UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
SEDE VIÑA DEL MAR – JOSÉ MIGUEL CARRERA

PROPUESTA IMPLEMENTACIÓN BANCO DE PRUEBAS DE INTERCAMBIADOR DE CALOR DE TUBOS CONCENTRICOS

Trabajo de Titulación para optar al Título de Técnico Universitario en MECÁNICA INDUSTRIAL.

Alumnos:
Sebastián Felipe Oyarzun Michea
José Javier Ignacio Toledo Escobar

Profesor Guía:
Srta. Vanessa Mella Lorca

Profesor correferente:
Sr. Cristian Rojas Sandoval

2023

RESUMEN

El trabajo de título consiste en realizar una propuesta para la fabricación de un banco de pruebas de intercambiadores de calor de tubos concéntricos, utilizando dos diferentes materiales para la elaboración de estos, que serán de cobre y PVC, con la finalidad de tener una idea clara para una futura fabricación de este tipo de banco de pruebas. Todo el trabajo estará dividido en dos partes, la primera que consta de la elaboración de planos y realización de cálculos asociados a los dos intercambiadores de calor, y la segunda en la creación de un manual de uso y seguridad, que a su vez tendrá la puesta en marcha de este.

Todo comenzó tomando un intercambiado de calor ya fabricado, debido a que este posee sus dimensiones y un porcentaje de transferencia de calor, además está fabricado con uno de los dos materiales con los que se trabajara en esta propuesta, el cobre. Con todos los datos que ya se conocen del anterior intercambiador, se procede a la realización de cálculos en la fórmula de coeficiente de transferencia de calor, para determinar la dimensión del segundo intercambiador, ya que, este además de ser un material bastante distinto al cobre, como lo es el PVC, tendrá dimensiones distintas, como son el área mayor, el área menor y los espesores de los tubos.

Al finalizar el trabajo se obtuvo una propuesta de banco de pruebas que consta de dos intercambiadores de calor del mismo tipo (tubos concéntricos), pero con materiales de características y dimensiones distintas, donde estos a pesar de sus diferencias, poseen un mismo coeficiente de transferencia de calor. Junto con lo anterior se elaboró un esquema donde se explican partes y funcionamiento del banco de pruebas de forma sencilla, además de un manual que posee tanto la puesta en marcha como las normas de seguridad que se deberán respetar al momento de utilizar el banco, para que no existan fallas ni se produzcan ningún tipo de accidente.

ÍNDICE

Resumen 3

Índice De Figuras 7

Índice De Tablas 7

Simbología 8

Introducción 9

Objetivo General: 10

Objetivos Específicos: 10

Capítulo 1: Recopilación De Antecedentes Técnicos. 11

1. Presentación Del Tema 12

1.1. Problematica. 12

1.2. Definicion De Calor. 12

1.3. Mecanismos De Transferencia De Calor 13

1.3.1. Conducción: 13

1.3.2. Convección. 13

1.3.3. Convección Forzada: 14

1.3.4. Convección Natural 14

1.3.5. Radiación: 14

1.4. Intercambiadores De Calor. 15

1.4.1 Tipos De Intercambiadores De Calor. 16

1.4.1.1 Intercambiador De Tubos Concéntricos. 16

1.5. Materiales De Fabricación. 23

1.5.1. Cobre. 23

1.5.2. Acero Inoxidable. 23

1.5.2.1 Aceros Inoxidables Austeníticos 24

1.4.5.2 Aceros Inoxidables Ferríticos 24

1.4.5.3 Aceros Inoxidables Martensíticos: 24

1.5.3. Acero Al Carbono. 24

1.5.4. Aluminio. 24

Capítulo 2: Esquema Y Cálculos Teóricos. 26

2.1 Diseño Y cálculos Teóricos. 27

2.2 Referencias Para Elección De Diseño: 29

2.2.1 Materiales Ocupados En La Fabricación Del Intercambiador C.C 30

2.2.2. Datos Técnicos 31

2.3. Modificación Del Diseño Elejido. 31

- Intercambiador De Cobre: 32
- Intercambiador Pvc 34

2.4. Descripción Materiales A Utilizar. 38

2.5. Formulas Relacionadas. 38

- Efectividad: Representada Por 38

Capitulo 3: Instrucciones De Uso Banco De Pruebas. 45

3.1 Diseño Componentes Del Banco De Pruebas: 46

3.1.1. Plano De Estructura. (Anexo 1) 46

3.1.2. Modificación Estructura 46

3.1.3. Pintado E Instalación De Superficies De Soporte. 49

3.2 Inicio De Fabricacion De Intercambiadores. 51

3.2.1. Fabricación Intercambiador De Calor De Cobre. 51

3.2.2 Fabricación Intercambiador De Calor De Pvc. 52

3.3 Implementación Manual De Uso Y Seguridad. 54

3.3.1 Esquema De Funcionamiento De Banco De Pruebas. 54

3.3.2 Partes Y Descripción. 55

3.4 Funcionamiento. 56

3.5 Manual De Uso. 57

3.5.1 Preparación Del Banco De Pruebas. 57

3.5.2. Durante El Ensayo 58

3.5.3. Después Del Ensayo. 59

3.6 Manual De Seguridad. 59

3.6.1. Elementos De Protección Personal. 59

3.6.2. Obligaciones. 60

3.7 Guía de actividades 59

Conclusión 63

Bibliografia 64

Anexos 65

1.- Plano Estrucutura Del Banco De Pruebas 65

2.- Planos Intercambiador De Cobre 66

3.- Planos Intercambiador De Pvc..... 68
4.- Guía de actividades……..71

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1 - 1 CONDUCTIVIDAD DE CALOR A TRAVÉS DE PARED. 13
FIGURA 1 - 2 CONVECCIÓN FORZADA. 14
FIGURA 1 - 3 CONVECCIÓN NATURAL. 14
FIGURA 1 - 4 RADIACIÓN. 15
FIGURA 1 - 5 INTERCAMBIADOR DE CALOR DE TUBOS CONCÉNTRICOS INDUSTRIAL. 16
FIGURA 1 - 6 COMPONENTES PRINCIPALES DE INTERCAMBIADOR DE CALOR DE TUBOS CONCÉNTRICOS. 17
FIGURA 1 - 7 DISTRIBUCIÓN DE FLUJOS EN INTERCAMBIADOR DE CALOR DE TUBOS CONCÉNTRICOS. 18
FIGURA 1 - 8 FLUJO PARALELO 19
FIGURA 1 - 9 INTERCAMBIADOR DE CALOR DE CORAZA Y TUBOS. 19
FIGURA 1 - 10 ESQUEMA INTERNO INTERCAMBIADOR DE CORAZA Y TUBOS. 20
FIGURA 1 - 11 ESQUEMA DE FUNCIONAMIENTO INTERCAMBIADOR DE CALOR DE CORAZA Y TUBOS 20
FIGURA 1 - 12 CLASIFICACIÓN DE FUNCIONAMIENTO INTERCAMBIADOR DE CORAZA Y TUBOS. 21
FIGURA 1 - 13 INTERCAMBIADOR DE CALOR DE PLACAS. 21
FIGURA 1 - 14 PARTES DEL INTERCAMBIADOR DE CALOR DE PLACAS. 22
FIGURA 1 - 15 FUNCIONAMIENTO INTERCAMBIADOR DE CALOR DE PLACAS. 22

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1 Parámetros de mecanizado
Tabla 1-2 Distancias y tiempos según el avance seleccionados
Tabla 1-3 Partes del equipo

SIMBOLOGÍA

A. SIMBOLOGÍA

MPa	: Mega Pascal
m	: Metro
m^2	: Metro cuadrado
m^3	: Metro cubico
mm	: Milímetro
mm^2	: Milímetro Cuadrado
ml	: Mililitro
Kg	: Kilogramo
plg	: Pulgadas
s	: Segundo
W	: Watt
%	: Porcentaje
ºC	: Grados Celsius
D	: Diámetro mayor
d	: Diámetro menor
E	: Espesor
L	: Largo
A	: Área
T	: Temperatura
Ti	: Temperatura inicial
Tf	: Temperatura final
ha	: Coeficiente transferencia de calor del material
Kb	: Conductividad térmica
hc	: Temperatura
Q	: Calor
q	: Coeficiente de transferencia de calor
Δx	: Distancia
Fe	: Hierro
Cr	: Cromo
Ni	: Níquel
Cu	: Cobre
PVC	: Policloruro de vinil

INTRODUCCIÓN

La cantidad de diseños en intercambiadores sólo está limitada por la imaginación, sin embargo, existe una gama de diseños ya establecidos y satisfacen de buena manera las necesidades de operación. Las limitaciones en el uso de cada tipo son variadas, desde presiones o temperatura máximas, hasta el tipo de elemento o el tamaño del aparato, todas estas afectas al correspondiente escenario de operación. Estos, pueden ser clasificados según su función, flujo, contacto, cantidad o tipo de fluidos involucrados y un sin fin de características.

La transferencia de calor se presenta como uno de los campos de mayor aplicación industrial, aplicado en diferentes áreas a través del uso de varios equipos térmicos, entre los cuales destaca el intercambiador de calor, equipo donde los fluidos no se mezclan por lo tanto están separados por una pared o una barrera, los fluidos intercambian energía en forma de calor en un proceso determinado.

Los intercambiadores son por excelencia el mejor ejemplo de aplicación de la transferencia de calor, debido a que tienen un funcionamiento sencillo y explican de una manera simple los diferentes mecanismos de transferencia: conducción, convección y radiación.

Para un estudiante universitario es de gran ayuda conocer de cerca los equipos y máquinas en los cuales se aplican los principios teóricos enseñados. Nuestra carrera tiene asignaturas en las que se estudia la termodinámica de manera teórica y práctica, sin embargo en laboratorios hay pocas herramientas y/o equipos donde poder ver y interactuar la forma en que actúa la transferencia de calor. Se planteó el diseño de un banco de pruebas de transferencia de calor de tubos concéntricos, para que funcione mediante el flujo de agua caliente y fría que pasa a través de éste. Estos tipos de dispositivos se pueden encontrar en diferentes industrias, desde alimenticias hasta petroleras, en donde es necesario enfriar o calentar un fluido de trabajo. Para comprender los diferentes conceptos relacionados con la transferencia de calor, es necesario realizar experiencias prácticas, para fortalecer los conocimientos adquiridos. Con la adecuación del banco de pruebas, se pretende facilitar la realización de prácticas de trasferencia de calor y termodinámica, para que los estudiantes vean los procesos de cerca y analicen los aspectos que intervienen en el desarrollo de una práctica real. Todo esto para el beneficio de los estudiantes y para el apoyo a los docentes con nuevas herramientas para la enseñanza. Así pues, el desarrollo de este equipo, como su implementación por parte de los estudiantes representa un paso hacia mejorar la dotación del laboratorio de mecánica de la universidad.

OBJETIVO GENERAL:

Crear propuesta para la fabricación de un banco de intercambiadores de calor de tubos concéntricos, con fines pedagógicos, colaborando con equipos de transferencia de calor necesarios en el departamento de Mecánica Industrial, mediante la implementación de este en el taller de mantenimiento de la Universidad Técnico Federico Santa María, Sede Viña del Mar.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

1. Describir parámetros generales para la fabricación de un intercambiador de calor de tubos concéntricos, obteniendo información relevante para la fabricación.
2. Modificar diseño establecido de un intercambiador para posterior elaboración de esquema propio, incorporando cálculos necesarios para la fabricación.
3. Hacer un plan de puesta en marcha del banco para hacer cálculos relacionados con eficiencia, creando un protocolo de funcionamiento y pauta de trabajo para los laboratorios.

CAPÍTULO 1: RECOPILACIÓN DE ANTECEDENTES TÉCNICOS.

1. PRESENTACIÓN DEL TEMA

En este capitulo se describen algunos conceptos básicos que hay que considerar para entender como funciona un intercambiador de calor, de igual forma se detallan los intercambiadores mas usados en las industrias.

1.1. PROBLEMÁTICA.

La problemática por solucionar es la baja variedad de equipamiento que se disponen dentro del Departamento de Mecánica de la universidad para la realización de laboratorios, donde se estudian efectos relacionados con transferencias de calor. Teniendo en cuenta que dentro de las carreras pertenecientes a este departamento gran parte tiene ramos en los que es necesario la realización de ensayos relacionados con transferencia de calor y el intercambiador de calor es una buena alternativa.

1.2. DEFINICIÓN DE CALOR.

La definición más sencilla para el termino calor, es la forma de energía que es posible transferir desde un sistema a otro debido a la diferencia de temperatura que se produce en estos. Dentro del área industrial, se suele estudiar el calor de dos maneras; de forma termodinámica y de la transferencia de calor. Es decir:

La termodinámica, se enfoca en que el calor puede ser transferido mediante interacciones que tiene un sistema con lo que lo rodea, en resumen, se puede decir que esta trata los estados finales y los estados de equilibrio, cuando se está produciendo la interacción. Por otro lado, no proporciona información alguna sobre el área en la que se está produciendo la transferencia de energía o el tiempo en el cual está ocurriendo.

La transferencia de calor está enfocada en los sistemas que no presentan un equilibrio térmico, el cual es un requerimiento básico para exista tal transferencia. En los estudios relacionados con esta, se suele despreciar todo lo provocado por las energías externas, mediante el análisis de la primera ley de la termodinámica, la que dice, que los efectos del trabajo y las energías cinéticas, no participan de forma directa en el proceso. De esta forma se dice que es un estudio sencillo de entalpias tanto en cálculos y diseños de equipos.

1.3. MECANISMOS DE TRANSFERENCIA DE CALOR

1.3.1. Conducción:

El fenómeno de transferencia de calor por conducción es aquel proceso donde la propagación de energía puede ser por medios líquidos, solidos o gaseosos, mediante una comunicación molecular entre los medios. El proceso ocurre desde las partículas con más energía a las que poseen menor energía del cuerpo y/o sustancia, debido a las interacciones que suceden o al movimiento entre las mismas.

Por esto es por lo que en solidos que están sometidos a cambios de temperatura, la conducción es tan importante. En líquidos y gases, esta transferencia será importante siempre y cuando se tomen en cuenta las diferencias de densidad que presentan los fluidos.

En resumen, se puede decir que, en este tipo de transferencia, el calor es transferido desde un medio a otro (liquido, solido o gaseoso) por un contacto directo.

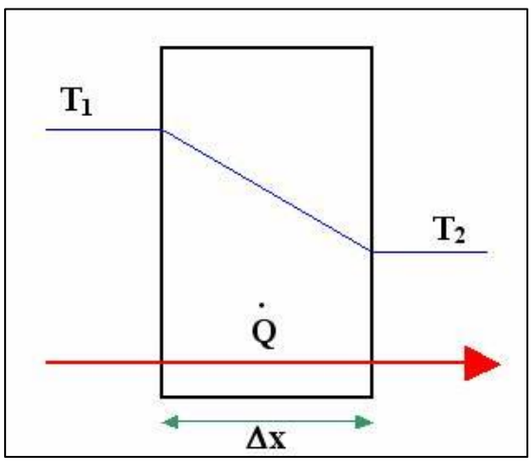


Figura 1 - 1.3.1-1 Conductividad de calor a través de pared.

Fuente: Thermodynamics Wikimedia

1.3.2. Convección.

El fenómeno de transferencia de calor por convección es un transporte de energía llevado a cabo como consecuencia del movimiento que realizar un fluido (liquido o gaseoso) en contacto con otra superficie. El movimiento que proporciona el fluido produce una mejor transferencia de calor, debido a que pone en contacto porciones que están a temperaturas más altas y otras más bajas del fluido con la superficie. Inicia con valores

más altos de conducción, es decir, que entre más alta sea la velocidad del fluido, mayor va a ser la velocidad de la transferencia de calor.

Existen dos tipos de transferencia de calor por conducción que son:

1.3.3. Convección forzada: Ocurre cuando el fluido es obligado a moverse sobre la superficie mediante medios externos como podrían ser, ventiladores, bombas.

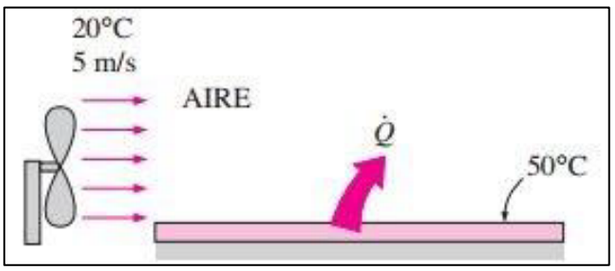


Figura 1 - 1.3.2-1 Convección forzada.

Fuente: transferenciadecalor-veradomenica-5b.blogspot.com

1.3.4. Convección natural: Cuando el movimiento del fluido es causado por las fuerzas de empuje que son inducidas por diferencias de densidad debido a las variaciones de las temperaturas en el fluido, es decir, el fluido posee libre movimiento gracias a las condiciones atmosféricas o climáticas del entorno que lo rodea.

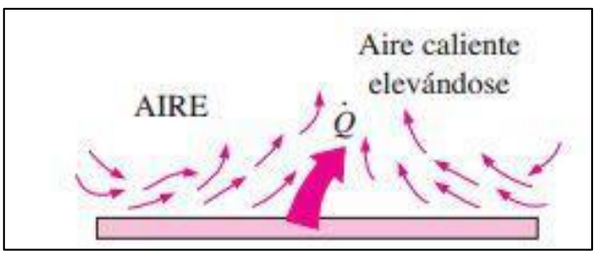


Figura 1 - 1.3.2-2 Convección natural.

Fuente: transferenciadecalor-veradomenica-5b.blogspot.com

1.3.5. Radiación:

Energía que emite la materia en forma de ondas electromagnéticas, es el resultado de los cambios que ocurren en las configuraciones electrónicas de los átomos o moléculas. A diferencia de la conducción y convección, la transferencia de calor por radiación no requiere presencia de un medio interventor, como podría ser alguna superficie solida o el movimiento de un fluido. De hecho, la radiación es la que posee la velocidad más rápida para la transferencia de calor y no sufre atenuaciones en el vacío,

Todo cuerpo con temperatura sobre el cero absoluto emitirá radiación.

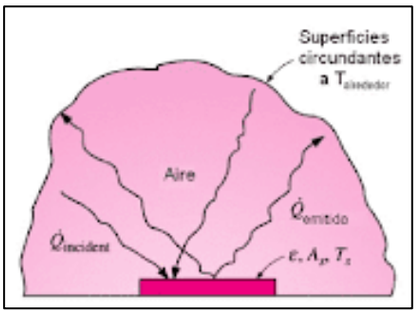


Figura 1 - 1.3.5-1 Radiación.

Fuente: transferenciadecalor-veradomenica-5b.blogspot.com

1.4. INTERCAMBIADORES DE CALOR.

Los intercambiadores de calor son elementos que tienen como objetivo facilitar el intercambio de calor entre dos fluidos que se encuentran a diferentes temperaturas y al mismo tiempo están evitando la mezcla de estos.

Los intercambiadores son utilizados en diversas industrias, como en los procesos de energía, calefacción, refinación del petróleo, elaboración de químicos, elaboración de alimentos, acondicionamiento de aire y el funcionamiento de los vehículos, todos estos requieren los antes mencionados, para lograr óptimos funcionamientos.

Dentro de los intercambiadores, se suelen ver dos transferencias de calor presentes, serian la convección que se encuentra en cada fluido y la conducción a través de la pared que los mantiene separados, de esta manera los posibles efectos que puede producir la radiación se ven inmersos dentro de la convección que se produce.

En ciertas ocasiones, cuando los intercambiadores de calor no poseen un aislamiento, las condiciones medioambientales como pueden ser las temperaturas o la humedad suelen variar su eficiencia dado que las condiciones no son constantes.

Estos pueden tener una variedad increíble de aplicaciones dentro de la industria y algunas de las principales son las siguientes:

1. Enfriamiento de fluidos.
2. Calentamiento de fluidos.
3. Cambios de fase en los fluidos.

Teniendo en cuenta que la transferencia de calor ocurre de una sola manera, que es, desde el fluido que se encuentra a mayor temperatura hacia el que se encuentra a más baja temperatura, donde se produce que mientras más grande sea el área la razón de la transferencia incrementara. Debido a los distintos requerimientos y/o necesidades que se

requiere para el intercambiador de calor, se han desarrollados distintas composiciones y diseños de estos.

Para la fabricación de estos, se debe tener en consideración aspectos básicos para la realización de esto, como lo son; problemas de corrosión, caídas de presión, dilataciones térmicas de las tuberías, depósitos sólidos en las líneas de flujo, peso y tamaño y las más importante el costo que tendrá su fabricación. Este último suele jugar un papel bastante importante en el diseño o selección del tipo de intercambiador de calor.

1.3.21.4.1 Tipos de intercambiadores de calor.

Dentro de la industria existen diferentes tipos de intercambiadores de calor, los que varían dependiendo la configuración que se desee dar al flujo y el tipo de construcción, en este caso el diseño será de un banco de pruebas de un intercambiador de calor de tubos concéntricos.

1.4.1.1 Intercambiador de tubos concéntricos.

Es el tipo de intercambiador de calor más simple que existe, consta de dos tubos concéntricos de diámetros diferentes ensamblados uno dentro de otro, lleva por nombre, intercambiador de tubos concéntricos o tubos dobles. En la siguiente figura se observa un intercambiador de calor de tubos concéntricos, fabricado en acero inoxidable para industrias alimenticias.

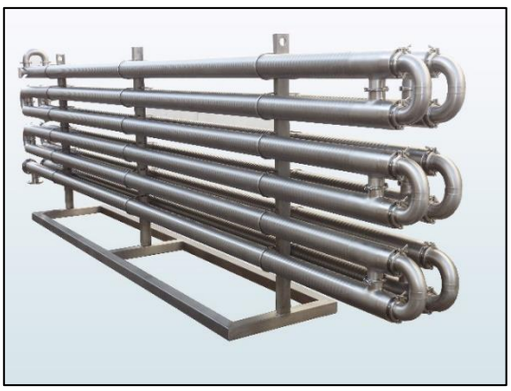


Figura 1 - 1.3.2-1 Intercambiador de calor de tubos concéntricos industrial.

Fuente: xlg-heattransfer.com

En estos tipos de dispositivos el fluido caliente va perdiendo temperatura entrando en el intercambiador por el tubo interno y el fluido a menor temperatura va ganando calor pasando por la sección anular, más conocida como encamisado. Están compuestos

principalmente por horquillas, los que constan en un arreglo de los tubos en forma de U, al mismo tiempo teniendo componentes que permiten la separación de los fluidos de trabajo. Las horquillas de las que se habla pueden ser ensambladas de diferentes formas, dependiendo del diseño y los materiales con los que se desea fabricar el intercambiador.

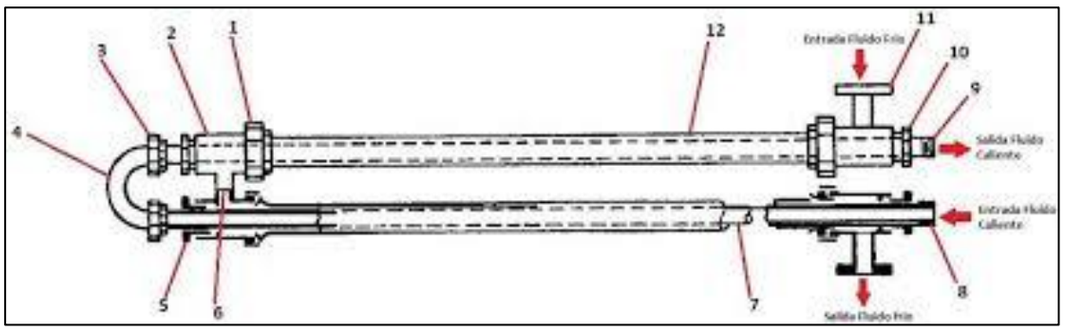


Figura 1 - 1.3.2-2 Componentes principales de intercambiador de calor de tubos concéntricos.

Fuente: repository.usta.edu.co

1	Prensaestopas tubo exterior.
2	T de conexión.
3	Unión roscada.
4	Codo en U.
5	Prensaestopas tubo interno.
6	Tubo conector.
7	Tubo interior.
8	Entrada tubo interno.
9	Salida tubo externo.
10	Prensaestopas de paso.
11	Entrada tubo externo.
12	Tubo externo.
13	Salida tubo externo.

Fuente: Imagen Propia 04/04/2019

Tabla 1-1. Lista de componentes intercambiador de calor de tubos concéntricos.

Este intercambiador es uno de los más útiles, debido a que puede ser ensamblado en cualquier taller metalmecánico con la utilización de partes estándar, como las que se mencionaron en la tabla anterior, pero a pesar de esta configuración existen una variedad más que facilitan el diseño, sustituyendo elementos como prensaestopas por arandelas soldadas o remplazando las T de conexión por tubos soldados que conecten los tubos exteriores formando de esta forma la horquilla. Dependiendo del proceso que se desea

realizar, tienen muchas formas de configurarse. En la siguiente imagen se muestra la forma de funcionamiento de un intercambiador de tubos concéntricos, donde lo azul es el fluido frio que ingresa y el rojo es el fluido caliente.

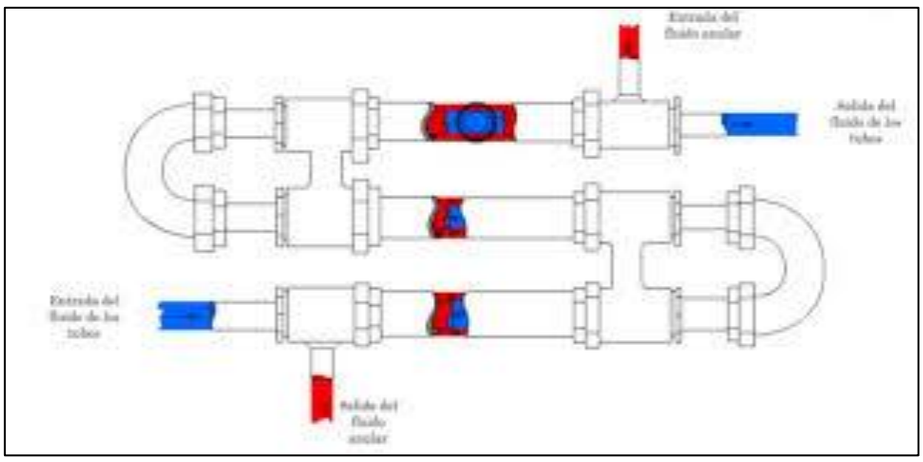


Figura 1 - 1.3.2-3 Distribución de flujos en intercambiador de calor de tubos concéntricos.

Fuente:ingenieromarino.com

Estos intercambiadores pueden tener dos tipos de configuración con respecto a su flujo: Flujo en paralelo y contracorriente, os que serán descritos a continuación:

1.4.1.2 Flujo Paralelo:

Es cuando los dos fluidos se mueven en la misma dirección, estos entren por el mismo extremo del intercambiador. En esta configuración, cuando los fluidos están en el extremo de salida, alcanzan temperaturas muy similares el uno con respecto al otro, pero el fluido más frio, nunca alcanzara la temperatura del que tiene una temperatura más elevada. Como se muestra en la siguiente grafica de la figura, donde se muestra el comportamiento de las temperaturas en los fluidos.

1.4.1.3 Flujo a Contracorriente:

Igual conocido como flujo a contraflujo, es cuando los fluidos entran por extremos opuestos del intercambiador, moviéndose en direcciones contrarias. Contrario al intercambiador de calor de flujo paralelo en estos, el fluido frio si puede alcanzar la mayor temperatura y el flujo caliente puede alcanzar la menor temperatura.

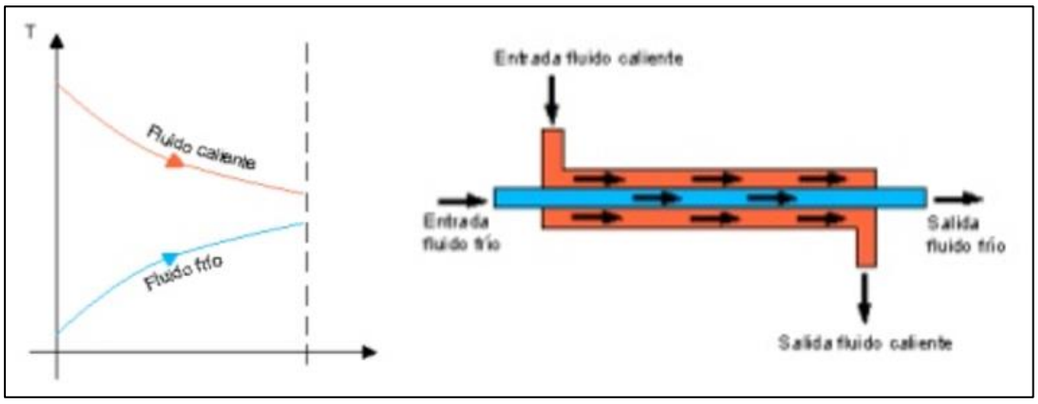


Figura 1 - 1.3.2-4 Flujo paralelo

Fuente: scielo.sld.cu

1.4.1.4 Intercambiador de Coraza y Tubos.

Este tipo de intercambiador de calor es uno de los más comunes en las aplicaciones industriales, Están conformados por una gran cantidad de tubos (a veces varios cientos) que van empacados en un casco con sus ejes paralelos al de este. La transferencia de calor es producida al pasar un fluido por los tubos internos y el otro a través de la coraza de este.



Figura 1 - 1.3.2-5 Intercambiador de calor de coraza y tubos.

Fuente: scielo.sld.cu

Los intercambiadores de calor de coraza y tubos suelen encontrarse en diferentes tamaños estandarizados, según el área de transferencia que se requiere para un cierto proceso, su fabricación está dentro de la norma TEMA (Tubular exchanger manufactures association). En la figura se puede observar un intercambiador de tubos en U, donde se ve hacia dónde van los flujos en la coraza.

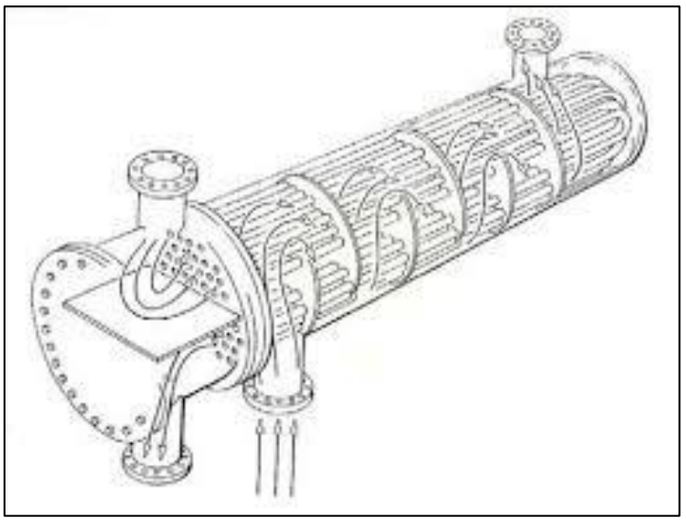


Figura 1 - 1.3.2-6 Esquema interno intercambiador de coraza y tubos.

Fuente: directindustry.es

Dentro de la coraza existe una distribución de componentes, que son placas deflectoras también conocidas como desviadores, tienen la función de cambiar la dirección del flujo, forzando al fluido a moverse en dirección transversal a la coraza, generándose dentro de esta, un régimen turbulento de forma que se mejorara la transferencia de calor.

En estos intercambiadores de calor los tubos se van haciendo hacia las zonas donde existe más flujo que son llamados los cabezales, están posicionados en ambos extremos del casco, donde ocurre una acumulación del fluido antes de salir o ingresar. En la siguiente figura se muestra el comportamiento del fluido dentro de este tipo de intercambiadores con un flujo contracorriente.

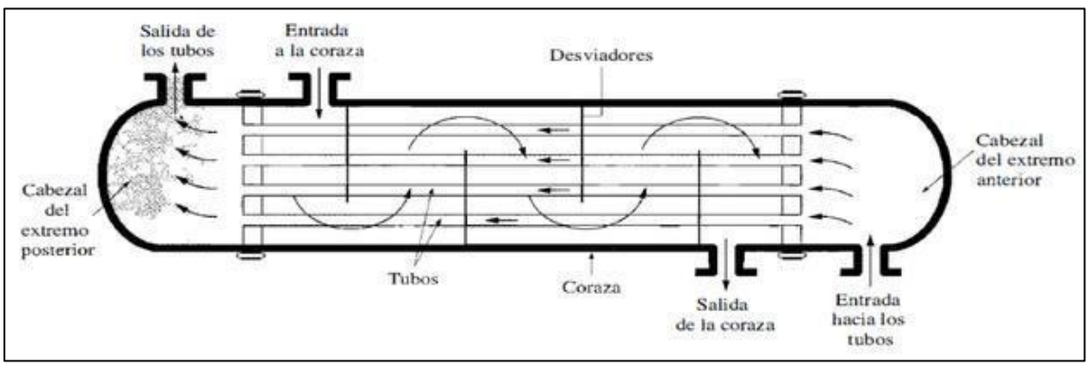


Figura 1 - 1.3.2-7 Esquema de funcionamiento intercambiador de calor de coraza y tubos

Fuente: repository.usta.edu.co

Pueden ser clasificados por los pasos que tiene el fluido dentro de los tubos, de esta manera se poseen dos grupos; según los pasos que tienen a través de los tubos y los que tienen por la coraza.

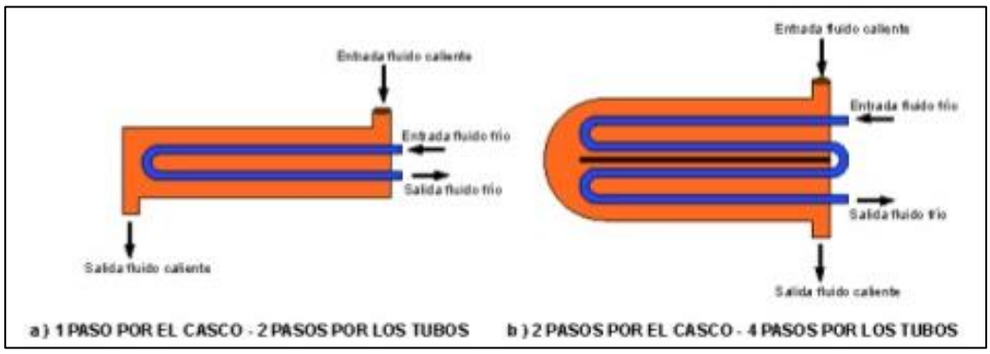


Figura 1 - 1.3.2-8 Clasificación de funcionamiento intercambiador de coraza y tubos.

Fuente: repository.usta.edu.co

1.4.1.5 Intercambiador de placas.

En este tipo de intercambiadores de calor hacen uso de placas corrugadas de pequeño espesor, las que están dispuestas en forma de una que sea de presión móvil, junto a otra de presión fija. El parámetro de corrugado dependerá del tipo de fluido, presión máxima y de que existan pequeñas partículas sólidas disueltas en la circulación. Sin embargo, gracias a estas placas corrugadas es capaz de producir una tasa de transferencia elevada.



Figura 1 - 1.3.2-9 Intercambiador de calor de placas.

Fuente: alfiro.com

Otra de las ventajas de este tipo de intercambiadores de calor es que, dado todos los materiales con los que se puede fabricar uno, la capacidad de transferencia de calor tiene una efectividad muy elevada sobre una superficie pequeña. De manera que es más pequeño y posee una capacidad térmica más elevada que el de casco y tubos.

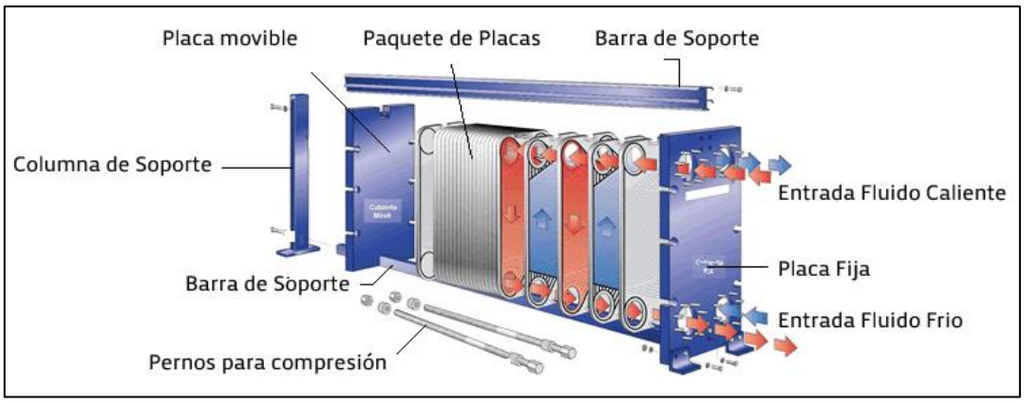


Figura 1 - 1.3.2-10 Partes del intercambiador de calor de placas.

Fuente: researchgate.net/figure/Figura-I3-Modelo-intercambiador-de-placas

Dentro de estos, el líquido es dividido en partes iguales en función al número de placas que posee en intercambiador en su interior. En resumen, por cada dos placas circula una cantidad del fluido. Gracias al mecanismo utilizado y la corrugación que poseen las placas, se incrementa de manera considerable la velocidad del fluido dando paso a la creación de un flujo turbulento que reduce los riesgos de incrustaciones y al mismo tiempo optimiza el intercambiador, de tal manera que el fluido que ingrese alcanzara el 100% de su temperatura final del recorrido de cada placa.

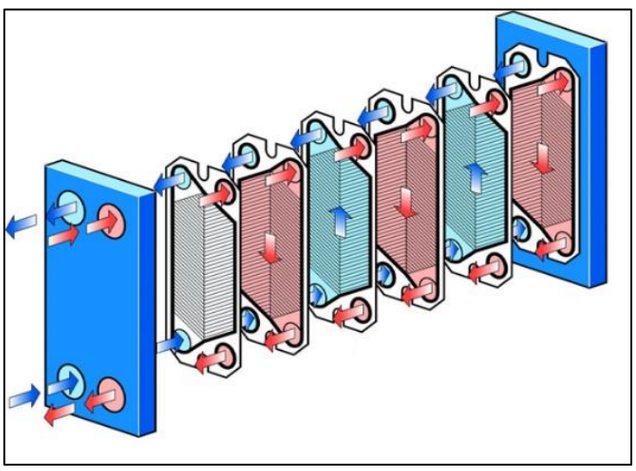


Figura 1 - 1.3.2-11 Funcionamiento intercambiador de calor de placas.

Fuente: researchgate.net/figure/Figura-l6

1.5. MATERIALES DE FABRICACIÓN.

En la fabricación de intercambiadores de calor existe la posibilidad de una gran cantidad de materiales para la composición de estos, abarcando desde elementos metálicos hasta los polímeros, estos serán seleccionados dependiendo de la aplicación y necesidad que se requiere. Generalmente la elección de estos materiales depende de las condiciones que tendrán que soportar, como las, temperaturas de los fluidos, flujos másicos, tiempos de operación o condiciones de tamaño y peso y una de las más importantes las presiones internas que deberá soportar.

Junto a lo anteriormente dicho, se presentarán los materiales más utilizados en la fabricación de estos equipos:

1.5.1. Cobre.

Metal de transición que tiene un color rojizo característico, es empleado en procesamientos químicos, gracias a su gran conductividad térmica y eléctrica, Los factores nombrados anteriormente son los determinantes en las aplicaciones que se les da. Comparando con elementos como el aluminio y la plata, este alcanza hasta un 70% más de conductividad térmica que el primero mencionado y un 90% de la conductividad del segundo. Debido a estas características, dentro de la industria es el elemento más ocupado en cuanto a conducción de electricidad y calor.

El cobre es utilizado hasta temperaturas de 200ºC y en bajas temperaturas posee buenas propiedades, esto sucede debido a que, al aumentar su temperatura, se vuelve más dúctil y pierde resistencia mecánica. Junto con lo anterior mencionado, tiene una buena soldabilidad y gran resistencia a la oxidación en atmosferas donde exista un gran porcentaje de humedad o temperaturas drásticas. Con el paso del tiempo, ira perdiendo su apariencia estética debido a que existen asidos que lo pueden corroer con rapidez y facilidad.

1.5.2. Acero Inoxidable.

Los aceros inoxidables son materiales aleados, cuyo componente principal es hierro que posee porcentajes del 12 al 30% de cromo (Cr), 0 a 22% de níquel (Ni) y muy pequeñas cantidades de carbono (C), molibdeno (Mo), selenio, titanio. Estos elementos forman una capa de protección en la superficie del acero, la que es delgada, continua y estable, la que ayuda al acero a estar protegido de reacciones químicas, siendo la

resistencia a la corrosión su principal característica, otras son la resistencia a las altas temperaturas y temperaturas criogénicas, además de una gran resistencia mecánica, prácticamente el doble de un acero al carbono. Por el contrario, por las aleaciones que posee debe ser sometido a tratamientos térmicos para mejorar sus propiedades, esto lo vuelve un acero con un costo más elevado. Existen tres grupos de acero inoxidable:

1.5.2.1 Aceros inoxidables Ausenticos: Se sitúan como los con mejor resistencia a la corrosión y excelentes propiedades mecánicas.

1.4.5.2 Aceros inoxidables Ferríticos: Poseen buena ductilidad y maquinabilidad, con buena resistencia a la corrosión.

1.4.5.3 Aceros inoxidables Martensíticos: Su característica principal es la dureza que poseen.

1.5.3. Acero al Carbono.

Combinación de hierro (Fe) y carbono (C) entre el 0,05% y menos del 2 %, en su composición poseen una gran cantidad más de elementos y la presencia de estos se debe a los procesos con que se realiza la producción de este. Mientras más carbono se encuentre en un acero, más elevada será la resistencia a la tracción, contradictoriamente aumentara la fragilidad del material, disminuyendo su tenacidad y ductilidad, junto con todo lo anterior también disminuirá su resistencia a la corrosión, esto es debido al alto porcentaje de carbono que poseen.

1.5.4. Aluminio.

Este material es un metal plateado muy ligero y NO FERROSO. Gracias a sus características físicas es uno de los elementos que más se utilizan dentro de la industria después del acero, debido a que este posee excelente conductividad tanto térmica como eléctrica, lo anteriormente mencionado lo vuelve un excelente material para las aplicaciones que requieren de transferencia de calor. Su maquinabilidad es muy sencilla, debido a su ductilidad, además posee una buena soldabilidad mediante las técnicas de arco electrónico y gas inerte.

Una de las principales características del aluminio es su gran resistencia a la corrosión, en condiciones atmosféricas, como tanto en vapores y humos industriales, diferentes tipos de fluidos y en ácidos.

Uno de los puntos que lo afecta es que tiene una perdida muy elevada de su resistencia mecánica, luego de los 150º C o cuando es sometido a un cambio muy brusco de temperaturas, por esto que se recomienda para aplicaciones de grandes exigencias tanto mecánicas como térmicas, para dar solución a esto, se buscan aleaciones del material, debido a que estas pueden mejorar las propiedades de este material.

A continuación, se presenta una tabla con algunos de los materiales antes mencionados para la fabricación de un intercambiador de calor, mostrando sus propiedades más favorables para esto.

Propiedades	**Acero Inoxidable**		**Acero al carbono**		**Aluminio 6061**	**Cobre B-88**
	AISI 304	**AISI 316**	**ASTM A106**	**ASTM A53**		
Densidad (kg/m3)	7930	7960	7830330	7850	2700	7160
Resistencia a la tensión a 20°C (Mpa)	460	460	400	330	214	303
Resistencia a la corrosión	Baja.	Alta.	Baja.	Baja	Alta.	Media
Temperatura de fusión (°C)	1450	1400	1250	1200	657	955
Coeficiente de expansión térmica a 20°C (°C-1)	8x10-6	8x10-6	15x10-6	15x10-6	23x10-6	17x10-6
Conductividad térmica a 20°C (W/m °C)	15	15	52	47	200	338

Fuente: Imagen Propia 04/04/2019

Tabla 1-2. Propiedades de materiales para fabricación de intercambiador de calor.

Los materiales que se describieron anteriormente son los más utilizados para la fabricación de intercambiadores de calor, la selección de estos va a depender del proceso que se quiera realizar y de la zona donde se encontraran.

CAPÍTULO 2: ESQUEMA Y CÁLCULOS TEÓRICOS.

2.1 DISEÑO Y CÁLCULOS TEÓRICOS.

Los cálculos representan uno de los procesos más importantes en la fabricación del intercambiador de calor de tubos concéntricos ya que son el paso previo a el diseño y posterior fabricación. El diseño por fabricar será una adaptación basada en un intercambiador visto en un laboratorio.

A continuación, se presentará la fórmula que se utilizara para lograr las dimensiones adecuadas en los intercambiadores de calor, esto se hace para poder tener comparaciones entre los materiales de los que se fabricaran estos, en este caso el cobre y el PVC.

-Procedimiento:

Se utilizará la fórmula de coeficiente de transferencia de calor, esta será ocupada como una conducción en estado estacionario.

Teniendo en cuenta que el intercambiador de calor de cobre ya tiene las medidas establecidas se procederá a realizar el cálculo para este antes mencionado. Posterior a esto se realizará una igualdad en la misma fórmula, pero con los datos del PVC, a modo de obtener el largo que debe tener El SEGUNDO INTERCAMBIADOR, esto se hace con el fin de obtener la misma transferencia de calor en los dos intercambiadores.

-Formula:

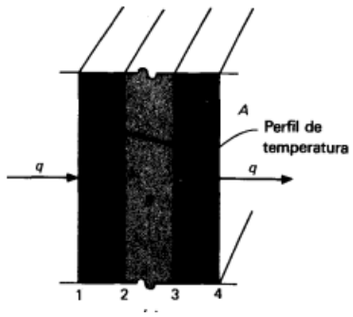
Coeficiente de transferencia de calor:

$$q = \frac{\mathrm{Ti} - \mathrm{Tf}}{\left(\frac{\Delta xa}{ha * A}\right) + \left(\frac{\Delta xb}{Kb * A}\right) + \left(\frac{\Delta xc}{hc * A}\right)}$$

Teniendo esta fórmula principal del coeficiente de transferencia de calor, se realizará un cambio en el paréntesis perteneciente al fluido A y C donde el delta de estos se cambiará por 1, por motivo de que este espesor no se tomara en cuenta, porque el área de contacto es la que nos importa para realzar este cálculo, la fórmula queda de la siguiente forma.

$$q = \frac{\mathrm{Ti} - \mathrm{Tf}}{\left(\frac{1}{ha * A}\right) + \left(\frac{\Delta xb}{Kb * A}\right) + \left(\frac{1}{hc * A}\right)}$$

Esta es la fórmula que se utilizara para realzar los cálculos que se desean obtener.



Referencia de cómo se está observando.

Datos:

	Cobre	**PVC**
K (W/mºC)	388	0,17
Δx (m)	0,00015	0,0017
A (m2)	0,01016	D*L
h_{agua} (W/m2ºC)	500	
Ti (ºC)	70	
Tf (ºC)	60	

Cobre:

$$q = \frac{70 - 60}{\left(\frac{1}{500 * 0{,}01016}\right) + \left(\frac{0{,}00015}{388 * 0{,}01016}\right) + \left(\frac{1}{500 * 0{,}01016}\right)}$$

$$q = \frac{10}{(0{,}1968) + (0{,}00003805) + (0{,}1968)}$$

$$q = 25{,}40\ (W)$$

Con estos datos obtenidos se procederá a realizar la igualdad en la misma fórmula con los datos del PVC, material del cual estará fabricado el otro intercambiador.

PVC:

$$25{,}4 = \frac{70 - 60}{\left(\frac{1}{500 * A}\right) + \left(\frac{0{,}0017}{0{,}17 * A}\right) + \left(\frac{1}{500 * A}\right)}$$

$$25{,}4 = \frac{10}{\frac{13{,}105}{42{,}5A}}$$

$$25{,}4 = \frac{10 * 42{,}5\text{A}}{13{,}105}$$

$$\frac{25{,}4 * 13{,}105}{10} = 42{,}5\text{A}$$

$$\frac{33{,}2867}{42{,}5} = \text{A}$$

$$A = 0{,}7832\ (\text{m2})$$

Con la obtención del área, se realizará una igualdad en la fórmula de esta misma para obtener de esta forma el largo requerido para que el coeficiente de transferencia de calor sea igual en los dos.

$$\frac{0{,}7832}{0{,}2} = \text{L}$$

$$\mathbf{3{,}9\ (\boldsymbol{m}) = L}$$

2.2 REFERENCIAS PARA ELECCIÓN DE DISEÑO:

El diseño que se va a utilizar para realizar la fabricación de los intercambiadores de calor estará basado en un intercambiador de calor de tubos concéntricos ubicado en el taller de Termo fluidos de casa central en la Universidad Técnico Federico Santa María.

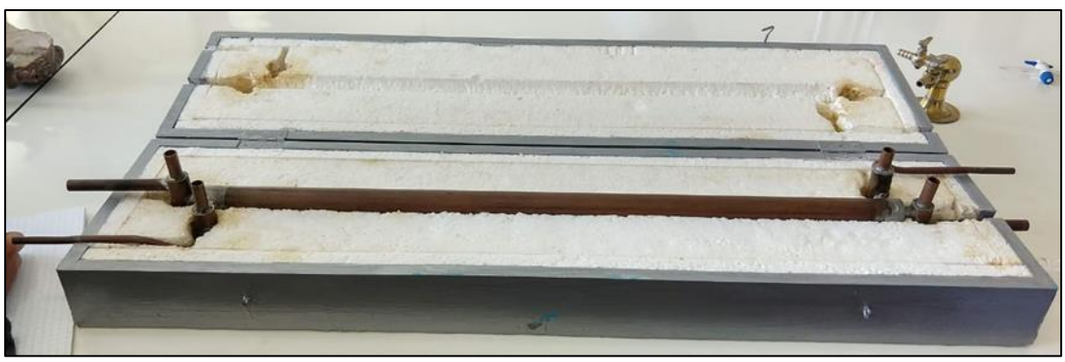


Figura 2 - 1 Intercambiador de calor UTFSM C.C.

Fuente: Imagen propia



Figura 2 - 2 Intercambiador de calor UTFSM C.C

Fuente: Imagen propia

En la imagen anteriormente mostrada, se puede ver la configuración que posee el intercambiador de calor base, distinguiéndose las entradas de los fluidos que este posee, junto a las cavidades para posicionar las termocuplas que se encargaran de medir las temperaturas.

Junto con lo anterior, se puede observar que este intercambiador posee un cajón que en su interior tiene plumavit, lo que funciona como aislamiento del medio ambiente, de esta forma se puede lograr una mejor eficiencia en el intercambio de temperaturas entre los fluidos.

2.2.1 Materiales ocupados en la fabricación del intercambiador C.C

- Caja de madera con material aislante plumavit
- Dimensiones del intercambiador de calor de cobre:
- Tubo externo donde circula el fluido frio: Diámetro interno: 25.4 mm (1plg)
  Diámetro externo: 29 mm
- Tubo interno donde circula el fluido caliente: Diámetro interno: 11.1 mm (7/16 plg)
  Diámetro externo: 12.7 mm (1/2plg)
- Largo del intercambiador: 725 mm
- Termómetros digitales con termocuplas tipo K marca Extech sin protección
  Rango: -40 a 1200°C
  Resolución: 0,1°C > 200°C; 1°C < 200°C
- Baño Termostático Modelo MP-5H Rango de T° +5 a 100°C
  Resolución ± 0,1°C
- Calefactor adicional de 1000 Watts para el baño.
- Cronometro Marca Lab Alert.

- Pie de metro.
- Huincha
- Probeta de 0 a 500 ml, resolución 5 ml
- Vaso precipitado de 500 ml
- 1 pedestal
- Pinzas
- 4 Mangueras
- Pinza morh para regular el paso de agua caliente

2.2.2. Datos técnicos

Promedio de temperatura entrada de agua fría	14,8°C
Promedio de temperatura salida de agua fría	30,9°C
Promedio de temperatura entrada de agua caliente	70,5°C
Promedio de temperatura salida de agua caliente	62,2°C
Promedio caudal agua caliente	33,66 ml/s
Promedio caudal agua fría	16,02 ml/s
Masa agua fría	9612
Calor especifico del agua fría a 15°C	0,99976
Diferencia de temperatura agua fría	16,1
Masa agua caliente	20196
Calor especifico del agua caliente a 71°C	1,00067
Diferencia de temperatura agua caliente	8,3°C

Tabla 2 - 1

2.3. MODIFICACIÓN DEL DISEÑO ELEJIDO.

Con el diseño que se ha seleccionado anteriormente, se procederá a realizar las respectivas modificaciones dentro de este, con el fin de obtener datos que sean relevantes dentro del estudio de los fenómenos de las transferencias de calor y realizar una posterior comparación de estos daros a obtener.

Dentro de los cambios que se le desean realizar al diseño inicial que se tenía del intercambiador de calor de tubos concéntricos anteriormente visto, se encuentran los

materiales de los que se van a fabricar, el primero estará constituido del mismo material que el inicial, que será de cobre, mientras el segundo estará hecho de PVC.

Además de realizar un cambio en los materiales de fabricación, se modificarán las medidas que constituyen los intercambiadores de calor, los diámetros serán distintitos, tanto del tubo interno como del externo.

El tubo interior del intercambiador de cobre esta unido con el exterior mediante un gorro de cobre, al cual se hará necesario realizarle una perforación del diámetro del tubo interior, de manera de facilitar la unión de estos. El tubo exterior de igual manera necesita ser perforado en sus dos extremos para insertar el tubo de entrada/salida del líquido frio. Para el intercambiador de calor de tubos concéntricos de PVC hay que realizar la misma operación, con la diferencia que la unión entre tubos ya no es mediante un gorro de cobre, si no con un reductor de 40 mm a 20 mm.

4. Intercambiador de Cobre:

En la siguiente imagen se muestra una vista frontal del intercambiador de Cobre, donde esta señalizado a través de números las entradas y salidas del fluido. Para el líquido caliente tenemos el color amarillo en donde la entrada es por 1 y la salida por 2. Debido a que a contraflujo el líquido frio debe entrar por 3 y salir por 4.

La entrada y salida del fluido están ubicadas a los extremos para facilitar el tránsito del fluido a través de toda la estructura de este, de esta manera se facilita el intercambio de calor.

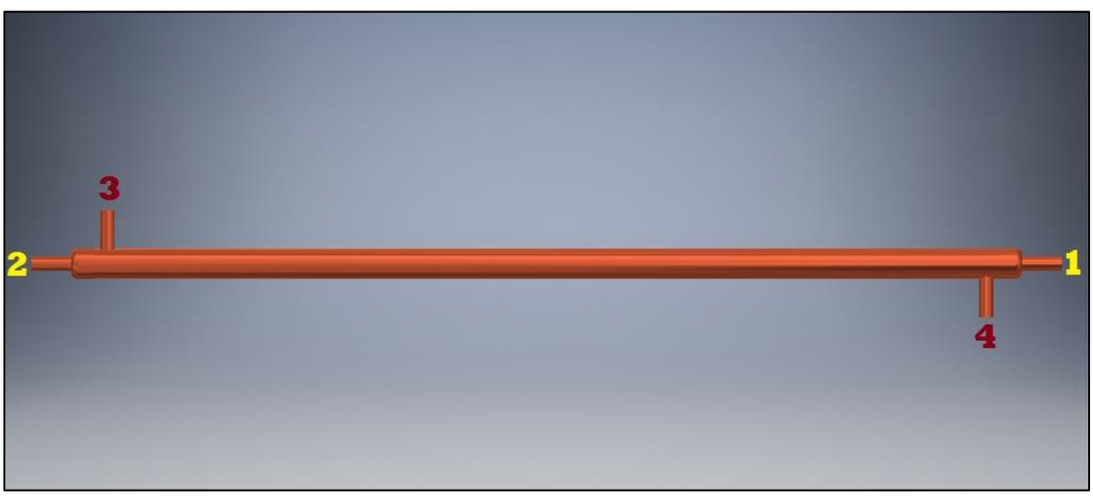


Figura 2 - 3 Intercambiador de cobre, vista frontal.

Fuente: Elaboración propia.

A continuacion se muestran fotos con el diseño final del intercambiador de calor de cobre, las medidas seran epecificadas en a continuacion:

Largo tubo interior	880 mm
Diámetro tubo interior	12.7 mm
Espesor tubo interior	0.15 mm
Largo tubo exterior	800 mm
Diámetro tubo exterior	25.4 mm
Espesor tubo exterior	0.13 mm
Diámetro tubo entrada/salida	12.7 mm
Espesor tubo entrada/salida	0.85 mm
Largo tubo entrada/salida	35 mm

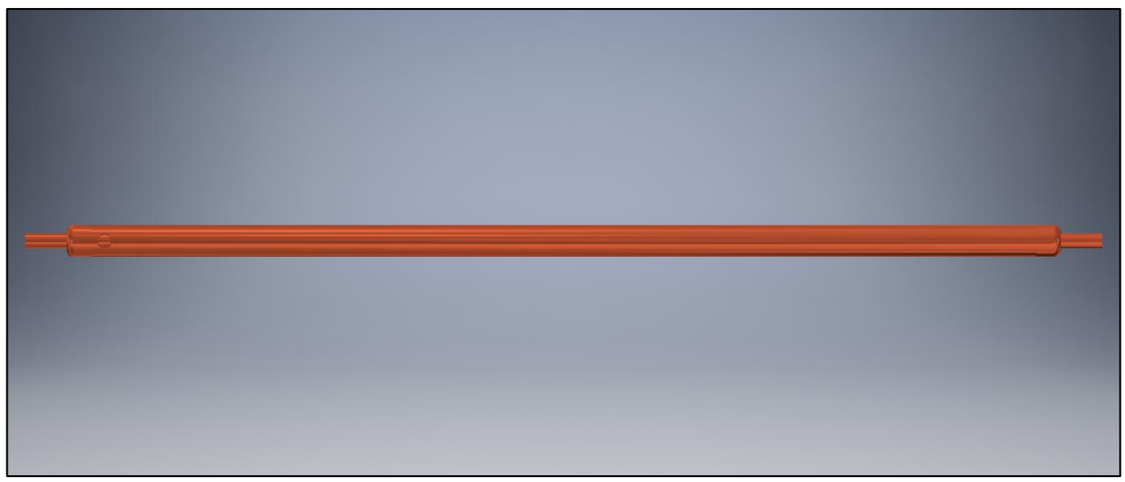


Figura 2 - 4 Intercambiador de cobre, vista superior.

Fuente: Elaboración propia.

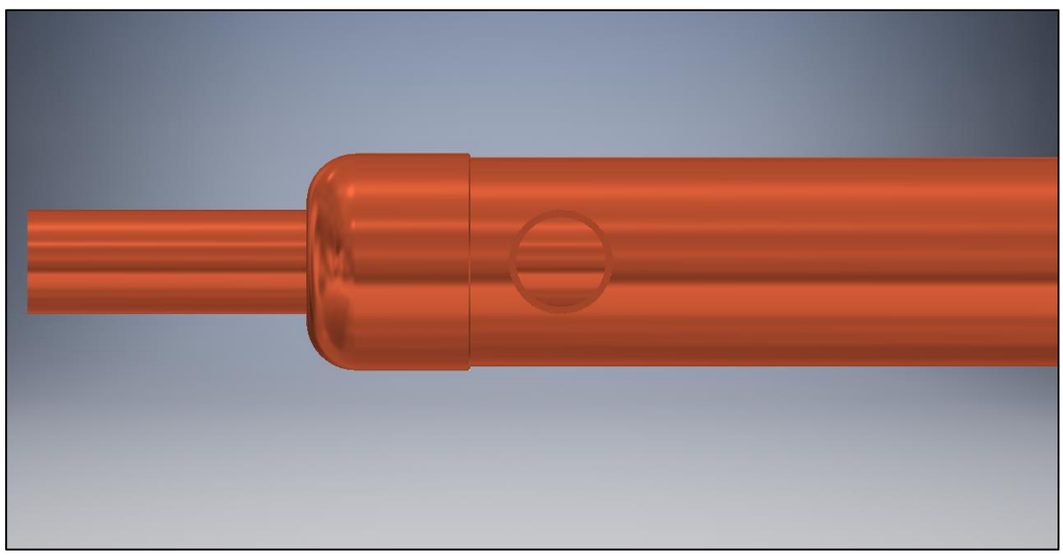


Figura 2 - 5 Intercambiador de cobre, vista superior (zoom extremo izquierdo).

Fuente: Elaboración propia.

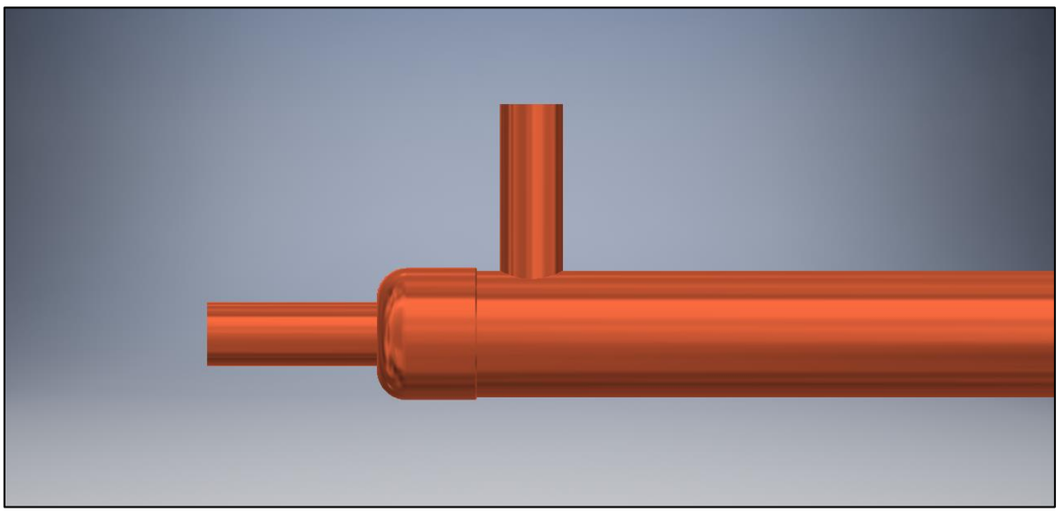


Figura 2 - 6 Intercambiador de cobre, vista frontal (zoom extremo izquierdo).

Fuente: Elaboración propia.

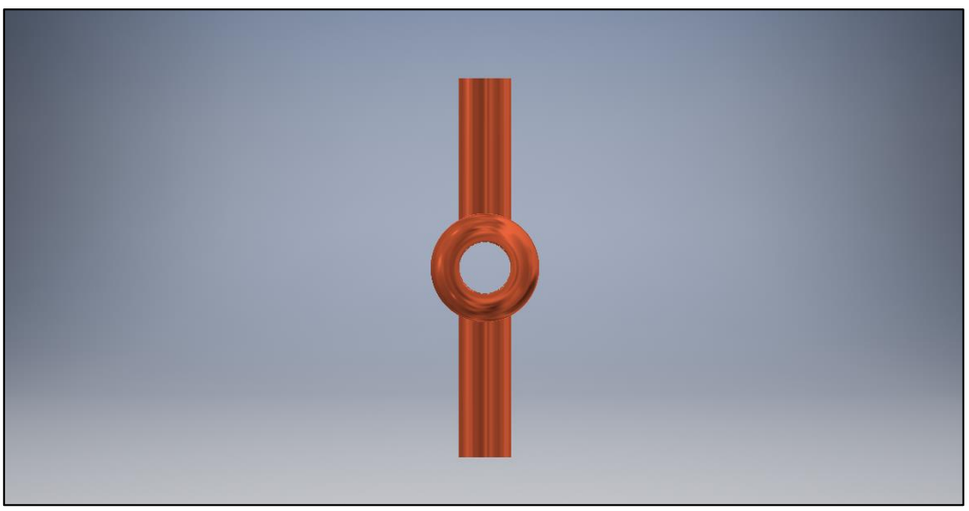


Figura 2 - 7 Intercambiador de cobre, vista de costado.

Fuente: Elaboración propia.

5. Intercambiador PVC:

A continuación, una vista frontal del intercambiador de PVC, al igual que en el de cobre el líquido frio es representado por el color amarillo, mientras que el caliente por rojo oscuro. Las direcciones de los flujos son las mismas.

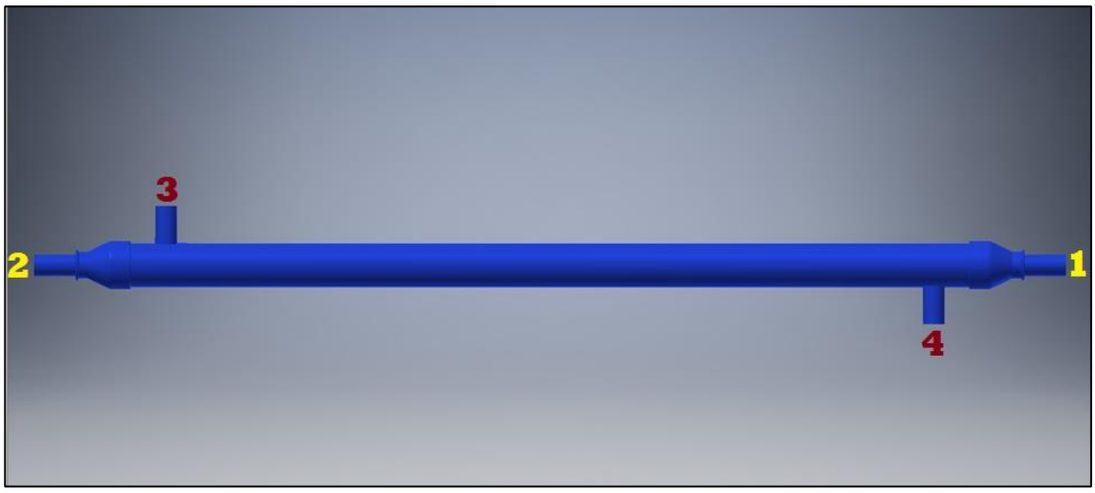


Figura 2 - 8 Intercambiador PVC, vista frontal.

Fuente: Elaboración propia.

Las medidas son detalladas a continuación y más abajo encontramos imágenes del intercambiador en diferentes vistas.

Largo tubo interior	4040 mm
Diámetro tubo interior	20 mm
Espesor tubo interior	1.7 mm
Largo tubo exterior	3900 mm
Diámetro tubo exterior	40 mm
Espesor tubo exterior	2.1 mm
Diámetro tubo entrada/salida	20 mm
Espesor tubo entrada/salida	5 mm
Largo tubo entrada/salida	35 mm

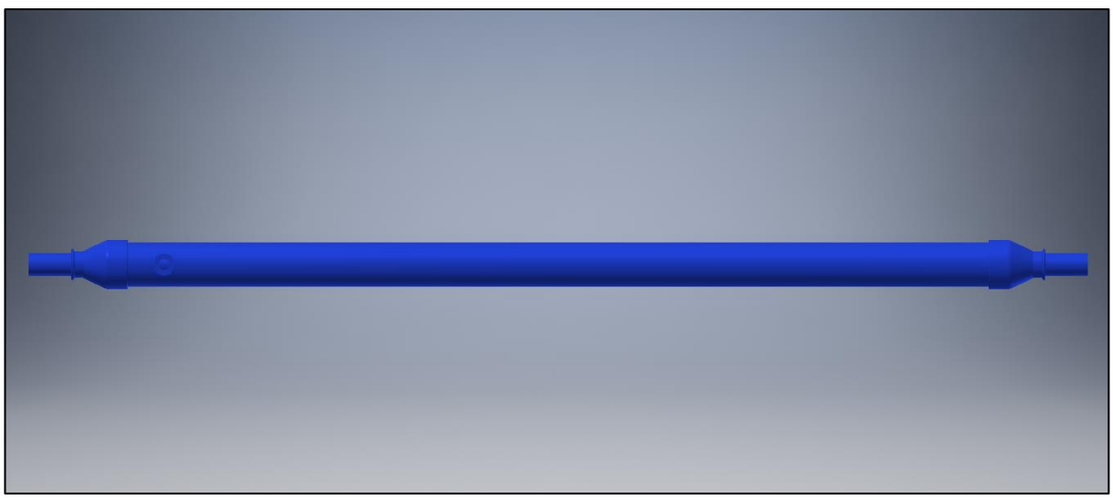


Figura 2 - 9 Intercambiador de PVC, vista superior.

Fuente: Elaboración propia.

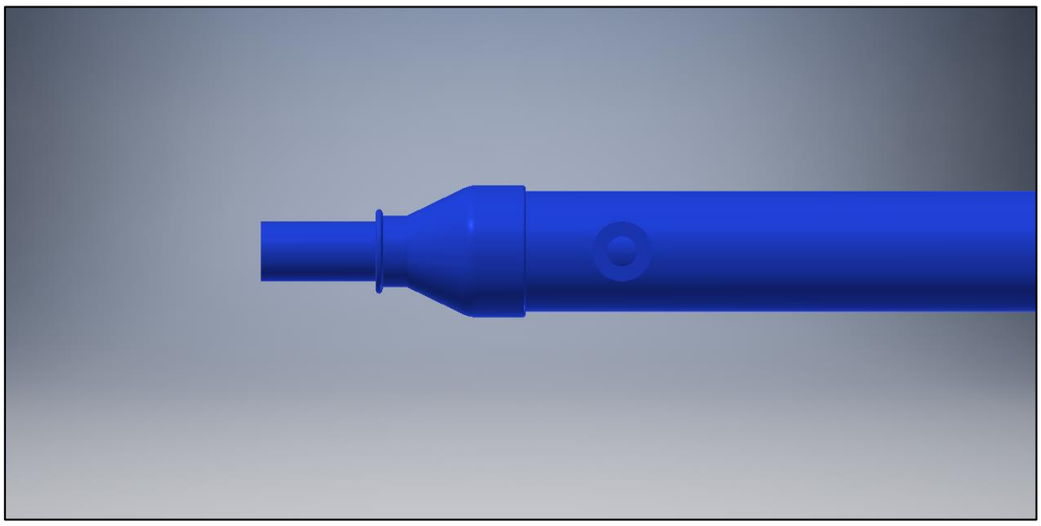


Figura 2 - 10 Intercambiador de PVC, vista superior (zoom extremo izquierdo).

Fuente: Elaboración propia.

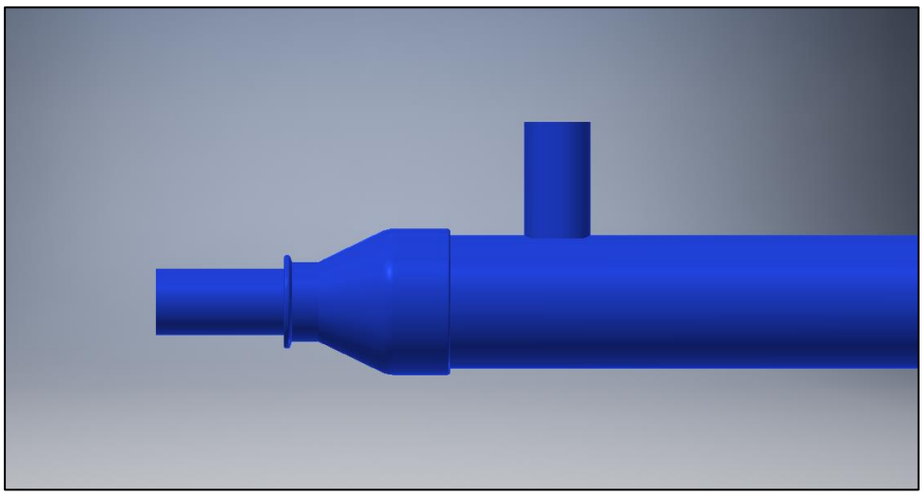


Figura 2 - 11 Intercambiador de PVC, vista frontal (zoom extremo izquierdo)

Fuente: Elaboración propia.

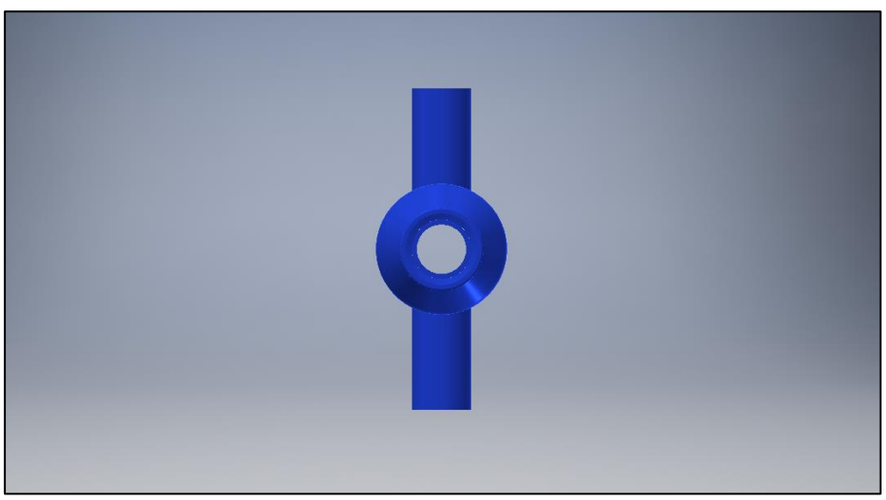


Figura 2 - 12 Intercambiador PVC, vista lateral.

Fuente: Elaboración propia.

6. Cambio de materiales:

En cuanto a los materiales que se utilizaran para dar las medidas y posterior fabricación de los intercambiadores de calor, se utilizar dos materiales bastante comunes dentro del área de las tuberías.

Cobre: El primer intercambiador estará hecho de cobre, este es el mismo material utilizado en el diseño base que se está utilizando, la diferencia que tendrá en cuanto a material será la no incorporación del cajón de aislamiento fuera del intercambiador de calor, dejando que el intercambiador tenga perdidas de calor en el ambiente.

PVC: El segundo intercambiador de calor estará constituido de tubos de PVC, este material es bastante común dentro de las conexiones de tuberías, a este se le incorporara una tela aislante, ya que este tiene a perder una mayor cantidad de calor con respecto al medio ambiente, con la capa de aislante que se le desea poner, será para evitar estas pérdidas que podrían ser excesivas.

7. Modificación de medidas:

Además de realizar una fabricación de estos intercambiadores de calor con materiales distinto, igual se modificarán las medidas de los tubos que los componen, esto consta en cuanto al diámetro de los tubos y el largo de los mismos.

Con lo anterior mencionado en cuanto a os diámetros, estos serán distintos, debido a que los espesores de cada tubo son de diferentes tamaños, esto igual afectara al área de cada uno y la cantidad de fluido que pasa ir cada uno.

Para la fabricación de los intercambiadores de calor, se utilizarán las mismas medidas en el diámetro de los tubos que los compondrán y en el largo de estos, de esta forma se podrá realizar una comparación entre los dos para tener una mejor referencia en cuanto al fenómeno de intercambio de calor. A lo anterior se debe agregar que las áreas que se obtendrán serán de similares, pero no iguales, debido a que cada material posee espesores distintos, de esta forma se está afectando las medias internas dentro de los tubos. La tolerancia para la fabricación fluctúa entre 0.5 a 1.2 milímetros.

2.4. DESCRIPCIÓN MATERIALES A UTILIZAR.

A continuación, se ve una tabla con las propiedades que poseen los materiales con os que se fabricaran los intercambiadores de calor:

Propiedades	**Cobre B-88**	PVC
Densidad (kg/m3)	7160	1380
Resistencia a la tensión a 20°C (Mpa)	303	54
Resistencia a la corrosión	Media	Media
Temperatura de fusión (°C)	955	212
Coeficiente de expansión térmica a 20°C (°C-1)	17x10-6	75x10-6

Como se pudo ver dentro de la tabla anterior, se podría realizar una comparación entre las propiedades que posee el cobre y el pvc, donde se tiene una gran diferencia entre los dos en cuanto a soportar las altas temperatura, teniendo esto en cuenta, se dice, que el intercambiado de calor de cobre tendrá una mayor eficiencia sobre el que estará fabricado de PVC.

2.5. FORMULAS RELACIONADAS.

A continuación, formulas con las cuales podremos valores de gran importancia para obtener eficiencia y equilibrio térmico entre otros. Para obtener los datos de algunas fórmulas es necesario realizar mediciones, para las cuales hay que tener en funcionamiento el banco.

8. Efectividad: Representada por ε esta definida como un parámetro adimensional que ayuda a la determinación del rendimiento con respecto a la transferencia de calor específica y la máxima transferencia de calor que se puede transferir en un intercambiador que funciona a contracorriente.

$$\varepsilon = \frac{Q}{Q_{max}} = \frac{Transferencia\ de\ calor\ real}{Maxima\ transferencia\ de\ calor}$$

Para conseguir determinar la transferencia de calor máxima, se definen las capacidades calóricas de los fluidos que estarán actuando, frio y caliente, donde los subíndices F y c denotan lo que es frio y caliente respectivamente.

$$C_c = m_C * C * P_C \qquad C_f = m_f * C * P_f$$

Donde:

9. C = Capacidad calorífica ($W/ºC$)
10. Cp = Calor especifico ($Kj/(kgºC)$)
11. m = Flujo másico (Kg/s)

Con las capacidades caloríficas de determina la máxima razón de transferencia de calor.

$$Q_{max} = C_{min} * (T_{C\ ent} - T_{f\ ent})$$

Donde C_{min} es el valor menor entre C_c y C_f.

El número de unidades de transferencia (NTU), es un numero adimensional inmerso en las relaciones de efectividad y se expresa como:

$$NTU = \frac{UA}{C_{min}}$$

Donde:

- NTU = Número de unidades de transferencia.
- U = Coeficiente global de transferencia de calor ($\frac{W}{mC}$)
- A = Área de transferencia de calor (m2)

12. Caudal:

El caudal Q es definido como el volumen de líquido que fluye (es decir que pasa por una sección transversal) en un determinado tiempo.

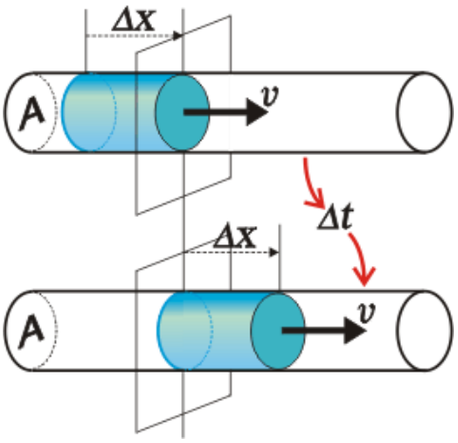


Figura 2 - 13 Representación gráfica caudal.

Fuente: agielorena1020.files.worldpress.com

El caudal se calcula como cociente entre el volumen y el tiempo, por lo tanto, se mide en unidades de volumen sobre unidades de tiempo, como por ejemplo en metros cúbicos/segundo.

$$Q = \frac{V}{t}$$

13. Q = Caudal ($\frac{m^3}{s}$)
14. V = Volumen (m^3)
15. t = Tiempo (seg)

Se sabe que el volumen se puede calcular como la sección por la distancia, por lo tanto, el caudal es:

$$Q = \frac{S \cdot d}{t}$$

16. Q = Caudal (m^3/s)
17. s = Sección (m^2)
18. d = Distancia (m)
19. t = Tiempo (s)

Pero la variación de distancia sobre la variación del tiempo es la definición de velocidad. Entonces también podemos calcular el caudal como el producto de la sección por la velocidad.

$$Q = S \cdot v$$

20. Q = Caudal (m^3/s)
21. S = Sección (m^2)
22. v = Velocidad ($\frac{m}{s}$)

No hay que confundir el caudal con velocidad, ya que el caudal es el volumen que circula por cada unidad de tiempo (ej: metros cúbicos/segundo). La velocidad es la distancia recorrida por una partícula del líquido por cada unidad de tiempo (ej.: kilómetros/hora).

23. Regímenes de Flujo:

El régimen de flujo puede presentarse de dos formas en una tubería, laminar o turbulento, esto va a depender del mismo. Un fluido presenta un comportamiento laminar cuando sigue líneas de corriente que se encuentran a bajas velocidades o cuando presentan una alta viscosidad, por lo contrario, se vuelve de régimen turbulento a medida que su velocidad incrementa más allá de un valor critico en el cual la viscosidad del fluido no afecta el régimen establecido, en consecuencia, se crea un flujo inestable dentro de la tubería que lo contenga. La transición de un flujo laminar a uno turbulento no ocurre de un momento a otro, se presenta sobre algún intervalo de velocidad, donde el flujo varía de laminar y turbulento antes de volverse turbulento por completo.

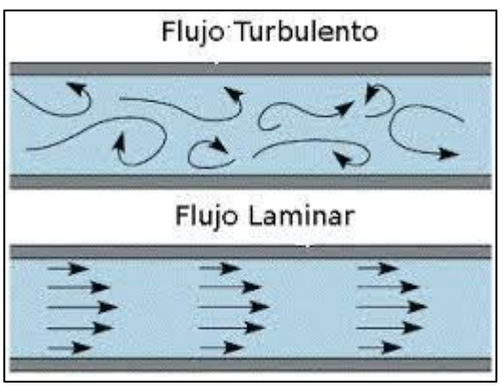


Figura 2 - 14 Representación flujo turbulento y laminar

Fuente: hidrodinamica5e2015.blogspot.com

24. Numero de Reynolds:

En la practica la mayor parte de los flujos de los tubos son turbulentos, por lo general se debe a que en las aplicaciones se manejan grandes velocidades, por el otro lado el flujo laminar se encuentra cuando los fluidos son intensamente viscosos, como los aceites, pasan a través de tubos con un pequeño diámetro o pasos angostos. Para un flujo en un tubo circular, el número de Reynolds se define como:

$$Re = \frac{\rho VD}{\mu} = \frac{VD}{v}$$

25. Re = Numero de Reynolds (Adimensional)
26. ρ = Densidad ($\frac{Kg}{m^3}$)
27. V = Velocidad ($\frac{m}{s}$)
28. D = Diámetro de la tubería (m)
29. μ = Viscocidad dinámica ($\frac{Kg}{m \cdot s}$)
30. v = Viscosidad cinemática ($\frac{m^2}{s}$)

Las condiciones ideales y más prácticas en el cálculo de sistemas y modelos, el flujo de un tubo es laminar para *Re* < 2300 y es turbulento para *Re* > 10000 y en los valores intermedios de transición.

31. Ecuación transferencia de calor:

Para la obtención de la ecuación que determina la transferencia de calor que existe en un intercambiador de calor, se realiza un análisis mediante la primera ley de la termodinámica, también conocida como el principio de conservación de la energía, mediante la ecuación de balance energético de flujo, en la cual todo tipo de energía que entra debe ser igual a la energía que sale, bajo estado estacionario.

$$\dot{E}_{Entrada} - \dot{E}_{salida} = \Delta\dot{E}_{sistena} = 0$$

Tomando la totalidad del intercambiador como volumen de control como se ve en la figura XX, la ecuación se convierte en una ecuación de balance de entalpías, debido a que en el sistema no se aplica un trabajo externo y no se transfiere calor al sistema.

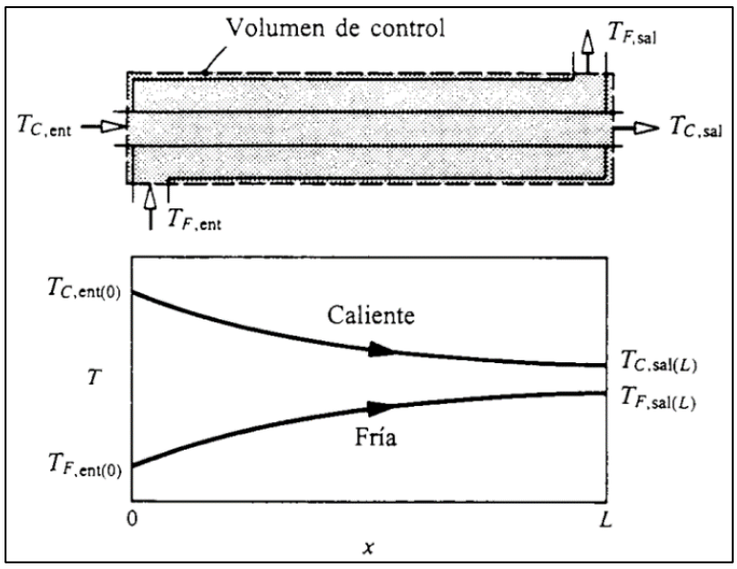


Figura 2 - 15 Volumen de control para un intercambiador de calor de flujo paralelo

Fuente: http://www.conociendolafresadora.blogspot.com

Considerando despreciables los cambios de energía potencial y cinética, esto porque no interactúan en el volumen de control, además tienen valores que generalmente son despreciables. En la ecuación de balance de entalpias los subíndices *C* y *F* denotan el fluido caliente y frio respectivamente.

$$\left(\dot{m}_c h_c + \dot{m}_f h_f\right)_{entrada} = \left(\dot{m}_c h_c + \dot{m}_f h_f\right)_{salida}$$

$$\dot{Q} = \dot{m}_c(h_{c_{entrada}} - h_{c_{salida}}) = \dot{m}_f(h_{f_{salida}} - h_{f_{entrada}})$$

Donde:

32. $\dot{Q}$ = Calor (W)
33. $\dot{m}$ = Flujo masico ($\frac{Kg}{s}$)
34. h = Entalpia ($\frac{j}{Kg}$)

Donde $\dot{Q}$ es el calor transferido de la corriente caliente a la corriente fría. Si se consideran los calores específicos de los fluidos constantes, esto debido a la poca variación que tienen

en un proceso, es posible determinar en la ecuación las temperaturas de entrada y salida, quedando la siguiente expresión:

$$\dot{Q} = (\dot{m}C_p)_c(T_{c\ ent} - T_{c\ sal}) = (\dot{m}C_p)_f(T_{f\ sal} - T_{f\ ent})$$

35. Resistencia del calor.

Por lo general un intercambiador de calor funciona con dos fluidos que fluyen separados por una pared sólida. En primer lugar, el calor se transfiere del fluido caliente hacia la pared por convección, después el calor se propaga a través de la pared por conducción y, por último, de la pared hacia el fluido frío de nuevo por convección. El efecto de la radiación suele incluirse en los coeficientes de transferencia de calor por convección, aunque no se aprecien directamente.

Para que exista una transferencia de calor, se presenta un fenómeno de resistencia del flujo del calor para cruzar una superficie, la cual depende de las propiedades térmicas del medio y de la configuración geométrica que se tenga. Dicha resistencia térmica se puede expresar en términos generales como:

$$Q = \frac{\Delta T}{R}$$

Donde:

36. $\dot{Q}$ = Flujo de calor (W)
37. R = Resistencia térmica (ºC/W)
38. ΔT = Cambio de temperatura (ºC)

CAPÍTULO 3: INSTRUCCIONES DE USO BANCO DE PRUEBAS.

3.1 DISEÑO COMPONENTES DEL BANCO DE PRUEBAS:

A continuación, se mostrarán imágenes de parte del proceso de fabricación del banco de prueba, donde se comenzará viendo la estructura que contendrá los intercambiadores de calor junto con el resto de partes que componen este, cada una de estas partes llevara sus medidas y los procesos con los que se realizaron.
Fabricación estructura banco de pruebas.

3.1.1. Plano de estructura. (Anexo 1)

En el plano Nº1 se aprecian las medidas que posee el banco de pruebas, en vista frontal y lateral, compuesto por madera y acero.

3.1.2. Modificación estructura

El proceso de modificación comenzara realizando cortes de 45 grados en los perfiles sobrantes, para una posterior unión a través de cordones de soldadura que estos tendrán, de esta manera se lograra la forma y dimensiones que se desean.



Figura 3 – 1 Cortes den ángulo de 45 de perfiles.

Fuente: Elaboración propia.



Figura 3 – 2 Vista superior de unión.

Fuente: Elaboración propia.

Luego de realizar los cortes en los perfiles y unirlos para formar la estructura superior, esta se unirá junto a la parte inferior, a través de cordones de soldadura.



Figura 3 – 4 Unión parte superior e inferior estructura.

Fuente: Elaboración propia.



Figura 3 – 5 Unión parte superior e inferior vista desde dentro.

Fuente: Elaboración propia.

Luego de tener estas piezas unidas y ser una sola estructura se le procederá a soldar las ruedas en la parte inferior para tener movilidad de la estructura.



Figura 3 – 6 Ruedas soldadas.

Fuente: Elaboración propia.



Figura 3 – 7 Vista completa a la estructura con ruedas soldadas.

Fuente: Elaboración propia.

3.1.3. Pintado e instalación de superficies de soporte.

Luego del proceso de cortado y unión de las piezas de la estructura, esta pasa a ser lijada para quitar el exceso de pintura y oxido en algunas partes de los perfiles.
Teniendo la estructura ya lijada, se comienzan a dar las capas de pinturas deseadas para lograr el tono adecuado e la pintura.

Con la estructura ya pintada se comienza a la instalación de las superficies que tendrán encima los intercambiadores. Para lograr el correcto posicionamiento de estas, se perforan los perfiles, para luego dejar las tablas atornilladas a estos.



Figura 3 – 8 superficies superior e inferior atornilladas a los perfiles.

Fuente: Elaboración propia.

Con todas las superficies ya fijadas a la estructura base del base de pruebas, se procede a realizar un barnizado en estas, para protegerlas y darle una mejor presentación.



Figura 3 – 9 Vista trasera del banco con las superficies fijadas y comienzo de barnizado.

Fuente: Elaboración propia.

3.2 INICIO DE FABRICACIÓN DE INTERCAMBIADORES.

En un principio el trabajo constaba en la fabricación del banco de pruebas como tal, debido a la contingencia no se pudo terminar, sin embargo se realizó un avance significativo el cual se encuentra detallado, se terminó la estructura y parte de ambos intercambiadores.

3.2.1. Fabricación intercambiador de calor de cobre.

En la elaboración del intercambiador de calor, que estará fabricado de cobre, las medidas que se le dieron fueron haciendo referencia a las del intercambiador que se utilizaría como diseño para este.

39. Plano intercambiador de calor. (Anexo 2)

En el plano se puede apreciar en dos vistas el intercambiador, en ambos planos se hicieron cortes para poder apreciar de manera mas clara como es en su interior.

40. Corte y refrentado de tubo exterior.

Como primer paso se tomó la barra de cobre y se le realizo el corte a la medida deseada, dejando un pequeño sobrante para posteriormente realizar un refrentado en el torno.



Figura 3 – 10 Tubo de cobre externo .

Fuente: Elaboración propia.

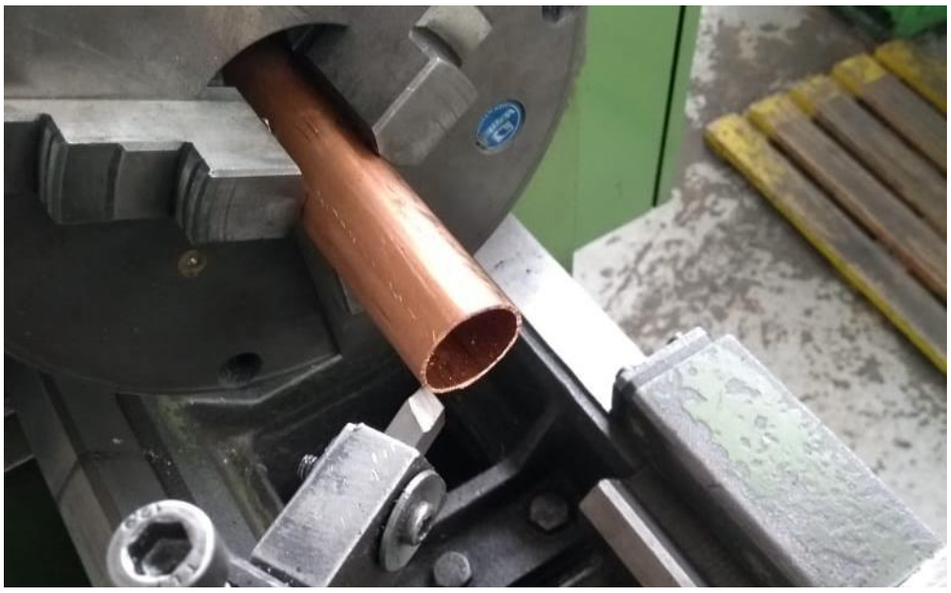


Figura 3 – 10 Refrentado tubo externo intercambiador de cobre.

Fuente: Elaboración propia.

41. Corte y refrentado de tubo interior.

Luego se procede a realizar lo mismo con la barra del tubo de menor diámetro, este se deja con dimensiones más extensas, para lograr conectar bien las mangueras y poder poner un conector.

3.2.2 Fabricación intercambiador de calor de PVC.

Para elaborar este intercambiador, se toma como referencia el área que posee el intercambiador de calor de cobre anteriormente visto, ya que estos no poseen las mismas dimensiones en cuanto a diámetro y espesores, debido a esto se igualo el coeficiente de transferencia de calor para obtener el largo.

A) Plano intercambiador de calor. (Anexo 3)

Al igual que para el otro intercambiador se realizaron los mismos cortes con el fin de que el interior se aprecie más fácilmente.

B) Corte y refrentado tubos.

Se realiza este proceso con el fin de que tenga un buen calce con el adaptador.

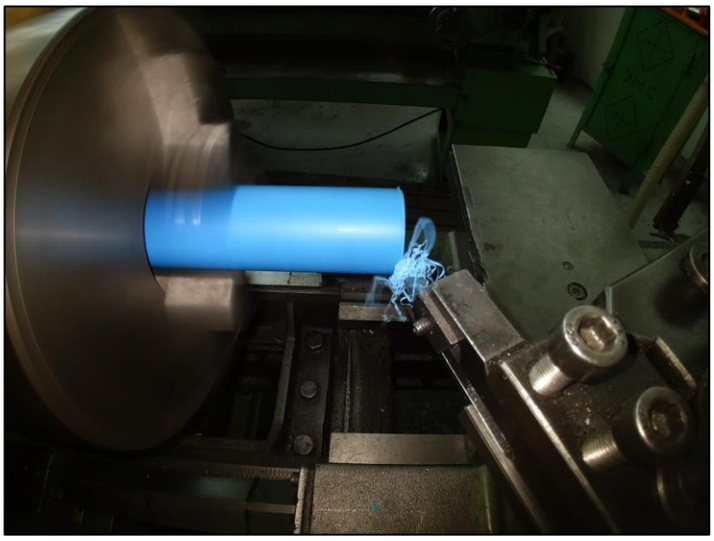


Figura 3-11 Refrentado Tubo interior intercambiador.

C) Modificación de adaptador.

No había un adaptador con las medidas necesarias, por lo que se tuvo que adaptar uno, cilindrando diámetro menor y mayor, logrando así un cale con ajuste de manera de al realizar la unión evitar fugas.

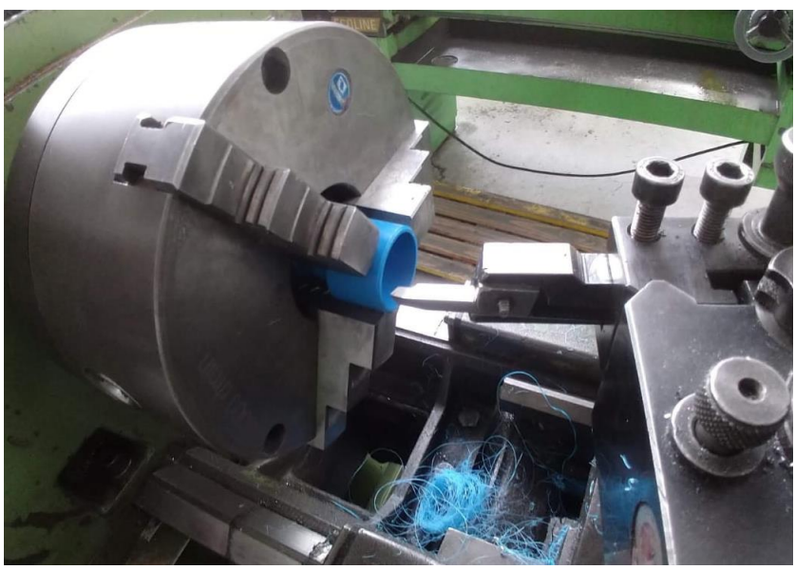


Figura 3-12 Refrentado diámetro mayor adaptador.

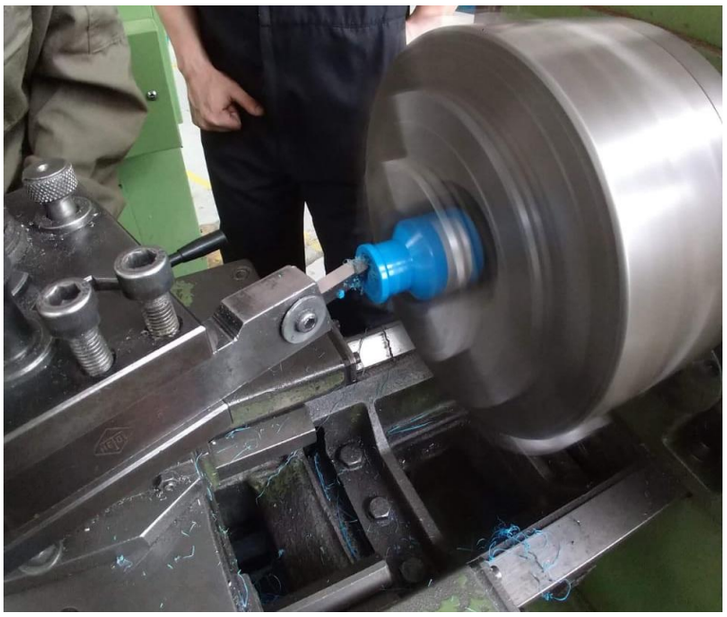


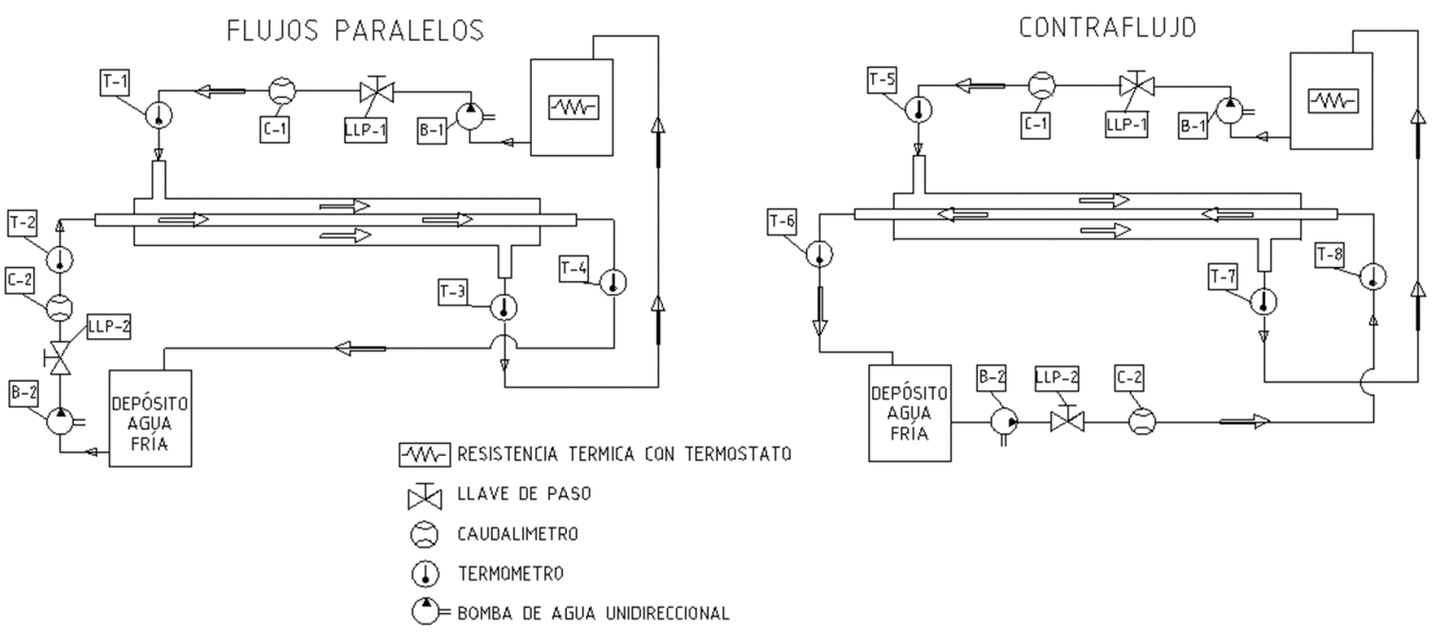
Figura 3-12 Cilindrado diámetro menor del adaptador

3.3 IMPLEMENTACIÓN MANUAL DE USO Y SEGURIDAD.

En el siguiente capítulo se presentará el manual con las instrucciones de uso que tendrá el banco de pruebas, para logar un óptimo uso de este y no tener problemas al momento de la realización de algún ensayo. Junto con el anteriormente mencionado, se añadirá una sección con las precauciones que se debe tener a la hora de manipular el banco de pruebas.

3.3.1 Esquemas de funcionamiento de banco de pruebas.

A continuación, se presentarán dos esquemas de uso que tendrá el banco de pruebas, es decir, se mostrara como están conectadas las partes que componen el banco de pruebas, con el fin de facilitar la comprensión de este.



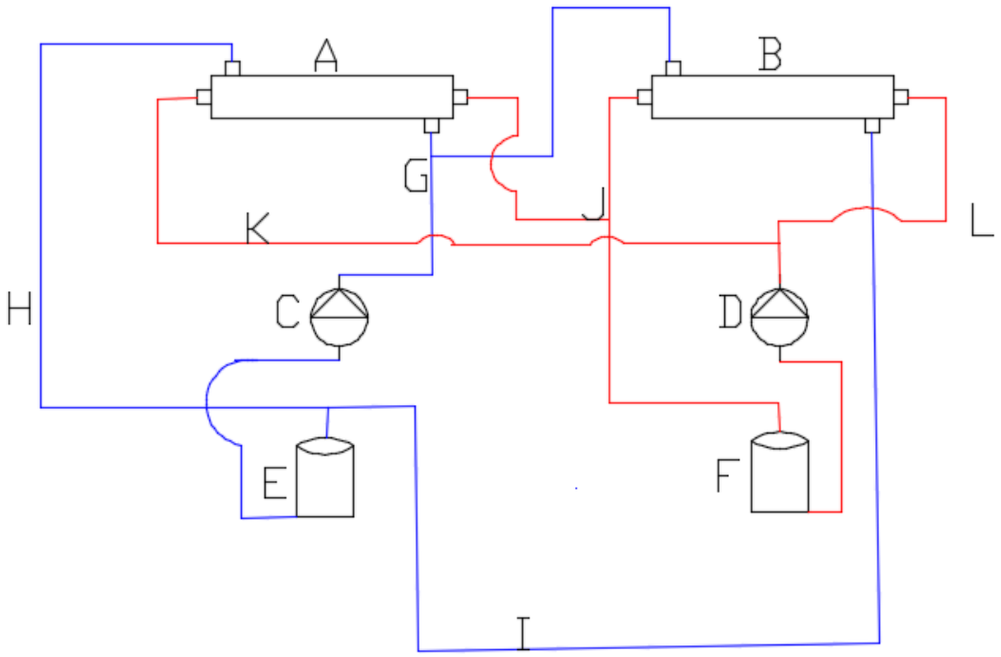


Imagen 3.1

Esquema de funcionamiento

Unas de las características a remarcar de la imagen anterior, es el color de ciertos elementos que esta tiene. En la imagen se diferenció de color rojo y azul, elementos por donde circula fluido a mayor temperatura o menor temperatura respectivamente.

3.3.2 Partes y descripción.

Como se vio anteriormente en el esquema de funcionamiento del banco de pruebas, este tiene letras en partes de él, esto ayudara a la identificación de partes dentro de este, facilitando el entendimiento y funcionamiento de él.

Por eso a continuación se enlistará las piezas que componen el banco de pruebas, junto con sus respectivas letras dependiendo del esquema anteriormente visto.

A) Intercambiador de calor de Cobre.

Intercambiador de tubos concéntricos fabricado de cobre.

B) Intercambiador de calor de PVC.

Intercambiador de tubos concretico fabricado de PVC

C) Bomba 1 (fluido a menor temperatura).

Bomba comercial, de bajo caudal, encargada de mover el fluido de menor temperatura.

D) Bomba 2 (fluido a mayor temperatura).

Bomba comercial, de bajo caudal, encargada de mover fluido de mayor temperatura.

E) Estanque 1 (fluido a menor temperatura).

Bidón semitransparente, con una salida por la parte baja y dos entradas de fluido en la parte superior.

F) Estanque 2 (fluido a mayor temperatura).

Bidón semitransparente, con una salida por la parte baja y dos entradas de fluido en la parte superior. Posee una resistencia encargada de elevar la temperatura del agua cuando sea necesario.

G) Manguera de carga fluido a menor temperatura.
H) Manguera de descarga fluido a menor temperatura.
I) Manguera de descarga fluido a menor temperatura.
J) Manguera de carga fluido a mayor temperatura.
K) Manguera de descarga fluido a mayor temperatura.
L) Manguera de descarga fluido a mayor temperatura.

Todas las mangueras son transparentes y cumplen la función de ser el camino del fluido que se estará utilizando.

3.4 FUNCIONAMIENTO.

A continuación, se explicará detalladamente el funcionamiento del banco de pruebas, de esta forma se tendrá una noción de cómo es que el banco de pruebas actúa.
Para comenzar los fluidos a utilizar están a temperaturas distintas, las bombas son las encargadas de realizar el desplazamiento de cada uno de estos por distintas tuberías, las cuales están marcadas de color rojo y azul en el esquema anteriormente visto, cabe destacar que los dos fluidos avanzan en con el mismo caudal. Cuando los fluidos ingresan en los tubos de los intercambiadores de calor es cuando comienza el proceso de transferencia de calor entre estos, haciendo que el fluido más frio le reste temperatura a el de mayor temperatura y este aumente la del anterior, todo esto será medido por termocuplas que se instalaran en el momento en las entradas y salidas de cada uno, pidiendo obtener las mediciones de temperaturas deseadas. Al realizar el trayecto dentro de cada intercambiador estos fluidos volverán a sus estanques respectivos, por otras tuberías que estarán conectadas en las salidas de estos.

Además se debe aclarar que por motivos del proceso de transferencia de calor que estos fluidos sufren dentro de os intercambiadores, llegara un momento donde el más caliente bajara su temperatura y el más frio la elevara, por esto es que cada bidón tiene

incorporada una cualidad distinta; el de temperatura más alta posee una resistencia la que se encenderá al momento de detectar una baja en la temperatura del fluido y el de fluido más frio estará conectado directamente a la red de agua potable, de esta forma se ira remplazando el agua que ya está ganando calor. De esta forma se estará evitando tener un efecto de equilibrio térmico, que si se llegase a dar podría provocar desperfectos en la toma de datos y realización de cierto tipo de ensayos.

Tipo de funcionamiento.

Las conexiones de las mangueras y demás están constituidas de tal forma que el tipo de uso que se le quiera dar a este banco de pruebas pueda variar, es decir, se podría hacer que funcionasen los dos intercambiadores al mismo tiempo o uno a la vez y al mismo tiempo se podría hacer que estos funcionaran a contraflujo (los fluidos van en direcciones contrarias) o con los fluidos avanzando en el mismo sentido.

3.5 MANUAL DE USO.

El manual de uso que se presentara a continuación está destinado para la utilización de forma óptima de este banco de pruebas, evitando de esta manera problemas que se podrían generar al no operar adecuadamente los elementos.
Este estará dividido en tres partes, las que serán; Antes, durante y después de los ensayos.

3.5.1 Preparación del banco de pruebas.

Antes de poder utilizar en banco de pruebas de intercambiador de calor para realizar los ensayos, se deben hacer ciertos prelativos, para obtener un funcionamiento óptimo en este y disminuir el riesgo de tener fallas durante los ensayos.

A) Para comenzar con la preparación del banco de pruebas, este se deberá desplazar hasta algún lugar del taller donde se encuentre una llave de agua potable, para facilitar esto, el banco de pruebas posee ruedas en la parte inferior de su estructura.

B) El banco será trasladado hacia una llave de agua potable por el motivo de que este posee una tubería en T, donde se deberá dejar pasar agua fría directamente de a

llave, cuando se alcance el equilibrio térmico en los fluidos dentro de los dos bidones.

C) Con el estanque ya posicionado y los frenos de las ruedas puestos, se debe procederá el llenado de los bidones de agua que este posee. Uno de estos está equipado con una tubería en T, esto indicara que ese bidón debe usarse preferiblemente para el agua a menor temperatura y el otro para el agua más temperatura.

D) Luego de todo esto, con una anticipación de mínimo unos 30 minutos antes de la realización del ensayo, se deberá comenzar a calentar el agua que estará a una temperatura más elevada. Esta será calentada a través de una resistencia que debe depositarse dentro del bidón para el agua caliente. Este paso se hace con este tiempo de anticipación, para alcanzar la temperatura deseada y no tener que perder tiempo dentro del ensayo.

E) Con todos los pasos antes mencionados se procederá a la utilización del banco de pruebas.

3.5.2. Durante el ensayo

Cuando el banco de pruebas está en pleno uso, será el operador el que decidirá qué acciones realizar. Siempre manteniendo la seguridad.

A) Lo principal será encender las bombas que distribuirán tanto el fluido caliente como el frío, que comenzarán a circular atreves de los tubos del intercambiador. Se recomienda dejar que los fluidos circulen un tiempo pequeño dentro de los tubos para no tener problemas de circulación más adelante.

B) Después de haber dejado pasar este tiempo, se procederán a realizar las mediciones que se desean obtener, como pueden ser las temperaturas de entrada y salida del fluido o las del frio, igual podrían ser los caudales de cada uno. Cabe mencionar que las mediciones que se desasean realizar pueden ser distintas dependiendo del tipo de ensayo que se desea realizar.

C) Un punto importante en la realización de los ensayos es que a un debido tiempo el fluido más frio comenzara a ganar temperatura del fluido más caliente, por ende, se comenzara a producir un efecto de equilibrio térmico en estos dos. Pero como se mencionó anteriormente en los pasos de preparación, el bidón que contiene fluido de temperatura más baja posee una tubería en T, la cual se procederá a utilizar en el momento que el fluido frio este elevando la temperatura.

D) La tubería T antes mencionada estará equipada con una llave de paso y una manguera, esta última deberá ser conectada a la llave de agua potable, al mismo tiempo se cerrará la llave que posee la T dejando el agua del bidón en este mismo y comenzando a hacer pasar el agua de la llave atreves del intercambiador.

E) El caudal que tendrá la bomba y la llave serán el mismo, de esta forma las mediciones en los ensayos no se verán afectadas por nada.

Con todos estos pasos, los ensayos deberían ser realizados de forma perfecta y sin mayores inconvenientes en estos.

3.5.3. Después del ensayo.

Luego de tener realizado los ensayos y haber obtenido todos los datos deseados, se procederá a esperar que los intercambiadores bajen sus temperaturas, evitando así algún tipo de quemadura que esto podría provocar, para luego poder desconectar del agua potable, limpiar adecuadamente y por último desplazar hasta un lugar seguro en el taller.

3.6 MANUAL DE SEGURIDAD.

Primero que nada, se presentara un listado de EPP necesarios para la utilización del banco de pruebas. Y luego normas de seguridad las cuales se deberán cumplir al momento de estar operando y/o estando cerca de este.

3.6.1. Elementos de protección personal.

-Gafas de seguridad.

-Guantes.

-Zapatos de seguridad.

-Overol o delantal.

3.6.2. Obligaciones.

Para poder evitar cualquier tipo de incidentes, se da a continuación una lista de acciones que no se pueden realizar.

-NO comer cerca del banco de pruebas.

-NO apoyarse en el banco de pruebas.

-NO tocar los intercambiadores durante los ensayos.

-NO doblar ninguna manguera.

-NO desconectar mangueras con las bombas en funcionamiento.

-NO sacar los seguros de las ruedas durante ensayos.

-NO golpear los contenedores de fluido.

-NO golpear la estructura.

3.7 Guía de actividades

El banco de pruebas de intercambiadores de calor, será de uso docente, es decir, que tendrá la labor de que se puedan realizar actividades en él, las que lograran generar un punto de comparativa entre los datos obtenidos teóricamente, con datos prácticos.

A continuación se entregan posibles actividades que se podrán realizar en el banco de pruebas.

Flujos paralelos o contrarios e igual caudal en los fluidos:

En esta primera actividad se procederá a hacer circular los fluidos hacia la misma dirección o en direcciones contrarias, esto será para comprobar que la transferencia de calor se ve afectada dependiendo del sentido en el que se van desplazando los fluidos, pero se mantendrá el mismo caudal.

En esta actividad se estarán utilizando las tuberías de menor diámetro para que circule el fluido a menor temperatura y las de mayor diámetro para hacer circular el de mayor temperatura.

Pasos de la actividad:

-Se comienza encendiendo la resistencia del bidón del fluido a mayor temperatura, para lograr elevar la temperatura de este.
-Se procederá a dejar la tubería interna del intercambiador conectado directamente a una llave de agua, este será el fluido de menor temperatura.
-Se medirá la temperatura a la que este fluido estará ingresando al intercambiador, junto con esto se deberá calcular el caudal con el que se desplaza este fluido.
-Conseguido el caudal del fluido de menor temperatura, se procederá a ajustar la bomba que se encuentra en bidón del fluido a más temperatura, dejando un caudal similar al del anterior.
-Con los dos fluidos ya circulando a través del intercambiador, el de menor temperatura se despreciara, pero el de mayor temperatura retornara a su bidón, donde volverá a ser calentado, para que vuelva a ingresar en el intercambiador.
-Midiendo las temperaturas de entradas de cada fluido al intercambiador y las de salida.

En flujos paralelos:

Para hacer que los dos fluidos circulen en la misma dirección, se procederá a dejar las entradas de estos en los mismos extremos, es decir, si la entrada del fluido a menor temperatura estará en el extremo izquierdo, la del fluido a mayor temperatura estará en ese mismo sector.

En flujos contrarios:

Para obtener que los dos flujos circulen en direcciones contrarias, se dejarán las entradas en extremos distintos del intercambiador, es decir, si la entrada del fluido a menor temperatura esta en el extremo izquierdo, se dejara la entrada del fluido de mayor temperatura al extremo derecho.

Flujos paralelos o contrarios y caudales distintos.

Con los pasos ya mencionados en la actividad anterior, se procederá a dejar los fluidos circulando con distintos caudales, esto será con el fin de comprobar que al circular distinta cantidad de masa de cada fluido por las tuberías, el intercambio de calor puede ser más efectivo, logrando una eficiencia mejor dentro del intercambiador de calor.

Inversión en las tuberías donde circula cada fluido.

En esta actividad se hará circular los fluidos por las tuberías contrarias, esto quiere decir, que si en un comienzo las tuberías de menor diámetro eran las encargadas de trasladar el fluido de menor temperatura, ahora las tuberías de mayor diámetro llevarán este fluido. Esto provocará un cambio en la masa de fluido frío que se transporta dentro del intercambiador, de esta forma se comprobará que el fluido a mayor temperatura, tenderá a perder más temperatura que el frío a ganar de esta.

Equilibrio térmico.

Con todas las configuraciones anteriormente mencionadas, se podría realizar una última actividad, que sería la de alcanzar el equilibrio térmico en los fluidos.

Para obtener esto, se procederá a dejar un bidón para el fluido a menor temperatura, de esta forma se procederá a hacer recircular este fluido por el intercambiador, hasta que este alcance una temperatura cercana al de mayor.

Todas las actividades anteriormente mencionadas, pueden ser aplicadas en ambos intercambiadores, dando así una comparativa en cuanto a la transmisión de calor que tiene cada uno de los materiales utilizados para la fabricación de estos. Junto con eso se podrá reflejar que los intercambiadores al tener dimensiones distintas en los diámetros de los tubos y coeficiente de transferencia de calor distintos, al darle un largo mayor a uno de los dos, se pueden obtener datos similares, en cuanto a la variación de la temperatura de salida de los fluidos.

CONCLUSIÓN

En este trabajo de título se creó una propuesta para la fabricación de un banco de pruebas de intercambiadores de calor de tubos concéntricos, con el fin de colaborar a futuro con equipos de transferencia de calor necesarios en el departamento de mecánica, para la realización de ciertos laboratorios.

Se describió de forma clara y atendible todos los parámetros generales que se necesitan para la fabricación de los intercambiadores de calor, junto con lo anterior se vio el funcionamiento que estos tienen internamente y los distintos usos que se le pueden dar en la industria, además se mostraron las diferentes formas que estos pueden tener y los materiales mas utilizados para su confeccione dentro de la industria.

Teniendo como base un intercambiador de calor ya fabricado, se logró modificar el diseño de este y a su vez aprovechando datos que se tenían, se pudo fabricar otro con un material distinto en cuanto a características y dimensiones. Además se apreció que el intercambiador de calor de PVC a pesar de tener un mayor área de contacto al ser sus tubos de diámetros más grandes que los de el cobre, este debe ser de un largo mucho mayor al anteriormente mencionado, esto es debido a que la transferencia de calor en el material PVC es menos eficaz que en el cobre, es decir, que le intercambiador de calor de cobre con un largo menor que el de PVC logra una transferencia de calor mejor. A lo anterior se puede agregar que el PVC no es un material tan utilizado en la industria donde se necesita una buena transferencia de calor, ya que, se necesitaría mucho de este material para lograr los mismos resultados que con menor cantidad de otros materiales.

Por último, se hizo un plan de puesta en marcha para el banco de pruebas, junto con el manual de uso para este, de esta forma se podrá utilizar el banco de forma más eficiente y evitando malos usos que se le podrían dar al no saber cómo funciona, junto con

esto se agregó un manual de seguridad, que incluye las normas de seguridad para evitar algún tipo de incidente al operar y realizar ensayos en este banco de pruebas.

BIBLIOGRAFIA

42. https://fenomenosdetransporte.files.wordpress.com/2008/10/transferencia-de-calor-holman.pdf

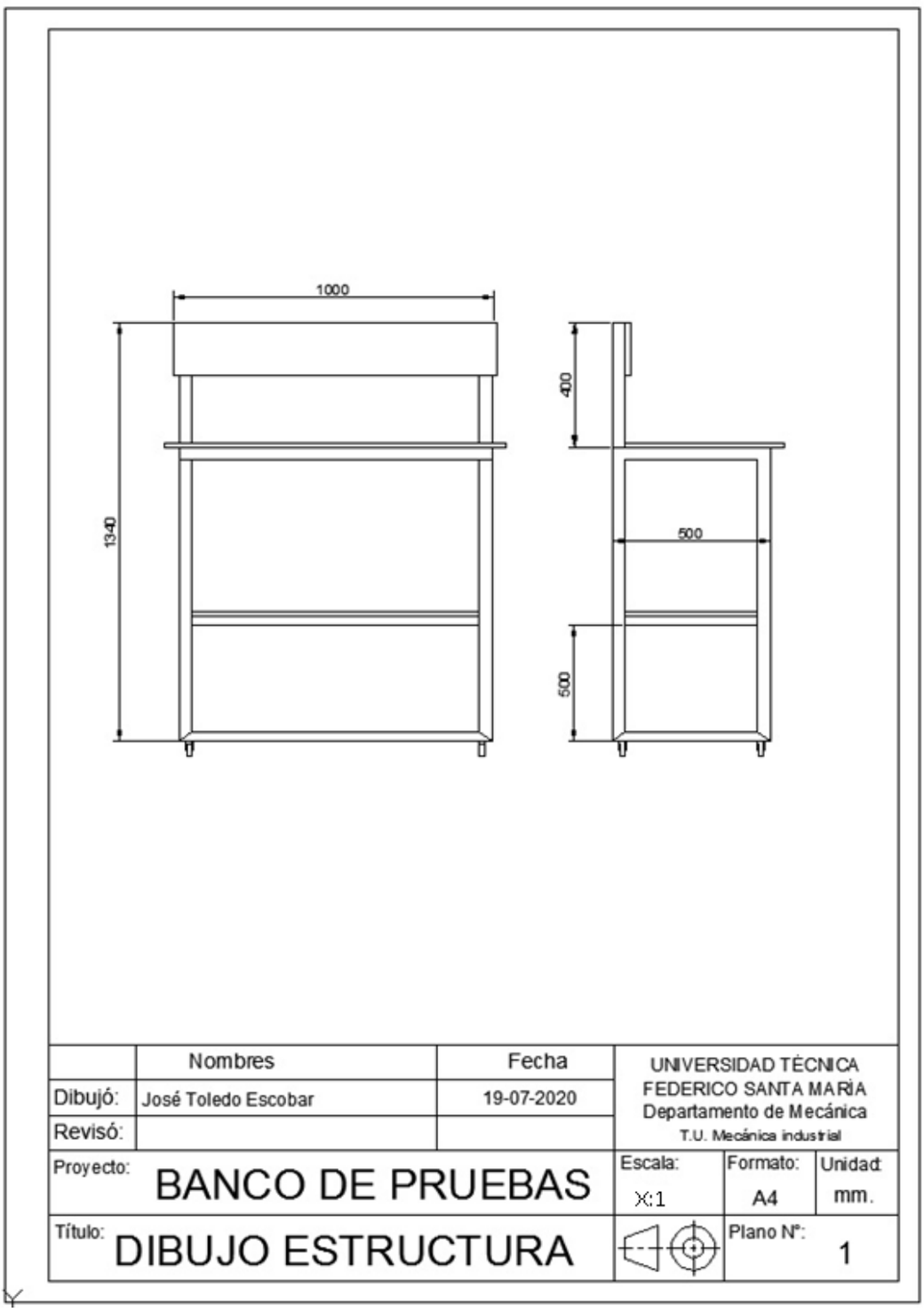
43. F. C. Oscar Bastilla, «Diseño y construcción de un intercambiador de calor para prácticas de laboratorio,» Bogotá, 2011.

44. F. P. Incropera, «Fundamentos de transferencia de calor, 4a. ed.,» Ciudad de México, Pearson, 1999, pp. 19,20,21.

45. PPT Plantas Térmicas.

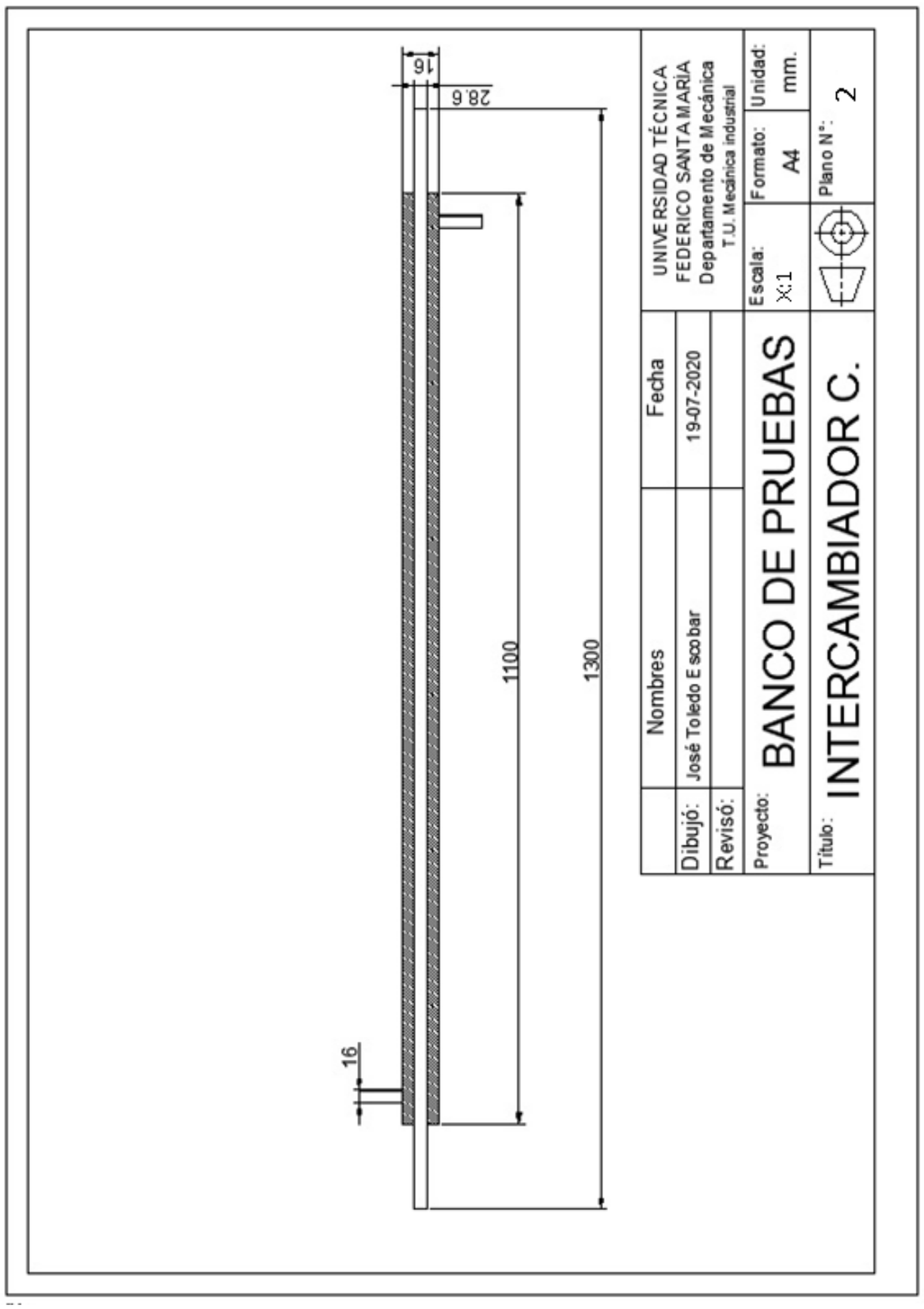
ANEXOS

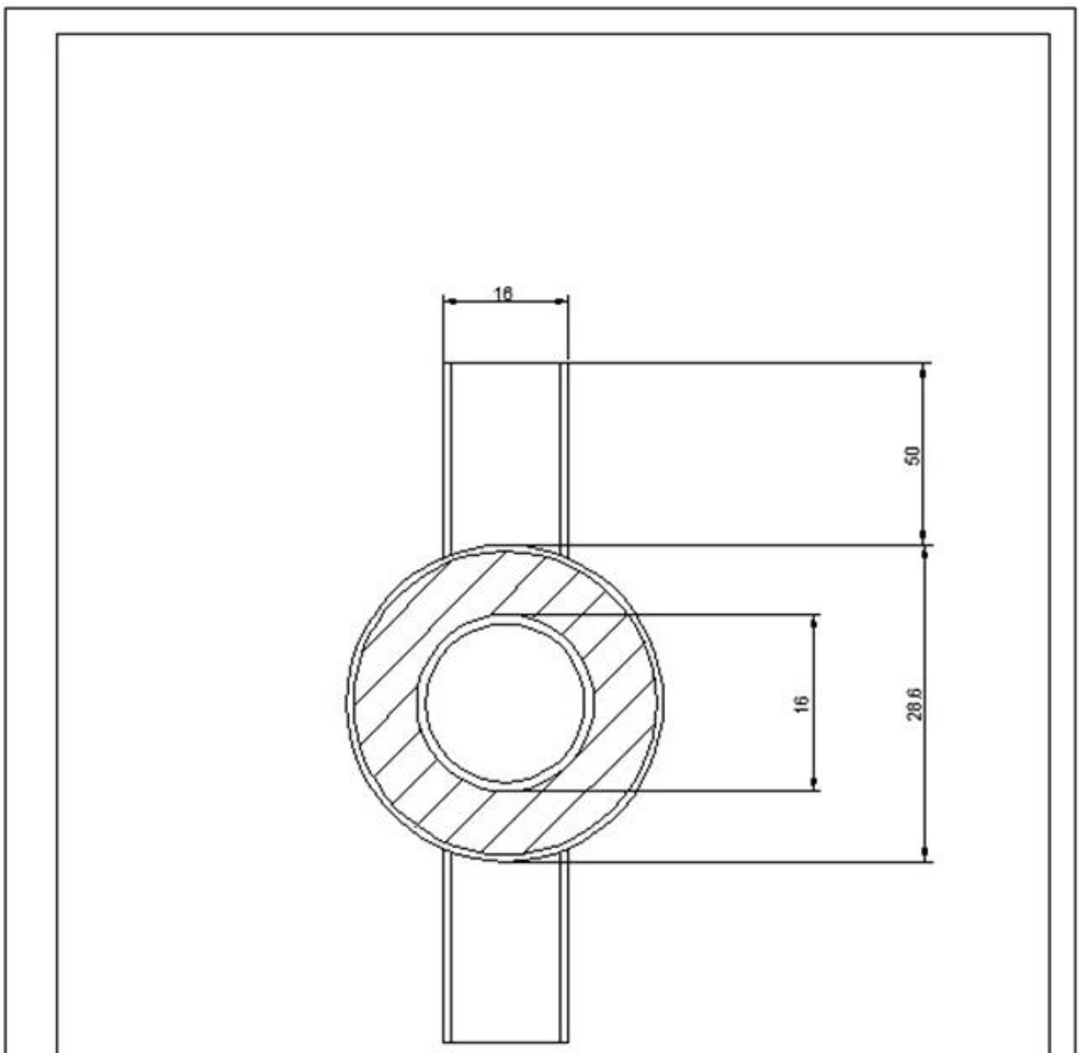
1.- PLANO ESTRUCUTURA DEL BANCO DE PRUEBAS



	Nombres	Fecha	UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA Departamento de Mecánica T.U. Mecánica industrial		
Dibujó:	José Toledo Escobar	19-07-2020			
Revisó:					
Proyecto: BANCO DE PRUEBAS			Escala: X:1	Formato: A4	Unidad: mm.
Título: DIBUJO ESTRUCTURA				Plano N°: 1	

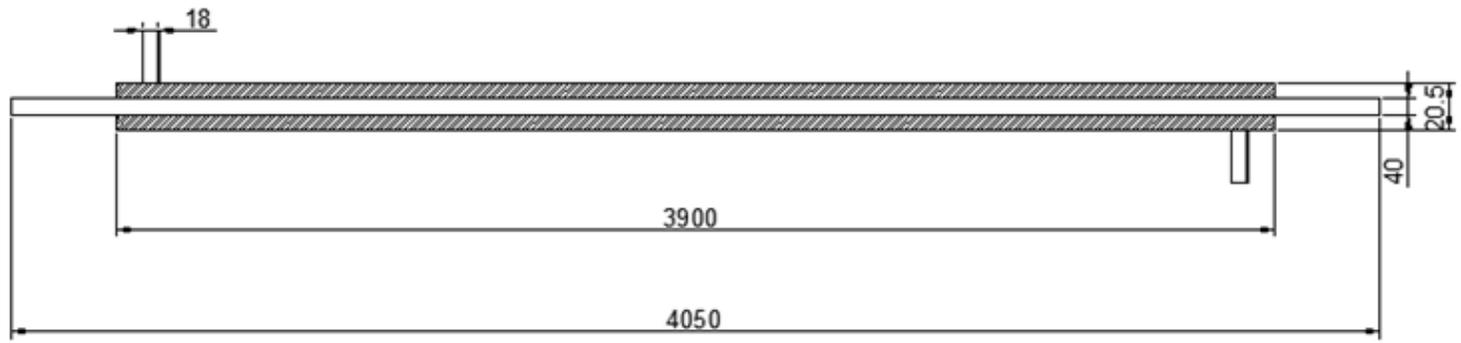
2.- PLANOS INTERCAMBIADOR DE COBRE


16
28.6
1100
1300
UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
Departamento de Mecánica
T.U. Mecánica industrial
Nombres
Fecha
Dibujó: José Toledo Escobar 19-07-2020
Revisó:
Escala: X:1
Formato: A4
Unidad: mm.
Proyecto: BANCO DE PRUEBAS
Título: INTERCAMBIADOR C.
Plano N°: 2

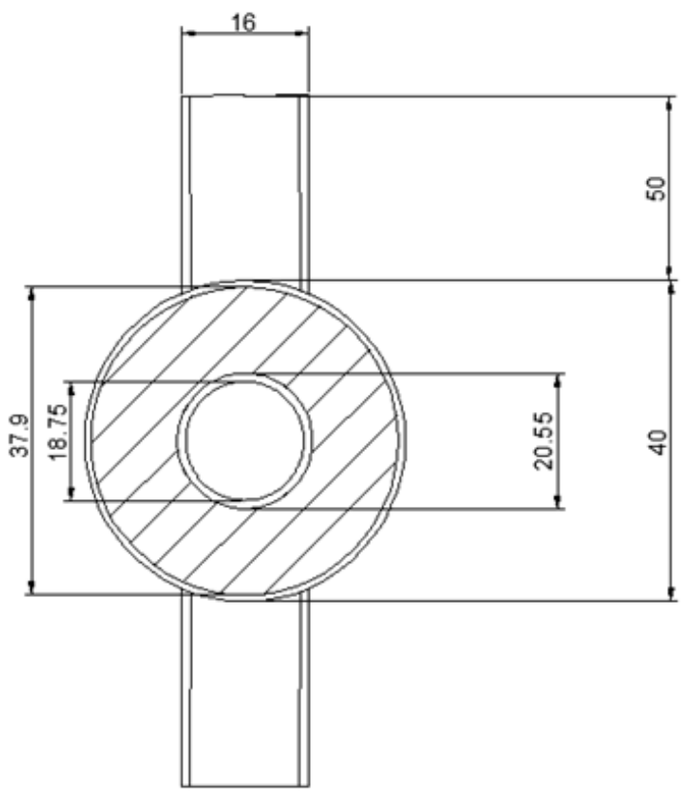


	Nombres	Fecha	UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA Departamento de Mecánica T.U. Mecánica industrial		
Dibujó:	José Toledo Escobar	19-07-2020			
Revisó:					
Proyecto:	BANCO DE PRUEBAS		Escala: X:1	Formato: A4	Unidad: mm.
Título:	INTERCAMBIADOR C.			Plano N°: 3	

3.- PLANOS INTERCAMBIADOR DE PVC



	Nombres	Fecha	UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA Departamento de Mecánica T.U. Mecánica industrial		
Dibujó:	José Toledo Escobar	19-07-2020			
Revisó:					
Proyecto: BANCO DE PRUEBAS			Escala: X:1	Formato: A4	Unidad: mm.
Título: INTERCAMBIADOR PVC				Plano N°: 4	



	Nombres	Fecha	UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÌA Departamento de Mecánica T.U. Mecánica industrial		
Dibujó:	José Toledo Escobar	19-07-2020			
Revisó:					
Proyecto: BANCO DE PRUEBAS			Escala: X:1	Formato: A4	Unidad: mm.
Título: INTERCAMBIADOR PVC				Plano N°: 5	

Guía Actividades

GUIA DE ACTIVIDADES INTERCAMBIADOR DE CALOR TUBOS CONCENTRICOS		
NOMBRE:		**FECHA:**
TIPO DE INTERCAMBIADOR:		

Es obligatorio para la realización del laboratorio contar con overol o delantal, zapatos de seguridad, gafas de seguridad y guantes en caso de manipular algún equipo.

OBJETIVOS:

- Determinar los coeficientes de trasferencia de calor por convección de los intercambiadores.
- Determinar las pérdidas de calor presentes en el equipo.
- Registrar los valores obtenidos.

FLUJOS PARALELOS/CONTRAFLUJO:

Se procederá a hacer circular los fluidos hacia la misma dirección o en direcciones contrarias, esto será para comprobar que la transferencia de calor se ve afectada dependiendo del sentido en el que se van desplazando los fluidos, se mantendrá el mismo caudal.

En esta actividad se estarán utilizando las tuberías de menor diámetro para que circule el fluido a menor temperatura y las de mayor diámetro para hacer circular el de mayor temperatura.

PASOS

1. Llenar o rellenar los bidones que contienen los fluidos calientes y fríos según sea necesario, considere dejar 1/5 de espacio vacío.
2. Encender la resistencia que está en el bidón para calentar el fluido de mayor temperatura y esperar hasta que alcance la temperatura deseada (70°C)
3. Una vez alcanzada la temperatura hay que conectar las mangueras de forma tal que los fluidos circulen según el ensayo a realizar (flujo paralelo o contraflujo).
4. Abrir llaves de paso posicionadas a la salida de las bombas.
5. Encender las bombas con la botonera que activa las 2 al mismo tiempo.
6. Tomar los datos de las termocuplas ubicadas a la entrada de cada fluido al intercambiador.
7. Realizar toma de tiempo una vez comience a retornar el fluido hacia los bidones.
8. Registrar temperaturas de salida de los fluidos.
9. Una vez terminado el ensayo apagar las bombas a través de la botonera.

FLUJOS PARALELOS					
Tiempo (seg)	Temperatura liquido frio		Temperatura liquido caliente		Caudal(m3/s)
	T entrada °C	T salida °C	T entrada °C	T salida °C	
30					
60					

CONTRAFLUJO					
Tiempo (seg)	Temperatura liquido frio		Temperatura liquido caliente		Caudal(m3/s)
	T entrada °C	T salida °C	T entrada °C	T salida °C	
30					
60					

- Compare los resultados y diga en donde se obtiene el mayor cambio de temperatura.
- Compare los resultados y diga en donde se obtiene el menor cambio de temperatura.
- Determine las perdidas y diga cómo se podrían disminuir estas.
- Realice dos graficas donde se muestren los perfiles de temperatura, para tres de las pruebas realizadas.
- Compare los resultados de los flujos (paralelo/contracorriente) y defina cuál es más efectivo para transferir calor.