



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA  
SEDE GUAYAQUIL  
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL**

**PROYECTO TÉCNICO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN  
DEL TÍTULO DE INGENIERO INDUSTRIAL**

**TEMA**

*Título: Diseño e implementación de sistema de congelación para hielo industrial en escama con refrigerante amoníaco para industria hielera*

**THEME:**

*Title: Design and implementation of freezing system for flake ice industrial with ammonia refrigerant for ice industry*

**AUTOR:**

Oscar Danilo Arboleda Arias

**TUTOR:** Ing. Armando López.

**Guayaquil – Ecuador**

## **DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA**

Yo, **OSCAR DANILO ARBOLEDA ARIAS**, autorizo a la **UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA** la publicación total o parcial de este trabajo de titulación y su reproducción sin fines de lucro. Además, declaro que los conceptos, análisis desarrollados y las conclusiones del presente trabajo son de exclusiva responsabilidad de los autores.

Guayaquil, Agosto 2019

---

**OSCAR DANILO ARBOLEDA ARIAS**

**CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO  
DE TITULACIÓN A LA UPS**

Yo, **Oscar Danilo Arboleda Arias**, con documento de identificación N° **0950754069**, manifestamos mi voluntad y cedo a la **UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA** la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor del trabajo de grado titulado **“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMA DE CONGELACIÓN PARA HIELO INDUSTRIAL EN ESCAMA CON REFRIGERANTE AMONÍACO PARA INDUSTRIA HIELERA”** mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de **INGENIERO INDUSTRIAL**, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la universidad facultada para ejercer plenamente los derechos antes cedidos.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en mi condición de autor me reservo el derecho moral de la obra antes citada. En concordancia, suscrito este documento en el momento que se hace entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, Agosto de 2019

---

**OSCAR DANILO ARBOLEDA ARIAS**

**0950754069**

**CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN  
SUSCRITO POR EL TUTOR**

Yo, **ARMANDO LOPEZ**, director del proyecto de Titulación denominado ***“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMA DE CONGELACIÓN PARA HIELO INDUSTRIAL EN ESCAMA CON REFRIGERANTE AMONÍACO PARA INDUSTRIA HIELERA”*** realizado por el estudiante, **OSCAR DANILO ARBOLEDA ARIAS**, certifico que ha sido orientado y revisado durante su desarrollo, por cuanto se aprueba la presentación del mismo ante las autoridades pertinentes.

Guayaquil, Agosto 2019

---

**ARMANDO LOPEZ**  
**TUTOR DEL TRABAJO DE TITULACION**

## **DEDICATORIA**

Dirijo mis logros a mi padre, el cual me ha otorgado el conocimiento primario para desarrollar, y poseer conociendo hacia la industria en general, a mi madre, hermana y abuela, las cuales me han apoyado en el transcurso de esta carrera profesional y en lo personal.

## **AGRADECIMIENTOS**

Mi más sincero agradecimiento a mi familia en general, la cual me ha apoyado para culminar mi carrera, en especial a mi padre, el cual me ha dado la oportunidad de conocer múltiples industrias, y al Ing. Armando López por su guía en este proyecto, por ayudarme a pulir y mejorar mi conocimiento expuesto en esta tesis.

**ABREVIATURAS**

<b>Am</b>	Amoníaco
<b>Cp</b>	Presión Constante
<b>Cv</b>	Volumen Constante
<b>Max. Desc. Pres.</b>	Presión máxima de descarga
<b>Max. Desc. Temp.</b>	Temperatura máxima de descarga
<b>Min. Evap. Temp.</b>	Temperatura mínima de evaporación
<b>Min. Evap. Pres.</b>	Presión mínima de evaporación
<b>VAN</b>	Valor Actual Neto
<b>TIR</b>	Tasa Interna de Retorno
<b>ODP</b>	Ozone depletion potential
<b>GWP</b>	Global Warning Potencial

**SIMBOLOGÍA**

<b>g</b>	Gravedad
<b>bar</b>	Bar
<b>lbs</b>	Libras
<b>Kg</b>	Kilogramos
<b>Psi</b>	Libra de fuerza por pulgada cuadrada
<b>N</b>	Nitrógeno
<b>O</b>	Oxígeno
<b>Rpm</b>	Revoluciones por minuto
<b>°C</b>	Grados centígrados
<b>Fe</b>	Hierro
<b>K</b>	Kelvin
<b>NH<sub>3</sub></b>	Amoníaco
<b>°F</b>	Fahrenheit
<b>btu</b>	Brithish Termal Unit
<b>T</b>	Temperatura
<b>t</b>	Tiempo
<b>hrs</b>	Horas
<b>TR</b>	Toneladas de refrigeración
<b>KJ</b>	Kilojoule
<b>MBH</b>	Miles de British
<b>W</b>	Peso
<b>M</b>	Masa

<b>M</b>	flujo de masa
<b><math>\Delta t</math></b>	Diferencial de temperatura
<b>seg</b>	segundos
<b>Q° Teórico</b>	Tasa de transferencia de calor
<b>CpH<sub>2</sub>O</b>	Calor específico del agua
<b>Clatente</b>	Calor latente del agua
<b>CpHielo</b>	Calor latente del hielo

## RESUMEN

En este proyecto se diseñó e implemento un sistema de congelación para generar hielo en escama para una industria que comercializa hielo en distintos puntos a nivel nacional como, por ejemplo, las empacadoras y barcos pesqueros entre otros, empleando los principios de conservación de energía, de esta manera se seleccionará los equipos con la capacidad y potencia adecuadas como son el compresor, condensador, válvula de expansión y evaporador, esta actividad se llevará con el fin de lograr 28-30 toneladas de hielo al día.

El objetivo principal de dicho proyecto esta en diseñar e instalar el sistema de congelación para satisfacer la demanda de hielo que tiene la empresa además se planteó y se definieron las presiones y temperaturas que debe trabajar el sistema para tener una máxima eficiencia, aplicando diferentes fórmulas que nos sirvieron de gran ayuda para el desarrollo y comprensión del sistema debido a que se requiere calcular diferentes variables en cuanto a la capacidad del compresor y condensador, entre otras.

Luego de un arduo estudio con respecto a la elección de la sustancia refrigerante, se decidió elegir el refrigerante amoníaco ya que, a diferencia de otras sustancias, ocasionan un impacto menor al medio ambiente. Al elegir la generación de 28-30 toneladas se determinó realizar la compra de un generador de hielo con capacidad de 200 toneladas ya que a través de las fórmulas se estableció dicho tonelaje, por ende, se alcanzó la producción estimada de toneladas diarias. Se estableció un mantenimiento preventivo para el sistema, previniendo así cualquier daño a las máquinas, se estimaron costos de cada elemento, equipo o maquinaria para la realización de dicho sistema, el cual obtuvo un costo total de \$ 110,581.30, cuyo valor se recuperó en menos de un año, es decir la ganancia obtenida a través de la fórmula del VAN fue de \$ 189,418.70, siendo un proyecto viable para la inversión, sin embargo el TIR no se pudo determinar debido a que no hubo ninguna tasa de corte porque todos los gastos fueron cancelados al contado, es decir no hubo ningún tipo de préstamo.

***Palabras clave:* Amoníaco, compresor, condensador, evaporador, inundado, recirculado, expansión directa.**

## ABSTRACT

In this plan, a freeze system was designed and applied to generate ice in flake for an industry that commercializes ice at different points in the country, such as, for example, packers and fishing boats, among others, using the principles of energy conservation, in this way it will be selected the equipment with the adequate capacity and power such as the compressor, condenser, expansion valve and evaporator, this activity will be carried out in order to achieve 28-30 tons of ice per day.

The principal object of this project is to design and install the freeze system to meet the demand for ice that the company has, also it was defined the pressures and temperatures that the system must work to have maximum efficiency, applying different formulas that it was served us of great help for the development and understanding of the system because it is required to calculate different variables as compressor and capacitor capacity, among others.

Afterward a hard research with regard to the choice of refrigerant, it was decided to choose the ammonia refrigerant because, unlike other substances, it causes a less impact on the environment. When we choosing the generation of 28-30 tons, it was decided to invest in an ice generator with a capacity of 200 tons, since through the formulas said tonnage was established, therefore, the estimated production of tons per day was reached, we established a preventive maintenance for the system, thus preventing any damage to the machines, We estimated the costs of each element, equipment or machinery for the realization of said system, which it obtained a total cost of \$ 110,581.30, whose price was recovered in less than one year, that is, the gain obtained through the NPV formula was \$ 189,418.70, being a viable plan for the investment, however the IRR couldn't be determined because there wasn't cut rate due to all expenses were paid in cash, that is, there wasn't type of loan.

**Keywords:** Ammonia, compressor, condenser, evaporator, flooded, recirculated, expansion.

## ÍNDICE GENERAL

<b>DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA .....</b>	<b>II</b>
<b>CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UPS .....</b>	<b>II</b>
<b>CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN SUSCRITO POR EL TUTOR.....</b>	<b>III</b>
<b>DEDICATORIA.....</b>	<b>IV</b>
<b>AGRADECIMIENTOS.....</b>	<b>V</b>
<b>ABREVIATURAS .....</b>	<b>VI</b>
<b>SIMBOLOGÍA.....</b>	<b>VII</b>
<b>RESUMEN .....</b>	<b>IX</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>X</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS .....</b>	<b>XIII</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS .....</b>	<b>XIV</b>
<b>ÍNDICE DE ECUACIONES.....</b>	<b>XVI</b>
<b>CAPÍTULO 1: PROBLEMA GENERAL .....</b>	<b>4</b>
1.1. Antecedentes .....	4
1.2. Importancia y alcances.....	4
1.3. Delimitación.....	5
1.3.1 Geográfica.....	5
1.3.2 Temporal .....	5
1.3.3.1 Presentación corporativa.....	6
1.4 Formulación del problema .....	7
1.4.1 Problema general .....	7
1.5 Objetivos .....	7
1.5.1. Objetivo general.....	7
1.5.2. Objetivos específicos .....	7
<b>CAPITULO 2: MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>8</b>
2.1 Conceptos elementales .....	8
2.2 Ciclo de refrigeración .....	9
2.2.1 Ciclo real de refrigeración .....	10
2.3 Sistemas de congelación .....	11
2.3.1 Sistema recirculado.....	11
2.3.2 Sistema inundado.....	12
2.4 Principales componentes de un sistema de refrigeración .....	12
2.4.1 Compresores .....	13
2.4.2 Condensadores .....	21
2.4.3 Evaporadores .....	24
2.4.4 Generador de hielo.....	25
2.5 Refrigerantes .....	27
2.5.1 Clasificación de los refrigerantes.....	27

2.5.2 Refrigerante amoníaco .....	28
2.6 Mantenimiento preventivo .....	33
<b>CAPÍTULO 3: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>40</b>
3.1 Método experimental .....	40
3.2. Técnicas de investigación. ....	40
3.2.1. Técnica documental. ....	40
<b>3.2.2. Técnica experimental.....</b>	<b>40</b>
<b>CAPÍTULO 4: SISTEMA DE CONGELACIÓN.....</b>	<b>43</b>
4.1 Calcular la capacidad de Congelación .....	43
4.1.1 Calculo de la capacidad del condensador diario .....	44
4.2 Elegir el apropiado compresor, condensador, evaporador, refrigerante y tuberías para el sistema de congelación. ....	47
4.2.1 Selección del compresor adecuado .....	47
4.2.2 Selección del condensador adecuado.....	48
4.2.3 Selección del evaporador adecuado .....	49
4.2.4 Selección del refrigerante adecuado .....	51
4.2.5 Selección de tuberías adecuadas .....	57
4.3 Alcanzar una producción de 28-30 toneladas de hielo en escama diariamente... 59	
4.5 Definir los componentes del sistema, áreas de trabajo, planos del sistema y sus materiales.....	60
<b>CAPÍTULO 5: ANÁLISIS FINANCIERO .....</b>	<b>66</b>
<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>70</b>
<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>71</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>72</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>74</b>

**ÍNDICE DE TABLAS**

<b>Tabla 1</b> Características específicas del refrigerante amoníaco.....	19
<b>Tabla 2</b> Características específicas del refrigerante amoníaco.....	29
<b>Tabla 3</b> Factores de capacidad para calor rechazado R-717 .....	43
<b>Tabla 4</b> Información de la placa del condensador evaporativo.....	49
<b>Tabla 5</b> Factores de capacidad para calor rechazado R-717 .....	52
<b>Tabla 6</b> Rendimiento de los refrigerantes bajo las condiciones operativas.....	53
<b>Tabla 7</b> Aspectos de selección de los refrigerantes.....	56
<b>Tabla 8</b> Basado en temperatura de condensación de 95°F.....	57
<b>Tabla 9</b> Suministro de líquido de refrigerante a 95°F.....	62
<b>Tabla 10</b> Costo por tuberías .....	66
<b>Tabla 11</b> Costo por elementos en la red de amoníaco.....	66
<b>Tabla 12</b> Costo por maquinas en el sistema .....	67
<b>Tabla 13</b> Costo de la sustancia refrigerante .....	67
<b>Tabla 14</b> Costos totales .....	68

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1:</b> Ubicación de la Fábrica de Hielo. ....	5
<b>Figura 2:</b> Diagrama de un sistema de refrigeración.....	10
<b>Figura 3:</b> Complemento de Sistema Recirculado. ....	11
<b>Figura 4:</b> Sistema de inundado. Fuente: (Curso de refrigeración Básica.).....	12
<b>Figura 5:</b> Corte interno de un compresor de serie 400 Fuente: (Curso de refrigeración básica.).....	14
<b>Figura 6:</b> Compresor de tornillo Fuente: (Emerson.).....	15
<b>Figura 7:</b> Parte interna de un compresor de un tornillo. Fuente: (Emerson) .....	16
<b>Figura 8:</b> Sistema de recirculación del agua. Fuente: (Curso de Refrigeración Básica.).....	23
<b>Figura 9:</b> Maquina de hielo en escamas de acero al carbono Fuente: (NorthStar.)26	26
<b>Figura 10:</b> Maquina de hielo en escamas de acero al carbono Fuente: (NorthStar.) .....	27
<b>Figura 11:</b> Molécula de amoníaco.....	29
<b>Figura 12:</b> Inspección del grupo de compresores recíprocos Fuente: Frick, 2016.....	38
<b>Figura 13:</b> Inspección del grupo de compresores recíprocos Fuente: Frick, 2016.....	39
<b>Figura 14:</b> Parámetros para la elección de la capacidad del evaporador Fuente: (NorthStar.) .....	50
<b>Figura 15:</b> Diagrama de Mollier del refrigerante R-404 A con temperatura de evaporación $-31,7^{\circ}\text{C}$ y temperatura de condensación de $30^{\circ}\text{C}$ Fuente: Coolpack v.1.....	55
<b>Figura 16:</b> Diagrama de Mollier del refrigerante R-717 con temperatura de evaporación $-31,7^{\circ}\text{C}$ y temperatura de condensación de $30^{\circ}\text{C}$ Fuente: Coolpack v.1.....	55
<b>Figura 17:</b> Presión de succión, aceite y descarga de los manómetros Fuente: Elaboración propia .....	59
<b>Figura 18:</b> Presión Vs Capacidad del enfriador para dimensión de tuberías Fuente: (Instituto Internacional de Refrigeración de Amoníaco) .....	63
<b>Figura 19:</b> Presión Vs Capacidad del enfriador para dimensión de tuberías Fuente: (Instituto Internacional de Refrigeración de Amoníaco) .....	64

**Figura 20: Presión Vs Capacidad del enfriador para dimensión de tuberías**

Fuente: (Instituto Internacional de Refrigeración de Amoniaco) ..... 64

**Figura 21: Plano del sistema de refrigeración** Fuente: Elaboración propia ..... 65

**ÍNDICE DE ECUACIONES**

<b>Ecuación 1.</b> Calor sensible del punto de congelación.....	18
<b>Ecuación 2.</b> Calor latente de congelación.....	18
<b>Ecuación 3.</b> Capacidad del compresor.....	37
<b>Ecuación 4.</b> Conversión del peso del producto.....	38
<b>Ecuación 5.</b> Conversión de temperatura en unidades de °C a °F.....	38
<b>Ecuación 6.</b> Conversión de BTU a Tr .....	39
<b>Ecuación 7.</b> Capacidad de congelación del sistema.....	39
<b>Ecuación 8.</b> Carga del producto.....	40
<b>Ecuación 9.</b> Conversión de unidades de KJ/seg a Tr.....	40

## ÍNDICE DE ANEXOS

<b>ANEXO 1:</b> Manómetro compresor .....	74
<b>ANEXO 2:</b> Tablero eléctrico del sistema.....	75
<b>ANEXO 3:</b> Compresor de tornillo.....	76
<b>ANEXO 4:</b> Termosifón .....	76
<b>ANEXO 5:</b> Transportadores de hielo .....	77
<b>ANEXO 6:</b> Funcionamiento de los compresores .....	77
<b>ANEXO 7:</b> Señalética .....	78
<b>ANEXO 8:</b> Trampa de succión .....	79
<b>ANEXO 9:</b> Condensador.....	79
<b>ANEXO 10:</b> Condensador entrada y salida de refrigerante .....	80
<b>ANEXO 11:</b> Salida de refrigerante .....	81
<b>ANEXO 12:</b> Tanque de desecho de aceite .....	81
<b>ANEXO 13:</b> Señalética de seguridad .....	82
<b>ANEXO 14:</b> Señalética de prácticas de manufactura.....	83
<b>ANEXO 15:</b> Evaporador .....	84
<b>ANEXO 16:</b> Parte Lateral del Recibidor.....	85
<b>ANEXO 17:</b> Parte Trasera del Recibidor .....	86
<b>ANEXO 18:</b> Bomba de agua del evaporador .....	86
<b>ANEXO 19:</b> Interior Del Silo.....	87
<b>ANEXO 20:</b> Transportador de hielo salida .....	88
<b>ANEXO 21:</b> Transportador de Hielo Interior.....	89
<b>ANEXO 22:</b> Salida del Hielo De La Maquina .....	90
<b>ANEXO 23:</b> Compresor y Enfriador De Aceite .....	91
<b>ANEXO 24:</b> Acumulador De Agua.....	91
<b>ANEXO 25:</b> Evaporador .....	92
<b>ANEXO 26:</b> Transportador De Hielo.....	93
<b>ANEXO 27:</b> Control De Nivel Recibidor .....	94
<b>ANEXO 28:</b> Condensador .....	95
<b>ANEXO 29:</b> Tablero Eléctrico Exterior .....	96
<b>ANEXO 30:</b> Silo de hielo.....	97
<b>ANEXO 31:</b> Bomba de agua condensador .....	98

## INTRODUCCIÓN

El comercio de víveres en congelación representa un incremento constante dentro de estos últimos años, dicho aumento continuo se basa en la alimentación de suministros congelados en todo el mundo, tratando de satisfacer las exigencias de los clientes o consumidores que mientras pasa el tiempo se acumula los requerimientos y son más exigentes debido a esto se vio en la necesidad de optimizar los métodos de congelación y llevar a cabo otros nuevos que aumenten la calidad concluyente del producto que se obtendrá.

El apropiado diseño de los sistemas de congelación tiene diferentes factores importantes, los cuales son el producto que se desea congelar y la temperatura con la cual se requiere llevar dicho producto ya que con esta información se puede tomar la decisión de la compra de una maquina específica para la cantidad de hielo que deseo producir puesto que las maquinarias consignadas para ocasionar frío son altamente eficaces, no ocupan mucho espacio y no requieren excesivas cantidades de energía, lo cual, dados los actuales precios de los hidrocarburos y la electricidad, las convierte en una opción importante para la industria alimentaria. ya que en este caso se pretende congelar H<sub>2</sub>O (agua) es decir a través de la suma de agua se obtiene el calor latente de congelación siendo el calor latente del agua, la cantidad necesaria para convertir 1 kg de líquido en hielo sin cambio de temperatura es decir en cuestión existe 80 kcal/kg la cual ingresa al evaporador en estado líquido y gracias al método de congelación por medio de transferencia este se congela inmediatamente al estar en contacto con el acero al carbono que posee una buena conductividad térmica, maquinabilidad, responde correctamente tratamiento térmico. [2]

El refrigerante amoníaco será uno de las fuentes principales para la generación de hielo en el sistema de congelación de hielo industrial ya que es un gas que se genera naturalmente por la descomposición de materia orgánica y se estima que la cantidad de amoníaco fabricada por el ser humano al año supera 5 veces la generada por la naturaleza, debido a que es un gas toxico compuesto por 1 molécula de nitrógeno y 3 de Hidrogeno, siendo El nitrógeno un gas seco e inerte cuya fuente principal es el aire que representa el 78% de la atmósfera que respiramos, es inodoro y no se

mezclan con otros elementos, en caso de que haya reacciones químicas, no obstante el hidrogeno es un gas que no tiene un olor y color característico . [2]

Un sistema de congelación se puede diseñar de 3 distintas maneras las cuales son el inundado, recirculado, y expansión, cada uno de estos sistemas tienen como fin declinar la temperatura de un producto de acuerdo con la necesidad planteada. [3]

El sistema inundado se caracteriza por llenar el evaporador con refrigerante en estado líquido este refrigerante se acumula en el evaporador y la única manera de que este se pueda extraer es por medio de la evaporación del mismo gracias a que el compresor presenta una presión de succión 0-8 PSI lo que da como resultado una temperatura del evaporador de  $-20^{\circ}\text{C}$  con amoniaco (grados centígrados) [4].

El sistema recirculado tiene características muy parecidas al inundado , pero existe una diferencia relativa ya que dentro del sistema, el refrigerante amoniaco antes de ingresar al evaporador se suben fría estando este a unos  $-18^{\circ}\text{C}$  en el momento que ingresa al evaporador este entra con una presión de 20 PSI gracias a una bomba recicladora la cual inyecta el refrigerante al evaporador y la misma fuerza a salir en amoniaco sin importar que este se haya evaporado del todo dentro del evaporador, gracias a este sistema se puede llegar a alcanzar temperaturas de  $-45^{\circ}\text{C}$ . Todos estos sistemas generas cierto desperdicio de aceite de lo cual las empresas están muy conscientes que el mismo puede causar una no conformidad en sus exportaciones y generar grandes daños a la empresa ya que el aceite que se usa es un aceite in-congelable el cual es toxico y puede causar daños a la salud humana en grandes concentraciones si se ingiere , esta contaminación puede suceder mayormente cuando se da mantenimiento a las maquinas como purgar aceite del sistema o inserción de grasas en rodamientos de los equipos . [5].

El sistema de Expansión se usa mayormente en refrigeración, los cuales se pretende llegar a una temperatura de  $5^{\circ}\text{C}$  (grados centígrados) en este sistema el amoniaco se introduce a un ritmo lento y el ingreso del refrigerante no es contante a diferencias de los otros dos sistemas mencionados. [6]

El sistema de congelación consta de diferentes maquinas que actúan en conjunto constantemente para producir hielo, la implementación de este sistema requiere tiempo y dedicación

Dentro del proceso de elaboración del proyecto técnico investigativo se puntualiza los capítulos que detallaran cada capítulo dentro del mismo que son los siguientes:

En el primer capítulo se definirá el problema general es decir los antecedentes del lugar donde se realizará el proyecto y a su vez la importancia, la misión, la visión y el alcance del mismo especificando su lugar de origen o delimitación geográfica, temporal o sectorial y describiendo los objetivos ya sea general y específicos.

En el segundo capítulo se definirá la recopilación de la información requerida para la elaboración puesto que se detallará el marco teórico con las diferentes definiciones del sistema de congelación que amerite.

En el capítulo tercero se desarrolla la sistemática donde se efectuó para generar dicho proyecto detallando las técnicas de investigación y el método y maquinas a utilizar para el diseño e implementación del sistema de congelación para hielo industrial.

En el cuarto capítulo se define la descripción del proceso del sistema de congelación con el pertinente esquema de flujo para visualizar de mejor forma dicho sistema y así obteniendo el resultado óptimo después de la implementación de este.

En el quinto capítulo se basa en el análisis de todos los costos, detallando cada equipo y maquinaria utilizados en el sistema para así, realizar el VAN y TIR.

Finalmente se redactan las conclusiones y recomendaciones luego de haber realizado la implementación, dando a conocer todo el proceso que conlleva dicho sistema.

## **CAPÍTULO 1: PROBLEMA GENERAL**

### **1.1. Antecedentes**

La empresa dedicada a la producción y la venta de hielo en escama a escala industrial ubicada vía a la costa solicita satisfacer una demanda de 28 toneladas de hielo, actualmente la fábrica produce y comercializa hielo tipo escama, el hielo en escama tiene gran demanda por parte de empacadoras, barcos, y piscinas camaroneras que se dedican a comercializar y pesca de sus productos marinos para la exportar por lo cual estas empresas se ven obligadas a consumir hielo por toneladas diariamente de acuerdo a sus producciones.

La empresa vende hielo a distintos puntos de la Costa Ecuatoriana algunos de estos sectores son Duran, Guayaquil, Santa Elena y empacadoras y procesadoras de pollo vía a la costa.

Se usa hielo en escama porque este es un hielo voluminoso y puesto que el hielo se vende por sacos este puede llenar un saco con menos hielo que otros como el de marquetas o placa, por lo que la compañía es capaz de generar más ganancias.

### **1.2. Importancia y alcances**

El sistema de congelación tendrá como fin generar hielo constante en la empresa, de esta manera satisfacer la demanda actual de la empresa. Si bien es cierto el mercado alimenticio es el que se abastece de hielo y representa un alto porcentaje para mantener los productos congelados para su conservación y mantener frescos. Es de suma importancia que existan sistemas de congelación que faciliten la demanda de dicho insumo estudiado, es decir el hielo que es de vital ayuda para la congelación de productos perecederos, es decir que haya una mayor producción para abastecer los diferentes puntos de venta de hielo o a los consumidores.

El alcance del sistema de congelación tiene como fin satisfacer la demanda de empacadoras y barcos pesqueros los cuales compran el hielo diariamente. Se establecerán parámetros de funcionamiento de presiones y temperaturas del sistema.

### 1.3. Delimitación

Este proyecto se delimita con los siguientes puntos:

- Se usará como refrigerante Amoníaco (NH<sub>3</sub>)
- Las tuberías serán de hierro dulce Célula 40
- Las presiones de descarga no superaran los 170 PSI
- Se usará un sistema de termosifón.
- Se producirá entre 28-30 toneladas de hielo al día.

#### 1.3.1 Geográfica

El sistema de congelación será efectuado en la empresa GLICORNI S.A ubicada en la vía a la costa a en km 62 vía Guayaquil-Progreso donde se opera el área administrativa, planta productiva y almacenamientos de los productos según **Figura 1**.



**Figura 1:** Ubicación de la Fábrica de Hielo.

*Fuente: Google Maps*

#### 1.3.2 Temporal

El desarrollo de este proyecto técnico investigativo se llevará a cabo en un periodo máximo de 4 meses aproximadamente lo que dura la implementación del sistema de congelación.

El objetivo de este proyecto denominado como: Diseño e implementación de sistema de congelación para hielo industrial en escama con refrigerante amoníaco para industria hielera cumpla con la necesidad que requiere dicha empresa es por ello que se implementará este sistema en el tiempo previamente establecido.

### **1.3.3 Sectorial**

La empresa GLICORNI S.A se dedica a la fabricación de hielo en escama para la venta a diferentes sectores industriales ya sea agrícola, pesquero y constructoras porque al añadirlo a la mezcla del cemento ayuda a una mejor mezcla de los elementos para obtener un cemento de mejor calidad.

#### **1.3.3.1 Presentación corporativa**

Glicorni S.A fu fundada en el año 2011 en el norte de Guayaquil y la fábrica de hielo ubicada vía a la costa en km 62 vía Guayaquil-Progreso dedicada a la fabricación y comercialización de hielo en escamas para ser distribuido en la Provincia del Guayas y Santa Elena el cual es vendido a pequeños minoristas o embarcaciones que requieran hielo al por mayor.

#### **Misión**

Ser una compañía líder en fabricación y comercialización de hielo escarchado o en escamas a través de los niveles de estándares de calidad que complazcan las perspectivas de todos los consumidores; avanzando de manera continua para así proyectarse como una empresa responsable.

#### **Visión**

Lograr ampliar los canales de distribución y la producción de hielo escarchado o en escamas para así lograr ser una compañía líder dentro del mercado nacional e internacional abasteciendo a puertos pesqueros, empacadoras de productos marinos, constructoras de concreto e industria agrícola y a minoristas y mayoristas pesqueros brindando un producto de calidad.

### **1.3.3.4 POLÍTICA EMPRESARIAL**

Glicorni S.A es una compañía dedicada a la fabricación y comercialización de hielo de tipo escarchado.

Contamos con un personal capacitado y que mejora sus competencias para satisfacer a nuestros clientes aplicando las buenas prácticas de manufactura, buen servicio y seguridad alimentaria de nuevo producto elaborado.

### **1.4 Formulación del problema**

Se establecerá la pregunta de la problemática del proyecto, la cual surge de la necesidad de producir mayor cantidad de hielo.

#### **1.4.1 Problema general**

¿La empresa GLICORNI SA cumple con la demanda esperada diariamente de su producción, es decir de hielo industrial?

### **1.5 Objetivos**

#### **1.5.1. Objetivo general**

Diseñar e implementar un sistema de congelación para hielo mediante refrigerante amoníaco para incrementar la producción en la empresa GLICORNI S.A

#### **1.5.2. Objetivos específicos**

- Calcular la capacidad de Congelación.
- Elegir el apropiado compresor, condensador, evaporador, refrigerante y tuberías para el sistema de congelación.
- Alcanzar una producción de 25-30 toneladas de hielo en escama diariamente.
- Definir los valores en cuanto a presión y temperatura óptimos con los cuales el sistema producirá los valores estimados de hielo.
- Definir los componentes del sistema, áreas de trabajo, planos del sistema y sus materiales.

## CAPITULO 2: MARCO TEÓRICO

En este capítulo se detallará los mecanismos de un sistema de congelación para hielo industrial en escama del cual se basará para poder realizar dicho sistema.

Cualquier tipo de refrigeración, ya sea industrial, comercial, domestica, inclusive aplicaciones en aire acondicionado, tiene como objetivo enfriar alguna sustancia o producto. [1]

### 2.1 Conceptos elementales

- 1) **Presión atmosférica:** Consiste en la fuerza ejercida por el peso de las moléculas de aire sobre la tierra.
- 2) **Presión absoluta (PsiA):** Consiste en la intensidad por unidad de área que se ejerce sobre o por un fluido y tiene como dimensiones  $F/L^2$ .
- 3) **Presión manométrica (PsiG):** El manómetro de presión está graduado de tal forma que se lea 0 kg/cm<sup>2</sup> (0 Psi) en el momento que no se encuentre conectado a cualquier sistema presurizado. Por esta razón, la presión absoluta de un procedimiento cerrado será igual a la suma de la presión manométrica y la presión atmosférica.
- 4) **Calor específico:** Es la capacidad relativa de absorber calor ejecutando como base la unidad de agua pura.
- 5) **Calor sensible:** El calor que estimula una transformación en la temperatura en una sustancia.
- 6) **Calor latente:** Es la capacidad calorífica que necesita una sustancia para cambiar de estado sin variar su temperatura.
- 7) **Calor latente de fusión:** Cuando se derrite un kilogramo de hielo, este absorbe 79.9 kilocalorías a una temperatura constante de 0°C, y por el contrario cuando se congela deben sustraérsele 79.9 kilocalorías a una temperatura constante de 0°C.
- 8) **Calor latente de evaporación:** Cuando una libra de agua se evapora, absorbe 970 BTU a una temperatura constante de 0°C o 32°F a nivel del mar, equivalentemente, para concentrar la misma cantidad de vapor deberá sustraerse 970 BTU.

- 9) Humedad específica:** Dicha humedad consiste en el peso del vapor de agua por unidad de peso de aire seco, en unidades de gr\* Kg de aire seco.
- 10) Humedad relativa:** Es el vínculo entre la presión real del vapor de agua incluida en el aire húmedo y la presión del vapor saturado a igual temperatura.
- 11) Tonelada de refrigeración:** La cantidad de calor absorbida por la fusión de una tonelada de hielo a 32°F en 1 día.
- 12) Temperatura de saturación:** Es el estado de temperatura y presión en la cual el líquido y el vapor pueden existir paralelamente.
- 13) Líquido saturado:** Agua líquida en equilibrio con su vapor. Se dice que el líquido está saturado si al agregar energía (calor), una fracción de él pasa a la fase de vapor.
- 14) Vapor saturado:** Vapor a la temperatura en el punto de ebullición del líquido.
- 15) Líquido subenfriado:** Cualquier líquido con una temperatura inferior a su temperatura de saturación. En el caso del agua sería menos de 100°C, para el amoníaco sería cualquier temperatura menor que -28°F.
- 16) Temperatura de bulbo húmedo:** Es la temperatura que un termómetro puede mostrar, cuyo depósito está cubierto con una gasa o algodón empapado en agua destilada, expuesto al peligro de los efectos de una corriente de aire acelerada.

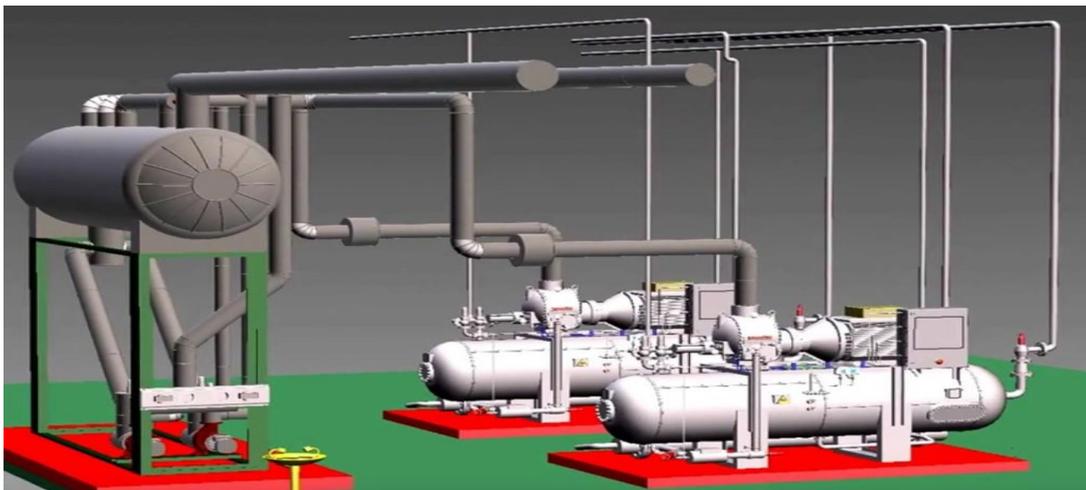
## 2.2 Ciclo de refrigeración

Este tiene como objetivo el cambio de estado del refrigerante a través del sistema pasando de gas a líquido condensado esto da como resultado distintas presiones y temperaturas en el sistema las cuales son: Baja presión-Evaporación; Alta presión-Condensación. [2]

El Ciclo de refrigeración está formado por cuatro etapas fundamentales:

- 1) **Compresión:** En el estudio del ciclo perfecto, es decir, que el refrigerante no cambia sus condiciones mientras fluye por las tuberías de succión, desde los evaporadores hasta el ingreso en el compresor, en donde el vapor ingresa a baja presión y es comprimido aumentando su presión y su temperatura.
- 2) **Condensación:** en esta etapa, el vapor proveniente del compresor en estado de gas sobrecalentado es enfriado por algún medio externo, aire o agua, y es hasta estar en líquido, alcanzando la temperatura saturada con respecto a la presión del condensador.

- 3) Expansión: el ingreso del refrigerante al evaporador no es constante e ingresa de acuerdo a la temperatura deseada.
- 4) Evaporación: Conforme el refrigerante baja su temperatura, fluye por el evaporador, donde su capta el calor del ambiente o del producto al que se está reduciendo su temperatura hasta que el refrigerante hierva haciendo vapor.



**Figura 2:** Diagrama de un sistema de refrigeración

*Fuente:* (Curso de refrigeración Básica.)

### 2.2.1 Ciclo real de refrigeración

Los ciclos reales se conforman por los similares componentes y etapas del ciclo ideal, sino que deben tomarse en cuenta otros factores para su estudio y aplicación.

Entre estos factores consideramos:

- Caída de presión en los accesorios y las tuberías del sistema.
- Máxima eficiencia de los componentes del sistema.
- Caída de la presión efectuada en el serpentín del evaporador
- Caída de la presión efectuada en el serpentín del condensador

Todos estos factores se deben considerar al momento del diseño del sistema para obtener una operación eficiente. Esto implica, además de las características del estudio de ingeniería, la elección de equipos que cumplan con los requerimientos de eficiencia. [3]

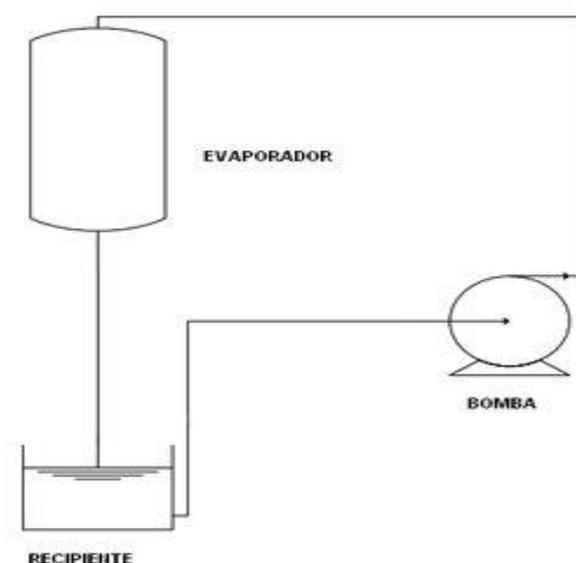
## 2.3 Sistemas de congelación

En el sistema de congelación con amoníaco existen dos modelos comprobados que se usan en todo el mundo estos dos modelos o también llamados sistemas tienen como nombre Recirculado y sistema Inundado, estos sistemas tienen un solo uso lo cual tienen un mismo fin, eliminar el calor de una unidad evaporadora para lograr bajar la temperatura y poder aumentar el período de vida de los insumos. [4]

### 2.3.1 Sistema recirculado

El sistema recirculado e inundado tiene compresores tornillo o pistón como fin congelar alimentos y llevar estos alimentos a la temperatura de  $-40$  o  $-20$  grados Celsius, gracias a los sistemas de control de bombas y válvulas de presión se puede tener una constancia de temperatura, el fin de llevar los alimentos a esta temperatura es que se puede almacenar durante un año el producto congelado y garantiza la inocuidad alimenticia, estos sistemas se usan en las empacadoras las cuales tienen túneles de frío y sistemas FQL (evaporadores de congelación). [1]

El sistema recirculado se lo puede encontrar en plantas empacadoras las cuales pretenden defender la temperatura del producto a una temperatura de  $-40$  °C, llegar a esta temperatura es crucial por los controles de calidad ya que una vez llegado el producto a esta temperatura este se puede almacenar por un tiempo de 1 año.

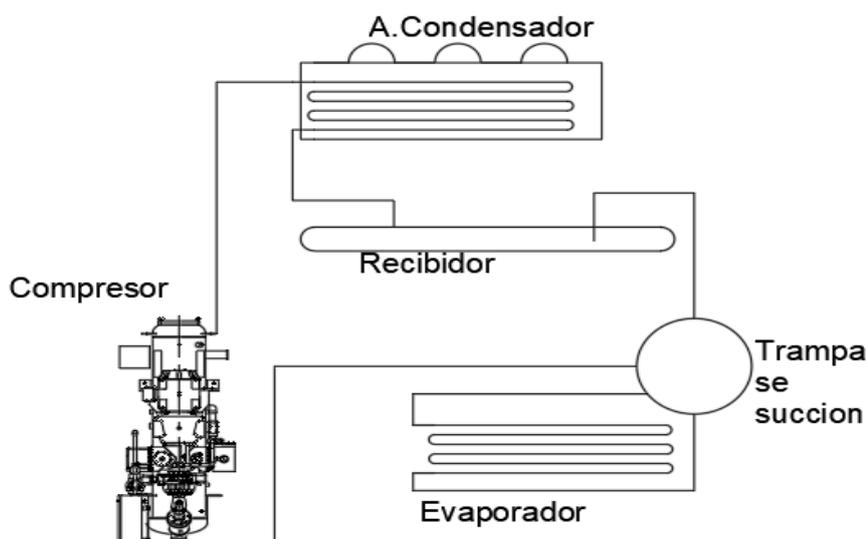


**Figura 3:** Complemento de Sistema Recirculado.

Fuente: (Curso de refrigeración Básica.)

### 2.3.2 Sistema inundado

La finalidad de este sistema es de emplearlo para hacer hielo y la temperatura máxima que se alcanza gracias a este sistema es de  $-20$  grados Celsius es un sistema muy eficiente, este sistema también se suele usar en sistema caramas de frio para poder mantener la temperatura , en todos estos sistemas se usa el amoníaco como refrigerante por su alta eficiencia y su bajo punto de evaporación , los refrigerantes es decir, son gases que el punto de evaporación es muy bajo a temperatura ambiente , lo que permite extraer el calor de los evaporados de una forma muy eficiente, el costos de el amoníaco es muy bajo ya que gracias al proceso de elaboración en cual consiste en introducir  $H_2O, CH_4$  y gas natural gracias a que estos elementos que son muy abundantes se puede generar gran cantidad de amoníaco a un bajo costo, aunque hay gran variedad de gases refrigerantes como R22, R12, R502, R134a, R404 estos son usados en sistemas muy pequeños, lo que se recalca de estos gases es que no son tan tóxicos para el ser humano como lo es el amoníaco . [3]



**Figura 4: Sistema de inundado.**

Fuente: (Curso de refrigeración Básica.)

### 2.4 Principales componentes de un sistema de refrigeración

Cuando se refiere a un ciclo o sistema de refrigeración por compresión trazado mediante el diagrama de presión-entalpía, se requieren de cuatro implementos básicos para llevar a cabo este proceso termodinámico, las partes de un sistema de

congelación se dividen en diferentes maquinas que nos ayudan a su funcionamiento como se detalla a continuación. [2]

### 2.4.1 Compresores

Dentro de los compresores hay dos funciones del ciclo de refrigeración. Consiste primeramente en que el compresor absorbe el vapor refrigerante y disminuir la presión en el evaporador de tal manera que puede mantenerse a una temperatura de evaporación deseada. [5]

Después, el compresor va elevando la presión del vapor refrigerante a una posición extremadamente alta, para que la temperatura de saturación sea más alta que la temperatura del medio enfriante (aire, agua) disponible para la condensación del vapor refrigerante. [6]

Existen varios tipos de compresores con otro número de variantes, pero para este estudio nos enfocaremos en dos tipos:

- Reciprocantes
- Tornillos

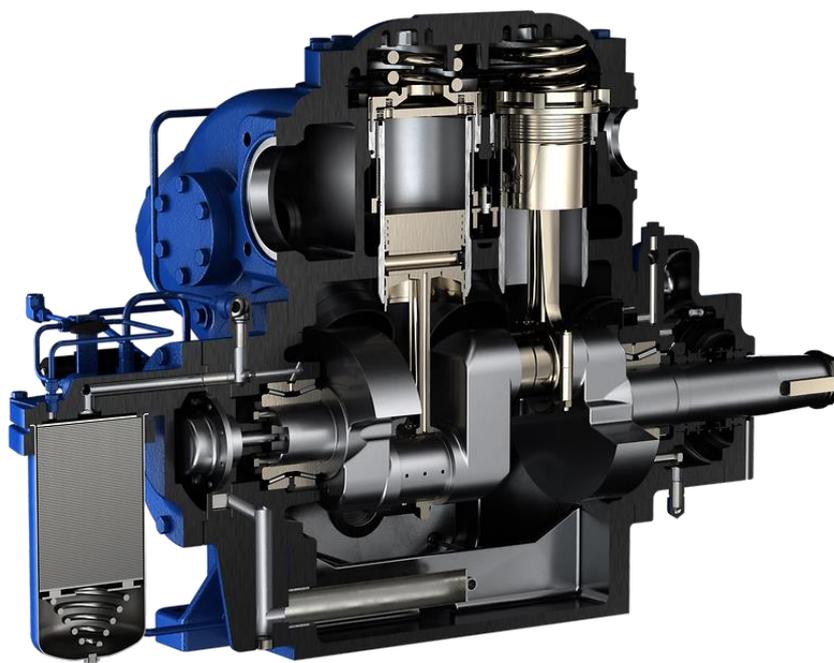
**Compresores reciprocantes:** El diseño de un compresor reciprocantes o de pistón es muy similar al motor de un automóvil, con pistones accionados por un cigüeñal que desarrolla corridas de forma alternativa en la fase de succión y compresión en un cilindro suministrado por válvulas de succión y descarga. Las ventajas de estos compresores es la facilidad para movilizar el líquido a través de la tubería debido a la alta presión creada por el compresor, sencillez de diseño, durabilidad y costo.

**Funcionamiento del compresor:** El pistón debe moverse de forma descendente en la corrida de succión, disminuyendo la presión en el cilindro, de tal manera que es menor que la presión propia de la línea en la fase de succionamiento del compresor, dicha referencia permite la iniciación de la válvula de succión y fuerza al vapor refrigerante infiltrándose por dentro del cilindro.

Una vez que el pistón consigue llegar al final de su recorrido, inicia la subida o carrera de compresión. Esto crea una presión dentro del cilindro forzando así la clausura de las válvulas de succión. A medida que aumenta la presión, producto del avance del pistón, esta sobrepasa la presión que se encuentra en la serie de descarga,

abriéndose así las válvulas de descarga y el gas comprimido fluye hacia la serie de alta presión y luego el condensador.

Cuando el pistón llega al final de su recorrido, y comienza nuevamente a bajar, se cierran las válvulas de descarga producto de la caída de presión iniciándose nuevamente el ciclo. Durante cada revolución o vuelta del cigüeñal, se produce una carrera de succión y otra de descarga de cada pistón. Esto quiere decir que, en los compresores de acople directo, con motores de 1,200 R.P.M., ocurren 1,200 ciclos completos de compresión y succión. [7]



**Figura 5: Corte interno de un compresor de serie 400**

Fuente: (Curso de refrigeración básica.)

### **Lubricación**

Siempre debe mantenerse un adecuado suministro de aceite en el cárter para asegurar una continua lubricación. El nivel de aceite normal deberá mantenerse en el centro del visor o ligeramente arriba.

La lubricación del compresor se desarrolla a través de una bomba de aceite. La bomba está montada junto al cojinete y es accionada por el cigüeñal. El aceite es forzado a través de un orificio del cigüeñal a los cojinetes del compresor y bielas. Una válvula de alivio sirve como dispositivo de descarga de presión permitiendo

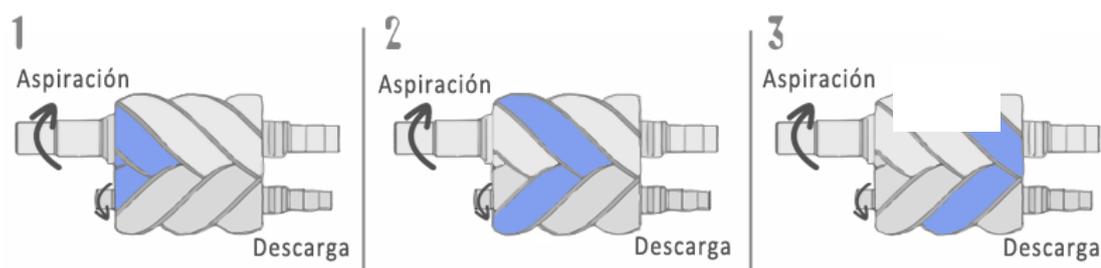
que el aceite pase directamente al cárter, si su presión es mayor que la de ajuste de esta válvula.

La presencia de líquido refrigerante en el cárter puede afectar el funcionamiento de la bomba de aceite. Una formación violenta de espuma en el arranque puede motivar una pérdida de aceite del cárter, y por consiguiente una pérdida de presión de aceite hasta que éste vuelva al cárter.

### Compresor de tornillo sencillo

El compresor de tornillo sencillo es el concepto más nuevo en la tecnología de compresores de tornillo. A pesar de lo novedoso, está acercándose aceleradamente al punto donde no puede ser considerado como experimental, sino como tecnología probada.

Su tecnología y diseño básico está patentado por una licencia mediante B. Zimmern, en Norwalk, Connecticut. En el norte de América, actualmente se fabrica compresor de rotor de tornillo sencillo para aplicaciones de refrigeración industrial y aire acondicionado. [5]



**Figura 6: Compresor de tornillo**

Fuente: (Emerson.)

### Parte interna de un compresor

Dentro del interior del compresor, conformado por los rotores y el motor de accionamiento constituyen la base del compresor, aparte de que dicho accionamiento sea con un motor eléctrico, de combustión o hidráulico, etc.



**Figura 7: Parte interna de un compresor de un tornillo.**

Fuente: (Emerson)

### **Funcionamiento**

Es una máquina rotatoria, inyectada por medio de aceite, y desplazamiento positivo. Este consiste en un tornillo helicoidal central, rodeado de un par de rotores dentados planos en forma de estrellas. Los rotores dentados se acoplan al rotor para formar una sola pared o sello en la cámara de compresión. El tornillo sencillo pues funciona como si fuera dos compresores en uno, ya que cada lado del compresor opera como un compresor independiente. Por una revolución del tornillo, una succión completa, y ciclos de compresión y descarga se llevan a cabo en ambos lados de la máquina. [8]

**Esquema de succión:** El vapor refrigerante proveniente de la evaporación, entra por la conexión de la succión y fluye hacia los extremos abiertos de los surcos del tornillo central. El giro del rotor principal hace que los dientes de los rotores penetren por los surcos en secuencia, como engranajes y atrapen el vapor en las cámaras formadas por las paredes del tornillo, el rotor y la masa del compresor.

**Esquema de compresión:** A medida que la rotación continua, el volumen en los surcos disminuye puesto que el tornillo llega a su fin, y el vapor atrapado es progresivamente comprimido y empujado hasta el extremo donde ingresa al puerto y luego a la cámara de descarga del compresor, en este punto cesa la compresión y el

volumen del surco se reduce a cero. El flujo de gas refrigerante se realiza a través de una válvula combinada “stop/check”, que puede ser manualmente abierta o cerrada, pero cuando está puesta en automático, funciona como válvula cheque, que previene la rotación inversa del compresor cuando éste es apagado.

El refrigerante luego pasa por el filtro de malla, luego el mono-tornillo comprime el vapor desde la presión baja hasta la presión alta, gracias a su rotor principal, sin el golpe propio del compresor reciprocante, producto de la subida y baja de los pistones. [5]

**Aceite en los sistemas de refrigeración:** En todo tipo de equipos de compresión mecánica, es necesario lubricar las partes móviles. Esto reduce la fricción, minimiza el desgaste y el consumo de energía. Los compresores de tipo abierto usan sellos mecánicos con partes humedecidas de aceite lubricante para asegurar una barrera lo más hermética y en los de tornillo, el aceite no solamente lubrica y sella, sino que es inyectado en los rotores para absorber el calor de compresión, actuando como refrigerante. [9]

**Manejo adecuado:** Debe ser frecuente subestimado, por lo que es importante tomar nota ya que se deberá usar el sentido común para mantener alejada toda materia extraña, así como también la humedad. Las reglas básicas por seguir son:

- Comprar el aceite en pequeños recipientes para que su parte usada no sea expuesta al ambiente o si lo es, que sea mínima.
- Usar herramientas limpias cuando se abran los aceites, se debe estar seguro de que el elemento utilizado al vaciar el aceite, este limpio.
- Mantener el envase del aceite que se está utilizando bien tapado para la prevención de la contaminación con aire y/o humedad.

#### **Circulación de aceite:**

Los compresores bombearan una cierta cantidad de aceite al momento de comprimir el gas hacia la descarga del sistema. En la serie de descarga y cercano al compresor, se deberá instalar un separador de aceite para separarlo del gas de descarga y retórnalo al cárter del compresor. El retorno de aceite es un requisito necesario para un desempeño apropiado en cualquiera que sea el sistema. Esto es importante porque ayuda a la lubricación de las válvulas del control del sistema. Si el aceite entra al condensador y al evaporador, donde se realiza el intercambio de calor,

recubrirá as superficies con una película, la cual actuará como aislante, reduciendo la eficiencia de transferencia de calor. [7]

**Separador de aceite:** Para disminuir la cantidad de aceite que va hacia el sistema, se recomienda el uso de un separador entre la descarga del compresor y el condensador.

**Drenaje de aceite del sistema:** El aceite siendo más denso que el amoníaco, tiende a asentarse en los puntos de menor altura del sistema. Dicha característica hace que el aceite sea fácil de drenar el condensador, recibidor o evaporador de manera continua.

### Recomendaciones de aceite para equipos

Aceites recomendados para compresores de tornillo VSM, VSR y reciprocantes. [1]

Características	717	HCL-68	D
Grado ISO	68	68	68
@ 100 ° F	77	75.7	68.5
Índice de viscosidad	100	140	65
Gravedad especifica	0.867	0.835	0.905
Densidad Lbm./gal , 60°F	7.4	6.96	7.52
Punto de inflamabilidad, °F	440	480	400
Punto de fuego, °F	475	530	420
Punto de fluidez	-38.2	-60	-40
Punto de floc°F	-25	N/A	-35
Max. Desc. Pres., PSIA	286	291	286
Max. Desc. Temp., °F	212	212	212
Inyección de aceite máxima, °F	140	140	140
Min. Evap. Temp., °F	-38.2	-60	-40
Min. Evap. Pres., PSIA	10.97	12.5	10.41

Tipo de refrigerante	R-717	R-717	R-717
Talla del contenedor	5/55 gal.	5/55 gal.	5/55 gal.

**Tabla 1** Características específicas del refrigerante amoníaco

*Fuente: El autor*

### **Cálculo de la cantidad de calor sensible del punto de congelación**

El cálculo de la cantidad de calor que debe ser extraído para refrigerar 2,000 libras de carne ternera desde 42°F hasta su punto de congelación, o sea 29°F, sabiendo que su calor específico es 0,71 BTU/lb. °F [10]

La cantidad de calor extraído se define de la siguiente ecuación [1]:

$$Q = W \times C (T_0 - T_1) \quad [1]$$

Donde, Q es la cantidad de calor a ser extraído, (BTU); W es el peso del producto, (Lbs); .C es el calor específico por encima del punto de congelación, (BTU/lb. °F); T0 es la temperatura inicial, (°F); T1 es la temperatura final igual o superior al punto de congelación, (°F). Se coloca los datos obtenidos en la formula, obteniendo el siguiente resultado:

$$Q = 2,000 \times 0,71 (42 - 29)$$

$$Q = 18,460 \text{ (BTU)}$$

### **Cálculo de la cantidad de calor latente de fusión**

Se toma los datos anteriores y se calcula el calor latente de fusión necesaria para congelar esa cantidad de carne. El porcentaje agua contenido en la carne de ternera es aproximadamente 63%. La cantidad de calor latente de fusión se define de la siguiente ecuación [2]:

$$Q = W \times h_{if} \quad [2]$$

Donde, Q es la cantidad de calor a ser extraído, (BTU); W es el peso del producto, (Lbs);  $h_{if}$  es el calor latente de fusión, (BTU/lb). Se coloca los datos obtenidos en la formula, obteniendo el siguiente resultado:

$$Q = 2000 \times (0,63 \times 144)$$

$$Q = 181,400 \text{ (BTU)}$$

### **Cálculo de la carga total del producto**

Para obtener la carga total del producto simplemente se suman las cargas parciales, es decir, el calor sensible y calor latente del punto de congelación, dando como resultado en unidades de BTU, si se requiere obtener el resultado en toneladas de refrigeración se divide el valor total de la carga del producto para 12,000, equivale a una tonelada de refrigeración. [11]

### **Enfriamiento de aceite por termosifón**

Desde sus inicios, el compresor de tornillo ha utilizado diferentes métodos de enfriamiento para mantener la temperatura adecuada del aceite de retorno al compresor. Las variaciones de dos sistemas son los métodos que se utilizan y se detallan a continuación:

**Directo:** Por inyección de refrigerante líquido directamente a los rotores del compresor antes del separador del aceite.

**Indirecto:** Se utiliza en este sistema un intercambiador de calor y un refrigerante secundario que puede ser aire, agua, salmuera o refrigerante.

El sistema de enfriamiento de aceite por termosifón es un medio indirecto, el cual incorpora la utilización del mismo refrigerante que está utilizando el sistema como medio enfriador. Las ventajas de este sistema son las siguientes:

- Se elimina la utilización de agua o salmuera.
- Se evita la posibilidad de contaminación del aceite con humedad debido a roturas en los intercambiadores de calor
- Mayor eficiencia en la transferencia del calor.
- No existe penalización en la energía utilizada por el compresor como es el caso de la inyección de líquido.

### **Componentes básicos de un sistema Termosifón**

Suministro de refrigerante líquido a la temperatura de condensación del sistema.

- Adecuada presión para mover el flujo de refrigerante.
- Válvulas de control adecuadamente seleccionadas.
- Válvulas de seguridad.
- Válvulas de servicio.

**Sistema típico: Flujo de refrigerante a través del recibidor.**

El refrigerante líquido a alta presión es conducido a un recibidor de refrigerante líquido utilizado para el termosifón. Este recibidor debe estar elevado con respecto al intercambiador de calor para el enfriamiento de aceite. De esta manera el peso de la columna de refrigerante líquido podrá vencer la caída de presión del intercambiador, válvulas y tubería.

La fuerza de gravedad hará que el refrigerante fluya hacia el enfriador de aceite, en donde se evaporara a la presión de condensación del sistema y como resultado se reducirá la temperatura del aceite hasta aproximadamente 15°F por encima de la temperatura de condensación.

El refrigerante líquido adicional que viene desde el recibidor del termosifón desplazara la mezcla vapor-líquido que va hacia este tanque. El líquido atrapado caerá dentro del recibidor y el vapor será retornado a la entrada de gas del condensador. El líquido que sobrepase el nivel drenará al recibidor principal del sistema.

**Control de temperatura**

Debido a que la temperatura del aceite fluctúa con la presión de condensación, debe ser controlada para evitar que descienda por debajo de la temperatura óptima de lubricación utilizando dos métodos reconocidos que se detallan a continuación:

- Controlando a través del suministro de refrigerante al recibidor del termosifón mediante un control de nivel que opere una válvula solenoide.
- A través de la localización de una válvula de tres vías que conecte la entrada y salida del aceite al enfriador siendo este método el más confiable.

**2.4.2 Condensadores**

Consiste en un intercambiador de calor en el cual cede mayor cantidad de calor al refrigerante que es absorbido en la etapa de evaporación, esto se debe al calor despedido por la compresión. Conforme el calor es cedido por el vapor de elevada presión y temperatura, su temperatura desciende al punto de saturación y el vapor se condensa convirtiéndose en líquido. La capacidad de transferencia de calor de un condensador depende de varios factores: [12]

- Superficie del condensador.

- Diferencia de temperatura entre el medio enfriador y el gas refrigerante.
- Velocidad del gas refrigerante en los tubos del condensador.
- Volumen de flujo del medio enfriante sobre o través del condensador.
- El material con el que está elaborado el condensador.
- Limpieza de la superficie de transferencia de calor.

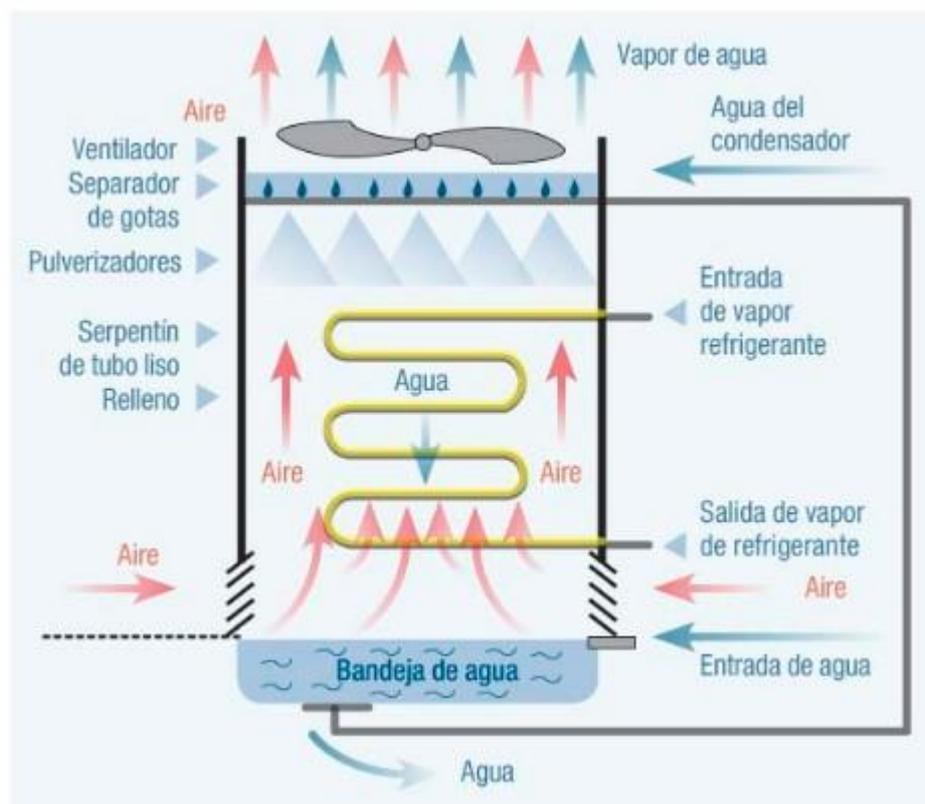
La temperatura de condensación es la temperatura a la que el gas refrigerante se condensa para convertirse de vapor a líquido, dicha temperatura y presión de condensación es determinada por la capacidad del condensador, la temperatura del medio de enfriamiento y el contenido de calor del gas refrigerante descargado del compresor que a su vez es determinado por el volumen, densidad y temperatura del gas descargado.

#### 2.4.2.1 Clasificación del condensador

Existen principalmente tres tipos de condensadores utilizados en sistemas de refrigeración:

- a) **Condensadores enfriados por aire:** Es el más usado, es un tubo con aletas en su exterior las cuales disipan el calor al aire ambiente y es utilizado en refrigeración doméstica y comercial.
- b) **Condensadores enfriados por agua:** Cuando se encuentra disponible agua de condensación adecuada a bajo costo es preferible que el condensador enfriado por agua dado que tiene presión de condensación más baja, es posible un mejor control de la presión de descarga. Si se utilizan torres de enfriamiento, la temperatura del agua de condensación puede ser bajada a un punto muy cercano a la temperatura ambiente del bulbo húmedo, esto permite la constante recirculación del agua de condensación y reducir el consumo de esta. Una válvula de control de agua modulada con un elemento sensible a la presión o a la temperatura puede ser utilizada para mantener las presiones de condensación dentro de la gama deseada mediante el aumento o disminución del flujo de agua según sea necesario.
- c) **Condensadores evaporativos:** Se utilizan comúnmente cuando se requieren temperaturas de condensación por debajo de las que pueden obtenerse con otro tipo de condensadores y en donde el suministro de agua no es requerido para una máxima utilización. Es un sistema de refrigeración en que el aire y

agua sirven como medio de enfriamiento para concentrar refrigerante caliente, haciendo que se transforme de vapor a líquido.



**Figura 8: Sistema de recirculación del agua.**

Fuente: (Curso de Refrigeración Básica.)

El sistema de recirculación del recurso hídrico es una parte vital del condensador ya que el propósito de este es servir como un intercambiador de calor, es necesario mantener las superficies limpias para optimizar el sistema y sea eficiente.

### **Gases no condensables**

El aire está compuesto básicamente de nitrógeno y oxígeno, estos dos componentes, persisten en una fase gaseosa a todas las temperaturas y presiones que se encuentren en los sistemas de refrigeración. Por consiguiente, aunque estos gases pueden licuarse a presiones considerablemente altas y a temperaturas muy bajas, son considerados como no condensables en un sistema de refrigeración. Si el aire se encierra herméticamente en un sistema con refrigerante, el nitrógeno y el oxígeno sumarán su presión a la presión del sistema y esta aumentara a medida que se eleve

la temperatura. Siempre que un sistema esté funcionando con presión de descarga elevada y anormal lo primero que se hace es buscar aire existente en el sistema.

### 2.4.3 Evaporadores

El evaporador es un equipo instalado en el lado de baja presión del sistema de refrigeración, en el que el refrigerante líquido hierve o se evapora, absorbiendo calor a medida que se convierte en vapor, y permitiendo que se cumpla el principal objetivo de este sistema de refrigeración. Existen diferentes tipos de evaporadores que se detallan a continuación: [13]

**Expansión Directa:** El refrigerante se alimenta directamente al serpentín por medio de la válvula de expansión, absorbiendo el calor, el sitio refrigerado, directamente a través de las paredes del serpentín del evaporador. Se utilizan principalmente en sistemas cuyas temperaturas de operación son mayores que 32°F, es decir que no se requiere baja temperatura o congelamiento de productos. Se debe tener en cuenta la eficiencia ya que será necesario utilizar evaporadores con mayor área de transferencia de calor. Además, debe considerarse el riesgo de regreso de refrigerante líquido al compresor.

**Inundado:** Este tipo de evaporación puede ser utilizado en niveles de media y baja temperatura, en los cuales se requiera alta eficiencia en el evaporador, puesto que permite altos niveles de transferencia de calor; pero a su vez requiere mayor cantidad de refrigerante que la expansión directa. Son operados prácticamente llenos de refrigerante líquido y para lograr que el evaporador esté siempre inundado de refrigerante líquido, se debe instalar un recipiente de refrigerante junto del evaporador, y su nivel se controlará con una válvula flotadora. Es recomendado utilizar este tipo de sistemas donde la temperatura final del producto es crítica o en sistemas de congelamiento de productos.

**Recirculado:** La recirculación por bombeo del refrigerante se usa en algunos sistemas inundados para promover la transferencia de calor. De acuerdo con las dimensiones de la instalación, puede ser que el recorrido de tuberías sea muy grande y la temperatura de evaporación crítica, en este tipo de casos un sistema recirculado puede ser el más eficiente. También puede ser utilizado en alta y baja temperatura. El refrigerante es recirculado mediante una bomba centrífuga o de engranaje.

La máxima eficacia en la transferencia de calor, la protección constante de los compresores contra el retorno de refrigerante líquido y el simple retorno de aceite del sistema y posterior drenaje de este en la sala de máquinas, son algunas de las ventajas del uso de recirculación de refrigerante.

### **Factores dañinos para la capacidad del evaporador**

Área superficial o tamaño del evaporado, la incompatibilidad de la temperatura entre el refrigerante que se evapora y el medio refrigerado, la velocidad del gas en los tubos del evaporador, la velocidad y flujo de aire sobre la superficie del evaporador en relación con el medio enfriado. [10]

Material empleado en la construcción del evaporador, la acumulación de escarcha o hielo en las aletas del evaporador e inclusive en el serpentín al tratarse de aplicaciones de baja temperatura, el medio a enfriarse en sí, su temperatura inicial.

### **Sistemas de descongelación**

El hielo y la escarcha se acumulan consecutivamente en los serpentines que funcionan por debajo de la temperatura de congelación, restringiendo paulatinamente el flujo de aire y para esto es necesario algún tipo de descongelamiento periódico.

En sistemas de alta temperatura, sobre 32°F(0°C), bastará con mantener funcionando los ventiladores mientras se detiene el compresor hasta que la temperatura del evaporador suba ligeramente, selo conoce como descongelamiento por aire.

#### **2.4.4 Generador de hielo.**

Maquinas diseñadas para uso industrial con piezas de alta calidad y servicio pesado, todas las fabricadoras de hielo en escamas de la marca North Star están diseñadas para ser confiables y duraderas. La máquina de hielo modelo 60 está disponible en tres de acero inoxidable, para uso en todo tipo de procesamiento de alimentos, o acero al carbono utilizado en industrias no relacionadas con la alimentación, como el enfriamiento de concreto. Todas estas configuraciones producen hielo en escamas superior y subenfriado para aplicaciones industriales.

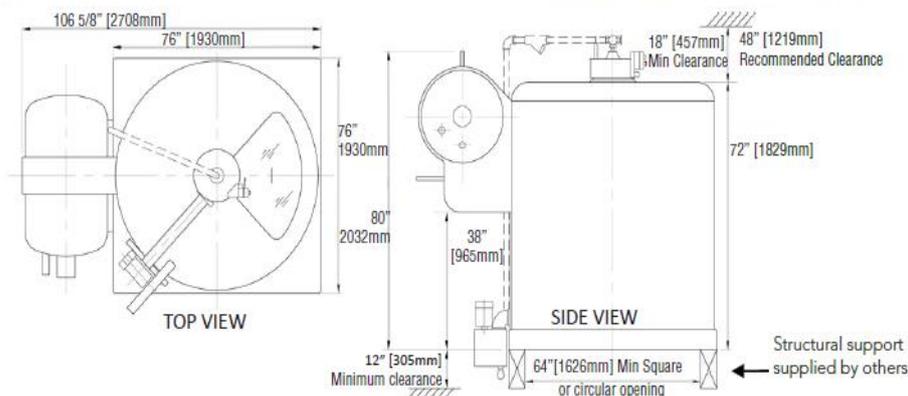
## Ice Maker Specifications

## High Capacity with a Small Footprint

**Refrigerant Control:** RFS (Refrigerant Float Switch) (Preferred) or Sporlan Levelmaster. Forced recirculation models also available

**Net Weight:** 7,000 lbs (3175 kg)  
**Volume:** 510 ft<sup>3</sup> (14.4 m<sup>3</sup>)  
**Drive Motor:** 1 HP  
**Pump Motor:** 1/2 HP  
**Suction Line:** 4" Sch 40  
**Liquid Line:** 1 1/2" Sch 80

**Oil Drain Line:** 1/2" MPT  
**Water Line:**  
**Tank Inlet** 1/2" FPT  
**Tank Drain** 1 1/4" FPT  
**Pump Outlet** 1 1/4" FPT  
**Flow Control Valve Inlet** 1 1/4" FPT



**Figura 9: Máquina de hielo en escamas de acero al carbono**

Fuente: (NorthStar.)

## Beneficios del generador de hielo

Esta máquina permite realizar hielo en escamas subenfriado o hielo superior para la mayoría de los industriales con superficie de cobertura en el área para un enfriamiento más rápido y eficiente siendo sus componentes de acero inoxidable es una opción inteligente para la seguridad alimentaria, hace hielo a partir de agua dulce. Se utiliza en todo el mundo en mariscos y el procesamiento de agua salada, carnes y aves. [14]



**Figura 10: Maquina de hielo en escamas de acero al carbono**

Fuente: (NorthStar.)

## **2.5 Refrigerantes**

Los refrigerantes son fluidos o sustancias líquidas que se utilizan en sistemas de refrigeración, aire acondicionado y sistemas de bombeo de calor. Éstos se encargan de absorber el calor de la cámara de enfriamiento y lo liberan al medio externo, a través de los procesos de evaporación y condensación respectivamente. La selección del refrigerante a emplear depende de una serie de factores relacionados tanto con su eficiencia para el intercambio térmico, como del impacto ambiental que éste puede causar si se presentan fugas a la atmósfera. Entre dichos factores están las propiedades termo físicas de la sustancia, como por ejemplo el calor latente de vaporización; la estabilidad química bajo condiciones de uso y las normas de seguridad en cuanto a su uso, de acuerdo con el grado de inflamabilidad y toxicidad que éste tenga. [6]

### **2.5.1 Clasificación de los refrigerantes**

Los refrigerantes según su composición se clasifican en orgánicos e inorgánicos. Los de origen orgánico se dividen en, halocarbonos e hidrocarburos

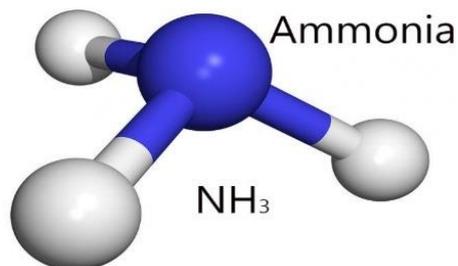
- **CFC**: es un refrigerante conocido como halocarbono totalmente halogenado (exento de hidrógeno) cuyos elementos son, el cloro, flúor y carbono, que son dañinos para la atmosfera.
- **HCFC**: halocarbono en parte halogenado cuyos elementos son, el hidrógeno, cloro, flúor y carbono.
- **HFC**: halocarbono en parte halogenado cuyos elementos son, el hidrógeno, flúor y carbono.
- **PFC**: halocarbono cuyo contenido es exclusivamente el flúor y carbono.
- **HC**: hidrocarburo cuyo contenido es exclusivamente el hidrógeno y carbono.
- **Mezclas** se subdividen en **Azeotrópicas**: consiste en una combinación de fluidos refrigerantes cuyas fases son, vapor y líquido equilibradas conteniendo la misma composición a una presión determinada y **zeotrópicas**: es una combinación de fluidos refrigerantes cuyas fases son vapor y líquido equilibradas y a cualquier presión poseen diferente textura.

Los de origen inorgánico son las sustancias de la serie R-700 como por ejemplo el agua o el  $\text{NH}_3$  es decir el amoníaco.

Se sabe que los refrigerantes orgánicos representan un alto daño ambiental y a la salud de las personas debido a esto se toma la decisión de usar refrigerantes inorgánicos que son sustancias aprobadas y las más usadas siendo el amoníaco o dióxido de carbono debido a su bajo nivel de contaminación a la capa de ozono, una vez analizado este apartado se puede deducir que dentro de los nuevos diseños de sistemas de refrigeración contengan amoníaco como refrigerante para su proceso en el sistema.

### 2.5.2 Refrigerante amoníaco

El amoníaco tiene la nomenclatura R-717, es un gas compuesto por 1 nitrógeno y 3 hidrogeno se lo usa en la industria mayormente como refrigerante para sistemas de congelación, en mi experiencia este gas tiene un olor muy particular es de olor repulsivo no se lo puede encontrar en estado líquido a temperatura y presión ambiental, este gas tiene alta eficiencia evaporativa lo que lo hace idóneo como refrigerante para sistemas de congelación. El amoníaco dentro de un sistema de congelación se lo puede encontrar en estado gaseoso y líquido. [13]



**Figura 11: Molécula de amoníaco**

Fuente:(Introducción al refrigerante amoniaco)

### 2.5.2.1 Características del amoníaco

<b>Formula Química</b>	NH3
<b>Denominación Internacional</b>	R-717
<b>Identificación del Cilindro</b>	Negro, con franja color rojo en el centro
<b>Punto de ebullición</b>	-33,4°C
<b>Punto de Solidificación</b>	-77,9 °C
<b>Combustibilidad</b>	En caso de que se acerque llama a la parte en la cual haya filtración.
<b>Peligro de explosión</b>	Explosiona cada vez que el amoníaco consigue, en presencia del aire, una cantidad notable alrededor del 13% al 16% y hay chispas o llamas presentes.
<b>Apariencia Visual</b>	Incoloro
<b>Olor</b>	Vigorosamente irritante
<b>Nivel Toxico</b>	Muy peligroso

**Tabla 2** Características específicas del refrigerante amoniaco

**Fuente:** El Autor

El refrigerante amoníaco es considerablemente difícil de arder ya que está demostrado en experiencias pasadas, y bajo condiciones normales, es un compuesto estable, pero bajo condiciones extremas, puede producir combinaciones explosivas con el aire y el oxígeno, porque se debe tratar con mucha cautela.

### **Prácticas de seguridad**

- a. Cerciorarse de que el equipo de extracción sea el apropiado y que se mantenga en perfectas condiciones operativas.
- b. Proporcione iluminación de emergencia, salidas apropiadas, mascarillas para amoníaco y varios filtros para la maquinaria.
- c. Proporcione una correa larga para sujetar a la persona en caso de que se requiera entrar de emergencia en la cámara o lugar que se encuentra infiltrada con cualquier refrigerante ya que sirve como guía para salir o que se requiera colocar y salvar a otra persona, queda prohibido el ingreso a una sala que contengan altas concentraciones de refrigerante sin ser acompañado.
- d. Comprobar las temperaturas del aceite y la descarga del compresor. Ríjase de acuerdo con las recomendaciones de fábrica, pare el compresor y determine la fuente que lo ocasiona, si las temperaturas límites se exceden.
- e. Evitar colgarse de las cañerías y elimine cualquier exceso de vibración inmediatamente.
- f. Mantener en el mismo lugar el resguardo de las poleas del compresor y no lo opere hasta que sean repuestas en caso de emergencia.
- g. Conecte las descargas de las válvulas de seguridad a un difusor conectado en el exterior del edificio.
- h. No cerrar la válvula de salida de un receptor inundado de refrigerante líquido a menos que este protegido con la válvula de seguridad de tamaño adecuado. No exponga los receptores, cilindros o botellas de refrigerante a un calor excesivo.
- i. Desarrollar un plan de emergencia, capacitar al personal de planta de manera constante. Conozca la ubicación de la válvula de salida principal del receptor de amoníaco, breaker de los compresores y de la manguera de agua más cercana.

j. Asegúrese que los extintores de incendio estén en buenas condiciones de operación, en suficiente número, y ubicados en lugares apropiados.

k. Siempre use una máscara que cubra toda la cara cuando haga reparaciones en lugares donde una pérdida de amoniaco “puede “ocurrir.

El amoniaco, debido a que es muy soluble en agua (a temperatura ordinaria, y a presión atmosférica normal, un litro de agua puede absorber 700 litros de vapor de amoniaco, que corresponde a aproximadamente medio kilo de amoniaco liquido) ataca todas las partes húmedas del cuerpo, en especial los ojos, nariz, garganta y pulmones. [11]

### **Quemaduras producidas por vapor de amoniaco**

Se debe sacar al aire libre a la persona afectada del lugar contaminado, si la persona tiene la ropa mojada o impregnada con amoniaco deberá ser despojada de esta inmediatamente, lavar el cuerpo desnudo con abundante agua fría o tibia, de ser posible, hacerlo con una mezcla de agua y vinagre (1 medida de vinagre y 5 de agua). Después aplique una solución de ácido pícrico, aceite o vaselina amarilla, con mucho cuidado en las áreas afectadas. Mantenga al paciente abrigado hasta que llegue el médico.

Si el accidentado está consciente y no presenta quemaduras en la boca, se le puede suministrar té, café dulce tibio o caliente. En caso contrario, si presenta problemas de respiración, aplicarle respiración artificial de boca a boca.

El oxígeno puede ser administrado solamente por una persona autorizada por un médico.

Coloque un paño impregnado de vinagre diluido con agua sobre la nariz y la biza, a fin de que la persona inhale los vapores del vinagre. Además, es recomendable la inhalación de los vapores de agua.

La víctima no deberá caminar, sino que deberá ser transportada por el personal de clínica.

### **Medicamentos necesarios como primeros auxilios**

La planta frigorífica debe tener un botiquín de primeros auxilios con los siguientes medicamentos y elementos de fácil accesibilidad:

- Una botella de 2 ½ % de bórax y 2 ½ % de ácido bórico en agua destilada.
- Una botella de vinagre diluido (5 de agua y 1 de vinagre).
- Una botella de ácido pícrico, para las quemaduras de la piel.
- Un frasco de vaselina blanca, para los ojos, vaselina amarilla para las quemaduras de la piel.
- Un paquete de algodón; Un plato hondo; Equipo exclusivo para lavado de ojos; Vaso para tomar líquidos.
- Un manual para el adecuado empleo de las medicinas previamente mencionadas.

### **Equipos de protección personal**

Cada sala de maquina tendrá el equipo de seguridad como mínimo para cada persona o trabajador en el área. Debe estar ubicado en un lugar accesible al exterior de la sala de máquina. [3]

1. Mascara facial con filtro (canister) para amoniaco. Filtro de amoniaco es efectivo por cortos periodos de tiempo en acumulaciones ligeras de vapor de amoniaco, generalmente de 15 min de concentraciones de 3% o menos y no protegerán en concentraciones altas. Si vapores de amoniaco son revelados cuando se esté usando la máscara facial, la concentración es demasiado alta para usar la máscara con seguridad.
2. Par de guantes de caucho.
3. Par de botas de caucho.
4. Impermeable de caucho y/o pantalones y chaquetas de caucho.
5. Linterna de buena calidad
6. Regadera o ducha de fácil acceso y/o por lo menos, un tambor de 55 gls., que este abierto en la parte superior, con agua limpia, cerca de la sala de máquinas.
7. Mechas de azufre y cerillos para detectar de manera ágil, cualquier filtración de amoniaco por leve que sea esta, debe permanecer de manera permanente en una caja con puerta de vidrio, fácil de quebrar.

### **Precaución de seguridad para la sala de la maquinaria**

Las condiciones de seguridad de una planta deben mejorar a medida que pase el tiempo, dichas precauciones son sugeridas con el propósito de evitar accidentes:

1. Todos los controles de seguridad por alta presión y el control de presión de agua serian controlados a intervalos regulares.
2. Hay que asegurar de que todo recibidor, acumulador o recolector, tenga una válvula de seguridad con cañería directamente hacia la parte exterior del edificio. La sala de máquinas deberá tener ventilación en el techo de ser posible. Se recomienda tener ventiladores de emergencia, se recomienda una máxima ventilación y durante los meses de veranos, todas las ventanas deberán mantenerse abiertas mientras exista más circulación de aire, habrá menores posibilidades de mezclas explosivas críticas de aproximadamente 165 de amoniaco y aire.
3. Se debe eliminar, por todos los medios posibles, la vibración en las series donde se encuentra el amoniaco donde especial atención a las series de descarga.
4. Asegurarse que todos los controles de líquido estén trabajando en perfectas condiciones. Si la planta está diseñada de manera que todo el amoniaco fluya hacia uno o dos grandes acumuladores, se deberá instalar un control de nivel alto para cerrar la válvula principal y detener todas las maquinas.
5. La sala de calderos adyacentes deberá estar separada por puertas que no permitan pasar aire, y las ventanas deberán estar rellenas con ladrillo.
6. Las máscaras de amoniaco preferiblemente del tipo con tanque de aire siempre deberán estar listas afuera de la sala de máquinas, en caso de una posible pérdida de amoniaco en el área.

## **2.6 Mantenimiento preventivo**

Se entiende que, al realizar un diseño adecuado con una instalación apropiada, es capaz de reducir el mantenimiento rutinario, es decir, cuando se agrega aceite a los compresores, cambio de filtros, revisión de tensión de correas, etc. Un sistema que no tiene seguridades apropiadas o si su diseño es deficiente en la selección de los equipos que lo componen o la mano de obra utilizada para la instalación no fue la más idónea, se detectaran fallas permanentes en el sistema.

Aunque un sistema haya sido correctamente diseñado, instalado y arrancado bajo condiciones ideales, aún queda la necesidad de una constante atención. Cada fabrica o planta debe tener un plan de mantenimiento preventivo, el cual puede ser realizado por su propio personal entrenado. [15]

### **Arranque inicial de sistemas**

Los sistemas de refrigeración al encontrarse con suciedad no pueden ejecutarse con eficiencia o a su vez con gases no condensables, y humedad. La contaminación es uno de los más graves problemas presentados en un arranque, especialmente aquellos ensamblados en sitio. La contaminación de estos produce los siguientes efectos que se detallan a continuación:

- Obstrucción de los filtros, no permitiendo el paso del flujo del refrigerante.
- Desgaste en las paredes de los cilindros en los compresores reciprocantes.
- Reducción de las transferencias de calor en los intercambiadores de calor.
- Reducción de las transferencias de calor en los intercambiadores de calor.
- Caídas de presión excesivas, incrementando el consumo de energía.
- Provocación del mal cierre de válvulas
- Reducción del lapso de vida útil de los rodamientos.
- Acumulación en los orificios de las válvulas de control, causando operaciones erróneas.
- Reducción de la calidad del aceite de lubricación.

Las tuberías de acero implementadas en el sistema deberán estar libres de óxido, escamas, costras y barnices. Las tuberías estándar, tales como A-53 y A-10, deben ser sometidas a un baño químico con una solución ácida para remover toda materia extraña.

Después del baño químico, la tubería debe ser cubierta con una película de aceite de refrigeración para prevenir oxidaciones y sus puntas deberán mantenerse tapadas con tapaderas plásticas. Al momento de soldar las tuberías, deberá hacerse de forma en que los gases, producto de la soldadura, no entren en el sistema. El calor generado en esta acción provoca incrustaciones al mezclarse con el aire interior de las tuberías.

Vacío al sistema: Después que la implementación de las tuberías ha terminado y las pruebas de fugas realizadas, el aire y la humedad deberán ser removidos del sistema antes de ponerlo en operación. Si no es removida toda la humedad, se forma un barro con el aceite de lubricación, que obstruirá los canales de lubricación en el compresor.

El aire y los gases no condensables se alojarán en el condensador, disminuyendo el espacio para el refrigerante condensado, causando presiones altas de condensación. De esta forma la presión de descarga será igual a la del amoníaco, más la presión de los gases no condensables existentes en el sistema.

Para realizar un vacío adecuado al sistema, se recomienda la utilización de una bomba de dos etapas. Para un mejor resultado se deberá conectar al lado de la succión y descarga para asegurarse que todo el sistema será totalmente evacuado. Se recomienda el método de triple vacío, ya que uno solo no es suficiente.

- Al realizar el primer vacío, la presión deberá descender hasta donde es capaz la bomba de hacerlo. Este vacío deberá permanecer de 5 a 6 horas.
- Después de que el tiempo especificado haya transcurrido, se deberá interrumpir el vacío y el sistema deberá de volver a presión cero, por medio de inyección de nitrógeno seco.
- Durante el segundo vacío, la bomba deberá ser operada hasta reducir la presión a 50 micrones, después que esta lectura se haya alcanzado, se le deberá permitir operar por 2 o 3 horas más. Después de este tiempo, el vacío es nuevamente interrumpido con nitrógeno seco, y la presión del sistema llevada a cero.
- En la tercera evacuación, se repiten los mismos procedimientos que en la segunda, ajustando la bomba para operar bajo 1000 micrones. Después de alcanzar este vacío, se deberá operar la bomba por un espacio de 6 horas y mantener el vacío alcanzado por 12 horas para cargar el sistema posteriormente con amoníaco.

Si el sistema es evacuado de la forma especificada anteriormente, estará libre de oxígeno, o gases no condensables que pudieran causar problemas posteriores, es recomendable aislar las tuberías hasta el comienzo del proceso de evacuación.

Recomendaciones básicas de mantenimiento preventivo

Mantenga información permanente de presión. Temperatura y otros datos pertinentes al funcionamiento de los compresores existente en la sala de máquinas.

Presión: La presión de descarga, de succión, de aceite al compresor especificando si es presión directa o diferencial, presión en la bomba de líquido en los sistemas de recirculación de líquido.

Temperatura: temperatura de la camisa de agua del compresor (interior y exterior), temperatura del receptor de refrigerante líquido, temperatura de aceite, temperatura de entrada y salida del agua en los condensadores de casco y tubo; temperatura del recolector de refrigerante líquido; temperatura de succión y descarga del compresor, temperatura de recirculación de líquido, temperatura de la cámara de almacenamiento. [16]

### **Válvulas de control**

Se tomará las precauciones del caso para evitar daños debido a la expansión del líquido cuando una sección de la serie es aislada por válvulas de cierre positivo.

Suelte el prensa-estopa del vástago antes de operar cualquier válvula. Si el prensa-estopa demuestra que necesita empaque adicional, agregue inmediatamente dicho empaque.

Asegúrese que el vástago de válvula este limpio y aceitado antes de cerrar cualquier válvula. Observe a tapa del vástago de cualquier válvula; las tapas serán apretadas con llave cuando el vástago de la esta esté ajustando en la parte posterior.

Cada control de seguridad y cada válvula de seguridad será probada por lo menos cada año, de acuerdo con las recomendaciones del fabricante.

### **Revisión general**

1. Cualquier tubería o estaque que muestre indicios de corrosión, serán limpiados y pintados. Repare el aislamiento cuando se requiera.
2. Mantenga la tensión correcta de las bandas en todas las maquinas. Revise los anillos del acoplamiento y el espaciador en las unidades que tenga acoplamiento directo.
3. Use los lubricantes recomendados por el fabricante.
4. Drene el aceite de los evaporadores, trampa de succión, recirculador y receptor semanalmente. Es importante registrar la cantidad de aceite repuesto.

5. Descongele las unidades evaporadoras en forma periódica para evitar la formación de hielo. Por ningún motivo deberá retirarlo a martillazos. Compruebe la serie de drenaje y/o el cable calefactor.
6. Un nivel adecuado de refrigerante líquido debe ser mantenido para aprovechar al máximo la capacidad frigorífica de la instalación.
7. Limpie el depósito de agua del condensador periódicamente
8. Mantenga el correcto tratamiento de agua del condensador o torre de enfriamiento, de acuerdo con las indicaciones de los profesionales en la materia. Mantenga una purga de agua constante en el condensador o en la torre.
9. Mantenga el nivel de aceite en el compresor, pero no lo llene sobre los límites indicados por el fabricante.
10. Las cubiertas de protección deben estar en su lugar antes de hacer funcionar el equipo después de una reparación.
11. Es deseable pintar las tuberías de acuerdo con el código de colores y sentido de flujo.
12. Identifique los controles más importantes y provea de indicadores de servicio a las principales válvulas que indiquen si están abiertas o cerradas.
13. Nunca cierre las válvulas que controlan las series de seguridad, ya sea en presión, temperatura o líquido.
14. Por ningún motivo se debe hacer “puente” en los circuitos eléctricos que controlan sistemas de seguridad. Repare o reemplace los controles y/o válvulas inmediatamente.
15. Cuando abra una válvula de paso, no la asiente en forma apretada, siempre devuélvase de un cuarto a media vuelta.
16. Cuando reemplace cañerías, use siempre cédula 80 (trabajo pesado) para medidas entre ¼” y 1 ½” . cédula 40 sobre 1 ½”.
17. Mantenga todos los equipos y la sala de máquinas siempre limpia y bien iluminada, con ventilación adecuada a las condiciones de trabajo del equipo.
18. Haga contacto con el cuerpo de bomberos de su localidad para que instruya al personal en prácticas de emergencia.
19. Al realizar cambios de aceite a los compresores, el calefactor debe desconectar el cárter.

Las recomendaciones hechas por el fabricante para la frecuencia en que se realizan las labores de mantenimiento, sin embargo, esto puede variar según las condiciones de operación se muestran en las figuras 13 y 14.

GRUPOS DE INSPECCIÓN O MANTENIMIENTO		INTERVALOS DE SERVICIO (horas)													
		200	5,000	10,000	20,000	30,000	40,000	50,000	60,000	70,000	80,000	90,000	100,000	110,000	120,000
VSM - VSS - VSR Single Screw															
<b>CIRCUITO DE ACEITE</b>															
	Cambio de Aceite <sup>1</sup>		R		R		R		R		R		R		R
	Análisis de Aceite <sup>2</sup>		M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M
	Filtros de Aceite <sup>3</sup>	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R
	Filtro (malla)	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
<b>GENERAL</b>															
	Elementos Coalescentes					R			R				R		R
	Malla de Succión	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
	Filtros de Líquido	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
	Alineación del Acople	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
<b>CALIBRACIÓN</b>															
	Transducers	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
	RTD's	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
<b>COMPRESOR</b>															
	Inspeccionar el Compresor		I		I		I		I		I		I		I
	Rodamientos														I

I Inspeccionar  
M Muestrear  
R Reemplazar

- 1) El aceite debe ser cambiado en los intervalos indicados, a menos que los resultados un análisis indiquen lo contrario. La frecuencia de los cambios también dependerá en la limpieza del sistema.
- 2) El análisis de aceite debe realizarse en estos intervalos como mínimo.
- 3) El filtro de aceite como mínimo debe cambiarse en estos intervalos o anualmente si no funciona continuamente. Si el diferencial de presión excede 12 PSI, o si el análisis de aceite así lo indica, inevitablemente hay que efectuar el cambio de filtro.

Figura 12: Inspección del grupo de compresores recíprocos

Fuente: Frick, 2016

GRUPOS DE INSPECCIÓN O MANTENIMIENTO		INTERVALOS DE SERVICIO (horas)														
		200	5,000	10,000	20,000	30,000	40,000	50,000	60,000	70,000	80,000	90,000	100,000	110,000	120,000	
<b>UNIDAD</b>  300 - 400 VMC RECIPROCANTES		Malla de Succión	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	
		Alineación de Acople	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	
		Alineación Banda, V-Belt	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	
		Filtros de Agua	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	
		Filtros de Líquido	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	
		<b>CALIBRACIÓN</b>		Controles Electro-mecánicos	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
Transducers	I			I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	
RTD's	I			I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	
<b>COMPRESOR</b>				Cambio de Aceite <sup>1</sup>		R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R
		Análisis de Aceite <sup>2</sup>		M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M
		Filtros de Aceite <sup>3</sup>				R		R		R		R		R		R
		Inspección del Compresor <sup>4</sup>		I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I

I Inspeccionar  
M Muestrear  
R Reemplazar

- 1) El aceite debe ser cambiado en los intervalos indicados, a menos que los resultados un análisis indiquen lo contrario. La frecuencia de los cambios también dependerá en la limpieza del sistema.
- 2) El análisis de aceite debe realizarse en estos intervalos como mínimo.
- 3) El filtro de aceite como mínimo debe cambiarse en estos intervalos o anualmente si no funciona continuamente. Si el diferencial de presión excede 25 PSI, o si el análisis de aceite así lo indica, inevitablemente hay que efectuar el cambio de filtro.
- 4) Para evitar posibles daños repentinos, el compresor debe ser destapado para poder revisar y reemplazar válvulas, asientos, rodamientos, y demás partes con desgaste excesivo. Además es importante inspeccionar el cigüeñal.

Figura 13: Inspección del grupo de compresores recíprocos

Fuente: Frick, 2016

## CAPÍTULO 3: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

Para el diseño del sistema de refrigeración se implementaron métodos y técnicas de investigación, las cuales son:

### 3.1 Método experimental

La metodología que se usará será seguir el diseño y plano del sistema de congelación que se ha desarrollado, esto nos permitirá conectar las tuberías del sistema acorte al modelo planteado y diseñado. La ubicación de la maquinas se definirá por el espacio disponible en la planta y la ergonomía que se debe generar al personal que laborará en ella.

### 3.2. Técnicas de investigación.

Para obtener información necesaria se procedió a utilizar la técnica documental y la técnica experimental que nos ayuda en esta investigación cuando se realiza la observación.

#### 3.2.1. Técnica documental.

Esta técnica nos permite recopilar toda la información necesaria, así se procede a la revisión, selección y validez de los datos obtenidos en los libros, revistas, folletos, videos, etc.

#### 3.2.2. Técnica experimental.

El desarrollo de este diseño de sistema de congelación conlleva varios pasos que se realizaron con el propósito de lograr el cumplimiento de los objetivos del proyecto, que se detallan a continuación:

- a. **Analizar el previo diseño del sistema:** Esta fase se basa en la información que se requiere para implementar el sistema, es decir, el lugar en donde se instalará, las condiciones de refrigeración, el tipo de empresa a la que se le propone esta solución de diseño, debido a que existe la necesidad de un nuevo sistema de congelación.
- b. **Analizar el estudio de campo:** Esta fase se basa en la recopilación de la información requerida, mediante la toma de datos a través de manómetros y sensores de temperatura que definirán las temperaturas y presiones en las que el sistema debería trabajar todo el tiempo, es decir, las variables que

intervienen para el desarrollo del sistema, como, por ejemplo, temperatura de enfriamiento y congelación que cumplan con la normativa que se estipula en la ley.

- c. **Analizar el procesamiento de datos de ingeniería:** En base a la información previamente recopilada, se realiza distintos cálculos que se requieren para este sistema, es decir, el cálculo de la tasa de flujo del refrigerante y cálculo de carga para la selección de un condensador evaporativo.
- d. **Seleccionar el refrigerante adecuado:** Cuando se ha realizado los cálculos estipulados, se realiza la toma de decisión importante en el diseño del sistema, debido a que este es un material elemental, es por ello que se escogió el amoníaco como refrigerante en este diseño, tomando en cuenta los aspectos ambientales, de seguridad y desempeño, en comparación con otras sustancias comúnmente utilizadas en la industria.
- e. **Analizar el diseño del sistema de refrigeración:** Esta fase se basa en analizar el tipo de sistema a diseñar para lograr el cumplimiento de los requisitos necesarios para el congelamiento, es decir, si el sistema a desarrollar es de etapa baja o “Booster”, etapa alta o “High Stage”, etapa simple o doble de compresión, e expansión directa, inundado o recirculado, etc. Determinar las necesidades de descongelamiento del evaporador.
- f. **Analizar la dimensión y selección de los equipos en el sistema de refrigeración:** Una vez seleccionado el tipo de refrigerante y el desarrollo de los diferentes cálculos, se realiza la selección de los distintos equipos y materiales a usar para el sistema de refrigeración, en función de su capacidad térmica y disponibilidad en el mercado; es decir para la compra del compresor, evaporador, condensador, entre otros.
- g. **Diseñar la red de tuberías:** Esta fase se basa en seleccionar el material apropiado para las tuberías y de cuántas pulgadas se necesita para las diferentes máquinas y la distribución de espacio de estas, así como la selección de las válvulas y accesorios requeridos para el control del sistema. Las conexiones del sistema se unirán mediante la soldadura eléctrica las cuales garantizarán una durabilidad del sistema.

- h. Diseñar los planos y el diagrama:** Este apartado se basa en el desarrollo de diagramas de flujo del circuito del sistema junto con los planos, para analizar de mejor manera cada uno de los detalles del sistema.
- i. Análisis del mantenimiento preventivo:** Esta fase se basa en la recopilación de información para el mantenimiento del sistema que se deben realizar según las recomendaciones del fabricante.
- j. Costo del proyecto:** Esta fase en se basa en el análisis de costos de las maquinas, elementos o materiales que y se estiman los costos en los que se incurrirán por la adquisición de los equipos y accesorios para el sistema de refrigeración.

## CAPÍTULO 4: SISTEMA DE CONGELACIÓN

Para el desarrollo de este sistema se conoce que una de las fases primordiales es el cálculo de las variables o factores que intervienen en el mismo, debido a esto se realizó una serie de pasos para el previo diseño.

### 4.1 Calcular la capacidad de Congelación

La capacidad del compresor se calcula de acuerdo con la capacidad de energía que se debe extraer en el evaporador para llegar a un valor estimado procederemos a calcular la capacidad del evaporador y del condensador [3]:

R-717 Psi Cond.	R-717 Temp. °F Cond.	Temperatura °F de Bulbo Húmedo									
		50	54	60	64	68	72	74	78	80	82
151.7	85	.97	1.06	1.17	1.43	1.70	2.14	2.47			
165.9	90	.83	.89	1.01	1.13	1.28	1.51	1.67	2.13	2.51	3.08
168.9	91	.80	.86	.98	1.08	1.22	1.42	1.56	1.96	2.27	2.72
171.9	92	.78	.83	.94	1.04	1.17	1.35	1.47	1.82	2.08	2.44
174.9	93	.76	.81	.91	1.00	1.11	1.28	1.68	1.69	1.91	2.21
178.0	94	.74	.79	.88	.96	1.07	1.21	1.31	1.58	1.7	2.02
181.1	95	.74	.76	.85	.92	1.02	1.16	1.24	1.48	1.64	1.86
185.0	96.3	.69	.73	.81	.88	.97	1.09	1.16	1.36	1.50	1.68
187.4	97	.68	.72	.79	.86	.94	1.05	1.13	1.31	1.44	1.60
190.6	98	.66	.70	.77	.83	.91	1.01	1.07	1.24	1.35	1.49
193.9	99	.65	.68	.75	.80	.87	.97	1.03	1.18	1.28	1.40
197.2	100	.63	.66	.72	.78	.84	.93	.98	1.12	1.21	1.32
214.2	105	.56	.58	.63	.67	.71	.77	.81	.89	.95	1.01
232.3	110	.50	.52	.55	.58	.62	.66	.68	.74	.78	.82

**Tabla 3** Factores de capacidad para calor rechazado R-717

*Fuente: El autor*

En la tabla 3 se detalla los factores de capacitancia del calor rechazado, de esta se obtiene la temperatura de condensación, el bulbo húmedo, refrigerante, estableciendo los parámetros para la obtención de la capacidad total del compresor.

#### 4.1.1 Calculo de la capacidad del condensador diario

Para realizar el cálculo de la capacidad del condensador se debe convertir el peso, (W) del producto, en este caso es el hielo, definiendo la ecuación de la siguiente manera: [17]

$$Q = W x C x \Delta t \quad [2]$$

Se debe convertir el peso del producto, dado en toneladas de refrigeración a libras como se muestra en la siguiente ecuación:

$$W = 25,44 TR X \frac{2204,6 lbs}{1 TR} \quad [4]$$

$$W = 56,034.14 lbs$$

Una vez obtenido el resultado en libras se puede definir en la ecuación principal, sin embargo se debe convertir las temperaturas ya que están dadas en Fahrenheit. La variable  $C$ , representa el calor específico, (BTU/lb x °F) del hielo, siendo 1 Btu / Lb x °F.

Las temperaturas están dadas en Celsius, siendo la temperatura inicial de 23° C y la temperatura final de 32° F

$$T_1 = 1,8xT(^{\circ}C) + 32 (^{\circ}F) \quad [5]$$

$$T_1 = 1,8 X (20^{\circ}C) + 32$$

$$T_1 = 68^{\circ}F$$

$$T_2 = 32^{\circ}F$$

Se puede deducir que la temperatura inicial es de 68 °F que equivale a 20°C, a su vez reemplazamos valores en la ecuación principal, ya que cada variable se encuentra con las mismas unidades.

$$Q = W x C x \Delta t$$

$$Q = 56,034.14 \text{ lbs} \times C \times (T_2 - T_1)$$

$$Q = 59524.8 \text{ lbs} \times 1 \frac{\text{BTU}}{\text{Lb} \cdot ^\circ\text{F}} \times (68 - 32)^\circ\text{F}$$

$$Q = 59524.8 \text{ lbs} \times 1 \frac{\text{BTU}}{\text{Lb} \cdot ^\circ\text{F}} \times (36)^\circ\text{F}$$

$$Q = 2142892.8 \text{ BTU} \times \frac{1 \text{ TR}}{12000 \text{ BTU}} \quad [6]$$

$$Q = 178,57 \text{ TR}$$

### Calculo de capacidad de Congelación Evaporador (North Star)

Para calcular la capacidad de congelación del sistema se la determina mediante la siguiente ecuación 7:

$$m = \frac{M}{t} \quad [7]$$

Dónde:

**m:** flujo de masa de hielo,

**M:** Masa de hielo al ser congelada en 24 horas

**t:** Tiempo para obtener el hielo

Siendo el valor de la masa del hielo por ser congelada (M) de 59524.8 libras respectivamente y el tiempo destinado son las 24 horas que hay en un día, multiplicando esta división por los 6400 segundos que tiene un día para poder convertirlo y que la masa quede en unidades de kg/seg.

$$m = \frac{M}{t}$$

$$m = \frac{59524.8 \text{ lbs}}{24 \text{ hrs}} * \frac{1 \text{ kg}}{2.24 \text{ lb}} * \frac{1 \text{ hr}}{6400 \text{ seg}}$$

$$m = 0.307 \frac{\text{kg}}{\text{seg}}$$

### Carga del producto

A continuación se empleara la formula para obtener la tasa de transferencia de calor para obtener hielo esta se puede dar en Kw o en TR.

$$Q^{\circ}teorico = m(CpH2O \cdot \Delta T + Clatente + CpHielo \cdot \Delta T) \quad [8]$$

Dónde:

**Q° Teórico:** tasa de transferencia de calor

**CpH<sub>2</sub>O:** Calor especifico del agua

**Clatente:** Calor latente del agua

**CpHielo:** Calor latente del hielo

**ΔT:** Diferencial de temperatura

Siendo los valores de masa, el resultado obtenido anteriormente en la ecuación 8 que es de 0.31 kg/seg. El calor especifico se sabe que es de 4.2 KJ/kg\*°C y el calor latente del agua es de 33361KJ/Kg y el calor latente del hielo es de 2 KJ/kg\*°C, finalmente las temperaturas de este sistema son; temperatura final de 36°C y temperatura inicial de 20°C, los cuales serán reemplazados respectivamente en la siguiente ecuación 9:

$$Q^{\circ}teorico = \frac{0.31kg}{seg} \cdot \left\{ \left( \frac{4.2KJ}{Kg * C} \right) (36^{\circ}C) + 33361KJ/Kg + \left( \frac{2 KJ}{Kg * C} \right) \cdot (20^{\circ}C) \right\}$$

$$Q^{\circ}teorico = \frac{0.31kg}{seg} \cdot \left\{ (151.2 \frac{KJ}{Kg}) + 33361KJ/Kg + (40 \frac{KJ}{Kg}) \right\}$$

$$Q^{\circ}teorico = \frac{0.31kg}{seg} \cdot \left\{ (151.2 \frac{KJ}{Kg}) + 33361KJ/Kg + (40 \frac{KJ}{Kg}) \right\}$$

$$Q^{\circ}teorico = \frac{0.31kg}{seg} \cdot (33552.2 \frac{KJ}{Kg})$$

$$Q^{\circ}teorico = 104 \frac{KJ}{seg}$$

$$Q^{\circ}teorico = 29,57 Tr \quad [9]$$

### Capacidad de compresor (capacidad de Congelación)

La capacidad de congelación de un compresor es uno de los factores más importantes para la selección de un equipo gracias a que ya tenemos la cantidad de energía que se debe extraer en el evaporador que equivale a 29.57 TR procederemos a calcular las capacidades de compresor necesarias.

$$1HP = 4000BTU/H$$

$$1TR = 12000BTU/H$$

$$29.57TR = 354840BTU/H$$

$$Q_{compresor} = (29.57TR) \left( \frac{12000BTU}{1TR} \right) = 354840BTU/H$$

$$Q_{compresor} = (354840BTU/H) \left( \frac{1TR}{4000BTH/H} \right) = 88.71HP$$

$$Q_{compresor} = 88.71HP$$

Teniendo en cuenta que los equipos son usados se estimara un 10% de capacidad por encima de lo necesario que equivale a 97.58 HP

## 4.2 Elegir el apropiado compresor, condensador, evaporador, refrigerante y tuberías para el sistema de congelación.

Para la elección de las diferentes máquinas y equipos se establecieron capacidades de congelación para calcular la calidad de equipos requerida.

### 4.2.1 Selección del compresor adecuado

La selección del compresor se basó en la capacidad del mismo, a través de la formula realizada en el apartado 4.1.1 que relaciona la capacidad del compresor a través del condensador, se definió un compresor de tornillo ya que poseen una extensa vida útil, con mayor seguridad y eficiencia energética que los compresores de doble

tornillo y tienen menos partes móviles que los compresores reciprocantes. La clave de la confiabilidad del compresor de tornillo sencillo es su diseño equilibrado. Los resultados del diseño equilibrado las cargas de rodamientos ultra-bajas con disminución de vibraciones y niveles de sonido. Las ventajas inherentes permiten al compresor para ofrecer la exclusiva Garantía 15.05, incluyendo 5 años el compresor y 15 años en los cojinetes. La clave de la eficiencia alta, el compresor de tornillo sencillo es exclusivo del sistema de corredera Paralex de Vilter que permite que el compresor funcione en condiciones óptimas de eficiencia a través de su gama completa de capacidades, brindando máxima confiabilidad sin igual y eficiencia energética. [18]

El compresor tiene como funcionalidad comprimir el gas amoníaco y enviarlo al condensador, posee una especie de tornillo. los cuales, se acoplan y giran a 3600 Rpm. Los compresores de amoníaco para cámaras frigoríficas y procesos alimenticios requieren un buen aceite y mucho cuidado en la selección y colocación del aceite.

El aceite para compresores de amoníaco es muy importante para su desempeño. Este aceite debería ser capaz de trabajar muchas horas con poco desgaste, poco arrastre, y mucha eficiencia. Mantiene su viscosidad sin oxidación y tiene poco desgaste. Los demás de las muestras son aceites tradicionales para compresores de frío, este aceite no se congela a bajas temperaturas.

En conclusión se eligió un compresor de tornillo de 26 TR debido a su fácil manejo y bajo costo en el mantenimiento.

#### **4.2.2 Selección del condensador adecuado**

En la selección del condensador evaporativo se basa en el cálculo realizado anteriormente , siendo el tonelaje de 168.102, dicho tonelaje es la cantidad de energía que el condensador va a expedir diariamente, sin embargo como se está usando equipos usados, se agrega un mayor porcentaje de refrigeración para que el sistema sea eficiente y no exista ningún inconveniente, es por ello, que se añade un 20% de refrigeración, siendo el nuevo valor de 201,72 toneladas , por lo que se requiere o elige un condensador con dichas características , por lo tanto, se usó un condensador Ebaco de 200 toneladas de refrigeración.

<b>MARCA</b>	Ebaco
<b>MODELO</b>	VPC 150
<b>CAPACIDAD (TR)</b>	200 TR
<b>N° VENTILADORES</b>	4
<b>N° DE MOTORES / VENTILADOR</b>	1 de 15 HP
<b>HP (BOMBA)</b>	3
<b>CAUDAL DE AGUA</b>	180
<b>FLUJO DE AIRE</b>	30000
<b>CARGA DE REFRIGERANTE</b>	250 Kg
<b>PESO</b>	2 Toneladas

**Tabla 4** Información de la placa del condensador evaporativo

*Fuente: El autor*

Dentro de los estándares de la Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos) y el estándar 2 de IIAR, Instituto Internacional de Refrigeración de amoniaco en el cual estipula que, en el condensador evaporativo, debe existir dos líneas de entrada de vapor refrigerante a alta presión en la parte superior, y dos líneas de salida de refrigerante líquido a alta presión en la parte inferior del equipo.

#### **4.2.3 Selección del evaporador adecuado**

Una de las formas de alimentar el refrigerante en el evaporador, es el método inundado, en el cual trabaja con refrigerante líquido que se llenan por completo con el propósito de aprovechar toda la superficie de los tubos para tener la mayor razón posible de transferencia de calor. Se requiere de un acumulador o colector de refrigerante al lado del evaporador para alimentarlo mediante la gravedad. El nivel de líquido se regula mediante un control de 130 flotador y, el vapor generado por la ebullición del refrigerante en los tubos se separa del líquido en la parte superior de dicho acumulador y se envía a la serie de succión. Resulta ser un sistema de alta eficiencia, y puede emplearse en aplicaciones de alta y baja temperatura. Se reduce el

riesgo de retorno de refrigerante líquido al compresor. Unos centímetros antes de entrar al generador de hielo hay una válvula de expansión hace un abanico y expande el amoniaco y dentro del generador es de 15 psi y como ya no esté comprimido se expande y extrae calor es decir a congelar en sale -15° C porque el compresor esta succionando. [12]

Las ventajas de la alimentación superior de un evaporador, tales como, carga de refrigerante más pequeña, recipiente de baja presión más pequeño, ausencia de una penalización de presión estática, mejor retorno del aceite y método de des-escarche simple y rápido. En cambio, las ventajas de la alimentación inferior, tales como, los detalles de la distribución son menos críticos, las posiciones relativas del evaporador y el recipiente de baja presión no son de importancia, su diseño e implementación es más sencillo y puede requerir una menor recirculación del refrigerante, por lo que el sistema de bombeo y la caída de presión en las series es mínima.

En base a lo anterior, se decide realizar el diseño del circuito del evaporador de amoniaco utilizando alimentación de inundado, haciendo el ingreso del refrigerante liquido por la parte inferior del mismo.

El evaporador con una temperatura menor de 23.5°C y con 1.5 mm de espesor de la cuchilla al trazar estas dos variables en la figura 14, nos da como resultado 27.5 toneladas de hielo, lo que es equivalente al diseño propuesto.

<b>Refrigerant Capacity at 70°F (21°C)</b> Volume 8.68 Cubic Feet (.25 Cubic Meters)				<b>Refrigeration Requirement</b> Tons of Refrigeration Per Ton of Ice					
Freon R-134a	710 lbs (322 kg)	Freon R-404a	685 lbs (311 kg)	Water Temp. °F	40	50	60	70	80
				Tons of Ref (UST)	1.20	1.25	1.30	1.40	1.50
Freon R-22	660 lbs (300 kg)	Ammonia R-717	330 lbs (150 kg)	Water Temp. °C	5.0	10	15.5	21	27
				kW of Ref (MT)	4.67	4.84	5.02	5.44	5.91

<b>Flake Ice Capacities in US Tons (Metric Tons)</b>								
Evap. Temp. - F	0	-5	-10	-15	-20	-25	-30	-35
- C	-18	-21	-23.5	-26	-29	-32	-34.5	-37
<b>Stainless Steel Models</b>								
1.5mm Ice Thickness	16.2 (14.8)	18.8 (17.4)	21.4 (19.6)	24.1 (21.7)	26.7 (24.3)	28.9 (26.5)	30.8 (27.9)	31.6 (28.6)
2.0mm Ice Thickness	13.8 (12.7)	16.0 (14.9)	18.3 (16.8)	20.5 (18.5)	22.6 (20.6)	24.6 (22.6)	26.3 (23.9)	27.5 (24.8)
<b>Carbon Steel Models</b>								
1.5mm Ice Thickness	20.2 (18.6)	23.9 (22.2)	27.5 (25.1)	31.2 (28.2)	34.7 (31.6)	38.0 (34.7)	39.9 (36.2)	40.9 (37.0)
2.0mm Ice Thickness	17.5 (16.1)	20.6 (19.2)	23.9 (21.8)	27.1 (24.4)	30.2 (27.5)	32.6 (29.8)	34.1 (30.9)	35.0 (31.7)

**Figura 14: Parámetros para la elección de la capacidad del evaporador**

Fuente: (NorthStar.)

### **Diseño del sistema de refrigeración con amoníaco**

Este apartado se basa sobre la elección de los evaporadores según las especificaciones de diseño, además del dimensionamiento de las tuberías, junto con los elementos requeridos para el control y operación del sistema, que lleva una interacción térmica con el sistema principal de amoníaco. El sistema elegido, es el sistema inundado de congelación. [19]

#### **Analizar la dimensión y selección de los equipos en el sistema de refrigeración:**

Una vez seleccionado el tipo de refrigerante y el desarrollo de los diferentes cálculos, se realiza la selección de los distintos equipos y materiales a usar para el sistema de refrigeración, en función de su capacidad térmica y disponibilidad en el mercado; es decir para la compra del compresor, evaporador, condensador, entre otros.

#### **4.2.4 Selección del refrigerante adecuado**

El amoníaco es un fluido capaz de transportar calor de un lado al otro en cantidades que son capaces de realizar una transferencia de calor, para la selección de una sustancia refrigerante se lleva a cabo considerando los aspectos, tales como, las propiedades termo físicas, inflamabilidad y toxicidad, costo, eficiencia disponibilidad, condiciones ambientales, entre otros.

Una vez que se introduce el amoníaco en el sistema, en caso de existir fugas sería muy fácil notarlas porque el amoníaco es un gas con un olor fétido muy particular, muy parecido al gas lacrimógeno, de esta manera nos damos cuenta de que en el sistema no hay fugas y proseguimos a introducir el resto de amoníaco en el sistema. Sale amoníaco líquido a temperatura ambiente sube a presión de 150 psi desde que sale del compresor hasta el receptor.

##### **4.2.4.1 Normas ambientales**

Los refrigerantes, hace años atrás eran la principal causa del calentamiento global y daño a la capa de ozono, específicamente los refrigerantes de origen orgánicos denominados como clorofluorocarbonos (CFC's) y los hidro-clorofluorocarbonos (HCFC's), es por ello por lo que existen los tratados internacionales, que buscan eliminar el uso de este tipo de refrigerante, permitiendo el uso de otras sustancias

refrigerantes naturales, tales como, el amoníaco o dióxido de carbono, etc. Los índices de “potencial de agotamiento de ozono”, denominado por sus siglas en inglés, como (ODP), “Ozone depletion potential” y de “potencial de calentamiento global”, denominado por sus siglas en inglés, como (GWP), “Global Warning Potencial”, son los encargados de medir el impacto ambiental ocasionado por esta sustancia.

El “ODP” sirve para la medición de la capacidad del refrigerante para aminorar la capa estratosférica de ozono y el “GWP” sirve para describir la capacidad relativa de la sustancia para atrapar energía radiante en base a un tiempo de 100 años. Los valores de los respectivos índices ambientales se detallan a continuación en la tabla 6:

<b>Refrigerante</b>	<b>ODP</b>	<b>GWP</b>
R-404 A	0	3700
R-507	0	3800
R-717	0	< 1

**Tabla 5** Factores de capacidad para calor rechazado R-717

*Fuente: Fundamentos de ASHRAE , 2017*

Una vez analizado los criterios de los índices ambientales, se puede observar que la sustancia adecuada para este diseño es el amoníaco debido a su bajo índice, el cual indica que tiene un bajo impacto al deterioro de la capa de ozono aportando a la descontaminación.

#### **4.2.4.2 Principios de seguridad**

Cuando se trata del uso de un refrigerante, es importante analizar los criterios de seguridad para la protección de las personas que son las que manipulan dicha sustancia debido a que puede ocasionar intoxicaciones ya que es altamente tóxico e inflamable ante una situación de fuga o explosión.

Para la generación de vacío en el sistema de congelación el cual es muy importante de hacer porque esto nos garantiza que cuando se introduzca el refrigerante amoníaco

no se formen gases condensables lo que puede aumentar las presiones en el sistema y daría como resultado deficiencias de producción en la máquina de hielo.

#### 4.2.4.3 Perspectivas de desempeño

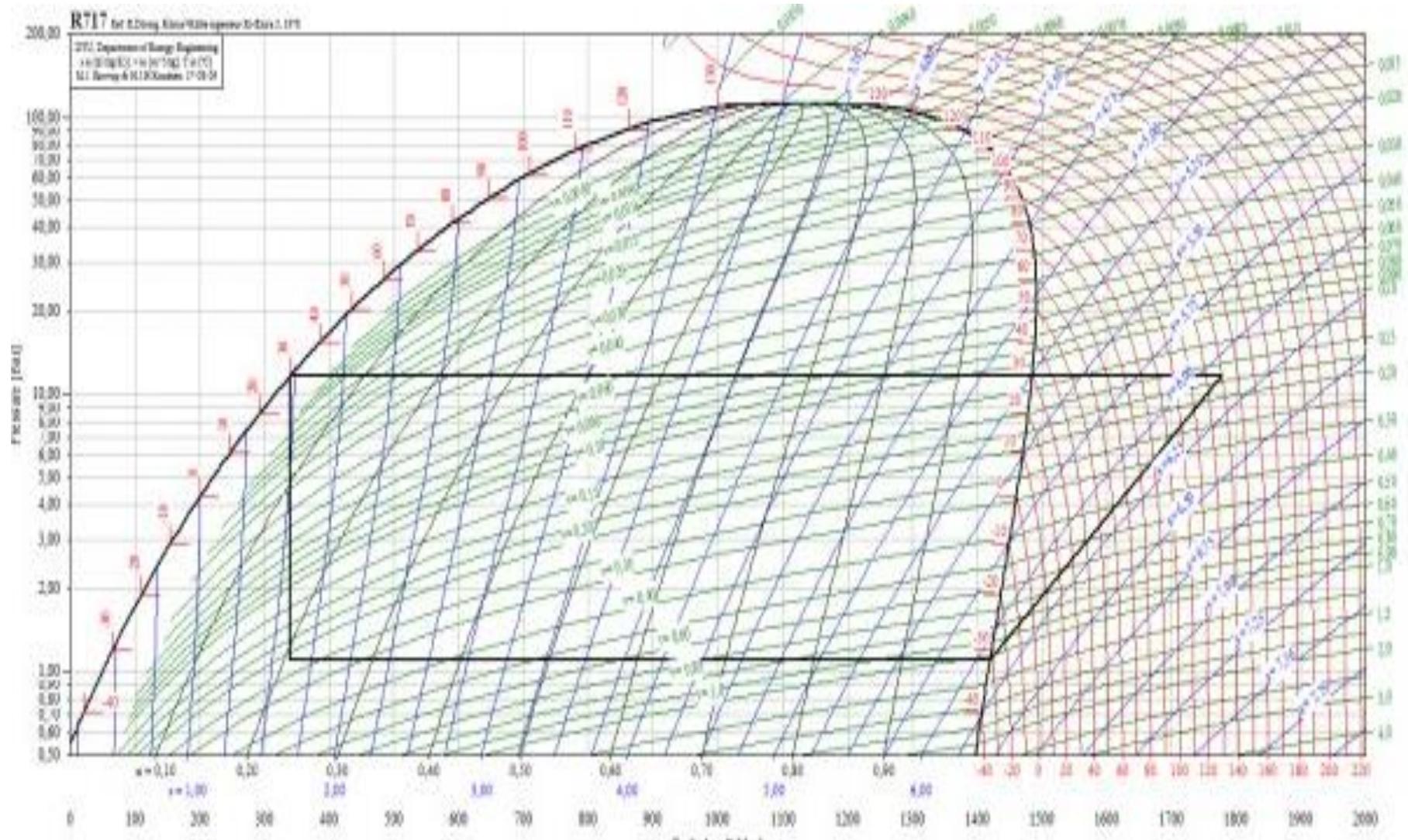
Las características físicas y térmicas del refrigerante establecen el desempeño en la capacidad de este, tales como, el calor latente de vaporización, volumen específico del vapor, relación de compresión y calor específico del refrigerante en estado líquido y vapor. Es conveniente que entre la presión y temperatura del refrigerante sea tal que la presión en el evaporador esté arriba de la atmosférica. Con estas características se busca la obtención de los requisitos mínimos de potencia por capacidad de refrigeración. La temperatura crítica y la presión del refrigerante deben ser mayores que la temperatura y presión máxima del sistema, el punto de congelación del refrigerante debe ser satisfactoriamente menor a la temperatura mínima obtenida en el ciclo. [20]

El “COP” es un índice energético que relaciona la cantidad de energía que debe ser extraída del lugar y el consumo de potencia del compresor, si el valor es mayor, existe más eficiencia en el sistema de refrigeración. El rendimiento de las sustancias refrigerantes, bajo una temperatura de evaporación, de  $-31,7^{\circ}\text{C}$  y temperatura de condensación de  $30^{\circ}\text{C}$ , son las que se detallan a continuación:

Refrigerante	Relación de compresión	Efecto refrigerante neto (kj/kg)	Circulación de refrigerante (g/s)	Consumo de potencia (Kw)	Coefficiente de rendimiento “COP”
R-404 A	7,46	104,90	9,54	0,39	2,60
R-507	7,34	101,10	9,89	0,39	2,57
R-717	10,61	1079,10	0,93	0,33	3,01

**Tabla 6** Rendimiento de los refrigerante bajo las condiciones operativas

**Fuente:** Fundamentos de ASHRAE , 2017



**Figura 15: Diagrama de Mollier del refrigerante R-404 A con temperatura de evaporación -31,7°C y temperatura de condensación de 30°C**

Fuente: Coolpack v.1

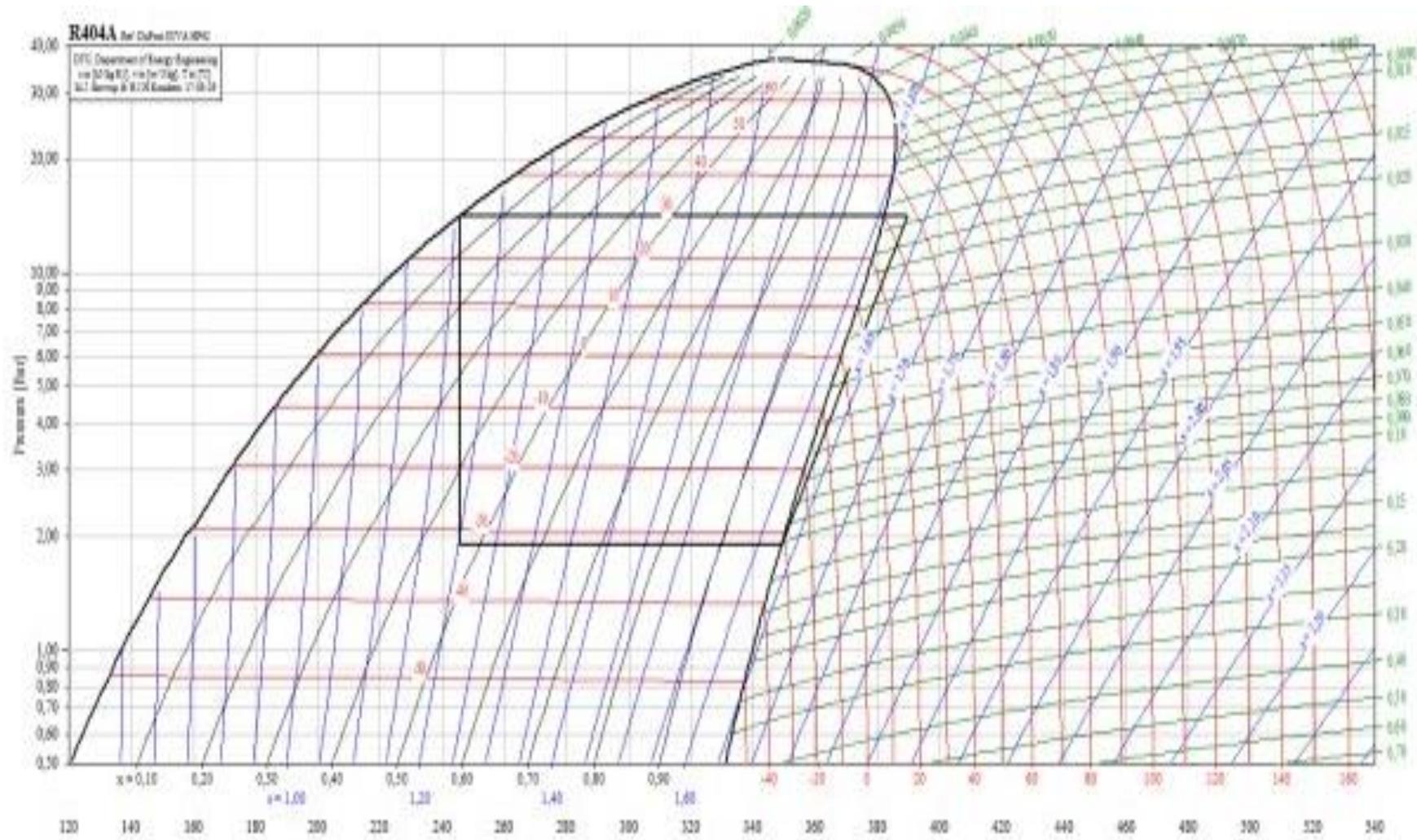


Figura 16: Diagrama de Mollier del refrigerante R-717 con temperatura de evaporación  $-31,7^\circ\text{C}$  y temperatura de condensación de  $30^\circ\text{C}$

Fuente: Coolpack v.1

Los diagramas representan el ciclo ideal de refrigeración dentro de la compresión de los refrigerantes, ilustrando el comportamiento energético de los refrigerantes, demostrando que el mejor refrigerante es el amoníaco debido a que proporciona un mayor efecto refrigerante, se requiere una mínima cantidad de este por lo que el compresor consume menos potencia, teniendo un alto coeficiente de rendimiento. Para poder arrancar el sistema se deben hacer al mismo tiempo que se introduce amoníaco en el sistema para no perder el vacío, a medida que se enciende el sistema podremos observar como los manómetros y sensores nos marcarían los valores establecidos por los fabricantes del equipo.

#### 4.2.4.4 Análisis de los aspectos del refrigerante

Los resultados obtenidos mediante el análisis de los aspectos para la selección de la sustancia refrigerante se detallarán como resumen en la tabla 6:

Refrigerante	Aspectos			
	Ambiental		Seguridad	Desempeño
	OPD	GWP	Peligrosidad	COP
<b>R-404A</b>	0	3700	Baja	2,60
<b>R-</b>	0	3800	Baja	2,57
<b>R-717</b>	0	<1	Alta	3,01

**Tabla 7** Aspectos de selección de los refrigerantes

*Fuente: El autor*

El amoníaco refleja un aspecto ambiental, mejor que los otros refrigerantes debido a que no causa daños al ambiente, y en el aspecto del desempeño representa una alta eficiencia, para minimizar costos en la mano de obra y en el funcionamiento. En cambio, los otros dos refrigerantes representan una ventaja en el aspecto de seguridad ya que su nivel de seguridad es bajo, por lo tanto, se debe tener un cuidado esencial al momento de manipular, cualquier sea el tipo de refrigerante.

#### 4.2.5 Selección de tuberías adecuadas

En el dimensionamiento para las tuberías existen dos métodos por el cual se dimensionan las tuberías para aplicaciones en general con amoniaco, según el Instituto Internacional de Refrigeración con Amoniaco, que se detallan a continuación:

**Método más utilizado:** Se basa en la recomendación de que las tuberías sean dimensionadas tomando en cuenta el aspecto económico, se debe lograr un balance entre los costos de operación e instalación, dado un flujo y condición de operación y el tamaño óptimo de las tuberías. Este método proyecta una vida útil de 15 años aproximadamente de dicha red con amoniaco, considerando la capacidad térmica que se debe alimentar a través de la tubería.

**Método convencional:** El dimensionamiento de las tuberías se desarrolla tomando en cuenta la caída de presión o temperatura que se puede generar a través de estas.

Por ende, el método más recomendado por la IIR, es el que se utiliza por lo general, en los sistemas de refrigeración, basado en el análisis económico.

Uno de los aspectos importantes de las tuberías es el calibre y material de estas, en vista de que el amoniaco acomete al cobre, no se puede utilizar en este diseño, lo que recomienda que las tuberías y accesorios sean fabricados de hierro negro.

Para los sistemas previamente mencionados, se debe seleccionar las tuberías de suministro de refrigerante desde la salida del condensador al receptor de refrigerante del termosifón utilizando la tabla 3.

<b>DIMENSIÓN DE TUBERÍAS DESDE CONDENSADOR AL RECIPIENTE</b>		
<b>Diámetro</b>	<b>BTU/Hr, R-717</b>	<b>BTU/Hr, R-22</b>
1/2"	163,000	45,720
3/4"	302,400	64,600
1"	505,200	140,400
2"	2,364,000	655,200

**Tabla 8** Basado en temperatura de condensación de 95°F

*Fuente: El autor*

El sistema de tuberías para el amoníaco debe seguir el estándar B31.5 de ASME “American Society of Mechanical Engineers” por sus siglas en inglés (Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos) y el estándar 2 de IIR “International Institute of Ammonia Refrigeration” (Instituto Internacional de Refrigeración de Amoníaco), que establecen lo siguiente: [19]

- a. Las series de líquido de menos de 40 mm, así como las de 40 mm, deben ser tuberías de acero al carbono de clase superior a 80 (SCH 80).
- b. Las líneas de líquido de entre 50 y 150 mm, deben ser tuberías de acero al carbono de clase superior a 40 (SCH 40).
- c. Las líneas de líquido de entre 200 y 300 mm, deben ser tuberías de acero al carbono de clase superior a 20 (SCH 20).
- d. Las líneas de vapor de menos de 150 mm, así como las de 150 mm, deben ser tuberías de acero al carbono de clase superior a 40 (SCH 40).
- e. Las líneas de vapor de entre 200 y 300 mm, deben ser tuberías de acero al carbono de clase superior a 20 (SCH 20).
- f. Todos los tubos roscados serán de clase 80 (SCH 80).
- g. Las tuberías de acero al carbono serán estándar A53 grado A o B de ASTM, tipo E (soldada por resistencia eléctrica) o tipo S (sin costuras); o estándar A106 de ASTM (sin costuras), excepto donde los criterios de presión y temperatura requieran de una especificación más estricta. No se permite utilizar el estándar A53 tipo F en las tuberías de amoníaco.

Dentro de las principales tuberías que se tienen en el circuito de distribución de refrigerante hacia los evaporadores están:

- a) Línea de líquido de evaporadores sobrealimentados.
- b) Línea de succión húmeda de evaporadores sobrealimentados.
- c) Línea de líquido que alimenta a los tanques inundados.
- d) Línea de succión seca de los tanques inundados.
- e) Línea de líquido evaporadores inundados.
- f) Línea de retorno evaporadores inundados.
- g) Línea de gas caliente o descongelamiento.

La selección del tamaño de las tuberías se basa en los mismos criterios aplicados para el dimensionamiento de las mismas en la red de distribución de amoníaco, se elige acorde al circuito de las máquinas y según el equipo.

#### **4.3 Alcanzar una producción de 28-30 toneladas de hielo en escama diariamente.**

El sistema si logro alcanzar la producción aproximada de 28 toneladas de hielo en escama por día, mediante pruebas que se realizaron para la optimización del sistema, se logró este objetivo principal ya que el problema general de la empresa se definía por la falta de producción.

#### **4.4 Definir los valores de presión y temperatura óptimos con los cuales el sistema producirá los valores estimados de hielo.**

Los valores de presión y temperaturas están dadas mediante los manómetros, es decir la presión de succión está dada en bares que marca como se muestra en la figura 12, con una presión de 0 bar, en la presión del aceite está dada en 10 bar que equivale a 145 psi y por último la presión de descarga refleja 1 bar que equivale a 15 psi, con temperaturas de 5°C; 60°C y 85°C respectivamente.

Estas temperaturas son las ideales para alcanzar una alta eficiencia en el sistema de congelación.



**Figura 17: Presión de succión, aceite y descarga de los manómetros**

Fuente: El autor

#### **4.5 Definir los componentes del sistema, áreas de trabajo, planos del sistema y sus materiales.**

En el sistema de congelación existen diferentes componentes o equipos que ayudan a la producción del mismo, por ejemplo:

- a) El recibidor NH<sub>3</sub>, es decir el depósito del refrigerante, es un recibidor que tiene una pequeña pantalla que permite visualizar el nivel de amoníaco en el sistema y en el cual se recibe o acumula el exceso de amoníaco en el sistema, generando un control en el mismo ya que gracias al revisor se puede vigilar. En base a los estándares establecidos en el Instituto Internacional estipula que en el recibidor de líquido debe existir una línea de entrada de refrigerante líquido a alta presión proveniente del condensador, una línea de ecualización que iguala la presión entre el recibidor y el condensador, una línea de salida de refrigerante líquido a alta presión y las líneas de entrada y salida del enfriamiento del lubricante por termosifón. Las líneas de entrada de refrigerante líquido, de ecualización y del circuito de enfriamiento del lubricante son mediados por válvulas de cierre tipo globo, en tanto que la línea de salida de refrigerante es mediada por un juego de válvulas compuesto por válvulas de cierre tipo globo y solenoide, con el fin de detener el flujo de amoníaco en caso de fugas.
- a) Otro componente es la trampa de succión, la cual es un tanque que permite la acumulación de gas, y evita que no pase líquido al compresor ya que, si lo recibe, se puede dañar.

Existen diferentes tipos de válvulas que se utilizan dentro del sistema, es decir, la válvula solenoide con control de boya por nivel de amoníaco para el evaporador, la válvula solenoide con control de temperatura con glicerina para el compresor de ¾ marca HANSEN.

Cada equipo cuenta con su juego de válvulas y accesorios, quienes realizan una función en específico. Éstas se resumen a continuación

- a) En el compresor posee una línea de succión seca y de descarga, además de las líneas para el enfriamiento del lubricante estos equipos incorporan sus propias válvulas como parte del paquete de automatización. Además, en las

tuberías correspondientes al sistema individual de enfriamiento del lubricante se instalan válvulas de cierre con funciones similares a sus homólogas.

Las tuberías utilizadas fueron tres tuberías de 4" para succión; 2 tuberías de 3" para la descarga, tres tuberías de 2" para la salida del líquido del condensador, cuatro tuberías de 1/2" para la inyección de líquido en el compresor y máquina de hielo y un control por medio presostato. El presostato establece un límite máximo de presión para que la bomba se apague y un límite mínimo de presión para que la bomba se encienda, gracias a esto se alimenta la máquina de hielo, el condensador y el resto de la planta se usa 2 bombas de presión de 8 HP, 1700 rpm y la otra bomba es de emergencia y a la vez un tanque de presión galvanizado de 100 galones. Con el manómetro se visualiza las presiones de agua para poder controlar el nivel del agua en el tanque. [11]

Para cuando se trabaja con el refrigerante amoníaco se usa hierro negro ya que es el material aparte del acero inoxidable es más económico y con alta durabilidad se usa célula 40 y célula 80.

1. La válvula de seguridad descargaría siempre hacia arriba. El gas de amoníaco es más liviano que el aire y continuara elevándose. El amoníaco líquido, por fuerza se desparramaría en el suelo. El recolector tendría una válvula manual sellada que en caso de emergencia pueda descargar la totalidad del amoníaco en la torre enfriadora de agua.
2. Mantenga todas las válvulas principales de paso de líquido, succión y descarga en buenas condiciones de operación. Esto es, nuevas y fáciles de accionar con la mano. Nunca use llaves manuales sobre 10" o llaves especialmente diseñadas.
3. Todas las válvulas deberán tener su asiento empujando contra la presión del compresor, en caso de pérdidas por el vástago de la válvula. Examine todas las válvulas en las líneas de descarga y asegúrese que estén en la posición de la válvula en 180 grados.

El correcto funcionamiento del sistema como un todo está asociado, entre muchas cosas, a una correcta selección y operación de las válvulas y accesorios. Por ello, al igual que en los casos anteriores, la selección de las válvulas depende del CV

requerido según las condiciones de flujo y presión que se tiene en la tubería en que será instalada.

La información de dimensionamiento que se detalla a continuación está basada en temperaturas de condensación de 35°C o 95°F, para amoníaco y R-22.

### **El dimensionamiento para el recibidor.**

Se debe seleccionar el recibidor de acuerdo con la capacidad requerida o la inmediatamente superior, que corresponda a la columna del refrigerante a utilizar, según la tabla 3.

<b>DIMENSIÓN DEL RECIBIDOR</b>			
<b>Tamaño</b>	<b>Posición</b>	<b>BTU/Hr, R-717</b>	<b>BTU/Hr, R-22</b>
8" x 6'	Vertical	210,000	65,000
12" x 6'	Vertical	500,00	150,000
16" x 6	Horizontal	875,000	270,000
20" x 6	Horizontal/Vertical	1,400,000	420,000
24" x 6	Horizontal/Vertical	2,000,000	600,000
30" x 6	Horizontal/Vertical	2,600,000	780,000

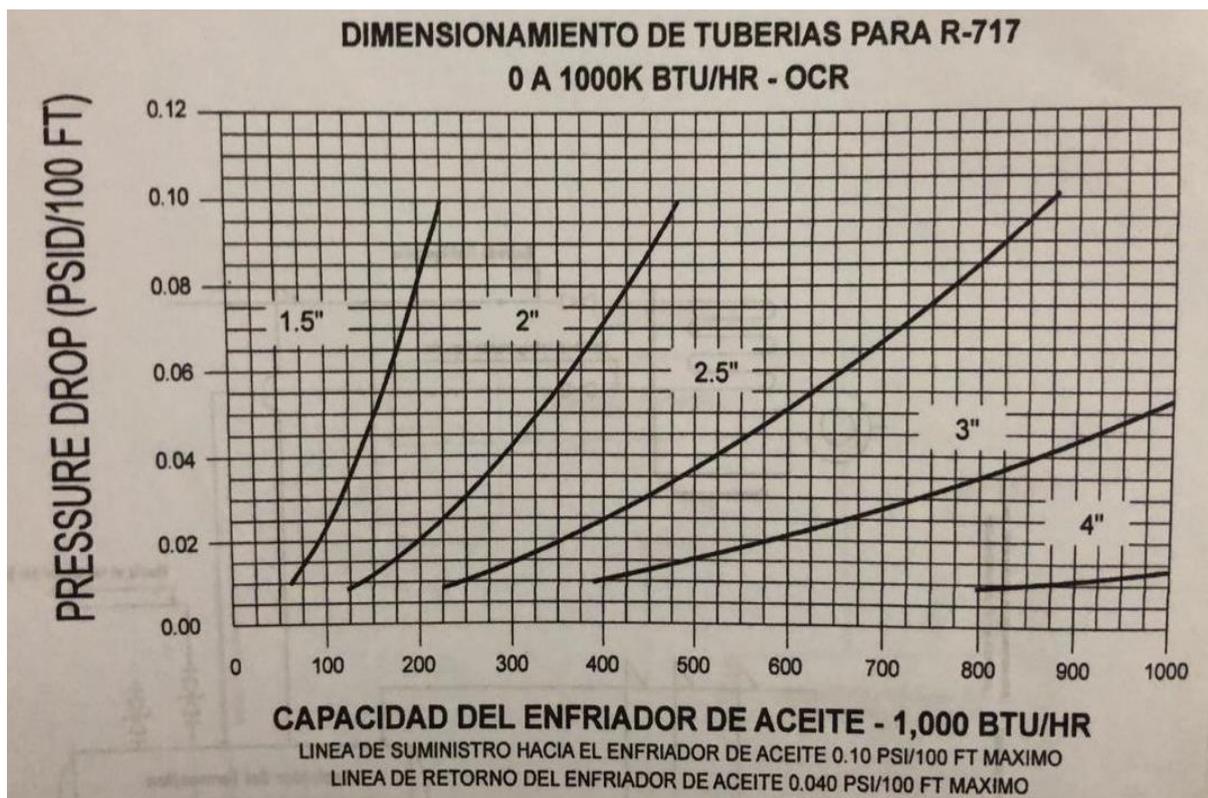
**Tabla 9** Suministro de líquido de refrigerante a 95°F

*Fuente: El autor*

El tamaño del recibidor del amoníaco es de 16" x 6 en la posición horizontal.

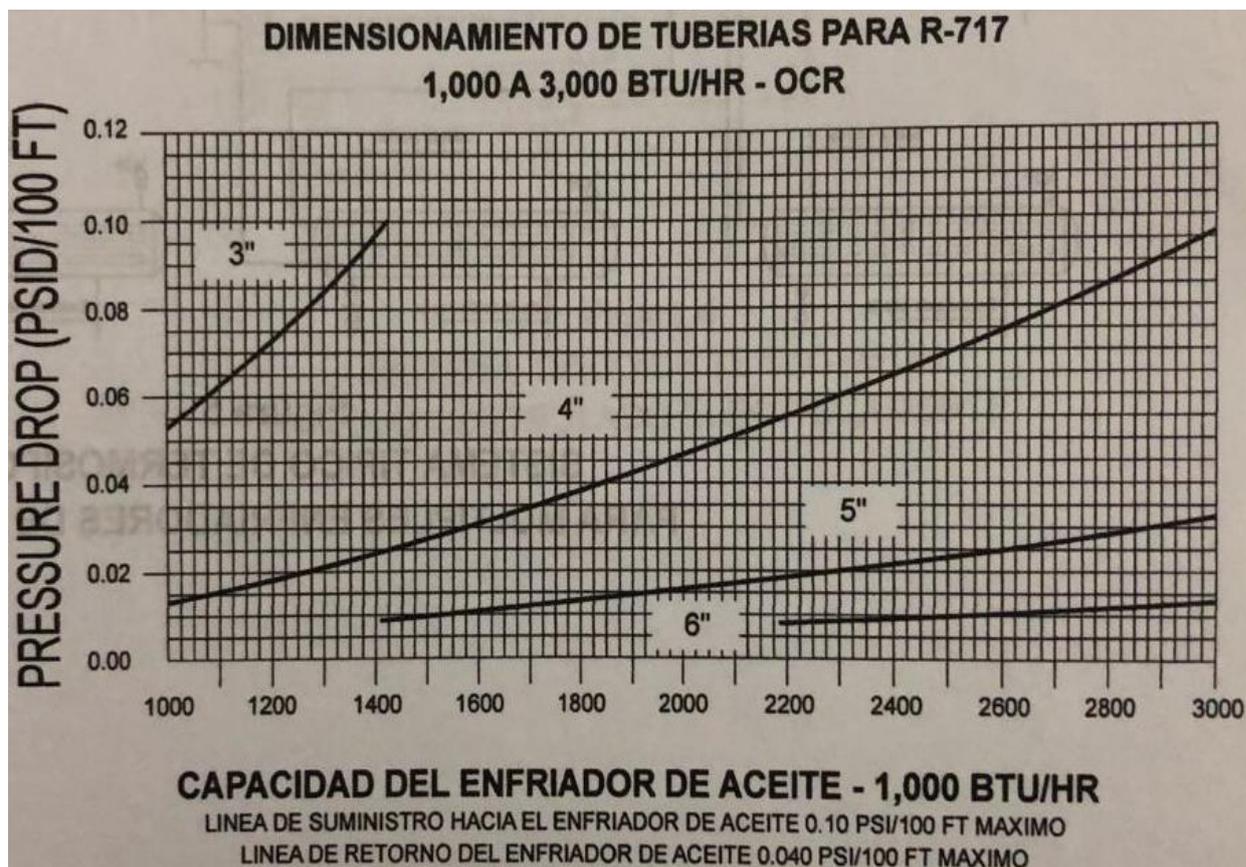
### **El dimensionamiento para el suministro de refrigerante**

Se debe dimensionar la línea de suministro de refrigerante al enfriador de aceite y la línea de salida hacia el receptor del termosifón, para ello, se utilizan los gráficos 1, 2 y 3 para cuando se aplica amoniaco. La línea de suministro de refrigerante líquido al enfriador de aceite, se debe seguir el primer grafico en el eje horizontal hasta interceptar el valor de la capacidad requerida y se obtiene el valor que no debe exceder, este grafico está dado hasta 0.10 PSI/ 100 pies para refrigerante amoniaco.



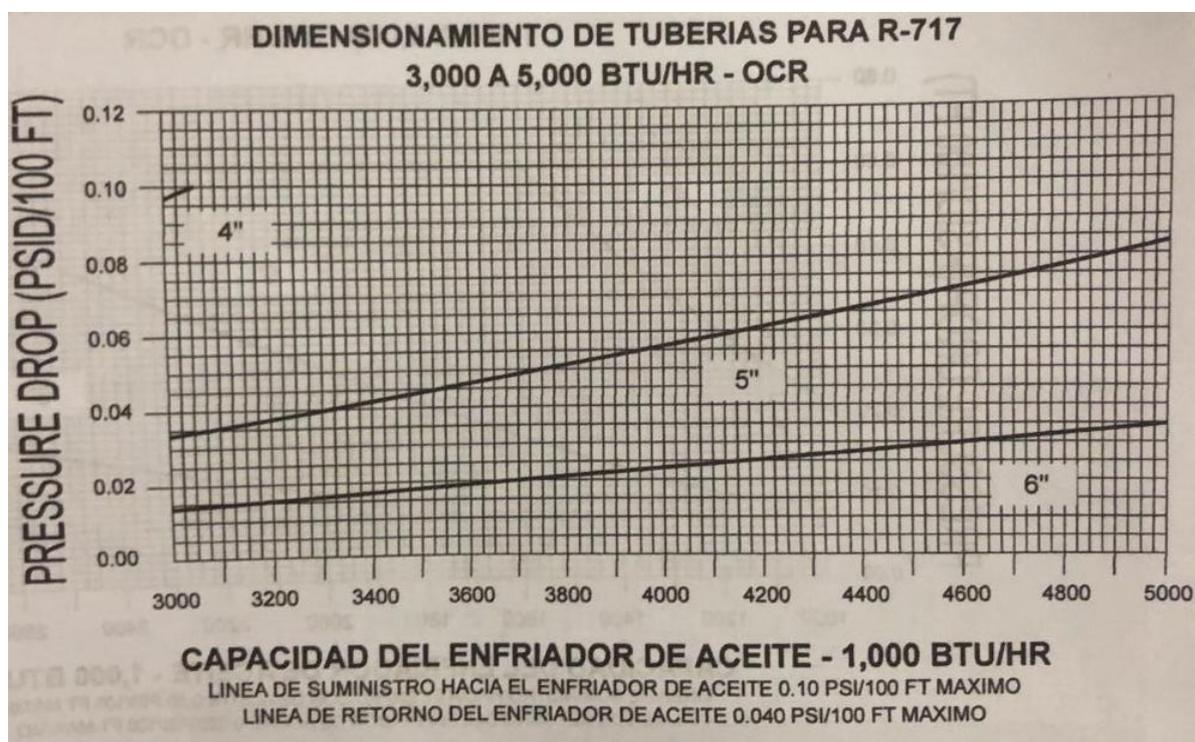
**Figura 18: Presión Vs Capacidad del enfriador para dimensión de tuberías**

Fuente: (Instituto Internacional de Refrigeración de Amoniaco)



**Figura 19: Presión Vs Capacidad del enfriador para dimensión de tuberías**

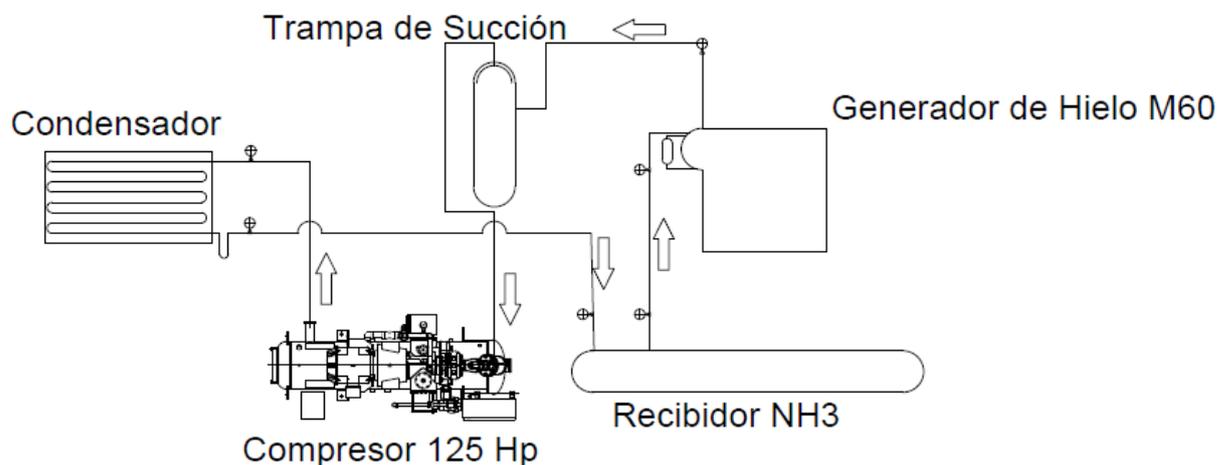
Fuente: (Instituto Internacional de Refrigeración de Amoniaco)



**Figura 20: Presión Vs Capacidad del enfriador para dimensión de tuberías**

Fuente: (Instituto Internacional de Refrigeración de Amoniaco)

La línea de retorno desde el enfriador de aceite es similar a la línea de suministro, pero así mismo se encuentra un valor que no debe exceder, el gráfico está dado hasta 0.40 PSI/ 100 pies



**Figura 21: Plano del sistema de refrigeración**

Fuente: Elaboración propia

### Sistema de bombeo

Está conformado por una bomba de presión, un tanque de presión y un presostato y una caja de control, este sistema se encarga de enviar un suministro constante de agua a la máquina de hielo, la cual recepta el líquido y lo bombea dentro de la máquina, lo que da como resultado el hielo en escama.

## CAPÍTULO 5: ANÁLISIS FINANCIERO

El sistema de congelación es un sistema cerrado y está conectado con diferentes diámetros de tuberías, estas tuberías permiten que el refrigerante tenga un ciclo en el sistema.

Características	Diámetro (mm)	Cantidad	Precio unitario	Precio total
<b>Hierro Negro SCH 40</b>	31,75 (1 ¼)	2	\$26,33	\$52,66
	76,2 (3")	2	\$87,61	\$175,22
	50.8 (2")	3	\$43,81	\$131,42
	12,7 (1/2")	4	\$18	\$72,00
			<b>Total</b>	<b>431,30</b>

**Tabla 10** Costo por tuberías

*Fuente: El autor*

Elementos	Modelo	Tamaño (mm)	Cantidad	Precio unitario	Precio total
<b>Válvula solenoide y filtro</b>	HANSEN 450	(3/4")	1	\$500	\$500
<b>Válvula de alivio</b>	HANSEN	½"	2	\$250	\$750
<b>Válvula check</b>	HANSEN	4"	1	\$2500	\$2500
<b>Válvula de cierre liquido</b>	HANSEN	½"	4	\$150	\$600
<b>Válvula de expansión manual</b>	Hansen 315	¾"	1	500	500
<b>Válvula de succión</b>	HANSEN	4"	1	\$500	\$500
<b>Válvula globo</b>	HANSEN 415	-	1	\$300	\$300
				<b>Total</b>	<b>\$5,650</b>

**Tabla 11** Costo por elementos en la red de amoniaco

*Fuente: El autor*

El sistema de congelación está conformado por elementos que permiten el cierre o regulación del refrigerante amoníaco gracias a estos componentes se puede controlar las presiones y temperaturas que intervienen en el sistema de congelación. [21]

En un sistema de congelación es estrictamente necesario contar con los equipos detallados a continuación puesto que estos son los encargados de que el refrigerante amoníaco cumpla su ciclo para generar temperaturas bajas y poder producir el hielo. [22]

<b>Equipo</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio total</b>
<b>Evaporador M60</b>	1	\$15,000
<b>Compresor</b>	1	\$25,000
<b>Condensador evaporativo</b>	1	\$24,000
<b>Recibidor de líquido</b>	1	\$2,500
<b>Trampa se succión</b>	1	\$3500
<b>Termosifón</b>	1	\$3,000
<b>Transportador de hielo</b>	1	\$15,000
	<b>Total</b>	<b>\$88000</b>

*Tabla 12* Costo por maquinas en el sistema

*Fuente: El autor*

El amoníaco que se usa como refrigerante en el sistema de congelación se lo encuentra en estado líquido a una presión de estándar en botellas cilíndricas las cuales permiten su traslado y posterior mente su introducción al sistema

<b>Refrigerante (Kg)</b>	<b>Cantidad de cilindros</b>	<b>Precio unitario</b>	<b>Precio total</b>
<b>Carga NH3</b>	10	\$150	\$1500
		<b>Total</b>	<b>\$1500</b>

*Tabla 13* Costo de la sustancia refrigerante

*Fuente: El autor*

Unificando los costos mencionados tendremos un valor real del costo del sistema.

Variante	Costo total
Válvulas, elementos, Refrigerante.	7,150
Tuberías	431,30
Equipos y Maquinarias	88,000
Instalación	15,000
<b>Total</b>	<b>110,581.30</b>

**Tabla 14** Costos totales

*Fuente: El autor*

### **Análisis Financiero**

#### **Fórmula del valor actual neto (VAN)**

$$VAN = -I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1+k)^t} = -I_0 + \frac{F_1}{(1+k)} + \frac{F_2}{(1+k)^2} + \frac{F_n}{(1+k)^n}$$

Donde,  $F_t$  son los flujos de dinero en cada periodo  $t$

$I_0$  es la inversión realizada en el momento inicial ( $t = 0$ )

$n$  es el número de periodos de tiempo

$k$  es el tipo de descuento o tipo de interés exigido a la inversión

En un año se recuperó la inversión inicial y sin ningún interés debido a que se canceló el costo total al contado. Obteniendo un valor actual neto de \$189,48.70, el sistema produce 25 toneladas de hielo al día los cuales equivalen a 55000 libras de hielo, cada saco de hielo se despacha con 50 libras esto equivale a 1100 sacos de hielo, cada saco de hielo se vende en 1 dólar por lo que se genera un aproximado de 1000 dólares. No contamos 100 sacos ya que suele haber una pérdida por traslado del mismo, la fabrica trabajara 365 días al año, teniendo en cuenta los costos de

producción los cuales equivalen al 18% se obtendrá una ganancia de \$ 300,000 anual , por lo tanto si es conveniente y se acepta el proyecto.

$$VAN = -110,581.30 + \frac{300,000}{(1 + 0)}$$

$$VAN = -110,581.30 + \frac{7,408.16}{(1 + 0)}$$

$$VAN = \$ 189,418.70$$

Fórmula de la TIR o Tasa Interna de Retorno

$$TIR = \sum_{t=0}^n \frac{F_n}{(1 + i)^n} = 0$$

Donde, **Q<sub>n</sub>** es el flujo de caja en el periodo n; **n** es el número de períodos; **I** es el valor de la inversión inicial.

$$TIR = -110,581.30 + \frac{300,000}{(1 + TIR)} = 0$$

En este proyecto no se puede realizar la TIR ya que tiene una tasa de corte de 0%, sin embargo, sigue siendo un proyecto viable debido a que el VAN es mayor y positivo.

## CONCLUSIONES

- Se logró obtener las cargas térmicas del sistema, las cuales son: la capacidad de condensación de 178.57, capacidad de congelación evaporador 29.57 TR y la capacidad de compresor 88.71 HP.
- La selección de los equipos se proporcionó gracias a las capacidades térmicas obtenidas y calculadas, a través de este dato se buscó equipos con capacidades muy parecidas para estar acorde a la capacidad planteada, estos equipos se lograron encontrar en el mercado de la industria de refrigeración en el Ecuador.
- Se logró medir el flujo volumétrico de agua de la máquina de hielo North Star mediante un medidor de agua que midió los metros cúbicos que ingresaban en un día el cual era de 25 metros cúbicos que equivalen a 25 toneladas de hielo por día.
- Una vez que el sistema arrancó, se estableció que las presiones de descarga serían 155 PSI, Succión 5 PSI, temperatura de aceite 50 grados Celsius, estos 3 elementos son primordiales para definir las buenas condiciones del equipo.
- Para establecer los materiales utilizados en el sistema se escogió las mejores marcas en el mercado, las cuales son Hansen y Parker esto corresponde a válvulas y componentes usados en el sistema, el área de trabajo se obtuvo aprovechando el espacio disponible más cercano al silo de hielo para disminuir los costos en tuberías y los planos del sistema se elaboraron en AutoCAD basándose en sistemas de congelación inundado.
- Es un proyecto rentable ya que la demanda de hielo es muy alta y por ende la debe comprar hielo a fábricas externas para satisfacer su demanda, llegando hasta comprar más de 50 toneladas de hielo.
- Se realiza la entrega de los manuales y planos del sistema para conocimientos de operadores a la empresa y el administrador de tal manera que se dé una mejora continua del sistema en un futuro.

## RECOMENDACIONES

- Las máquinas de hielo North Star no deben estar a la intemperie, es factible construir un techo que recubra la máquina para evitar desperdicio de energía térmica.
- La máquina de hielo North Star se le debe realizar una purga para poder extraer las pequeñas cantidades de aceite que llegan por parte del sistema.
- En caso de una fuga, se deben utilizar mascararas Full Face con cartuchos 6064 específicos al momento de estar en contacto o en un ambiente con amoniaco.
- Los empleados que se encuentra en la planta deben realizar una capacitación sobre el riesgo de una fuga de amoniaco y como se debe actuar ante un caso de una fuga.
- Los operadores deberan realizar un reconocimiento del sistema para que comprendan el funcionamiento y puedan dar soporte a pequeños problemas eléctricos o de flujo de agua que se puedan manifestar a futuro.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] G. L., «Bir Refrigeración,» Bir Refrigeración, 2006.
- [2] A. C. Society, Petroleum and Coal, EEUU, 1997, p. 94.
- [3] W. Aneftu, Compresor monotornillo, EEUU, 2010.
- [4] S. Castillo, Control de refrigeración, España, 2014.
- [5] A. R., Curso de Refrigeración Basica, Mexico: Cenedi, 2005.
- [6] M. Bonet, Elaboración de congelado en pesca, España: Ebook, 2013.
- [7] D. B. Arelano, Grasas y Aceites, España, 2011.
- [8] S. Romero, Mantenimiento Preventivo Instalaciones Frigoríficas, España, 2012.
- [9] J. Balboa, Manual de Instalaciones Frigoríficas, España, 2012.
- [10] J. M. F. Lijó, Manual de Refrigeración, España, 2006.
- [11] G. K. T., Refrigeración de bajo costo, España, 2011.
- [12] C. G. Sierra, Refrigeración industrial montaje y mantenimiento de instalaciones frigoríficas, España, 2012.
- [13] S. Aroca, Tecnología Frigorífica, España, 2015.
- [14] M. García, VIII Congreso Nacional de Ingeniería Termodinámica, España, 2016.
- [15] C. Gonzales, Organización y Ejecución del Montaje de Instalaciones Frigoríficas, España, 2013.
- [16] Bolsegt, Tecnología Frigorífica, EEUU, 2015.
- [17] ASHRAE, American Society of Heat, Refrigeration and Air Conditioned Engineers Handbook. Fundamentals, 2017.
- [18] ASHRAE, American Society of Heat, Refrigeration and Air Conditioned Engineers Handbook. HVAC Systems and Equipment, 2016.
- [19] Grondzik, W., Air conditioning system design manual (Segunda ed.). Butterworth-Heinemann, 2017.
- [20] Northstar, «Venta al por mayor generador en hielo,» [En línea]. Available: <https://www.northstarice.com/catalog/equipment-overview/flake-ice-makers/carbon-steel-flake-ice-makers>
- [21] Welsch, G. A., Presupuestos: planificación y control. Pearson Educación, 2005.

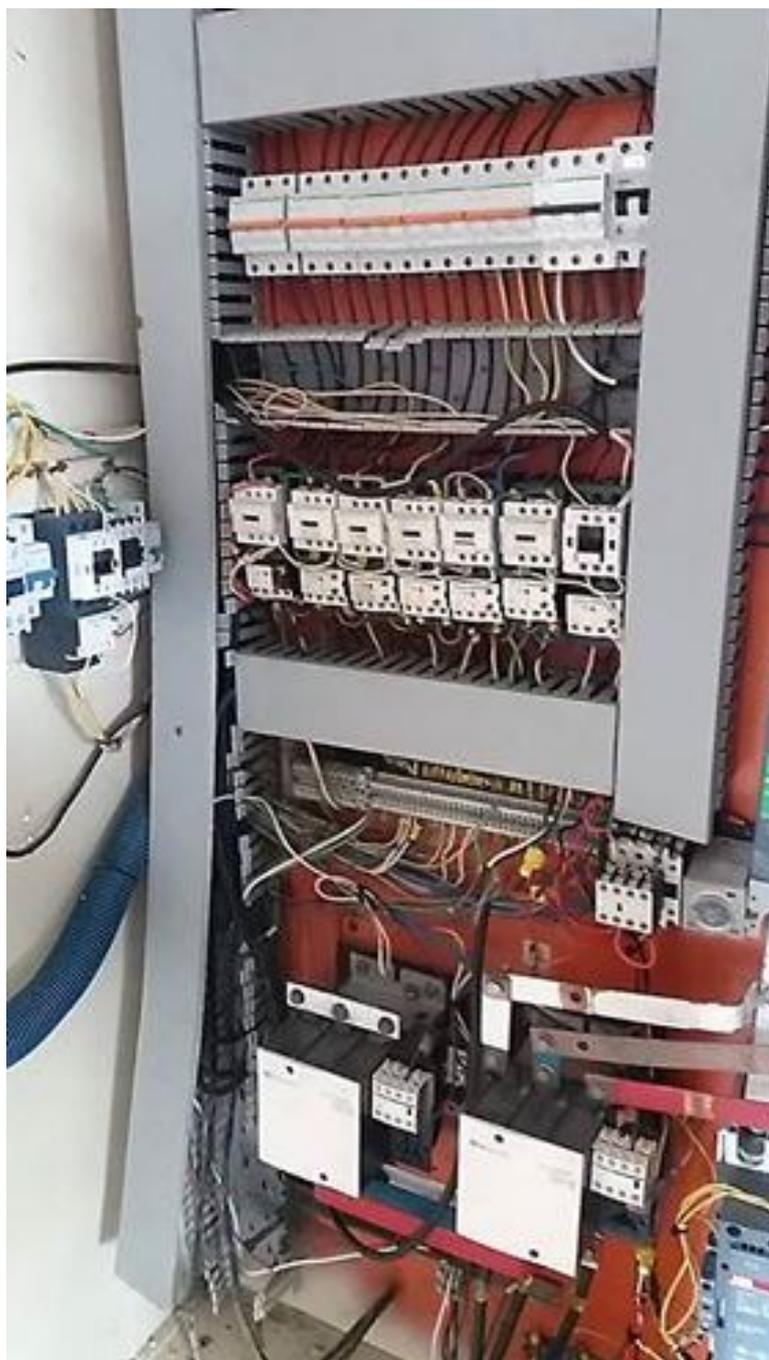
- [22] CASHIN, JAMES A. y Ralph S. Polimeni. *Teoría y problemas de contabilidad de costos*. Tr. del original en inglés Cost Accounting por Lilia Guerrero. McGraw Hill Interamericana de México, México, 1993. 226 pp.

## ANEXOS

### *ANEXO 1: Manómetro compresor*



*ANEXO 2: Tablero eléctrico del sistema*



*ANEXO 3:* Compresor de tornillo



*ANEXO 4:* Termosifón



**ANEXO 5:** Transportadores de hielo



**ANEXO 6:** Funcionamiento de los compresores



## ANEXO 7: Señalética



*ANEXO 8: Trampa de succión*



*ANEXO 9: Condensador*



*ANEXO 10: Condensador entrada y salida de refrigerante*



*ANEXO 11: Salida de refrigerante*



*ANEXO 12: Tanque de desecho de aceite*



*ANEXO 13: Señalética de seguridad*

ANEXO 14: Señalética de prácticas de manufactura



*ANEXO 15: Evaporador*

*ANEXO 16: Parte Lateral del Recibidor*



*ANEXO 17: Parte Trasera del Recibidor*



*ANEXO 18: Bomba de agua del evaporador*



*ANEXO 19: Interior Del Silo*



*ANEXO 20: Transportador de hielo salida*



*ANEXO 21: Transportador de Hielo Interior*



*ANEXO 22: Salida del Hielo De La Maquina*



*ANEXO 23 Compresor y Enfriador De Aceite*



*ANEXO 24: Acumulador De Agua*



*ANEXO 25: Evaporador*

*ANEXO 26: Transportador De Hielo*



*ANEXO 27: Control De Nivel Recibidor*

*ANEXO 28 Condensador*

*ANEXO 29 Tablero Eléctrico Exterior*



*ANEXO 30 Silo de hielo*



*ANEXO 31 Bomba de agua condensador*

