



**Construcción de un Intercambiador de Calor Tubular de Carcasa para el
Laboratorio de la Universidad Antonio Nariño de Neiva Huila**

Francisco Javier Andrade Diaz

Código 20451912520

Universidad Antonio Nariño

Programa Ingeniería Mecánica

Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica

Neiva (Huila), Colombia

Noviembre, 2022

**Construcción de un Intercambiador de Calor Tubular de Carcasa para el
Laboratorio de la Universidad Antonio Nariño de Neiva Huila**

Francisco Javier Andrade Diaz

Proyecto de grado presentado como requisito parcial para optar al título de:

Ingeniero Mecánico

Director (a):

Ing. Martha Lucia Solano

Línea de Investigación:

Materiales y energía.

Universidad Antonio Nariño

Programa Ingeniería Mecánica

Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica

Neiva (Huila), Colombia

Noviembre, 2022

NOTA DE ACEPTACIÓN

El trabajo de grado titulado

_____.

Cumple con los requisitos para optar

Al título de _____.

Firma del Tutor

Firma Jurado

Firma Jurado

Ciudad, Día Mes Año.

Contenido

	Pág.
Resumen	5
Abstract	6
Introducción	7
Capitulo I. Antecedentes	10
Objetivo general	14
Objetivos específicos	14
Justificación	15
Capitulo II. Marco Teórico	18
2.1 Propiedades de agua	18
2.1.1 Calor específico	18
2.1.2 Densidad	19
2.1.2 Viscosidad	20
2.2 Caudal	21
2.2.1 Presión	22
2.2.2 Calor y temperatura	23
2.3 Tipo de intercambiadoras de calor	23
2.3.1 Tipo de aplicación de los intercambiadores	24
2.3.2 Partes de un intercambiador de calor	25

2.4 Tipos de intercambiadores según la dirección del flujo	26
2.4.1 Flujo paralelo	26
2.4.2 Contraflujo	26
2.4.3 Flujo Cruzado	27
2.4.4 De un Solo Paso (Paso Simple)	28
2.4.5 De Múltiples Pasos	29
2.4.6 Intercambiador Regenerativo	29
2.5 Configuración de los tubos	30
2.6 Marco legal	32
2.6.1 Norma ASTM para la selección de materiales en tubería.	32
2.6.2 Asme b31	32
Capitulo III. Caracterización del Equipo	33
3.1 Criterios para la caracterización del equipo	35
Capitulo IV. Diseño del intercambiador de calor	38
4. 1 Intercambiador de calor	38
4.2 Parámetros usados en agua a emplear	39
4.3 Análisis para determinar el flujo másico del agua en frío (m _f)	43
4.4 Cálculo del calor específico mínimo para entre los fluidos (C _{min})	46
Capitulo V. Construcción del intercambiador de calor	54
5.1 Procedimiento	55

Capítulo VI. Prueba y práctica en entorno educativo.	63
6.1 Prueba y validación de resultados	63
6.1.1 Procedimiento Preoperacional	63
6.1.2 Comprobación del intercambio de calor	64
Conclusiones y recomendaciones	72
Conclusiones	72
Recomendaciones	72
Referencias Bibliográficas	74
Anexos	78
Anexo 1. calores específicos del agua	78
Anexo 2. Plano de soporte para tubos internos	79
Anexo 3. Plano de tubos	80
Anexo 4. Plano de unión de soportes	81
Anexo 5. Plano ensamble tubería interna	82
Anexo 6. Plano soporte para tubo interno	83
Anexo 7. Plano tapa carcasa	84
Anexo 8. Plano unión de soporte carcasa	85
Anexo 9. Plano de carcasa	86

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 2 - 1 partes del intercambiador tubular.	24
Figura 2 - 2 Flujo paralelo.	25
Figura 2 - 3 Contraflujo.	26
Figura 2 - 4 Flujo Cruzado	26
Figura 2 - 5 Flujo para condensador a vapor.	27
Figura 2 - 6 Fluido de un solo paso.	28
Figura 2 - 7 Fluido regenerativo.	29
Figura 2 - 8 Arreglo de los tubos en el interior de la corasa.	30
Figura 5- 1 Separadores y corte para desvió de fluido.	51
Figura 5- 2 Doblado de tubos y armado de tubería interna.	52
Figura 5- 3 Aplicación de soldadura al cuerpo de la tubería interna.	53
Figura 5- 4 Preparación de carcasa.	54
Figura 5- 5 Preparación de tapa de cierre y recamara de separación.	55
Figura 5- 6 Perforación de caras de contacto de la carcasa.	56
Figura 5- 7 Pintado con material anticorrosivo.	57
Figura 5- 8 Doblado de tubos y armado de tubería interna	57
Figura 6- 1 Calentamiento del agua a 70°C	60
Figura 6- 2 Enfriamiento del agua a 20°C.	61
Figura 6- 3 Abertura de válvulas superiores.	62
Figura 6- 4 Verificación de abertura de válvulas en las bombas.	63

Figura 6- 5 Enchufado de bombas.	64
Figura 6- 6 Evidencia de intercambio de calor.	65
Figura 6- 7 Calor residual en el intercambiador.	66

Lista de tablas

	Pág.
Tabla 2- 1 Densidad del agua según la temperatura.	18
Tabla 2- 2 Viscosidad del agua según la temperatura.	19
Tabla 2- 3 Peso y densidad del agua según la temperatura.	19
Tabla 2- 4 Propiedades del agua según temperatura hasta 100°C.	20
Tabla 4- 1 Catalogo Metaltub	34
Tabla 4- 2 Propiedades de agua	36
Tabla 4- 3 Propiedades del agua saturada	40
Tabla 4- 4 Relaciones de NTU	44
Tabla 4- 5 Tipo de flujo según el NTU	45
Tabla 4- 6 valor de Coeficiente global de transferencia de calor	46

Lista de Símbolos y Abreviaturas

Símbolos con letras griegas

Símbolo	Término	Unidad SI
ρ	Densidad	(gramos/cm) ³
$T1_{in}, T_{out}, T2, \dot{m}_f$ $T2_{in}, T1, \dot{m}_g$	Temperatura	(°F/°C)
Q	Caudal	$(\frac{m^3}{s})$
A	Área por donde sale el fluido	(m ²)
P	Presión	N/m ²
\dot{m}	Flujo másico	$(\frac{kg}{s})$
C	Calor específico	$(\frac{J}{kg.K})$
ε	Efectividad	unidimensional

Abreviatura	Término
Cv	Calor específico isocórico
Cp	Calor específico isobárico
\dot{m}_g	Flujo másico caliente
\dot{m}_f	Flujo másico frío
$C2p_f$	Calor específico frío
$C1p_g$	Calor específico caliente
Q2	Calor fluido frío
Q1	Calor fluido caliente
Cmin	Calor específico mínimo
$C_{frío}$	Calor específico mínimo frío
$C_{caliente}$	Calor específico mínimo caliente

(Dedicatoria)

Le dedico este trabajo, a mis madres y padre, ya que me apoyaron y motivaron para que no desistiera y siguiera adelante con mi carrera a pesar de las adversidades, fortaleciendo mi ser para lograr mis objetivos, solo me queda decir GRACIAS.

Agradecimientos

Le agradezco a Dios por apoyarme y brindarme la sabiduría para culminar mis estudios, que, en compañía, amor y apoyo de mi esposa, dieron mi pilar de perseverancia en enriquecer mis conocimientos y poderlos aplicar día tras día, la motivación del amor inmenso que tengo por mis dos hijos, hizo que este proceso académico fuera más fácil de llevar, porque dedique mucho de mi tiempo a prepararme para ser un gran profesional y una mejor persona.

Resumen

Debido a la ausencia de un equipo para el complemento de la materia de transferencia de calor, se diseñó y construyó un intercambiador de calor de tipo horizontal de 20 tubos y coraza cilíndrica, con la finalidad de ser usado para prácticas de laboratorio.

El equipo, se diseñó bajo la normatividad de ASTM con la consideración del numeral A179 de tubos sin costura, siguiendo la metodología de diseño experimental, se parte unas temperaturas base como lo son 70°C para el fluido al interior de tubos y una temperatura de 20°C para la temperatura de la coraza; procediendo al intercambio de calor para descender el fluido caliente hasta los 50°C como requerimiento del diseño. Como resultado del diseño, se analizó la transferencia de calor de los líquidos (Caliente y Frio) por la relación NTU (número de unidades de transferencia térmica); llegando a una configuración de fluidos a contraflujo, permitiendo determinar la longitud del intercambiador de 1.2 m. Con el resultado anterior, se realizó la construcción y prueba en campo; descendiendo la temperatura de 70°C hasta los 50°C , lo cual corrobora los cálculos realizados.

PALABRAS CLAVE: Intercambiador de calor, temperatura, simulación, diseño, medición, fluidos.

Abstract

The project consists of the design and construction of a shell and tube heat exchanger to serve in the laboratory of the Antonio Nariño University, so that it becomes a device for pedagogical use in the teaching and learning process of students of the Faculty of Mechanical Engineering for testing, acquiring, practicing and confirming basic knowledge in heat transfer, fluid mechanics and thermodynamics. The design of the equipment was carried out in three stages: Thermal design which serves to determine the dimensions of the tubes, the number of steps and components of the equipment by means of the mechanical design.

As a result, the temperature of the hot fluid was reduced by approximately 50.88°C in the theoretical part and in practice it reached a value of 52°C as outlet temperature for an exchanger of 1.2 meters in length.

KEY WORDS: Heat exchanger, temperature, simulation, design, measurement, fluids.

Introducción

Partiendo de una preocupación mundial por la preservación de los recursos naturales y las acciones encaminadas a disminuir la contaminación ambiental es cada vez más creciente y apremiante, en especial si señalamos que es el sector productivo industrial el que tiene gran incidencia en estos temas, sumado al interés por generar estrategias de ahorro energético y descontaminación del ambiente, han provocado que una buena parte de los esfuerzos de los Estados y la empresa privada se centre en la optimización de los procesos que se desarrollan industrialmente (Almario, 2019), siendo precisamente los intercambiadores de calor aquellos equipos que más importancia han adquirido para el aprovechamiento de los recursos energéticos y la afirmación hecha en este párrafo .

“La ciencia de la transferencia de calor está relacionada con la razón de intercambio de calor entre cuerpos calientes y fríos llamados fuente y receptor; en la ingeniería existen tres tipos de transferencia como la convección, la radiación y la conducción cuando se encuentra un gradiente de temperatura en un medio fijo, que puede ser sólido o un fluido, en los cuales existen equipos como: intercambiadores de calor, calderas, condensadores, calentadores, hornos, refrigeradores, radiadores y colectores solares, entre otros” (Rojas, 2014, p. 26).

De lo anterior, se puede afirmar que existen varios tipos de intercambiadores, por ejemplo, según la dirección del flujo pueden ser, paralelo, contraflujo y flujo cruzado; según su estructura de placas, de carcasa y tubo, refrigerados por aire y de tubos concéntricos. Así las cosas, para este proyecto se ha definido el modelo e intercambiador propuesto por Ericsson, esto es, por uno de carcasa y tubos, tomando en consideración su

uso común en la industria, su funcionamiento sencillo y la posibilidad de ser empleado con fines didácticos en la academia (Almaso, 2017).

Teniendo en cuenta que existe una diversa y variada gama de equipos que emplean sistemas de transferencia de calor los cuales les permiten mantener su temperatura estable de trabajo en las distintas máquinas donde se encuentre instalados, aunado al hecho de que la facultad de ingeniería mecánica de la Universidad Antonio Nariño no cuenta con un intercambiador de calor de carcasa y tubos que facilite la práctica de los estudiantes en temas relacionados con la transferencia de calor, mecánica de fluidos y termodinámica, lo cual es un factor de suma importancia que debe conocer y comprender todo profesional de la ingeniería mecánica con el fin de ser más competitivo en el campo laboral y productivo.

De otra parte, la universidad Antonio Nariño, pese a contar con un cuerpo docente muy calificado y experimentado (desde maestría hasta doctorado), y de formar profesionales atendiendo la vocación agroindustrial del departamento del Huila, no cuenta entonces con diversos equipos con los cuales pueda brindar una educación superior más didáctica y práctica en la ingeniería mecánica. Vale la pena señalar que, al no contar la institución de educación superior con este dispositivo para la práctica de pruebas de los tópicos contemplados en las asignaturas descritas anteriormente, se corre el riesgo de limitarle al estudiante de manera significativa el despliegue de destrezas y habilidades que estaría en capacidad de desarrollar en aras de una mejor formación profesional, por lo cual se requiere de un proyecto que apunte al diseño y construcción de un intercambiador de calor de carcasa y tubos que preste el servicio requerido desde la pedagogía y la didáctica propias de una institución de educación superior en Colombia.

La metodología experimental, se emplea por fases, siendo expuesta por Ulrich (Ulrich, K. y Eppinger,2013). Relacionado las siguientes fases: Fase 1: Caracterización del Equipo. Fase 2: Diseño. Fase 3: Construcción. También se dispone de instrumentos para la medida de temperaturas y caudal finalizando con una breve descripción del procedimiento. Las fases culminan con la Fase 4: Evaluar por medio de prácticas.

Continuando el desarrollo del proyecto, se diseñó y construyó un intercambiador, para que pueda ser usado de forma pedagógica, para ello se describe en el capítulo III, el cual se rige bajo una metodología establecida por caracterización, diseño, construcción y finalizando una práctica estudiantil.

Como resultados obtenidos, se construyó el intercambiador de calor bajo la norma ASTM con el numeral de A179, para tubos sin costura, además se deja plasmado una guía para probar y observar el funcionamiento del intercambiador de calor bajo unas condiciones iniciales de diseño como lo son la temperatura de los fluidos y la longitud de diseño.

Capítulo I. Antecedentes

“Diseño de un intercambiador de calor de tubos concéntricos” proyecto propuesto por Rafael Eduardo Córdoba Useche en 2019, diseñó un intercambiador de calor de tubos concéntricos para la elaboración de un banco de pruebas en el laboratorio de combustión, dicho banco tiene como finalidad otorgar mayor conocimiento y familiarización a los estudiantes de ingeniería mecánica en manejo de estos equipos, para este diseño fue necesario conocer los parámetros de trabajo de entrada y salida de los fluidos involucrados en el proceso de intercambio de calor (Useche, 2019). Este diseño arrojó como resultados una temperatura de diseño de 348.28 °F en la carcasa y 150 °F para el tubo, las presiones de diseño son de 110 y 60 psi para carcasa y tubo, la presión máxima de diseño que soporta el intercambiador de calor es de 1879.34 y 11389.30 psi para carcasa y tubo respectivamente.

“Diseño y construcción de un intercambiador de calor de tubos concéntricos para el mejoramiento de las condiciones de combustión del Diesel 2” proyecto desarrollado por Morales León y Ramírez Colcha en 2011, en función de mejorar las condiciones de combustión del Diesel 2, para dicha investigación se utilizó el método analítico, Se construyó un intercambiador de calor con una longitud de 0.83 m y una altura de 1.7 m además, cuenta con tres tanques de almacenamiento cuya capacidad es de un galón por cada tanque (Morales León & Ramírez Colcha, 2012). El equipo consta de dos zonas; en la primera se realiza el precalentamiento del Diesel, el cual alcanza la temperatura de 40° C en 30 minutos lo que nos da una eficiencia del 67 % y la segunda en la que se da la

combustión del Diesel y el monitoreo de los gases de escape en donde obtenemos 13 ppm de NOx, 1248 ppm de CO, 1.28% de CO₂, 29 ppm de SO₂, con ello se puede concluir que el uso de Diesel caliente en un motor de combustión interna disminuye la concentración de gases de escape lo cual es una buena alternativa para reducir la producción global de emisiones contaminantes y mejorar de esta manera la calidad del aire.

“Diseño térmico y mecánico de un intercambiador de calor” realizado por Oriol Boix Puig en junio de 2018, quien se basó en el método de Kern para el cálculo del coeficiente de película del lado de los tubos, este diseño es el responsable de que este sea dimensionado de forma correspondiente a las condiciones de trabajo establecidas por el cliente (Boix, 2018). Dentro de los intercambiadores de tubo y carcasa todos los diseños térmicos son parecidos en cuanto a su estructura independientemente del tipo de intercambiador. Este diseño se ha realizado con el AD-Merkblätter, un código de diseño alemán, y se han comprobado los resultados con el AUTOPIPE VESSEL un software de diseño mecánico de recipientes a presión. Este diseño térmico se realizó de forma satisfactoria ya que los resultados son razonablemente parecidos a los obtenidos con el software de diseño HTRI. De igual manera el diseño mecánico se ha validado con éxito con el software AUTOPIPE VESSEL.

“Metodología de diseño mecánico para intercambiadores tipo tubos - coraza, cabezal flotante y tubos en u” por Ibarra-Hernández y Dupin-Fonseca en el año 2019, para este diseño se toma como base su diseño tecnológico, el diseño mecánico de estos equipos se realiza siguiendo los códigos, normas y estándares internacionales entre los que destacan el código ASME y las normas ASME las que reglamentan el diseño por

elementos (Ibarra-Hernández et al., 2019). Los autores lograron que el diseño mecánico de los intercambiadores de calor de tubo y coraza en forma de U sea realizado de manera sencilla dado que se logró en el menor tiempo posible, pero garantizando máxima seguridad de explotación del mismo.

“Diseño y construcción de un intercambiador de calor de placas paralelas para el laboratorio de transferencia de calor” realizado por Díaz Guevara y Vega Patiño en 2017 para este diseño del intercambiador se realizó aplicando el método de la temperatura media logarítmica y teniendo en cuenta factores importantes como lo son configuraciones y arreglos de flujo; como parámetros para el diseño del intercambiador se tuvieron en cuenta las condiciones iniciales del laboratorio de transferencia de calor (Guevara, 2017). Para verificar la validez del diseño se utilizó software especializado en la simulación de procesos de transferencia de calor (Solid Works). Este ICP consta de 37 placas lisas fabricadas en acero inoxidable 430 y un arreglo de flujo en U. Los caudales para el desarrollo de la práctica pueden variar desde 3 L/min hasta 9 L/min, el diseño del ICP se realizó teniendo como base los elementos presentes en el área prevista dentro del laboratorio de transferencia de calor. Tamaño y potencia fueron algunos factores que se vieron limitados.

“Diseño y cálculo de un intercambiador de calor” por Cabanzón Labat en Mayo de 2018, quien trabajó en satisfacer las necesidades del motor de un barco carguero ya que este barco utilizaba un circuito cerrado de agua para refrigerar y mejorar el rendimiento de una de las piezas de su motor que opera a una temperatura muy elevada, tanto así que se acerca a los 100° C, y de sobrepasar este valor el agua debería dejar de usarse como

refrigerante debido a su evaporación, por ello la misión del citado intercambiador será la de enfriar el caudal del agua que sale del motor (850L/min) antes de volver a utilizarla con la citada pieza, se utilizó para ello agua obtenida del mar de tal forma que el calor transmitido entre ambos fluidos sea de 500 KW, consiguiendo así que la temperatura del agua usada con el motor no exceda nunca los 100°C y no se evapore, y el autor logra que el intercambiador de calor cumpla con su función aun contando con un espacio reducido para su instalación (Labat, 2018).

Para el año 2019, El investigador Romero Fernando, planteó una metodología para el diseño y cálculo mecánico de intercambiadores de calor tubular, el cual se centró en emplear como metodología experimental los aspectos de suministro de líquidos según sus entradas, determinar aspectos de la corrosión, determinar factores para selección de materiales y culminar con recomendaciones generales para su uso (Romero, 2019).

Dentro de los resultados obtenidos logro definir cálculos para capacidad, formas de doblar los tubos, preparación de los fluidos, como maquinar las piezas y qué tratamientos térmicos deben llevar para su respectivo ensamble.

En el año 2022, el autor Arista realizo la investigación “Diseño y simulación de una pasteurizadora tubular para el procesamiento de zumos de naranja” (Arista, 2022). El diseño se plantea para dar solución al bajo valor de la fruta y no es viable su recolección por obreros, en donde acarrea costos que no son justificados al valor de venta de la fruta. El diseño de la pasteurizadora tubular, se realizó con la norma TEMA, planteando una metodología basada en: balance de energía, diseño térmico, diseño hidráulico diseño mecánico.

Objetivo general

Diseñar y construir un intercambiador de calor de carcasa y tubos para el laboratorio de la facultad de ingeniería mecánica en la Universidad Antonio Nariño sede Buganviles en Neiva Huila.

Objetivos específicos

Diseñar el intercambiador de calor de carcasa y tubos y calcular parámetros de funcionamiento del equipo.

Construir el intercambiador de calor de carcasa y tubos tomando en consideración los requerimientos técnicos definidos con antelación.

Validar experimentalmente el intercambiador de calor de carcasa y tubos por medio de la guía de funcionamiento.

Justificación

Como ya se mencionó, la facultad de Ingeniería Mecánica de la Universidad Antonio Nariño sede Neiva, y más concretamente su laboratorio, no cuenta en la actualidad con la posibilidad de que los estudiantes de este programa puedan llevar a cabo prácticas acerca del comportamiento de la temperatura sobre un fluido, que circula en un intercambiador de calor, cambios de temperatura al enfriar o calentar un fluido, lo que puede en la realidad limitar el proceso de enseñanza y aprendizaje a una visión básicamente conceptual o teórica provocando brechas en la formación del futuro profesional de la ingeniería mecánica.

Así las cosas, el presente proyecto pretende dotar al laboratorio de la facultad de ingeniería mecánica de la Universidad Antonio Nariño del intercambiador de calor de carcasa y tubos que propicie un mayor interés del estudiante en llevar a la práctica los diversos conocimientos adquiridos en la formación según los requerimientos:

Conducción térmica: Requiere (Espesor material, temperatura ambiente interna, temperatura superficie interna, conductividad del material, temperatura de superficie externa, temperatura ambiente externa).

Convección térmica: Requiere (Espesor material, temperatura ambiente interna, temperatura superficie interna, temperatura de superficie externa, temperatura ambiente externa, conductividad del material, conductividad del medio externo, conductividad del medio interno).

Determinar tipo de flujo laminar y flujo turbulento: Requiere de (Velocidad de los fluidos, área de los tubos, diámetros y tipo de fluido)

Aplicación de teoría de Reynolds, Prandtl, Nusselt: Requiere de (Velocidad de los fluidos, área de los tubos, diámetros y tipo de fluido)

Radiación térmica: Requiere de (Emisividad del material, espesor, área de contacto, temperatura ambiente interna, temperatura superficie interna, temperatura de superficie externa y temperatura ambiente externa)

Determinar la conductividad térmica en un material de acero.: Requiere (temperatura ambiente interna, temperatura superficie interna, temperatura de superficie externa, temperatura ambiente externa, conductividad del material)

Determinar la conductividad térmica en un material de tipo PVC: Requiere (temperatura ambiente interna, temperatura superficie interna, temperatura de superficie externa, temperatura ambiente externa, conductividad del material)

Aplicación de conocimientos en aislantes térmico: Requiere (temperatura ambiente interna, temperatura superficie interna, temperatura de superficie externa, temperatura ambiente externa, conductividad del material, espesor de los materiales) (Esta opción no se aplico al intercambiador, pero se puede realizar la practica de este sobre la carcasa externa).

A falta de lo anterior y su aplicación en la realidad, se evita al futuro profesional aplicar conocimientos térmicos en esta disciplina.

De otra parte, con la instalación del intercambiador de calor de carcasa y tubos se espera que los docentes también puedan corroborar los distintos conceptos teóricos en la práctica lo que potencializará el proceso de enseñanza y aprendizaje apelando a una

estrategia didáctica atractiva y motivadora para los estudiantes, quienes estarán en capacidad de desarrollar competencias y habilidades propias del ingeniero mecánico moderno.

Capítulo II. Marco Teórico

2.1 Propiedades de agua

El agua es el compuesto más importante en la naturaleza, la mayoría de sus propiedades abarcan más de un campo como la física y la química, química y biología, o biología y física (Ponce, 2021); dentro de las propiedades más destacadas del agua se identifican:

- La capacidad de regular la temperatura ambiente
- Su flotabilidad en estado sólido (hielo)
- Las propiedades de capilaridad y tensión superficial
- Su marcada propiedad solvente y su relación activa con la química de protones y electrones

Las propiedades de las fases líquida gaseosa se vuelven intangibles entre sí, bajo una temperatura y presión suficientemente altas, el agua líquida está lo suficientemente caliente y el agua gaseosa está bajo suficiente presión para que sus densidades sean iguales. Las propiedades singulares del agua la hacen muy adecuadas para el desarrollo de la química del carbono ayudando a mantener la vida en todas sus innumerables formas.

2.1.1 *Calor específico*

Es la es la cantidad de calor requerida para cambiar la temperatura de una unidad de masa de una sustancia en un grado (Engineering, 2020).

Al calcular el flujo de masa y volumen en un sistema de calentamiento de agua a una temperatura más alta, el calor específico debe corregirse de acuerdo con las figuras y tablas a continuación.

Calor específico isocórico (C_v) para agua en un sistema cerrado de volumen constante, (= isovolumétrico o isométrico). Calor específico isobárico (C_p) para agua en un sistema de presión constante ($\Delta P = 0$). Calor específico para agua líquida a temperaturas de 0 a 360 °C. anexo 01.

2.1.2 Densidad

Es el peso de una sustancia para un volumen en específico, en cuanto a la densidad del agua es aproximadamente de 1 gramo por mililitro, pero puede variar si existe algún tipo de sustancia disuelta en ella (Usgs, 2018). Mientras un objeto esté formado por moléculas y, por lo tanto, tenga tamaño o masa, tiene una densidad.

La densidad es el peso elegido para una cantidad elegida de material, cuando el agua está a punto de ebullición su densidad varía. Se puede evidenciar en la siguiente tabla 2.1:

Tabla 2- 1 Densidad del agua según la temperatura.

Temperatura (°F/°C)	Densidad (gramos/cm)³	Peso (libras/ft³)
32°F/0°C	0.99987	62.416
39.2°F/4.0°C	1.00000	62.424
40°F/4.4°C	0.99999	62.423
50°F/10°C	0.99975	62.408
60°F/15.6°C	0.99907	62.366
70°F/21°C	0.99802	62.300
80°F/26.7°C	0.99669	62.217
90°F/32.2°C	0.99510	62.118

Temperatura (°F/°C)	Densidad (gramos/cm) ³	Peso (libras/ft ³)
100°F/37.8°C	0.99318	61.998

Fuente: Tomado de Usgs.2018, p, 28.

El hielo es menos denso que el agua, por ello la mejor manera de ver cómo el agua tiene diferentes densidades es observar la forma congelada del agua.

2.1.2 Viscosidad

Se refiere a la cantidad que un fluido, ya sea gas o líquido resiste en cambiar de forma, la viscosidad del agua se refiere a la cantidad de agua que resiste el flujo o el movimiento, es una medida de cuánto puede resistir un fluido dado la deformación causada por el cizallamiento o la tensión de tracción (Mitchell, 2018). La viscosidad se utiliza comúnmente para evaluar la lubricación en sistemas mecánicos y para determinar las fuerzas de oposición que surgen al transportar fluidos en tuberías.

La viscosidad del agua líquida a diferentes temperaturas hasta el punto de ebullición normal se enumera en la siguiente tabla 2-2, (Edge, 2000):

Tabla 2- 2 Viscosidad del agua según la temperatura.

Temperatura [°C]	Viscosidad [mPa-s]
10	1.308
20	1.002
30	0.7978
40	0.6531
50	0.5471
60	0.4658
70	0.4044
80	0.3550
90	0.3150
100	0.2822

Fuente: Tomado de Edge, 2020, p 32.

Las propiedades del agua se resumen en la siguiente tabla 2-3:

Tabla 2- 3 Peso y densidad del agua según la temperatura.

Temperatura	Densidad	Peso	
^o F/ ^o C	gramos/cm ³	libras/ft ³	kilogramos/litro
32°/0°	0.99987	62.416	0.999808
39.2°/4.0°	1.00000	62.424	0.999937
40°/4.4°	0.99999	62.423	0.999921
50°/10°	0.99975	62.408	0.999681
60°/15.6°	0.99907	62.366	0.999007
70°/21°	0.99802	62.300	0.997950
80°/26.7°	0.99669	62.217	0.996621
90°/32.2°	0.99510	62.118	0.995035
100°/37.8°	0.99318	61.998	0.993112

Fuente: Tomado de Edge, 2020, p 33.

Propiedades de ingeniería del agua según tabla 2.4:

Tabla 2- 4 Propiedades del agua según temperatura hasta 100°C.

Propiedad de Water	0° C	20° C	40° C	60° C	80° C	100° C	Unidades
Densidad	999.84	998.21	992.22	983.20	971.82	958.40	kg m ⁻³
Expansión térmica	-0.07	0.207	0.385	0.523	0.643	0.752	×10 ⁻³ K ⁻¹
Compresión isotérmica (viscosidad de volumen)	5.0879	4.5895	4.4241	4.4507	4.6418	4.9015	×10 ⁻¹⁰ Pa ⁻¹
Viscosidad dinámica	1.793	1.002	0.6532	0.4665	0.3544	0.2818	×10 ⁻³ kg m ⁻¹ s ⁻¹ (Pa s)
Viscosidad cinemática	1.787	1.004	0.658	0.475	0.365	0.294	×10 ⁻⁶ m ² s ⁻¹
Conductividad térmica	561.0	598.4	630.5	654.3	670.0	679.1	×10 ⁻³ W m ⁻¹ K ⁻¹

Fuente: Tomado de Edge, 2020, p 36.

2.2 Caudal

Es la cantidad de fluido a través de una sección del ducto (tubería, cañería, oleoducto, río, canal) por unidad de tiempo, se identifica con el flujo volumétrico o volumen que pasa por un área dada en la unidad de tiempo (Medina, 2017).

$$Q = A.V$$

Ecuaciòn 1.0

Q= Valor de caudal

A= Es el área por donde sale el fluido

V= La velocidad

2.2.1 Presión

Es una magnitud que mide el efecto deformador o capacidad de penetración de una fuerza y se define como la fuerza ejercida por unidad de superficie (Fernández, 2018). Se expresa como:

$$P = \frac{F}{S}$$

Ecuaciòn 1.1

Su unidad de medida en el S.I. es el N/m², que se conoce como Pascal (Pa). Un pascal es la presión que ejerce una fuerza de un newton sobre una superficie de un metro cuadrado.

Unidades de presión:

kp/cm² (Kilopondio por centímetro cuadrado). Muy utilizada en la Industria. 1 kp/cm² = 98000 Pa.

atm (atmósfera). Para medir la presión atmosférica. 1 atm = 101325 Pa. En ocasiones se redondea a 101300 Pa.

2.2.2 Calor y temperatura

Es la transferencia de energía de un cuerpo a otro, sus unidades son joule y calorías, para su medición se utiliza un calorímetro (Diferenciador, 2020, p. 3). La transmisión de calor puede ocurrir de las siguientes maneras:

Conducción térmica: la transferencia de calor es dada por la agitación de moléculas que ocasiona la subida de las temperaturas, la dilatación de cuerpos, la fundición de sólidos y la evaporación de líquidos.

Convección térmica: la transferencia de calor ocurre entre líquidos y gases. Por ejemplo: al hervir agua. Irradiación térmica: el calor es propagado por las ondas electromagnéticas sin la necesidad de tener contacto ambos cuerpos.

La temperatura: Es la medida de la energía cinética de las moléculas de un material, mientras más caliente esté el cuerpo, mayor es su agitación molecular, por el contrario, cuanto más frío esté el cuerpo, menor es su agitación molecular, sus unidades son en Celsius, kelvin y Fahrenheit, se puede medir con un termómetro (Diferenciador, 2020, p. 5).

2.3 Tipo de intercambiadoras de calor

Por contacto directo: En este se mezcla el producto con el fluido de servicio, con lo que se produce contaminación (Arnaiz, 2021, p. 3).

Por contacto indirecto: Para estos son mejor los de superficie que se dividen en los de placas o de tubos, donde los de placas separan el producto del fluido de servicio a través de una pared plana, son versátiles y fácil de limpiar, pero tienen riesgo de sobrecalentar o

congelar productos más sensibles, también, tienen menos eficiencia en la transferencia de calor elevada, ya que el flujo es turbulento y aumenta la pérdida de carga (Arnaiz, 2021, p. 6). Por el contrario, los intercambiadores tubulares, la separación es mediante tubos cilíndricos, pasando el fluido de servicio por el exterior de los tubos y el producto por el interior, con una capa externa que actúa como aislamiento, pueden fabricarse de forma modular, en horizontal y en vertical, personalizándose para cada proyecto en las instalaciones.

2.3.1 Tipo de aplicación de los intercambiadores

La aplicación de estos equipos se da mediante un fluido que están a una temperatura determinada, ya sea para calentar o enfriar el producto (Quilinox, 2021). Para el sector alimentario o farmacéutico, hay que adaptar al tipo de fluido que va a pasar por el intercambiador y sus características, tales como viscosidad, calor específico del producto, conductividad térmica o densidad.

Existe varias clases de intercambiadores tubulares como lo son:

Intercambiadores tubulares industriales: las conexiones son de tipo industrial, el acabado de las partes en contacto no tiene una rugosidad especial ya que no lo requieren los productos que pasan por ahí; dentro de los tubulares son los más económicos debido a la baja exigencia de rugosidad o enlaces.

Intercambiadores tubulares alimentarios: para los materiales empleados en él, tienen la rugosidad demandada (0,8 micras), las conexiones pasan a ser tipo sanitarias como DIN 11851, clamp o SMS. Existen intercambiadores de monotubo y multitubo, la

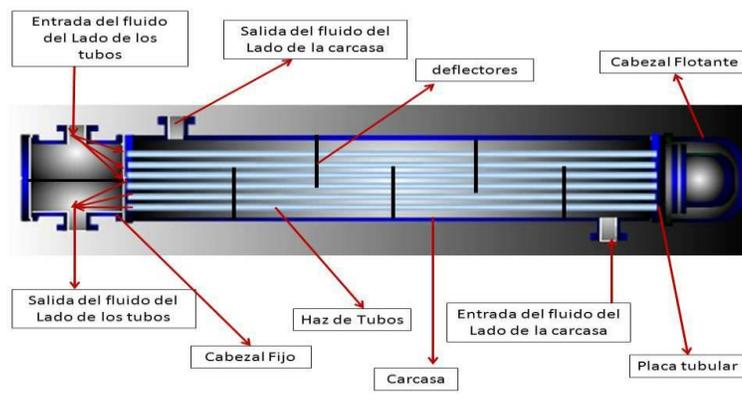
diferencia es que se emplean del segundo tipo cuando el producto no tiene sólidos en suspensión que pueda provocar atascamiento de los tubos.

Intercambiadores tubulares para el sector farmacéutico: tienen una mayor exigencia en conexiones, rugosidad y materiales, una de sus características es evidenciar una posible rotura interna de manera inmediata por lo que se utiliza el montaje de una doble capa con una zona de aislamiento intermedia.

2.3.2 Partes de un intercambiador de calor

Partiendo del siguiente modelo, se planteó un diseño según su tipo de flujo figura 2-1.

Figura 2 - 1 Partes del intercambiador tubular.



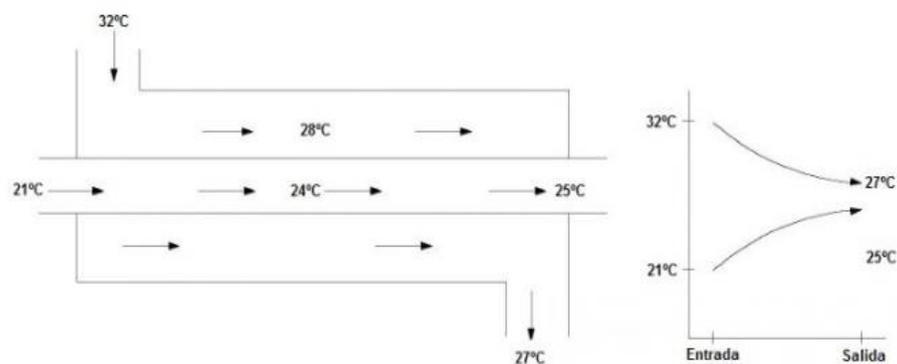
Fuente: Tomado de (*Esquema-intercambiador-de-calor.jpg* (960×720), s. f.)

2.4 Tipos de intercambiadores según la dirección del flujo

2.4.1 Flujo paralelo

En donde los dos fluidos, tanto frío como caliente entran por el mismo extremo del intercambiador y fluyen en la misma dirección intercambiando calor hasta que la temperatura sea próxima a la otra, y así los fluidos tratan de alcanzar el equilibrio térmico entre ellos figura 2-2 (IngenieroMarino, 2019, p. 2).

Figura 2 - 2 Flujo paralelo.

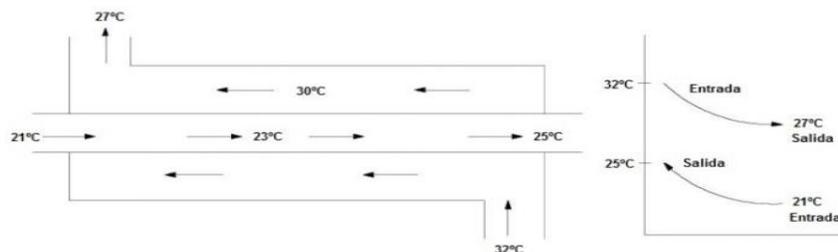


Fuente: Tomado de, el ingeniero Marino., p, 87.

2.4.2 Contraflujo

En este caso los fluidos entran por diferentes extremos y presenta el contraflujo cuando los dos fluidos fluyen en la misma dirección, pero en sentido opuesto, este tipo de intercambiador llega a presentar una temperatura más alta en el fluido frío y más baja en el fluido caliente una vez realizada la transferencia de calor figura 2-3, por ello es más eficiente térmicamente si lo comparamos con el flujo paralelo (IngenieroMarino, 2019, p. 4).

Figura 2 - 3 Contraflujo.

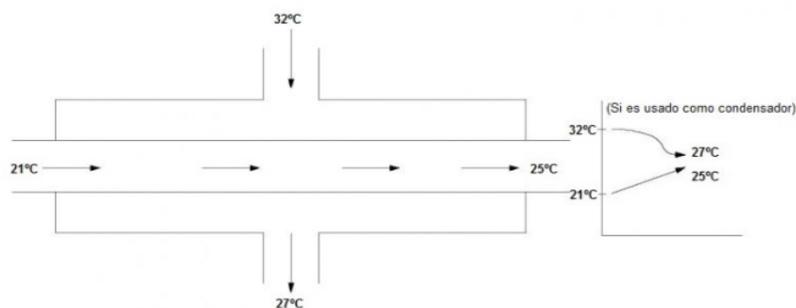


Fuente: Tomado de, el ingeniero Marino, p, 88.

2.4.3 Flujo Cruzado

En este intercambiador que presenta un flujo cruzado, uno de los fluidos fluye de manera perpendicular al otro fluido figura 2-4. Uno de los fluidos pasa a través de los tubos mientras que el otro pasa alrededor de dichos tubos perpendicularmente (Ingeniero Marino, 2019, p. 7).

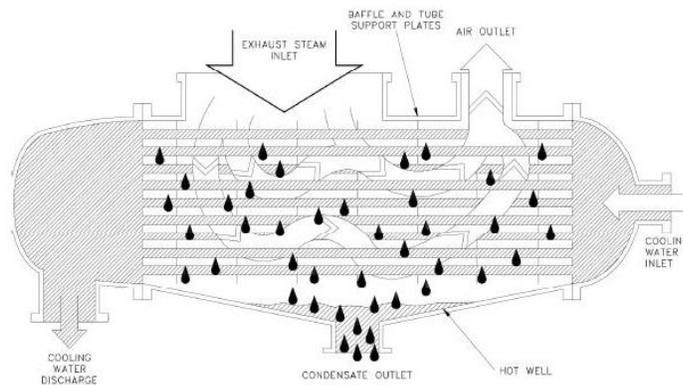
Figura 2 - 4 Flujo Cruzado



Fuente: Tomado de, el ingeniero Marínó, p, 9.

Este tipo de intercambiador es normalmente empleado cuando uno de los fluidos presenta un cambio de fase y por tanto una mezcla bifásica (fase líquida + fase gas) dentro del intercambiador, como por ejemplo los condensadores a vapor figura 2-5.

Figura 2 - 5 Flujo para condensador a vapor.

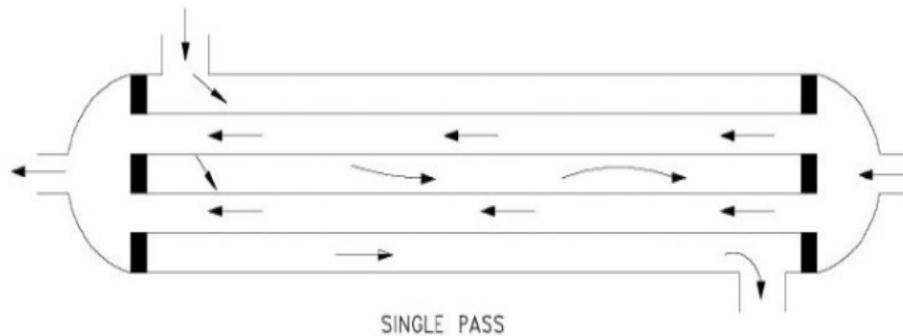


Fuente: Tomado de, el ingeniero Marino., p, 9.

2.4.4 De un Solo Paso (Paso Simple)

Se denomina así figura 2-6, cuando el fluido solo intercambia calor una sola vez, a veces la transferencia de calor no es la suficiente para alcanzar la temperatura deseada por ello se emplea un método que combina dos o más intercambiadores en serie, esto permite mejorar la eficiencia del proceso de intercambiador de calor ya que los fluidos se hacen pasar varias veces dentro de un intercambiador de paso simple (IngenieroMarino, 2019, p. 9).

Figura 2 - 6 Fluido de un solo paso.



Fuente: Tomado de, el ingeniero Marino, p, 10.

2.4.5 De Múltiples Pasos

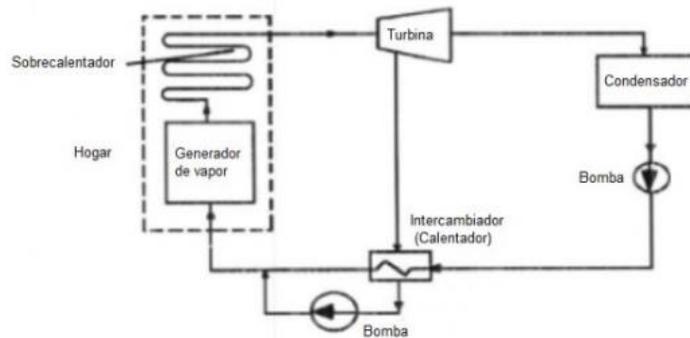
Cuando los fluidos del intercambiador intercambian calor más de una vez invierte el sentido del flujo en los tubos al utilizar dobleces en forma de “U” en los extremos, esta configuración de “U”, permite al fluido volver a recorrer el interior del intercambiador incrementando el área de transferencia (IngenieroMarino, 2019, p. 11).

2.4.6 Intercambiador Regenerativo

Aquel donde se emplea el mismo fluido (fluido caliente = fluido frío).

El proceso es el siguiente de la figura 2-7; El fluido caliente atraviesa el intercambiador cediendo calor en él y posteriormente regresa al intercambiador como fluido frío.

Figura 2 - 7 Fluido regenerativo.



Fuente: Tomado fluidos regenerativos en intercambiadores.

2.5 Configuración de los tubos

A. Existen ventajas y desventajas en cuanto al arreglo de diferentes tubos, dentro de las ventajas del tubo triangular a 30° esta que permite mayor cantidad de tubos y así mayor transferencia de calor, también se recomienda para intercambiadores de calor con espejo fijo y fluidos limpios en la coraza (Osorio, s. f., p. 52).

Ventajas: Evidencia alta turbulencia con un alto coeficiente.

Desventajas: No permite una limpieza externa entre tubos. No es recomendable utilizarlo en procesos químicos o fluidos con alto grado de ensuciamiento.

B. En tubo triangular a 60° es recomendable utilizarlo en aplicaciones con fluidos limpios, este permite más área de transferencia de calor.

Desventajas: No permite limpieza mecánica entre tubos. No se utiliza en fluidos químicos o fluidos con alto grado de ensuciamiento.

C. En tubo cuadrado a 90° se permite limpieza mecánica y se utiliza en flujos químicos o sucios.

Desventajas: Evitar flujos laminares en la coraza. Como presenta menor cantidad de tubos y por ello menos área de transferencia de calor.

D. En tubos cuadrados a 45° permite limpieza mecánica y también se utiliza en flujos químicos o sucios.

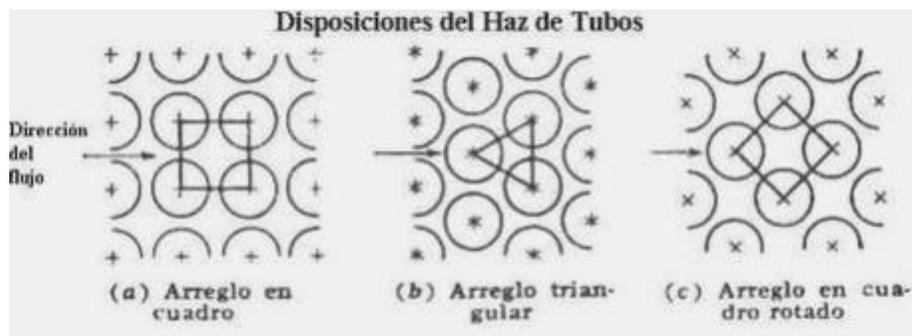
Desventajas: Presenta menor cantidad de tubos y por ello menos área de transferencia de calor.

Tiende a crear bajones de temperatura debido al paso y contacto estilo cascada.

No es recomendable para cambios de temperatura en rangos mínimos.

Debe emplearse en procesos superiores a los 70°C .

Figura 2 - 8 Arreglo de los tubos en el interior de la corasa.



Fuente: Tomado de Intercambiadores de calor (Gallardo, 2015)

2.6 Marco legal

2.6.1 Norma ASTM para la selección de materiales en tubería.

La norma da conocer que los tubos empleados deben ser sin costura, ya por ser totalmente libre de poros evita el escape del fluido a transportar, por lo tanto, el uso de la norma se debe ver en el diseño con tubería sin costura.

Del cual se identifica el numeral para materiales, metales ferrosos:

A179: Especificaciones estándar para tubos para intercambiadores de calor y condensadores, de acero de bajo carbono, sin costura, estirados en frío (Mazueto, 2022, p. 3).

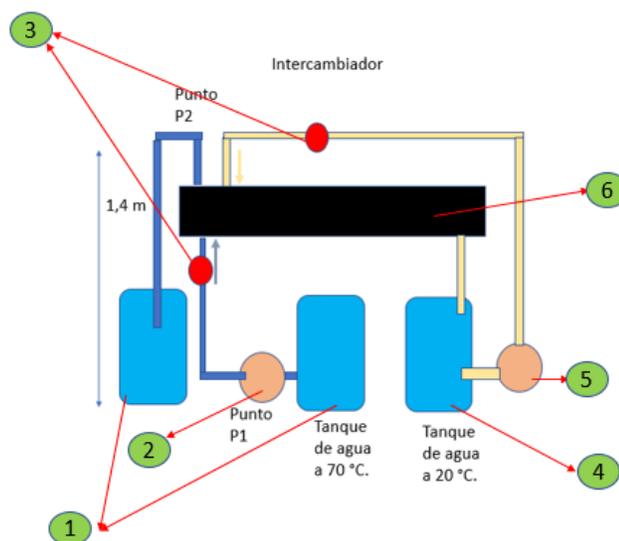
2.6.2 Asme b31

Este código se desarrolló según procedimientos que acreditan el cumplimiento de los criterios para los Estándares Nacionales Estadounidenses y es un Estándar Nacional Estadounidense. El Comité de Estándares que aprobó el código o estándar fue evaluado para asegurar que los individuos competentes e interesados hayan tenido la oportunidad de participar. El código o estándar propuesto se puso a disposición del público para que fuese revisado y comentado, lo que ofrece la oportunidad de recibir el aporte público adicional de la industria, academias, agencias reguladoras y el público en general (Asme B31-3, 2008).

Capítulo III. Caracterización del Equipo

Se definió las funcionalidades y requerimientos técnicos que exige el intercambiador de calor de carcasa y tubos para que preste su funcionalidad al laboratorio de ingeniería mecánica de la UAN sede Neiva.

Figura 3- 1 Partes del intercambiador



Fuente: Elaboración del autor

Para el diseño del intercambiador de calor según la metodología de diseño De Yunus Cengel (Cengel, 2007), se debe partir por las temperaturas el cual se desea descender o aumentar, para lograr esta condición se debe seleccionar una temperatura de trabajo. En este caso se emplea un valor de 70 °C, este valor se seleccionó ya que existen equipos de medición el cual trabajan hasta este valor máximo de temperatura, ya que después de este valor como los termómetros análogos pueden afectar los componentes internos, a su vez una temperatura que se aproxime a los 100°C se debe considerar los gases y estos pueden provocar cavitación en el interior de los tubos, para evitar estos

obstáculos en el diseño se tomó el valor máximo que resiste el termómetro análogo el cual esta hasta los 70°C. Se uso la temperatura de 20 °C, debido a su fácil obtención por medio del agua que se obtiene del servicio público, esta, se encuentra alrededor de los 24 a 28°C. Los 20°C de temperatura en el agua fueron obtenidos con la ayuda agua en estado sólido(Hielo). Estas temperaturas son fáciles de conseguir, así se evita el uso de líquidos que pueden ocasionar una lesión en los practicantes o afectación en las conexiones de la tubería de PVC.

Funciones: El fluido a trabajar por la carcasa y el interior de los tubos es el agua. Se diseña un intercambiador de calor para que trabaje para un fluido caliente de 70° C máximo y el fluido frío de 20°C; como equipo específico según estos requerimientos de temperatura, pueda descender a una temperatura de 50 °C al fluido caliente, dejando como variable la longitud de los tubos, ya que de esta longitud se determina el número de tubos para designar el diámetro de la coraza del intercambiador.

Características: El equipo debe poseer una altura máxima de 1,4 metros y ocupar una amplitud que no supere los 1,5 metros.

Las condiciones de trabajo en el intercambiador, se establecen de la siguiente manera:

Partiendo de un tanque del numeral 1 (figura 3-1), el fluido caliente pasa por la bomba periférica (numeral 2) hasta una llave de apertura hasta la entrada inferior del intercambiador (numeral 3), este fluido debe salir nuevamente el tanque con una temperatura de 50°C. El segundo fluido con una temperatura de 20°C del tanque (numeral 4), debe pasar por una bomba periférica (numeral 5) y luego a una llave de paso que

conduce al intercambiador, este fluido pasa por la coraza interna del intercambiador (numeral 6).

3.1 Criterios para la caracterización del equipo

Como criterios principales para la caracterización del equipo se tomó los siguientes:

Selección del diámetro interno de los tubos: Para el intercambiador el tubo interno por donde pasa el fluido, es una de las primeras consideraciones a tomar debido a factores como lo son diámetro y espesor, entre mayor sea el diámetro, mayor será su espesor y al momento de realizar la construcción el doblado del tubo se deberá usar dados precisos con la finalidad de realizar la curvatura, además si no se usa por doblado, se debe emplear horquillas que deben ser construidas individualmente. Esta última opción de horquillas no se empleará debido a su costo. Por lo tanto, se define como diámetro principal un tubo pequeño que sea fácil para su montaje, doblado y al final este define el diámetro de la carcasa.

Temperatura de trabajo: La temperatura es un factor importante en la obtención de cada fluido, ya que el intercambiador debe poseer una preparación previa de los líquidos, cada uno debe ser llevado a la temperatura ideal de manera separada, en donde el trabajo con fluidos calientes, se debe realizar primero, debido a que se debe calentar 113, 56 litros para ello, la manipulación de fluidos calientes se debe realizar con precaución al momento de manipular el agua, y si se trabajan con fluidos superiores a 100 °C considerar que estos sueltan vapores y puede haber fugas en las conexiones de la tubería, provocando que alguna se suelte y provoque un accidente. Para evitar esto se debe trabajar con una

temperatura inferior a los 70°C, es menos peligrosa y es fácil de obtener con precalentamiento evitando vapores de agua en exceso.

En el caso del agua fría, las temperaturas pueden ser usadas desde los 10 °C hasta los 20°C, enfriando el agua de manera acelerada con la adicción de hielo se puede llegar a estos valores sin la necesidad de usar un equipo o montaje de enfriamiento.

Número de pasos por el intercambiador: De Múltiples Pasos, se consideró este tipo de paso, para conseguir que el fluido pase a través de estos y ese contacto en los tubos se puede aprovechar para mejorar la transferencia de calor desde el fluido por la carcasa y el fluido que se quiere enfriar, además, este tipo de configuración permite dar un mayor tiempo para tomar datos en las termocuplas usadas y ver el comportamiento del fluido. Asu vez este cambio de temperatura se puede evidenciar en la carcasa desde su superficie externa al tacto con las manos (IngenieroMarino, 2019, p. 11).

También, permite crear algo de complejidad al sistema, para que el proyecto sea didáctico, ya que el equipo se configuró para que pueda trabajar a contraflujo y flujo paralelo, permitiendo realizar otras prácticas en el intercambiador, agregando que se puede variar el paso del flujo.

Tipo de trasferencia en el intercambiador: El tipo usado de trasferencia de calor se llevó a cabo por la disposición de tubos a un trabajo de contraflujo, se diseñó previamente para evitar que en el interior de la carcasa se formen burbujas de aire y evite la cavitación y pueda provocar un daño en las curvaturas de los tubos, además se aprovecha totalmente el llenado de la carcasa, su diseño ayuda a que el llenado de estos ductos se haga en su

totalidad y se evite vacíos, esto a su vez, garantiza que se logre un mayor aprovechamiento de transferencia de calor.

Instrumentos usados:

Tabla 3-1 Elementos de medición

Elementos de medición																			
Flujómetro: Elemento que mide el caudal en L/ min. Este elemento mide el caudal que proviene de la bomba.																			
Termómetro Inox: Elemento que se encarga de medir la temperatura que fluye por los tubos hasta un rango máximo de 70°C.																			
Bomba periférica: Son dos bombas usadas para cada fluido, el cual se encarga de enviar el agua hasta el interior de los tubos y de la coraza.	<p>Ficha técnica ^</p> <table border="1"> <tr> <td>Tipo</td> <td>Periférica</td> </tr> <tr> <td>Potencia</td> <td>0.5 HP</td> </tr> <tr> <td>Voltaje</td> <td>110V</td> </tr> <tr> <td>Fase</td> <td>1 F</td> </tr> <tr> <td>Presión Máxima</td> <td>26 Psi</td> </tr> <tr> <td>Succión Máxima</td> <td>8m</td> </tr> <tr> <td>Díámetro de Succión</td> <td>1 Pulg</td> </tr> <tr> <td>Díámetro de Descarga</td> <td>1 Pulg</td> </tr> <tr> <td>Caudal máximo</td> <td>28 l/min</td> </tr> </table> <p>  Electrobomba Periférica 1/2 HP - KARSON \$129.900 UND </p>	Tipo	Periférica	Potencia	0.5 HP	Voltaje	110V	Fase	1 F	Presión Máxima	26 Psi	Succión Máxima	8m	Díámetro de Succión	1 Pulg	Díámetro de Descarga	1 Pulg	Caudal máximo	28 l/min
Tipo	Periférica																		
Potencia	0.5 HP																		
Voltaje	110V																		
Fase	1 F																		
Presión Máxima	26 Psi																		
Succión Máxima	8m																		
Díámetro de Succión	1 Pulg																		
Díámetro de Descarga	1 Pulg																		
Caudal máximo	28 l/min																		

Fuente. Elaborado por el autor.

Capítulo IV. Diseño del intercambiador de calor

Se realizó tomando en consideración algunas especificaciones de la norma ASTM A179.

4.1 Intercambiador de calor

Para el diseño del intercambiador, parto de unas temperaturas de base a las cuales se quiere llegar en proyecto el cual son el fluido uno de 70° C baja a 50 °C y el segundo líquido que enfría parte de una temperatura de 20°C, el cual, al realizar el intercambio de calor, se calcula la geometría que está en función de la longitud total; derivando de ella, la cantidad de tubos a usar, la configuración pertinente, y finalizando con el diámetro de la carcasa. Para el diseño del intercambiador de calor se realiza un análisis a detalle con el uso del agua como un material práctico para pruebas.

Como material se emplea el acero para tubería de cerramiento espesor 1,5 mm con diámetro nominal de 21,34 mm (Metaltub, s. f.) de la tabla 4-1.

Tabla 4- 1 Catálogo Metaltub

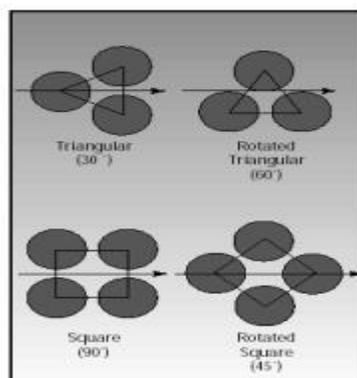
METALTUB TUBERÍA DE CERRAMIENTO (ACABADO NEGRO)										
REFERENCIA			ESPEORES EN MILIMETROS						UNIDAD DE EMPAQUE	
Tubos Redondos ["]			1,2	1,5	1,9	2,3	2,5	3,0		4,0
Diámetro Nominal	Diámetro Externo [pulg]	Diámetro Externo [mm]	Peso Teórico calculado [kg / un*]							
1/2"	0,840	21,34	3,58	4,40	5,47					127
3/4"	1,050	26,67		5,59	6,96					91
1.0"	1,315	33,40	5,72	7,08	8,86					91
1 - 1/4"	1,660	42,16	7,27	9,02	11,32					61
1 - 1/2"	1,900	48,26	8,36	10,38	13,03	15,64	16,93			91
2.0"	2,362	60,00		12,98	16,33	19,64	21,27	25,30		61
2 - 1/2"	2,874	73,00			19,99	24,06	26,08	31,07		37
3.0"	3,500	89,00			24,49	29,51	32,00	38,18		37
4.0"	4,500	114,30			31,60	38,12	41,36	49,41	65,28	19

Fuente: Tomado de (Metaltub, s. f.).

Como material se emplea el acero para tubería de cerramiento espesor 1,5 mm con diámetro nominal de 21,34 mm (Metaltub, s. f.) de la tabla 4-1.

Para el diseño del prototipo se hizo un arreglo del tipo cuadrado a 90° y una parte externa triangular a 60°, con el fin de aprovechar el espacio dentro de una circunferencia y la construcción de los tubos se ha viable debido al doblado de la horquilla, la configuración se muestra en la siguiente figura 4-1:

Figura 4- 1 Configuración de los tubos.



Fuente: Carcazatub, p, 9.

4.2 Parámetros usados en agua a emplear

Para el desarrollo del prototipo se va a evaluar el agua desde una temperatura de 70°C (T1in) y enfriarse hasta los 50°C (T1out), en donde el flujo másico en caliente (m_g) y el flujo másico en frío (m_f); es la variable a identificar y calcular. Para ello se toma los datos de tabla 4-2 (Tabla A-9), se selecciona la densidad inicial de 70° C:

Tabla 4- 2 Propiedades de agua

TABLA A-9													
Propiedades del agua saturada													
Temp., T °C	Presión de saturación, P _{sat} , kPa	Densidad, ρ kg/m ³		Entalpía de vaporización, h _{fg} , kJ/kg	Calor específico, c _p , J/kg · K		Conductividad térmica, k W/m · K		Viscosidad dinámica, μ kg/m · s		Número de Prandtl, Pr		Coeficiente de expansión volumétrica, β 1/K
		Líquido	Vapor		Líquido	Vapor	Líquido	Vapor	Líquido	Vapor	Líquido	Vapor	
0.01	0.6113	999.8	0.0048	2 501	4 217	1 854	0.561	0.0171	1.792 × 10 ⁻³	0.922 × 10 ⁻⁵	13.5	1.00	-0.068 × 10 ⁻³
5	0.8721	999.9	0.0068	2 490	4 205	1 857	0.571	0.0173	1.519 × 10 ⁻³	0.934 × 10 ⁻⁵	11.2	1.00	0.015 × 10 ⁻³
10	1.2276	999.7	0.0094	2 478	4 194	1 862	0.580	0.0176	1.307 × 10 ⁻³	0.946 × 10 ⁻⁵	9.45	1.00	0.733 × 10 ⁻³
15	1.7051	999.1	0.0128	2 466	4 185	1 863	0.589	0.0179	1.138 × 10 ⁻³	0.959 × 10 ⁻⁵	8.09	1.00	0.138 × 10 ⁻³
20	2.339	998.0	0.0173	2 454	4 182	1 867	0.598	0.0182	1.002 × 10 ⁻³	0.973 × 10 ⁻⁵	7.01	1.00	0.195 × 10 ⁻³
25	3.169	997.0	0.0231	2 442	4 180	1 870	0.607	0.0186	0.891 × 10 ⁻³	0.987 × 10 ⁻⁵	6.14	1.00	0.247 × 10 ⁻³
30	4.246	996.0	0.0304	2 431	4 178	1 875	0.615	0.0189	0.798 × 10 ⁻³	1.001 × 10 ⁻⁵	5.42	1.00	0.294 × 10 ⁻³
35	5.628	994.0	0.0397	2 419	4 178	1 880	0.623	0.0192	0.720 × 10 ⁻³	1.016 × 10 ⁻⁵	4.83	1.00	0.337 × 10 ⁻³
40	7.384	992.1	0.0512	2 407	4 179	1 885	0.631	0.0196	0.653 × 10 ⁻³	1.031 × 10 ⁻⁵	4.32	1.00	0.377 × 10 ⁻³
45	9.593	990.1	0.0655	2 395	4 180	1 892	0.637	0.0200	0.596 × 10 ⁻³	1.046 × 10 ⁻⁵	3.91	1.00	0.415 × 10 ⁻³
50	12.35	988.1	0.0831	2 383	4 181	1 900	0.644	0.0204	0.547 × 10 ⁻³	1.062 × 10 ⁻⁵	3.55	1.00	0.451 × 10 ⁻³
55	15.76	985.2	0.1045	2 371	4 183	1 908	0.649	0.0208	0.504 × 10 ⁻³	1.077 × 10 ⁻⁵	3.25	1.00	0.484 × 10 ⁻³
60	19.94	983.3	0.1304	2 359	4 185	1 916	0.654	0.0212	0.467 × 10 ⁻³	1.093 × 10 ⁻⁵	2.99	1.00	0.517 × 10 ⁻³
65	25.03	980.4	0.1614	2 346	4 187	1 926	0.659	0.0216	0.433 × 10 ⁻³	1.110 × 10 ⁻⁵	2.75	1.00	0.548 × 10 ⁻³
70	31.19	977.5	0.1983	2 334	4 190	1 936	0.663	0.0221	0.404 × 10 ⁻³	1.124 × 10 ⁻⁵	2.55	1.00	0.578 × 10 ⁻³

Fuente: Cengel, 2007, p, 678.

$$\rho = 977.5 \text{ kg/m}^3$$

Con la densidad se debe calcular el caudal y con él, determinar el flujo másico:

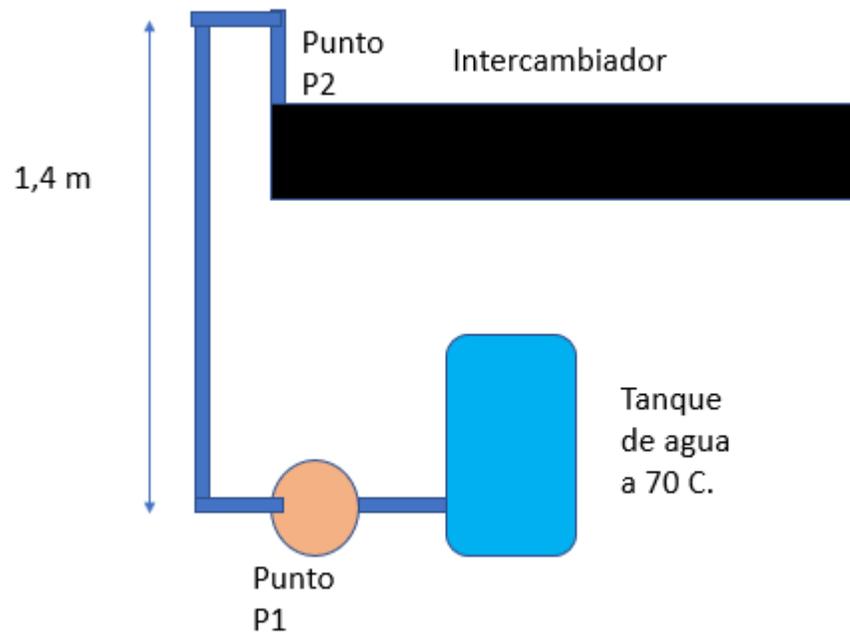
$$\dot{m}g = Q * \rho$$

$$Q = \text{Caudal}$$

Para determinar el flujo másico, se debe determinar la velocidad a la que ejerce una bomba ya establecida que se pueda graduar y el diámetro interior del tubo.

Se aplica la ecuación de Bernoulli según la figura 4-2:

Figura 4- 2 Diagrama para ecuación de Bernoulli.



Fuente: Elaboración del autor

$$\frac{P_1}{\rho g} + \frac{V_1^2}{2g} + h = \frac{P_2}{\rho g} + \frac{V_2^2}{2g} + Z_z$$

Se considera que el llenado tendrá salida al ambiente por lo tanto $P_1 = P_2 =$ presión atmosférica en los tanques estacionarios.

El sistema es estacionario, el agua no está en movimiento $V_1 = 0$

La ecuación anterior queda así:

$$\frac{P_1}{\rho g} + \frac{V_1^2}{2g} + h = \frac{P_2}{\rho g} + \frac{V_2^2}{2g} + Z_z$$

$Z_z =$ se considera sin pérdidas

$$h = \frac{V2^2}{2g}$$

$$\sqrt{2 * h * g} = v$$

$$V2 = \sqrt{2 * h * g}$$

$$V2 = \sqrt{2 * (1,4 m) * 9,81 \frac{m}{s^2}}$$

$$V2 = 5,24 \frac{m}{s}$$

Para el dato anterior de velocidad, se usa una bomba el cual se pueda graduar, para ello se emplea una bomba de 28 litros, y se usa al 70% para un total de 19,6 litros por minuto, bajo este valor se determina el flujo másico mg a usar:

$$Q = \frac{28 \text{ litros}}{\text{min}} \text{ se usa } \frac{19,6 \text{ litros}}{\text{min}} * \frac{1 m^3}{1000 \text{ litros}} = \frac{0.0196 m^3}{\text{min}}$$

$$Q = \frac{0.0196 m^3}{\text{min}} * \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ seg}} = 0.000326 \frac{m^3}{s}$$

Según la tabla, el tubo de acero de cerramiento $\frac{1}{2}$ " = 21,34 mm el diámetro exterior, se le resta el espesor para obtener un diámetro interior:

$$\text{Diámetro int} = 21,34 - 2 * (1,5 \text{ mm}) = 18,34 \text{ mm}$$

Ahora:

$$A = \pi * r^2 = \pi * \left(\frac{18,34 \text{ mm}}{2}\right)^2$$

$$A = 264,17 \text{ mm}^2 * \frac{(1 \text{ m})^2}{(1000 \text{ mm})^2}$$

$$A = 0.000264 \text{ m}^2$$

Ahora el valor del flujo másico, se determina de la densidad y del caudal arrojado por la bomba al 50%:

$$\dot{m}g = 0.000326 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} * 977,5 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 0.31 \text{ kg/s}$$

$$\dot{m}g = 0.31 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

Ya calculado el flujo másico ($\dot{m}g$) del fluido en caliente de $0,31 \frac{\text{Kg}}{\text{s}}$ pasará por un área de 0.000264 m^2 , el cual se enfriará desde los $70 \text{ }^\circ\text{C}$ hasta los $50 \text{ }^\circ\text{C}$.

4.3 Análisis para determinar el flujo másico del agua en frío ($\dot{m}f$)

Flujo del agua fría ($\dot{m}f$)

Partiendo con las propiedades del agua con una temperatura ambiente de $20 \text{ }^\circ\text{C}$ la densidad de la **tabla 2-4** será:

$$\rho = 998 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$$

Con la densidad y el flujo másico en caliente, se deja en función del fluido dos en frío (T_{2in}), para ello se analiza con la máxima temperatura de diseño con:

$$T_{1in} = 70^\circ\text{C} \text{ y } \dot{m}g = 0,31 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

$$T2 \text{ in} = 20 \text{ }^\circ\text{C}$$

Se procede a determinar la temperatura media del fluido frío, para determinar el calor específico:

$$T2\dot{m}_f = \frac{T_{in} + T_{out}}{2} = \frac{20 \text{ }^\circ\text{C} + 50 \text{ }^\circ\text{C}}{2} = 35 \text{ }^\circ\text{C}$$

Se obtiene de tabla 4-3, las características del fluido con 35 °C:

Tabla 4- 3 Propiedades del agua saturada

TABLA A-9
Propiedades del agua saturada

Temp., T °C	Presión de saturación, P _{sat} kPa	Densidad, ρ kg/m ³		Entalpia de vaporización, h _{fg} kJ/kg		Calor específico, c _p J/kg · K		Conductividad térmica, k W/m · K		Viscosidad dinámica, μ kg/m · s		Número de Prandtl, Pr		Coeficiente de expansión volumétrica, β 1/K
		Líquido	Vapor	Líquido	Vapor	Líquido	Vapor	Líquido	Vapor	Líquido	Vapor	Líquido	Vapor	
0.01	0.6113	999.8	0.0048	2 501	4 217	1 854	0.561	0.0171	1.792 × 10 ⁻⁸	0.922 × 10 ⁻⁶	13.5	1.00	-0.068 × 10 ⁻³	
5	0.8721	999.9	0.0068	2 490	4 205	1 857	0.571	0.0173	1.519 × 10 ⁻⁸	0.934 × 10 ⁻⁶	11.2	1.00	0.015 × 10 ⁻³	
10	1.2276	999.7	0.0094	2 478	4 194	1 862	0.580	0.0176	1.307 × 10 ⁻⁸	0.946 × 10 ⁻⁶	9.45	1.00	0.733 × 10 ⁻³	
15	1.7051	999.1	0.0128	2 466	4 185	1 863	0.589	0.0179	1.138 × 10 ⁻⁸	0.959 × 10 ⁻⁶	8.09	1.00	0.138 × 10 ⁻³	
20	2.339	998.0	0.0173	2 454	4 182	1 867	0.598	0.0182	1.002 × 10 ⁻⁸	0.973 × 10 ⁻⁶	7.01	1.00	0.195 × 10 ⁻³	
25	3.169	997.0	0.0231	2 442	4 180	1 870	0.607	0.0186	0.891 × 10 ⁻⁸	0.987 × 10 ⁻⁶	6.14	1.00	0.247 × 10 ⁻³	
30	4.246	996.0	0.0304	2 431	4 178	1 875	0.615	0.0189	0.798 × 10 ⁻⁸	1.001 × 10 ⁻⁶	5.42	1.00	0.294 × 10 ⁻³	
35	5.628	994.0	0.0397	2 419	4 178	1 880	0.623	0.0192	0.720 × 10 ⁻⁸	1.016 × 10 ⁻⁶	4.83	1.00	0.337 × 10 ⁻³	
40	7.384	992.1	0.0512	2 407	4 179	1 885	0.631	0.0196	0.653 × 10 ⁻⁸	1.031 × 10 ⁻⁶	4.32	1.00	0.377 × 10 ⁻³	
45	9.593	990.1	0.0655	2 395	4 180	1 892	0.637	0.0200	0.596 × 10 ⁻⁸	1.046 × 10 ⁻⁶	3.91	1.00	0.415 × 10 ⁻³	
50	12.35	988.1	0.0831	2 383	4 181	1 900	0.644	0.0204	0.547 × 10 ⁻⁸	1.062 × 10 ⁻⁶	3.55	1.00	0.451 × 10 ⁻³	
55	15.76	985.2	0.1045	2 371	4 183	1 908	0.649	0.0208	0.504 × 10 ⁻⁸	1.077 × 10 ⁻⁶	3.25	1.00	0.484 × 10 ⁻³	
60	19.94	983.3	0.1304	2 359	4 185	1 916	0.654	0.0212	0.467 × 10 ⁻⁸	1.093 × 10 ⁻⁶	2.99	1.00	0.517 × 10 ⁻³	

Fuente: Cengel, 2007, p, 678.

El calor específico del fluido frío ($C2p_f$):

$$C2p_f = 4178 \frac{J}{kg \cdot K}$$

Se determina el calor específico del fluido caliente a temperatura media ($C1p_g$):

$$T1\dot{m}_g = \frac{50 \text{ }^\circ\text{C} + 70 \text{ }^\circ\text{C}}{2} = 60 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$C1p_g = 4185 \frac{J}{kg.K}$$

Ya con el valor de los calores específicos del fluido en caliente como del fluido en frío se usa la siguiente ecuación de calor al comparar el calor de entrada por la salida, con el fin de conocer el flujo másico del fluido frío:

$$Q2 = Q1$$

$$\dot{m}_f C2p_f(T2out - T2in) = \dot{m}_g C1p_g (T1in - T1out)$$

Se deja como variable el flujo másico en frío

$$\dot{m}_f * 4178 \frac{J}{kg.k} * (50 - 20)k = 0,32 \frac{Kg}{s} * 4185 \frac{J}{kg.k} * (70 - 50)k$$

$$\dot{m}_f = 0.330 \frac{kg}{s}$$

Con este valor se determina el caudal requerido en la bomba para el fluido que realiza en enfriamiento.

$$\dot{m}_f = \text{Densidad del agua en frio } (\rho_f) * \text{Caudal fluido dos}(Q2)$$

$$\dot{m}_f = (\rho_f) * (Q2)$$

$$0.33 \frac{kg}{s} = (Q2) * 998 \frac{Kg}{m^3}$$

$$(Q2) = 0,00033 \frac{m^3}{s}$$

Pasando este valor a litros:

$$(Q2) = 0,00033 \frac{m^3}{s} * \frac{60 s}{1min} = 0,0198 \frac{m^3}{min} * \frac{1000 litros}{1 m^3} = 19,83 \frac{litros}{min}$$

Para el dato anterior de caudal, se usa la misma referencia de bomba, con una capacidad del 70%, por lo tanto, los 19,83 litros por minuto; puede desplazar el fluido hasta el intercambiador sin ninguna dificultad.

4.4 Cálculo del calor específico mínimo para entre los fluidos (Cmin)

Se procede a calcular el calor específico mínimo entre el C frío y el C caliente:

$$C_{frío} = \dot{m}f * C2p_f = 0,33 \frac{kg}{s} * \left(4178 \frac{J}{kg.k} \right) = 1378,74 \frac{J}{s.k}$$

$$C_{caliente} = \dot{m}g * C1p_g = 0,32 \frac{kg}{s} * \left(4185 \frac{J}{kg.k} \right) = 1339,2 \frac{J}{s.k}$$

Entonces el C_{min} es igual a:

$$C_{min} = 1339,2 \frac{J}{s.k}$$

Una vez obtenido la capacidad de cada fluido, se encuentran las temperaturas de salida.

$$Q2 = C_{min} (T_{frío salida} - T_{frío entrada})$$

$$\frac{Q2}{C_{min}} + T_{frío entrada} = T_{frío salida}$$

$$T_{frío salida} = \frac{41362,2 \frac{J}{s}}{1339,2 \frac{J}{s.k}} + 20^{\circ}C$$

$$T_{frío\ salida} = 30.88 + 20^{\circ}C$$

$$T_{frío\ salida} = 50.88^{\circ}C$$

Ahora: se evalúa en la salida del agua caliente:

$$Q1 = C_{min} (T_{caliente\ entrada} - T_{caliente,\ salida})$$

$$T_{caliente,\ salida} = T_{caliente\ entrada} - \frac{Q}{C_{min}}$$

$$T_{caliente,\ salida} = 70^{\circ}C - \frac{26784 \frac{J}{s}}{1339,2 \frac{J}{s.k}}$$

$$T_{caliente,\ salida} = 50^{\circ}C$$

Para determinar el Q_{max} , se halla

$$Q_{max} = C_{caliente} (T_{caliente\ entrada} - T_{frío\ entrada})$$

$$Q_{max} = 1339,2 \frac{J}{s.k} * (70^{\circ}C - 20^{\circ}C)$$

$$Q_{max} = 66960 \frac{J}{s} = 66960\ w$$

Con el valor de Q_{max} , se obtiene la efectividad:

$$\varepsilon = \frac{Qg}{Q_{max}} = \frac{\text{razón de transferencia de calor real}}{\text{razón máxima posible transferencia de calor}}$$

$$\varepsilon = \frac{26784 \frac{J}{s}}{66960 \frac{J}{s}} = 0,4$$

Partiendo de la efectividad, se encuentra la relación de capacidades:

$$C = \frac{C_{min}}{C_{max}}$$

$$C = \frac{1339,2 \frac{J}{s \cdot k}}{1378,74 \frac{J}{s \cdot k}}$$

$$C = 0.971$$

Con el valor anterior de relación de capacidad C y de efectividad, se escoge el tipo de relación del NTU (Número de unidades de transferencia térmica) para I.C de tubos y coraza en contraflujo. (Mirar de tabla 4-4)

Tabla 4- 4 Relaciones de NTU

Relaciones del NTU para los intercambiadores de calor, $NTU = UA_s/C_{min}$
 y $c = C_{min}/C_{max} = (\dot{m}c_p)_{min}/(\dot{m}c_p)_{max}$

Tipo de intercambiador de calor	Relación del NTU
1 <i>Doble tubo:</i> Flujo paralelo	$NTU = -\frac{\ln [1 - \varepsilon(1 + c)]}{1 + c}$
Contraflujo	$NTU = \frac{1}{c - 1} \ln \left(\frac{\varepsilon - 1}{\varepsilon c - 1} \right)$
2 <i>Tubos y coraza:</i> Un paso por la coraza y 2, 4, . . . pasos por los tubos	$NTU = -\frac{1}{\sqrt{1 + c^2}} \ln \left(\frac{2/\varepsilon - 1 - c - \sqrt{1 + c^2}}{2/\varepsilon - 1 - c + \sqrt{1 + c^2}} \right)$

Fuente: Cengel, 2007, p, 208.

Como el tipo de intercambiador de calor; es de tubos y coraza: se realizó con un solo paso por la coraza.

Se usa la siguiente ecuación:

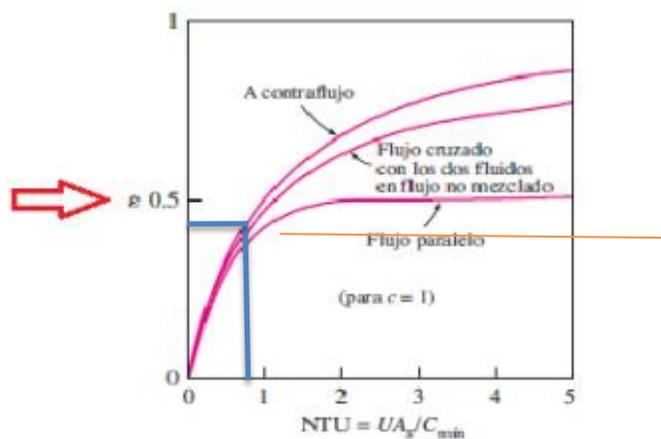
$$NTU = - \frac{1}{\sqrt{1+c^2}} \ln \left(\frac{\frac{2}{\varepsilon} - 1 - c - \sqrt{1+c^2}}{\frac{2}{\varepsilon} - 1 - c + \sqrt{1+c^2}} \right)$$

$$= - \frac{1}{\sqrt{1+0.971^2}} \ln \left(\frac{\frac{2}{0,4} - 1 - 0.971 - \sqrt{1+0.971^2}}{\frac{2}{0,4} - 1 - 0.971 + \sqrt{1+0.971^2}} \right)$$

$$= 0,845$$

Ahora se compara el valor de NTU, con la tabla 4-5 para comprobar el tipo de flujo.

Tabla 4- 5 Tipo de flujo según el NTU



Fuente: Cengel, 2007, p, 210.

Ahora se determina el área de transferencia de calor, despejando As (área de transferencia de calor) y U (coeficiente global de transferencia de calor) de la fórmula:

$$NTU = \frac{U As}{C_{min}}$$

$$As = \frac{NTU C_{min}}{U}$$

A continuación, se eligió el coeficiente global de transferencia de calor según la tabla 4-6. para reemplazar en la ecuación anterior:

Tabla 4- 6 Valor de Coeficiente global de transferencia de calor

Tipo de intercambiador de calor	$U, W/m^2 \cdot ^\circ C^*$
Agua hacia agua	850-1 700
Agua hacia aceite	100-350
Agua hacia gasolina o queroseno	300-1 000
Calentadores de agua de alimentación	1 000-8 500
Vapor de agua hacia combustóleo ligero	200-400
Vapor de agua hacia combustóleo pesado	50-200
Condensador de vapor de agua	1 000-6 000
Condensador de freón (agua enfriada)	300-1 000
Condensador de amoníaco (agua enfriada)	800-1 400
Condensadores de alcohol (agua enfriada)	250-700
Gas hacia gas	10-40
Agua hacia aire en tubos con aletas (agua en los tubos)	30-60 [†] 400-850 [†]
Vapor de agua hacia aire en tubos con aletas (vapor de agua en los tubos)	30-300 [†] 400-4 000 [‡]

Fuente: Cengel, 2007, p, 220.

Se toma el dato de tabla, agua hacia agua

$$U = 850 \frac{W}{m^2}$$

$$As = \frac{(0,845) * 1339,5 \frac{J}{s.k}}{850 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}}$$

$$As = 1,331 m^2$$

Otra forma de hallar As sería despejada de:

$$As = n (\pi Di L)$$

Di = Diámetro interior de los tubo

L = Longitud de cada paso por los tubos

n = número de pasos por los tubos

$$\text{De tabla } Di \frac{1}{2}'' = 18.34mm * \frac{1mm}{1000mm} = 0,01834m$$

Se determina la longitud para un solo tubo

1 modelo

$$L = \frac{As}{n * \pi * Di} \text{ y } n = 1$$

$$L = \frac{1,331 m^2}{1 * \pi * 0,01834 m}$$

$$L = 23,1 m$$

La longitud me da para un intercambiador, que para su construcción no sería viable. Se buscó, un intercambiador que este entre un valor máximo de 1,2 m, según el espacio del laboratorio.

1 modelo

$$L = \frac{As}{n * \pi * Di} \text{ y } n = 20$$

$$L = \frac{1,331 \text{ m}^2}{20 * \pi * 0,01834 \text{ m}}$$

$$L = 1,155 \text{ m}$$

2 modelo

$$AT_1 = T_{\text{caliente entrada}} - T_{\text{frío entrada}}$$

$$= 50^\circ\text{C} - 20^\circ\text{C}$$

$$AT_2 = 30^\circ\text{C}$$

Ahora:

$$\Delta T_m = \frac{\Delta T_2}{\ln\left(\frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}\right)} = \frac{20 - 30}{\ln\left(\frac{20}{30}\right)} = \frac{-10}{-0.405} = 24.6$$

Ahora:

$$Q = Ui * As * \Delta T_m$$

$$Q = 850 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} * 1,331 \text{ m}^2 * 24.6$$

$$Q = 27831.21 \text{ W}$$

Ahora P (Perímetro):

$$L_i = \frac{Q}{\Delta T_m * U_i * P}$$

$$L_i = \frac{27831.21 \text{ w}}{24.6 * 850 \frac{\text{w}}{\text{m}^2\text{c}} * 0,0576 \text{ m} * c * 20 \text{ Tubos}}$$

$$L_i = 1,15\text{m}$$

Capítulo V. Construcción del intercambiador de calor

Después de hacer una minuciosa revisión documental acerca de la construcción de intercambiadores de calor de carcasa y tubos con el objetivo analizar información sobre el diseño y la forma de fabricación de estos dispositivos, se tendrá mayor claridad para determinar el modelo a seguir; lo que sugiere por lo tanto realizar la selección del diseño mediante la metodología de priorización de ideas, contando en todo instante con la asesoría de los docentes de la Universidad Antonio Nariño sede Neiva, haciendo especial énfasis en que la selección del diseño y forma de construcción del dispositivo cumpla y satisfaga las necesidades de la Universidad.

Para tener un buen diseño que facilite la construcción del intercambiador de calor de carcasa y tubos se recurre también al diseño al detalle, con el fin de hacer del proceso de selección una acción que resulte la más adecuada para la universidad, docentes y estudiantes.

Este banco posee muchos elementos utilizados en hidráulica y fáciles de encontrar en el comercio local, son elementos típicos que se suelen encontrar en un sistema de tuberías real. También se dispuso de instrumentos para la medida de temperaturas y caudal.

Breve descripción del procedimiento:

Tipo de Intercambiador: Se hizo la selección del material a utilizar para empezar con la construcción del equipo, este depende de su comercialización en el mercado local y

también de la facilidad en el proceso de soldadura, el cual será GMAW, para aceros al carbón.

Construcción del Modelo: Una vez seleccionado el tipo de intercambiador, con sus respectivos materiales se procede a la construcción del banco, esta construcción se lleva a cabo en un taller de metalmecánica de la ciudad de Neiva.

5.1 Procedimiento

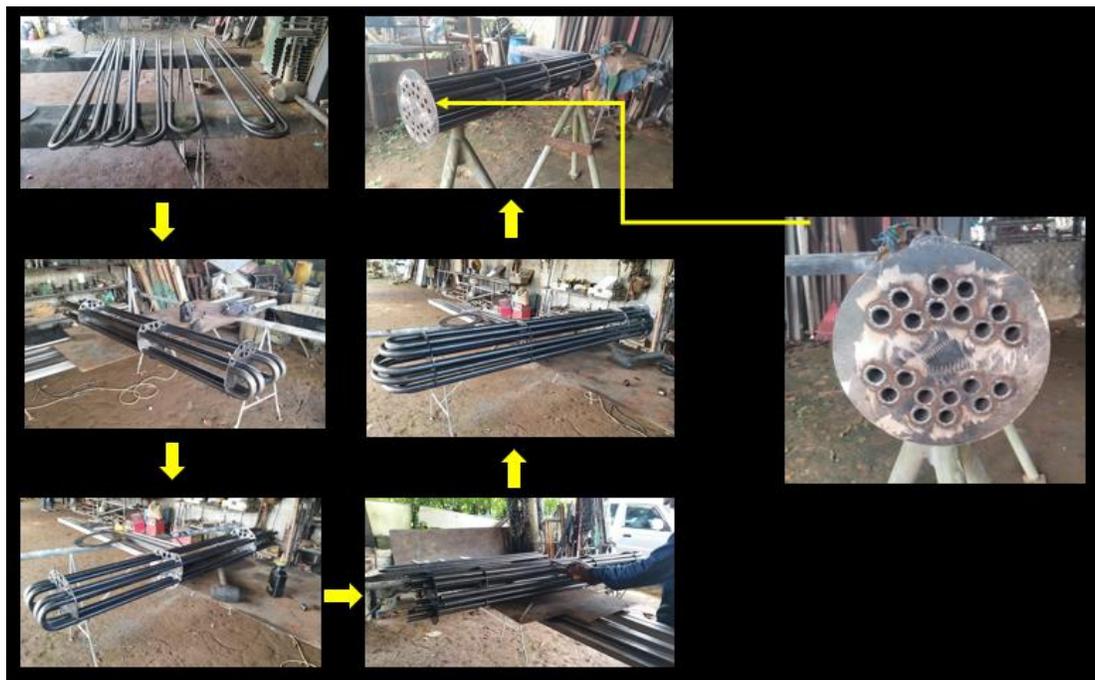
Figura 5- 1 Separadores y corte para desvío de fluido.



Fuente: Elaboración del autor

En la figura 5-1, parte en la construcción de los discos circulares que sostiene los tubos internos, además se corta los separadores de flujo, para que luego se realice el desvío del agua cuando pase el agua en el interior de carcaza. Estos discos son el soporte que soporta los tubos, permitiéndoles estabilidad para su armado.

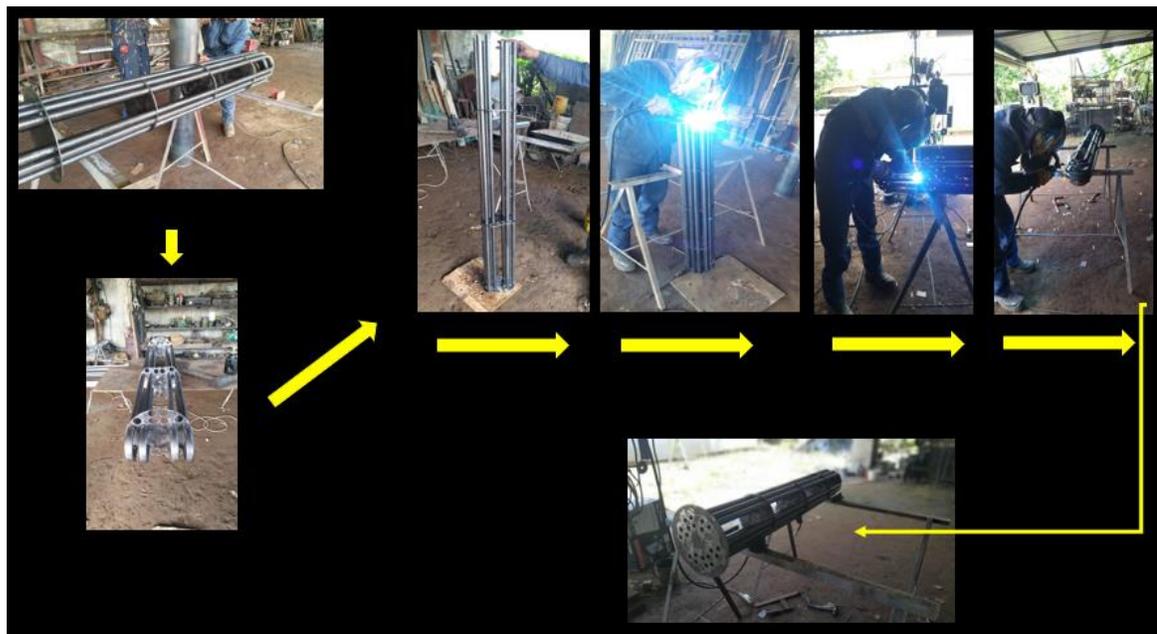
Figura 5-2 Doblado de tubos y armado de tubería interna.



Fuente: Elaboración del autor

En la figura 5-1, se inició con el doblado del tubo, para ir introduciendo cada tubo en los separadores, e ir dando estabilidad para ajustar los tubos a una distancia de 0,35m de separación, luego se procede a ajustar todos los tubos se aplicó soldadura MIG, unidos sobre una cara circular que sirve como base principal. El armado se llevó a cabo con la inserción de los tubos cortos y sucesivamente se instala los demás, con un armado desde el interior hasta los tubos con mayor radio de curvatura.

Figura 5- 3 Aplicación de soldadura al cuerpo de la tubería interna.



Fuente: Elaboración del autor

Unos de los requisitos según la norma A179 (Mazueto, 2022, p. 3). Es el uso de tubos sin costura, se aplicó soldadura a los extremos de los separadores y los tubos para brindar estabilidad en su manipulación, y evitar que estos tiendan a girar. Las terminaciones finales, son pulidas en las caras ya que están deben realizar el contacto con las tapas de cierre y debe mantenerse totalmente lisa la cara que hace contacto con la tapa el cual lleva en si el paso de fluidos.

Este proceso, requiere de tiempo y control ya que el calor puede afectar el material a soldar, y producir flexión, en las zonas que se aplica soldadura, para evitar este problema, se suelda por zonas, y se rota la tubería.

Figura 5-4 Preparación de carcasa.

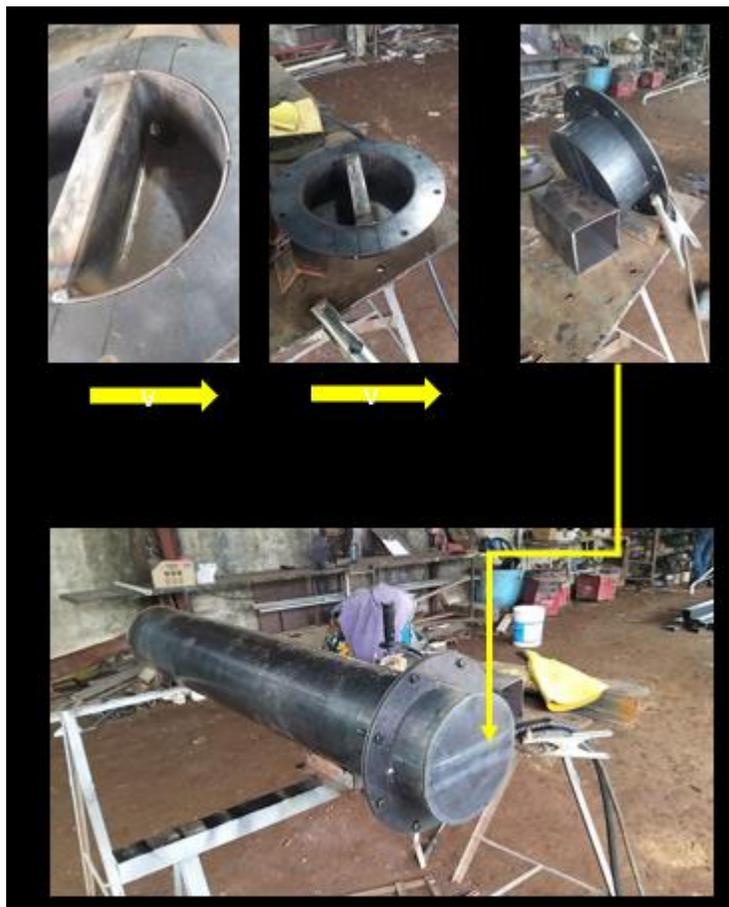


Fuente: Elaboración del autor

La figura 5-4, se trata de cortar y pulir la carcasa externa, y en sus extremos realizar cortes radiales con el fin de instalar y unir con material de aporte, este tipo de soldadura debe ser aplicada por personal calificado, ya que el tipo de cocido no puede poseer poros ya que puede producir fugas del líquido a usar en el interior de la carcasa.

La figura 5-5, muestra que la construcción de la tapa de cierre, debe poseer en su interior una zona de división, el cual permite por cierre hermético separar el fluido de 70 °C y el fluido con disminución de temperatura 50°C. para ello se deja un espacio de 35 mm como recámara de separación.

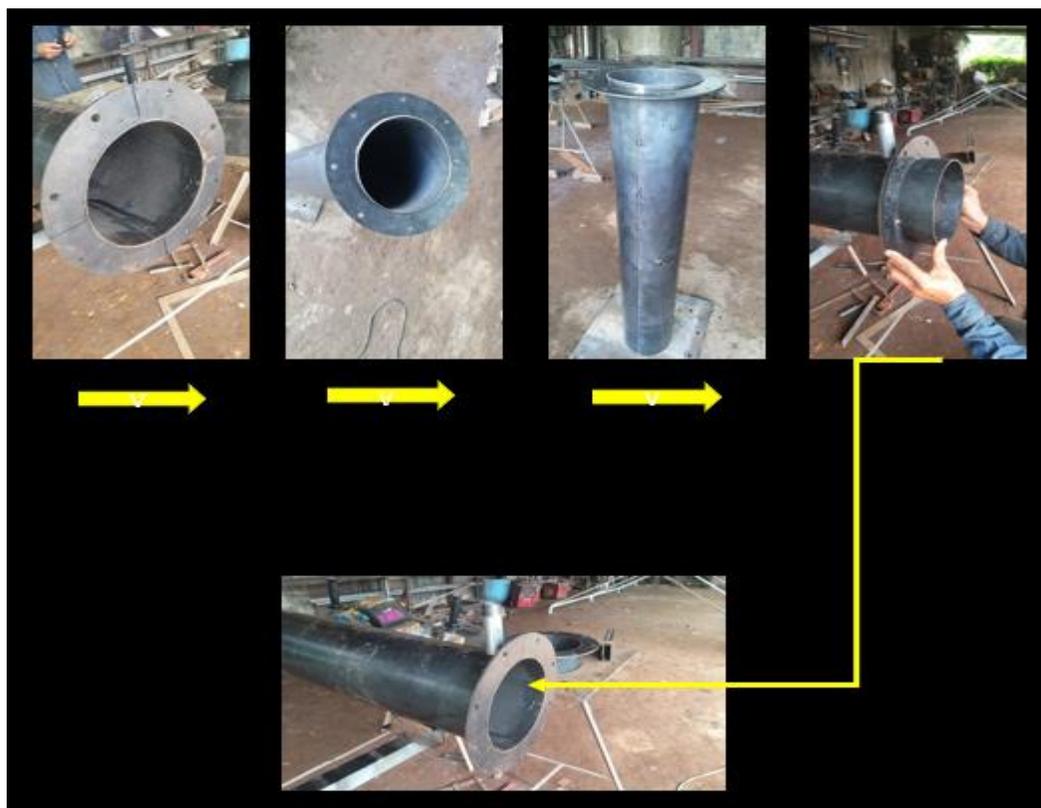
Figura 5- 5 Preparación de tapa de cierre y recámara de separación.



Fuente: Elaboración del autor

En la figura 5-6, muestra que se realizó 8 perforaciones para instalar la tornillería M8, el cual permitirá con el uso de corcho, realizar una presión uniforme sobre la tapa y no dejar que el fluido se fuge. De igual forma, estas perforaciones deben ir totalmente alineadas con el fin de garantizar un ajuste parejo sobre toda el área circular de la carcasa externa y la tapa de cierre.

Figura 5- 6 Perforación de caras de contacto de la carcasa.



Fuente: Elaboración del autor

En la figura 5-7, muestra que al final cada pieza ya construida, es pulida, se ha eliminado material de escoria, y pulido, con el fin de aplicar anticorrosivo, en donde se identifica la estructura para los tubos internos, la carcasa externa y el soporte en el cual se apoyara el intercambiador. Se inspecciona que todas las partes puedan encajar, como lo son incrustación de tubería interna con carcasa, tubos de entrada y salida de los líquidos de trabajo, conexiones externas para unión con tuviera de PVC de una pulgada.

Figura 5- 7 Pintado con material anticorrosivo.



Fuente: Elaboración del autor

Figura 5- 8 Instalación de válvulas de cierre y paso de líquidos



Fuente: Elaboración del autor

En la figura 5-8. Se instala los accesorios, se ubica los soportes metálicos para las bombas, se prueba la hermeticidad del intercambiador de calor. Un aspecto importante de la construcción fue dejar todas las piezas para una manipulación y desmontaje, ya que su tamaño y traslado requiere que sea todo desmontable.

Los planos usados para la construcción del intercambiador y como piezas fundamentales se presentan en los anexos:

Anexo 2. Plano de soporte para tubos internos.

Anexo 3. Plano de tubos.

Anexo 4. Plano de unión de soportes.

Anexo 5. Plano ensamble tubería interna.

Anexo 6. Plano soporte para tubo interno.

Anexo 7. Plano tapa carcasa.

Anexo 8. Plano unión de soporte carcasa.

Capítulo VI. Prueba y práctica en entorno educativo.

Cuando el intercambiador de calor de carcasa y tubos se encuentre operando, se procederán a hacer pruebas de funcionamiento, para validar resultados y precisión de la instrumentación.

Una vez en este punto se tiene que el intercambiador de calor de carcasa y tubos está funcionando correctamente y bien calibrado. Se procede a la elaboración de la respectiva guía funcional del equipo para el laboratorio (**Anexo. Guía de laboratorio**), para ayudar en la ejecución de estrategias didácticas que refuercen los conocimientos de los estudiantes y que sirva como una herramienta pedagógica a través de la cual docentes y estudiantes tienen la posibilidad de poner en práctica la teoría expuesta en el salón de clase.

6.1 Prueba y validación de resultados

6.1.1 Procedimiento Preoperacional

Para llevar a cabo el procedimiento de intercambio de calor, se debe realizar las siguientes recomendaciones:

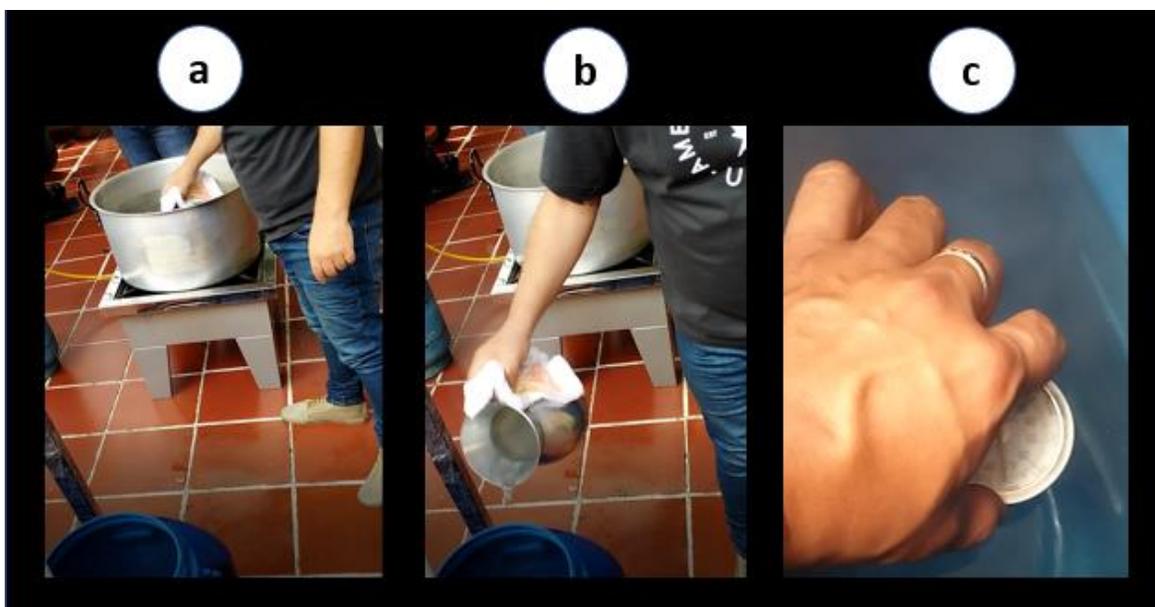
- a) Verificar conexiones de válvulas, uniones y acoples a los tanques.
- b) Verificar voltaje en la entrada de las bombas.
- c) Verificar que las termocuplas estén marcando la misma medida.
- d) Usar guantes o aislantes térmicos para manipulación del agua caliente.

6.1.2 Comprobación del intercambio de calor

1. Preparación del agua.

Se prepara el agua para flujo caliente: En la figura siguiente (figura 6-1), se procede a llevar la temperatura del agua a una temperatura antes de ebullición (figura a) para lograr trasladarla del punto de calentamiento hasta el tanque de almacenaje (figura b), para ello, se debe ir depositando agua caliente e ir agregando agua fría, luego se mezcla durante unos minutos para homogenizar, y repetir el procedimiento hasta llegar a la temperatura deseada de trabajo que se mide con la termocupla (figura c).

Figura 6- 1 Calentamiento del agua a 70°C

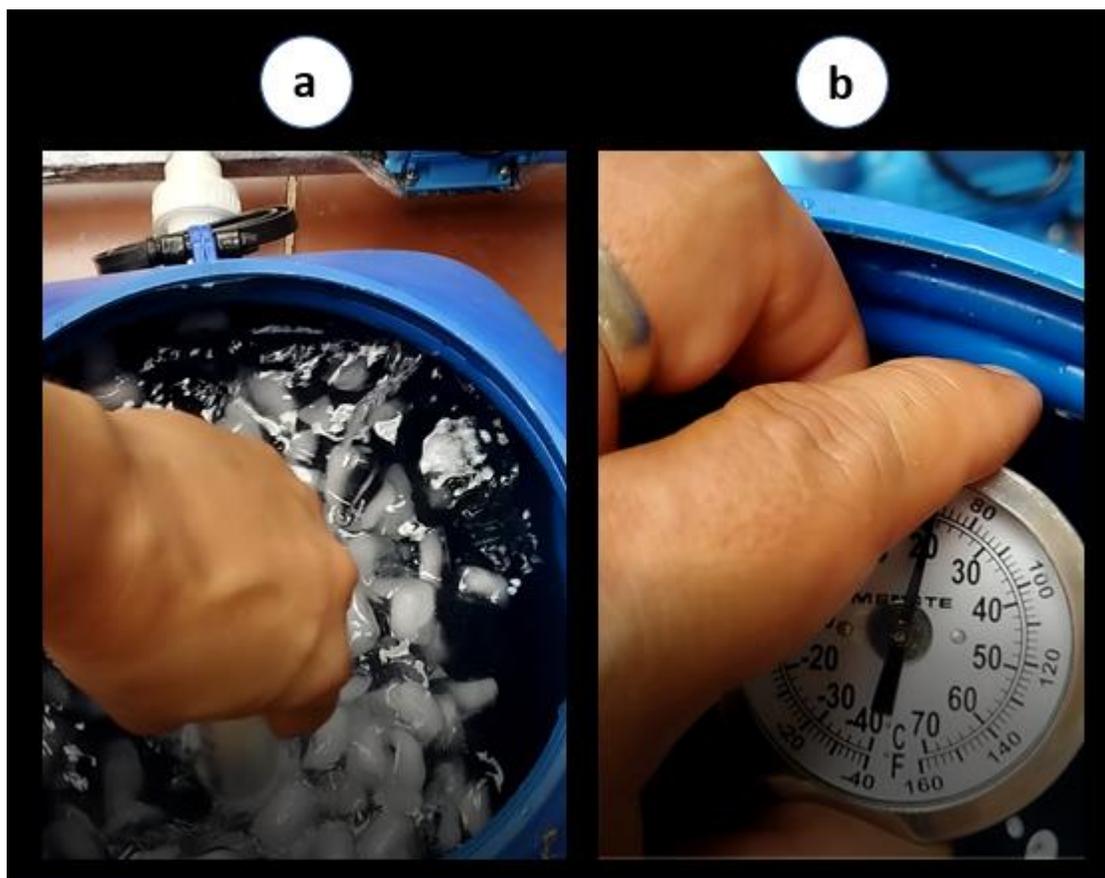


Fuente: Elaboración propia.

Se prepara el agua para fluido frío: De igual manera, se repite el procedimiento, para el agua natural que se encuentra a 30°C se disminuye su temperatura con hielo en cubos, se agrega poco a poco (figura 6-2a), se mezcla y se procede a tomar la medición

con la termocupla hasta llegar a la temperatura indicada de 20 °C, como se puede apreciar en la figura 6-2b.

Figura 6- 2 Enfriamiento del agua a 20°C.

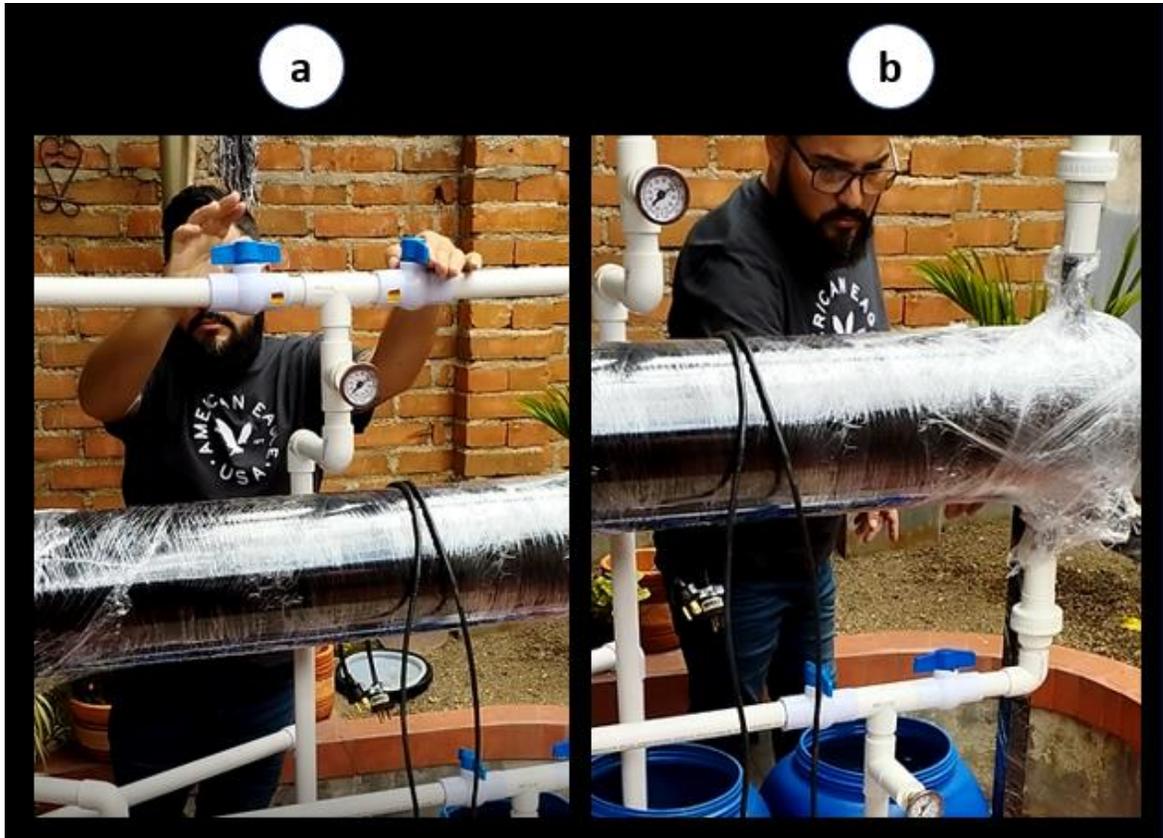


Fuente: Elaboración del autor

Se debe verificar las temperaturas en cada tanque, según la figura del tanque a tenga la temperatura de trabajo de 70°C, y de igual forma el tanque en la figura b, tenga la medición de los 20 °C, ya estandarizados y corroborados, no se puede dejar pasar tanto tiempo para la activación de las bombas y apertura de válvulas, ya que la temperatura del agua empieza a descender (mg) o aumentar (mf).

2. Se realiza configuración de abertura de válvulas para trabajo contraflujo.

Figura 6- 3 Abertura de válvulas superiores.

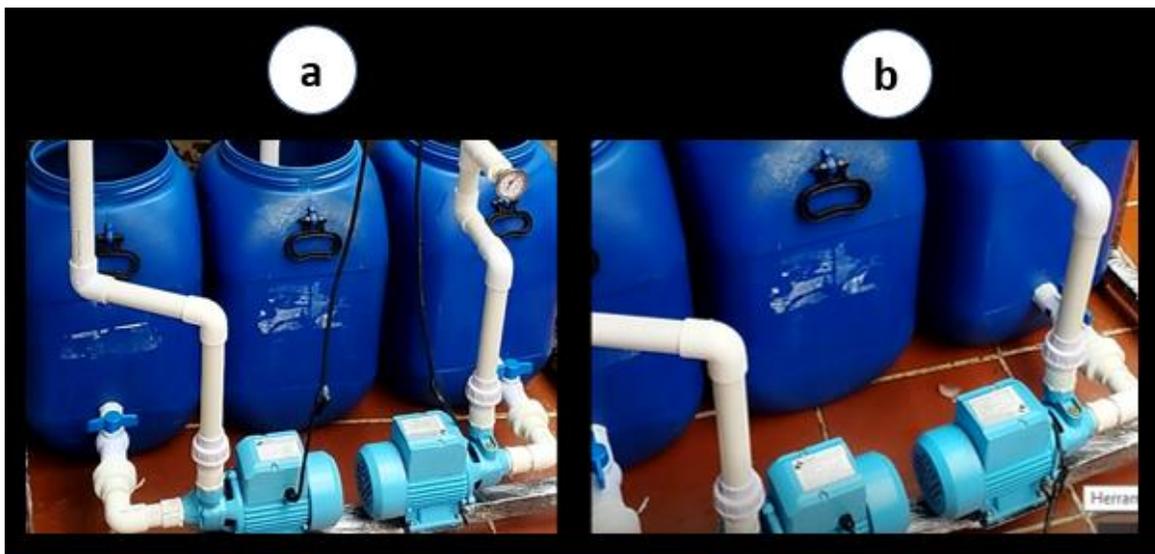


Fuente: Elaboración del autor

Se debe verificar que las válvulas superiores en la figura 6-3a y 6-3b, esté en su sentido de orientación del fluido, ya que la máquina se configuró para trabajar a flujo paralelo y contraflujo, además se verifica que el fluido de agua en frío esté en su posición como se plasma en la figura b.

3. Se realiza abertura para extracción del agua de los tanques y apertura de válvulas de salida.

Figura 6- 4 Verificación de abertura de válvulas en las bombas.



Fuente: Elaboración del autor

Además, se corrobora que las bombas tengan activas la apertura de las válvulas, ya que están pueden fallar si trabajan en vacío, lo cual puede quemar las bombas, de lo anterior es fundamental revisar esta última abertura de válvulas, con el fin de que ambas bombas trabajen al mismo tiempo (ver figura 6-4a y 6-4 b).

4. Activación de bombas para desplazamiento de los fluidos.

Para la activación del intercambiador (ver figura 6-5), y antes de haber realizado una revisión preoperacional, se realizó la conexión a la fuente de energía de 110 V, para las dos bombas, luego se oprime el botón de encendido de las bombas, revisando que las válvulas de paso estén abiertas.

Figura 6- 5 Enchufado de bombas.



Fuente: Elaboración del autor

El intercambiador, en la siguiente figura tiene plasmado en el cuerpo de la carcasa el sentido del flujo que se muestra en color rojo (flechas) para el flujo caliente (mg) y para el flujo frío (flechas) con el color azul, tiene una variación ya que se instaló internamente 3 deflectores para cambio de flujo del agua fría.

5. Registro fotográfico de las temperaturas durante el proceso de intercambio de calor.

En la figura 6-6 se puede evidenciar, que la salida del fluido caliente (mg), tiene su temperatura deseada de 70°C, al intercambiar con el agua a 20 °C se evidencia que parte del calor actúa en el fluido frío (mf), se le adicionó 30°C, ahora en la figura 6-6b, se aprecia que el líquido llega a 50°C, por lo tanto, el funcionamiento y cálculo desarrollado cumple con la expectativa planteada del proyecto.

Figura 6- 6 Evidencia de intercambio de calor.



Fuente: Elaboración del autor.

6. Registro fotográfico de las temperaturas de salida luego del proceso.

Durante el proceso de finalización de la prueba, quedan unas variaciones de las termocuplas, y se halló que al poseer los tanques agua con vapor en los numerales a, b y c, se concluyó que el vapor queda en el interior de la tubería y su tiempo para quedar en reposo esta un rango de los 20 a 30 minutos. De las mediciones que se presentan en la termocupla está en el rango de 50 ° C a 55°C; apreciándose en la figura 6-7.

Figura 6-7 Calor residual en el intercambiador.



Fuente: Elaboración del autor

Funcionalidad:

a). La funcionalidad del equipo, se hace con la verificación previa de los líquidos antes de accionar las bombas, ya que si los líquidos no están en la temperatura de trabajo ideal, el equipo hará la transferencia de calor y el resultado no puede ser el esperado, por lo tanto debe garantizarse que los líquidos estén a la temperatura inicial correspondiente para que la variación de temperatura a la salida sea lo más cercana posible a lo calculado matemáticamente, estas deben estar lo más cercano posible a los 70 °C para fluido caliente y 20 °C para el fluido frío.

b). Los medidores de temperatura deben estar en reposo, más o menos 20 minutos entre cada prueba para que los valores en ellas sean correctos y fiables, si esto no se tiene en cuenta hay riesgo de que haya errores al momento de leer los sensores.

El funcionamiento del equipo se puede verificar por medio de la visualización del video de la prueba realizada con los parámetros ideales. Para lograr realizar el funcionamiento en el laboratorio y pueda ser usado por los estudiantes se deja establecida una guía. **Anexo. Guía de laboratorio.**

Conclusiones y recomendaciones

Conclusiones

Se diseñó y cálculo un intercambiador de calor con una longitud calculada de 1,2 metros el cual permitió disminuir el fluido caliente (*m_g*) de 70 ° C hasta los 50 °C, con el fluido frío (*m_f*) de 20 °C, intercambiando el calor hasta llegar a una temperatura teórica de salida 50°C; validando el diseño con la prueba funcional.

Se construyó un intercambiador horizontal con la consideración de la norma ASTM el numeral A179 para tubos sin costura, el cual usa como fluido de diseño agua para la tubería interna y la carcasa, tiene un funcionamiento de tipo contraflujo, con un número de 10 tubos con una longitud de tubo 1,2 m, con diámetro de 21,34 mm, carcasa de 0,210 m de diámetro y un total de 3 deflectores a cada 0,3 m.

Se realizó la validación del intercambiador de calor por medio de una prueba de funcionamiento, con la finalidad de demostrar la transferencia de calor entre los fluidos caliente de 70°C y el fluido frío de 20°C, demostrando la disminución de temperatura desde los 70 °C hasta los 50 °C en la zona de salida del intercambiador.

Recomendaciones

Como principales recomendaciones y como sugerencia para mejorar el banco didáctico del intercambiador de calor se debe usar un variador de frecuencia para regular la velocidad de giro de las bombas, ya regulado, se puede controlar el caudal, tanto del fluido caliente y frío. Permitiendo que se realicen pruebas para bajar la temperatura desde un rango de 70°C hasta los 50°C para fluidos calientes y para fluidos en frío desde los 27°C

hasta los 10 °C permitiendo verificar en la salida la variación de temperatura para un proceso a contraflujo. En donde el caudal del fluido en caliente debe ser lento y el fluido frío estar entre 15 a 28 litros por minuto.

Como segunda recomendación, se pueden usar unos recipientes más grandes a los actuales de 113,16 litros, para que el proceso de intercambio se haga por más tiempo, actualmente, el tiempo de bombeo es de 40 a 50 segundos, unos recipientes más grandes garantizan un bombeo por más tiempo y comprobar así unos resultados con un mínimo margen de error. Además, se debe considerar que, si el intercambiado de calor se hace a la intemperie, puede afectarse por la temperatura ambiente el cual afecta directamente sobre la carcasa.

Se detectó que, en el interior de la tubería, luego de realizadas las pruebas se almacena vapor de agua, con una variación de tiempo estimado de 15 a 20 minutos, modificando los medidores de temperatura (termocuplas).

Se recomienda que para realizar pruebas se debe dejar un espacio de media hora a 40 minutos hasta que las termocuplas se estabilicen, ya que al contener una medición interna puede ocasionar que las bombas trabajen un tiempo más, y luego se desocupen los tanques de almacenamiento debido a que las bombas poseen la temperatura anterior de la prueba de ensayo.

Como tercera recomendación, se puede usar un sistema de resistencias eléctricas para automatizar el calentamiento del fluido a utilizar.

Referencias Bibliográficas

- Almario, J. P. C. (2019). *Diseño térmico y mecánico de un intercambiador de calor de placas*. 78.
- Almaso, R. (2017). *Anteproyecto de un intercambiador de calor tipo doble tubo para un proceso de refinación*.
<https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/22198/ANTEPROYECTO%20D%20E%20ICC%20DT.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Arista, J. G. M. (2022). *Diseño y simulación de una pasteurizadora tubular para el procesamiento de zumo de naranja*. 223.
- Arnaiz, C. (2021). *Intercambiador de calor: Qué es, tipos y cuándo usarlo - TecnoAlimen*.
<https://www.tecnoalimen.com/articulos/20210721/quilinox-intercambiador-calor-tipos-cuando-usarlo>
- Asme B31-3, R. R. (2008). *ASME B31.3 En español tuberías de proceso*.
https://www.academia.edu/26793732/ASME_B31_3_EN_ESPA%C3%91OL_TUBER%C3%8DAS_DE_PROCESO
- Boix, O. (2018). *TFE-Diseño térmico y mecánico de un intercambiador de calor.pdf*.
<https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/169096/TFE-Dise%C3%B1o%20t%C3%A9rmico%20y%20mec%C3%A1nico%20de%20un%20intercambiador%20de%20calor.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Diferenciador. (2020). *Diferencia entre calor y temperatura*. Diferenciador.
<https://www.diferenciador.com/diferencia-entre-calor-y-temperatura/>

Edge. (2000). *Agua—Densidad Viscosidad Peso Específico*.

https://www.engineersedge.com/physics/water__density__viscosity__specific_weight__13146.htm

Engineering. (2020). *Agua—Calor específico vs. Temperatura*.

https://www.engineeringtoolbox.com/specific-heat-capacity-water-d_660.html

Esquema-intercambiador-de-calor.jpg (960×720). (s. f.). Recuperado 16 de agosto de

2022, de <https://t-solucionaria.com/wp-content/uploads/Esquema-intercambiador-de-calor.jpg>

Fernández, J. (2018). *Presión*. <https://www.fisicalab.com/apartado/presion>

Gallardo. (2015). *Topintercambiaodres.pdf*.

<http://www.radiadoresgallardo.cl/topintercambiaodres.pdf>

Guevara, S. A. D. (2017). *Diseño y construcción de un intercambiador de calor de placas paralelas para el laboratorio de transferencia de*. 153.

Ibarra-Hernández, E. V., Dupin-Fonseca, M., Goya-Valdivia, F. A., Guerra-Valdés, B. F.,

Almeida Espinosa, A. J., Ibarra-Hernández, E. V., Dupin-Fonseca, M., Goya-

Valdivia, F. A., Guerra-Valdés, B. F., & Almeida Espinosa, A. J. (2019).

Metodología de diseño mecánico para intercambiadores tipo tubos - coraza,

cabezal flotante y tubos en u. *Centro Azúcar*, 46(4), 68-78.

IngenieroMarino. (2019). *Intercambiadores de Calor—Ingeniero Marino*.

<https://ingenieromarino.com/intercambiadores-de-calor/>

Labat, J. C. (2018). *Graduado en ingeniería en tecnologías industriales*. 73.

Mazueto, P. (2022). (99+) *Normas para tubos de intercambiadores de calor | Pablo*

Mazueto—Academia.edu.

https://www.academia.edu/34568037/Normas_para_tubos_de_intercambiadores_de_calor

Medina, M. (2017). *CAUDAL | Física de fluidos y termodinámica*.

<https://mauriciomedinasierra.wordpress.com/primer-corte/conceptos/caudal/>

Metaltub. (s. f.). *Ficha-tecnica-metaltub.pdf*. Recuperado 14 de septiembre de 2022, de

<https://www.acesco.com.co/descargas/fichastecnicas/ficha-tecnica-metaltub.pdf>

Mitchell, J. (2018). *Viscosidad del agua: La guía definitiva—EngineeringClicks*.

<https://www.engineeringclicks.com/viscosity-of-water/>

Morales León, V. B., & Ramírez Colcha, L. P. (2012). *Diseño y Construcción de un Intercambiador de Calor de Tubos Concéntricos para el Mejoramiento de las Condiciones de Combustión del Diesel 2*.

<http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/1981>

Osorio, D. R. A. (s. f.). *ING. Rafael Flores González*. 169.

Ponce, V. (2021). *Las propiedades del agua, Dr. Victor M. Ponce*.

http://ponce.sdsu.edu/propiedades_del_agua.html

Quilinox. (2021, marzo 18). Intercambiador de calor: Qué es, tipos y cuándo usarlo [2021].

Quilinox. <https://quilinox.com/2021/03/18/intercambiador-de-calor-que-es-tipos-y-cuando-usarlo/>

Rojas, S. P. B. (2014). *Diseño de un módulo de intercambiador de calor de coraza y tubos*. 88.

Romero, F. (2019). *Diseño y Cálculo Mecánico de Intercambiadores de Calor Tubulares Contenido*.

https://www.academia.edu/28990998/Dise%C3%B1o_y_C%C3%A1lculo_Mec%C3%A1nico_de_Intercambiadores_de_Calor_Tubulares_Contentido

Useche, R. E. C. (2019). *Diseño De Un Intercambiador De Calor De Tubos Concéntricos*.
78.

Usgs. (2018). *de densidad del agua Servicio Geológico de los Estados Unidos*.

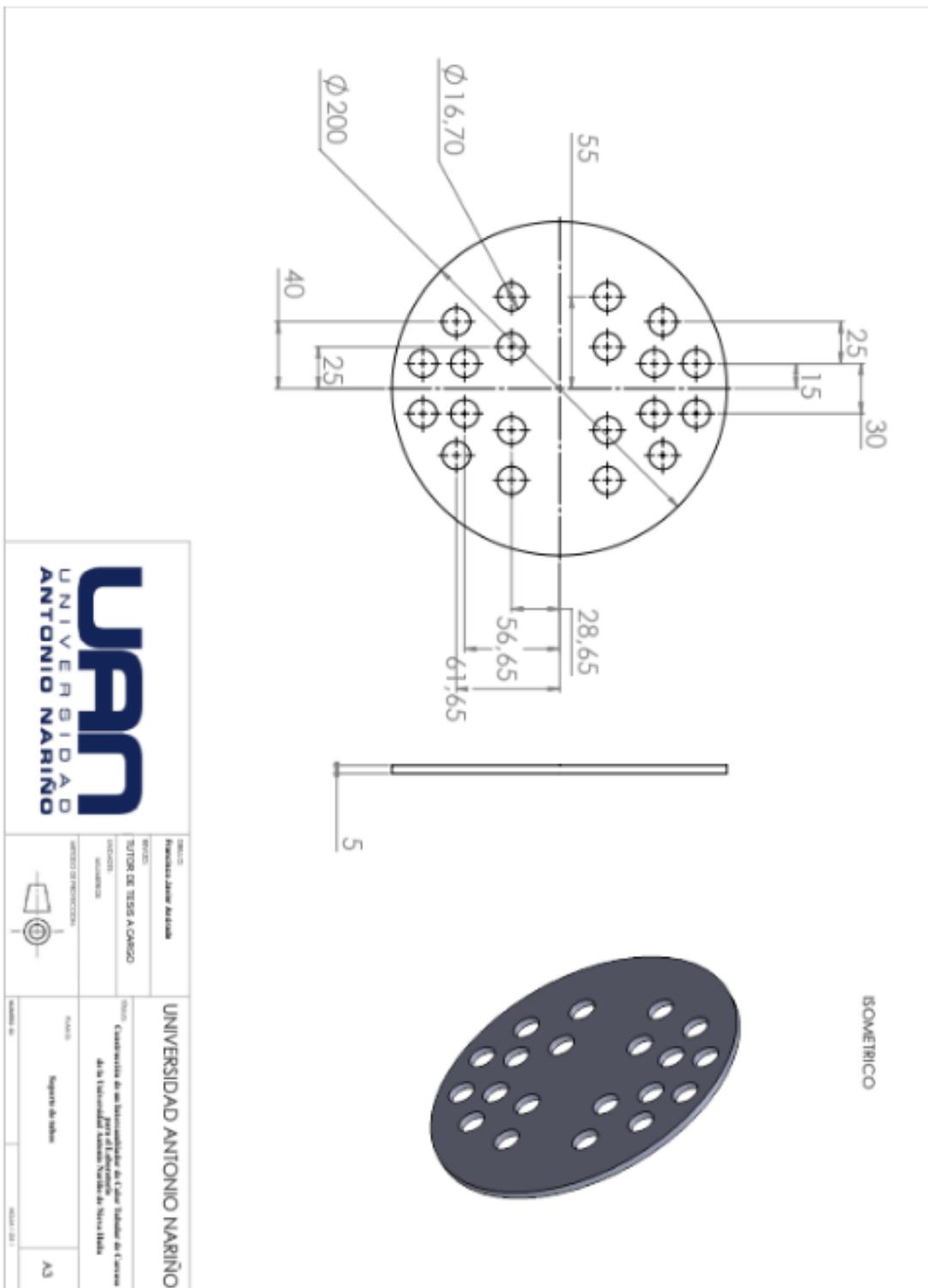
<https://www.usgs.gov/special-topics/water-science-school/science/water-density>

Anexos

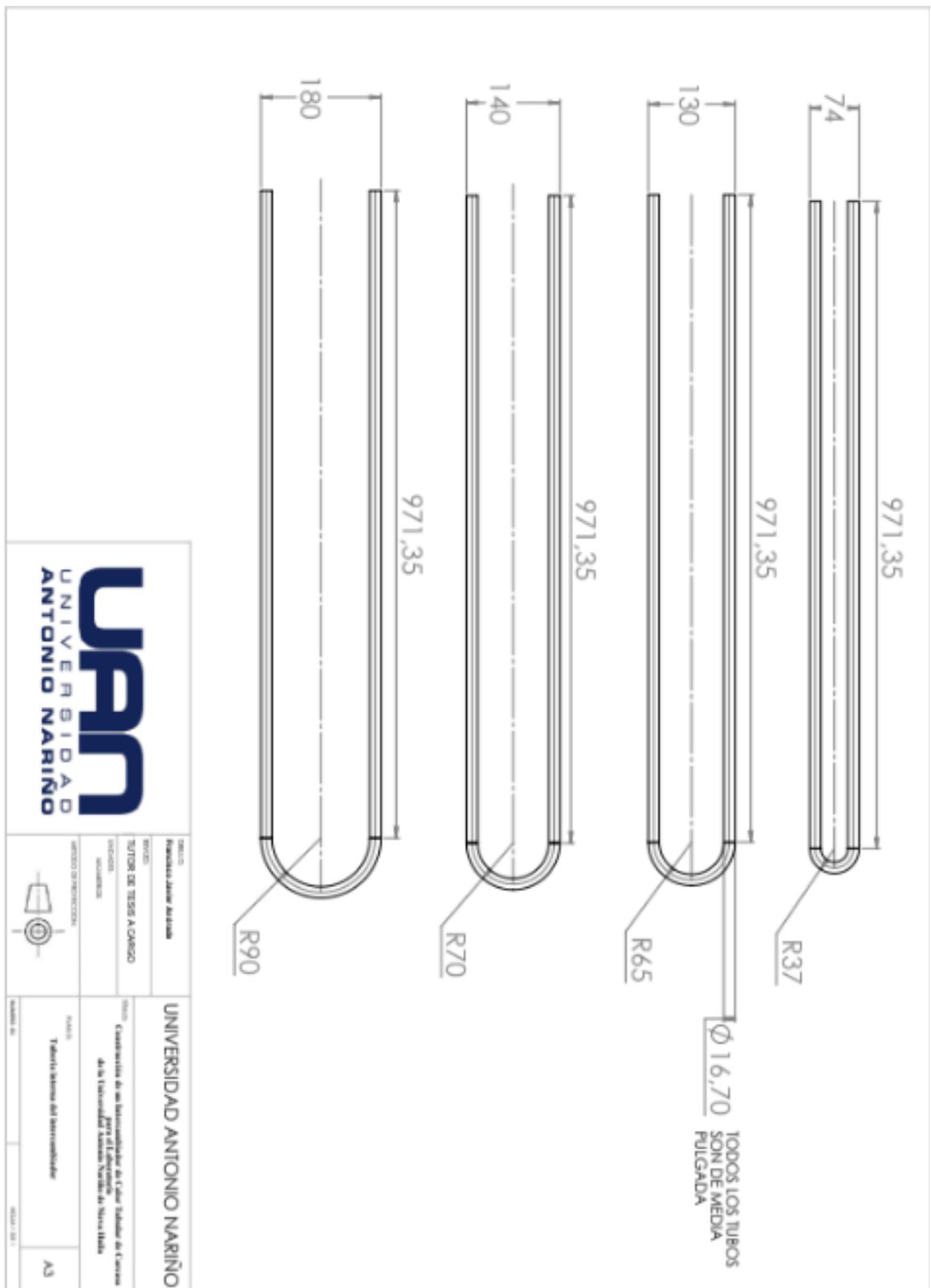
Anexo 1. calores específicos del agua

Temperatura [°C]	Calor específico isocórico (C _v)				[J/(mol K)]
	[J/(mol K)]	[kJ/(kg K)]	[kWh/(kg K)]	[kcal/(kg K)] [Btu(IT)/lbm °F]	
0.01	75.981	4.2174	0.001172	1.0073	76.026
10	75.505	4.1910	0.001164	1.0010	75.586
20	74.893	4.1570	0.001155	0.9929	75.386
25	74.548	4.1379	0.001149	0.9883	75.336
30	74.181	4.1175	0.001144	0.9834	75.309
40	73.392	4.0737	0.001132	0.9730	75.300
50	72.540	4.0264	0.001118	0.9617	75.334
60	71.644	3.9767	0.001105	0.9498	75.399
70	70.716	3.9252	0.001090	0.9375	75.491
80	69.774	3.8729	0.001076	0.9250	75.611
90	68.828	3.8204	0.001061	0.9125	75.763
100	67.888	3.7682	0.001047	0.9000	75.950

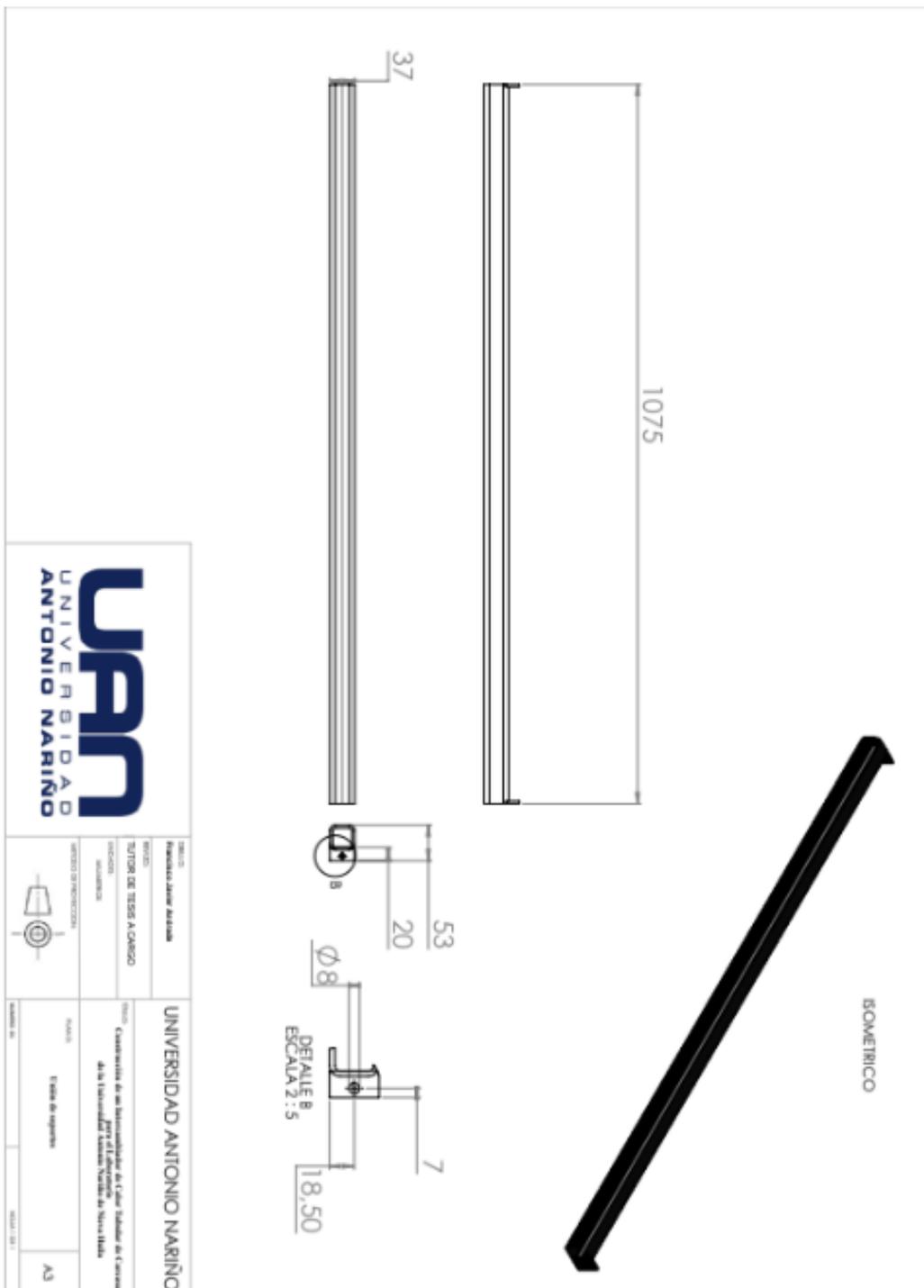
Anexo 2. Plano de soporte para tubos internos



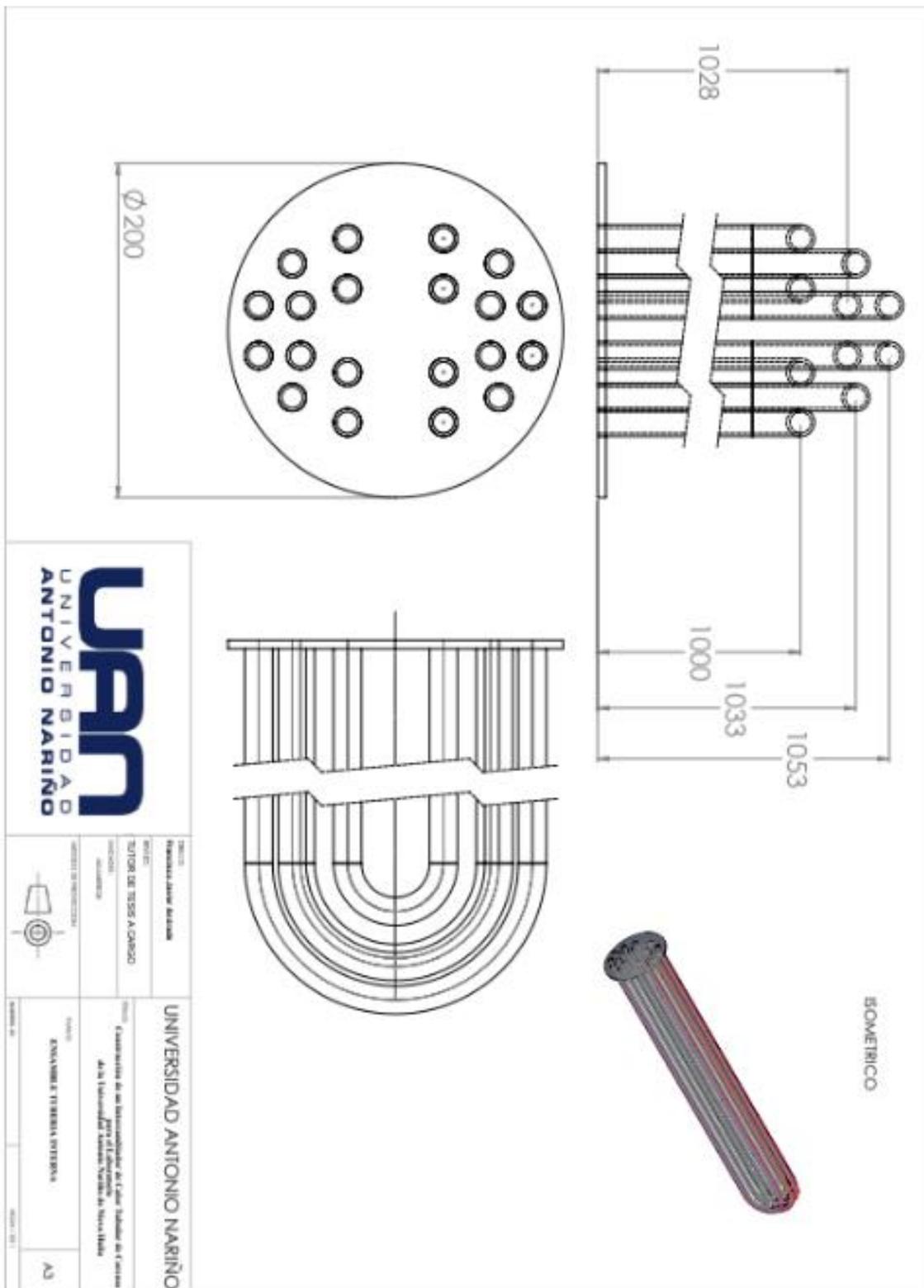
Anexo 3. Plano de tubos



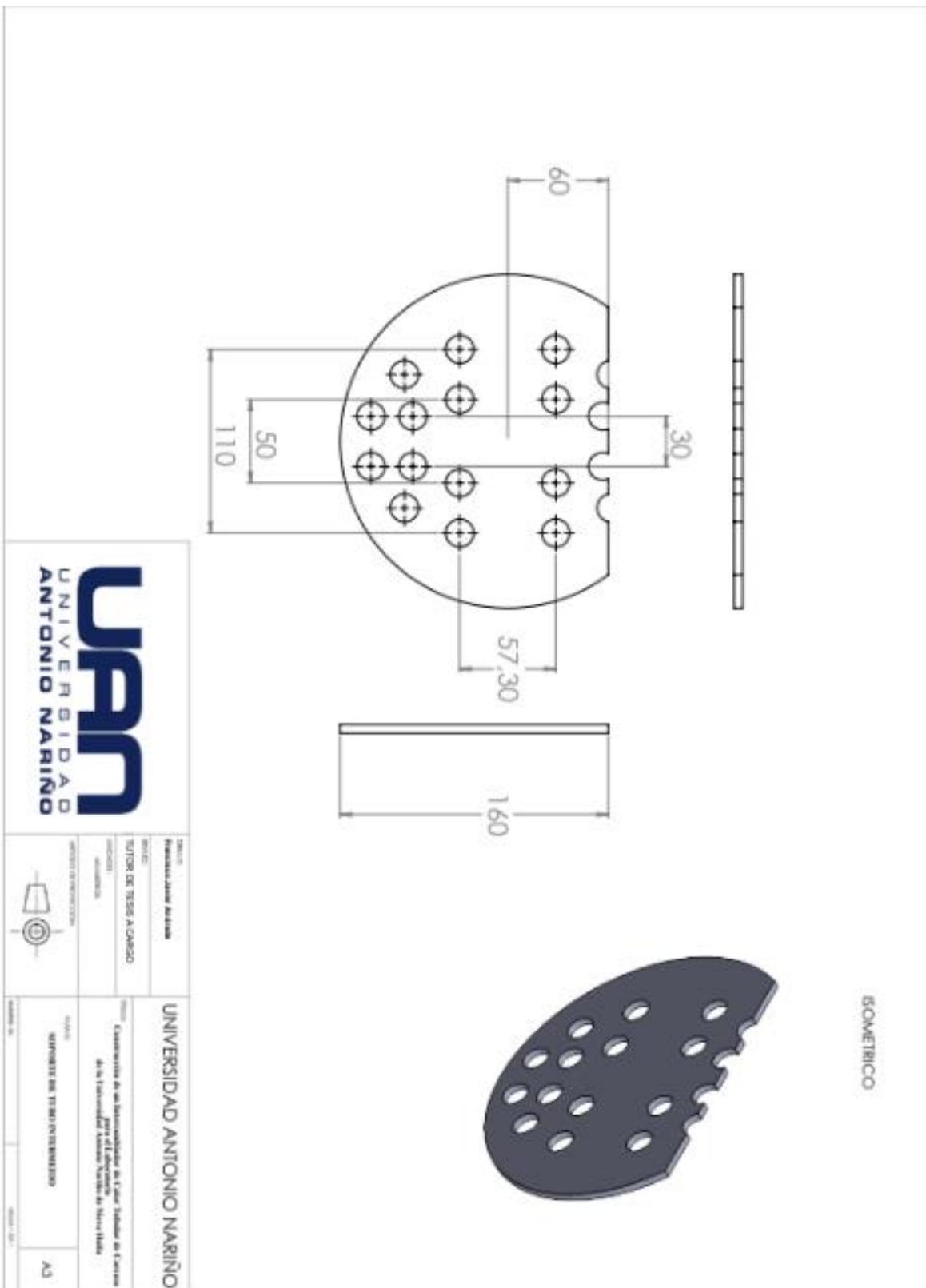
Anexo 4. Plano de unión de soportes



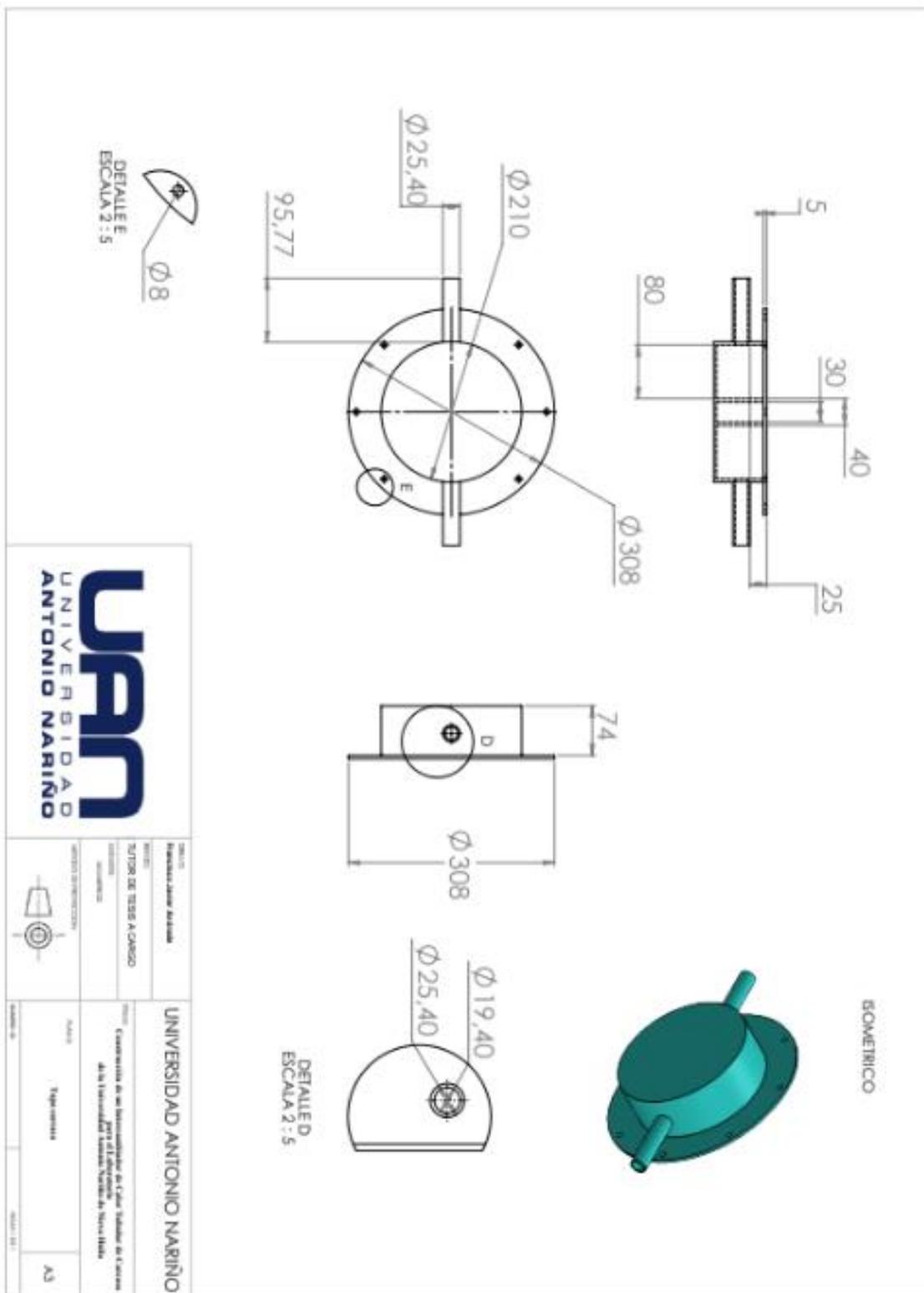
Anexo 5. Plano ensamble tubería interna



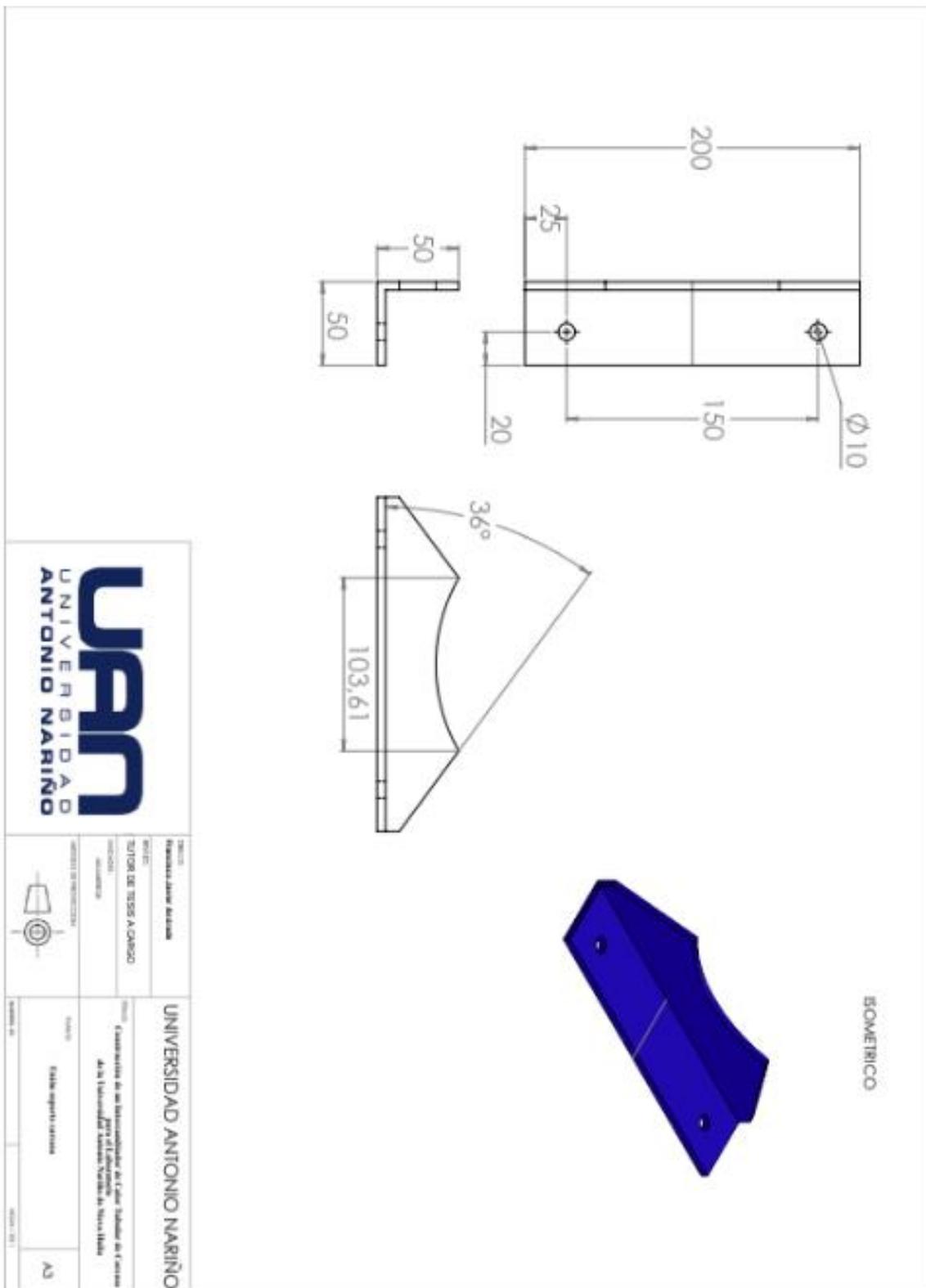
Anexo 6.Plano soporte para tubo interno



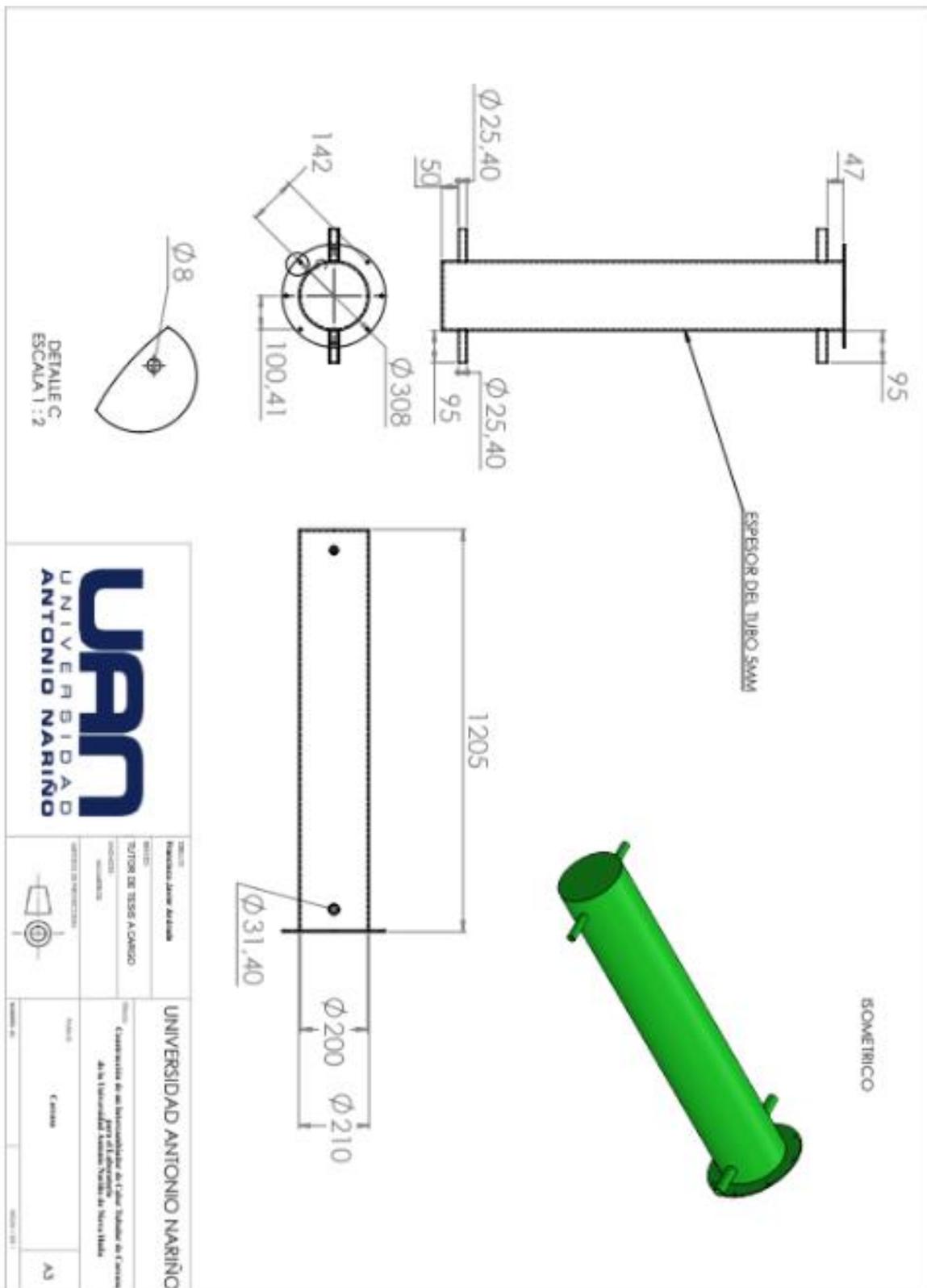
Anexo 7. Plano tapa carcasa



Anexo 8. Plano unión de soporte carcasa



Anexo 9. Plano de carcasa



Anexo. Guía de laboratorio



GUIA DE LABORATORIO: Intercambiador de calor

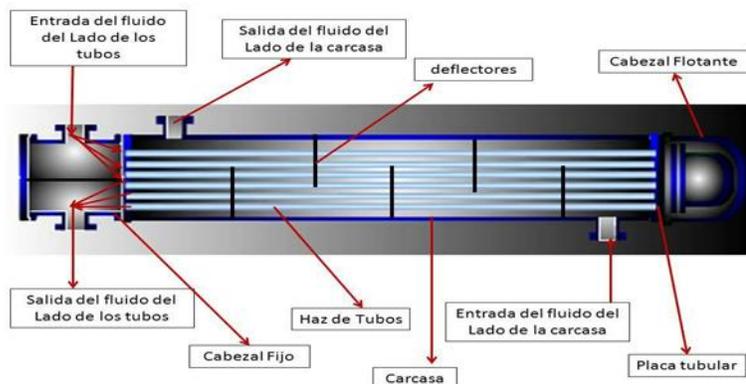
PASO 1: Identificación de conceptos

Para llevar a cabo la siguiente guía debe conocer los siguientes conceptos:

Que es un intercambiador de calor: Un intercambiador de calor es un equipo que transfiere continuamente calor de un medio a otro. Hay dos tipos principales de intercambiadores de calor: directos e indirectos.

Intercambiador tubular: Se usa para controlar la temperatura de un fluido, mediante tubos cilíndricos, pasando el fluido de servicio por el exterior de los tubos y el producto por el interior, con una capa externa que actúa como aislamiento, pueden fabricarse de forma modular, en horizontal y en vertical, personalizándose para cada proyecto en las instalaciones (Arnaiz, 2021, p. 6).

Partes del intercambiador y su funcionamiento:



Fuente: Tomado de (*Esquema-intercambiador-de-calor.jpg (960x720)*, 2017)

El fluido principal para por la entrada del fluido del lado de los tubos, ingresando por el haz de tubos, y luego hace la salida del fluido del fluido por el lado de los tubos que se ubican en el cabezal fijo o extraíble. El intercambio de calor se realiza debido a un segundo fluido que se ubica por la entrada del fluido del lado de la carcasa, pasando por los deflectores el cual provocan un intercambio de calor en cascada hasta llegar a la salida del lado de la carcasa. El segundo fluido nunca entrada en contacto directo con el primer fluido ya que estos tienen su respectiva recámara

dentro del intercambiador. Desde el exterior se puede apreciar la carcasa, el cabezal flotante y cabezal fijo. Los tubos o haz de tubos quedan desde el interior.

PASO 2: Reconocimiento de instrumentos

Termómetros análogos: Medidores de temperatura rango hasta 70° C.

Flujómetro: (caudal constante 28 L/min).

Bomba: Bomba periférica ½ hp de 28 -30 L/min.

PRUEBA INICIAL

Proceda a reconocer las siguientes partes en el intercambiador e identifique si están en óptimas condiciones (Marque con una x):

ITEM	ESTADO (Funcional)	ESTADO (No funcional)
Cabezal		
Carcasa		
Medidores de temperatura		
Flujómetro		
Electrobombas		
Conexiones hidráulicas PVC		
Depósitos de agua		

PRUEBA DE FUNCIONAMIENTO

- 1) El equipo se diseñó para una temperatura máxima de 70°C, el docente y estudiante deben escoger una temperatura entre 50°C y 70°C, para el fluido caliente y una temperatura entre 18°C y 25°C para el agua fría.
- 2) Llenar los 2 depósitos de agua hasta su máxima capacidad (izquierdo y derecho, el del centro es para el retorno de agua del equipo)
- 3) Proceder a calentar el agua con resistencias eléctricas, se recomiendan 3 (suministradas por los estudiantes), si la temperatura del agua fría supera los 25°C aplicar hielo para que descienda.
- 4) Verificar las válvulas para que el equipo este configurado a contraflujo.

- 5) Cuando las temperaturas estén en el rango escogido, proceder a encender la bomba del lado derecho (agua fría), cuando la carcasa este llena y retorne al depósito del centro, proceder a encender la bomba del lado izquierdo (agua caliente).
- 6) Después de unos 15 segundos la tubería interna ya estará llena de agua caliente y efectuara el proceso de intercambio con el agua en la carcasa, es ahí cuando se debe tomar lectura de los 4 medidores de temperatura (entrada agua caliente, salida de agua caliente, entrada agua fría, salida agua fría).
- 7) El proceso dura aproximadamente unos 40 segundos, apagar las bobas para que trabajen en vacío, para evitar daño, después de eso esperar de 15 a 20 minutos para una segunda práctica, esto con el fin de que el equipo equilibre su temperatura con el ambiente y no presente lecturas erróneas de temperatura en la segunda práctica.

Validación de datos obtenidos

Con los datos obtenidos en la práctica (temperaturas), hacer validación matemática, utilizando las siguientes formulas y tabla del agua:

Propiedad de Water	0° C	20° C	40° C	60° C	80° C	100° C	Unidades
Densidad	999.84	998.21	992.22	983.20	971.82	958.40	kg m ⁻³
Expansión térmica	-0.07	0.207	0.385	0.523	0.643	0.752	*10 ⁻³ K ⁻¹
Compresión isotérmica (viscosidad de volumen)	5.0879	4.5895	4.4241	4.4507	4.6418	4.9015	*10 ⁻¹⁰ Pa ⁻¹
Viscosidad dinámica	1.793	1.002	0.6532	0.4665	0.3544	0.2818	*10 ⁻³ kg m ⁻¹ s ⁻¹ (Pa s)
Viscosidad cinemática	1.787	1.004	0.658	0.475	0.365	0.294	*10 ⁻⁶ m ² s ⁻¹
Conductividad térmica	561.0	598.4	630.5	654.3	670.0	679.1	*10 ⁻³ W m ⁻¹ K ⁻¹

Fuente: Tomado de Edge, 2020, p 36.

Nota: Si el valor de temperatura no se encuentra use proceso de interpolación.

Datos constantes:

Caudal (Q)28 L/min

Hallar el flujo masico del fluido caliente y frio, consultar en la tabla la densidad del agua para cada temperatura

$$\dot{m}_c = Q * \rho (\text{caliente})$$

$$\dot{m}_f = Q * \rho (\text{frio})$$

hallar el calor específico del fluido para cada temperatura (el cálculo se hace con la temperatura media tanto en frío, como en caliente, consultar tabla)

$$T_f = \frac{T_{in} + T_{out}}{2} \text{ (frío)}$$

$$T_c = \frac{T_{in} + T_{out}}{2} \text{ (caliente)}$$

Teniendo los datos de Calor específico (C_p) para los dos fluidos procedemos hallar el calor específico mínimo (C_{min}) entre ellos:

$$C_{frío} = \dot{m}_f * C_{p_f}$$

$$C_{caliente} = \dot{m}_c * C_{p_c}$$

Con el C_{min} hallar Q_2 y Q_1

$$Q_1 = C_{min} (T_{caliente \text{ entrada}} - T_{caliente, \text{ salida}})$$

$$Q_2 = C_{min} (T_{frío \text{ salida}} - T_{frío \text{ entrada}})$$

Hallar el calor (Q_{max})

$$Q_{max} = C_{caliente} (T_{caliente \text{ entrada}} - T_{frío \text{ entrada}})$$

Con la razón máxima posible de transferencia de calor, Q_{max} obtener la eficiencia:

$$\varepsilon = \frac{Q_1}{Q_{max}} = \frac{\text{razón de transferencia de calor real}}{\text{razón máxima posible transferencia de calor}}$$