



Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Ingeniería Mecánica

**MONTAJE DE EQUIPO DE REFRIGERACIÓN PARA EL AUMENTO DE CAPACIDAD DE  
ENFRIAMIENTO PARA *MIXERS* DE LÍNEA 1 Y 2 DE PRODUCCIÓN EN LA EMPRESA  
PANIFRESH, S.A.**

**Henry Joel Panteul Panteul**

Asesorado por el Ing. Carlos Aníbal Chicojay Coloma

Guatemala, julio de 2018

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**MONTAJE DE EQUIPO DE REFRIGERACIÓN PARA EL AUMENTO DE CAPACIDAD DE  
ENFRIAMIENTO PARA *MIXERS* DE LÍNEA 1 Y 2 DE PRODUCCIÓN EN LA EMPRESA  
PANIFRESH, S.A.**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR

**HENRY JOEL PANTEUL PANTEUL**

ASESORADO POR EL ING. CARLOS ANÍBAL CHICOJAY COLOMA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO MECÁNICO**

GUATEMALA, JULIO DE 2018

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. Angel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Oscar Humberto Galicia Nuñez
VOCAL V	Br. Carlos Enrique Gómez Donis
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADOR	Ing. Carlos Humberto Pérez Rodríguez
EXAMINADOR	Ing. Carlos Aníbal Chicojay Coloma
EXAMINADOR	Ing. Edwin Estuardo Sarceño Zepeda
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magali Herrera López

## HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

**MONTAJE DE EQUIPO DE REFRIGERACIÓN PARA EL AUMENTO DE CAPACIDAD DE ENFRIAMIENTO PARA MIXERS DE LÍNEA 1 Y 2 DE PRODUCCIÓN EN LA EMPRESA PANIFRESH, S.A.**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica, con fecha 18 de julio de 2017.



**Henry Joel Panteul Panteul**



Guatemala, 17 de mayo de 2018  
REF.EPS.DOC.403.05.18.

Inga. Christa Classon de Pinto  
Directora Unidad de EPS  
Facultad de Ingeniería  
Presente

Estimada Ingeniera Classon de Pinto.

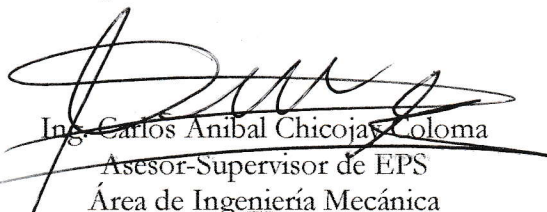
Por este medio atentamente le informo que como Asesor-Supervisor de la Práctica del Ejercicio Profesional Supervisado (E.P.S.), del estudiante universitario **Henry Joel Panteul Panteul** de la Carrera de Ingeniería Mecánica, con carné No. 201213268, procedí a revisar el informe final, cuyo título es **MONTAJE DE EQUIPO DE REFRIGERACIÓN PARA EL AUMENTO DE CAPACIDAD DE ENFRIAMIENTO PARA MIXERS DE LÍNEA 1 Y 2 DE PRODUCCIÓN EN LA EMPRESA PANIFRESH, S.A.**

En tal virtud, **LO DOY POR APROBADO**, solicitándole darle el trámite respectivo.

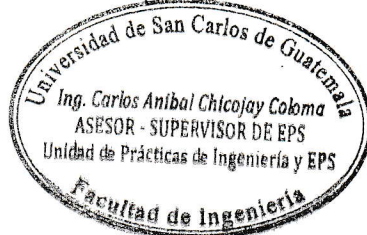
Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,

"Id y Enseñad a Todos"

  
Ing. Carlos Anibal Chicojay Coloma  
Asesor-Supervisor de EPS  
Área de Ingeniería Mecánica

c.c. Archivo  
CACC/ra





Guatemala, 17 de mayo de 2018  
REF.EPS.D.187.05.18

Ing. Carlos Roberto Pérez Rodríguez  
Director Escuela de Ingeniería Mecánica  
Facultad de Ingeniería  
Presente

Estimado Ingeniero Pérez Rodríguez:

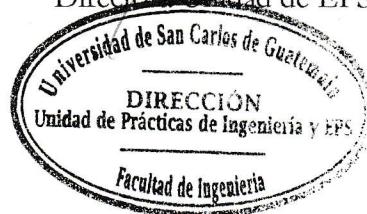
Por este medio atentamente le envío el informe final correspondiente a la práctica del Ejercicio Profesional Supervisado, (E.P.S) titulado: **MONTAJE DE EQUIPO DE REFRIGERACIÓN PARA EL AUMENTO DE CAPACIDAD DE ENFRIAMIENTO PARA MIXERS DE LÍNEA 1 Y 2 DE PRODUCCIÓN EN LA EMPRESA PANIFRESH, S.A.**, que fue desarrollado por el estudiante universitario **Henry Joel Panteul Panteul** quien fue debidamente asesorado y supervisado por el Ingeniero Carlos Anibal Chicojay Coloma.

Por lo que habiendo cumplido con los objetivos y requisitos de ley del referido trabajo y existiendo la aprobación del mismo por parte del Asesor - Supervisor de EPS, en mi calidad de Directora apruebo su contenido solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,  
"Id y Enseñad a Todos"

  
Inga. Christa Classon de Pinto  
Directora Unidad de EPS



CCdP/ra



**USAC**

TRICENTENARIA

Universidad de San Carlos de Guatemala

Facultad de Ingeniería

Escuela de Ingeniería Mecánica

Ref.E.I.M.189.2018

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica, de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor-Supervisor y del Director de la Unidad de EPS, al trabajo de graduación titulado: **MONTAJE DE EQUIPO DE REFRIGERACION PARA EL AUMENTO DE CAPACIDAD DE ENFRIAMIENTO PARA MIXERS DE LÍNEA 1 Y 2 DE PRODUCCIÓN EN LA EMPRESA PANIFRESH, S.A.** del estudiante **Henry Joel Panteul Panteul**, CUI No. **2316145940409**, Reg. Académico No. **201213268** y luego de haberlo revisado en su totalidad, procede a la autorización del mismo.

*"Id y Enseñad a Todos"*

  
Ing. Julio César Campos Paiz  
Director  
Escuela de Ingeniería Mecánica



Guatemala, julio de 2018

/aej



Universidad de San Carlos  
de Guatemala

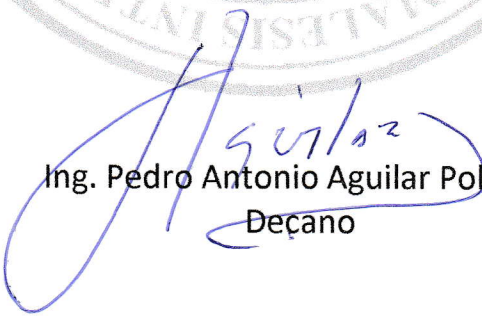


Facultad de Ingeniería  
Decanato

DTG. 236.2018

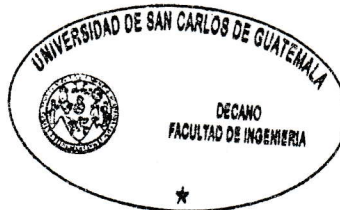
El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica, al Trabajo de Graduación titulado: **MONTAJE DE EQUIPO DE REFRIGERACIÓN PARA EL AUMENTO DE CAPACIDAD DE ENFRIAMIENTO PARA MIXERS DE LÍNEA 1 Y 2 DE PRODUCCIÓN EN LA EMPRESA PANIFRESH, S. A.**, presentado por el estudiante universitario: **Henry Joel Panteul Panteul**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

  
Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco  
Decano

Guatemala, julio de 2018

/gdech





## **ACTO QUE DEDICO A:**

- Dios** Por ser la luz en mi camino y por colocar a personas de gran valor en mi vida.
- Mis padres** Por su apoyo incondicional, cariño y sacrificio que me brindaron durante mi vida, gracias por sus consejos y benevolencia.
- Mis hermanos** Yakeli, David, Edwin y Karina Panteul Panteul por ser parte importante de mi vida, por el cariño y ayuda que me brindaron.
- Mis amigos** Javier Ramírez, Byron Pérez, Marlon Cardona, Renato Reyes, Lester Jerónimo, Pedro Chuquiej, Edwin García, por estar conmigo y compartir los mejores momentos de esta etapa.

## **AGRADECIMIENTOS A:**

**Universidad de San  
Carlos de Guatemala**

Por ser mi casa de estudios, aportar valores y formación a mi vida personal y profesional.

**Facultad de Ingeniería**

Por brindarme las herramientas para ser profesional y apoyarme a concluir mi sueño de ser ingeniero.

**Escuela de Ingeniería  
Mecánica**

A los catedráticos por compartir su experiencia y conocimiento hacia sus estudiantes.

**Panifresh, S.A.**

Por darme la oportunidad y las herramientas necesarias para realizar mi trabajo de graduación.

**Ing. Carlos Chicojay**

Por sus valiosos consejos y guía en la elaboración y el proceso de mi trabajo de graduación.

**Panadería La Bendición**

Por ser un pilar fundamental en mi carrera, gracias por el apoyo total hacia mí persona durante mi carrera universitaria.



	mantenimiento para el sistema de enfriamiento.....	9
2.1.4.	Análisis financiero del proyecto .....	9
2.1.4.1.	Presupuesto del proyecto.....	10
2.1.4.2.	Valor presente neto (VPN) .....	10
2.1.4.3.	Tasa interna de retorno .....	12
2.1.4.4.	Beneficio costo .....	13
2.2.	Componentes básicos de un sistema de refrigeración.....	14
2.2.1.	Ciclo de refrigeración .....	14
2.2.2.	Equipo de refrigeración .....	15
2.2.3.	Unidad compresora .....	17
2.2.4.	Intercambiadores de calor .....	19
2.2.5.	Unidad condensadora .....	20
2.2.6.	Dispositivos de expansión .....	21
2.2.7.	Refrigerantes.....	22
3.	FASE TÉCNICO PROFESIONAL .....	25
3.1.	Especificaciones técnicas de montaje de equipo de refrigeración .....	25
3.1.1.	Especificaciones técnicas para tubería de refrigeración .....	25
3.1.2.	Especificaciones técnicas para tubería de agua fría .....	28
3.1.3.	Factores de instalación tubería y accesorios.....	31
3.1.4.	Factores de instalación intercambiadores de calor .....	32
3.1.5.	Factores de instalación para bombas centrífugas ...	34
3.1.6.	Factores de diseño estructura metálica.....	34
3.2.	Diseño de montaje e instalación de equipo de refrigeración ....	37

3.2.1.	Selección tubería agua fría .....	37
3.2.2.	Diseño estructura metálica .....	40
3.2.3.	Esquema de sistema de enfriamiento.....	61
3.3.	Montaje de equipo de refrigeración .....	1
3.3.1.	Instalación de estructura metálica .....	63
3.3.2.	Montaje de tanques de almacenamiento de agua ..	65
3.3.3.	Montaje de bombas centrífugas.....	66
3.3.4.	Montaje de intercambiadores de calor.....	67
3.3.5.	Instalación de tuberías y accesorios.....	69
3.3.5.1.	Instalación de tuberías HG para el circuito de agua fría .....	69
3.3.5.2.	Instalación de tuberías de cobre para el circuito de refrigerante .....	71
3.3.6.	Instalaciones eléctricas.....	72
3.3.7.	Carga de refrigerante.....	74
3.3.8.	Carga de mezcla agua-propilenglicol.....	75
3.3.9.	Procedimiento de puesta en marcha .....	76
3.3.10.	Ahorro de energía con el sistema de enfriamiento actual .....	77
4.	FASE DOCENTE .....	81
4.1.	Presentación de avances y resultado del montaje final del equipo de refrigeración .....	81
4.2.	Información de las mejoras en costos de producción .....	81
4.3.	Capacitación sobre las actividades básicas de mantenimiento .....	82
	CONCLUSIONES .....	85
	RECOMENDACIONES .....	87

BIBLIOGRAFÍA.....89  
ANEXOS.....89



## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1.	Mapa de ubicación de la empresa Panifresh, S.A.....	2
2.	Planificación del montaje del proyecto .....	7
3.	Diagrama p-h para ciclo de refrigeración por compresión de vapor .....	15
4.	Esquema de los componentes básicos del ciclo de refrigeración .....	17
5.	Sifón en el conducto de descarga .....	26
6.	Bucle y acumulador en la salida del evaporador .....	27
7.	Pérdidas por rozamiento en los sistemas cerrados para tubería de acero .....	30
8.	Carga tributaria en losa cuadrada .....	36
9.	Carga tributaria de una losa rectangular .....	36
10.	Cálculo de diámetro de tubería de acero .....	39
11.	Esquema estructura metálica.....	40
12.	Marco estructural para tanque de agua.....	42
13.	Diagrama de cuerpo libre viga CD .....	42
14.	Diagrama de cuerpo libre viga AB.....	44
15.	Diagrama de cuerpo libre para la viga FB .....	45
16.	Esquema del segmento estructural.....	47
17.	Diagrama de cuerpo libre para la viga OP .....	47
18.	Diagrama de cuerpo libre viga IJ.....	49
19.	Diagrama de cuerpo libre viga LK .....	50
20.	Diagrama de cuerpo libre viga GIK .....	52
21.	Esquema del sistema de enfriamiento .....	62
22.	Montaje de estructura metálica .....	63

23.	Montaje de tanques de almacenamiento de agua .....	65
24.	Instalación de bombas centrífugas .....	66
25.	Instalación de intercambiadores de calor.....	67
26.	Instalación y conexión de tubería HG .....	69
27.	Instalación y conexión de tubería de cobre.....	71
28.	Panel de control del sistema eléctrico.....	73
29.	Carga de vapor refrigerante por el lado de succión .....	75
30.	Sistema de enfriamiento en marcha .....	77
31.	Comparación de consumo eléctrico entre el sistema de enfriamiento anterior con el actual.....	78
32.	Comparación de consumo de hielo diario entre el sistema de enfriamiento anterior con el actual.....	79

## TABLAS

I.	Presupuesto del proyecto .....	10
II.	VPN de ingresos y egresos durante la vida del proyecto.....	13
III.	Materiales de tuberías para varios servicios .....	28
IV.	Velocidad recomendable de agua.....	29
V.	Espesor mínimo de insulación para tubería.....	31
VI.	Separación entre soportes para tubería de cobre.....	32
VII.	Separación entre soportes para tubería de acero.....	32
VIII.	Límites para la conexión de cargas durante la instalación.....	33
IX.	Datos para selección de diámetro de tubería .....	38
X.	Dato de las cargas involucradas en la estructura .....	41
XI.	Dato de las cargas involucradas en la estructura. ....	46
XII.	Perfiles seleccionados para la estructura .....	55
XIII.	Propiedades tubo de sección cuadrada.....	56
XIV.	Valores de K para la longitud efectiva.....	58

XV.	Comparación de consumo de energía y agua entre sistemas de enfriamiento .....	78
XVI.	Comparación de costos entre el sistema de enfriamiento actual y el sistema anterior.....	82
XVII.	Actividades básicas de mantenimiento .....	82



## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
<b>HP</b>	Caballos de potencia
$\sigma$	Esfuerzo mecánico
<b>FPS</b>	Franklin Pump System
<b>GPM</b>	Galones por minuto
<b>°C</b>	Grados centígrados
<b>HG</b>	Hierro galvanizado
<b>Kg</b>	Kilogramo
<b>KW</b>	Kilovatios potencia eléctrica
$\geq$	Mayor o igual que
<b>m</b>	Metro
<b>m<sup>3</sup>/h</b>	Metro cúbico por hora
<b>m c.a.</b>	Metros de columna de agua
<b>m/s</b>	Metros sobre segundo
<b>mm</b>	Milímetros
<b>S</b>	Módulo elástico resistente
<b>N</b>	Newton
<b>%</b>	Porcentaje
<b>“</b>	Pulgadas
<b>Q</b>	Quetzal
<b>TR</b>	Toneladas de refrigeración





## GLOSARIO

<b>Cooler</b>	Es un sistema utilizado para enfriar pan por medio de aire ambiente o forzado.
<b>Hierro negro</b>	Es un tipo de acero básico que tiene una apariencia oscura debido a que no sufre ningún tipo de tratamiento.
<b>Metro de columna de agua</b>	Es una unidad de presión que equivale a la presión ejercida por una columna de un metro de agua sobre la superficie terrestre.
<b>Mixer</b>	Es un máquina que se utiliza para mezclar y amasar cualquier tipo de masa.
<b>Proofer</b>	Es un sistema que se utiliza para fermentar pan, variando la temperatura y humedad del ambiente.
<b>Propilenglicol</b>	Es un compuesto químico utilizado en refrigeración para disminuir la temperatura de congelación del agua u algún otro líquido.
<b>Tonelada de refrigeración</b>	Es una unidad de medida utilizada en refrigeración que representa la cantidad de energía absorbida para convertir 2 000 lb de hielo en agua en 24 horas.



## RESUMEN

El presente trabajo consiste en el montaje de un sistema de enfriamiento de dos etapas para dos *mixers* en la empresa Panifresh, S.A., dentro del contenido se especifican los principios de funcionamiento del sistema, las partes que lo componen, así como los criterios a tener en cuenta para la selección de materiales, tuberías y accesorios, además de especificar la manera correcta de realizar el montaje de los equipos.

El mecanismo de funcionamiento del sistema de enfriamiento se basa esencialmente en la compresión de vapor refrigerante en la primera etapa y con la mezcla de agua–glicol como segunda etapa, esta mezcla es la encargada de absorber el calor generado en las amasadoras.

Para el sistema de enfriamiento se realizó el montaje de los equipos que componen el sistema que son: dos tanques de 2 500 litros de capacidad, dos bombas centrifugas de 15 y 10 HP, dos intercambiadores de calor de 15 TR cada uno, la instalación de una estructura metálica como base del sistema y los circuitos de tuberías para el transporte del fluido de trabajo.

El objetivo del montaje de este sistema es la de obtener una mayor capacidad de enfriamiento que el sistema anteriormente utilizado en la empresa, y esto se logra con el aumento de capacidad del equipo.



# OBJETIVOS

## General

Montar el equipo de refrigeración para el aumento de capacidad de enfriamiento para *mixers* de línea 1 y 2 de producción en Panifresh, S.A.

## Específicos:

1. Realizar un estudio económico en el cual se determine la viabilidad del proyecto y rendimiento de costos a largo plazo.
2. Diseñar y esquematizar la distribución de los sistemas que componen todo el equipo de enfriamiento, como sistema eléctrico, refrigeración, agua y aire comprimido.
3. Diseño y cálculo de la tubería para distribución de agua fría.
4. Diseño e instalación de una estructura metálica como base para la instalación del equipo de enfriamiento.
5. Determinar el fluido de trabajo con la capacidad de alcanzar la temperatura de  $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$  para el intercambio de calor entre el fluido y la masa.





## INTRODUCCIÓN

El montaje del sistema de enfriamiento se realizó en el área de producción de la empresa Panifresh, S.A., esta es una empresa guatemalteca que se dedica a la elaboración de productos de panadería y pastelería distribuyendo generalmente su producto a restaurantes de comida rápida.

Este proyecto consistió en diseñar, planificar y ejecutar el montaje de un sistema de enfriamiento de dos etapas que tienen como propósito absorber el calor generado por dos *mixers*.

La empresa ya contaba con un sistema de enfriamiento para *mixers*, sin embargo, este sistema no cumplía con la capacidad de enfriamiento necesario para mantener la temperatura ideal, entonces utilizaban hielo para enfriar las masas en las *mixers*. Debido a este motivo se vieron en la necesidad de realizar el montaje de un sistema de mayor capacidad de enfriamiento que permitiera tener una temperatura ideal y una disminución de uso de hielo.

El presente proyecto de montaje se desarrolló en cuatro capítulos, en el primero se abordan conceptos generales de la empresa. En el segundo capítulo se compone de la fase del reconocimiento de la planta y planificación del montaje incluyendo el presupuesto utilizado, además se indica el funcionamiento del sistema de enfriamiento y sus componentes. En el tercer capítulo se explica la fase de la ejecución del montaje, en ella se incluye los criterios de selección de materiales, accesorios y equipos, así como las especificaciones y procesos de montaje de cada componente. En el cuarto y

último capítulo se enfoca en recabar los resultados que se obtuvieron del proyecto, como el ahorro de energía y ahorro de hielo.

El proceso de montaje del equipo inicio con la fabricación e instalación de una estructura metálica que es la base que soporta el sistema de enfriamiento. Se continuó con el montaje de dos tanques de 2 500 m de capacidad para el almacenamiento de agua fría y agua de retorno. Para la distribución del fluido de trabajo en el sistema se realizó el montaje de dos bombas centrifugas, ubicándolas en la salida de cada tanque de agua. El mecanismo que conecta las dos etapas del sistema es el intercambiador de calor, en este caso se montaron dos intercambiadores encargados de rechazar el calor del agua de retorno hacia el refrigerante sin que estos entren en contacto. La última parte consistió la instalación de los trayectos de tubería que conectan y distribuyen el fluido de todo el sistema.

# 1. GENERALIDADES

## 1.1. Descripción de la empresa

Panifresh es una empresa guatemalteca dedicada a la producción de alimentos en el área de panadería y pastelería. Se dedican a elaborar productos para restaurantes de comida rápida como *McDonald's*, *Quiznos*, *KFC*, entre otras, proveen producto para Guatemala y gran parte de Latinoamérica. La productividad y eficiencia es una de sus esenciales virtudes, ya que cuentan con 8 líneas de producción completamente automatizadas. Esto les permite cumplir con la calidad y exigencias de sus clientes.

La empresa Panifresh, S.A., está ubicada en la avenida Mariscal 21-80 zona 11 de la ciudad de Guatemala.

Figura 1. **Mapa de ubicación de la empresa Panifresh, S.A.**



Fuente: Google Maps. [https://www.google.com.gt/maps/place/Pani+Fresh/@14.60364,-90.5558483,15z/data=!4m2!3m1!1s0x0:0x27b90f1c43d8da8c?sa=X&ved=0ahUKEwj2\\_ZLV5JXZAhUBrVkkHcawDmYQ\\_BllgQEwCw](https://www.google.com.gt/maps/place/Pani+Fresh/@14.60364,-90.5558483,15z/data=!4m2!3m1!1s0x0:0x27b90f1c43d8da8c?sa=X&ved=0ahUKEwj2_ZLV5JXZAhUBrVkkHcawDmYQ_BllgQEwCw). Consulta: 15 de enero de 2018.

## 1.2. Misión

Estar comprometidos a dar y ofrecer productos y servicios con un 100 % de calidad y excelencia a todos nuestros clientes internos y externos, a través del mejoramiento continuo y la vivencia personal de nuestros valores, contribuyendo así al desarrollo integral del país.

## 1.3. Visión

Hacer alianzas estratégicas para reinventar con pasión el bienestar de la empresa.

#### **1.4. Historia**

Panifresh se fundó en 1992 con el objetivo de producir pan para los restaurantes de comida rápida, principalmente la cadena de *McDonald's*.

En 1996 crean una alianza con la empresa *Fresh Start Bakeries*, esta empresa era uno de los proveedores de pan para McDonald's en esa época. Este convenio les permite abastecer a los más grandes restaurantes de la región.

En sus inicios se contaba únicamente con 2 líneas de producción para pan hamburguesa y otras variantes, en 2003 se implementa una nueva línea encargada de producir *english muffin*, esto les permitió aumentar su cartera de productos para los clientes más importantes en ese momento.

Siguiendo la misma línea de innovación, se implementa una línea de pastelería en 2006 y a eso le siguió la línea de tortillas de harina en 2007. El crecimiento exponencial de la empresa les permitió abastecer por sus propios medios al segmento de comida rápida de la región, dejando atrás la alianza formada con *Fresh Start Bakeries*.

Actualmente la planta contiene 9 líneas de producción completamente automatizadas, la eficiencia de producción es el resultado de esta inversión, generando, así un gran nivel de competitividad que les permite ser proveedores a empresas de toda América Latina.

## 1.5. Procesos de producción

El proceso de elaboración de pan se divide en 5 etapas, las cuales involucra: amasado, formado, fermentación, horneado y enfriamiento. Después de esta última etapa el producto ya está listo para su empaque y distribución.

El proceso inicia con la elaboración de la esponja que representa cierto porcentaje de la masa final, esta masa después del mezclado se mantiene en reposo durante 2 horas a temperatura ambiente, la masa esta lista cuando dobla su volumen. En la *mixer* se mezclan los ingredientes y la esponja, esta mezcla es amasada durante 10 minutos y debe tener una temperatura final entre 21 y 23 °C. Posteriormente la masa es bombeada hacia una extrusora que la dosifica con el peso específico y la envía hacia una banda boleadora la cual compacta la masa en pequeñas bolitas. Luego pasa por una fermentadora durante 5 minutos, para que las bolas de masa reposen. A continuación la masa se introduce por el *proofer* que es la fermentación final, en esta fase se controla esencialmente la temperatura y la humedad del ambiente para el aumento del volumen del pan.

Posteriormente que la masa haya doblado su volumen, el pan es llevado hacia un horno tipo túnel, la temperatura y tiempo depende del tipo de producto. Después de esta parte pasa directo al *cooler*, este equipo es el encargado de enfriar el pan para ser empacado y distribuido a los clientes.



## **2. FASE DE INVESTIGACIÓN**

### **2.1. Situación actual**

A continuación se describe la situación actual de la empresa enfocándose en describir el problema, la propuesta de solución y la planeación de las fases del proyecto.

#### **2.1.1. Descripción del problema**

Actualmente se utiliza un sistema de enfriamiento por agua fría para mantener la temperatura entre 21 y 23 °C de las masas que se encuentran en el tazón de amasado.

El sistema actual de enfriamiento no es totalmente eficaz, debido a que necesita complementarse con el uso de hielo mezclado directamente a las masas para mantener la temperatura ideal.

El problema se refleja en los costos de producción necesarios para la utilización y el almacenamiento de hielo. Actualmente se utilizan 1 736 125 libras de hielo anualmente, que representan un gasto de Q. 833 000 al año.

#### **2.1.2. Propuesta de solución**

Para la disminución de uso de hielo se necesita aumentar el rendimiento del sistema de enfriamiento, para esto el nuevo sistema debe mantener el fluido de trabajo a -25 °C, permitiendo una mayor absorción de calor. Utilizando agua

fría en el sistema para la absorción de calor en las masas, se tendrá como objetivo disminuir hasta un 42 % en consumo de hielo. Esto reflejaría un ahorro en costos de Q. 349 860 por año.

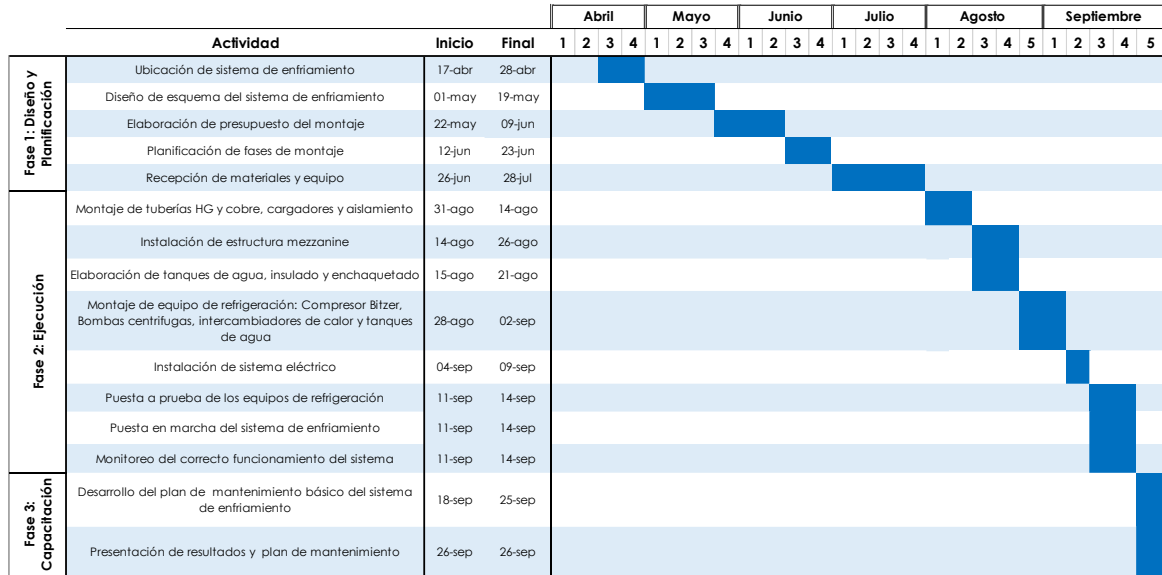
Para lograr este objetivo se debió aumentar la capacidad de enfriamiento, a través del montaje de un sistema de enfriamiento de dos etapas que incorporó un compresor *Bitzer* de 50 TR, dos intercambiadores de calor de 15 TR, dos bombas centrífugas para la distribución y retorno del fluido.

El montaje del proyecto contribuyó a la disminución de gastos de producción, la independencia externa para el enfriamiento de las masas por uso de hielo y el aprovechamiento máximo del sistema de enfriamiento.

### **2.1.3. Planeación del proyecto**

En este apartado se elaboró el plan de acción del proyecto, en el cual se estableció el cronograma de actividades de cada fase, se determinó la prioridad de las actividades y la duración de cada una. Este plan se realizó por medio de un diagrama de Gantt, el cual se observa en la figura 2.

**Figura 2. Planificación del montaje del proyecto**



Fuente: elaboración propia.

**2.1.3.1. Fase 1: diseño y planificación del montaje**

En esta parte se realiza el esquema del sistema de enfriamiento, además se propone el cronograma y planificación de las actividades del montaje. El proceso de esta fase se describe a continuación:

- Ubicación del sistema de enfriamiento en la planta, teniendo en cuenta que las tuberías recorran la menor distancia posible, y que no existan demasiadas curvas en el trayecto. Además que el espacio sea adecuado para brindar mantenimiento al equipo.
- Se determina el equipo y materiales necesarios para el sistema de enfriamiento, en estos se incluyen los tramos de tubería, accesorios, aislante, equipos de refrigeración.

- Se realiza el presupuesto de costos de materiales, equipos de refrigeración y mano de obra.
- Se determina el plan de actividades para el montaje de proyecto, teniendo en cuenta disponibilidad con tiempo de producción, y jornadas hábiles de trabajo, además de los materiales y equipos disponibles para la fecha establecida.

### **2.1.3.2. Fase 2: ejecución del montaje**

En esta fase se ejecuta el montaje del equipo y sistemas de distribución, a continuación se describe el proceso de esta fase:

- El proceso inicia con el montaje de tuberías, en esta parte se realiza la instalación de los sujetadores de tuberías, la instalación del aislante y montaje de las tuberías.
- Se realiza la instalación de la estructura metálica para el sistema de enfriamiento.
- Ya teniendo la estructura se procede a montar el equipo de refrigeración, las bombas centrífugas, intercambiadores de calor y tanques de agua. Se realiza la conexión de la tubería con los equipos.
- Se realiza la instalación del sistema eléctrico de los equipos de refrigeración.
- Se realiza la prueba de funcionamiento de cada equipo. Y se pone en marcha el sistema de enfriamiento.

### **2.1.3.3. Fase 3: presentación de resultados y elaboración de plan de mantenimiento para el sistema de enfriamiento**

En esta fase se presentan los resultados obtenidos con el montaje del equipo de refrigeración. Se presenta los resultados de la temperatura del nuevo sistema y el resultado de los costos por el uso de hielo. Además se presenta el plan básico de mantenimiento del sistema de enfriamiento.

- Se presenta los resultados del funcionamiento obtenidos del sistema de enfriamiento montado, además de la temperatura actual de funcionamiento.
- Se presenta los resultados de los costos pronosticados por uso de hielo, utilizando el sistema de enfriamiento montado.
- Se presenta el plan de actividades básicas de mantenimiento para el sistema de enfriamiento.

### **2.1.4. Análisis financiero del proyecto**

A continuación se describe el estado financiero del proyecto, en el que se incluye el presupuesto del equipo, materiales y mano de obra del montaje del sistema y se determina la viabilidad económica del sistema con una proyección de vida de 10 años.

### 2.1.4.1. Presupuesto del proyecto

Para el desarrollo del proyecto se debió adquirir equipo y accesorios nuevos para el sistema de enfriamiento, en la tabla I se describe el equipo necesario y la inversión para el montaje de sistema.

Tabla I. Presupuesto del proyecto

Familia de gastos	Tarea de proyecto	Cantidad	Costo
Activos	Intercambiadores de calor de 15 TR	2	Q 58 556
	Bomba centrífuga 15 HP	1	Q 14 966
	Bomba centrífuga 10 HP	1	Q 13 459
	Tanques de agua 2 500 litros	2	Q 20 000
Instalaciones Mecánicas y eléctricas	Tuberías y accesorios HG	250 m	Q 25 596
	Tuberías y accesorios cobre	150 m	Q 27 511
	Aislante para tubería	400 m	Q 33 577
	Materiales estructura metálica	1	Q 15 000
	Materiales eléctricos	1	Q 50 000
	Cilindros de refrigerante 507	10	Q 6 469
	Toneles de propilenglicol	5	Q 18 150
Mano de obra	Mano de obra estructural	1	Q 18 000
	Mano de obra sistema de refrigeración	1	Q 150 000
		<b>Total</b>	<b>Q 451 284</b>

Fuente: Panifresh, S.A.

### 2.1.4.2. Valor presente neto (VPN)

El valor presente neto es una sencilla herramienta que permite determinar el rendimiento que se puede obtener con la realización del proyecto. A continuación se describe la ecuación que representa el VPN.

$$VPN = -S_0 + \sum_{t=1}^n \frac{S_t}{(1+i)^t}$$

Donde:

VPN = valor presente neto

$S_0$  = inversión inicial

t = número de periodos de vida del proyecto

$S_t$  = flujo efectivo en el periodo t

i = tasa interna de retorno

- Cálculo de VPN

En el proyecto se invirtió un total de Q. 451 284. La vida útil del proyecto está estimada para 10 años. Durante ese periodo se pretende obtener ingresos por ahorro de uso de hielo del 42 % que representan Q. 349 860 anuales y teniendo egresos de Q. 150 000 anual en mantenimiento y funcionamiento del sistema. Con base en esto se obtiene un flujo de efectivo neto de Q. 199 860 anuales durante los 10 años de vida del proyecto. La empresa desea que la tasa interna de retorno sea rentable para el 20 %.

$$VPN = -451\,284 + \sum_{t=1}^{10} \frac{199\,860}{(1+0,20)^t}$$

$$VPN = 386\,623$$

Debido a que el valor de VPN es mayor a cero, el proyecto es viable para una tasa del 20 %.

### 2.1.4.3. Tasa interna de retorno

La tasa interna de retorno es el rendimiento que se puede obtener del proyecto el cual se representa en porcentaje, aquí se calcula el TIR máximo que se puede obtener con este proyecto. El cálculo se realiza por medio de interpolación entre dos valores conocidos. La ecuación de TIR es la siguiente:

$$TIR = i_1 + (i_2 - i_1) * \frac{VPN_1}{VPN_1 - VPN_2}$$

Donde: TIR es la tasa interna de retorno,  $i_1$  e  $i_2$ , son tasas arbitrarias y  $VPN_1$  y  $VPN_2$  son el valor presente neto de cada tasa.

- Cálculo de TIR máximo:

Para determinar el valor máximo se necesitan dos valores arbitrarios de TIR y los VPN de cada valor, los cuales son:

$$i_1 = 20 \% ; VPN_1 = 386\ 623$$

$$i_2 = 50 \% ; VPN_2 = -58\ 495$$

$$TIR = 0,2 + (0,5 - 0,2) * \frac{386\ 623}{386\ 623 - (-58\ 495)}$$

$$TIR = 46 \%$$

Este resultado indica el rendimiento máximo de 46 % en el cual se pueden obtener beneficios del proyecto. Si se desea aumentar el rendimiento arriba de este valor los números serán negativos, es decir, habrá pérdidas en vez de beneficios.



#### 2.1.4.4. Beneficio costo

El valor beneficio costo indica la relación del beneficio obtenido por cada quetzal invertido. Esta ecuación es de fácil aplicación y se puede determinar a partir de los VPN de los ingresos y egresos obtenidos durante la vida del proyecto. La ecuación que representa el beneficio costo es la siguiente:

$$BC = \frac{VPN_{INGRESOS}}{VPN_{EGRESOS}}$$

Donde:

BC = beneficio costo

VPN<sub>ingresos</sub> = vpn de los ingresos en el periodo establecido

VPN<sub>egresos</sub> = vpn de los egresos establecidos

- Cálculo del beneficio costo:

Tabla II. **VPN de ingresos y egresos durante la vida del proyecto**

	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
<b>Ingresos</b>		Q 349 860	Q 349 860	Q 349 860	Q 349 860	Q 349 860
<b>Egresos</b>	Q 451 284	Q 150 000	Q 150 000	Q 150 000	Q 150 000	Q 150 000

	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10	VPN
<b>Ingresos</b>	Q 349 860	Q 349 860	Q 349 860	Q 349 860	Q 349 860	Q 1 466 778
<b>Egresos</b>	Q 150 000	Q 150 000	Q 150 000	Q 150 000	Q 150 000	Q 1 080 154

Fuente: elaboración propia.

$$BC = \frac{1\ 466\ 778}{1\ 080\ 154}$$

$$BC = 1,36$$

El resultado indica que es un proyecto viable, debido a que BC es mayor a 1, es decir, por cada Q 1,00 invertido prevemos recibir Q 1,36.

## **2.2. Componentes básicos de un sistema de refrigeración**

A continuación se describe la teoría de funcionamiento de un sistema de refrigeración, iniciando con el ciclo térmico de refrigeración y la descripción de sus componentes.

### **2.2.1. Ciclo de refrigeración**

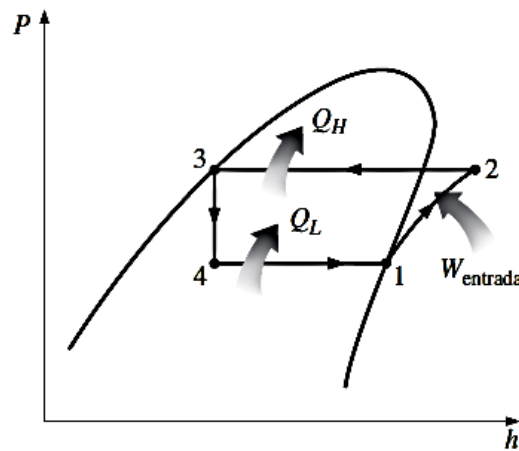
El ciclo por compresión de vapor es un ciclo termodinámico que tiene aplicaciones en el área de refrigeración y aire acondicionado. Este ciclo es una variante del ciclo invertido de Carnot, la cual consta de 4 procesos térmicos, estos procesos son:

- Compresión isentrópica
- Rechazo de calor a presión constante
- Estrangulamiento de líquido
- Absorción de calor a presión constante

En la figura 3 se observa el diagrama del ciclo de refrigeración. El proceso inicia en 1-2 con la compresión de vapor saturado, el cual lleva el vapor hasta vapor sobrecalentado. Posteriormente en 2-3 mediante el condensador, se procede a rechazar calor hacia un medio de menor temperatura, este rechazo permite cambiar de estado de vapor a líquido saturado. En el proceso de 3-4 el líquido saturado se estrangula mediante la válvula de expansión, este

dispositivo disminuye la presión del líquido llevándolo a bajas temperaturas que sean menores a las del ambiente a enfriar. En el último proceso de 4-1 el fluido hace una transición de vapor húmedo a vapor saturado, esto se logra absorbiendo calor del medio a enfriar mediante el evaporador, así el fluido regresa al estado de vapor saturado y completa su ciclo.

Figura 3. **Diagrama P-h para ciclo de refrigeración por compresión de vapor**



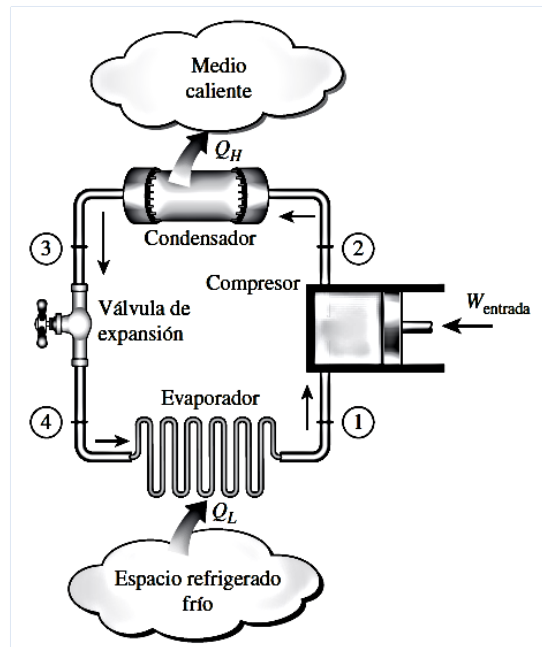
Fuente: CENGEL, Yunes. *Termodinámica*. p. 620.

### 2.2.2. Equipo de refrigeración

El sistema de refrigeración se compone de 4 equipos básicos, los cuales permiten realizar los procesos del ciclo, en la figura 4 se observa el componente que se utiliza en cada proceso térmico. A continuación se describen los 4 componentes básicos y su clasificación:

- Compresores
  - Herméticos
  - Semiherméticos
  - Abiertos
  
- Condensador
  - Estáticos
  - Dinámicos
  - Evaporativos
  
- Dispositivo de expansión
  - Flotadores del lado de alta y baja presión
  - Tubo capilar
  - Válvula de expansión termostática, automática y eléctrica
  
- Evaporador
  - Estáticos
  - Dinámicos (llevan un ventilador)
  - Expansión directa
  - Expansión indirecta

Figura 4. **Esquema de los componentes básicos del ciclo de refrigeración**



Fuente: CENGEL, Yunes. *Termodinámica*. p. 619.

### 2.2.3. Unidad compresora

El compresor permite elevar la presión y disminuir el volumen de algún fluido para ser transportado. En refrigeración cumple dos funciones esenciales, la primera es la elevar la presión del gas refrigerante de lado de aspiración hacia el lado de descarga. Al elevar la presión se aumenta la temperatura del gas, si se obtiene una mayor diferencia de temperatura entre el refrigerante y el medio ambiente, se tendrá una mayor transferencia de calor. La otra función que cumple el compresor es la de bombear el refrigerante en todo el sistema.

Existen diferentes tipos de compresores, en refrigeración los más utilizados son: compresor alternativo, de tornillos y de espirales. La elección del compresor va a depender de la aplicación y potencia frigorífica, a continuación se detallan las características y funcionamiento de cada uno.

- **Compresor alternativo:** este compresor está compuesto por un pistón alojado en un cilindro que va alternando sus movimientos. El pistón está conectado a un cigüeñal que dirige sus movimientos. El compresor inicia el ciclo cuando se abren las válvulas de admisión y permite la entrada del refrigerante debido al vacío que se crea cuando el pistón baja hacia el punto muerto inferior, en este punto las válvulas se cierran y el pistón realiza la carrera hacia arriba comprimiendo el refrigerante. Cuando el pistón llega al punto muerto superior, las válvulas de escape se abren y deja salir el vapor refrigerante ya comprimido.

El compresor alternativo se utiliza en aplicaciones que tengan una capacidad de enfriamiento de 1 a 200 TR y 3,5 a 700 kW de potencia.

- **Compresor de espirales:** estos compresores están compuestos de dos espirales colocados uno contra el otro. El espiral interior es estacionario y en el centro de este se encuentra el ducto de descarga. El espiral exterior se encuentra en movimiento, que esta acoplado a un eje vertical que conecta el motor eléctrico. El espiral exterior tiene la singularidad de orbitar alrededor del espiral interior, dejando entre sí breves separaciones que van disminuyendo conforme se acerca al centro. El gas refrigerante ingresa por la parte exterior de los espirales en donde la distancia que separa los espirales es grande, conforme el gas se dirige al centro la distancia entre estos se va haciendo más pequeña, comprimiendo así el refrigerante. Cuando el refrigerante llega el centro,

este sale por el ducto de descarga, terminando así el ciclo de compresión.

El desempeño de estos compresores está orientado a capacidades pequeñas y medianas, pueden ser de 1 a 15 TR y de 3,5 a 53 kW de potencia.

- **Compresor de tornillos:** este compresor consiste en dos tornillos helicoidales colocados en un alojamiento. Uno de los tornillos hembra permanece estacionario, el tornillo macho esta acoplado al eje del motor el cual permite moverse respecto a su tornillo gemelo. El ducto de aspiración conduce el refrigerante hacia la parte inferior central de los tornillos, el vapor refrigerante es transportado a través de las hélices que hay entre los tornillos hasta llegar a la parte frontal de estos, conforme el refrigerante avanza el espacio entre los tornillos se hace más pequeña, de esa manera el refrigerante es comprimido y dirigido hacia el ducto de descarga. Durante el recorrido del refrigerante, se inyecta aceite lubricante a las partes mecánicas del compresor, este aceite se mezcla con el refrigerante hasta el evaporador, después de esa etapa el aceite se separa del refrigerante y retorna al cárter de aceite del compresor de tal manera utilizarlo nuevamente.

El desempeño del compresor de tornillo está orientado para capacidades grandes, puede ser de 150 TR y 527 kW de potencia.

#### **2.2.4. Intercambiadores de calor**

Los intercambiadores de calor son sistemas termodinámicos utilizados para la transferencia de calor de un fluido a otro, generalmente sin que estos puedan mezclarse. Los tipos de intercambiadores varían dependiendo del tipo

de fluido con el que se va a trabajar, por ejemplo, sistemas para el intercambio de calor de líquido-aire, líquido-líquido. En este trabajo se utilizará un intercambiador de calor de placas que funciona por el intercambio entre líquido-líquido.

Este sistema consta de un conjunto de placas corrugadas acopladas entre sí, entre cada placa se encuentra una junta de tal manera no exista fugas en el sistema. El conjunto de placas tiene en su diseño cuatro canales por los cuales circulan los fluidos, para el ingreso y salida respectivamente de los fluidos.

El funcionamiento del sistema consiste en la circulación a contraflujo de los dos fluidos a través de los canales, el fluido ingresa por el canal y entre cada placa el fluido baja por las aberturas producidas por la corrugación de la placa que genera turbulencia en el fluido, de esta manera la energía calorífica perdida por este fluido, es absorbida por el otro fluido paralelo a este. El número de placas depende de la magnitud del caudal y la diferencia de temperatura entre los fluidos de trabajo.

### **2.2.5. Unidad condensadora**

El condensador es un mecanismo térmico que se utiliza como intercambiador de calor, en el cual el fluido dentro del sistema en estado gaseoso rechaza el calor latente contenido hacia otro medio, de esta manera el gas se condensa y el fluido sale del sistema en estado líquido.

Los condensadores varían dependiendo del método de enfriamiento, en los sistemas de refrigeración generalmente hay dos tipos, los cuales son:



- Condensadores enfriados por agua
- Condensadores enfriados por aire

Los condensadores enfriados por agua están compuestos de un sistema de doble tubo, uno dentro de otro. En el tubo exterior fluye el gas refrigerante y en el tubo interior fluye agua. Por conducción y radiación, se intercambia el calor entre los fluidos, el agua contenida en el tubo absorbe el calor latente del gas refrigerante durante todo el circuito de tubería.

Los condensadores enfriados por aire se componen de un circuito de tubería donde fluye el gas refrigerante y un conjunto de ventiladores que conducen el calor rechazado por el gas hacia el aire del medio ambiente. El aire de los ventiladores se conduce en forma perpendicular a la tubería del refrigerante.

#### **2.2.6. Dispositivos de expansión**

Los dispositivos de expansión se utilizan para controlar el flujo de líquido refrigerante que entra al evaporador, además de utilizarse para disminuir la presión del líquido en una proporción de 60 a 1, generalmente.

En los sistemas de refrigeración se puede encontrar cuatro tipos de dispositivos de expansión, estos son:

- Flotador del lado de alta y baja presión
- Válvula de expansión termostática
- Válvula de expansión automática
- Tubo capilar

La válvula de expansión termostática es la de mayor aplicación en los sistemas de refrigeración. Esta válvula está compuesta por el cuerpo de la válvula, diafragma, bulbo sensor, un muelle y una aguja con asiento. La válvula controla el flujo de refrigerante a la entrada del evaporador. Este control del flujo es a través del grado de supercalor que indica el bulbo sensor, ubicada a la salida del evaporador. Dependiendo de la señal del bulbo la válvula se abre o cierra, permitiendo o restringiendo la salida del líquido refrigerante.

### **2.2.7. Refrigerantes**

Los refrigerantes son fluidos de trabajo para los sistemas de refrigeración y aire acondicionado. Tienen la función de absorber calor cuando están en estado líquido a baja temperatura y presión, y rechazan calor cuando se encuentran en estado gaseoso a temperaturas y presiones altas.

Las características de los refrigerantes determinan la aplicación de este en los sistemas de refrigeración, a continuación se enlistan las características más importantes a tomar en cuenta para su selección.

- Inflamabilidad y toxicidad
- Miscibilidad con aceite lubricante
- Potencia frigorífica
- Presión de condensación y evaporación

Los refrigerantes generalmente se dividen en 2 grupos, de origen orgánico e inorgánico, la clasificación depende del nivel de impacto a la capa de ozono.

- Orgánicos
  - CFC: halocarbono sin hidrógeno, que contiene cloro, flúor y carbono.
  - HCFC: halocarbono que contiene hidrogeno, cloro, flúor y carbono.
  - HFC: halocarbono que contiene hidrogeno, flúor y carbono.
  - PFC: halocarbono que contiene únicamente flúor y carbono.
  - HC: halocarbono que contiene hidrogeno y carbono.
  - Mezclas:
    - Azeotrópicas: mezcla refrigerantes cuyas fases vapor y líquido en equilibrio poseen la misma composición a una presión determinada.
    - Zeotrópicas: mezcla de refrigerantes cuyas fases vapor y líquido en equilibrio y cualquier presión poseen distinta composición.
- Inorgánicos: son sustancias puras como el amoniaco, agua, metanol. Estos refrigerantes no tienen producen daños a la capa de ozono.



### **3. FASE TÉCNICO PROFESIONAL**

#### **3.1. Especificaciones técnicas de montaje de equipo de refrigeración**

A continuación se describe el procedimiento para realizar el correcto montaje de los equipos utilizados en el sistema, utilizando como guía las especificaciones técnicas de los fabricantes.

##### **3.1.1. Especificaciones técnicas para tubería de refrigeración**

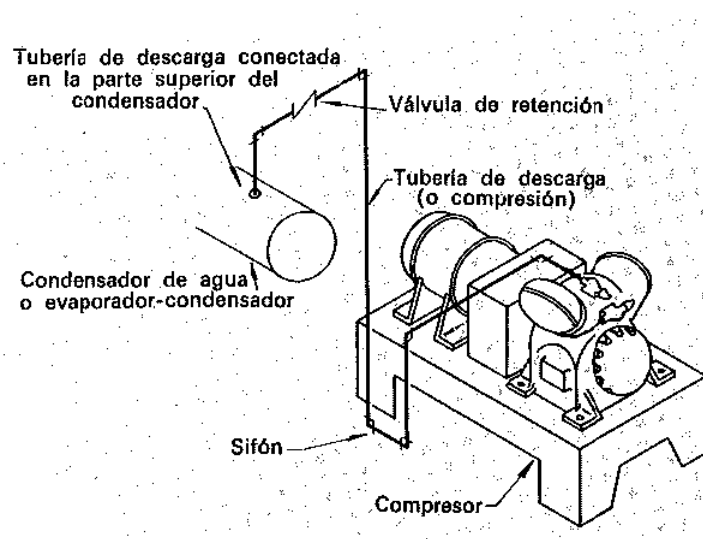
El sistema de tubería tiene como función ser un medio de transporte para el fluido refrigerante. En refrigeración y aire acondicionado los materiales más utilizados son de acero y cobre. Las tuberías de cobre son las de mayor aceptación y para estas aplicaciones son denominadas ACR (*Air Conditioning and Refrigeration*). La tubería de cobre viene en 4 tipos de presentaciones: las de tipo K son tamaño pesado, las de tipo L son de tamaño estándar, los de tipo M son de tamaño liviano. El tamaño de las tuberías ACR se mide por el diámetro exterior, en los 4 tipos de presentaciones el espesor de las tuberías tiene 1/8 de pulgada. Entonces una tubería de 2 pulgadas de diámetro interior, se denomina como una 2 1/8 de pulgada.

El sistema de tubería de refrigeración se divide en tres tipos de líneas: tubería de líquido, de succión y descarga. A continuación se describe las características de cada sistema de tubería.

- Línea de descarga: la tubería de descarga se encarga de conectar el fluido de la salida del compresor hacia la entrada del condensador.

Cuando el condensador se encuentra por encima del compresor, se debe interconectar un acumulador o sifón que normalmente se ubica por debajo de la salida del compresor, como se muestra en la figura 5. El sifón acumula el aceite y la condensación del gas refrigerante, de tal manera que no retorne a la culata del compresor. En el diseño de la línea de descarga, este es el factor más importante a tener en cuenta, debido a que puede producir daños severos al compresor. Las líneas horizontales deben tener una pendiente de  $\frac{1}{2}$ " a  $\frac{3}{4}$ " por 3 metros de longitud con el objeto de evitar el retorno de aceite.

Figura 5. **Sifón en el conducto de descarga**

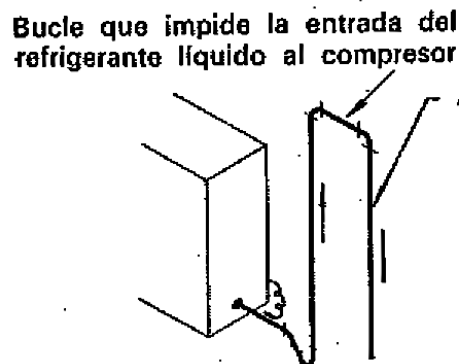


Fuente: WANG, Shan. *Handbook of Air Conditioning and refrigeration*. p. 3-72.

- Línea de succión: la línea de succión conecta el gas refrigerante de la salida del evaporador hacia la entrada del compresor. El diseño de esta línea es la de mayor complejidad, debido a que en esta parte se debe separar el aceite del gas refrigerante y conducirlo hacia el cárter del compresor. La tubería debe dimensionarse para que el aceite líquido sea

arrastrado por el gas refrigerante, esto se logra por medio de la velocidad del gas o con ayuda de la gravedad. El trayecto de la tubería de succión depende de la ubicación entre el evaporador y el compresor. Dado el caso en que el evaporador este por encima del compresor se debe interconectar un acumulador o sifón y un bucle. Como en la figura 6. De tal manera evitar que el líquido refrigerante llegue a la entrada del compresor. En el acumulador el líquido refrigerante eventualmente cambia de estado a vapor y fluye nuevamente en dirección del compresor.

Figura 6. **Bucle y acumulador en la salida del evaporador**



Fuente: WANG, Shan. *Handbook of Air Conditioning and refrigeration*. p. 3-69.

- Línea de líquido: la tubería de líquido conecta la salida del condensador hacia la válvula de expansión termostática y posteriormente hacia la entrada del evaporador. En este trayecto se mezcla el aceite con el refrigerante en estado líquido. El diámetro de la tubería debe dimensionarse de tal manera que existe una pérdida de carga de 2 °C como máximo. Tomando en cuenta este diseño se puede mitigar la vaporización parcial del refrigerante.

### 3.1.2. Especificaciones técnicas para tubería de agua fría

En el proyecto de sistemas de tuberías de agua, se pueden diferenciar dos tipos de sistemas, abierto y cerrado. En el primero el agua circula pasando por el recinto a enfriar, absorbiendo calor y luego es descargada, posteriormente se renueva el agua para empezar de nuevo el ciclo. En el segundo, el agua circula en un circuito cerrado, completando el ciclo de absorción y rechazo de calor, es decir el agua no se renueva.

En el diseño de la tubería los primeros factores van a depender de los materiales a utilizar, en este sistema las materiales de mayor aceptación se describen en la tabla III:

Tabla III. **Materiales de tuberías para varios servicios**

<b>Servicio</b>	<b>Material</b>
Agua fría	Hierro negro y hierro galvanizado
Agua caliente	Hierro negro y cobre
Agua helada y drenajes	Hierro negro y hierro galvanizado

Fuente: WANG, Shan. *Handbook of Air Conditioning and refrigeration*. p. 7.7.

Posteriormente a la determinación del material se debe considerar las pérdidas de cargas, en los sistemas de enfriamiento las pérdidas permisibles no deben exceder a los 2 °C. Para minimizar estas pérdidas se debe tener el control de los siguientes factores:

- Velocidad del fluido
- Diámetro del tubo
- Longitud de tubo
- Pérdidas por rozamiento en el tubo y accesorios



- Caudal
- Velocidad de agua: para determinar la velocidad del agua que debe llevar el fluido se debe avocarse a las velocidades ya establecidas para las diferentes servicios. Estas velocidades se establecen con el objetivo de minimizar la erosión en la tubería. En la tabla IV se observa las velocidades que manejan las tuberías en diferentes etapas.

Tabla IV. **Velocidad recomendable de agua**

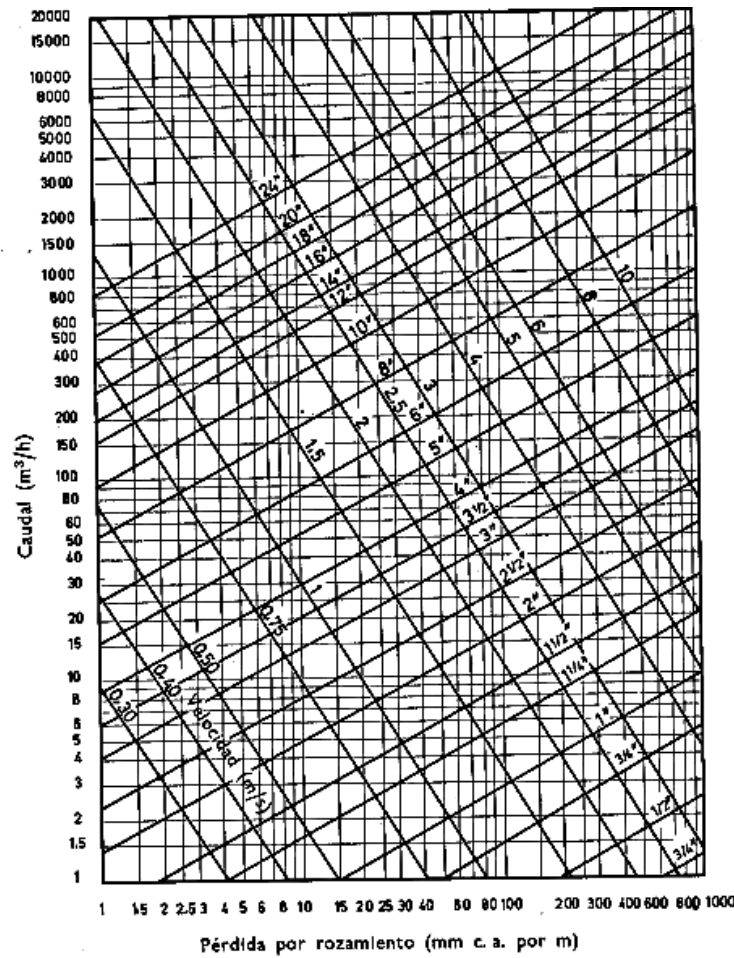
<b>Servicio o Aplicación</b>	<b>Velocidad (m/s)</b>
Descarga de la bomba	2,4 – 3,6
Aspiración de la bomba	1,2 – 2,1
Línea o tubería de desagüe	1,2 – 2,1
Colector o tubería principal	1,2 – 4,5
Montante o tubo ascendente	1 - 3
Servicio general	1,5 - 3
Suministro de agua de ciudad	1 – 2,1

Fuente: WANG, Shan. *Handbook of Air Conditioning and refrigeration*. p. 3-25.

- Pérdidas por rozamiento: las pérdidas por rozamiento indica la pérdida de energía del fluido, esto se debe a la fricción ejercida entre la rugosidad interior del tubo y el fluido. Este factor es proporcional a la velocidad del fluido, caudal y el diámetro del tubo. En la figura 7 se puede determinar las pérdidas por rozamiento teniendo definido los datos antes mencionados. La determinación del caudal va a depender de la demanda del sistema. La velocidad del fluido puede ser determinada con datos ya establecidos en la tabla IV, y se basa en la Norma ASHRAE la velocidad del fluido no debe superar los 3,6 m/s, de tal manera no exista erosión considerable en el interior del tubo. Normalmente en sistemas de

enfriamiento se debe mantener una pérdida de carga de 1 m c.a. sobre 10 metros de longitud equivalente.

Figura 7. **Pérdidas por rozamiento en los sistemas cerrados para tubería de acero**



Fuente: WANG, Shan. *Handbook of Air Conditioning and refrigeration*. p. 3-26.

- Insulación de tuberías: en los sistemas de enfriamiento se debe prever la menor pérdida de temperatura en el fluido. Los factores intrínsecos en la tubería se toman en cuenta al momento del diseño y dimensionamiento

del diámetro y material. Sin embargo, existen factores externos como la transferencia de calor entre el material y el medio circundante que deben controlarse para mantener la temperatura del fluido. Para controlar este factor se debe aislar la tubería del exterior. En la tabla V se puede determinar el espesor del aislante teniendo en cuenta el diámetro de la tubería y la temperatura del fluido.

Tabla V. **Espesor mínimo de Insulación para tubería**

Fluid design operating temperature range, °F	Insulation conductivity		Nominal pipe or tube size, in.				
	Conductivity, Btu·in./h·ft <sup>2</sup> ·°F	Mean rating temp. °F	<1	1 to <1½	1½ to <4	4 to <8	≥8
Heating systems (steam, steam condensate, and hot water) <sup>†‡</sup>							
>350	0.32–0.34	250	2.5	3.0	3.0	4.0	4.0
251–350	0.29–0.32	200	1.5	2.5	3.0	3.0	3.0
201–250	0.27–0.30	150	1.5	1.5	2.0	2.0	2.0
141–200	0.25–0.29	125	1.0	1.0	1.0	1.5	1.5
105–140	0.22–0.28	100	0.5	0.5	1.0	1.0	1.0
Domestic and service hot water systems							
105+	0.22–0.28	100	0.5	0.5	1.0	1.0	1.0
Cooling systems (chilled water, brine, and refrigerant) <sup>§</sup>							
40–60	0.22–0.28	100	0.5	0.5	1.0	1.0	1.0
<40	0.22–0.28	100	0.5	1.0	1.0	1.0	1.5

Fuente: WANG, Shan. *Handbook of Air Conditioning and refrigeration*. p. 7.15.

### 3.1.3. Factores de instalación tubería y accesorios

En el proyecto de tendido de tuberías los soportes son los encargados resistir todo el peso de la tubería en conjunto con el fluido y el aislante. Además deben mantener una separación adecuada del tramo, de tal manera no exista pandeo en la tubería. En las tablas VI y VII se determina la distancia entre cada soporte en tubería, teniendo como parámetro de referencia el diámetro del tubo.

Tabla VI. **Separación entre soportes para tubería de cobre**

<b>Diámetro exterior (pulgadas)</b>	<b>Separación entre soportes (m)</b>
5/8	2,0
7/8 - 1 1/8	2,5
1 3/8 - 2 1/8	3,0
2 5/8 - 5 1/8	3,5
6 1/8 - 8 1/8	4,0

Fuente: WANG, Shan. *Handbook of Air Conditioning and refrigeration*. p. 3-9.

Tabla VII. **Separación entre soportes para tubería de acero**

<b>Diámetro exterior (mm)</b>	<b>Separación entre soportes (m)</b>
27 - 42,4	2,5
48,3 - 73	3,0
88,9 - 101,6	3,5
114,3 - 168,3	4,0
219,1 - 313,9	5,0
355,6 - 406	6,0

Fuente: WANG, Shan. *Handbook of Air Conditioning and refrigeration*. p. 3-9.

### **3.1.4. Factores de instalación intercambiadores de calor**

Para el proyecto se utilizó intercambiadores de calor de placas marca Alfa Laval de 15 TR. A continuación se describe los factores especificados por el fabricante a tener en cuenta durante el montaje del equipo.

- Para que la transmisión de calor sea efectiva, la conexión de la tubería debe ser de tal forma que el flujo de los medios sea en dirección opuesta, es decir a contraflujo.

- El intercambiador debe ser montado siempre en posición vertical para garantizar la estabilidad del equipo.
- Para el montaje los intercambiadores de calor pequeños (1 a 6 kg) se pueden sostener únicamente de la tubería, siempre cuando la tubería sea rígida. Los intercambiadores de calor de mayor peso se deben fijar con montajes de soporte diseñados para el intercambiador de calor específico.
- Para conexiones de tubería soldadas se debe rectificar y limpiar la parte interior y exterior del tubo, esto con el fin de evitar contaminación de cobre en el área soldada.
- Para conexiones roscadas se debe realizar con un dinamómetro y respetar el torque especificado en la tabla VIII.

Tabla VIII. **Limites para la conexión de cargas durante la instalación**

<b>Diámetro Externo Tubo mm (pulgadas)</b>	<b>Torque (Nm)</b>
26-35 (1,0-1,4)	120
36-45(1,4-1,8)	240
46-55(1,8 - 2,2)	440
56-70 (2,2 - 2,8)	600
71-99 (2,8 - 3,9)	1 200
100 (3,9 -)	3 000

Fuente: Alfa Laval. *Instruction manual*. p. 1.

### **3.1.5. Factores de instalación para bombas centrífugas**

En este apartado se describe los factores de instalación especificados por el fabricante. Las bombas utilizadas son de 15 HP y 10 HP, marca Franklin Electric.

- La base debe tener las dimensiones para absorber las vibraciones y para servir de apoyo rígido y permanente a la bomba de acoplamiento corto.
- Las bombas de centrífugas se deben cebar (llenar de líquido) antes de que se inicie el bombeo.
- En el caso de los sistemas de bombeo con una válvula de retención al final de la línea de succión, la bomba más sencilla de cebar la bomba es llenar la línea de succión, la bomba y tanto el sistema de descarga.

### **3.1.6. Factores de diseño estructura metálica**

Una estructura se describe como un conjunto de elementos estructurales acoplados para soportar cargas. El diseño de una estructura depende primordialmente de la función que va a desempeñar, como ejemplo se puede mencionar una estructura para edificios, almacenes y transportes. Con base en la función de la estructura se determina los tipos de elementos estructurales, el tipo de material, las cargas involucradas y los tipos de uniones o acoplamientos.

Para este proyecto se necesita una estructura para el soporte de un sistema de enfriamiento el cual consta de dos tanques de agua, dos bombas

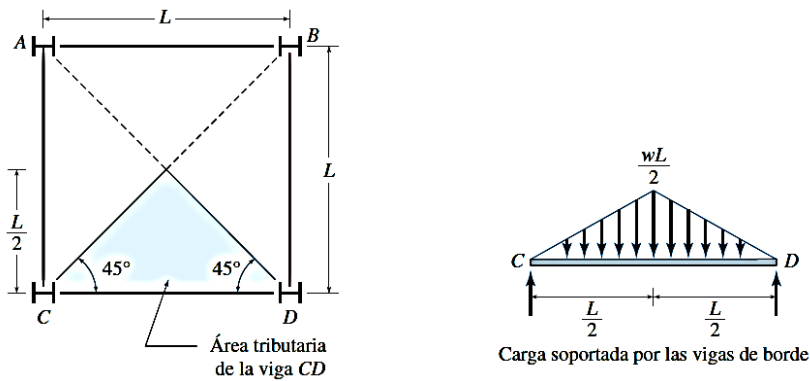
centrífugas y dos intercambiadores de calor. A continuación se especifican los factores principales que determinan el diseño apropiado de la estructura.

Una vez definida la función de la estructura y su ubicación se procede a realizar el cálculo de las cargas involucradas. Las cargas principales a tener en cuenta son las cargas vivas y cargas muertas. El diseño de la estructura se realiza analizando primero los elementos estructurales más próximos a las cargas, de esta manera se analiza bajando de plano hacia los elementos secundarios, columnas principales y por últimos la base de la estructura.

- Cargas muertas: las cargas muertas se refieren a los elementos y objetos que son parte permanente de la estructura, los cuales pueden ser el peso de los elementos estructurales y los objetos que no varían con el tiempo. Como ejemplo se menciona el peso de las vigas, columnas, losas, entre otros.
- Cargas vivas: las cargas vivas son los elementos y objetos que tienen variación con el tiempo, estas cargas no se encuentran permanentes en la estructura. En el caso la estructura del proyecto, un ejemplo de carga viva puede ser las personas que se encuentran sobre la estructura, encargadas de brindarle mantenimiento al sistema de enfriamiento.
- Cargas tributarias: las cargas soportadas por una estructura se transmiten de áreas más grandes hacia los elementos estructurales de áreas más pequeñas. La carga tributaria indica la manera en que se transmite estas cargas a los elementos que componen la estructura, es decir, la magnitud de carga que soporta cada elemento estructural. En el primer caso la relación de las longitudes del marco es cuadrada, en la

figura 8 se observa que la carga se transmite a las vigas de manera triangular.

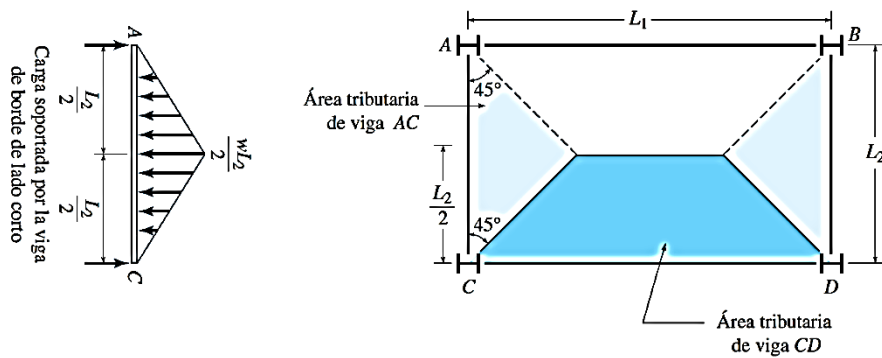
Figura 8. **Carga tributaria en losa cuadrada**



Fuente: KASSIMALI, Aslam. *Análisis estructural*. p. 26.

En el segundo caso cuando la relación de longitudes es rectangular, la carga se distribuye a las vigas de manera trapezoidal como se observa en la figura 9.

Figura 9. **Carga tributaria de una losa rectangular**



Fuente: KASSIMALI, Aslam. *Análisis estructural*. p. 26.



En el tercer caso aplica al mismo marco rectangular, sin embargo, si la relación de la longitud del lado largo con el lado corto es mayor o igual a 2 ( $\frac{L_1}{L_2} \geq 2$ ), la carga tributaria se simplifica a un rectángulo en las vigas principales y cargas puntuales a las vigas de carga.

### **3.2. Diseño de montaje e instalación de equipo de refrigeración**

A continuación se describe el proceso de diseño y planificación del montaje del sistema de enfriamiento, en esta parte se especifican los elementos a utilizar como tubería, aislante y se realiza el diagrama con la propuesta del sistema de enfriamiento montado.

#### **3.2.1. Selección tubería agua fría**

Para la selección de tubería de agua se utilizó el método por gráfica del manual de refrigeración Carrier. En la cual se especificaron antes 4 factores: material, velocidad de agua, caudal y pérdidas de rozamiento. Ya definidos estos factores se determinó el diámetro del tubo.

- Selección del material: para la selección del material se determinó el fluido a transportar y el tipo de servicio, según la tabla 3 los materiales más comunes a utilizar en los sistemas de agua helada son: hierro negro y hierro galvanizado. Se determinó el uso de tubo de hierro galvanizado para esta aplicación, aunque es de mayor precio cumple con las características de mayor resistencia a la corrosión para la industria alimenticia, además de cumplir con los cambios extremos de temperatura de la aplicación del sistema.

- Velocidad del fluido: la velocidad del fluido se especifica dependiendo del tipo de servicio, pero, esencialmente las velocidades están determinadas para reducir la erosión en el interior de la tubería. Esta velocidad es aplicada a la tubería de descarga. Siguiendo la tabla 4 se determinó la velocidad del fluido para la tubería de descarga el cual está entre 2,5 m/s.
- Determinación de caudal: el caudal se determinó por medio de la demanda de fluido en el sistema. El sistema anterior manejaba un caudal de 160 galones por minuto. Para el sistema actual se desea obtener el mismo caudal.
- Pérdidas por rozamiento: las pérdidas de rozamiento en la tubería deben ser controladas para que no sean mayor a 1 metro de columna de agua sobre 10 metros de longitud efectiva. De esta manera no tener más de 2 °C de pérdida de carga en el fluido.
- Selección diámetro de tubería

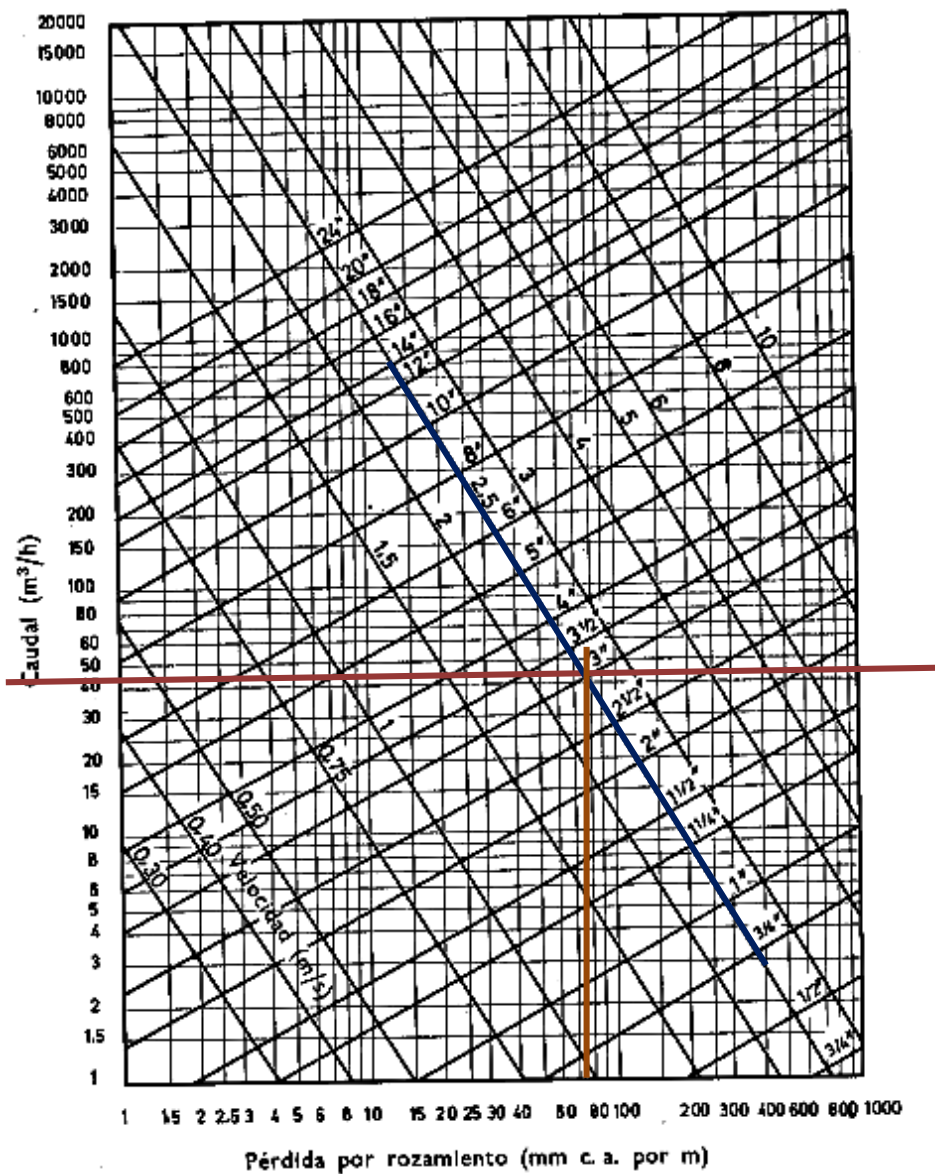
Tabla IX. **Datos para selección de diámetro de tubería**

<b>Parámetro</b>	<b>Magnitud</b>
Material	Hierro galvanizado
Caudal	160 GPM = 37 m <sup>3</sup> /h
Velocidad fluido	2,5 m/s
Pérdidas de rozamiento	< 100 mm c.a./m

Fuente: elaboración propia.

Con la ayuda de la figura 10 del manual Carrier se determinó que el diámetro de la tubería es de 3" para el material hierro galvanizado. Este diámetro es el que se aproxima cumpliendo los factores de la tabla IX.

Figura 10. Cálculo de diametro de tubería de acero



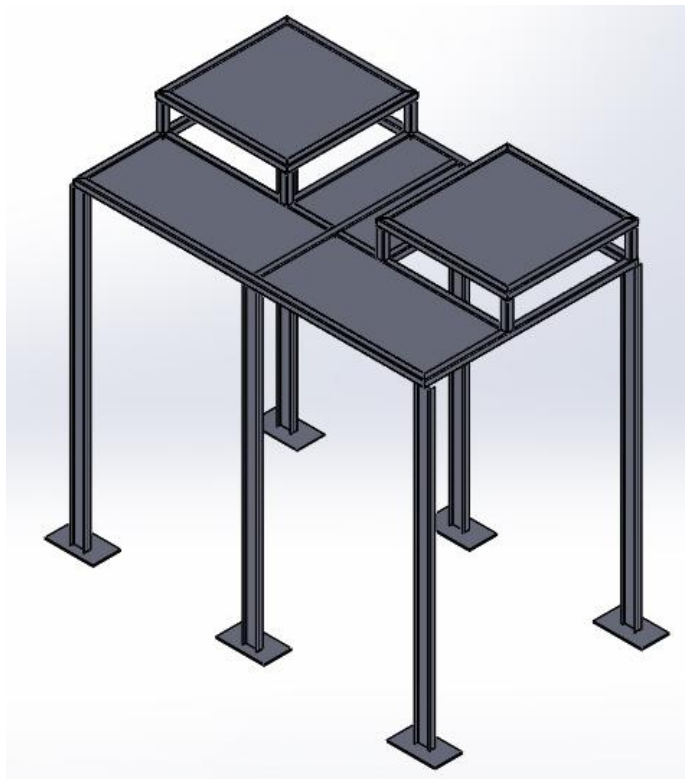
Fuente: WANG, Shan. *Handbook of Air Conditioning and refrigeration*. p. 3-26.

### 3.2.2. Diseño estructura metálica

En este apartado se realizó el diseño de la estructura que soporta el sistema de enfriamiento, básicamente la conexión de los elementos y los tipos de perfiles, con el fin de que soporten las cargas del sistema.

En la figura 11 se observa el esquema de la estructura metálica, la estructura se diseñó para soportar la carga del sistema de enfriamiento que consta de: dos tanques de agua de 2 500 Litros, dos intercambiadores de calor de 15 TR y dos bombas centrífugas de 15 hp y 10 hp.

Figura 11. **Esquema estructura metálica**



Fuente: elaboración propia, empleando Solidworks 2016.

El material que se utilizó será acero para estructuras A-36, para las vigas se utilizó perfiles de tubo cuadrado por ser perfiles de menor costo y para las columnas, vigas en I o S. A continuación se realizó el análisis de la estructura para determinar el tipo de perfil que se utilizará. El análisis se inició con el marco estructural superior, de esa manera bajar hasta llegar a las columnas.

El marco estructural superior fue diseñado para soportar cada tanque de agua, en la tabla X, se especifican las cargas involucradas en el marco.

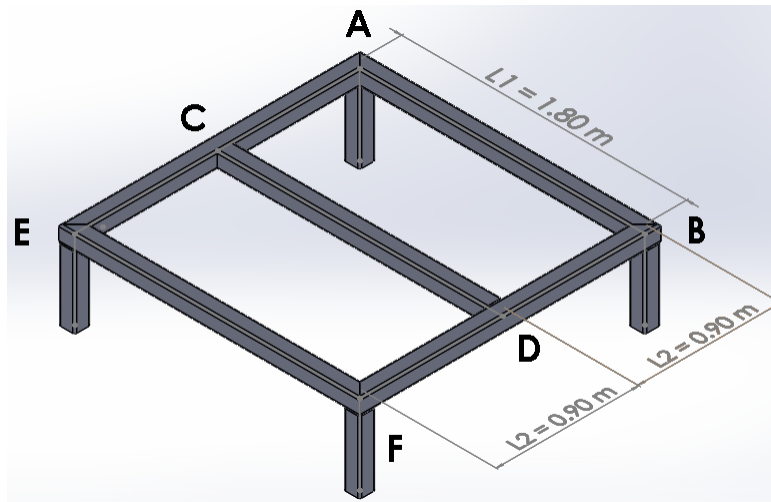
Tabla X. **Dato de las cargas involucradas en la estructura**

<b>Carga</b>	<b>Peso (N)</b>	<b>Área (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Carga (N/m<sup>2</sup>)</b>
Mezcla agua glicol (2 500 L)	26 019	3,24	8 031
Peso tanque vacío	500	3,24	155
Lámina Acero 1/8" espesor	158	3,24	49
Peso muerto por material (vigas)	880	3,24	272
Factor de seguridad cargas muertas (60 %)			5 103
		Total	W=13,60 KN/m <sup>2</sup>

Fuente: elaboración propia.

Debido a que  $L_1/L_2 = 2$ , la estructura se pudo analizar como una carga tributaria que se distribuye de forma rectangular a las vigas CD, EF Y AB.

Figura 12. **Marco estructural para tanque de agua**

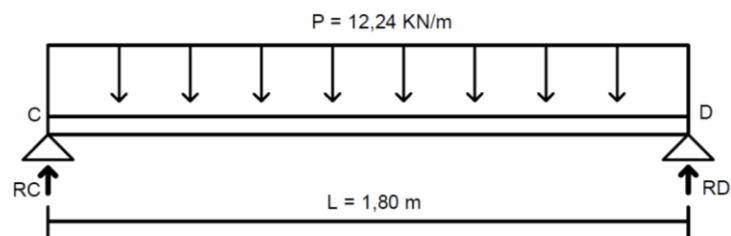


Fuente: elaboración propia, empleando Solidworks 2016.

- Análisis viga CD

La viga principal CD soporta una carga tributaria en forma de rectángulo, esta actúa como carga distribuida en la viga, como se observa en la figura 13.

Figura 13. **Diagrama de cuerpo libre Viga CD**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2016.

Se determinó la carga distribuida en la viga, multiplicando la carga total por el ancho del rectángulo.

$$P = \left(13,60 \frac{KN}{m^2}\right)(0,90m) = 12,24 KN/m$$

Se continuo con el cálculo de las reaciones y momento flexionante de la viga, debido a que la carga distribuida es simetrica en la viga, las reacciones tienen la misma magnitud.

$$R_D = R_C = \frac{p * L}{2}$$
$$R_D = R_C = \frac{(12,24 KN/m)(1,8 m)}{2} = 11,02 KN$$

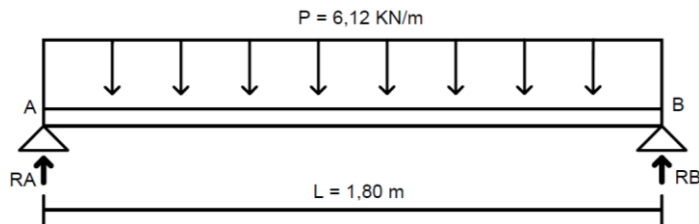
El momento flexionante máximo sucede en el centro de la viga en  $L/2$ , esto es debido por la simetria de la carga distribuida en la viga.

$$M_{max} = \frac{P * L^2}{8}$$
$$M_{max} = \frac{(12,24 KN/m) * (1,8m)^2}{8} = 4,95 KN * m$$

- Análisis viga AB

La carga tributaria de la viga AB se distribuye en forma de rectángulo, se determinó la carga, multiplicando  $W$  por el ancho del rectangulo, que en este caso es  $a = 0,45 m$ . En la siguiente ecuación se describe el diagrama de cuerpo libre.

Figura 14. Diagrama de cuerpo libre Viga AB



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2016.

$$P = \left(13,60 \frac{\text{KN}}{\text{m}^2}\right) (0,45 \text{ m}) = 6,12 \text{ KN/m}$$

Debido a que la carga distribuida es simétrica en la viga, las reacciones tienen la misma magnitud.

$$R_D = R_C = \frac{p * L}{2}$$
$$R_D = R_C = \frac{(6,12 \text{ KN/m})(1,8 \text{ m})}{2} = 5,51 \text{ KN}$$

El momento flexionante máximo sucede en el centro de la viga en  $L/2$ .

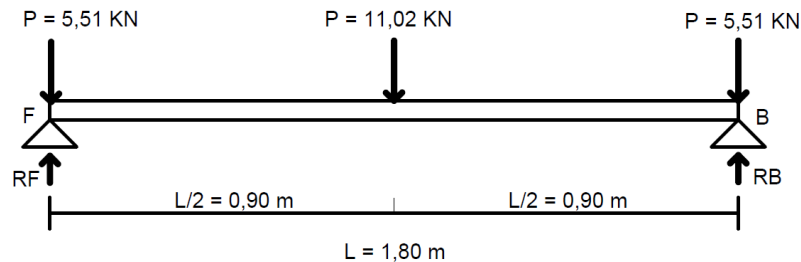
$$M_{max} = \frac{P * L^2}{8}$$
$$M_{max} = \frac{(6,12 \text{ kN/m}) * (1,8\text{m})^2}{8} = 2,48 \text{ KN * m}$$



- Análisis viga FB

La viga FB es una viga de cargas, debido a que únicamente soporta las vigas principales. Entonces las cargas que actúan en la viga son puntuales. Ver figura 15.

Figura 15. Diagrama de cuerpo libre para la viga FB



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2016.

Las reacciones de esta viga tienen la misma magnitud, por simetría de las cargas.

$$R_F = R_B = P_F + \frac{P_D}{2}$$

$$R_F = R_B = 5,51 \text{ kN} + \frac{(11,02 \text{ kN})}{2} = 11,02 \text{ kN}$$

El momento máximo ocurre en el centro de la viga, es decir  $L/2$ .

$$M_{max} = \frac{R_D * L}{4}$$

$$M_{max} = \frac{(11,02 \text{ kN}) * (1,8\text{m})}{4} = 4,96 \text{ kN} * \text{m}$$

- Análisis del segmento intermedio de la estructura

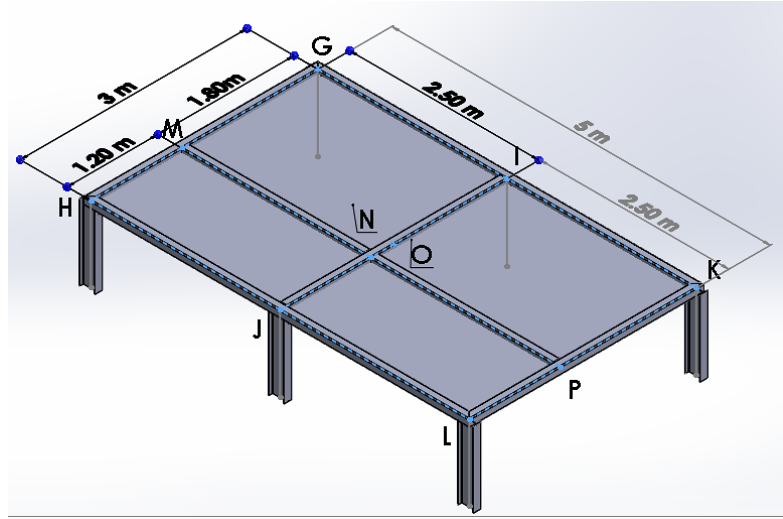
El análisis de cargas continuo hacia abajo en el segmento de la estructura intermedia. Sobre esta base descansa los dos marcos estructurales de los tanques, y las cargas dinámicas como las bombas de agua y los intercambiadores de calor. En la tabla XI se especifican las cargas involucradas en el segmento estructural GHKL.

Tabla XI. **Dato de las cargas involucradas en la estructura**

<b>Carga</b>	<b>Peso (N)</b>	<b>Área (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Carga (N/m<sup>2</sup>)</b>
Bombas centrífugas (2 uni.)	2 940	15	196
Intercambiadores de calor (2 uni.)	1 568	15	105
Cargas vivas: personas por mantenimiento (5 personas)	1 760	15	118
Peso muerto por material	6 750	15	450
		Subtotal	869
Factor de impacto por cargas dinámicas (50 %)			435
Factor de seguridad cargas muertas (60 %)			522
		Total	W=1 826 N/m <sup>2</sup>

Fuente: elaboración propia.

Figura 16. Esquema del segmento estructural

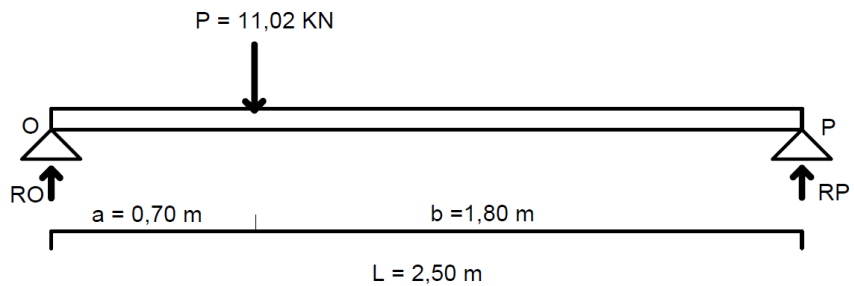


Fuente: elaboración propia, empleando Solidoworks 2016.

- Análisis viga OP

La viga OP soporta el peso del marco estructural superior, por lo tanto solo actúan cargas puntuales, como se observa en la figura 17.

Figura 17. Diagrama de cuerpo libre para la viga OP



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2016.

Las reacciones en la viga vienen dada por las siguientes ecuaciones:

$$R_P = \frac{R_F * a}{L}$$
$$R_P = \frac{(11,02 \text{ kN}) * (0,7 \text{ m})}{2,5 \text{ m}} = 3,10 \text{ KN}$$

$$R_O = R_F \left(1 - \frac{a}{L}\right)$$
$$R_O = (11,02 \text{ KN}) \left(1 - \frac{0,7 \text{ m}}{2,5 \text{ m}}\right) = 7,94 \text{ KN}$$

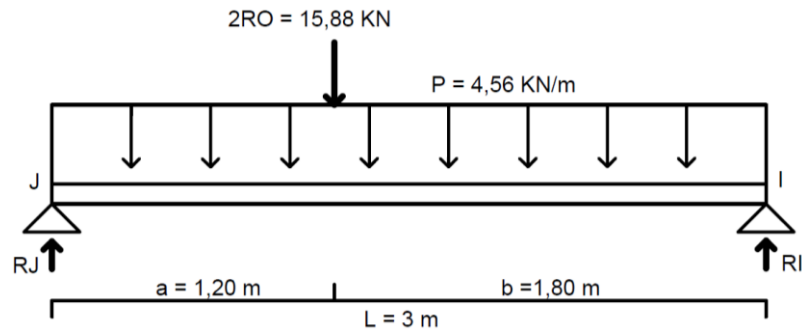
El momento máximo ocurre en la ubicación de la carga  $R_F$  justo cuando  $x = a = 0,7 \text{ m}$ .

$$M_{max} = R_O * a$$
$$M_{max} = (7,94 \text{ KN}) * (0,7 \text{ m}) = 5,56 \text{ kN} * \text{m}$$

- Análisis viga IJ

La viga IJ es la principal de la estructura y la carga se tributaria en esta viga es de forma rectangular, de esa manera se transmite una carga distribuida en la viga, como se observa en la figura 18.

Figura 18. Diagrama de cuerpo libre viga IJ



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2016.

Se determinó la carga distribuida, multiplicando  $W$  por el ancho del rectángulo del área tributaria.

$$P = \left(1\,826 \frac{N}{m^2}\right) (2,50m) = 4,56 \text{ kN/m}$$

Las reacciones de la viga vienen dada por las siguientes ecuaciones:

$$R_J = \frac{2R_0b + \frac{PL^2}{2}}{L}$$

$$R_J = \frac{2(7,94 \text{ kN})(1,8 \text{ m}) + \frac{(4,56 \frac{\text{kN}}{\text{m}})(3 \text{ m})^2}{2}}{(3 \text{ m})} = 16,37 \text{ KN}$$

$$R_I = \frac{2R_0a + \frac{PL^2}{2}}{L}$$

$$R_I = \frac{2(7,94 \text{ kN})(1,2 \text{ m}) + \frac{(4,56 \frac{\text{kN}}{\text{m}})(3 \text{ m})^2}{2}}{(3 \text{ m})} = 13,19 \text{ KN}$$

El  $M_{max}$  ocurre cuando  $x = 1,2$ . La siguiente ecuación describe la  $M_{max}$  en la viga.

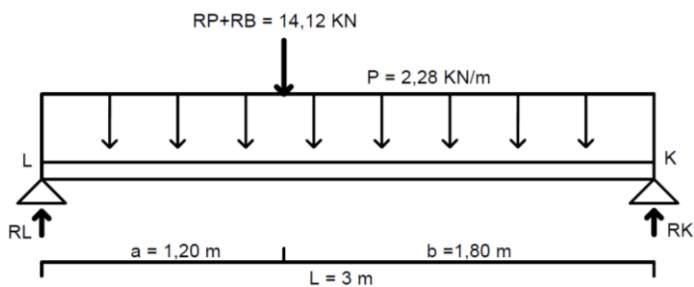
$$M_{max} = R_J * x - \frac{Px^2}{2}$$

$$M_{max} = (16,37 \text{ kN}) * (1,2 \text{ m}) - \frac{(4,56 \frac{\text{kN}}{\text{m}})(1,2 \text{ m})^2}{2} = 16,37 \text{ kN} * m$$

- Análisis viga LK

La carga en la viga LK se distribuye de manera rectangular, esta viga al igual la viga GH tienen las mismas magnitudes.

Figura 19. **Diagrama de cuerpo libre viga LK**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2016.

Para calcular la carga que soporta se debió multiplicar  $W$  por el ancho del rectángulo, que en este caso es  $a = 1,25 \text{ m}$ .

$$P = \left(1,826 \frac{KN}{m^2}\right) (1,25 m) = 2,28 KN/m$$

Las reacciones de la viga vienen dada por las siguientes ecuaciones:

$$R_K = \frac{(R_P + R_B) * a}{L} + \frac{PL}{2}$$

$$R_K = \frac{(14,12 kN)(1,2 m)}{3 m} + \frac{(2,28 \frac{KN}{m})(3 m)}{2} = 9,07 KN$$

$$R_L = \frac{(R_P + R_B) * b}{L} + \frac{PL}{2}$$

$$R_L = \frac{(14,12 kN) * (1,8 m)}{3,0 m} + \frac{(2,28 \frac{KN}{m})(3 m)}{2} = 11,89 KN$$

El momento máximo ocurre en la viga cuando  $x = 1,2 m$  que es donde hay cambio de curva debido a la carga puntual que soporta la viga.

$$M_{max} = R_L * x - \frac{P * X^2}{2}$$

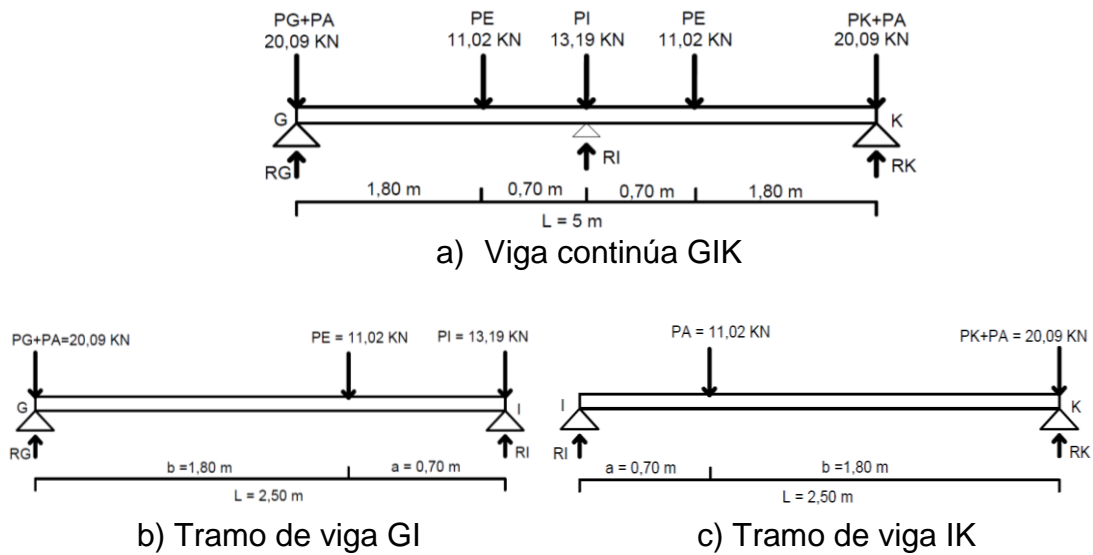
$$M_{max} = (11,89 KN)(1,2 m) - \frac{\left(2,28 \frac{KN}{m}\right) * (1,2 m)^2}{2} = 12,63 KN * m$$

- Análisis viga GIK

La viga GIK soporta las reacciones de las vigas principales, por lo tanto las cargas que actúan sobre la viga son puntuales.

Esta viga es estáticamente indeterminada porque descansa en 3 apoyos, que son las columnas de la estructura, se calculó las reacciones dividiendo la viga continua en 2 partes, la parte GI e IK, como se observa en el diagrama de cuerpo libre de la figura 20.

Figura 20. Diagrama de cuerpo libre viga GIK



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2016.

A continuación se determinó las reacciones del tramo de viga GI, que se observa en la figura 20 b).

$$R_I = \frac{P_E * a}{L} + P_I$$

$$R_I = \frac{(11,02 \text{ KN}) * (1,8 \text{ m})}{2,5 \text{ m}} + 13,19 \text{ KN} = 21,12 \text{ KN}$$

$$R_I = \frac{P_E * b}{L} + (P_E + P_G)$$



$$R_G = \frac{(11,02 \text{ KN}) * (0,7 \text{ m})}{2,5 \text{ m}} + 20,09 \text{ KN} = 23,18 \text{ KN}$$

Se calculó las reacciones de del tramo IK de la viga. Que corresponde a la figura 20 c).

$$R_I = \frac{P_A * a}{L} + (P_K + P_A)$$

$$R_K = \frac{(11,02 \text{ KN}) * (0,7 \text{ m})}{2,5 \text{ m}} + 20,09 \text{ KN} = 23,18 \text{ KN}$$

$$R_I = \frac{P_A * b}{L}$$

$$R_I = \frac{(11,02 \text{ KN}) * (1,8 \text{ m})}{2,5 \text{ m}} = 7,94 \text{ KN}$$

Como la viga continua GIK se dividió en dos partes, la magnitud de la reacción  $R_I$  debe de ser la suma de los dos tramos, por tanto las reacciones quedaron de la siguiente manera.

$$R_G = 23,18 \text{ KN}$$

$$R_I = 21,12 \text{ KN} + 7,94 \text{ KN} = 29,06 \text{ KN}$$

$$R_K = 23,18 \text{ KN}$$

Teniendo como base los datos obtenidos en este apartado, se determinó el tipo de perfil que se necesitó para la estructura, tanto para las vigas como las columnas.

- Selección del perfil para las vigas de la estructura

Para determinar el perfil para las vigas, utilizando el método de esfuerzo permisible el cual involucra la ecuación de módulo de sección que se describe a continuación.

$$S = \frac{M_{Max}}{\sigma_{Permisible}}$$

Donde:

S = módulo de sección [m<sup>3</sup>]

M<sub>max</sub> = máximo momento flexionante de la viga [Nm]

σ<sub>Permisible</sub> = esfuerzo máximo permisible del acero [Pa]

Para la estructura se utilizó perfiles de acero comercial A-36, y el perfil es tubo cuadrado, por el motivo de ser de menor costo comparado con los perfiles S o W.

Este tipo de acero tiene un esfuerzo permisible de 240 MPa. Con este dato y los momentos máximos de las vigas calculados anteriormente, se obtuvo el perfil adecuado con la ayuda de la tabla 13. Los resultados de las vigas se detallan en la tabla 12.

Al determinar el módulo de sección de una viga en específico, se ubicó en la tabla de perfiles cuadrados para seleccionar el perfil que sea igual o mayor al módulo de sección calculado.

Tabla XII. **Perfiles seleccionados para la estructura**

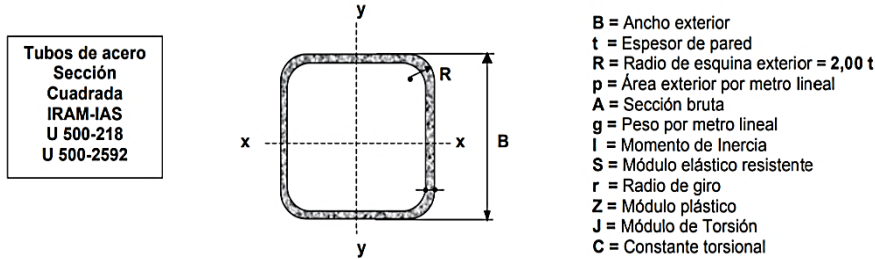
Sección	Viga	$M_{Max}$ (KN*m)	$\sigma_{Permisible}$ (Mpa)	S (cm <sup>3</sup> )	Datos del Perfil seleccionado			
					Sección (mm)	Espesor (mm)	Peso (Kg/m)	S (cm <sup>3</sup> )
Marco estructural superior	Viga CD	4,95	240	20,67	<b>80</b>	<b>3,2</b>	<b>7,51</b>	<b>23,16</b>
	Viga AB	2,48	240	10,33	60	3,2	5,5	12,3
	Viga EF	2,48	240	10,33	60	3,2	5,5	12,3
	Viga de carga FB	4,96	240	20,67	80	3,2	7,51	23,16
	Viga de carga EA	4,96	240	20,67	80	3,2	7,51	23,16
Marco estructural Intermedio	Viga IJ	16,37	240	68,21	<b>110</b>	<b>6,35</b>	<b>19,85</b>	<b>80,51</b>
	Viga LK	12,63	240	52,63	110	4	12,99	55,59
	Viga HG	12,63	240	52,63	110	4	12,99	55,59
	Viga de carga HJL	5,56	240	23,17	80	3,2	7,51	23,16
	Viga de carga GIK	5,56	240	23,17	80	3,2	7,51	23,16

Fuente: elaboración propia.

El tipo de perfil a utilizado en el marco estructural superior tiene una sección cuadrada de 80 mm y 3,2 mm de espesor, se utilizó este perfil para todo el marco superior, de manera que sea homogéneo.

Para el marco estructural intermedio se determinó un perfil de sección cuadrada de 110 mm y 6,35 mm de espesor, de la misma manera que el marco superior se utilizó el mismo perfil en todo el marco.

Tabla XIII. Propiedades tubo de sección cuadrada



B	t	p	Ag	g	Ix=ly	Sx=Sy	rx=ry	Zx=Zy	J	C
[mm]	[mm]	[m <sup>2</sup> /m]	[cm <sup>2</sup> ]	[Kg/m]	[cm <sup>4</sup> ]	[cm <sup>3</sup> ]	[cm]	[cm <sup>3</sup> ]	[cm <sup>4</sup> ]	[cm <sup>3</sup> ]
60	1.60	0.23	3.67	2.88	20.67	6.89	2.37	7.99	31.78	10.90
	2.00	0.23	4.54	3.56	25.13	8.38	2.35	9.79	38.84	13.43
	2.50	0.23	5.59	4.39	30.32	10.11	2.33	11.93	47.18	16.47
	3.20	0.23	7.01	5.50	36.91	12.30	2.30	14.74	57.92	20.52
	4.00	0.23	8.55	6.71	43.52	14.51	2.26	17.66	68.87	24.84
80	2.00	0.31	6.14	4.82	61.67	15.42	3.17	17.85	94.67	24.31
	2.50	0.31	7.59	5.96	75.10	18.78	3.15	21.90	115.90	29.97
	3.20	0.31	9.57	7.51	92.65	23.16	3.11	27.30	143.98	37.62
	4.00	0.31	11.75	9.22	110.96	27.74	3.07	33.09	173.72	45.96
	4.76	0.30	13.74	10.79	126.70	31.67	3.04	38.22	199.62	53.48
90	2.50	0.35	8.59	6.74	108.50	24.11	3.55	28.01	166.95	38.22
	3.20	0.35	10.85	8.51	134.42	29.87	3.52	35.02	208.17	48.09
	4.00	0.35	13.35	10.48	161.80	35.96	3.48	42.60	252.30	58.92
	4.76	0.34	15.65	12.28	185.67	41.26	3.44	49.39	291.27	68.75
	6.35	0.34	20.21	15.86	229.17	50.93	3.37	62.30	363.45	87.88
100	3.20	0.39	12.13	9.52	187.17	37.43	3.93	43.70	289.03	59.84
	4.00	0.39	14.95	11.73	226.20	45.24	3.89	53.31	351.52	73.48
	4.76	0.38	17.55	13.78	260.58	52.12	3.85	61.98	407.25	85.94
110	3.20	0.43	13.41	10.52	252.17	45.85	4.34	53.34	388.47	72.87
	4.00	0.43	16.55	12.99	305.74	55.59	4.30	65.23	473.79	89.64
	4.76	0.42	19.45	15.27	353.32	64.24	4.26	76.00	550.44	105.02
	6.35	0.42	25.29	19.85	442.81	80.51	4.18	96.94	696.88	135.45
120	4.00	0.47	18.15	14.25	402.03	67.00	4.71	78.34	621.49	107.40
	5.00	0.46	22.36	17.55	485.14	80.86	4.66	95.48	754.89	131.77
	6.00	0.46	26.43	20.75	561.74	93.62	4.61	111.67	879.44	155.12
	8.00	0.45	34.19	26.84	696.31	116.05	4.51	141.28	1101.89	198.73
	10.00	0.45	41.42	32.52	807.47	134.58	4.42	167.31	1288.84	238.14
	12.00	0.44	48.13	37.78	896.91	149.49	4.32	189.89	1440.40	273.26

Fuente: Cirsoc. Tablas perfiles laminados y tubos estructurales.

- Diseño de columnas de la estructura

Las columnas son elementos estructurales que soportan cargas axiales, las cuales tienen un efecto de compresión en dichos elementos. Para el diseño de una columna primero se determinó el tipo de columna, y esto se definió a través de la ecuación de esbeltez, que se describe a continuación:

$$E = \frac{L_e}{r}$$

Donde:

E = esbeltez de columna

$L_e$  = longitud efectiva de la columna [mm]

r = radio de giro del perfil de la columna [mm]

Las columnas se pueden clasificar en tres tipos, dependiendo su relación de esbeltez.

- Columna corta:  $E < 21$
- Columna intermedia:  $21 < E < 100$
- Columna larga:  $E > 100$

En la ecuación de esbeltez se observa que depende de la longitud efectiva, este parámetro relaciona un factor K y la longitud real de la columna. El factor K varía dependiendo de las condiciones de sujeción de los extremos de la columna, en la tabla XIV se definen tales valores.

Tabla XIV. Valores de K para la longitud efectiva

Condiciones de sujeción	Longitud efectiva
Ambos extremos empotrados	0,5L
Un extremo empotrado y el otro articulado	0,7L
Ambos extremos articulados	L
Un extremo empotrado y el otro libre	2L

Fuente: PYTEL, Andrew, y SINGER, Ferdinand. *Resistencia de materiales*. p. 363.

Para seleccionar el tipo de perfil de acero para una columna, se necesitó de 4 ecuaciones, la primera describe la relación de esbeltez.

$$C_C = \sqrt{\frac{2\pi^2 E}{\sigma}}$$

Donde E es el módulo de elasticidad para el acero y  $\sigma$  es el límite de proporcionalidad del tipo de acero. Para esta ecuación existen dos casos en particular, cuando  $\frac{L_e}{r} > C_C$ , el esfuerzo de trabajo,  $\sigma_T$ , se describe por:

$$\sigma_T = \frac{12\pi^2 E}{23\left(\frac{L_e}{r}\right)^2}$$

El siguiente caso es cuando  $\frac{L_e}{r} < C_C$ , entonces el esfuerzo de trabajo viene dado por la ecuación:

$$\sigma_T = \left[1 - \frac{\left(\frac{L_e}{r}\right)^2}{2C_C^2}\right] \frac{\sigma}{FS}$$

Donde el factor de seguridad está dado por:

$$FS = \frac{5}{3} + \frac{3\left(\frac{L_e}{r}\right)}{8C_c} - \frac{\left(\frac{L_e}{r}\right)^3}{8C_c^3}$$

Utilizando estas ecuaciones se seleccionó el perfil para las columnas de la estructura.

- Selección de perfil para columnas

Para la estructura se utilizaron columnas de acero A-36, las cuales tienen una longitud de  $L = 4,6 \text{ m}$ , el módulo de elasticidad para el acero es  $E = 200 \text{ GPa}$ , y el esfuerzo permisible es  $\sigma = 240 \text{ MPa}$ . La columna soporta una carga axial de  $P = 29 \text{ kN}$ , y se utilizó un factor de seguridad en la carga de 3. Con estos datos se seleccionó el perfil S más liviano que soporta esta carga.

Debido a que la columna está empotrada en ambos extremos, tiene un factor K de 0,5, entonces la longitud efectiva viene dado por:

$$L_e = 0,5L = 0,5(4,6 \text{ m}) = 2,3 \text{ m}$$

La carga axial multiplicada por el factor de seguridad viene dado por:

$$P = (29 \text{ kN}) * 3 = 87 \text{ kN}$$

Para determinar el perfil de la columna se utilizó el método de ensayo y error, en el cual se tomó como suposición un perfil inicial, y se ensayó hasta que se encontró el perfil que soporta la carga axial.

- Perfil S100X14.1, según el anexo 2 tiene un área transversal de  $A = 1\,790\text{ mm}^2$  y un radio de giro  $r = 14,2\text{ mm}$ . Para este perfil se obtuvo los siguientes datos:

$$C_c = \sqrt{\frac{2\pi^2(200 \times 10^9\text{ Pa})}{240 \times 10^6\text{ Pa}}} = 128$$

$$\frac{L_e}{r} = \frac{2\,300\text{ mm}}{14,2\text{ mm}} = 162$$

Debido a que cuando  $\frac{L_e}{r} > C_c$ , se utilizará la siguiente ecuación:

$$\sigma_T = \frac{12\pi^2(200 \times 10^9\text{ Pa})}{23(162)^2} = 39\text{ Mpa}$$

El cual se obtuvo una carga axial de:

$$P = \sigma_T * A = (39 \times 10^6\text{ Pa})(1\,790 \times 10^{-6}\text{ m}^2) = 69,81\text{ kN}$$

Debido a que la carga axial  $P$  obtenida es menor a la necesaria, se utilizó otro perfil de mayor área transversal y mayor radio de giro.

- Perfil S130x15, que según el anexo 2 tiene un área de  $A = 1\,880\text{ mm}^2$  y un radio de giro de  $r = 16,4\text{ mm}$ .

$$C_c = \sqrt{\frac{2\pi^2(200 \times 10^9\text{ Pa})}{240 \times 10^6\text{ Pa}}} = 128$$



$$\frac{L_e}{r} = \frac{2\,300\text{ mm}}{16,4\text{ mm}} = 140$$

Debido a que cuando  $\frac{L_e}{r} > C_c$ , se utilizó la siguiente ecuación:

$$\sigma_T = \frac{12\pi^2(200 \times 10^9\text{ Pa})}{23(140)^2} = 52,54\text{ Mpa}$$

El cual se obtuvo una carga axial de:

$$P = \sigma_T * A = (52,54 \times 10^6\text{ Pa})(1\,880 \times 10^{-6}\text{ m}^2) = 98,77\text{ kN}$$

Para el efecto del problema este perfil cumplió con las especificaciones de carga para la columna de la estructura.

Por lo tanto el perfil utilizado para las columnas de la estructura fue:

$$\text{Perfil} = S130 \times 15$$

### 3.2.3. Esquema de sistema de enfriamiento

En la figura 21 se observa el diagrama del sistema de enfriamiento que está dividido en 2 etapas, la primera etapa es un sistema por compresión de vapor refrigerante que utiliza refrigerante 507. La segunda etapa únicamente hay cambios en la temperatura del fluido, no hay cambio de presión y esta etapa utiliza una mezcla de agua y glicol, este último es un anticongelante.

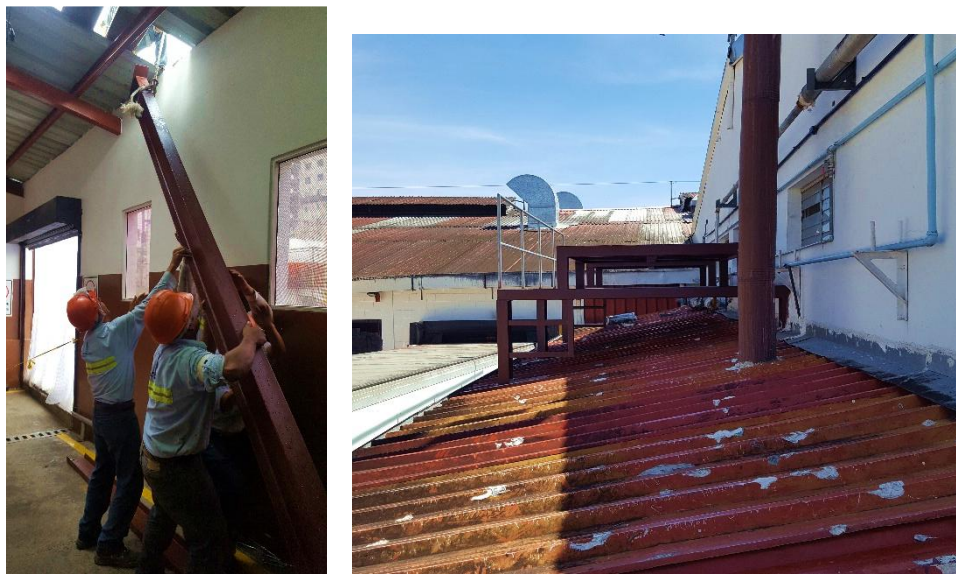


### **3.3. Montaje de equipo de refrigeración**

A continuación se describe el procedimiento de montaje e instalación de los equipos del sistema de enfriamiento, para esto utilizamos las guías de montaje de los fabricantes de los equipos.

#### **3.3.1. Instalación de estructura metálica**

Figura 22. **Montaje de estructura metálica**



Fuente: Panifresh, S.A.

La estructura metálica tiene la función de soportar parte del equipo de refrigeración del sistema, en el descansa 2 tanques de agua, 2 bombas centrífugas y 2 intercambiadores de calor. La estructura tiene una de altura 4,5 metros, 5 metros de largo y 3 metros de ancho. El proceso de fabricación y montaje se describe a continuación.

- Primero se realizó el corte de las vigas y los elementos estructurales con las dimensiones necesarias a la estructura.
- Se unieron los elementos estructurales por medio de soldadura por arco eléctrico, para los elementos de 1/8" de espesor se utilizó un electrodo 6013 de 5/32". Para los elementos de 1/4" se utilizó un electrodo 6013 de 3/16".
- Posteriormente a la unión de los elementos se procedió a la aplicación de pintura, utilizando pintura gris como base, y pintura café como principal.
- Con los elementos ya preparados se procedió a montar la estructura, empezando con la colocación y anclaje de las columnas.
- Con las columnas ya montadas se realizó el montaje y unión por soldadura del marco intermedio de la estructura, en esta parte se realizó la unión por soldadura de las vigas de tubo cuadrado con la lámina labrada como base para el equipo.
- Una vez montado el marco intermedio se procedió a montar los dos marcos superiores unión las vigas con lámina labrada, los cuales soportan los tanques de agua.
- Para finalizar se realizó el montaje de una baranda de seguridad, fabricada con tubo de hierro galvanizado de 1" de espesor.

### 3.3.2. Montaje de tanques de almacenamiento de agua

Figura 23. Montaje de tanques de almacenamiento de agua



Fuente: Panifresh, S.A.

Los tanques de agua en la figura 22 tienen una capacidad de almacenamiento de 2 500 litros cada uno. El primer tanque tiene la función de almacenar agua fría para el sistema, el segundo tanque almacena el agua de retorno del sistema.

Para el proceso de montaje se realizó con la ayuda de un montacargas, que subiera cada tanque a la estructura y con la ayuda de los montadores se ubicó correctamente cada tanque.

### 3.3.3. Montaje de bombas centrífugas

Figura 24. Instalación de bombas centrífugas



Fuente: Panifresh, S.A.

Las bombas centrífugas tienen la función de impulsar el agua fría y el agua de retorno, hacia todo el sistema. La bomba 1 de agua fría es de marca FPS de 15 HP, esta bomba envía el agua fría hacia las amasadores y luego hacia al tanque de agua de retorno. La bomba 2 envía el agua de retorno hacia los intercambiadores de calor y posteriormente de vuelta al tanque de agua fría, esta bomba es de marca FPS de 10 HP. Para su montaje se realizó el siguiente procedimiento.

- En el primer paso fue ubicar la posición de la bomba por debajo del tanque de agua, de tal manera que la succión sea positiva y la bomba pueda cebarse automáticamente por gravedad.



- Ya definida la ubicación de la bomba se realizó el anclaje a la placa base de modo que la tubería de succión y descarga este alineado y sin tensiones.
- Para este modelo de bomba centrífuga el motor eléctrico y el impulsador vienen acoplados y por tal motivo alineados de fábrica.
- Antes del arranque de la bomba se verificó que esta se encuentre cebada, además se expulsó el aire contenido abriendo el tapón de ventilación en la parte superior del impulsor, hasta que por esa abertura saliera agua.
- Una vez realizado las verificaciones se procedió a verificar el giro de la bomba, el cual se indica en la carcasa del impulsor, para esto se arrancó brevemente la bomba comprobando el giro en la dirección correcta.

#### **3.3.4. Montaje de intercambiadores de calor**

Figura 25. **Instalación de intercambiadores de calor**



Fuente: Panifresh, S.A.

Los intercambiadores de calor utilizados para el sistema son de marca Alfa Laval, de 15 TR de capacidad cada uno y un caudal de 62 gpm cada uno. La función de este equipo es la de absorber el calor del agua fría transfiriéndolo hacia el refrigerante. Para la conexión y montaje de los intercambiadores se siguió el siguiente procedimiento:

- En el primer paso se realizó la conexión de tubería de cobre hacia la entrada y salida de los canales del intercambiador. Antes del proceso de soldadura se verificó que no existiera humedad e impurezas en el sistema.
- Para la conexión de la entrada de acero inoxidable del intercambiador hacia la tubería de cobre se utilizó varilla de plata al 15 % por medio de soldadura oxiacetilénica.
- Se continuó con la fabricación de una base metálica para soportar el peso de los intercambiadores y la tubería conectada, de tal manera estos puedan estar verticalmente y alineado con la tubería.
- Con la base y los intercambiadores listos se realizó el anclaje de la base de los intercambiadores a la estructura del sistema.
- Una vez anclada la base de los intercambiadores se realizó la conexión final de la tubería de cobre, verificando que los dos fluidos ingresen a contraflujo.

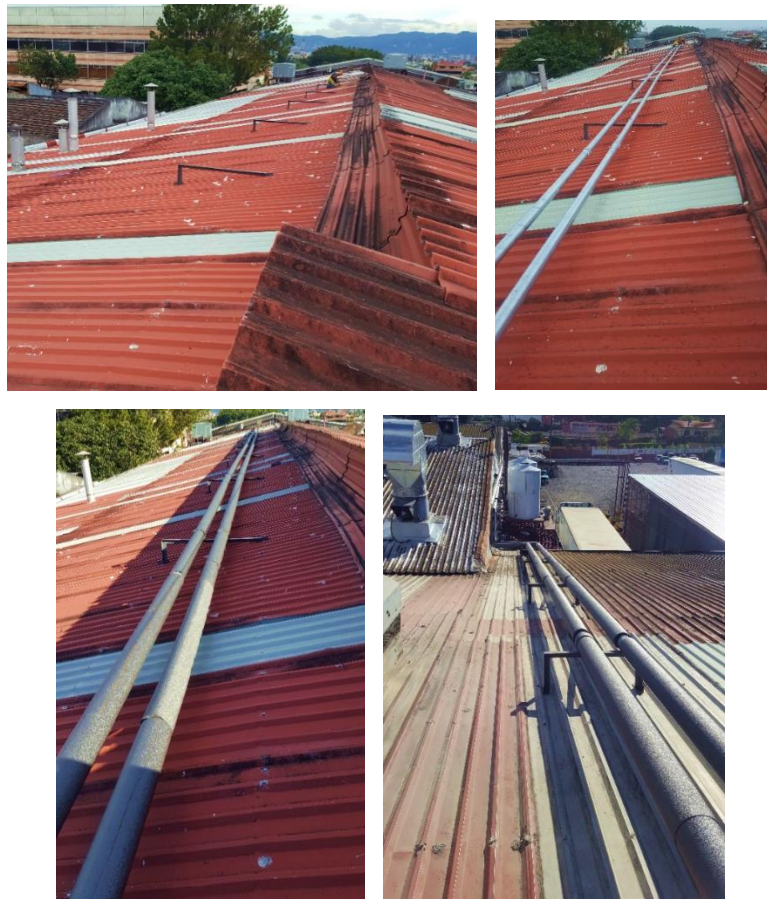


### **3.3.5. Instalación de tuberías y accesorios**

Para el sistema de enfriamiento se utilizó dos tipos de tubería, una de hierro galvanizado para el circuito de agua fría y otra de cobre para el circuito de refrigerante, a continuación se describe el proceso de montaje y conexión de los dos tipos de tubería correspondientes al sistema.

#### **3.3.5.1. Instalación de tuberías HG para el circuito de agua fría**

Figura 26. **Instalación y conexión de tubería HG**



Fuente: Panifresh, S.A.

Para el circuito de agua fría se utilizó tubería hg de 3" de diámetro, con 250 m de longitud aproximadamente. Para el montaje de este circuito se realizó el siguiente procedimiento:

- Se instaló las bases que soportan el peso de la tubería, según la tabla 7 la separación entre tuberías de acero de 3" es de 3,5 m.
- Con los soportes ya montados se realizó el anclaje de los tubos a los soportes, utilizando para esto abrazaderas roscadas en U.
- Después del anclaje de la tubería se realizó la unión de cada tramo de tubería, utilizando acoples roscados y uniones universales en puntos estratégicos para algún cambio futuro.
- Para la mitigación de fugas en el sistema en cada unión roscada se aplicó cinta de teflón y pegamento permatex.
- Una vez montada y conectada toda la tubería, se realizó la insulación de está utilizando cañuelas de aislante *thermasmart* de 1" de espesor.
- Posterior al insulado de la tubería, se cubrió todo el circuito de tubería con cañuelas de aluminio, para evitar el contacto directo de los rayos ultra violeta producidos por el sol.

### 3.3.5.2. Instalación de tuberías de cobre para el circuito de refrigerante

Figura 27. Instalación y conexión de tubería de cobre



Fuente: Panifresh, S.A.

Para el circuito de refrigerante se utilizó tubo de cobre de 2 1/8" para el tramo de líquido del lado de baja presión y para el circuito de gas de alta presión se utilizó tubería de cobre de 1 1/8". Para la instalación se realizaron los siguientes pasos:

- Primero se instalaron las bases que soportan el peso de la tubería, según la tabla 6 la separación entre tuberías de cobre de 1 1/8" es de 2,5 metros, para la tubería de 2 1/8" se utilizó la misma separación.
- Con los soportes ya montados se realizó el anclaje de los tubos a los soportes, utilizando para esto abrazaderas roscadas en U.
- Después del anclaje de la tubería se realizó la unión de cada tramo de tubería, para esto se utilizó varilla de plata al 5 % por medio de soldadura oxiacetilénica.

- Una vez montada y conectada toda la tubería, se realizó la Insulación, para el circuito de refrigerante se insulo únicamente el tramo de tubería de 2 1/8", utilizando cañuelas de aislante *thermasmart* de 1" de espesor.

### **3.3.6. Instalaciones eléctricas**

El sistema de enfriamiento cuenta con un sistema eléctrico trifásico de 440 voltios, el sistema está comprendido para alimentar tres cargas que son los 3 motores eléctricos, 2 de las bombas centrífugas y 1 del compresor Bitzer. A continuación se describen sus características:

- Bomba de agua fría: motor eléctrico de 15 hp, 440 voltios, trifásico y una carga máxima de 21 amperios.
- Bomba de agua retorno: motor eléctrico de 10 hp, 440 voltios, trifásico y una carga máxima de 15 amperios.
- Compresor Bitzer: motor eléctrico de 100 hp, 440 voltios, trifásico y una carga máxima de 110 amperios.

El sistema eléctrico tiene una capacidad máxima de 200 amperios. Para el montaje del panel de control del sistema de enfriamiento se realizó el siguiente procedimiento:

- Para el primer paso se realizó la acometida eléctrica derivada del tablero principal de cargas hacia el panel de control del sistema, para esto se utilizó cable 4/0.

- Posteriormente se realizó el montaje del panel eléctrico que tendrá en su haber los interruptores de los motores y flipon principal.
- Se realizó el montaje del flipon principal del sistema, de este se derivan los interruptores y arrancadores de cada motor.
- Como última parte se realizó la conexión de los interruptores termomagnéticos a los motores de las bombas centrífugas. Para el caso del compresor *Bitzer* se utilizó un arrancador suave, el cual permite tener una rampa de arranque de 10 segundos, de tal manera la inducción de corriente sea progresiva y no en picos.

Figura 28. **Panel de control del sistema eléctrico**



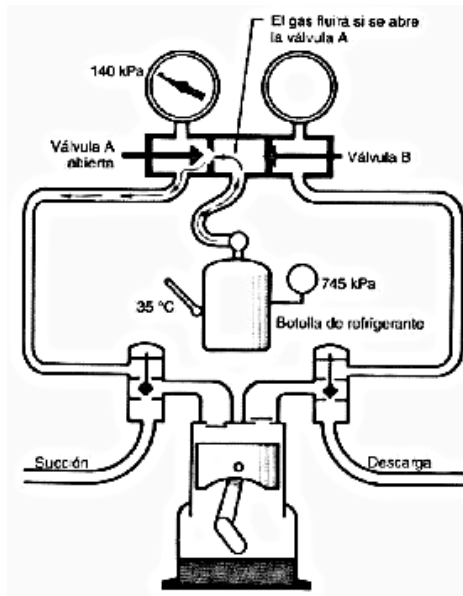
Fuente: Panifresh, S.A.

### **3.3.7. Carga de refrigerante**

El refrigerante utilizado para este sistema es denominado R-507. Este refrigerante es una mezcla azeotrópica de r125 y r143a, y se utiliza para temperaturas media y bajas, lo que lo hace adecuado para el sistema de enfriamiento. Debido a la propiedad azeotrópica del refrigerante este se puede cargar en fase líquida así como en fase gaseosa. Para el proceso de carga del refrigerante se siguieron los siguientes pasos.

- El primer paso consistió en tener el equipo en el puesto de trabajo, para esto se necesitó el juego de manómetros de carga y los cilindros de refrigerante 507.
- A continuación se conectó la manguera central amarilla del juego de manómetros al cilindro de refrigerante. El cilindro estuvo en posición vertical debido a que se cargara en fase de vapor.
- Se procedió a conectar las mangueras de alta y baja presión a las válvulas de servicio del compresor del lado respectivo, se verificó que las válvulas de los manómetros se encontraran cerradas totalmente.
- Para iniciar la carga se abrió gradualmente la válvula del lado de baja presión de los manómetros. El gas tuvo un flujo del cilindro hacia el sistema debido a que la presión del cilindro es mayor a la del circuito.

Figura 29. **Carga de vapor refrigerante por el lado de succión**



Fuente: WHITMAN, William. *Tecnología de la refrigeración y aire acondicionado*. p. 156.

### 3.3.8. Carga de mezcla agua-propilenglicol

El circuito de agua fría está compuesta por una mezcla de agua y propilenglicol en una proporción de 50-50. El propilenglicol permite disminuir la temperatura de fusión del agua hasta un máximo de -30 °C, en esa proporción. El tanque de agua tiene una capacidad de 2 500 litros, por lo cual 1 250 litros serán de agua y 1 250 serán de propilenglicol.

Para el proceso de carga de la mezcla primero se introdujo el agua por medio de una manguera hacia el tanque. El propilenglicol se bombeo después desde los toneles de almacenamiento hacia el tanque, hasta que el tanque se llenó a una altura antes estimada.

### 3.3.9. Procedimiento de puesta en marcha

Para el arranque del sistema de enfriamiento, se siguieron los siguientes pasos:

- Antes de arrancar cualquier equipo, se verificó que no exista personal trabajando en dichos equipos.
- Primero se ubicó el tablero principal de cargas de la planta, desde ahí se acciono el flipon del sistema de enfriamiento.
- Una vez tenga corriente el panel eléctrico del sistema de enfriamiento, se dirigió y se procedió a encender el compresor *Bitzer* desde el arrancador suave.
- Cuando el compresor *Bitzer* se arrancó y el refrigerante circuló en todo el sistema, se procedió a arrancar las dos bombas centrífugas, verificando la correcta circulación del fluido de trabajo.



Figura 30. **Sistema de enfriamiento en marcha**



Fuente: Panifresh, S.A.

### **3.3.10. Ahorro de energía con el sistema de enfriamiento actual**

Actualmente la mezcla agua-glicol del sistema de enfriamiento trabaja con una temperatura media de  $-23\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Comparando esta temperatura con el sistema de enfriamiento anterior que trabajaba a  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

El consumo de hielo utilizado para las masas disminuyo en un 45 %. Con base en este dato se verificó un menor consumo de agua, por el menor uso de hielo, así como menor consumo de energía eléctrica por los congeladores, utilizadas para el almacenamiento de hielo.

Aunque el sistema de enfriamiento actual consume mayor energía eléctrica (820 KW/h diarios) que el sistema anterior (605 KW/h diarios), en el

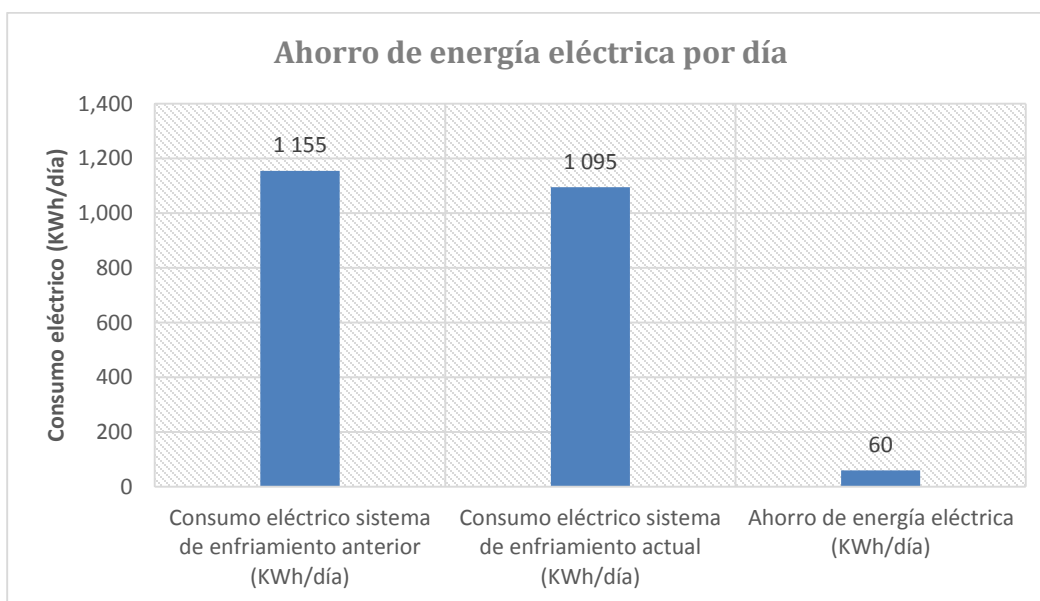
ahorro de hielo se recompensa. A continuación se detallan la comparación de los consumos y ahorros actuales de energía y agua:

Tabla XV. **Comparación de consumo de energía y agua entre sistemas de enfriamiento**

	<b>Sistema de enfriamiento actual</b>	<b>Sistema de enfriamiento anterior</b>	<b>Diferencia</b>
Consumo de energía eléctrica del sistema (diario)	820 KWh	605 KWh	+ 215 KWh
Consumo eléctrico congeladores para hielo (diario)	275 KWh	550 KWh	-275 KWh
Consumo de hielo (diario)	2 618 Lb	4 760 Lb	-2 142 Lb

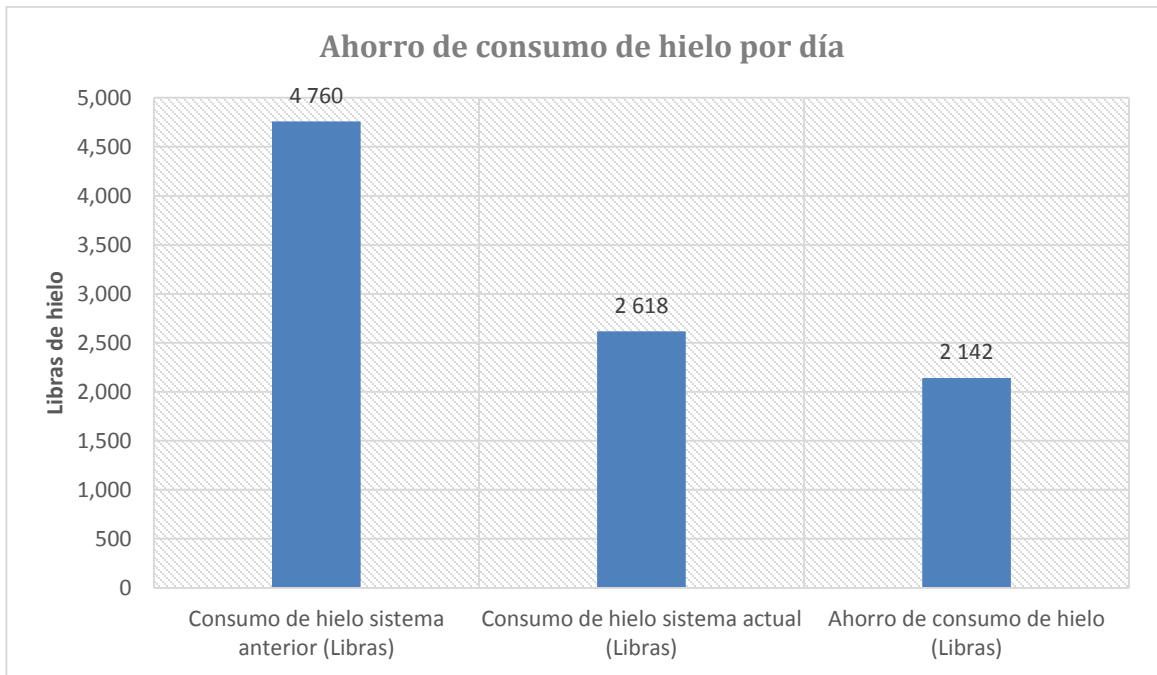
Fuente: Panifresh, S.A.

Figura 31. **Comparación de consumo eléctrico entre el sistema de enfriamiento anterior con el actual**



Fuente: Panifresh, S.A.

Figura 32. **Comparación de consumo de hielo diario entre el sistema de enfriamiento anterior con el actual**



Fuente: Panifresh, S.A.



## **4. FASE DOCENTE**

### **4.1. Presentación de avances y resultado del montaje final del equipo de refrigeración**

En esta parte ya concluido el proyecto se realizó una presentación en la cual se exponían los resultados y metas alcanzadas durante el proyecto.

La presentación se dividió en dos partes, la primera se expuso los datos medibles obtenidos, como la disminución en porcentaje de consumo de hielo obtenido, que fue de 45 % el cual se observa en la tabla XV. Esto conllevó a la presentar una disminución de costos en producción estimados, el cual se observa en la tabla XVI. La segunda parte se enfoca en la presentación del sistema de enfriamiento, el esquema de distribución de los equipos, las actividades básicas de mantenimiento para la conservación del equipo el cual se observa en la tabla XVII.

### **4.2. Información de las mejoras en costos de producción**

Debido al montaje del sistema de enfriamiento se logró la disminución de costos por el ahorro de consumo de hielo y energía eléctrica. Durante las pruebas del sistema, se obtuvieron los siguientes datos.

Tabla XVI. **Comparación de costos entre el sistema de enfriamiento actual y el sistema anterior**

	<b>Costo consumo energía eléctrica</b>	<b>Costos en consumo de hielo</b>
Sistema de enfriamiento anterior	Q 1 817,10	Q 2 380
Sistema de enfriamiento actual	Q 1 773,90	Q 1 084
Ahorro en costos diarios	Q 43,20	Q 1 296
Ahorro en costos de producción anuales	Q 13 176	Q 395 280

Fuente: Panifresh, S.A.

#### 4.3. **Capacitación sobre las actividades básicas de mantenimiento**

En este apartado se especifican las actividades básicas de mantenimiento para los equipos del sistema de enfriamiento. Estas actividades son de suma importancia para la conservación del equipo y la prevención de posibles fallas. A continuación se detallan dichas actividades:

Tabla XVII. **Actividades básicas de mantenimiento**

<b>#</b>	<b>Actividad</b>	<b>Periodicidad</b>
<b>Intercambiadores de calor</b>		
1	Inspección de fugas entre las placas y canales de los intercambiadores de calor	Mensual
2	Limpieza de las placas por incrustaciones o residuos sólidos en la misma, para la limpieza se utiliza agua a presión y cepillo para eliminar los residuos	Anual
3	Inspección de juntas: no hay un periodo establecido para el cambio, sin embargo, se debe verificar el estado de estas cuando se realiza la limpieza del intercambiador	Anual

Continuación de la tabla XVII.

<b>Estructura metálica</b>		
1	Se debe pintar la estructura de tal manera prevenir la corrosión de los materiales de la estructura.	Anual
2	Inspección de soldadura de todos los elementos de la estructura, en caso del deterioro de una unión, proceder a soldar nuevamente.	Anual
<b>Bombas centrífugas</b>		
1	Inspección y cambio de empaques: el cambio a tiempo de los empaques previene las fugas en el sistema.	Semestral
2	Inspección y cambio de sellos mecánicos: al igual que los empaques, los sellos se deben verificar de tal manera prevenir sus fallos.	Semestral
3	Cambio de cojinetes y retenedores del motor eléctrico: este cambio previene la desalineación del eje con la bomba.	Anual
4	Barnizado de las bobinas del motor eléctrico y mantenimiento general: el barnizado en las bobinas previene el desgaste de este y un posible cortocircuito por el contacto entre bobinas.	Anual
<b>Compresor <i>Bitzer</i></b>		
1	Revisión de aceite lubricante en el compresor	5 000 h
2	Cambio de sellos y empaques	20 000 h
3	Cambio de válvula de alivio de presión	100 000 h
4	Cambio de válvula de paso	20 000 h
5	Cambio de válvula solenoide de aceite	100 000 h
6	Cambio de filtro de aceite	5 000 h
7	Cambio de interruptor de flujo de aceite	100 000 h
8	Cambio de válvula de retención de aceite	5 000 h

Fuente: elaboración propia.





## CONCLUSIONES

1. Se determinó que la viabilidad del proyecto es positiva con base en el cálculo del valor presente neto, este resultado indicó que se puede tener un retorno de inversión en un 20 % durante la vida del proyecto.
2. Se diseñó el esquema del sistema con base en la necesidad de la empresa, la ubicación en la que se puede obtener mayor rendimiento, es decir, el trayecto más corto y con menos obstáculos. Parte del sistema se instaló por encima de las amasadoras, de tal manera aprovechar la gravedad para disminuir el uso de energía eléctrica para el transporte de agua fría.
3. Se determinó que el diámetro de la tubería de agua fría sea de 3", esta elección permite tener un caudal adecuado al sistema con una velocidad de 2,5 m/s el cual minimiza la erosión en el interior de la tubería.
4. Se diseñó una estructura metálica con acero A-36, que usualmente se utiliza en estructuras por el alto esfuerzo de carga soportado y el de costo promedio, la estructura se realizó para el equipo de refrigeración el cual tiene una altura de 4,5 metros, esto permite estar por encima de las amasadores.
5. Se seleccionó el propilenglicol como anticongelante para el agua del sistema, esto debido a que en una mezcla con la proporción de 50-50 con agua, puede alcanzar una temperatura de -30 °C, por otra parte este

compuesto ya se ha utilizado en la empresa y se ha obtenido resultados aceptables.

## RECOMENDACIONES

1. Para que la vida útil del sistema se pueda cumplir, es vital dar seguimiento en las actividades de mantenimiento mencionadas en la tabla. Esto permite prever cualquier falla y por consecuencia paros en producción.
2. En los circuitos de tuberías es relevante monitorear el estado del insulado, en esta parte si existiera alguna parte sin insular o en mal estado, es donde hay mayores ganancias de calor y por esto mayor consumo de energía.
3. Un aspecto de la estructura metálica es que en el hierro negro al estar en el ambiente se forma rápido una capa de óxido debido al carbono en la superficie, por esto es importante mantener pintada la estructura para mitigar este problema.
4. El propilenglicol no tiene tiempo de duración estimado, usualmente no pierde sus propiedades en las condiciones ideales, sin embargo, en los sistemas suelen existir fugas o la evaporación de este, el punto de ebullición del propilenglicol es de 160 °C, por tal motivo es necesario verificar periódicamente los niveles de mezcla en el tanque.



## BIBLIOGRAFÍA

1. Carrier Air Conditioning Co. *Manual de Aire Acondicionado*. Barcelona, España: Ediciones Técnicas Marcombo, 1980. 858 p.
2. CENGEL, Yunes y BOLES, Michael. *Termodinámica*. 7a. ed. México DF: McGraw Hill Educación, 2012. 1 041 p.
3. KASSIMALI, Aslam. *Análisis estructural*. 5ta.. México D.F.: Cengage Learning, 2015. 817 p.
4. MOTT, Robert. *Mecánica de fluidos*. México: Pearson Educación. 2006. 644 p.
5. PYTEL, Andrew y SINGER, Ferdinand. *Resistencia de materiales*. 4ta. ed. México D.F.: Oxford University Press, 1994. 615 p.
6. WANG, Shan K. *Handbook of Air Conditioning and Refrigeration*. 2da. ed. Nueva York: McGraw Hill, 2001. 1 401 p.
7. WHITMAN, William. *Tecnología de la Refrigeración y Aire Acondicionado: Refrigeración Comercial*. Madrid: Paraninfo Thomson Learning, 2000. 343 p.



# ANEXOS

## Anexo 1. Propiedades físicas de la mezcla agua-glicol al 50 %

**MPG 50%** solution aqueuse de monopropylène glycol à 50% température de fusion : -32.5°C  
 50% monopropylene glycol aqueous solution freezing temperature

température θ temperature	masse volum. ρ density	chaleur spécifique Cp specific heat		viscosité dynamique μ dynamic viscosity		conductivité thermique λ thermal conductivity		pression de vapeur Ps vapor pressure	
°C	kg/m <sup>3</sup>	J/kg.K	kcal/kg.°C	Pa.s	kg/m.h	W/m.K	kcal/h.m.°C	Pa (abs)	bar(rel.) barg
-30	1064	3493	0,835	0,018134	622,514	0,384	0,330	41	
-25	1062	3507	0,838	0,013847	396,651	0,383	0,330	65	
-20	1061	3521	0,841	0,010738	260,932	0,383	0,329	101	
-15	1059	3535	0,844	0,008448	176,746	0,383	0,329	154	
-10	1056	3548	0,848	0,006738	122,980	0,382	0,329	231	
-5	1054	3562	0,851	0,005443	87,709	0,382	0,329	340	
0	1051	3575	0,854	0,004449	63,992	0,382	0,329	494	
5	1048	3588	0,857	0,003678	47,677	0,382	0,328	705	
10	1045	3601	0,860	0,003073	36,216	0,382	0,328	993	
15	1041	3614	0,864	0,002593	28,006	0,382	0,328	1380	
20	1038	3627	0,867	0,002209	22,019	0,382	0,328	1894	
25	1034	3640	0,870	0,001898	17,579	0,382	0,329	2567	-0,99
30	1030	3652	0,872	0,001645	14,235	0,382	0,329	3440	-0,98
35	1026	3664	0,875	0,001437	11,681	0,382	0,329	4560	-0,97
40	1023	3676	0,878	0,001264	9,703	0,382	0,329	5984	-0,95
45	1019	3688	0,881	0,001120	8,153	0,382	0,329	7777	-0,94
50	1015	3699	0,884	0,001000	6,923	0,383	0,329	10013	-0,91
55	1011	3710	0,887	0,000897	5,938	0,383	0,329	12781	-0,89
60	1006	3722	0,889	0,000811	5,140	0,383	0,330	16177	-0,85
65	1002	3733	0,892	0,000736	4,488	0,383	0,330	20314	-0,81
70	998	3743	0,894	0,000672	3,950	0,384	0,330	25316	-0,76
75	994	3754	0,897	0,000617	3,503	0,384	0,330	31324	-0,70
80	990	3764	0,899	0,000569	3,129	0,384	0,330	38493	-0,63
85	986	3775	0,902	0,000528	2,813	0,384	0,331	46994	-0,54
90	982	3785	0,904	0,000491	2,545	0,385	0,331	57015	-0,44
95	978	3795	0,907	0,000459	2,316	0,385	0,331	68762	-0,33
100	974	3804	0,909	0,000431	2,119	0,385	0,331	82457	-0,19
105	970	3814	0,911	0,000406	1,948	0,386	0,332	98344	-0,03
110	966	3823	0,913	0,000384	1,800	0,386	0,332	116682	0,15
115	962	3833	0,916	0,000364	1,671	0,386	0,332	137751	0,36
120	958	3842	0,918	0,000346	1,558	0,386	0,332	161852	0,61
125	954	3851	0,920	0,000331	1,458	0,387	0,333	189304	0,88
130	950	3859	0,922	0,000316	1,370	0,387	0,333	220447	1,19
135	946	3868	0,924	0,000304	1,292	0,387	0,333	255639	1,54
140	942	3876	0,926	0,000293	1,222	0,388	0,333	295262	1,94
145	938	3885	0,928	0,000282	1,160	0,388	0,334	339716	2,38
150	934	3893	0,930	0,000273	1,104	0,388	0,334	389422	2,88
155	931	3901	0,932	0,000265	1,054	0,389	0,334	444822	3,43
160	927	3909	0,934	0,000258	1,009	0,389	0,335	506379	4,05
165	923	3917	0,936	0,000251	0,968	0,389	0,335	574576	4,73



[www.celsius-process.com](http://www.celsius-process.com)

Fuente: Celsius. [http://www.celsius-process.com/\\_es/herramientas.php](http://www.celsius-process.com/_es/herramientas.php). Consulta: 20 de febrero de 2018

Anexo 2. Tabla de perfiles S para acero A-36

Denominación	Masa (aprox.) (kg/m)	Área transversal (mm <sup>2</sup> )	Altura (mm)	Ala (o patin)			Eje X-X			Eje Y-Y		
				Ancho (mm)	Espesor (mm)	Espesor de alma (mm)	$I$ (10 <sup>6</sup> mm <sup>4</sup> )	$S = \frac{I}{c}$ (10 <sup>3</sup> mm <sup>3</sup> )	$r = \frac{I}{A}$ (mm)	$I$ (10 <sup>6</sup> mm <sup>4</sup> )	$S = \frac{I}{c}$ (10 <sup>3</sup> mm <sup>3</sup> )	$r = \frac{I}{A}$ (mm)
S310 × 74	74.6	9 500	305	139	16.8	17.4	128	836	116	6.64	95.6	26.4
× 60.7	60.8	7 750	305	133	16.8	11.7	114	747	121	5.71	85.9	27.1
× 52	52.2	6 650	305	129	13.8	10.9	95.8	629	120	4.16	64.5	25.0
× 47	47.4	6 040	305	127	13.8	8.9	91.1	597	123	3.94	62.1	25.5
S250 × 52	52.3	6 660	254	126	12.5	15.1	61.6	485	96.1	3.56	56.5	23.1
× 38	37.8	4 820	254	118	12.5	7.9	51.4	405	103	2.84	48.2	24.3
S200 × 34	34.3	4 370	203	106	10.8	11.2	27.0	266	78.6	1.81	34.2	20.4
× 27	27.5	3 500	203	102	10.8	6.9	24.0	237	82.9	1.59	31.1	21.3
S180 × 30	29.7	3 780	178	97	10.0	11.4	17.6	198	68.3	1.30	26.8	18.5
× 22.8	22.7	2 890	178	92	10.0	6.4	15.3	172	72.7	1.08	23.6	19.4
S150 × 26	25.5	3 250	152	90	9.1	11.8	10.8	143	57.7	0.952	21.2	17.1
× 19	18.4	2 340	152	84	9.1	5.8	9.08	119	62.3	0.750	17.9	17.9
S130 × 22	21.9	2 790	127	83	8.3	12.5	6.33	99.6	47.6	0.690	16.6	15.7
× 15	14.8	1 880	127	76	8.3	5.3	5.11	80.4	52.1	0.507	13.4	16.4
S100 × 14.1	14.0	1 790	102	70	7.4	8.3	2.81	55.2	39.7	0.362	10.3	14.2
× 11	11.3	1 440	102	67	7.4	4.8	2.52	49.4	41.9	0.311	9.28	14.7
S75 × 11	11.1	1 420	76	63	6.6	8.9	1.20	31.6	29.1	0.238	7.56	13.0
× 8	8.4	1 070	76	59	6.6	4.3	1.04	27.4	31.2	0.190	6.43	13.3

Fuente: PYTEL, Andrew y SINGER Ferdinand. *Resistencia de Materiales*. p. 542.