



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y
MECÁNICA**

CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO**

**“TEMA: RECUPERACIÓN Y PUESTA A PUNTO DEL BANCO DE
TEMPERATURAS DEL LABORATORIO DE CONVERSIÓN DE
ENERGÍA AL EQUIPO THERMOMETRY CALIBRATION SYSTEM
TCS200, CERTIFICADO Y CALIBRADO”**

AUTOR: ENRÍQUEZ FUENMAYOR, CHRISTIAN ANDRÉS

SÁNCHEZ RIVADENEIRA, FERNANDO GABRIEL

DIRECTOR: ING. GÓMEZ REYES, ALEJANDRO PAÚL

SANGOLQUÍ

2019



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, "RECUPERACIÓN Y PUESTA A PUNTO DEL BANCO DE TEMPERATURAS DEL LABORATORIO DE CONVERSIÓN DE ENERGÍA AL EQUIPO THERMOMETRY CALIBRATION SYSTEM TCS200, CERTIFICADO Y CALIBRADO" fue realizado por los señores **Enriquez Fuenmayor, Christian Andrés** y **Sánchez Rivadeneira, Fernando Gabriel** el mismo ha sido revisado en su totalidad, analizado por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

Sangolquí, 22 de Octubre de 2019


Ing. Alejandro Paúl Gómez Reyes

C.C. 1714913637



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Nosotros, **Enriquez Fuenmayor, Christian Andrés** y **Sánchez Rivadeneira, Fernando Gabriel**, declaramos que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: **"RECUPERACIÓN Y PUESTA A PUNTO DEL BANCO DE TEMPERATURAS DEL LABORATORIO DE CONVERSIÓN DE ENERGÍA AL EQUIPO THERMOMETRY CALIBRATION SYSTEM TCS200, CERTIFICADO Y CALIBRADO"** es de nuestra autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Consecuentemente el contenido de la investigación mencionada es veraz.

Sangolquí, 22 de Octubre de 2019

Christian Andrés Enriquez Fuenmayor

CI: 1718618117

Fernando Gabriel Sánchez Rivadeneira

CI: 1720550811



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA


DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

AUTORIZACIÓN

Nosotros, **Enriquez Fuenmayor, Christian Andrés** y **Sánchez Rivadeneira, Fernando Gabriel**, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: **“RECUPERACIÓN Y PUESTA A PUNTO DEL BANCO DE TEMPERATURAS DEL LABORATORIO DE CONVERSIÓN DE ENERGÍA AL EQUIPO THERMOMETRY CALIBRATION SYSTEM TCS200, CERTIFICADO Y CALIBRADO”** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra responsabilidad.

Sangolquí, 22 de Octubre del 2019


Christian Andrés Enriquez Fuenmayor
CI: 1718618117


Fernando Gabriel Sánchez Rivadeneira
CI: 1720550811

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de titulación a mis padres por el amor y cariño que me brindaron en todo este largo camino, por su lucha y sacrificio que hicieron para que yo pueda estar en esta instancia final de mi carrera.

A mi hermano porque sin sus palabras no hubiera podido culminar esta gran etapa de mi vida y convertirme en ingeniero y gracias a sus locuras poder compartir momentos inolvidables.

A mi familia por siempre estar en todo momento a mi lado dando una palabra de aliento cuando todo se veía nublado.

A todas las personas que me conocen y creyeron en mí, decirle que llego el día que siempre soñé ser un profesional y empezar una nueva locura.

Christian A. Enríquez F.

Dedico a mis padres Lucia y Jorge por el apoyo desde el primer día que elegí esta carrera, por su paciencia y amor en cada momento que necesite y cuando quise decaer, la fuerza que tuvieron siempre pase lo que pase para continuar con la vida y darnos todo lo que podían, pese a que a veces no les entendía ahora les digo Dios les pague por ser mi ejemplo que me educaron para ser como persona y su sacrificio para que pueda cumplir una gran meta en mi vida.

A mis hermanos porque me ayudaron con sus consejos, sus experiencias, su acolite en todo momento para que no pase lo que ellos pasaron y tenga mejores momentos, por su protección y ser los mejores hermanos mayores.

A mis abuelitas que estuvieron pendientes de mi cuando mis padres no podían, que siempre con sus consejos, su preocupación si comí o no, por acompañarme en cada día especial de mi vida.

A mi abuelito que no está con nosotros ahora, pero desde pequeño nos enseñó tantas cosas, con su cafecito de media tarde, la fortaleza que demostró siempre.

A mis tíos porque me demostraron que trabajando se logran cosas grandes

A Dios por darme todo lo bueno y malo que a pasado porque gracias al esta vida a sido muy buena.

Fernando G. Sánchez R.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por cuidarme y darme la fuerza de seguir adelante en esta carrera tan complicada y sobre todo por darme unos padres maravillosos.

A mis padres Marcelo y Margarita por cada sacrificio, dedicación, cariño y amor que me brindaron a lo largo de este camino llamado Universidad, nunca podré olvidar el apoyo en los malos momentos de mi vida, y el complacerme en todos los caprichos que tuve.

A mi hermano Juan por ser un gran ejemplo de cómo ser un hijo responsable y con buenos valores, ser un gran estudiante, y ser una gran persona con los demás cuando lo necesitan.

A mi tía Carmen por la paciencia y amor que siempre le puso para enseñarme las materias en la escuela, un pilar fundamental en mi crecimiento estudiantil.

A mi familia que con su cariño siempre tuvo palabras de aliento para seguir en esta difícil carrera.

A mis amigos los cuales ayudaron a realizar este trabajo de titulación con sus conocimientos y por los buenos momentos que pasamos juntos.

Christian A. Enríquez F.

Agradezco a Dios por darme esta oportunidad de acabar una carrera y pasar por esta universidad con todo el conocimiento académico y experiencias de vida. Primero Dios

A mis padres por todo lo que dieron para que pueda lograr este objetivo, por cada palabra de aliento para seguir siempre pensando en una solución y no quedarme estancado, por perdonarme cada error. Por el amor infinito que me tienen y la confianza.

A mis hermanos por los consejos por el apoyo cada que les necesite, por su amor incondicional y paciencia para cuidarme. Porque siempre se preocuparon si estoy bien o no, que les alegraba cada cosa que hacía y les debo mucho que me enseñaron a ser la persona que soy ahora.

A mis amigos que me los cruce en el camino en todos estos años que cada uno me dejo una gran enseñanza y les debo tantas cosas que agradecer.

A mi mejor amigo que le conocí por algo que nos apasiona a los dos, el futbol y desde ahí Dios nos cruzó para pasar cada anécdota y en especial este último tramo de la tesis, le agradezco porque es como un hermano que aguanto todo y se formó una amistad única.

Fernando G. Sánchez R.

ÍNDICE DE CONTENIDO

CERTIFICACIÓN.....	i
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD	ii
AUTORIZACIÓN	iii
DEDICATORIA.....	iv
AGRADECIMIENTOS.....	vi
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	viii
ÍNDICE DE TABLAS.....	xiii
ÍNDICE DE FIGURAS	xv
RESUMEN	xvii
ABSTRACT	xviii
CAPÍTULO I: GENERALIDADES.....	1
1.1. Antecedentes	1
1.2. Objetivos	1
1.2.1. Objetivo General	1
1.2.2. Objetivos Específicos.....	2
1.3. Alcance.....	2

1.4.	Justificación e Importancia.....	3
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.....		5
2.1.	Refrigeración.....	5
2.1.1.	Definición.....	5
2.2.	Ciclo de Refrigeración Mecánica.....	5
2.2.1.	Sistema de refrigeración por compresión.....	5
2.2.2.	Ciclo ideal de refrigeración por compresión de vapor	6
2.2.3.	Ciclo real de refrigeración por compresión de vapor	8
2.3.	Componentes de un sistema de refrigeración por compresión.....	9
2.3.1.	Compresor	9
2.3.2.	Condensador.....	10
2.3.3.	Evaporador	11
2.3.4.	Expansión por tubo capilar.....	11
2.4.	Aislamiento	12
2.5.	Instrumentación.....	13
2.6.	Intercambiador de calor.....	13
2.7.	Transferencia de calor	14
2.7.1.	Convección.....	14

2.7.2.	Conducción.....	16
2.7.3.	Coeficiente global de transferencia de calor	17
2.7.4.	Calor sensible	19
CAPÍTULO III: DISEÑO MECÁNICO		20
3.1.	Diseño del sistema de refrigeración	20
3.1.1.	Características del equipo.....	20
3.1.2.	Diseño del Reservorio	21
3.1.2.1.	Diseño del espesor del tanque.....	22
3.1.3.	Dimensionamiento de la tubería.....	23
3.1.4.	Diseño del aislamiento para el tanque.....	24
3.1.5.	Carga térmica del equipo.....	26
3.1.5.1.	Potencia eléctrica del equipo de calentamiento	26
3.1.5.2.	Carga térmica del aceite de silicón	26
3.1.5.3.	Carga térmica del sistema de refrigeración	27
3.1.5.3.1.	Carga térmica de transmisión.....	27
3.1.5.3.2.	Carga térmica del producto	37
3.1.6.	Carga total del sistema	37
3.1.7.	Diseño térmico del serpentín.....	38

3.2.	Cálculo del ciclo de refrigeración	40
3.2.1.	Determinación de la temperatura de evaporación	40
3.2.2.	Determinación de la temperatura de condensación	41
3.2.3.	Ciclo de refrigeración.....	42
3.2.4.	Coeficiente de rendimiento del sistema de refrigeración	43
3.3.	Selección de equipos del sistema de refrigeración	43
3.3.1.	Compresor	43
3.3.2.	Condensador.....	44
3.3.3.	Tubo capilar.....	45
3.4.	Diagrama de control	46
3.5.	Diseño de la estructura metálica.....	47
3.6.	Adquisición de datos	49
3.6.1.	Interfaz gráfica	50
CAPÍTULO IV: ANÁLISIS Y RESULTADOS		52
4.1.	Generalidades	52
4.2.	Registro de datos	52
4.3.	Curvas de calibración	59
4.4.	Prácticas de Laboratorio.....	61

4.4.1. Pruebas Programa 1.....	62
4.4.2. Pruebas Programa 2.....	64
CAPÍTULO V: DETALLE DE COSTOS.....	67
5.1. Generalidades.....	67
CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	69
6.1. Conclusiones.....	69
6.2. Recomendaciones.....	70
CAPÍTULO VII: REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA.....	71
ANEXO I: DATASHEET REFRIGERANTE.....	74
ANEXO II: CERTIFICADOS DE CALIBRACIÓN.....	75
ANEXO III: GUIA DE PRÁCTICA.....	76

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 <i>Descripción General</i>	20
Tabla 2 <i>Especificaciones</i>	21
Tabla 3 <i>Dimensiones del recipiente de enfriamiento</i>	21
Tabla 4 <i>Datos de flujo másico</i>	23
Tabla 5 <i>Datos diámetro de tubería</i>	24
Tabla 6 <i>Propiedades del aceite de silicón</i>	26
Tabla 7 <i>Datos de la cámara de conservación</i>	27
Tabla 8 <i>Datos del refrigerante para el coeficiente de convección</i>	28
Tabla 9 <i>Propiedades del agua</i>	37
Tabla 10 <i>Comparación de carga total</i>	38
Tabla 11 <i>Datos del serpentín</i>	38
Tabla 12 <i>Tabla de diferencia de temperaturas entre evaporador y espacio refrigerado</i>	41
Tabla 13 <i>Valores de ciclo termodinámico</i>	43
Tabla 14 <i>Cargas de los elementos del equipo</i>	47
Tabla 15 <i>Registro de la temperatura de los termómetros Mercurio, Monarch, TESTO</i>	52
Tabla 16 <i>Registro de la temperatura promedio</i>	59
Tabla 17 <i>Factor de Corrección Termómetro Patrón</i>	62
Tabla 18 <i>Factor de Corrección Termómetro Mercurio</i>	63
Tabla 19 <i>Factor de Corrección Termómetro Digital Monarch</i>	63
Tabla 20 <i>Factor de Corrección Termómetro Digital TESTO</i>	64

Tabla 21 <i>Factor de Corrección Termómetro Patrón</i>	65
Tabla 22 <i>Factor de Corrección Termómetro Mercurio</i>	65
Tabla 23 <i>Factor de Corrección Termómetro Digital Monarch</i>	66
Tabla 24 <i>Factor de Corrección Termómetro Digital TESTO</i>	66
Tabla 25 <i>Costos de los materiales</i>	67
Tabla 26 <i>Costos de mano de obra</i>	68

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1.</i> Esquema de sistema de Refrigeración	6
<i>Figura 2.</i> Esquema y diagrama T-S para el ciclo ideal de refrigeración	7
<i>Figura 3.</i> Esquema y diagrama T-S para el ciclo real de refrigeración	8
<i>Figura 4.</i> Compresor rotativo hermético	10
<i>Figura 5.</i> Condensador.....	10
<i>Figura 6.</i> Evaporador	11
<i>Figura 7.</i> Tubo capilar	12
<i>Figura 8.</i> Aislamiento térmico fibra de vidrio.....	12
<i>Figura 9.</i> Esquema intercambiador de calor	13
<i>Figura 10.</i> Resistencia térmica	18
<i>Figura 11.</i> TCS200 ERTCO	20
<i>Figura 12.</i> Esquema del reservorio.....	22
<i>Figura 13.</i> Esquema tanque de refrigeración.....	25
<i>Figura 14.</i> Resistencia del tubo de cobre del evaporador.....	30
<i>Figura 15.</i> Resistencia de las paredes del reservorio.....	31
<i>Figura 16.</i> Resistencia de las paredes del reservorio.....	33
<i>Figura 17.</i> Esquema del serpentín en contacto con el agua.....	38
<i>Figura 18.</i> Serpentín de siete vueltas de cobre	40
<i>Figura 19.</i> Tabla refrigerante R134a	42
<i>Figura 20.</i> Compresor de 1/5 HP, modelo GUY70NRb.....	44

Figura 21. Condensador de 1/5 HP, modelo CT-00027	44
Figura 22. Danfoss Tube Capillary Tube Selection	45
Figura 23. Tubo Capilar	46
Figura 24. Diagrama de Control.....	46
Figura 25. Esquema de la estructura en SAP2000	48
Figura 26. Esquema de la estructura con cargas asignadas en SAP2000	48
Figura 27. Resultados de la estructura y tubos seleccionados.....	49
Figura 28. Panel frontal.....	50
Figura 29. Termómetro Digital Monarch	60
Figura 30. Termómetro de Mercurio.....	60
Figura 31. Termómetro Digital TESTO	61

RESUMEN

Para el área de energías del Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica es importante mantener sus equipos en funcionamiento con la finalidad de poder enseñar las aplicaciones de las materias impartidas como son: termodinámica, termodinámica aplicada, transferencia de calor y diseño térmico. De esta manera, mediante las prácticas de las diferentes materias se puede lograr que los estudiantes apliquen, con los diferentes equipos del laboratorio de conversión de la energía, los conocimientos impartidos desde la teoría. El laboratorio cuenta con equipos antiguos y nuevos para las distintas prácticas de las materias; además sirven para el uso de los estudiantes de la universidad en el momento que lo requieran. El banco de temperaturas cuenta con un sistema de calentamiento y un sistema de refrigeración, este equipo ERTO TCS200 es utilizado para calibrar los diferentes termómetros. Actualmente, cuenta con una certificación otorgada por el Centro de Metrología del Ejército Ecuatoriano, lo que nos da una confiabilidad para el uso del equipo. El equipo contiene aceite de silicón que se calienta hasta los 200°C que es la capacidad total de la máquina y un sistema de refrigeración para su mayor eficiencia en las prácticas de laboratorio, también tiene una interfaz gráfica para que los estudiantes puedan tomar datos en tiempo real.

PALABRAS CLAVE:

- **TEMPERATURA**
- **CALIBRAR**
- **REFRIGERACIÓN**

ABSTRACT

For the energy area of the Department of Energy and Mechanical Sciences, it is important to maintain your equipment in function in order to be able to teach the applications of the subjects taught such as: thermodynamics, applied thermodynamics, heat transfer and thermal design. In this way, through the practices of different subjects, students can apply, with the different equipment of the energy conversion laboratory, the knowledge imparted from the theory. The laboratory is made up of old and new equipment for the distinct practices of the subjects; additionally, they serve for the use of university students at the time they require it. The temperature bank has a heating system and a cooling system, this ERTCO TCS200 equipment is used to calibrate the different thermometers. Currently, it has a certification granted by the Metrology Center of the Ecuadorian Army, which gives us a reliability for the use of the equipment. The equipment contains silicone oil that heats up to 200 ° C which is the total capacity of the machine and a cooling system for greater efficiency in laboratory practices. It also has a graphical interface for students to take data in real time.

KEYWORDS

- **TEMPERATURE**
- **CALIBRATE**
- **REFRIGERATION**

CAPÍTULO I: GENERALIDADES

1.1. Antecedentes

La Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE, a través del Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica cuenta con el equipo Thermometry Calibration System TCS-200 cuyo objetivo primordial radica en facilitar el acceso a los estudiantes para que puedan realizar prácticas de calibración de termómetros.

En el año 2012, el Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica adquiere el equipo Thermometry Calibration System TCS-200, mismo que incluye un sistema de calentamiento, un regulador de temperatura, un cronómetro y una pantalla para indicar a la temperatura que se está trabajando.

Desde su compra el equipo no fue utilizado debido a la falta de un sistema adecuado de refrigeración y un sistema de adquisición de datos, por lo que se requiere realizar un diagnóstico previo a la puesta a punto del equipo Thermometry Calibration System TCS-200 a fin de que al culminar el proyecto se pueda entregar a la Universidad un equipo funcional y que sirva para los estudios de estudiantes y docentes.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo General

Realizar la recuperación, puesta a punto y calibración del banco de temperaturas del laboratorio de conversión de energía al equipo Thermometry Calibration System TCS-200, certificado y calibrado.

1.2.2. Objetivos Específicos

- Diseñar el sistema de refrigeración para el banco de temperaturas del laboratorio de conversión de energía
- Diseñar el sistema de calibración del banco de temperaturas.
- Diseñar el sistema de adquisición de datos al equipo TCS200 del laboratorio de conversión de energía.
- Desarrollar las curvas de calibración.

1.3. Alcance

La finalidad del siguiente proyecto es la recuperación del banco de temperaturas del laboratorio de conversión de energía implementando un sistema de refrigeración, sistema de adquisición de datos, graficar la curva de calibración de termómetros, y la certificación del equipo mediante la norma INEN.

- En la primera etapa se prevé revisar el fundamento teórico de los sistemas de refrigeración, calibración de termómetros y normas a utilizar.
- En la segunda etapa, se desarrollará el diseño y construcción de un sistema de refrigeración acoplado a un banco de temperatura ya existente en el laboratorio con los cálculos adecuados para que la tasa de flujo térmico sea igual a la de enfriamiento y a la de calentamiento.
- En la tercera etapa, se tendrá un sistema de adquisición de datos para poder graficar las curvas de temperatura.

- En la cuarta etapa, se desarrollará las pruebas, validación y curvas de las calibraciones de los termómetros y certificados por una empresa reconocida nacional.
- En la quinta etapa, se redactará las conclusiones respectivas de lo que se desarrollará en el presente proyecto.

1.4. Justificación e Importancia

Justificación Legal

Según la Constitución de la República del Ecuador en su Art. 357 señala: “Las universidades y escuelas politécnicas públicas podrán crear fuentes complementarias de ingresos para mejorar su capacidad académica.

La ley regulará los servicios de asesoría técnica, consultorías, y aquellos que involucren fuentes alternativas de ingresos para las universidades y escuelas politécnicas, públicas y particulares.”
(Constituyente, A. 2008)

Justificación Técnica

Con el paso de los años por la no utilización el equipo se descalibró por lo que su confiabilidad en las distintas mediciones ya no es segura para las prácticas y la eficiencia que necesita el laboratorio.

Los sistemas de refrigeración han sido desarrollados con el transcurso del tiempo, para resolver los problemas de la sociedad, se han creado nuevas tecnologías para diferentes campos. La refrigeración ayuda a mejorar el nivel de vida de los países.

Las curvas de calibración se realizan para conocer el estado del elemento que se está utilizando y si está en óptimas condiciones para su aplicación o si necesita que se repare.

Justificación Académica

Con el objetivo que el laboratorio de conversión de energía pueda prestar servicios para calibrar termómetros en temperaturas ascendentes y descendentes para la industria y que los alumnos de la materia de termodinámica pueden adquirir conocimientos del manejo del equipo.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. Refrigeración

2.1.1. Definición

El proceso de refrigeración se puede definir como la extracción de calor de un espacio determinado, con la finalidad de mantener un ambiente de confort, ya sea para alimentos, productos farmacéuticos, líquidos, evitando que se formen bacterias y la degradación de los mismos para conservar el mayor tiempo posible en las condiciones deseadas. (Sánchez & Esparza Montero, 2010)

En el presente caso la refrigeración mecánica para la toma de temperaturas, se quiere tener un enfriamiento constante a un tiempo igual al de su calentamiento con la ayuda de un refrigerante en un contorno cerrado, su función es evaporar y condensar el líquido en un ciclo continuo. (Guanípa, 2010)

Los principales tipos de sistemas de refrigeración mecánica, es el sistema por compresión que lo encontramos en aire acondicionado, refrigeradores domésticos y el sistema por absorción que su aplicación es en la industria alimenticia, farmacéutica y procesos vinícolas. (Guanípa, 2010)

2.2. Ciclo de Refrigeración Mecánica

2.2.1. Sistema de refrigeración por compresión

El sistema de refrigeración por compresión su función principal es que el calor sea transmitido desde la cámara de refrigeración hasta el ambiente de mayor área donde se puede eliminar fácilmente, como se muestra en la figura 1. Para este sistema se utiliza un fluido refrigerante el cual

cambia de estado de líquido a vapor, este realiza una transferencia de calor, con un calor latente alto y una temperatura de ebullición baja. Cuando el fluido se encuentra en estado de vapor, aumenta su presión de forma que el fluido se condensa y se vuelve a repetir el ciclo. (Armijos, 2015)

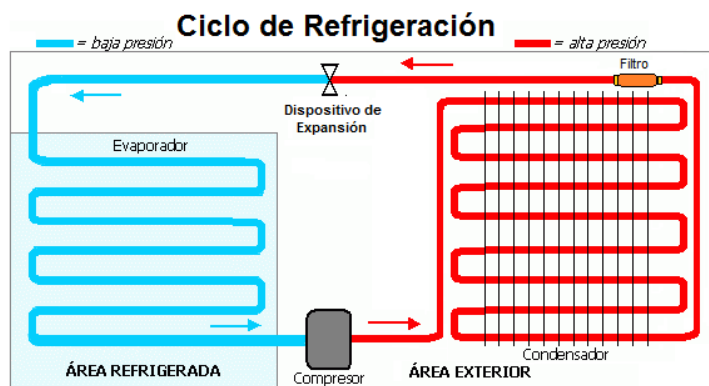


Figura 1. Esquema de sistema de Refrigeración
Fuente: (Refrigerantes, 2018)

2.2.2. Ciclo ideal de refrigeración por compresión de vapor

El ciclo ideal de refrigeración por compresión de vapor esta denominado por un ciclo invertido de Carnot donde se evapora el refrigerante por completo y se sustituye la turbina por una válvula de expansión o tubo capilar, se puede observar en la figura 2. (Cengel & Boles , Termodinámica, 2009)

Está compuesto de 4 procesos:

- 1-2 Compresión isentrópica en un compresor
- 2-3 Rechazo de calor a presión constante en un condensador
- 3-4 Estrangulamiento en un dispositivo de expansión
- 4-1 Absorción de calor a presión constante

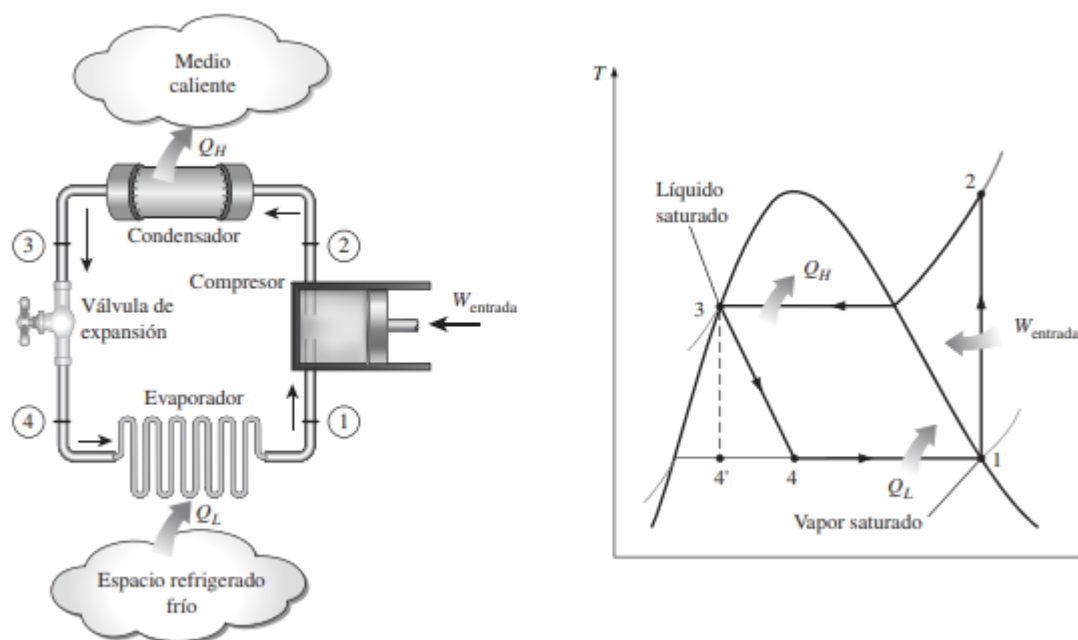


Figura 2. Esquema y diagrama T-S para el ciclo ideal de refrigeración
Fuente: (Cengel y Boles, 2009)

En la etapa 1 el refrigerante entra como vapor saturado al compresor, este se comprime isentropicamente hasta la presión del condensador, la temperatura del refrigerante aumenta en comparación a la temperatura del medio circundante.

En la etapa 2 el refrigerante entra al condensador como vapor sobrecalentado y sale como líquido saturado. La temperatura del refrigerante estará por encima de la temperatura de los alrededores.

En la etapa 3 el refrigerante líquido se estrangula hasta una presión del evaporador, la temperatura del refrigerante desciende.

En la etapa 4 el refrigerante entra al evaporador como vapor húmedo y se evapora por completo absorbiendo el calor del espacio refrigerado.

El refrigerante sale como vapor saturado, volviendo al compresor y completando el ciclo. (Cengel & Boles , Termodinámica, 2009)

2.2.3. Ciclo real de refrigeración por compresión de vapor

El ciclo real de refrigeración por compresión de vapor se diferencia en su irreversibilidad en algunos componentes con respecto al ciclo ideal, podemos observar el esquema en la figura 3, una de sus irreversibilidades es la fricción que genera el fluido y la transferencia de calor hacia o desde los alrededores. (Cengel & Boles , Termodinámica, 2009)

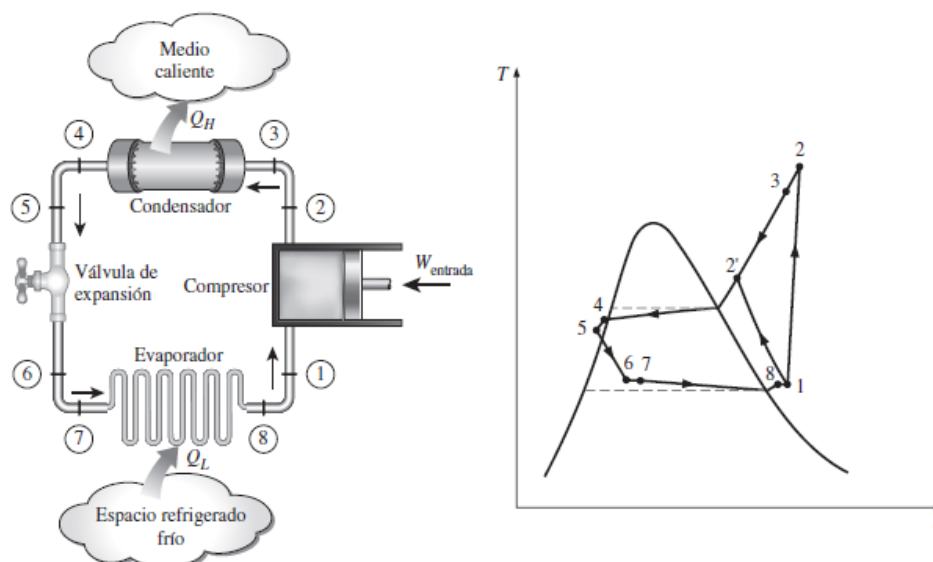


Figura 3. Esquema y diagrama T-S para el ciclo real de refrigeración
Fuente: (Cengel y Boles, 2009)

En el ciclo real no es posible controlar el estado del refrigerante, por lo que a la salida del evaporador y entrada del compresor se obtiene vapor saturado. En el diseño del sistema se intenta que el refrigerante entre al compresor con un ligero sobrecalentamiento para lograr que se evapore por completo. (Cengel & Boles , Termodinámica, 2009)

También la línea que conecta al evaporador con el compresor suele ser muy larga; por lo tanto, la caída de presión ocasionada por la fricción del fluido y la transferencia de calor de los alrededores al refrigerante puede ser muy significativas. El resultado del sobrecalentamiento, de la ganancia de calor en la línea de conexión y las caídas de presión en el evaporador y la línea de conexión, consiste en un incremento en el volumen específico y, por consiguiente, en un incremento en los requerimientos de entrada de potencia al compresor puesto que el trabajo de flujo estacionario es proporcional al volumen específico. (Cengel & Boles, 2009, págs. 624-625)

En el proceso de compresión del ciclo ideal es internamente reversible y adiabático y, por ende, isentrópico, mientras que, en el ciclo real por causa de la fricción, se incrementa la entropía y la transferencia de calor. La entropía del refrigerante puede incrementar en el proceso 1-2 o disminuir en el 1-2' dependiendo del predominio de los efectos. (Cengel & Boles, 2009)

2.3. Componentes de un sistema de refrigeración por compresión

Todos los sistemas de refrigeración por compresión poseen los siguientes elementos:

- Compresor
- Evaporador
- Condensador
- Válvula estranguladora

2.3.1. Compresor

Es considerado la parte principal del sistema de refrigeración, se encarga de aspirar el refrigerante que se encuentra en el evaporador y lo transporta al compresor aumentando su presión y temperatura tal como podemos observar el compresor en la figura 4. (Yataco, 2015)



Figura 4. Compresor rotativo hermético

Fuente: (Repuesto, 2019)

2.3.2. Condensador

El condensador en el sistema de refrigeración actúa como un intercambiador de calor que rechaza todo el calor del sistema y condensa el fluido para que se pueda intercambiar el calor con el entorno, así como se indica en la figura 5, bajando su temperatura y presión. (Aramburu & Figueroa, 2017)

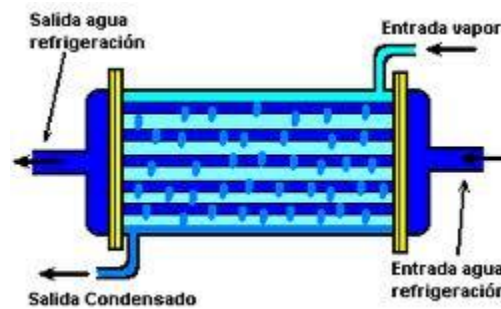


Figura 5. Condensador

Fuente: (Refrielectrico, 2018)

2.3.3. Evaporador

Es donde se ejecuta el objetivo principal del sistema de refrigeración, que es la absorción de calor del ambiente por medio de un serpentín hasta que se evapora completamente, un evaporador se puede divisar en la figura 6. En el evaporador llega el refrigerante que aún queda líquido para luego producir la ebullición a baja presión resultando así vapor seco saturado. (Aramburu & Figueroa, 2017)

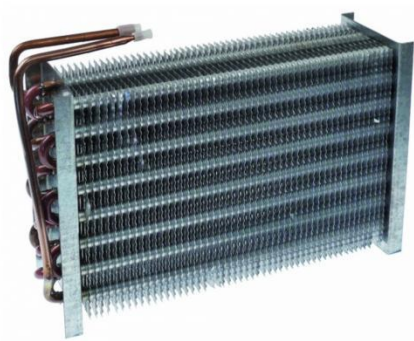


Figura 6. Evaporador
Fuente: (Efinox, 2018)

2.3.4. Expansión por tubo capilar

Es un dispositivo de cobre que se encarga de controlar el paso del flujo entre el condensador y el evaporador, donde separa el lado de alta presión con la baja presión. Se utiliza en aplicaciones donde la carga es relativamente constante. No permite modificar el recalentamiento a diferencia de la válvula de expansión. Como se indica en la figura 7



Figura 7. Tubo capilar
Fuente: (Blogquimobasicos, 2017)

2.4. Aislamiento

Con el objetivo de evitar una mayor pérdida de calor del interior con respecto al ambiente exterior, se fabrican cámaras con materiales aislantes para obtener resistencia al flujo de calor.

Los materiales usados como aislantes son la espuma de poliuretano como se indica en la figura 8, que es uno de los mejores por su baja permeabilidad al vapor de agua y su resistencia a la absorción de agua. Se refuerza con láminas de acero inoxidable. En nuestro caso se utilizó lana de vidrio para aislar las 5 paredes del reservorio.



Figura 8. Aislamiento térmico fibra de vidrio
Fuente:(DUCT WRAP - FIBRA DE VIDRIO, 2019)

2.5. Instrumentación

Se considera a la instrumentación como un sistema complementario para el siguiente proyecto, dado que se puede tener un control sobre el resto de elementos del banco de temperaturas. En los procesos industriales es necesario contar con equipos que cuantifican variables, ya sean físicas o químicas que intervienen en el sistema a utilizar. Esto depende del proceso que se realiza para conocer cuáles son las variables a cuantificar y los equipos para controlar como para cuantificar las mismas. (Arévalo Celi & Villagrán Sánchez, 2018)

2.6. Intercambiador de calor

Se define a un intercambiador de calor donde dos fluidos en movimiento intercambian calor sin ser mezclados. (Cengel & Boles , Termodinámica, 2009)

Los intercambiadores de calor son muy utilizados en la industria de la refrigeración debido a que ayuda con la transferencia de calor de los fluidos que se desean calentar o enfriar por sus diferentes temperaturas y podemos observar la aplicación en una casa en la figura 9.

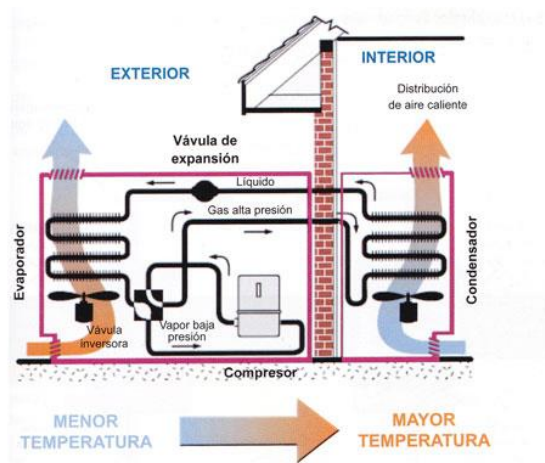


Figura 9. Esquema intercambiador de calor
Fuente: (Arnabat, 2015)

2.7. Transferencia de calor

2.7.1. Convección

La convección es la transferencia de calor entre un fluido en movimiento a lo largo de una superficie, el fluido tiene un gradiente de temperatura y entrega el calor almacenado a la superficie dándose así la transferencia de energía y la podemos expresar en la siguiente ecuación:

$$q'' = h(T_s - T_\infty) \quad \text{Si } T_s > T_\infty \quad \text{Ec. 1}$$

Donde:

h: Coeficiente de convección (W/m² K)

T_s: Temperatura de la superficie

T_∞: Temperatura del ambiente

Convección Forzada: es común en las aplicaciones de calentamiento y enfriamiento el uso de un fluido que pase por el interior de tubos, en estos se está forzando el fluido a desplazarse por medio de una bomba o ventilador por medio de una tubería que tiene las dimensiones necesarias para que se realice la transferencia de calor. (Cengel & Ghajar, 2011)

Convección Natural: se considera la convección natural al movimiento del fluido se da por medios naturales como es el viento o flotabilidad, a menudo no se puede notar el movimiento del fluido debido a las bajas velocidades que en este actúan. (Cengel & Ghajar, 2011)

Si se desea calcular la transferencia de calor por convección se requiere determinar el comportamiento del fluido, ya sea laminar o turbulento, dado que se da la transferencia de energía

entre una superficie y un líquido. El aceite por su alta viscosidad se le considera un fluido de flujo laminar y porque se puede trabajar a bajas velocidades con corrientes ordenadas.

Para conocer si el fluido tiene comportamiento laminar o turbulento se necesita calcular el número de Reynolds y lo podemos determinar con la siguiente ecuación:

$$Re = \frac{\text{Fuerzas de inercia}}{\text{Fuerzas viscosas}} = \frac{VL_c}{\nu} = \frac{\rho VL_c}{\mu} \quad \text{Ec. 2}$$

Donde:

V: Velocidad

Lc: Longitud

ν : Viscosidad

ρ : Densidad

μ : Viscosidad dinámica

Existe una capa limite térmica que se produce cuando hay una diferencia de temperaturas entre el flujo libre del fluido y de la superficie la cual tiene una resistencia a la corriente de calor.

(Incropera & De Witt, 1999)

$$R_{t,conv} = \frac{T_s - T_\infty}{q} = \frac{1}{h * A} \quad \text{Ec. 3}$$

Donde:

$R_{t,conv}$: Resistencia térmica por convección

h: Coeficiente de convección

Ts: Temperatura de superficie

T ∞ : Temperatura del ambiente

q: Calor

2.7.2. Conducción

La conducción es la transferencia de calor entre superficies con un gradiente de temperatura, se determina bajo una relación entre la distancia (espesor) del cuerpo y el cambio de temperatura en una dirección y con magnitud. Puede tener lugar en líquidos, gases y sólidos, siempre que no se tenga un movimiento masivo. (Cengel & Ghajar, 2011)

El calor fluirá de su mayor temperatura a la de menor temperatura con una velocidad de transferencia de energía. Se puede expresar a la conducción en la siguiente ecuación de la Ley de Fourier:

$$q''x = -k \frac{dT}{dx} \quad \text{Ec. 4}$$

Donde:

$q''x$: Transferencia de calor por conducción

k : Conductividad térmica

$\frac{dT}{dx}$: Diferencial de temperaturas

Se debe conocer que el coeficiente de conductividad térmica es diferente para cada material y también que dx es la longitud que atraviesa la corriente de calor. También se tiene el caso para calcular la conducción en un área determinada por lo que la ecuación quedaría de la siguiente forma:

$$q''x = -k * A \frac{dT}{dx} \quad \text{Ec. 5}$$

2.7.3. Coeficiente global de transferencia de calor

Al coeficiente global de transferencia de calor (U) es empleado para calcular la velocidad de transferencia de calor de un fluido que tiene una masa promedio que está a una temperatura 1 a través de una superficie solida a un segundo fluido o un segundo solido con una temperatura 2, esto se podrá hacer con superficies compuestas ya sean sólido, liquido o gas. Se define una ecuación general aplicable para un elemento con transferencia de energía con un diferencial de área (dA) y esta se puede usar únicamente para condiciones de estado estable.

$$dQ = U(T1 - T2)dA \quad \text{Ec. 6}$$

Donde:

dQ : Diferencial de la velocidad de transferencia de calor

U : Coeficiente global de transferencia de calor

$T1$: Temperatura del primer cuerpo o masa de fluido

$T2$: Temperatura del segundo cuerpo o masa de fluido

dA : Diferencial del área del cuerpo o masa del fluido de transferencia de calor

Para el cálculo del coeficiente se debe emplear el método de resistencias térmicas en la que se debe tomar en cuenta ya sea por conducción o convección en la siguiente figura 10.

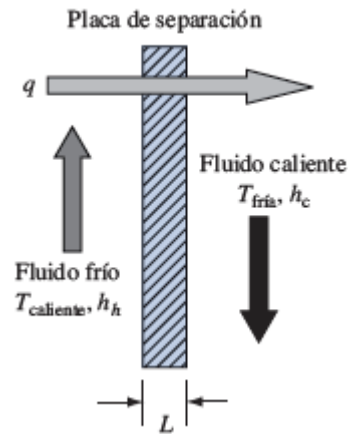


Figura 10. Resistencia térmica
Fuente: (Kreith, Manglik, & Bohn, 2012)

Se determina el coeficiente de transferencia de calor para este caso de la siguiente forma:

$$UA = \frac{1}{R_1 + R_2 + R_3} = \frac{1}{R_{total}} \quad \text{Ec. 7}$$

$$UA = \frac{1}{(h_1 * A_1) + (k * A_2) + (h_3 * A_3)} \quad \text{Ec. 8}$$

Se determina el coeficiente de transferencia de calor para este caso de la siguiente forma:

$$UA = \frac{1}{R_1 + R_2 + R_3} = \frac{1}{R_{total}} \quad \text{Ec. 7}$$

$$UA = \frac{1}{(h_1 * A_1) + (k * A_2) + (h_3 * A_3)} \quad \text{Ec. 8}$$

Donde:

U: Coeficiente global de transferencia de calor

h1: Coeficiente de convección del material 1

h2: Coeficiente de convección del material 2

A: Área

k: Coeficiente de conductividad térmica

R: Resistencia térmica

En los intercambiadores de calor con los que se trabaja en este caso las superficies de algunos por los distintos materiales y el contacto que se da con líquidos o gases externos, se producen filtraciones o daños internos y externos, se debe aumentar un factor de resistencia por impurezas para aumentar en la superficie su entereza, el factor R_f por conducción o convección, depende del fluido y su temperatura con la que se trabaja. (Arévalo Celi & Villagrán Sánchez, 2018)

$$UA = \frac{1}{(h1 * A1) + (k * A2) + (h3 * A3)} + Rfcond + Rfconv \quad \text{Ec. 9}$$

2.7.4. Calor sensible

El calor sensible es la cantidad de energía que se suministra a un cuerpo u objeto y que está asociada con la energía cinética de las moléculas para hacer que cambie su temperatura. (Cengel & Ghajar, 2011)

$$Q = \dot{m} * Cp * \Delta T \quad \text{Ec. 10}$$

CAPÍTULO III: DISEÑO MECÁNICO

3.1. Diseño del sistema de refrigeración

3.1.1. Características del equipo

El equipo a usar en el proyecto está ubicado en el laboratorio de conversión de la energía del Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica, se lo reactivó para satisfacer las necesidades del laboratorio, ver la figura 11. El equipo es el ERTCO TCS-200 el cual requería un sistema de refrigeración ya que solo contaba con el sistema de calentamiento y no estaba en uso. La tabla 1 y tabla 2 nos indica la descripción general y especificación del equipo.

Tabla 1

Descripción General

Model Type	Temperature Range	Amps @ 120V, 60Hz	Amps @ 240V, 50Hz
Heat Only Immersion Circulator	Ambient +5°C to 200°C	11A	9.7 A

Fuente: (ERTCO, 2004)



Figura 11. TCS200 ERTCO

Tabla 2*Especificaciones*

Temperatura Stability	±0.01°C
Controller / RS232	Yes
External Temperature Probe	Functional on programmable models / optional external probe required Not functional on Digital models
Readout Accuracy	Graphic LCD, °C of °F, ±0.25°C
Heater	1100W-115V, 2200W – 240V
Pressure Flow Rate	15.7 to 30 LPM(60Hz)
Suction Flow Rate	11 to 22 (60Hz)
Over-Temperature Protection	Yes, user adjustable
Low-Liquid Protection	Yes
Pump Speeds	Five-speed adjustable
Pump inlet and outlet	¼ inch FPT rear discharge

Fuente: (ERTCO, 2004)

3.1.2. Diseño del Reservorio

Para empezar el diseño se tomó en cuenta la capacidad que tiene el reservorio de calentamiento de 6L, mediante este valor se obtuvieron las dimensiones del recipiente descritas en la tabla 3.

Tabla 3*Dimensiones del recipiente de enfriamiento*

Dimensiones	
Alto	16cm
Ancho	28cm
Largo	26cm

$$\text{Volumen1} = \text{Alto} * \text{Ancho} * \text{Largo}$$

Ec. 11

$$\text{Volumen1} = 11.64L$$

En la figura 12 se puede observar el esquema y dimensiones del sistema de refrigeración. De acuerdo a la manual de la máquina ERTCO TCS200 recomienda que se tenga un espacio mínimo de una pulgada (25.4mm) desde la parte superior hasta el fluido a utilizar.

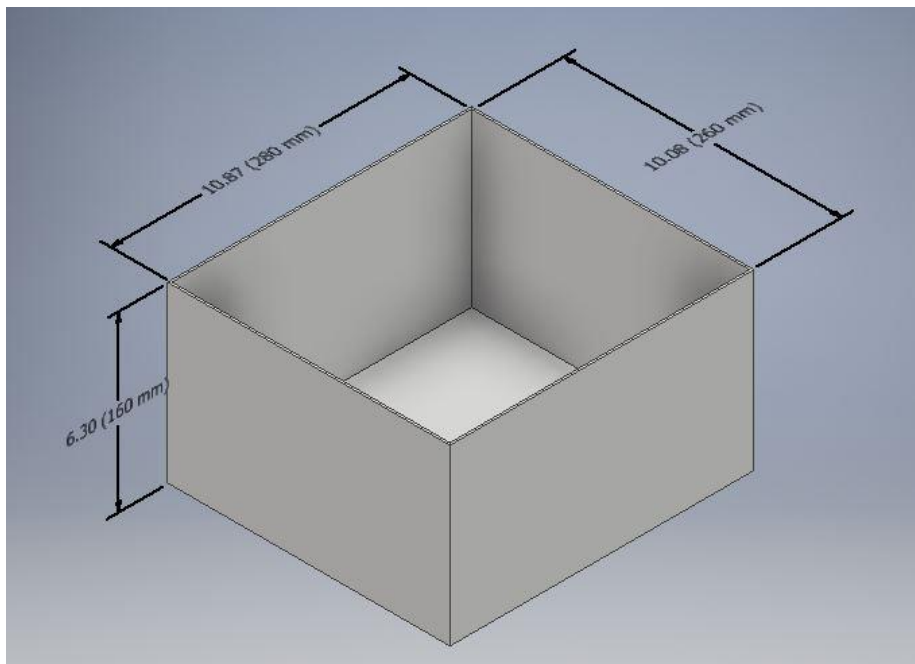


Figura 12. Esquema del reservorio

3.1.2.1. Diseño del espesor del tanque

Para la construcción del tanque se utilizó acero inoxidable que es el más utilizado para sistemas de refrigeración. Para el cálculo del espesor se tomara en cuenta el Handbook de Pressure Vessel, parte 1, numeral 13 que se refiere al diseño de tanques rectangulares abiertos.

Se debe calcular H/L donde H es la altura del tanque y L es la distancia.

$$\frac{H}{L} = \frac{16cm}{28cm} = \frac{6.3in}{11.023in} = 0.57 \quad \text{Ec. 12}$$

Con el valor de 0.57 se determinan los coeficientes $\beta=0.08$, $G=1$ y se procede a calcular el espesor de la lámina con la siguiente formula:

$$t = L \sqrt{\frac{\beta * H * 0.036 * G}{S}} = 0.01in = 0.25mm \quad \text{Ec. 13}$$

Por lo tanto, el espesor que se toma es de 1mm de la lámina de acero inoxidable, para su fabricación se le va a soldar y doblar a la lámina para dar su forma rectangular.

3.1.3. Dimensionamiento de la tubería

Es de suma importancia el dimensionamiento del diámetro de la tubería para obtener un buen funcionamiento de los equipos y accesorios. Las velocidades que se utilizan en la línea de succión (evaporador) de (8 a 15 m/s). (Núñez, 2017)

Para encontrar la tasa de flujo másico del refrigerante en el evaporador se tomaron los datos de la tabla 4 y se realizó el balance de energía.

Tabla 4

Datos de flujo másico

	Datos
Cp agua	4186 J/kg*K
Cp refrigerante	1440 J/kg*K
Temperatura exterior del agua	22 K
Temperatura interior del agua	3 K
Temperatura de entrada el refrigerante	38 K
Temperatura de salida el refrigerante	-26 K
\dot{m}_{agua}	30 kg/min

$$Q_{entrada(refrigerante)} = Q_{sale(agua)} \quad \text{Ec. 14}$$

$$\dot{m}_{refrigerante} * Cp * \Delta T_{ref} = \dot{m}_{agua} * Cp * \Delta T_{agua}$$

$$\dot{m}_{refrigerante} = \frac{\dot{m}_{agua} * Cp * \Delta T_{agua}}{Cp * \Delta T_{ref}} \quad \text{Ec. 15}$$

$$\dot{m}_{refrigerante} = 0.431 \frac{kg}{s}$$

Para determinar el diámetro de la tubería se calcula de la siguiente manera.

Tabla 5*Datos diámetro de tubería*

Datos	
Velocidad	8 m/s
ρ	1206 kg/m ³
$\dot{m}_{refrigerante}$	0.431 kg/s

$$A = \frac{\dot{m}_{refrigerante}}{\rho * Velocidad} \quad \text{Ec. 16}$$

$$\phi = \sqrt{\frac{4 * \dot{m}_{refrigerante}}{\rho * Velocidad * \pi}} \quad \text{Ec. 17}$$

$$\phi = 7.54mm$$

El diámetro comercial de acuerdo a las disponibilidades del país y del proveedor DISMACONCOBRE es de:

$$\phi = \frac{3}{8}in = 9.525mm$$

3.1.4. Diseño del aislamiento para el tanque

En el diseño del aislante hay que tener claro que fue variando las distancias de los espesores con la finalidad de obtener nuestra temperatura interna de 3°C en la superficie de nuestro reservorio. Cabe recalcar que se tomó el valor de las resistencias en el punto de Carga de transmisión en el

3.1.5.3.1

$$R_{Total} = 6385.631 \frac{K}{W}$$

$$Q_{T_{int}-T_{\infty}} = \frac{T_{\infty 2} - T_{\infty 1}}{R_{Total}} = 2.975 * 10^{-3} W$$

$$T_S = 22^{\circ}C - Q_{T_{int}-T_{\infty}} * \sum R = 3^{\circ}C$$

El aislante de fibra de vidrio para nuestro proyecto es una plancha de una pulgada (25mm). Se optó por tener en los tres lados dos aislantes para reducir el tiempo de enfriamiento y que el sistema sea eficiente, mientras que en la parte posterior se colocó un aislante debido a las conexiones del sistema de refrigeración.

En la parte superior se dispuso de un aislante debido a la altura requerida para cumplir con el volumen especificado anteriormente. En el inferior del tanque se instaló un aislante por la poca transferencia de calor que se tiene debido a que esta sobre una mesa, ver figura 13.

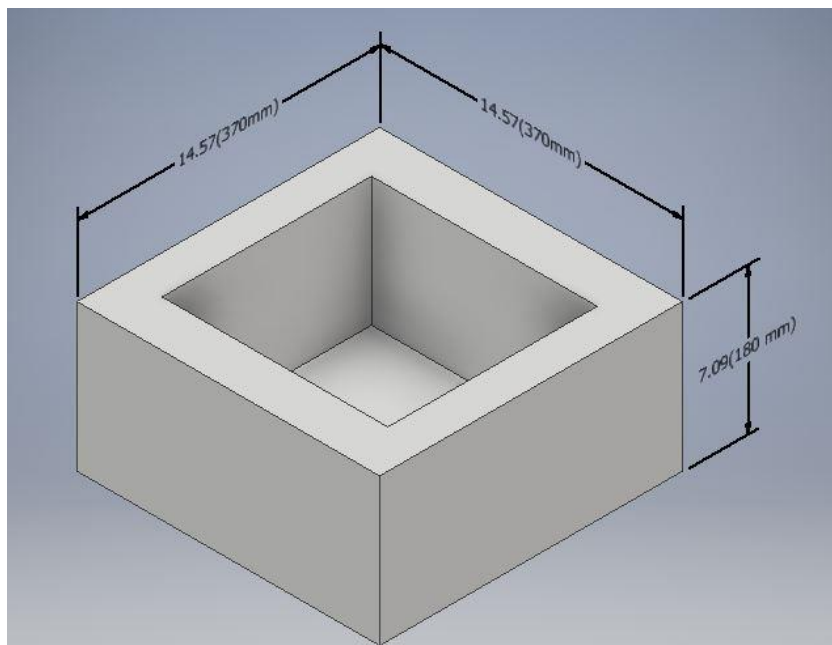


Figura 13. Esquema tanque de refrigeración

3.1.5. Carga térmica del equipo

3.1.5.1. Potencia eléctrica del equipo de calentamiento

El banco de temperaturas cuenta con una resistencia para calentar el fluido que se localiza en el reservorio, se calculó la carga térmica del sistema de calentamiento utilizando la Tabla 1 de la siguiente manera:

$$P = V * i \quad \text{Ec. 18}$$

$$P = 110V * 11A$$

$$P = 1210 W$$

La potencia de la resistencia para calentar el fluido es de 1210W, el equipo tiene la recomendación de usar agua destilada que alcanza una temperatura de 90°C o aceite de silicón que alcanza una temperatura máxima de 200°C.

3.1.5.2. Carga térmica del aceite de silicón

La cantidad de calor que se necesita extraer del aceite de silicón que genera elevar desde una temperatura de 22°C hasta 200°C, con la Ec. 10 y las propiedades del aceite de silicón de la tabla 6 se tiene el calor sensible del silicón.

Tabla 6

Propiedades del aceite de silicón

Propiedades	
Volumen	6 L
ρ silicón	971 kg/m ³
Cp silicón	1500 J/kg °C
$m_{\text{silicón}}$	6 kg/h

$$Q_{silicón} = m_{silicón} * Cp * \Delta T$$

$$Q_{silicón} = 492.5 W$$

3.1.5.3. Carga térmica del sistema de refrigeración

El cálculo de la carga térmica del sistema de refrigeración tiene como objetivo saber la cantidad de calor que se necesita extraer en un tiempo determinado. Las cargas que utilizaremos en nuestros cálculos son de transmisión y del producto.

3.1.5.3.1. Carga térmica de transmisión

Se refiere a la cantidad de calor que se gana a través de las paredes del reservorio por conducción o convección. Utilizando las temperaturas internas y externas del tanque a refrigerar y el coeficiente global de transferencia, en la tabla 7 se detallan los datos que se necesita para calcular la carga de transmisión.

Tabla 7

Datos de la cámara de conservación

Datos	
Conducción térmica fibra de vidrio	0.046 W/m*K
Conducción térmica del acero inoxidable	15.6 W/m*K
Conducción térmica del cobre	52 W/m*K
Convección térmica del aire	10 W/m ² *K
Espesor del acero inoxidable	1*10 ⁻³ m
Espesor de la fibra de vidrio	0.0254 m
Espesor de la fibra de vidrio con evaporador	0.0158 m
Diámetro exterior tubo de cobre	9.52*10 ⁻³ m
Diámetro interior tubo de cobre	8.52*10 ⁻³ m
Altura de pared de los lados	0.16 m
Ancho de pared de los lados	0.26 m
Alto de pared inferior	0.26 m
Ancho de pared inferior	0.37 m
Alto de pared superior	0.366 m
Ancho de pared superior	0.28 m
Longitud de los tubos evaporador	0.27 m

Se calculó el valor del coeficiente de convección del agua y la temperatura interior se tomará de la Tabla 4.(Paul, 2010)

$$h_{agua} = 12.705 * e^{(0.0369 * T_{agua})} \quad \text{Ec. 19}$$

$$h_{agua} = 14.192 \frac{W}{m^2 * K}$$

Como él refrigerante pasa por la tubería del condensador y de igual manera por la del evaporador se calcula el coeficiente de convección. Los datos se tomaron del anexo del libro de Cengel y se ven reflejados en la tabla 8, mientras que las temperaturas de entrada y salida se tomaron de la tabla 4.

Tabla 8

Datos del refrigerante para el coeficiente de convección

Datos	
β	0.00219 1/K
α	$2.228 * 10^{-6}$ m ² /s
Pr	0.3278
Diámetro de la tubería	$9.52 * 10^{-3}$ m
ν	$7.469 * 10^{-7}$ m ² /s
g	9.807 m/s ²
h_{ref}	0.01339 W/m ² *K

Utilizando el Número de Rayleigh:

$$RaD = \frac{g * \beta * (T_{salida} - T_{entrada}) * D^3}{\alpha * \vartheta} \quad \text{Ec. 20}$$

$$RaD = 7.127 * 10^5$$

Después de esto es indispensable calcular el valor de Nuselt mediante la ecuación siguiente:

$$NuD = \left[0.6 + \frac{0.387 * RaD^{\frac{1}{6}}}{\left[1 + \left[\frac{0.559}{Pr} \right]^{\frac{9}{16}} \right]^{\frac{8}{27}}} \right]^2 \quad \text{Ec. 21}$$

$$NuD = 11.83$$

Para finalmente encontrar el coeficiente de convección del refrigerante utilizamos la correlación de Churchill y Chu:

$$h_{ref} = \frac{k_{ref}}{D} * NuD \quad \text{Ec. 22}$$

$$h_{ref} = 16.639 \frac{W}{m^2 * K}$$

Con lo obtenido anteriormente se procede a calcular el valor de la carga térmica de los lados del recipiente que está compuesta por espesor del acero inoxidable, espesor de lana de vidrio (aislante), evaporador y de nuevo espesor del acero inoxidable.

Primero se calcula las resistencias del evaporador esquematizada la figura 14, con una disposición de cuatro vueltas y sus resistencias equivalentes.

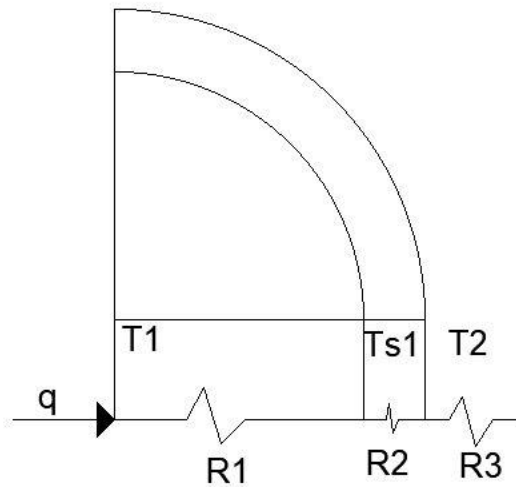


Figura 14. Resistencia del tubo de cobre del evaporador

$$R_{convTub} = \frac{1}{2 * \pi * h_{ref} * D_{int} * Lon} \quad \text{Ec. 23}$$

$$R_{convTub} = 4.158 \frac{K}{W}$$

$$R_{condTub} = \frac{\ln \frac{D_{ext}}{D_{int}}}{2 * \pi * k_{Cu} * Lon} \quad \text{Ec. 24}$$

$$R_{convTub} = 1.258 * 10^{-3} \frac{K}{W}$$

La resistencia equivalente para 8 tubos seria de:

$$R_{EqconvTub} = \frac{1}{R_{convTub}} * 8 \quad \text{Ec. 25}$$

$$R_{EqconvTub} = 1.924 \frac{K}{W}$$

$$R_{EqcondTub} = \frac{1}{R_{convTub}} * 8 \quad \text{Ec. 26}$$

$$R_{EqconvTub} = 6.359 * 10^3 \frac{K}{W}$$

Segundo calculamos las resistencias para los materiales que están inmersos en la pared, cabe recalcar que el espesor del acero inoxidable se lo desprecia ya que es muy pequeño comparado con el alto del reservorio.

$$Area = AltoL * AnchoL \quad \text{Ec. 27}$$

$$Area = 0.042 m^2$$

Se utiliza la Ec. 3 para el cálculo de las resistencias de convección del aire y del agua ver la figura 15, la disposición de las mismas.

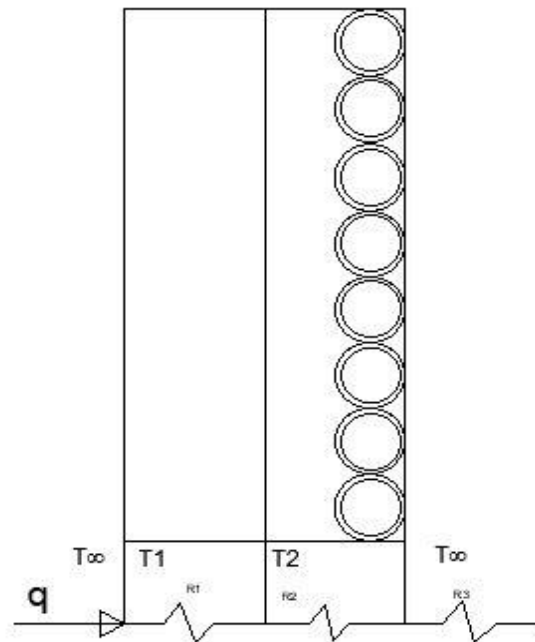


Figura 15. Resistencia de las paredes del reservorio

$$R_{convaire} = 2.404 \frac{K}{W}$$

$$R_{convagua} = 1.694 \frac{K}{W}$$

De igual forma es necesario el cálculo de conducción para el aislamiento como se propone a continuación

$$R_{condLv} = \frac{L_{Lv}}{K_{Lv} * Area} \quad \text{Ec. 28}$$

$$R_{condLv} = 13.273 \frac{K}{W}$$

$$R_{condLv1} = \frac{L_{Lv1}}{K_{Lv} * Area} \quad \text{Ec. 29}$$

$$R_{condLv} = 8.298 \frac{K}{W}$$

Tercero se calcula el valor del coeficiente global de transferencia utilizando la Ec. 7 y la variación de temperatura que tiene el reservorio.

$$U_{lados} = 1.566 * 10^{-4} \frac{W}{K}$$

$$\Delta T = T_{amb} - T_{tanq} \quad \text{Ec. 30}$$

$$\Delta T = 19 K$$

Finalmente obtenemos la carga térmica utilizando la Ec. 6, como se mencionó anteriormente en el punto 3.1.4 se tomaran tres lados iguales

$$Q_{lados} = 3 * U_{lados} * \Delta T$$

$$Q_{lados} = 8.926 * 10^{-3} W$$

Para la pared del fondo donde están las conexiones se realizan los siguientes cálculos. Tomando la Ec. 3 y calculando de las resistencias de convección del agua y aire ver la figura 16.

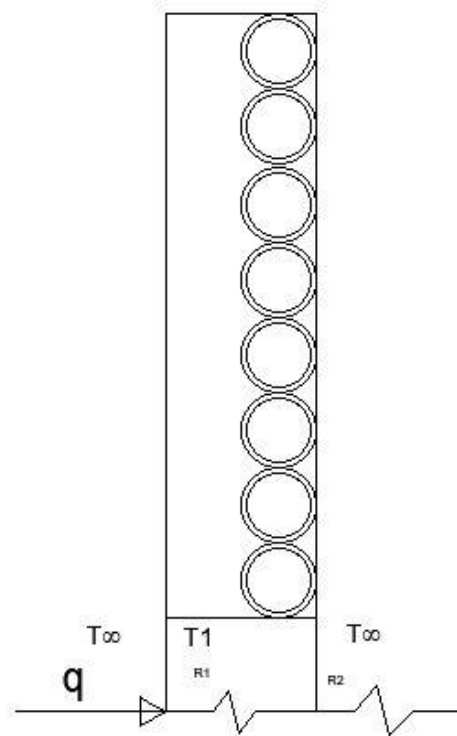


Figura 16. Resistencia de las paredes del reservorio

$$R_{convaire} = 2.404 \frac{K}{W}$$

$$R_{convagua} = 1.694 \frac{K}{W}$$

Para el cálculo de la resistencia de conducción para el aislante tomamos la Ec. 29 dando un valor de:

$$R_{condLv} = 8.298 \frac{K}{W}$$

Entonces nuestro coeficiente global de transferencia de calor con la Ec. 7 es el siguiente:

$$U_{Fondo} = 1.569 * 10^{-4} \frac{W}{K}$$

Tomando el mismo valor para la diferencia de temperaturas de la Ec. 30 adquirimos el valor de la carga térmica con la Ec. 6.

$$Q_{fondo} = 2.982 * 10^{-3} W$$

La pared inferior como lo propusimos en el apartado 3.1.4 va a tener 7 vueltas que conforman 14 tubos de acuerdo al área refrigerada. Calculamos la resistencia equivalente de la tubería.

$$R_{EqconvTubl} = \frac{1}{R_{convTub}} * 14 \quad \text{Ec. 31}$$

$$R_{EqconvTubl} = 3.367 \frac{K}{W}$$

$$R_{EqcondTubl} = \frac{1}{R_{condTub}} * 14 \quad \text{Ec. 32}$$

$$R_{EqconvTubl} = 1.113 * 10^4 \frac{K}{W}$$

Adicional a lo calculado se necesita las resistencias de convección aire. Valiendo de la Ec. 3.

$$Areal = AltoB * AnchoB \quad \text{Ec. 33}$$

$$Areal = 0.134 m^2$$

$$R_{convairel} = 0.73 \frac{K}{W}$$

En el cálculo de la resistencia para la lana de vidrio aplica la Ec. 29, obteniendo el valor de:

$$R_{condLvl} = 2.522 \frac{K}{W}$$

Se debe calcular una nueva área transversal para el fluido que se está enfriando. Nuevamente aplicando la Ec. 3 calculamos la convección del agua

$$Arealagua = AltoI * AnchoI \quad \text{Ec. 34}$$

$$Arealagua = 0.073 \text{ m}^2$$

$$R_{convaireI} = 0.968 \frac{K}{W}$$

El coeficiente global de transferencia para la pared del fondo empleando la Ec. 7 tenemos:

$$U_{Inferior} = 8.979 * 10^{-5} \frac{W}{K}$$

Utilizando la diferencia de temperatura de la Ec. 30 y la Ec. 6 nos da un resultado de la carga térmica de:

$$Q_{Inferior} = 1.706 * 10^{-3} W$$

Para terminar el cálculo de transferencia de calor en las paredes nos queda la pared superior en donde empezamos a calcular el área de la misma.

$$AreaS = AltoS * AnchoS \quad \text{Ec. 35}$$

$$Areal = 0.134 \text{ m}^2$$

Tomando la Ec. 3 comenzamos a calcular las resistencias de convección del aire.

$$R_{convaireI} = 0.747 \frac{K}{W}$$

$$R_{condaireS} = 1.374 \frac{K}{W}$$

De la Ec. 28 finalmente calculamos la resistencia de conducción del material.

$$R_{condLvl} = 4.742 \frac{K}{W}$$

El coeficiente global de transferencia de calor recurriendo la Ec. 7 es:

$$U_{Superior} = 0.1476 \frac{W}{K}$$

Lo que nos da un valor para la carga térmica de la pared superior utilizando los mismos parámetros que la Ec. 30 y la Ec. 6 es:

$$\mathbf{Q_{Superior} = 2.769 W}$$

Como existe pérdida de calor en aristas y esquinas procedemos a los cálculos de las mismas.

$$S_{arista} = 0.54 * 0.037 \quad \text{Ec. 36}$$

$$S_{arista} = 0.2 m$$

$$S_{esquina} = 0.15 * 1 * 10^{-3} \quad \text{Ec. 37}$$

$$S_{esquina} = 1.5 * 10^{-3} m$$

La carga térmica que se obtiene de esta es la siguiente con los parámetros de conductividad térmica de la lana de vidrio y la diferencia de temperatura de la Ec. 30 es:

$$Q_{arista} = 12 * S_{arista} * K_{Lv} * \Delta T \quad \text{Ec. 38}$$

$$\mathbf{Q_{arista} = 2.096 W}$$

$$Q_{arista} = 8 * S_{esquina} * K_{Lv} * \Delta T \quad \text{Ec. 39}$$

$$\mathbf{Q_{esquina} = 1.049 * 10^{-3} W}$$

Con todas las cargas térmicas calculadas podemos obtener el valor de la carga total de transmisión del reservorio que sería la suma de todas las cargas.

$$Q_{Transmisión} = 4.879 W$$

3.1.5.3.2. Carga térmica del producto

Con la tabla 9 se calcula calor sensible que se necesitar extraer para reducir la temperatura de 22°C a 3°C que está diseñado nuestro sistema de refrigeración.

Tabla 9

Propiedades del agua

Propiedades	
Volumen	6 L
Cp agua	4186 J/kg K
m_{agua}	6 kg/h

$$Q_{agua} = m_{agua} * Cp * \Delta T$$

$$Q_{agua} = 132.55 W$$

Luego de calcular todas las cargas del sistema de refrigeración para que se pueda trabajar con esta para el diseño del mismo.

La carga térmica del producto (agua) es de 132.55 W y para lo que se necesitan 4 horas en enfriar a 3°C.

$$Q_{producto} = 530.2 W$$

3.1.6. Carga total del sistema

Se debe sumar la carga térmica del producto con la carga térmica de transmisión y obtener la carga total que nos proporciona el sistema de refrigeración.

$$Q_{total} = 535.079 \text{ W}$$

Tabla 10*Comparación de carga total*

Comparación de cargas	
Carga térmica total sistema de refrigeración	492.5 W
Carga térmica total del sistema de calentamiento	535.079 W

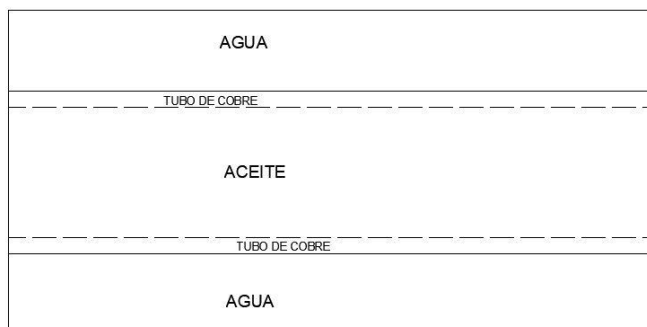
Con la tabla 10 se concluye que el diseño de nuestro sistema de refrigeración es conservador ya que posee una carga superior de 42.579 W.

3.1.7. Diseño térmico del serpentín

Para reducir el tiempo de enfriamiento del silicón que entrar al serpentín (intercambiador de calor) que se encuentra en el reservorio de enfriamiento es necesario calcular el número de vueltas del mismo.

Tabla 11*Datos del serpentín*

Propiedades	
Temperatura de entrada del silicón	200 K
Temperatura de salida del silicón	10 K
Temperatura que se mantiene el agua	3 K
Diámetro interior del serpentín	$9.5 \cdot 10^{-3} \text{ m}$
Diámetro exterior del serpentín	$7.6 \cdot 10^{-3} \text{ m}$
Carga térmica del silicón	492.5 W
Longitud de la tubería	3 m

**Figura 17.** Esquema del serpentín en contacto con el agua

Es necesario calcular la variación de temperatura que entran en el serpentín

$$\Delta T_{hc} = T_{inh} - T_{inC} \quad \text{Ec.40}$$

$$\Delta T_{hc} = 197 \text{ K}$$

$$\Delta T_{hc1} = T_{outh} - T_{outC} \quad \text{Ec.41}$$

$$\Delta T_{hc} = 7 \text{ K}$$

De acuerdo a las variaciones de temperaturas calcularas encontramos el valor de la temperatura media.

$$\Delta T_{ml} = \frac{\Delta T_{hc1} - \Delta T_{hc}}{\ln \frac{\Delta T_{hc1}}{\Delta T_{hc}}} \quad \text{Ec.42}$$

$$\Delta T_{ml} = 56.932 \text{ K}$$

Utilizando el coeficiente global de transferencia de calor para tubos concéntricos tenemos:

$$U_{serpentín} = \frac{1}{\frac{1}{h_{sil}} + \frac{D_{in}}{2k_{cu}} * \ln \frac{D_{ex}}{D_{in}} + \frac{D_{in}}{D_{ex} * h_{agua}}} \quad \text{Ec.43}$$

$$U_{serpentín} = 13.411 \frac{W}{K}$$

El área por donde circula el aceite de silicón se calcula de la siguiente manera:

$$Area_{serpentín} = \pi * D_e * L \quad \text{Ec.44}$$

$$Area_{serpentín} = 0.09 \text{ m}^2$$

Por ultimo vamos a calcular el número de vueltas que se necesita para transferir el calor del agua hacia el serpentín y poder bajar la temperatura.

$$N = \frac{Q_{serpentín}}{U_{serpentín} * Area_{serpentín} * \Delta T_{ml}} \quad \text{Ec.45}$$

$$N = 7.205$$

Para el diseño final de nuestro serpentín tomamos el número de vueltas de 7 como se puede apreciar en la figura 18.

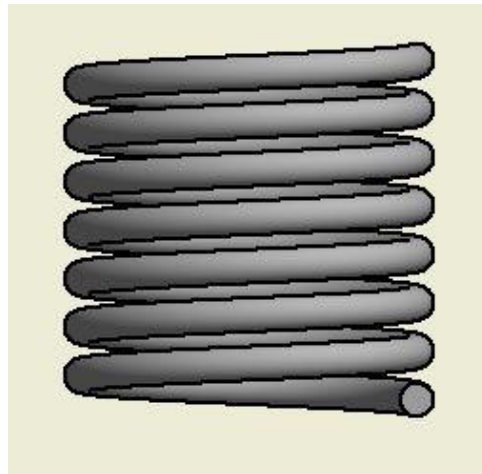


Figura 18. Serpentín de siete vueltas de cobre

3.2. Cálculo del ciclo de refrigeración

3.2.1. Determinación de la temperatura de evaporación

En la determinación de la temperatura de evaporación del refrigerante se puede calcular de la siguiente manera:

$$T_{evap} = T_R - D_T \quad \text{Ec.46}$$

Donde:

T_{evap}: Temperatura de evaporación

T_R: Temperatura de espacio refrigerado

D_T : Diferencia de temperatura entre el evaporador y espacio refrigerado.

En nuestro caso la humedad relativa deseada en el espacio a refrigerarse es del 80% por lo tanto el D_T según la tabla 12 es de 38°F ya que utilizamos evaporadores de convección forzada.

Tabla 12

Tabla de diferencia de temperaturas entre evaporador y espacio refrigerado

Humedad Relativa %	DT	
	Convección Natural °F	Convección Forzada °F
95-91	12-14	8-10
90-86	14-16	10-12
85-81	18-18	12-14
80-76	18-20	14-16
75-70	20-22	16-18

Fuente: (Mero & Zambrano, 2012)

Por lo tanto:

$$T_{evap} = 24^{\circ}F [-4.44^{\circ}C]$$

3.2.2. Determinación de la temperatura de condensación

En la determinación de la temperatura de condensación se debe considerar el tipo de condensador que se va a emplear, se toma como diferencia de temperatura de 19°C, por la temperatura promedio del aire y la de condensación del refrigerante, se toma la siguiente ecuación:

$$T_{cond} = T_m + \Delta T \quad \text{Ec.47}$$

Donde:

T_{cond} : Temperatura de condensación

T_m : Temperatura del medio ambiente

ΔT : Incremento de temperatura

$$T_{cond} = 41^{\circ}C$$

3.2.3. Ciclo de refrigeración

Con la figura 19 se pueden obtener las presiones de evaporación y condensación.

TEMP. (°C)	PRESION ABSOLUTA (bar)		DENSIDAD (Kg/m ³)		ENTALPIA (kJ/Kg)		ENTROPIA (kJ/Kg.K)	
	BURBUJA	ROCIO	BURBUJA	ROCIO	BURBUJA	ROCIO	BURBUJA	ROCIO
-40	0.51	0.51	1413.94	2.76	149.45	375.65	0.8008	1.7710
-35	0.66	0.66	1399.95	3.50	155.53	378.93	0.8266	1.7646
-30	0.84	0.84	1385.72	4.39	161.67	382.20	0.8521	1.7590
-25	1.06	1.06	1371.24	5.45	167.88	385.45	0.8773	1.7540
-20	1.32	1.32	1356.46	6.71	174.16	388.69	0.9023	1.7497
-15	1.63	1.63	1341.36	8.19	180.51	391.90	0.9270	1.7458
-10	2.00	2.00	1325.92	9.92	186.93	395.07	0.9515	1.7425
-5	2.42	2.42	1310.10	11.92	193.43	398.20	0.9759	1.7395
0	2.92	2.92	1293.86	14.23	200.00	401.28	1.0000	1.7369
5	3.49	3.49	1277.17	16.89	206.65	404.30	1.0240	1.7346
10	4.14	4.14	1259.99	19.93	213.38	407.25	1.0478	1.7325
15	4.88	4.88	1242.27	23.40	220.20	410.13	1.0714	1.7306
20	5.71	5.71	1223.96	27.34	227.11	412.92	1.0950	1.7288
25	6.65	6.65	1205.00	31.81	234.11	415.62	1.1184	1.7272
30	7.70	7.70	1185.33	36.88	241.21	418.20	1.1417	1.7256
35	8.88	8.88	1164.89	42.61	248.42	420.67	1.1650	1.7240
40	10.18	10.18	1143.58	49.08	255.74	423.01	1.1882	1.7223
45	11.62	11.62	1121.32	56.40	263.19	425.20	1.2114	1.7206
50	13.20	13.20	1197.98	64.66	270.77	427.23	1.2346	1.7187

Figura 19. Tabla refrigerante R134a

Fuente: (GASSERVEI, 2019)

Pevap: 243.5 kPa

Pcond: 1017.1 kPa

Entonces calculamos la relación de compresión del sistema de la siguiente manera:

$$RC = \frac{P_{cond}}{P_{evap}} = \frac{1017.1}{243.5} = 4.18 \quad \text{Ec.48}$$

Debido a que la diferencia entre las temperaturas de condensación y evaporación no es mayor a 70°C y su razón de compresión es menor a 10, se recomienda usar un sistema de refrigeración de una sola etapa.

En la tabla 13 podemos observar las entalpías en los 4 puntos del sistema de refrigeración.

Tabla 13

Valores de ciclo termodinámico

Punto	P(kPa)	T(°C)	h (kJ/kg)
1	243.5	-4.44	398.2
2	1017.1	41	423.01
3	1017.1	41	255.74
4	243.1	-4.44	255.74

Por el diagrama de Mollier se obtienen los volúmenes específicos del refrigerante.

$$V1: 0.0015\text{m}^3/\text{kg}$$

$$V3: 0.04\text{ m}^3/\text{kg}$$

3.2.4. Coeficiente de rendimiento del sistema de refrigeración

Un ciclo de refrigeración se debe analizar en términos de su eficiencia energética a través del coeficiente de performance COP. Se puede calcular de la siguiente manera:

$$COP = \frac{h1 - h4}{h2 - h1} \quad \text{Ec.49}$$

$$COP = \frac{398.2 - 255.74}{423.01 - 398.2} = 5.74$$

3.3. Selección de equipos del sistema de refrigeración

3.3.1. Compresor

Para la selección del compresor que se utiliza en el sistema de refrigeración se requiere una capacidad de enfriamiento de 132.55 W, para lo cual se escoge un compresor con las siguientes características, ver figura 20:

Refrigerante a utilizar: R134a

Capacidad frigorífica del compresor: 168 W

Temperatura de evaporación: -25°C

Temperatura ambiente: 32°C

Temperatura de condensación: 55°C



Figura 20. Compresor de 1/5 HP, modelo GUY70NRb
Fuente: (Cubigel, 2019)

3.3.2. Condensador

La selección del condensador se usó la misma potencia que el compresor que es de 1/5 HP con un caudal de $509.70 \text{ m}^3/\text{hr}$ y un rendimiento de 2770 BTUH, ver figura 21.



Figura 21. Condensador de 1/5 HP, modelo CT-00027
Fuente: (Thermo.Coil, 2019)

3.3.3. Tubo capilar

Para la selección del tubo capilar que sale del condensador opto por el programa Danfoss Capillary Tube Selector donde ingresamos los siguientes datos, ver figura 22 y figura 23:

Cantidad de calor: 168W

Refrigerante a usar: 134a

Temperatura de evaporación: -25°C

Temperatura de condensado: 55°C

Temperatura del gas: 0°C

Por lo tanto, el programa nos dio un tubo capilar recomendado a usar de 2.1 m de longitud y 0.8 mm de diámetro interior.

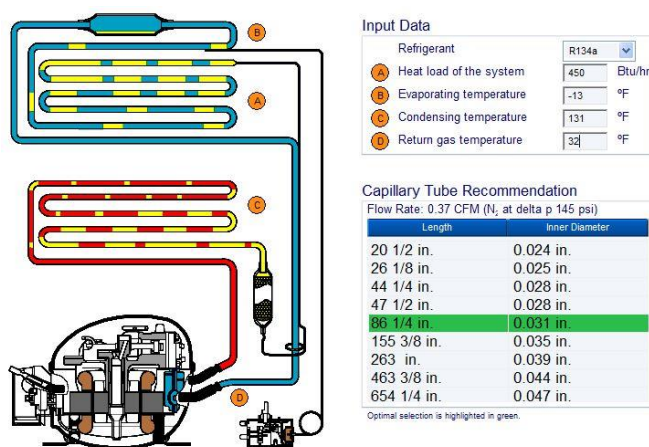


Figura 22. Danfoss Tube Capillary Tube Selection
Fuente: (Danfoss, 2019)



Figura 23. Tubo Capilar

3.4. Diagrama de control

Nuestro sistema de refrigeración cuenta con un tablero de control, ver figura 24, donde el reservorio sensa una temperatura de mínimo 3°C hasta máximo 4°C, por ende realizamos el siguiente circuito por el que simulamos lo dicho anterior:

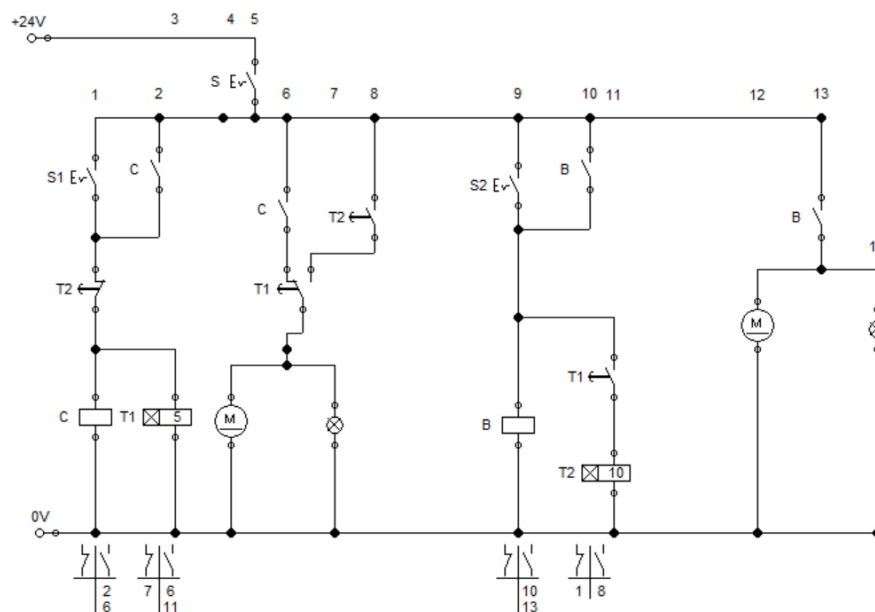


Figura 24. Diagrama de Control

El tablero empieza con la activación del transformador S, mientras que S1, S2 simula los botones de encendido del compresor y bomba respectivamente. Al accionar S1 y S2 nuestro relé C y B se activa pasando energía a nuestro sistema para que se enciendan los focos y motores (representa al compresor y bomba). El T1 es el tiempo que necesita nuestro sistema de refrigeración para llegar a la temperatura de 3°C, al momento de que la temperatura aumente a 4°C nuestro sensor manda una señal representada por T2 para que se vuelva encender el compresor y bajar la temperatura nuevamente.

3.5. Diseño de la estructura metálica

Para el diseño de la estructura metálica que soporta al sistema de calentamiento y de refrigeración, la que se necesita para una mejor ubicación y el mejor funcionamiento de nuestro banco de temperaturas, utilizamos el software SAP2000 V20, de esta manera podremos comprobar que la estructura esta apta para soportar la carga y con las normas precargadas en el software nos dará un buen criterio para su construcción.

Se consideró la carga muerta del equipo de calentamiento y de refrigeración debido a que no se mueve en ningún momento y las cargas vivas que serían el aceite y el agua en sus respectivos reservorios.

Tabla 14

Cargas de los elementos del equipo

Elemento	Peso (Kg)
Sistema de calentamiento	14
Sistema de refrigeración	18
Tablero	4

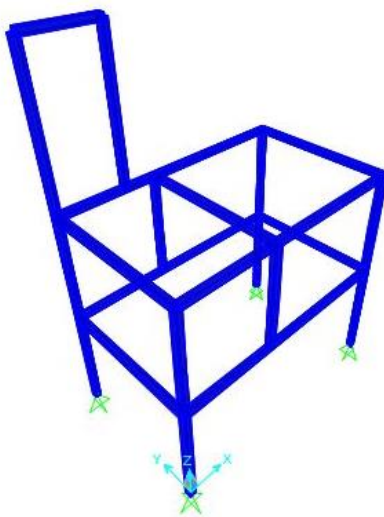


Figura 25. Esquema de la estructura en SAP2000

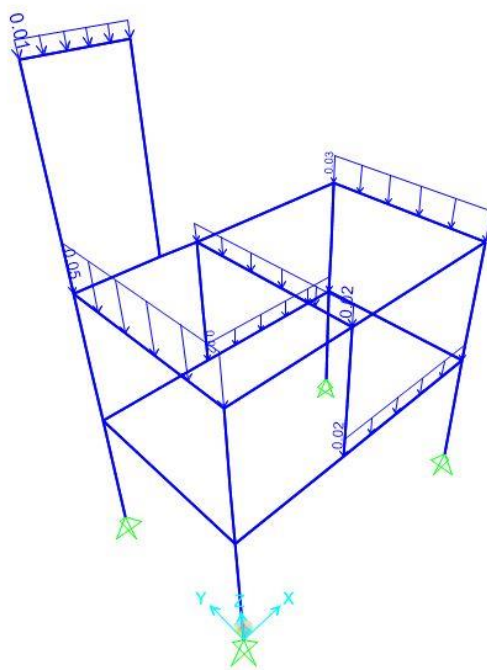


Figura 26. Esquema de la estructura con cargas asignadas en SAP2000

Con las cargas asignadas a la estructura se le añade el tipo de apoyo que en este caso será simplemente apoyada y se continúa con la corrida del programa para obtener los resultados del perfil escogido y si este se podrá adquirir para su construcción.

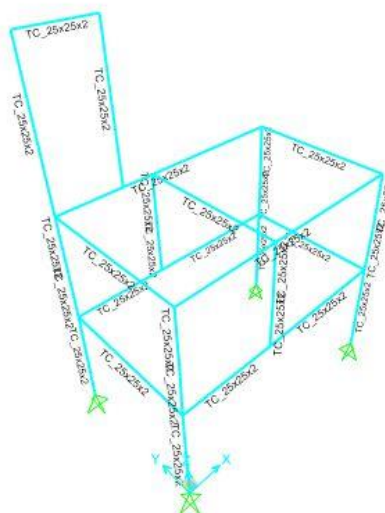


Figura 27. Resultados de la estructura y tubos seleccionados

Ahora se puede notar en la figura 27 que el tubo cuadrado de 25x25x2 del catálogo de IPAC de tubos cuadrados es el escogido para la construcción de la misma.

3.6. Adquisición de datos

El equipo ERTCO TCS200 cuenta con un equipo de recolección de datos y grafica de la temperatura del sensor interior. En este cuenta con un una salida serial RS-232 con la que podemos adquirir los datos de temperatura a una computadora.

Se vio la necesidad de utilizar el programa LabVIEW para una interfaz más amigable y que se pueda tomar datos de otros termómetros que sean utilizados en el equipo.

3.6.1. Interfaz gráfica

Se tiene una interfaz gráfica para que el usuario pueda visualizar de mejor manera como va en ascenso la temperatura en una gráfica, se pueda obtener datos de la maquina en tiempo real y también para que los alumnos puedan ingresar los valores tomados de los termómetros de prueba y adquirir una tabla con todos los datos para su posterior practica de laboratorio.

Cuenta con un panel frontal donde se puede encontrar los botones controladores y graficas con sus diferentes iconos para que sea fácil de manejar ver figura 28.

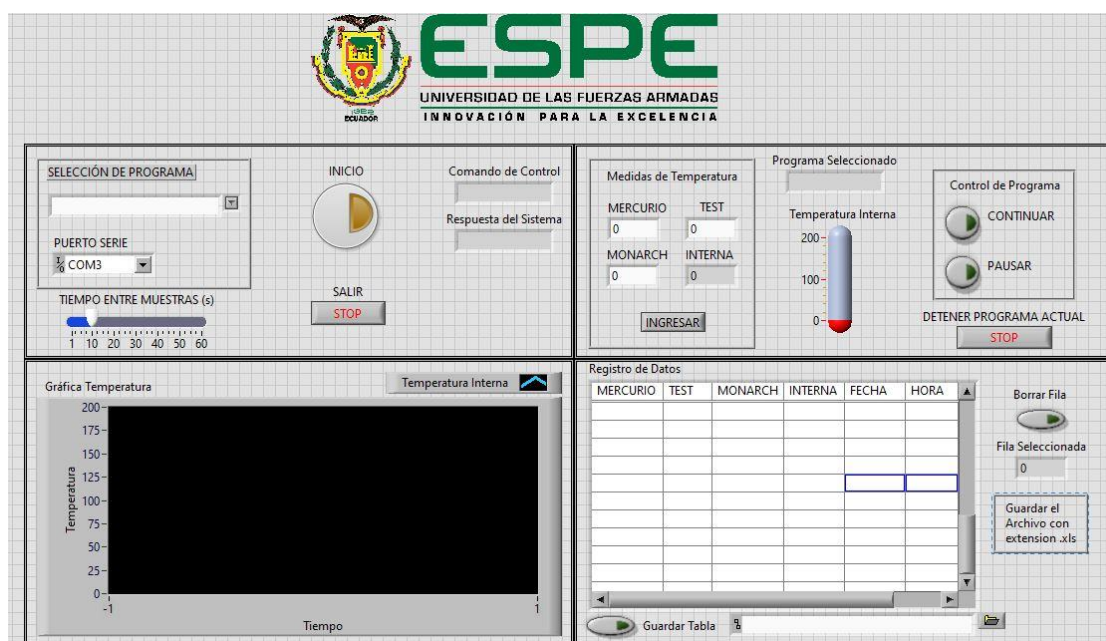


Figura 28. Panel frontal

Se detalla cada una de las partes que contiene este panel frontal de la interfaz gráfica.

1. La selección del programa que se va a ejecutar en la máquina.
2. El tiempo en el que se va a graficar la temperatura.
3. La grafica donde nos dará si la temperatura es ascendente o descendente dependiendo del paso en el que se encuentra y el programa elegido.
4. El botón de inicio del equipo y del programa.
5. El botón de apagado.
6. Una sección donde se puedan ingresar las temperaturas de los termómetros a probar para que se guarden en la tabla de datos.
7. Una gráfica donde se pueda verificar la temperatura del equipo.
8. El botón de pausar el programa y el de continuar el mismo.
9. Botón de pare del programa para poder seleccionar otra secuencia.
10. La tabla de datos donde se irán registrando temperaturas del equipo automáticamente y las otras temperaturas de los diferentes termómetros que se ingresarán manualmente.
11. El botón de guardado para que se exporten los datos a una tabla en Excel.

CAPÍTULO IV: ANÁLISIS Y RESULTADOS

4.1. Generalidades

Para la calibración de los termómetros se realizó una comparación entre el termómetro patrón y los demás termómetros con la finalidad de saber la desviación que posee cada equipo.

El termómetro que se tomó como patrón es el sensor que se encuentra en el equipo Thermometry System Calibration TSC200 de acuerdo a las especificaciones que se encuentra en la Tabla 2.

De esta manera, se evaluaron trece medidas diferentes desde los 50°C hasta las 170°C abarcando los rangos calibrados por el Centro de Metrología del Ejército Ecuatoriano. En este sentido se pudo realizar una medición de diez datos por cada temperatura, durante treinta segundos a medida que se estabilizaba el termómetro patrón.

4.2. Registro de datos

De acuerdo a las medidas tomadas se pudieron obtener los siguientes resultados:

Tabla 15

Registro de la temperatura de los termómetros Mercurio, Monarch, TESTO

Temperatura 50°C

	Patrón	Mercurio	Digital TESTO	Digital Monarch
	49.99	50.2	48.6	49.65
	50.03	50.2	48.6	49.7
	50.04	50.2	48.7	49.75
	50.01	50.2	48.7	49.75
	49.97	50.2	48.6	49.7
	49.98	50.2	48.6	49.65
	50.02	50.2	48.6	49.7
	50.04	50.2	48.7	49.75
	50.02	50.2	48.7	49.75
	49.99	50.2	48.7	49.7
Promedio	50.009	50.2	48.65	49.71

Después de tomar las diez medidas para la temperatura de 50°C, logramos los promedios de 50.009, 50.2, 48.65, 49.71 para el termómetro patrón, termómetro de Mercurio, termómetro digital TESTO, termómetro digital Monarch respectivamente.

Temperatura 60°C				
	Patrón	Mercurio	Digital Monarch	Digital TESTO
	60.01	60.2	60.4	59.6
	59.95	60.2	60.4	59.55
	59.99	60.2	60.4	59.65
	60.05	60.2	60.4	59.65
	60.09	60.2	60.5	59.7
	60.05	60.2	60.5	59.65
	59.98	60.2	60.4	59.6
	59.93	60.2	60.3	59.55
	59.96	60.2	60.4	59.55
	60.04	60.2	60.4	59.65
Promedio	60.005	60.2	60.41	59.615

Después de tomar las diez medidas para la temperatura de 60°C, logramos los promedios de 60.005, 60.2, 60.41, 59.615 para el termómetro patrón, termómetro de Mercurio, termómetro digital TESTO, termómetro digital Monarch respectivamente.

Temperatura 70°C				
	Patrón	Mercurio	Digital Monarch	Digital TESTO
	70	70.2	70.5	69.35
	69.96	70.2	70.6	69.3
	70	70.2	70.6	69.35
	70.05	70.4	70.6	69.45
	70.04	70.4	70.6	69.4
	69.99	70.4	70.6	69.35
	69.98	70.4	70.6	69.35
	70.02	70.4	70.6	69.4
	70.04	70.4	70.6	69.4
	69.99	70.4	70.6	69.35
Promedio	70.007	70.34	70.59	69.37

Después de tomar las diez medidas para la temperatura de 70°C, logramos los promedios de 70.007, 70.34, 70.59, 69.37 para el termómetro patrón, termómetro de Mercurio, termómetro digital TESTO, termómetro digital Monarch respectivamente.

Temperatura 80°C				
	Patrón	Mercurio	Digital Monarch	Digital TESTO
	80.01	80.4	79.6	79.5
	80.07	80.4	79.7	79.6
	79.91	80.4	79.7	79.3
	79.99	80.4	79.5	79.35
	80.03	80.4	79.6	79.4
	80.03	80.4	79.8	79.5
	80	80.4	79.6	79.45
	80.06	80.4	79.6	79.55
	79.98	80.4	79.7	79.35
	80.05	80.4	79.8	79.45
Promedio	80.013	80.4	79.66	79.445

Después de tomar las diez medidas para la temperatura de 80°C, logramos los promedios de 80.013, 80.04, 79.66, 79.445 para el termómetro patrón, termómetro de Mercurio, termómetro digital TESTO, termómetro digital Monarch respectivamente.

Temperatura 90°C				
	Patrón	Mercurio	Digital Monarch	Digital TESTO
	90.07	90.6	90.3	88.9
	89.94	90.4	90.3	88.85
	90.04	90.4	90.3	88.9
	89.97	90.6	90.3	89.9
	90.09	90.6	90.4	89.95
	89.93	90.6	90.3	88.9
	90	90.6	90.4	89.9
	90.06	90.6	90.3	89.9
	89.99	90.6	90.3	88.9
	90.06	90.6	90.3	89.9
Promedio	90.015	90.56	90.32	89.4

Después de tomar las diez medidas para la temperatura de 90°C, logramos los promedios de 90.015, 90.56, 90.32, 89.4 para el termómetro patrón, termómetro de Mercurio, termómetro digital TESTO, termómetro digital Monarch respectivamente.

Temperatura 100°C				
	Patrón	Mercurio	Digital Monarch	Digital TESTO
	100.06	100.4	100.5	99.05
	99.87	100.4	100.6	98.65
	99.99	100.2	100.4	98.75
	100.18	100.4	100.1	99.05
	100.21	100.4	100.2	99.3
	99.94	100.4	100.5	98.75
	100.06	100.4	100.4	99
	99.88	100.4	99.9	98.75
	99.97	100.4	100.4	98.7
	100.1	100.4	100.2	99
Promedio	100.026	100.38	100.32	98.9

Después de tomar las diez medidas para la temperatura de 100°C, logramos los promedios de 100.026, 100.38, 100.32, 98.9 para el termómetro patrón, termómetro de Mercurio, termómetro digital TESTO, termómetro digital Monarch respectivamente.

Temperatura 110°C				
	Patrón	Mercurio	Digital Monarch	Digital TESTO
	109.9	110.2	110.2	108.55
	110.05	110.4	110.6	108.6
	110.05	110.4	110.7	108.6
	109.97	110.4	110.4	108.65
	110.13	110.4	110.5	108.75
	109.89	110.4	110.3	108.6
	110.01	110.4	110.2	108.7
	110.01	110.4	110.6	108.7
	110.06	110.4	110.4	108.7
	109.98	110.4	110.3	108.65
Promedio	110.005	110.38	110.42	108.65

Después de tomar las diez medidas para la temperatura de 110°C, logramos los promedios de 110.005, 110.38, 110.42, 108.65 para el termómetro patrón, termómetro de Mercurio, termómetro digital TESTO, termómetro digital Monarch respectivamente.

Temperatura 120°C				
	Patrón	Mercurio	Digital Monarch	Digital TESTO
	120.04	120.4	120.5	118.1
	120	120.4	120.8	118.05
	120.09	120.4	120.6	118.15
	119.85	120.2	120.7	118.05
	120.09	120.2	120.5	118.1
	120.11	120.4	120.6	118.1
	120.09	120.4	120.6	118.1
	120.04	120.4	120.5	118.1
	120.02	120.4	120.6	118.15
	120.08	120.4	120.5	118.2
Promedio	120.041	120.36	120.59	118.11

Después de tomar las diez medidas para la temperatura de 120°C, logramos los promedios de 120.041, 120.36, 120.59, 118.11 para el termómetro patrón, termómetro de Mercurio, termómetro digital TESTO, termómetro digital Monarch respectivamente.

Temperatura 130°C				
	Patrón	Mercurio	Digital Monarch	Digital TESTO
	129.95	130.2	130.6	127.65
	130.08	130.2	131	127.7
	129.96	130.2	131.1	127.75
	130.08	130.2	131	127.65
	130	130.2	131	127.75
	129.96	130.2	131.1	127.7
	130.03	130.2	131	127.7
	130.04	130.2	131	127.75
	129.97	130.2	131	127.75
	129.99	130.2	131	127.75
Promedio	130.006	130.2	130.98	127.715

Después de tomar las diez medidas para la temperatura de 130°C, logramos los promedios de 130.006, 130.2, 130.98, 127.715 para el termómetro patrón, termómetro de Mercurio, termómetro digital TESTO, termómetro digital Monarch respectivamente.

Temperatura 140°C				
	Patrón	Mercurio	Digital Monarch	Digital TESTO
	140.05	140.2	141.3	137.3
	140	140.2	141.3	137.3
	140.04	140.2	141.4	137.35
	139.99	140.2	141.4	137.4
	140.05	140.2	141.3	137.4
	140.02	140.2	141.3	137.4
	140.02	140.2	141.3	137.3
	139.96	140.2	141.2	137.3
	140.11	140.2	141.3	137.3
	139.94	140.2	141.3	137.3
Promedio	140.018	140.2	141.31	137.335

Después de tomar las diez medidas para la temperatura de 140°C, logramos los promedios de 140.018, 140.2, 141.31, 137.335 para el termómetro patrón, termómetro de Mercurio, termómetro digital TESTO, termómetro digital Monarch respectivamente.

Temperatura 150°C				
	Patrón	Mercurio	Digital Monarch	Digital TESTO
	150	150.2	151.6	147.65
	150.08	150.2	151.5	147.55
	149.97	150.2	151.2	147.55
	150.11	150.2	151.5	147.65
	149.89	150.2	151.3	147.55
	150	150.2	151.4	147.45
	150.03	150.2	151.1	147.5
	150.02	150.2	151.5	147.45
	150.01	150.2	151.5	147.5
	150.05	150.2	151.4	147.5
Promedio	150.016	150.2	151.4	147.535

Después de tomar las diez medidas para la temperatura de 150°C, logramos los promedios de 150.016, 150.2, 151.4, 147.535 para el termómetro patrón, termómetro de Mercurio, termómetro digital TESTO, termómetro digital Monarch respectivamente.

Temperatura 160°C

	Patrón	Mercurio	Digital Monarch	Digital TESTO
	160.02	160.2	160.8	157.35
	160.08	160.2	160.3	157.6
	159.92	160.2	160.7	157.35
	160.08	160.2	160.4	157.4
	160	160.2	160.2	157.4
	160.12	160.2	160.5	157.5
	159.87	160.2	160.4	157.35
	160.08	160.2	160.2	157.35
	159.99	160.2	160.3	157.45
	160.03	160.2	159.9	157.4
Promedio	160.019	160.2	160.37	157.415

Después de tomar las diez medidas para la temperatura de 160°C, logramos los promedios de 160.019, 160.2, 160.37, 157.415 para el termómetro patrón, termómetro de Mercurio, termómetro digital TESTO, termómetro digital Monarch respectivamente.

Temperatura 170°C

	Patrón	Mercurio	Digital Monarch	Digital TESTO
	169.87	170.2	170.6	166.4
	170.01	170.2	170.4	166.4
	170.07	170.4	170.7	166.45
	169.96	170.2	170.8	166.9
	170.01	170.2	170.4	166.45
	170	170.2	170.7	166.7
	170.13	170.2	170.7	166.85
	169.86	170.2	170.3	166.35
	170	170.2	170.6	166.5
	170.13	170.2	170.2	166.25
Promedio	170.004	170.22	170.54	166.525

Después de tomar las diez medidas para la temperatura de 170°C, logramos los promedios de 170.004, 170.22, 170.54, 166.525 para el termómetro patrón, termómetro de Mercurio, termómetro digital TESTO, termómetro digital Monarch respectivamente.

4.3. Curvas de calibración

Para realizar las curvas de calibración de cada termómetro lo primero que se utilizó fue los promedios antes mencionados en la Tabla 15, segundo se procedió a graficar las temperaturas para el termómetro digital TESTO, Monarch y Mercurio, con respecto al termómetro patrón, con la finalidad de observar la variación que tienen, y poder sacar el error que tiene cada uno.

Tabla 16

Registro de la temperatura promedio

Temperatura Real °C	Temperatura Medida °C			
	Patrón	Mercurio	Digital Monarch	Digital TESTO
50.00	50.009	50.2	48.65	49.71
60.00	60.005	60.2	60.41	59.615
70.00	70.007	70.34	70.59	69.37
80.00	80.013	80.4	79.66	79.445
90.00	90.015	90.56	90.32	89.4
100.00	100.026	100.38	100.32	98.9
110.00	110.005	110.38	110.42	108.65
120.00	120.041	120.36	120.59	118.11
130.00	130.006	130.2	130.98	127.715
140.00	140.018	140.2	141.31	137.335
150.00	150.016	150.2	151.4	147.535
160.00	160.019	160.2	160.37	157.415
170.00	170.004	170.22	170.54	166.525

Con referencia a la Tabla 16 se realizó las diferentes curvas de calibración para los termómetros de Mercurio, Digital Monarch y Digital TESTO

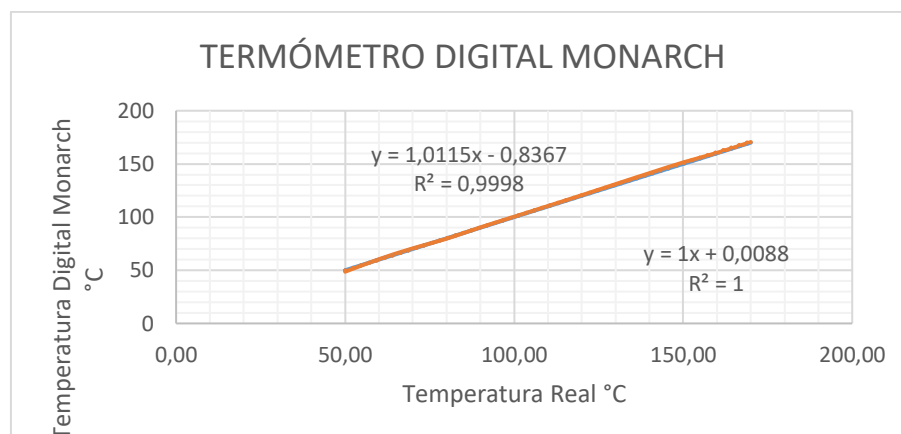


Figura 29. Termómetro Digital Monarch

En la figura 29 se trazó la gráfica de temperatura real versus temperatura medida mediante el instrumento en el cual se muestra la linealidad de los valores para el termómetro digital monarch. Además de ello se incluyó la gráfica del termómetro patrón para realizar su comparación obteniendo una ecuación de calibración de: $y = 1.0115x + 0.8367$ con un factor de corrección de 0.59.

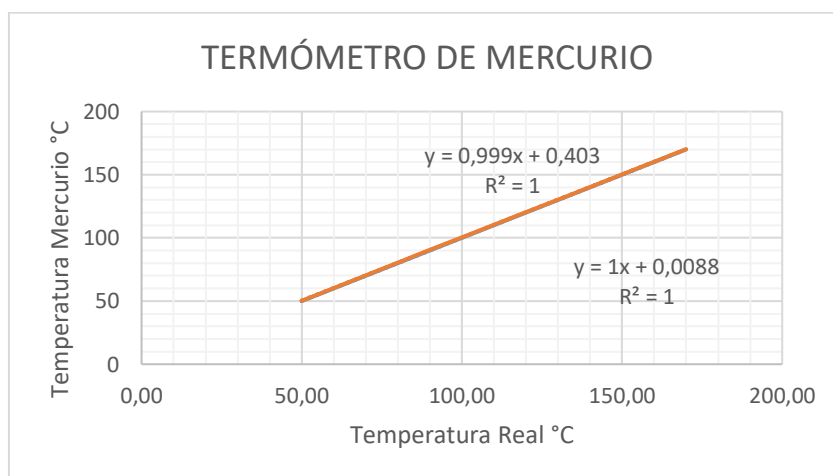


Figura 30. Termómetro de Mercurio

En la figura 30 se trazó la gráfica de temperatura real versus temperatura medida mediante el instrumento en el cual se muestra la linealidad de los valores para el termómetro de mercurio. Además, se incluyó la gráfica del termómetro patrón para realizar su comparación obteniendo una ecuación de calibración de $y = 0.999x + 0.403$ con un factor de corrección de 0.2788.

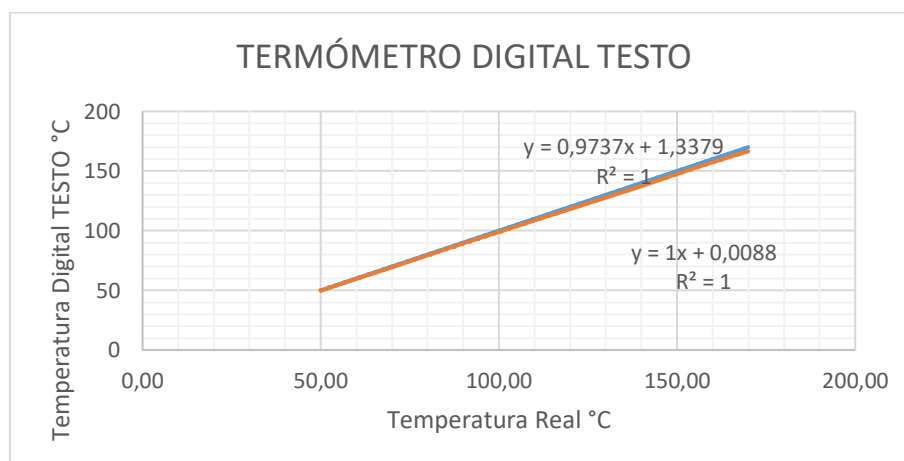


Figura 31. Termómetro Digital TESTO

En la figura 31 se trazó la gráfica temperatura real versus temperatura medida por el instrumento donde se muestra la linealidad de los valores para el termómetro digital TESTO. Además, se incluyó la gráfica del termómetro patrón para realizar su comparación obteniendo una ecuación de calibración de $y = 0.9737x + 1.3370$ con un factor de corrección de 0.95.

4.4. Prácticas de Laboratorio

Cada temperatura se guardará en el programa y se exportará al Excel, para facilitar la toma de medidas y los cálculos necesarios que se presentan a continuación.

4.4.1. Pruebas Programa 1

El primer programa se basa en tomar dos datos de temperatura ascendente de 80°C, 120°C y un dato descendente 100°C. Primero se tiene un programa donde nuestra maquina asciende desde 60°C hasta los 80°C en cinco minutos, después se trata de que se estabilice en diez minutos, posteriormente se toma cinco datos cada minuto, esto se lo realizará para cada termómetro. Segundo pasamos de 80°C a 120°C en diez minutos, de igual forma esperamos cinco minutos que se estabilice y medidos las temperaturas durante cinco minutos. Finalizamos de 120°C a 100°C en un tiempo de diez minutos, esperamos que se estabilice y volvemos a tomar datos durante cinco minutos.

Tabla 17

Factor de Corrección Termómetro Patrón

Temperatura °C	Temperatura Termómetro Patrón °C					XTP	TP(Corregida)	FC
80	80.83	80.94	80.25	81.9	81.3	81.0440	81.0528	0.01
120	120.9	119.9	120.7	120.6	120.1	120.440	120.4488	0.01
100	101	100.4	101.2	100.5	101	100.820	100.8288	0.01

TP corregida se calculó con la ecuación $y = 1x + 0.0088$ representa a la curva de calibración. Por lo que nuestro factor de corrección se calculó restando la temperatura corregida con el promedio de las medidas tomadas. Dándonos un resultado de 0.01 para las temperaturas de 80°C, 120°C, 100°C respectivamente.

Tabla 18*Factor de Corrección Termómetro Mercurio*

Temperatura °C	Temperatura Termómetro Mercurio °C					XTM	T(Corregida)	FC
80	80.2	80.8	80	81.4	81.2	80.72	81.04228	0.32
120	120.4	119.8	120.4	120.2	120	120.16	120.44284	0.28
100	100.6	100.4	100.8	100.6	100.4	100.56	100.86244	0.30

T corregida se calculó con la ecuación $y = 0.999x + 0.403$ representa a la curva de calibración.

Por lo que nuestro factor de corrección se calculó restando la temperatura corregida con el promedio de las medidas tomadas. Dándonos un resultado de 0.32, 0.28, 0.30 para las temperaturas de 80°C, 120°C, 100°C respectivamente.

Tabla 19*Factor de Corrección Termómetro Digital Monarch*

Temperatura °C	Temperatura Termómetro Digital Monarch 309°C					XTD	T(Corregida)	FC
80	81.6	81.4	80.7	81.9	81.6	81.44	81.53986	0.10
120	120.6	121.3	121.6	121.1	121.7	121.26	121.81779	0.56
100	101	101.5	101	101.6	100.9	101.2	101.5271	0.33

T corregida se calculó con la ecuación $y = 1.0115x + 0.8367$ representa a la curva de calibración. Por lo que nuestro factor de corrección se calculó restando la temperatura corregida con el promedio de las medidas tomadas. Dándonos un resultado de 0.10, 0.56, 0.33 para las temperaturas de 80°C, 120°C, 100°C respectivamente.

Tabla 20*Factor de Corrección Termómetro Digital TESTO*

Temperatura °C	Temperatura Termómetro Digital TESTO °C					XTP	TP (Corregida)	FC
80	79.35	79.4	79.5	79.45	79.55	79.45	78.698365	-0.75
120	118.1	118.1	118.1	118.1	118.1	118.09	116.322133	-1.77
100	98.75	99.05	99.3	98.75	99	98.97	97.704989	-1.27

T corregida se calculó con la ecuación $y = 0.9737x + 1.3370$ representa a la curva de calibración. Por lo que nuestro factor de corrección se calculó restando la temperatura corregida con el promedio de las medidas tomadas. Dándonos un resultado de -0.75, -1.77, -1.27 para las temperaturas de 80°C, 120°C, 100°C respectivamente.

4.4.2. Pruebas Programa 2

El segundo programa se basa en tomar dos datos de temperatura ascendente de 90°C, 130°C y un dato descendente 70°C. Primero se tiene un programa donde nuestra maquina asciende desde 60°C hasta los 90°C en cinco minutos, después se trata de que se estabilice en diez minutos, posteriormente se toma cinco datos cada minuto, esto se lo realizará para cada termómetro. Segundo pasamos de 90°C a 70°C en diez minutos, de igual forma esperamos cinco minutos que se estabilice y medidos las temperaturas durante cinco minutos. Finalizamos de 90°C a 130°C en un tiempo de diez minutos, esperamos que se estabilice y volvemos a tomar datos durante cinco minutos.

Tabla 21*Factor de Corrección Termómetro Patrón*

Temperatura °C	Temperatura Termómetro Patrón °C					XTP	T (Corregida)	FC
90	89.94	90.03	89.9	90.03	89.8	89.948	89.9568	0.01
70	69.93	70.04	70.1	69.97	69.99	70.01	70.0188	0.01
130	129.68	129.9	130	130.3	129.7	129.866	129.8748	0.01

TP corregida se calculó con la ecuación $y = 1x + 0.0088$ representa a la curva de calibración.

Por lo que nuestro factor de corrección se calculó restando la temperatura corregida con el promedio de las medidas tomadas. Dándonos un resultado de 0.01 para las temperaturas de 90°C, 70°C, 130°C respectivamente.

Tabla 22*Factor de Corrección Termómetro Mercurio*

Temperatura °C	Temperatura Termómetro Mercurio °C					XTM	T(Corregida)	FC
90	89.2	90.2	90	90.2	89.2	89.76	90.07324	0.31
70	70.2	70.2	70.2	70.4	70.4	70.28	70.61272	0.33
130	129.2	129.8	130	130	130	129.8	130.0732	0.27

T corregida se calculó con la ecuación $y = 0.999x + 0.403$ representa a la curva de calibración.

Por lo que nuestro factor de corrección se calculó restando la temperatura corregida con el promedio de las medidas tomadas. Dándonos un resultado de 0.31, 0.33, 0.27 para las temperaturas de 90°C, 70°C, 130°C respectivamente.

Tabla 23*Factor de Corrección Termómetro Digital Monarch*

Temperatura °C	Temperatura Termómetro Digital Monarch 309					XTD	T(Corregida)	FC
90	90.3	90.4	90.3	90.4	90.3	90.34	90.54221	0.20
70	70.6	70.6	70.6	70.6	70.6	70.6	70.5752	-0.02
130	131	131	131	131	131	131.02	131.69003	0.67

T corregida se calculó con la ecuación $y = 1.0115x + 0.8367$ representa a la curva de calibración. Por lo que nuestro factor de corrección se calculó restando la temperatura corregida con el promedio de las medidas tomadas. Dándonos un resultado de 0.20, -0.02, 0.67 para las temperaturas de 90°C, 70°C, 130°C respectivamente.

Tabla 24*Factor de Corrección Termómetro Digital TESTO*

Temperatura °C	Temperatura Termómetro Digital TESTO °C					XTP	T(Corregida)	FC
90	89.1	89.15	89.2	89.15	88.65	89.04	88.036148	-1.00
70	69.35	69.5	69.5	69.35	69.4	69.41	68.922417	-0.49
130	127.05	127.2	127	127.1	127.3	127.18	125.173066	-2.01

T corregida se calculó con la ecuación $y = 0.9737x + 1.3370$ representa a la curva de calibración. Por lo que nuestro factor de corrección se calculó restando la temperatura corregida con el promedio de las medidas tomadas. Dándonos un resultado de -1.00, -0.49, -2.01 para las temperaturas de 90°C, 70°C, 130°C respectivamente.

CAPÍTULO V: DETALLE DE COSTOS

5.1. Generalidades

El análisis económico nos permite conocer los costos reales y la viabilidad del proyecto realizado para el banco de temperaturas.

En la siguiente tabla se describe todos los materiales, insumos y mano de obra que fueron necesarios para el cumplimiento del proyecto.

Tabla 25
Costos de los materiales

CANT.	DETALLE	VALOR	TOTAL
4	Aceite de silicón	9	36
	Compresor	200	200
3	Condensador	200	200
6	Tubo de cobre ¼'	11	66
3	Tubo de cobre ½'	15	30
3	Tubo de cobre 1/8'	8	24
3	Tubo de cobre 3/8'	14	42
1	Tubo de acero inoxidable ¼'	15	15
2	Codos de acero inoxidable ¼'	5	10
2	Acoples acero inoxidable ¼'	5	10
2	Acoples de bronce macho para refrigeración ¼'	5	10
2	Acoples de bronce hembra para refrigeración ¼'	5	10
1	Manguera de plástico ¼'	5	5
1	Bomba de agua	45	45
1	Plancha de acero inoxidable 1mm	40	40
10	Pernos M12	0.3	3
10	Tuercas M12	0.3	3
1	Suelda TIG	40	40
4	Sierras de corte	2.22	8.88
6	Pliegos de lija	2.06	12.36
1	Disco de corte	1.68	1.68
1	Válvula de bola ¼'	12	12
1	Teflon	1.35	1.35
4	Abrazaderas para tubo ¼'	1.06	4.24
1	Manguera transparente ¼'	1.5	1.5
1	Plancha fibra de vidrio	40	40

CONTINÚA

1	Taype	1.12	1.12
10	Varilla aleación aluminio cobre	5	50
12	Tubo cuadrado 25x25x2	9	18
1	Funda de electrodo 6011	4	4
1	Plancha de A36	8	8
3	Botellón de agua	1.5	4.5
1	Aislante para tubería	3	3
TOTAL			1027.63

Tabla 26*Costos de mano de obra*

CANT.	DETALLE	TOTAL
1	Corte, doblado y suelda tanques	150
1	Construcción mesa	80
1	Construcción e instalación de la tubería de cobre	60
1	Construcción e instalación del serpentín	50
1	Construcción de cobertor y aislamiento del tanque con fibra de vidrio y acero inoxidable	30
1	Instalación eléctrica del controlador	50
1	Mantenimiento del equipo TCS200	120
1	Certificado de calibración del equipo TCS200	114
2	Certificado de calibración de sensores de temperatura	130
TOTAL		784

CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. Conclusiones

- La recuperación y puesta a punto del banco de temperaturas se encuentra en óptimas condiciones asegurando el buen funcionamiento como la seguridad de los operarios durante las prácticas a realizar en la materia de Termodinámica.
- Con los cálculos realizados y la obtención de la potencia necesaria para nuestro sistema de refrigeración siendo aproximadamente igual al sistema de calentamiento, se puede tener el mismo tiempo de calentamiento como de enfriamiento.
- La implementación del sistema de adquisición de datos aporta al buen funcionamiento de la máquina reduciendo el error visual y facilitando la lectura de datos del termómetro patrón en un tiempo determinado.
- Con las pruebas realizadas y los datos tomados en diferentes temperatura se ha logrado tener una gráfica de temperaturas de los distintos termómetros y así poder comparar las curvas de calibración de estos con las del termómetro patrón obteniendo un error de 0.59 para el termómetro digital Monarch, 0.95 para el termómetro digital TESTO y de 0.258 para el termómetro de mercurio.
- Se logró caracterizar y certificar el equipo para que su uso sea confiable y de la misma manera que podamos usar como patrón con los demás termómetro.
- Observamos que en el primer programa a temperaturas de 120°C y 100°C el termómetro digital TESTO posee grandes factores de corrección de -1.77 y -1.27 respectivamente,

mientras que en el segundo programa a temperaturas de 90°C y 130°C tiene un factor de corrección de -1.00 y -2.01 respectivamente debido a que no se estabilizaba en la temperatura deseada.

6.2. Recomendaciones

- Se recomienda siempre tener en cuenta el nivel tanto del aceite que se encuentra en el sistema de calentamiento como el del agua que está en el sistema de refrigeración, ambos deben estar a una pulgada por debajo de la superficie.
- Se recomienda encender el sistema de refrigeración tres horas antes para que permanezca en la temperatura deseada, esto se debe a que es un sistema compacto.
- Es recomendable que la válvula de paso se mantenga cerrada mientras la máquina empieza a calentarse y se mantiene a la temperatura prevista, después de ello es importante abrir el paso del aceite para que empiece a funcionar de acuerdo a lo establecido en el manual de usuario.
- Para la realización de la práctica se debe esperar que las temperaturas se estabilicen para que se puedan tomar datos mucho más exactos ya que se está calentando y enfriando un volumen de aceite de silicón considerable

CAPÍTULO VII: REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

- Aramburu, A., & Figueroa, P. (2017). *Estudio de un sistema de refrigeración por compresión de vapor aplicado a la industria agroalimentaria*. Piura: Universidad de Piura.
- Armijos, H. G. (2015). *Mejoramiento del sistema de enfriamiento, del conedador de minichiller del Laboratorio de Fluidos del AEIRNNR*. Loja.
- Cengel , Y., & Boles , M. (2009). *Termodinámica*. México: Mc Graw Hill.
- Cengel, Y., & Boles, M. (2009). Termodinámica. En Y. Cengel, & M. Boles, *Termodinámica* (págs. 624-625). México: Mc Graw Hill.
- Guanípa, G. (2010). *Sistemas de Refrigeración*. Punto Fijo.
- Kreith , F., Manglik, R., & Bohn, M. (2012). *Principios de transferencia de calor* . México: Cengage Learning.
- Núñez, M. E. (2017). *Diseño de una Cámara de Enfriamiento y de un Túnel de Congelados Empleando la Cámara Frigorífica de la "Planta Piloto"-Tecnologías - ESPOL*. Guayaquil: ESPOL.
- Sánchez, L. E. (2010). *Diseño y construcción de un sistema de refrigeracion de conservación para el laboratorio*. Riobamba.
- Yataco, I. L. (2015). *Diseño de un sistema de refrigeración con dos temperaturas de evaporación empleando un solo compresor*. Lima: Pontificia Universidad Católica de Perú.
- Cengel. (2007). *Cengel, Yanis A. Transferencia de Calor y Masa, Mc Graw Hill, 2007*

- Incropera, F., & Witt, D. d. (1999). *Fundamentos de Transferencia de Calor (4ta ed.)*. México: Pretince Hall.
- Paul, I. d. (2010). *Coeficiente de transferencia convectiva H en el interior de un destilador tipo batea*. Salta: ciunsa.
- Rosado, G. B (2013). *Sistemas de refrigeración*. Lima: IESTP.
- Arévalo, E., & Villagrán, A. d. (2018). *Diseño y construcción de un banco de pruebas de transferencia de calor para flujos paralelo y cruzado utilizando como fluido de trabajo agua para el laboratorio de conversión de la energía del DECEM*. Sangolquí: UFFA-ESPE
- Burneo, M. d. (2017). *Diseño de una cámara de enfriamiento y de un túnel de congelados empleando la cámara frigorífica de la “Planta piloto” - Tecnologías- ESPOL*. Guayaquil: ESPOL
- Paredes, I. d. (2015). *Diseño de un sistema de refrigeración con dos temperaturas de evaporación empleando un solo compresor*. Lima: PUCP
- Mero, J., & Zambrano, C. d. (2012). *Diseño y construcción de un banco de pruebas para un sistema de refrigeración por compresión de vapor de IHP de capacidad, usando refrigerante R404A para proceso de carga, descarga, recuperación de refrigerante del sistema y simulación de fallas para el laboratorio de conversión de energía del D.E.C.E.M.* Sangolquí: ESPE
- Balladares, L., & Saeteros, D. d. (2016). *Implementación de un sistema de adquisición de datos y pruebas de funcionamiento de un banco dinamométrico*. Riobamba: ESPOCH
- Constituyente, A. (2008). *Constitución de la República del Ecuador*. Quito.

Arnabat, I. (2015). *Funcionamiento de la bomba de calor para calefacción y agua caliente. Calor y Frio*

Que es refrigeración. <http://rsilvera-utp-fim-refrigeracion.blogspot.com/2015/07/que-es-refrigeracion.html>

Partes y repuestos. <https://iprpartesyrepuestos.com/producto/embraco-compresor-r290/>

Refrigeración, aire acondicionado & electricidad.
<https://refrielectriclasose.wordpress.com/informacion/condensador/>

Efinox. <https://www.efinox.com/evaporador-l-345mm-an-100mm-h-210mm-horeca-select-ggc2270-white>

Blog Quimo Básicos. <https://blogquimobasicos.com/2017/01/17/tubos-capilares-en-sistemas-de-refrigeracion-2/>

Duct Wrap. (2019). «DUCT WRAP - FIBRA DE VIDRIO - IPR Partes y Repuestos de refrigeración en Colombia»

ASHRAE, Hand book Fundamentals. (2017). Atlanta GA

ANEXO I: DATASHEET REFRIGERANTE

ANEXO II: CERTIFICADOS DE CALIBRACIÓN

ANEXO III: GUIA DE PRÁCTICA