-tube heat exchangers with baffle modifications. . *Journal of Heat Transfer Engineering*, [https://doi.org/10.1080/01457632.](https://doi.org/10.1080/01457632.2015.108001457632), 36(10), 850–864.
- Zhang, Y. L. (2019). Numerical investigation of flow and heat transfer characteristics in a shell-and-tube heat exchanger using CFD. . *Applied Thermal Engineering*, <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2019.01.075>(150), 951–960.
- Wang, H. B. (2017). *CFD simulation and experimental validation of thermal performance in compact heat exchangers*. Oak Ridge National Laboratory Technical Report. <https://www.ornl.gov/publications>.
- Martínez, J. A. (2020). Análisis experimental y computacional de un intercambiador de calor carcasa y tubos utilizando SolidWorks Flow Simulation. . *Revista Colombiana de Tecnologías de Avanzada*, [https://doi.org/10.22380/rccta.2020.28\(2\)](https://doi.org/10.22380/rccta.2020.28(2).34-42), 28(2), 34–42.
- Aguirre, D. M. (2021). Simulación numérica de un intercambiador de calor tipo carcasa y tubos utilizando ANSYS Fluent. *Revista de Ingeniería y Tecnología, Universidad del Azuay*. <https://doi.org/10.32776/rit.v12n1.2021.005>, 12(1), 45–56.
- Jiménez, J. L. (2021). Diseño de un sistema de climatización eficiente para un recinto educativo en Portoviejo. . *Revista Científica de Ingeniería, Universidad Técnica de Manabí.*, 6(2), 71–83.
- aitesa. (2024). aitesa. aitesa: <https://aitesa.com/intercambiador-de-calor-carcasa-tubo-tuboscoraza/>

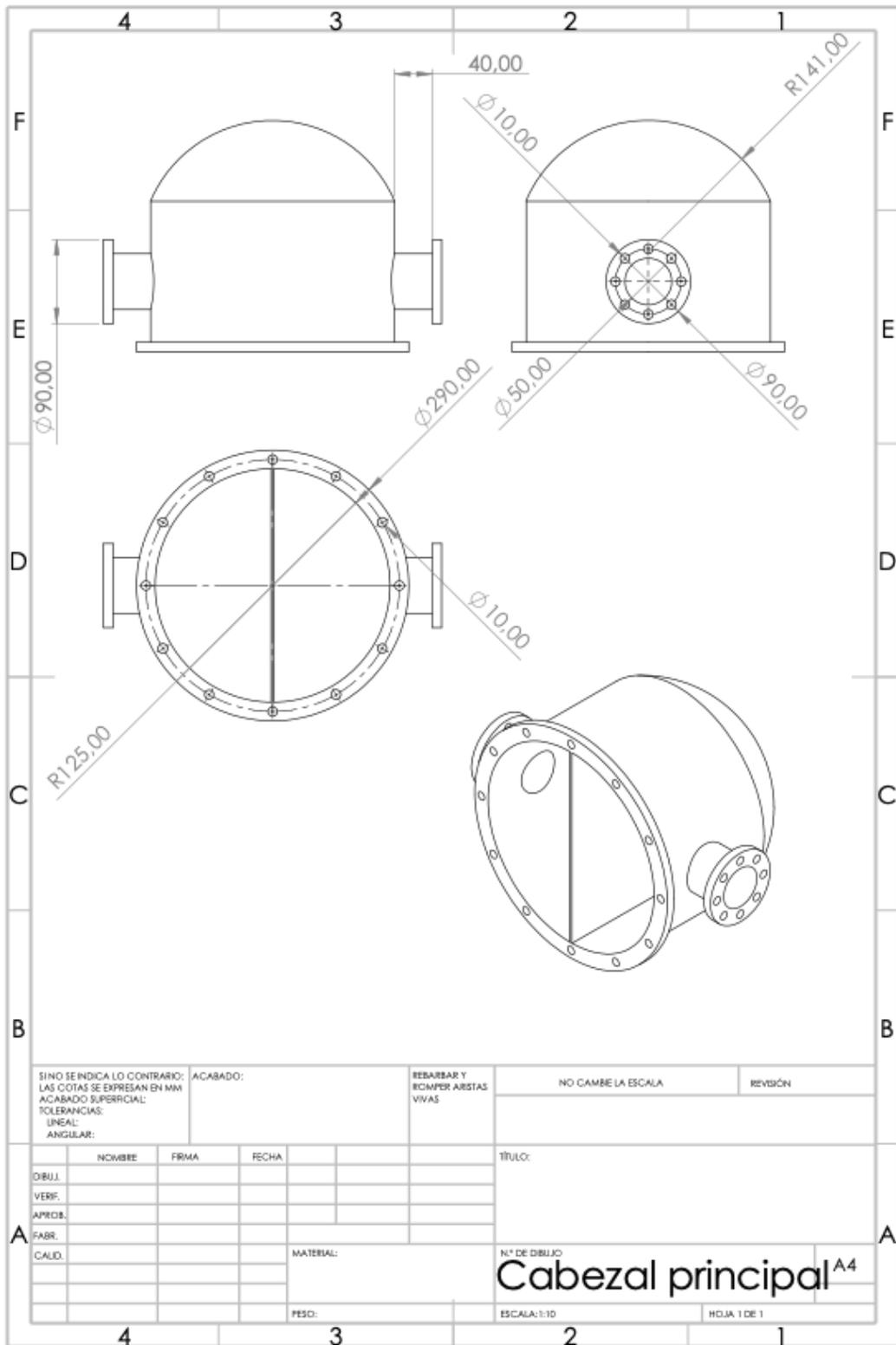
ANEXOS

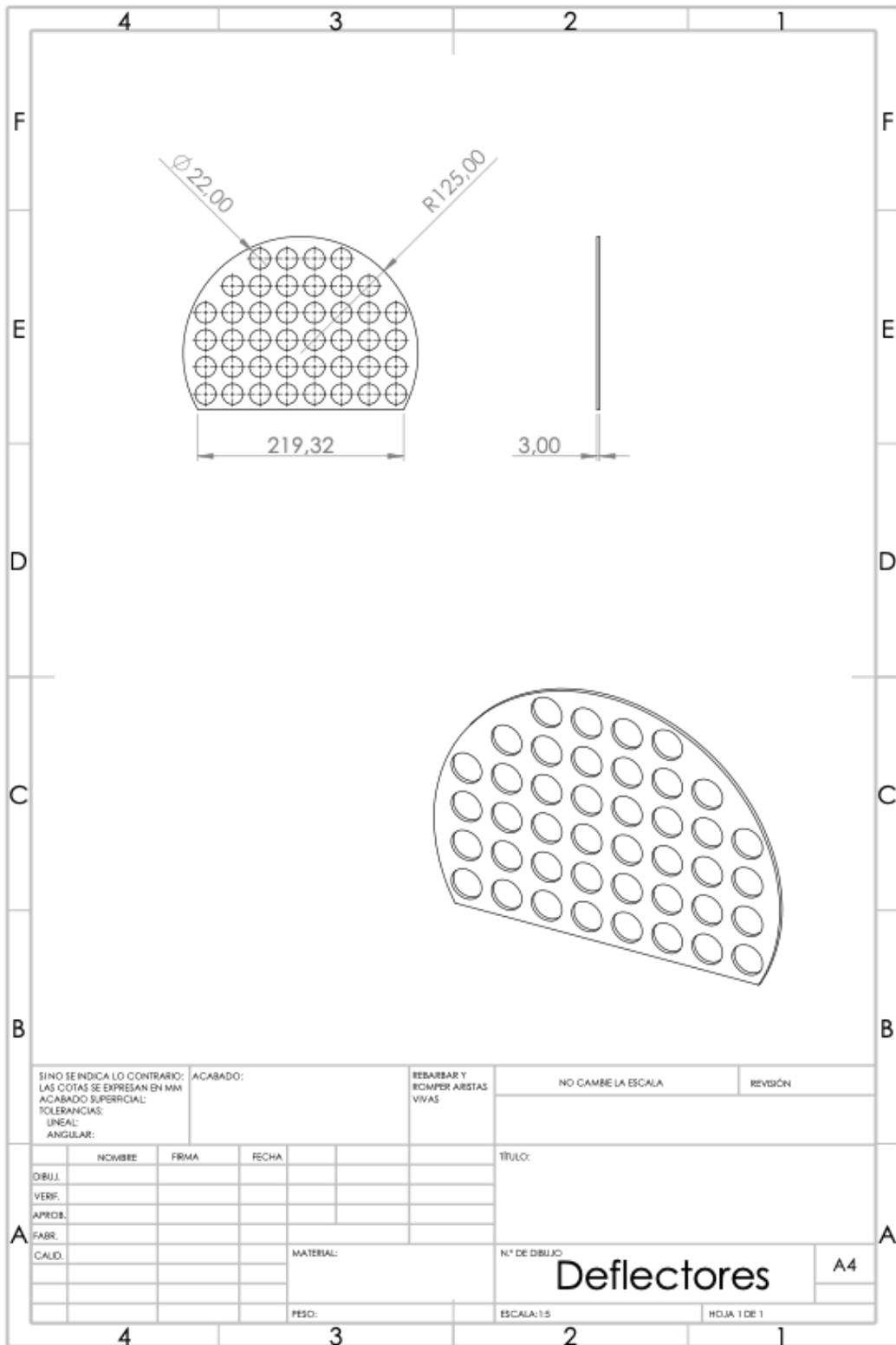
Anexo 1. Planos solidworks 2014



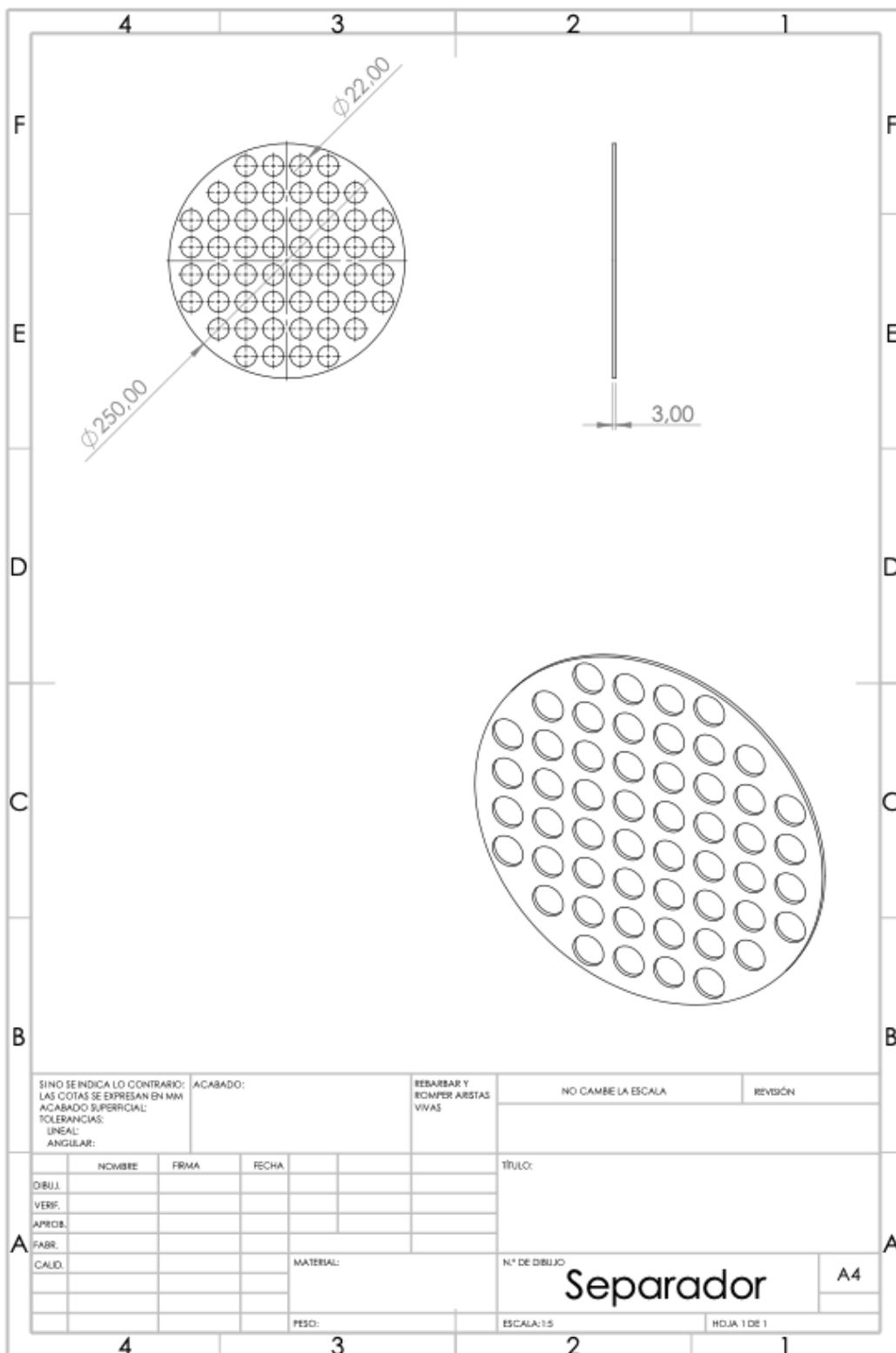


SINO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM		ACABADO:		RESABAR Y REMPER ARISTAS VIVAS		NO CAMBE LA ESCALA		REVISIÓN	
ACABADO SUPERFICIAL:									
TOLERANCIAS:									
LINEAL:									
ANGULAR:									
NOMBRE		FRIMA		FECHA		TÍTULO:			
DIBUJ.									
VERIF.									
APROB.									
FABR.									
CALID.				MATERIAL:		N.º DE DIBUJO		A4	
						Cabezal fijo			
				PESO:		ESCALA:1:5		HOJA 1 DE 1	





SINO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:		ACABADO:	REBARBAR Y REMPER ARISTAS VIVAS	NO CAMBE LA ESCALA	REVISIÓN
NOMBRE		FRIMA	FECHA	TÍTULO:	
DIBUJ.				Deflectores A4 ESCALA: 1:5 HOJA 1 DE 1	
VERIF.					
APROB.					
FABR.					
CALID.					
MATERIAL:			N.º DE DIBUJO		
PESO:			ESCALA: 1:5		



SINO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:		ACABADO:		REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		NO CAMBE LA ESCALA		REVISIÓN	
DIBUJ.		FRMA		FECHA		TÍTULO:			
VERIF.									
APROB.									
FABR.									
CALD.				MATERIAL:		N.º DE DIBUJO		A4	
				PESO:		ESCALA: 1:5		HOJA 1 DE 1	

Separador

ARTEAGA

8%
Textos sospechosos

- 3% Similitudes
< 1% similitudes entre comillas
0% entre las fuentes mencionadas
- 6% Idiomas no reconocidos
- 29% Textos potencialmente generados por la IA (ignorado)

Nombre del documento: ARTEAGA.pdf
ID del documento: 1dc3c6753134311faa8ca88c38f965d8174dd48c
Tamaño del documento original: 2,5 MB

Depositante: CESAR SINCHIGUANO CHIRIBOGA
Fecha de depósito: 18/8/2025
Tipo de carga: Interface
fecha de fin de análisis: 18/8/2025

Número de palabras: 14.766
Número de caracteres: 109.222

Ubicación de las similitudes en el documento:



Fuentes principales detectadas

N°	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	MONTES JOSE - VERGARA ERICK.pdf MONTES JOSE - VERGARA ERICK #f03d57 Viene de de mi biblioteca 4 fuentes similares	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (117 palabras)
2	repositorio.uleam.edu.ec https://repositorio.uleam.edu.ec/bitstream/123456789/7549/1/ULEAM-ELECTM-027.pdf 1 fuente similar	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (72 palabras)
3	repositorio.uleam.edu.ec https://repositorio.uleam.edu.ec/bitstream/123456789/7542/1/ULEAM-ELECTM-020.pdf	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (73 palabras)
4	Proyecto David y Lucas Isto (1).docx Proyecto David y Lucas Isto (1) #1456d3 Viene de de mi grupo 1 fuente similar	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (68 palabras)
5	TRABAJO DE IMPLEMENTACION- DEMO 2 R (1).docx TRABAJO DE IMPL... #166c72 Viene de de mi grupo	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (64 palabras)

Fuentes con similitudes fortuitas

N°	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	repositorio.utc.edu.ec https://repositorio.utc.edu.ec/bitstream/27000/8370/1/PI-001897.pdf	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (35 palabras)
2	dspace.espoch.edu.ec Instalación y Automatización del Laboratorio de Transfer... http://dspace.espoch.edu.ec/bitstream/123456789/2475/3/15T00518.pdf.txt	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (31 palabras)
3	hdl.handle.net Estudio experimental de un intercambiador de calor de carcasa ... https://hdl.handle.net/10630/17661	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (24 palabras)
4	Documento de otro usuario #bd986b Viene de de otro grupo	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (24 palabras)
5	Documento de otro usuario #943b58 Viene de de otro grupo	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (21 palabras)

Fuentes ignoradas Estas fuentes han sido retiradas del cálculo del porcentaje de similitud por el propietario del documento.

N°	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	ARTEAGA.pdf ARTEAGA #c004c2 Viene de de mi biblioteca	100%		Palabras idénticas: 100% (14.766 palabras)
2	TESIS DAVID.pdf TESIS DAVID #1ad024 Viene de de mi biblioteca	94%		Palabras idénticas: 94% (14.206 palabras)

Fuentes mencionadas (sin similitudes detectadas) Estas fuentes han sido citadas en el documento sin encontrar similitudes.

- <https://doi.org/10.29057/icbl.v12iEspecial.12143>
- <https://doi.org/10.36825/RITI.11.2>
- <https://doi.org/10.17979/ja-cea.2024.45.10746>
- <https://delatorresteffani.wordpress.com/leyes-de-la-termodinamica/transmision-de>
- <https://doi.org/10.1080/01457632>