

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**AMPLIACIÓN DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN
POR AMONÍACO EN LA EMBOTELLADORA DEL PACÍFICO, S.A.,
CUYOTENANGO SUCHITEPÉQUEZ**

TESIS

PRESENTADA A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

MARIO ESTUARDO DEL VALLE ALBUREZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO MECÁNICO

GUATEMALA, JUNIO DE 1999

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

Cumpliendo con los preceptos que establece la ley de
la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su
consideración mi trabajo de tesis titulado

**AMPLIACIÓN DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN
POR AMONÍACO EN LA EMBOTELLADORA DEL PACÍFICO, S.A.,
CUYOTENANGO SUCHITEPÉQUEZ**

tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela
de Ingeniería Mecánica, con fecha 3 de septiembre de 1998.

No. CIM 635 . 98



MARIO ESTUARDO DEL VALLE ALBUREZ

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

NÓMINA DE LA JUNTA DIRECTIVA

DECANO	ING. HERBERT RENÉ MIRANDA BARRIOS
VOCAL 1o.	ING. FRANCISCO GÓMEZ RIVERA
VOCAL 2o.	ING. CARLOS HUMBERTO PÉREZ RODRÍGUEZ
VOCAL 3o.	ING. JORGE BENJAMÍN GUTIÉRREZ QUINTANA
VOCAL 4o.	BR. DIMAS ALFREDO CARRANZA BARRERA
VOCAL 5o.	BR. JOSÉ ENRIQUE LÓPEZ BARRIOS
SECRETARIA	ING. GILDA MARINA CASTELLANOS DE ILLESCAS

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN
GENERAL PRIVADO**

DECANO	ING. HERBERT RENÉ MIRANDA BARRIOS
EXAMINADOR	ING. CARLOS HUMBERTO PÉREZ RODRÍGUEZ
EXAMINADOR	ING. EDWIN ESTUARDO SARCEÑO ZEPEDA
EXAMINADOR	ING. CARLOS HUMBERTO FIGUEROA VÁSQUEZ
SECRETARIA	ING. GILDA MARINA CASTELLANOS DE ILLESCAS

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

REF.EPS.G.063.98

Guatemala, 02 de septiembre de 1998

Señor
Ing. Juan Merck Cos
Coordinador Unidad de Prácticas de
Ingeniería y E.P.S.
Facultad de Ingeniería, USAC
Presente.-

Señor Coordinador:

Por medio de la presente informo a usted, que como Supervisor de la Práctica del Ejercicio Profesional Supervisado (E.P.S.), del estudiante universitario MARIO ESTUARDO DEL VALLE ALBUREZ, procedí a revisar el Informe Final de la Práctica Supervisada, cuyo título es: "AMPLIACION DEL SISTEMA DE REFRIGERACION POR AMONIACO EN LA EMBOTELLADORA DEL PACIFICO, S.A., CUYOTENANGO SUCHITEPEQUEZ., el cual lo encuentro satisfactorio.

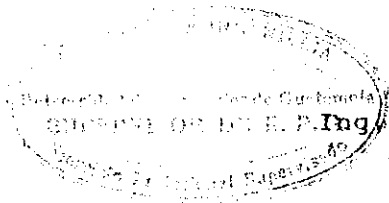
Cabe mencionar que las soluciones planteadas en este trabajo, constituyen un valioso aporte de nuestra Universidad a uno de los muchos problemas que padece el país, principalmente en la satisfacción de necesidades del sector productivo y en el proceso de vinculación con el mismo.

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

Sin otro particular, me es grato suscribirme de usted.

Muy deferentemente,

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"



Edwin Estuardo Sarceño zepeda
Asesor-Supervisor de E.P.S.
Area de Ingeniería Mecánica.

EES/eesz
c.c: Archivo



FACULTAD DE INGENIERIA

REF.EPS.C.164.98

Guatemala, 02 de septiembre, de 1998

Señor
Ing. Carlos Humberto Pérez
Director de la Escuela de
Ingeniería Mecánica.
Presente.-

Señor Director:

Por medio de la presente, envío a usted el Informe Final correspondiente a la práctica del Ejercicio Profesional Supervisado (E.P.S.), titulado: "AMPLIACION DEL SISTEMA DE REFRIGERACION POR AMONIACO EN LA EMBOTELLADORA DEL PACIFICO, S.A., CUYOTENANGO SUCHITEPEQUEZ.,

Este trabajo, lo desarrolló el estudiante universitario MARIO ESTUARDO DEL VALLE ALBUREZ, quien fue debidamente asesorado y supervisado por el Ingeniero Edwin Estuardo Sarceño Zepeda.

Por lo que habiendo cumplido con los objetivos y los requisitos de Ley del referido trabajo, y existiendo la APROBACION del mismo por parte del Asesor Supervisor, esta COORDINACION también APRUEBA su contenido, solicitándole darle el trámite correspondiente.

Sin otro particular, me es grato suscribirme de usted.

Muy deferentemente,

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"

Ing. JUAN MERCK COS
COORDINADOR DE E.P.S.



JMC/eesz
c.c.: archivo
Adjunto Informe Final

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA

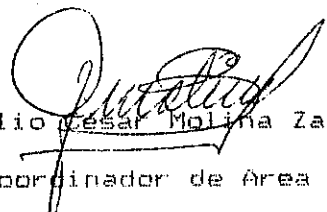


FACULTAD DE INGENIERIA

Escuelas de Ingeniería Civil, Ingeniería Mecánica
Industrial, Ingeniería Química, Ingeniería Mecánica
Eléctrica, Escuela Técnica, Ingeniería en Sistemas
Ingeniería Electrónica y Escuela Regional de Inge-
niería Sanitaria y Recursos Hidráulicos.
Apartado Postal 217-J-01-907, Guatemala
Ciudad Universitaria, Zona 12
Guatemala, Centroamérica

El Coordinador del Area de Térmica de la Escuela de Ingeniería
Mecánica, luego de conocer la aprobación del Asesor y habiendo
revisado en su totalidad el trabajo titulado **Ampliación del
Sistema de Refrigeración por Amoníaco en la Embotelladora del
Pacífico, S. A., Cuyotenango Suchitepequez**, del Estudiante Mario
Estuardo Del Valle Alburez, recomienda su aprobación.

ID Y ENSEÑAR A TODOS


Ing. Julio César Molina Zaldaña

Coordinador de Area

Guatemala, febrero de 1,999.

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, después de conocer el dictamen del asesor, con el visto bueno del Coordinador del Área Térmica, al trabajo de tesis **Ampliación del Sistema de Refrigeración por Amoníaco en la Embotelladora del Pacífico, S. A., Cuyotenango Suchitepéquez**, del estudiante Mario Estuardo del Valle Alburez, procede a la autorización del mismo.

ID Y ENSEÑAR A TODOS

Ing. Carlos Humberto Pérez Rodríguez

DIRECTOR

Guatemala, mayo de 1, 1999.



Escuelas: Ingeniería Civil, Ingeniería Mecánica Industrial, Ingeniería Química, Ingeniería Mecánica Eléctrica, Escuela de Ciencias, Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos (ERIS), Posgrado Maestría en Sistemas Mención Construcción y Mención Ingeniería Vial. Carreras: Ingeniería Mecánica, Ingeniería Electrónica, Ingeniería en Ciencias y Sistemas, Licenciatura en Matemática, Licenciatura en Física. Centros: de Estudios Superiores de Energía y Minas (CESEM). Guatemala, Ciudad Universitaria, Zona 12, Guatemala, Centroamérica.

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica, Ingeniero Carlos Humberto Pérez Rodríguez, al trabajo de tesis titulado **Ampliación del Sistema de Refrigeración por Amoníaco en Embotelladora del Pacífico, S. A., Cuyotenango Suchitepéquez**, presentado por el estudiante universitario Mario Estuardo del Valle Alburez, procede a la autorización para la impresión del mismo.

IMPRIMASE

ING. HERBERT RENE MIRANDA BARRIOS

DECANO

Guatemala, mayo de 1,999.



Escuelas: Ingeniería Civil, Ingeniería Mecánica Industrial, Ingeniería Química, Ingeniería Mecánica Eléctrica, Escuela de Ciencias, Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos (ERIS), Posgrado Maestría en Sistemas Mención Construcción y Mención Ingeniería Vial. Carreras: Ingeniería Mecánica, Ingeniería Electrónica, Ingeniería en Ciencias y Sistemas, Licenciatura en Matemática, Licenciatura en Física. Centros: de Estudios Superiores de Energía y Minas (CESEM). Guatemala, Ciudad Universitaria, Zona 12, Guatemala, Centroamérica.

DEDICATORIA

A DIOS.

A la Santísima Virgen María.

A mi Madre Ana Graciela Alburez Paredes.

A mi Padre Mario Augusto Del Valle Espada.

A mis hermanas Ana Patricia, Beatriz y Ana Lucía.

A mis sobrinos José Gilberto y Juan Fernando.

A Claudia Mercedes.

AGRADECIMIENTOS

Al Ing. Edwin Estuardo Sarceño, Familia De León Del Valle y

**al personal de mantenimiento de Embotelladora del Pacífico, por su
desinteresada colaboración en este proyecto.**

**Al Ing. Ludín Recinos por su amistad y guía en el inicio de mi carrera
profesional.**

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	i
ABREVIATURAS Y SÍMBOLOS	iii
GLOSARIO	iv
INTRODUCCIÓN	v
1 GENERALIDADES	
1.1 Empresa Embotelladora del Pacífico S.A.	1
1.2 Departamento de Producción y Mantenimiento	3
2 INTRODUCCIÓN A LA REFRIGERACIÓN	
2.1 Historia y aplicaciones	5
2.1.1 Refrigeración doméstica	7
2.1.2 Refrigeración industrial	8
2.1.3 Refrigeración marina y de transportación	8
2.1.4 Aire acondicionado	9
2.1.5 Conservación de alimentos	10
2.1.6 Refrigeración comercial	11
2.2 Principios de refrigeración	12
2.2.1 Refrigeración	12
2.2.2 Agente refrigerante	13
2.2.3 Amoníaco	15
2.3 Conceptos termodinámicos	18
2.3.1 Definiciones básicas	18

2.3.2	Ciclo Ideal de refrigeración	23
2.3.3	Ciclo de compresión de vapor	25

3 EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN

3.1	Descripción de operación	28
3.2	Compresores de amoníaco	33
3.3	Condensadores evaporativos	38
3.4	Evaporadores	43
3.4.1	Enfriador de casco y tubo (chillers)	43
3.4.2	Banco de hielo	46
3.5	Válvula de expansión	47
3.6	Depósito de refrigerante	51
3.7	Tubería para amoníaco	53
3.8	Trampa de succión	56
3.9	Cálculo de carga térmica para demanda actual	59
3.10	Cálculo de producción refrigerante para sistema	67
3.11	Análisis de resultados	68

4 REDISEÑO DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN

4.1	Ampliación del sistema de refrigeración	70
4.2	Criterio para diseño de sistemas de refrigeración	71
4.3	Cálculo de nuevas cargas térmicas	79
4.4	Selección de compresores	81
4.5	Selección de condensadores evaporativos	87

4.6	Diseño de tubería	91
4.7	Arranque inicial del sistema	105
4.8	Aceite en los sistema de refrigeración	106
5	SEGURIDAD INDUSTRIAL EN EL MANEJO DE AMONÍACO	
5.1	Recomendaciones en caso de accidente	107
5.1.1	Quemaduras por vapor de amoníaco	109
5.1.2	Salpicadura de amoníaco líquido en los ojos	110
5.1.3	Ingerir agua contaminada con amoníaco	110
5.2	Utensilios para primeros auxilios	111
5.3	Equipos de protección	112
5.4	Que hacer al localizar una fuga de amoníaco sensible al olfato	113
5.5	Efectos fisiológicos en el ser humano	114
5.6	Manejo seguro del amoníaco	115
5.7	Precauciones en planta	117
5.8	Prevención de explosiones	119
5.9	Protección de planta	124
	CONCLUSIONES	126
	RECOMENDACIONES	128
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	129
	BIBLIOGRAFÍA	130
	ANEXOS	131

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

GRÁFICAS

1.	Ubicación geográfica de la Embotelladora del Pacífico	2
2.	Organigrama del departamento de producción	4
3.	Propiedades térmicas del amoníaco	21
4.	Diagrama presión – entalpía de amoníaco	24
5.	Ciclo de compresión de vapor	26
6.	Circuito de enfriamiento de jarabe	29
7.	Sistema de refrigeración actual	32
8.	Compresor de amoníaco	35
9.	Condensador evaporativo	42
10.	Enfriador de casco y tubo	45
11.	Banco de hielo	47
12.	Depósito de refrigerante	52
13.	Trampa de succión	58
14.	Diagrama presión – entalpía para cálculo de refrigerante	65
15.	Efecto de baja presión en el evaporador	75
16.	Efecto de sobrecalentamiento en el vapor de succión	76
17.	Efecto de caída de presión como resultado de la fricción	77
18.	Sistema de refrigeración ampliado	90

19.	Propiedades del amoníaco líquido y saturado	131
20.	TR. de producción de compresores Vilter VMC	134
21.	Propiedades del vapor sobrecalentado de amoníaco	135
22.	Flujo másico por TR. para amoníaco	136
23.	Capacidades de las líneas de descarga y líquido en TR.	137
24.	Caídas de presión en tuberías para amoníaco vapor	138
25.	Largos equivalentes de válvulas y accesorios	139
26.	Velocidad y caída de presión en tuberías para amoníaco líquido	140
27.	Capacidades de las líneas de succión	141
28.	Factores de corrección para condensadores evaporativos	142

TABLAS

I	Propiedades y características del amoníaco	17
II	Características de los compresores	38
III	Características de los condensadores evaporativos	42
IV	Características de los chillers	44
V	TR. por modelo de compresor Vilter VMC	84
VI	Alternativas para adquisición de compresores	85
VII	Toxicidad de refrigerantes	124
VIII	Efectos al respirar amoníaco	125

ABREVIATURAS Y SÍMBOLOS

Δh	Variación de entalpía.
Δp	Variación de presión.
Btu	British thermal unit, traducido significa unidad térmica británica
$^{\circ}\text{C}$	Grados Centígrados
Ce	Calor específico
$^{\circ}\text{F}$	Grados Fahrenheit
gpm	Galones por minuto
h	Entalpía
hp	Horse Power, traducido significa caballos de potencia
hr	Hora
Kcal	Kilocalorías
Kg	Kilogramos
KJ	Kilojoules
Lb	Libras
Psia	Pound square Inch absolute, traducido es libra pulg cuad absoluta
Psig	Pound square Inch gage, traducido es libra pulg cuad manométrica
Q	Calor absorbido
Rpm	Revoluciones por minuto
TR	Tonelada de refrigeración
T^1	Temperatura inicial
T^2	Temperatura final

GLOSARIO

Acido bórico	Antiséptico, no produce irritación sobre tejidos humanos.
Acido pícrico	Compuesto para quemaduras de la piel, ayuda a una recuperación rápida de tejidos humanos.
Atomizar	Reducir líquidos a partículas muy tenues a manera de polvo en cierta dirección.
Brix	Porcentaje de sólido (sacarosa) disuelto en un líquido (bebida gaseosa)
Condensación	Paso de un vapor a estado líquido.
Ebullición	Paso del estado líquido al gaseoso, que se caracteriza por la formación violenta de burbujas en toda la masa líquida.
Jarabe	Compuesto base de la bebida.
Miscible	Término dado a dos a más sustancias que son solubles entre sí en todas proporciones.
Propilenglicol	Compuesto refrigerante de glicol con agua en una proporción del 26%.
Putrescibles	Compuestos orgánicos que tienen un proceso de descomposición producido por ciertos microorganismos.

INTRODUCCIÓN

El presente proyecto de Ejercicio Profesional Supervisado, EPS, fue realizado en la Embotelladora del Pacífico S.A. directamente en la planta de producción, y se basa en el sistema de refrigeración por amoníaco. La finalidad del sistema de refrigeración es el enfriamiento del producto previo a agregarle gas carbónico que es utilizado como preservante, este proceso se realiza en los equipos conocidos como Intermix y Enfriador de casco y tubo. Otra función del sistema de refrigeración es el enfriamiento del jarabe del producto posterior a su cocimiento por medio de agua fría del banco de hielo, este proceso es realizado en un intercambiador de calor de placas.

El proyecto pretende atender las necesidades de la Embotelladora del Pacífico para calcular la ampliación del sistema de refrigeración, que incluye la línea de producción No.3 y el banco de hielo No.2.

El capítulo No.1 trata sobre Información de la Embotelladora del Pacífico y su Departamento de Producción. En el capítulo No.2 se realiza una introducción a termodinámica y refrigeración. El capítulo No.3 se refiere a la evaluación del sistema de refrigeración y sus equipos. El capítulo No.4 consiste en el rediseño del sistema para las nuevas cargas térmicas, debido a la ampliación del sistema de refrigeración. Y el capítulo No. 5 se presenta un manual de seguridad industrial para la planta con sistema de refrigeración por amoníaco.

1. GENERALIDADES

1.1 Empresa Embotelladora del Pacífico S.A.

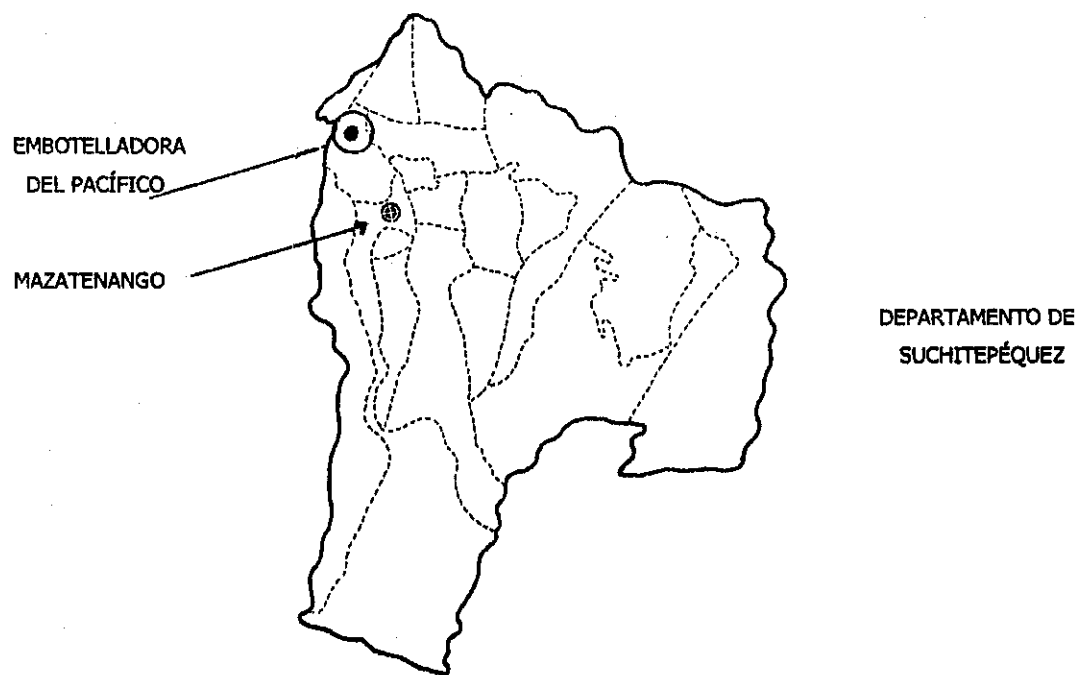
La Embotelladora del Pacífico S.A. es una empresa con más de 25 años de funcionamiento. Se dedica a la producción y comercialización de bebidas carbonatadas de primera calidad, con lo cual satisface el gusto de los consumidores por este tipo de producto y contribuye al desarrollo de la empresa, de los empleados y del área sur occidental del país a la cual provee de inversión y puestos de trabajo, que directa e indirectamente han beneficiado a los pobladores de los municipios de Cuyotenango, Mazatenango, Samayac, San Bernardino y San Antonio Suchitepéquez.

La planta se encuentra ubicada en el kilómetro 167 de la carretera al Pacífico (CA 2), en el municipio de Cuyotenango del departamento de Suchitepéquez (figura 1.1), su ubicación estratégica permite el abastecimiento del producto a los departamentos de Suchitepéquez, Retalhuleu, San Marcos, Sololá, Quetzaltenango, Totonicapán, Huehuetenango y parte del departamento de Escuintla.

Actualmente, la planta cuenta con varias secciones o departamentos de los cuales los más importantes son: Logística, Producción, Finanzas, Comercialización, Recursos Humanos, etc.

Figura 1

Ubicación geográfica de la Embotelladora del Pacífico



El área de la planta embotelladora es de aproximadamente de 6 manzanas en las cuáles se encuentran: tres bodegas, oficinas centrales, suministros, cafetería, talleres, clínica médica área de carga-descarga y áreas deportivas.

Las funciones y objetivos de la planta embotelladora son: el desarrollo de la empresa, colaboradores y el país, produciendo bebidas carbonatadas en cuatro tamaños de 6.5 onzas, 12 onzas, ½ litro y 1 litro con siete sabores: pepsi cola, 7up, mirinda, rica, rica uva, rica mandarina y salutaris

1.2 Descripción del área de producción y mantenimiento

La función del Departamento de Producción es la de fabricación y control de bebidas gaseosas, reduciendo tiempos y costos, así como establecer normas de calidad y llegar a determinar la cantidad de producto que se debe producir para satisfacer la demanda de la empresa.

La sección de mantenimiento industrial es la encargada de programar y ejecutar el mantenimiento preventivo, correctivo y de emergencia para los equipos que componen la planta e instalaciones en general.

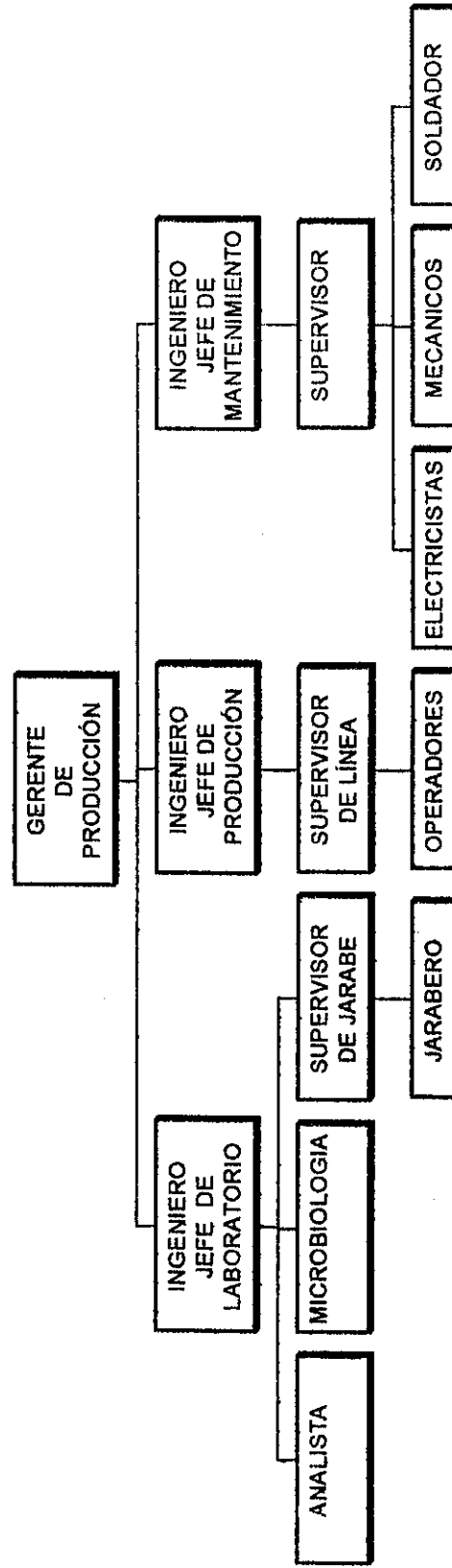
El organigrama del Departamento de Producción y mantenimiento se observa en la figura 2. Organigrama del departamento de producción.

FIGURA 2

EMBOTELLADORA DEL PACÍFICO

DEPARTAMENTO DE PRODUCCIÓN

ORGANIGRAMA DE PRODUCCIÓN Y MANTENIMIENTO



2. INTRODUCCIÓN A LA REFRIGERACIÓN

2.1 Historia y aplicaciones

En los inicios de la refrigeración mecánica, el equipo disponible era voluminoso, caro y no muy eficiente. Además, era de tal naturaleza que requería continuamente los servicios de un mecánico o de un ingeniero de servicio. Esto limitaba el uso de la refrigeración mecánica a unas cuantas aplicaciones tales como: plantas de hielo, plantas empacadoras de carne y a grandes bodegas de almacenamiento.

En el transcurso de unas pocas décadas, la refrigeración ha tenido un crecimiento asombroso y actualmente se ha extendido con rapidez a la industria. Este crecimiento explosivo es el resultado de varios factores. Primero, con el desarrollo de métodos de fabricación muy precisos, ha hecho posible la fabricación de equipos pequeños y eficientes. Esto, aunado al desarrollo de refrigerantes seguros y a la invención de motores eléctricos de potencia fraccional, ha hecho posible la fabricación de pequeñas unidades de refrigeración muy usadas en la actualidad en aplicaciones tales como: refrigeradores y congeladores domésticos, acondicionamientos de aire pequeños e instalaciones comerciales.

Poca gente, con excepción de aquellas que están relacionadas directamente con la industria, están enteradas de la parte tan importante que la refrigeración juega en el desarrollo de la sociedad, ni se dan cuenta de la dependencia de la sociedad con respecto a la refrigeración mecánica para contribuir a su existencia, por ejemplo, en la conservación de alimentos en cantidades suficientes para la alimentación de la población urbana en crecimiento, no sería posible hacerlo sin refrigeración mecánica, también, muchos de los grandes edificios que se tienen en el país que sirven a negocios e industrias, no sería posible su ocupación en los meses de verano por el calor existente sino estuvieran con aire acondicionado proporcionado por equipo de refrigeración mecánica.

Además, para conocer mejor las aplicaciones de la refrigeración tales como la comodidad que produce el acondicionamiento del aire y los métodos de fabricación de un producto, congelamiento, almacenaje, transportación, y exhibición de productos de fácil descomposición, la refrigeración mecánica es usada en el procesamiento o fabricación de muchos artículos que actualmente se obtienen en establecimientos comerciales. La lista de procesos o productos que es posible hacer o perfeccionar mediante el empleo de la refrigeración mecánica, es casi infinita, por ejemplo, la refrigeración hace posible la construcción de grandes represas las cuales son vitales en proyectos hidroeléctricos, hace posible la construcción y cimentación de tiros de minas a través de formaciones en terrenos inestables, hace también posible la producción de plásticos, de hule sintético y de muchos otros nuevos productos útiles, mediante la refrigeración, las industrias textiles y de papel permiten

aumentar la velocidad de sus máquinas y tener una mayor producción, se tienen mejoras en los métodos para tratamiento térmico de aceros usados en las máquinas herramientas, esto representa sólo unos pocos de los cientos de formas en las cuales la refrigeración mecánica está utilizándose en la actualidad y cada año se encuentran muchas aplicaciones más, de hecho, lo único que frena el crecimiento de la industria de la refrigeración es la falta de un suministro adecuado de entrenamiento del potencial humano técnico.

Por convenir más a su estudio, las aplicaciones de la refrigeración se han agrupado en seis categorías generales: 1.- refrigeración doméstica, 2.- refrigeración industrial, 3.- refrigeración marítima y de transportación, 4.- aire acondicionado, 5.- conservación de alimentos y 6.- refrigeración comercial. Resultará evidente que no se tiene límites exactos que definan estas áreas las cuales no están precisamente bien definidas y que se tienen traslapes entre las mismas.

2.1.1 Refrigeración doméstica

El campo de la refrigeración doméstica está limitado principalmente a refrigeradores y congeladores caseros. Sin embargo, debido a que es muy grande el número de unidades en servicio, la refrigeración doméstica representa una parte muy significativa de la refrigeración industrial. Las unidades domésticas, generalmente, son de tamaño pequeño teniéndose capacidades de potencia que fluctúan entre 1/20 y 1/2 HP y son del tipo de sellado hermético.

2.1.2 Refrigeración industrial

La refrigeración industrial a menudo es confundida con la refrigeración comercial porque la división entre estas dos áreas no está claramente definida. Como regla general, las aplicaciones industriales son más grandes en tamaño que las aplicaciones comerciales y, la característica que las distingue es que requieren tener un empleado para su servicio, que por lo general es un ingeniero. Algunas aplicaciones industriales típicas son plantas de hielo, grandes plantas empacadoras de alimentos (carne, pescado, pollo etc.) , cervcerías, lecherías y plantas industriales tales como refinerías de petróleo, plantas químicas, plantas huleras etc. La refrigeración industrial también incluye aquellas aplicaciones referentes a la construcción industrial como se describió en la sección 2.1.

2.1.3 Refrigeración marina y de transportación

Las aplicaciones que caen en esta categoría pudieran ser una parte referida a refrigeración comercial y otra parte relacionada con la refrigeración industrial; sin embargo, ambas partes de dichas áreas de especialización han tenido tal crecimiento que merecen atención especial. Desde luego que la refrigeración marina se refiere a la refrigeración que se tiene a bordo de barcos e incluye, por ejemplo, refrigeración de barcos pesqueros y barcos que transportan productos de fácil descomposición, así como también refrigeración en depósitos que se tengan en toda clase de barcos. La refrigeración en transportación se refiere al equipo de refrigeración utilizado en camiones de furgones refrigerados.

2.1.4 Aire acondicionado

Como implica su nombre, el acondicionamiento de aire concierne con la condición del aire en alguna área o espacio designado. Por lo general, esto involucra además del control de la temperatura del espacio, al de la humedad del mismo y el movimiento del aire incluyéndose el filtrado y la limpieza de éste.

Las aplicaciones de acondicionamiento de aire son de dos tipos de acuerdo a sus propósitos, para producir confort o para uso industrial. Cualquier acondicionamiento de aire el cual tiene como función primordial la aplicación de aire para la comodidad, se llama acondicionamiento de aire para comodidad. Se tienen instalaciones típicas de aire acondicionado para casas, escuelas, oficinas, iglesias, hoteles, automóviles, aviones etc.

Por otra parte, cualquier otro tipo de acondicionamiento de aire el cual no satisfaga su fin primordial de acondicionamiento de aire para confort humano se le llama acondicionamiento de aire industrial. Esto, no necesariamente quiere decir que los sistemas de acondicionamiento de aire industriales no puedan también proporcionar confort, coincidiendo con la función principal. Algunas funciones del aire acondicionado industrial son: contenido de humedad en materiales hidrosfópicos, reacción de la velocidad en las reacciones químicas y bioquímicas, límite de las variaciones en el tamaño de la precisión de artículos manufacturados debido a la expansión y contracción térmica y proporcionar aire filtrado limpio, lo cual es conveniente en determinadas operaciones y en la producción de productos de calidad.

2.1.5 Conservación de alimentos

Uno de los usos más comunes de la refrigeración mecánica es la conservación de artículos comerciales putrescibles, particularmente comestibles. Por lo mismo debe dársele la debida consideración en cualquier estudio de refrigeración.

En la actualidad, la conservación de alimentos tiene más importancia que la que antes tuvo en la historia del ser humano, actualmente las grandes poblaciones urbanas necesitan de enormes cantidades de alimento, de las cuales una gran parte son producidos y procesados en lugares muy apartados. Por lógica, estos comestibles deben conservarse en condiciones adecuadas durante su traslado y el subsecuente almacenamiento hasta que sean consumidos, lo cual podrá ocurrir en horas, días, semanas, meses y en algunos casos hasta en años, además muchos productos sobre todo frutas y vegetales son de temporada, ya que éstos son producidos en cierta época del año, se les debe almacenar y tenerlos a disposición todo el año.

Por ser cuestión de vida o muerte, la conservación de los alimentos ha sido uno de los problemas más importantes, desde el principio de la existencia sobre la Tierra, fue necesario buscar la manera de conservar los alimentos durante las estaciones que se tiene en abundancia a fin de sobrevivir durante las estaciones de escasez, es natural entonces, que el hombre haya descubierto y desarrollado métodos para conservar los alimentos tales como el secado, ahumado, de salmuera y salado ya que desde entonces él tenía conocimientos acerca de las causas de descomposición.

Estos métodos antiguos todavía son muy usados, en las sociedades antiguas eran los métodos disponibles, en nuestras sociedades modernas sirven como un suplemento a los métodos modernos. Sin embargo, aunque estos métodos antiguos son enteramente adecuados para la conservación de ciertos tipos de alimentos, con frecuencia se obtienen productos de sabor extraño pero que de otra manera no se podrían obtener, no obstante se tienen desventajas inherentes que limitan su utilización.

Resulta ser muy natural que se tengan algunos cambios en los productos en cuanto a su apariencia y su sabor, lo cual en muchos casos son objetables y no son universalmente adaptables para la conservación de todos los tipos de productos alimenticios, además aún cuando se conservase la calidad de los productos tales métodos están limitados por el tiempo. Para que un producto deba conservarse por tiempo indefinido o por un período de tiempo muy largo, debe utilizarse otros medios para su conservación, como la refrigeración.

2.1.6 Refrigeración comercial

La refrigeración comercial se refiere al diseño, instalación y mantenimiento de unidades de refrigeración del tipo que se tienen en establecimientos comerciales para su venta al menudeo, restaurantes, hoteles e instituciones que se dedican al almacenamiento, exhibición, procesamiento y a la distribución de artículos de descomposición de todos tipos.

2.2 Principios de refrigeración

2.2.1 Refrigeración

En general, se define la refrigeración como cualquier proceso de eliminación de calor, más específicamente, se define a la refrigeración como la rama de la ciencia que trata con los procesos de reducción y mantenimiento de la temperatura de un espacio o material a temperatura inferior con respecto de los alrededores correspondientes, para lograr lo anterior, debe sustraerse calor del cuerpo que va a ser refrigerado y ser transferido a otro cuerpo con temperatura inferior. Debido a que el calor eliminado del cuerpo refrigerado es transferido a otro cuerpo, es evidente que refrigeración y calefacción son en realidad los extremos opuestos del mismo proceso, a menudo, solo el resultado deseado distinguen uno del otro.

Debido a que el calor fluye de una región de temperatura alta a una región de temperatura baja, siempre se tendrá un flujo de calor hacia la región refrigerada de los alrededores calientes. Para limitar el flujo de calor hacia la región refrigerada de manera que sea un mínimo, resulta necesario aislar la región de sus alrededores con un buen material aislante de calor. La velocidad a la cuál deba ser el calor eliminado de un espacio o material refrigerado a fin de producir y mantener las condiciones deseadas de temperatura se le llama "carga térmica", en casi todas las aplicaciones de refrigeración la carga de enfriamiento del equipo de refrigeración es la suma de las ganancias de calor proveniente de diferentes fuentes: 1.- el calor transmitido por conducción a través de paredes aisladas, 2.- el calor que debe ser eliminado del aire caliente que llega al espacio a través de puertas que se abren y se cierran.

3.- el calor que deba ser eliminado del producto refrigerado para reducir la temperatura del producto a la temperatura de almacenamiento y 4.- el calor cedido por la gente que trabaja en el espacio y por motores, alumbrado y otros equipos que producen calor y que operan en dicho espacio.

2.2.2 Agente refrigerante

En cualquier proceso de refrigeración, la sustancia empleada para absorber calor o agente de enfriamiento, se llama " refrigerante". Todos los procesos de enfriamiento pueden clasificarse ya sea como sensibles o latentes de acuerdo al efecto que el calor absorbido tiene sobre el refrigerante, cuando el calor absorbido causa un aumento en la temperatura del refrigerante sin cambiar de estado, se dice que el proceso de enfriamiento es sensible, mientras que cuando el calor absorbido cause un cambio en el estado físico del refrigerante (ya sea una fusión o vaporización), se dice que el proceso de enfriamiento es latente, para cualquiera de ambos procesos si el proceso refrigerante es secuencial, la temperatura del refrigerante debe mantenerse en forma continua por debajo de la del material o espacio que esta siendo refrigerado.

Durante muchos años, la fusión del hielo se ha utilizado exitosamente como refrigerante y, no hace mucho tiempo que el hielo era el único agente de enfriamiento disponible para usarse en pequeños refrigeradores domésticos y comerciales. El hielo tiene ciertas desventajas que tienden a limitar su uso como refrigerante, por ejemplo, con hielo no es posible tener temperaturas muy bajas necesarias en muchas aplicaciones de refrigeración. Por lo general la temperatura mínima que se puede obtener a través de la fusión del hielo es de 32 ° F, en algunos casos puede bajarse la temperatura de fusión del hielo hasta

aproximadamente 0 ° F agregándole cloruro de sodio o cloruro de calcio para producir una mezcla congelante.

Otras desventajas evidentes de usar hielo es la necesidad de reemplazar con frecuencia el suministro, que es una práctica nada conveniente ni económica, además del problema de la extracción del agua originada por la fusión del mismo. Otra desventaja menos evidente, pero importante, de emplear hielo como refrigerante es la dificultad que se ha experimentado en el control del proceso de refrigeración, en el sentido de mantener un nivel de temperatura baja en el espacio refrigerado, debido a que la proporción a la cual el hielo absorbe calor es directamente proporcional al área de la superficie y a la diferencia de temperatura entre la temperatura del espacio y la temperatura de fusión del hielo, disminuye la cantidad de calor absorbida a medida que disminuye el área de la superficie del hielo debido a la fusión del mismo.

Los modernos sistemas de refrigeración mecánica se basan en la propiedad de los líquidos de absorber grandes cantidades de calor a medida que se produce vaporización en los mismos. Como refrigerantes, los líquidos al vaporizarse tienen muchas ventajas con respecto a los sólidos al fusionarse, en el proceso de vaporización es mucho más fácil su control, es decir, que el efecto refrigerante puede iniciarse y detenerse a voluntad, la velocidad del enfriamiento puede regularse dentro de límites pequeños y la temperatura de vaporización del líquido puede regularse controlando la presión a la cual el líquido se vaporiza. Además, se puede acumular con facilidad y condensar al vapor regresándolo a la fase líquida con lo cual podrá nuevamente usarse proporcionando un suministro continuo del líquido para vaporización.

2.2.3 Amoníaco

El amoníaco es el único refrigerante fuera del grupo de los fluorocarburos que se usa bastante en la actualidad, aunque el amoníaco es tóxico, poco inflamable y explosivo bajo ciertas condiciones, sus excelentes propiedades térmicas lo hacen ser un refrigerante ideal para fábricas de hielo, plantas empacadoras, pistas de patinaje, para grandes almacenes de enfriamiento etc. donde se cuente con los servicios de personal experimentado y su naturaleza tóxica sea de poca consecuencia.

El amoníaco es el refrigerante que tiene más alto efecto refrigerante por libra, a pesar de su volumen específico alto en la condición de vapor, tiene una gran capacidad refrigerante con relativamente un desplazamiento pequeño del pistón. El punto de ebullición del amoníaco a la presión atmosférica estándar es de -28°F . Las presiones en el evaporador y el condensador a las condiciones de tonelada estándar de 5°F y 86°F son 34.27 psia y 169.2 psia. respectivamente, las cuales son moderadas, de tal manera que pueden usarse materiales de peso ligero en la construcción del equipo refrigerante.

Sin embargo, la temperatura adiabática en la descarga es relativamente alta, siendo de 210°F para las condiciones de tonelada estándar, por lo cual es adecuado tener enfriamiento con agua tanto en el cabezal como en los cilindros del compresor, debe también evitarse tener sobrecalentamiento en la succión para los sistemas de amoníaco.

Aunque el anhídrido de amoníaco puro no es corrosivo para todos los metales normalmente usados en los sistemas de refrigeración, en la presencia de la humedad, el amoníaco se vuelve corrosivo para los metales no ferrosos,

tales como el cobre y el latón, es evidente que estos metales no deben emplearse en los sistemas de amoníaco.

El amoníaco no es miscible con el aceite y por lo mismo no se diluye en el aceite del cárter del cigüeñal del compresor, sin embargo, deben hacerse los arreglos necesarios para eliminar el aceite del evaporador y deberá usarse un separador de aceite en el tubo de descarga de los compresores. En los sistemas de amoníaco pueden usarse velas de azufre para detectar fugas, con lo cual se produce un humo blanco denso en la presencia del vapor de amoníaco, o también se puede aplicar una solución de jabón poniéndola alrededor de las juntas en la tubería, en cuyo caso la fuga se manifestaría mediante la aparición de burbujas en la solución. El amoníaco es fácil de conseguir y es el más barato de los refrigerantes comúnmente empleados. Estos dos hechos junto con su estabilidad química, afinidad con el agua y no miscibilidad con el aceite, hacen al amoníaco ser un refrigerante ideal para ser usado en sistemas muy grandes donde la toxicidad no es un factor importante.

Debido a su coeficiente de transferencia de calor relativamente alto y al consecuente mejoramiento de la razón de transferencia de calor, es el amoníaco particularmente adecuado para grandes instalaciones de enfriamiento de líquido. Al amoníaco se le usa con compresores reciprocantes tipo abierto, rotatorios y centrífugos.

Debido a que el agente refrigerante usado en el sistema de refrigeración de la Embotelladora del Pacífico es el amoníaco, es conveniente conocer algunos aspectos del comportamiento de este refrigerante; la tabla I muestra sus características principales.

Tabla I

Refrigerante 717 (Amoníaco)

Fórmula química	NH ₃
Peso molecular	17.03
Temperatura de ebullición a presión atmosférica (° F)	-28
Temperatura de solidificación a presión atmosférica (° F)	-108
Temperatura crítica (° F)	271.4
Presión crítica (psia)	1657
Densidad crítica (lb/pie ³)	14.6
Densidad de líquido a 86 ° F (lb/pie ³)	37.16
Volumen específico de vapor saturado a 5° F (pie ³ /lb)	8.150
Calor específico de líquido a 86 ° F (btu/lb ° F)	1.143
Conductividad térmica (btu pie/ pie ² hora ° F)	
Líquido saturado a 32 ° F	0.29
Líquido saturado a 86 ° F	0.29 promedio
Vapor a una atmósfera de presión a 32 ° F	0.0128
Vapor a una atmósfera de presión a 86 ° F	0.0145
Viscosidad (centipoises)	
Líquido saturado a 5 ° F	0.250
Líquido saturado a 86 ° F	0.207
Vapor a una atmósfera de presión a 5 ° F	0.0085
Vapor a una atmósfera de presión a 86 ° F	0.0102
Color	Incoloro
Olor	Nauseabundo
Peligro de explosión. En presencia de aire alcanzando de un	16% al 25%
Clasificación toxicidad según laboratorios de Aseguradoras	Grupo 2

2.3 Conceptos termodinámicos

Es importante manejar algunos conceptos teóricos y leyes básicas de la termodinámica de fácil comprensión ya que estos nos ayudan a entender la operación de un sistema de refrigeración o cualquier ciclo térmico. A continuación se dan a conocer los conceptos más utilizados en ella.

2.3.1 Definiciones básicas

- Calor: es un flujo de energía que siempre se transmite de un medio a una cierta temperatura hacia otro medio que está a una temperatura menor, se expresa en btu/hr o Kcal/hr o Kj/hr.

- Calor latente y calor sensible: el calor sensible es el calor necesario para producir en un cuerpo un cambio de temperatura, sin cambiar de estado. El calor latente, es el calor necesario para producir en un cuerpo un cambio de estado, así se tiene 1 Kg. De agua a 20°C y se desea transformarla en vapor sobrecalentado a presión atmosférica, a 130°C ; el proceso podemos dividirlo en tres partes:

calentar el agua de 20°C a 100°C : calor sensible

evaporar el agua a 100°C : calor latente

calentar el vapor de 100°C a 130°C : calor sensible

- Entalpía: es una variable termodinámica que mide la capacidad de un cuerpo para dar o recibir calor, normalmente se representa como h y se expresa en btu/lb o Kcal / kg o Kj/Kg.

- Entropía: término que aún no se le ha dado una definición certera pero podemos decir que es una medida del desorden energético que posee un cuerpo , teóricamente representa la energía total transferida al material por grado de temperatura para llevar al material a su condición de energía real desde un punto de referencia seleccionado arbitrariamente.

- Líquido saturado: es un líquido que se encuentra en una condición tal que al adicionarle una pequeña cantidad de calor, inmediatamente producirá algo de vapor, en otras palabras el líquido se encuentra a punto de ebullición.

- Presión: es la fuerza aplicada por unidad de área, puede expresarse en varios tipos de unidades las más utilizadas son psi y Kg/cm^2 .

- Proceso isobárico: es aquél proceso que se realiza a presión constante, un ejemplo de este proceso lo encontramos en la operación del condensador el cual realiza la condensación del gas de descarga a presión constante.

- Proceso isoentálpico: es todo aquel proceso que como su nombre lo indica, se realiza a entalpía constante y en el cual los estados inicial y final del proceso poseen la misma cantidad de calor. Un ejemplo de este se encuentra en el proceso de expansión en el cuál el refrigerante sufre una brusca caída de presión y temperatura sin variar su entalpía o calor contenido.

- Proceso isoentrópico: es aquél que se realiza a entropía constante, por lo tanto el desorden energético de la materia al inicio y final del proceso es igual, un ejemplo de este proceso se encuentra en la compresión.

- Proceso isotérmico: es todo aquel proceso que se realiza a temperatura constante, un ejemplo de éste se encuentra en el cambio que sufre el refrigerante que pasa de un estado líquido a un estado gaseoso a una misma temperatura.

- Vapor saturado: es un vapor que se encuentra en una condición tal que al quitarle una pequeña cantidad de calor, inmediatamente produciría algunas gotas de condensado, en otras palabras, es un vapor que se encuentra a punto de condensar.

- Vapor sobrecalentado: es aquel que se encuentra a unas condiciones de temperatura o presión superior a las de saturación.

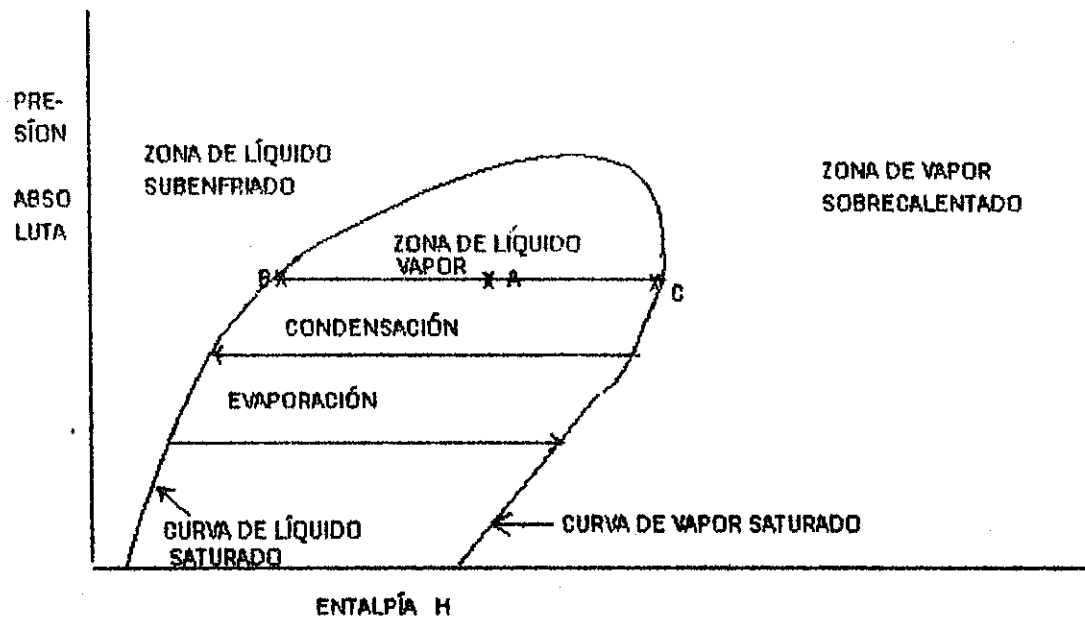
- Diagramas presión-entalpía: Son gráficos en los cuáles se representan las propiedades termodinámicas de una sustancia. Cada elemento tiene su diagrama característico. En todos estos se encuentran representadas las presiones en el eje vertical y la entalpía en el eje horizontal. Además, las condiciones de sub-enfriamiento, saturación, sobrecalentamiento de la materia en diferentes estados también aparecerán representadas, como se indica en la figura 3, este es un diagrama que permite conocer las propiedades termodinámicas de un determinado compuesto, en este caso amoníaco.

En el diagrama puede verse una campana, un punto en el interior de la campana representa una mezcla de vapor y líquido saturado.

Por ejemplo, el punto A representa una mezcla del líquido saturado B y el vapor saturado C. Sólo dentro de la campana cada horizontal corresponde con una presión y una temperatura particular: la presión y temperatura de saturación.

Figura 3.

Propiedades térmicas del amoníaco



Los puntos a la derecha de la campana representan condiciones de vapor sobrecalentado. Los puntos a la izquierda representan condiciones de líquido sub-enfriado.

Es importante llegar a familiarizarse con este tipo de diagramas ya que permiten hacer un análisis del ciclo de refrigeración que se esté utilizando. Cuando se presenta alguna anormalidad, el analizar el ciclo a la luz del diagrama puede ayudarnos a detectar el origen del problema sin necesidad, en muchos casos, de desarmar los equipos. Sin embargo, es fundamental contar con instrumentos de medición confiables ubicados en los puntos apropiados.

Normalmente, se dispone de manómetros a lo largo del circuito, estos deben calibrarse periódicamente, utilizando un calibrador de peso muerto. Por otra parte, es común que el circuito no disponga de termómetros, por lo que es necesario contar con ellos al menos en los siguientes puntos:

- A) **Succión de los compresores:** el gas en la succión debería de ser un gas saturado. Un termómetro permitiría saber si existe tal condición de saturación o si hay sobrecalentamiento que, como se verá, es perjudicial al sistema.
- B) **Salida de los compresores:** un termómetro en este punto serviría para comprobar que los gases de descarga no estén saliendo a mas de 250° F, lo cuál es también nocivo para el sistema.
- C) Otro punto en que es conveniente revisar la temperatura es en la línea de líquido que viene desde el receptor de alta presión. El termómetro habría que colocarlo lo más cerca posible del punto donde se produce la expansión de amoníaco antes de entrar al evaporador. Este termómetro permite determinar si el líquido, antes de la expansión, se encuentra en condición de saturación o subenfriamiento, esta última condición no perjudica al sistema.

2.3.2 Ciclo ideal de refrigeración

A medida que el refrigerante circula a través del sistema, éste pasa por un número de cambios en su estado o condición, cada uno de los cuáles es llamado una "etapa". El refrigerante empieza en algún estado o condición inicial, pasa a través de una serie de etapas en una secuencia definida y regresa a su condición inicial. Esta serie de etapas es llamada un ciclo.

Para el estudio de un ciclo ideal de refrigeración, se supone que el líquido que sale del condensador es saturado y que el gas que regresa al compresor también lo es. A pesar de que en la realidad los ciclos no son ideales, su alejamiento de estas condiciones no es tan grande como para obviar el estudio de estos ciclos.

Un ciclo ideal de refrigeración está formado por cuatro etapas fundamentales:

- Compresión
- Condensación
- Expansión
- Evaporación

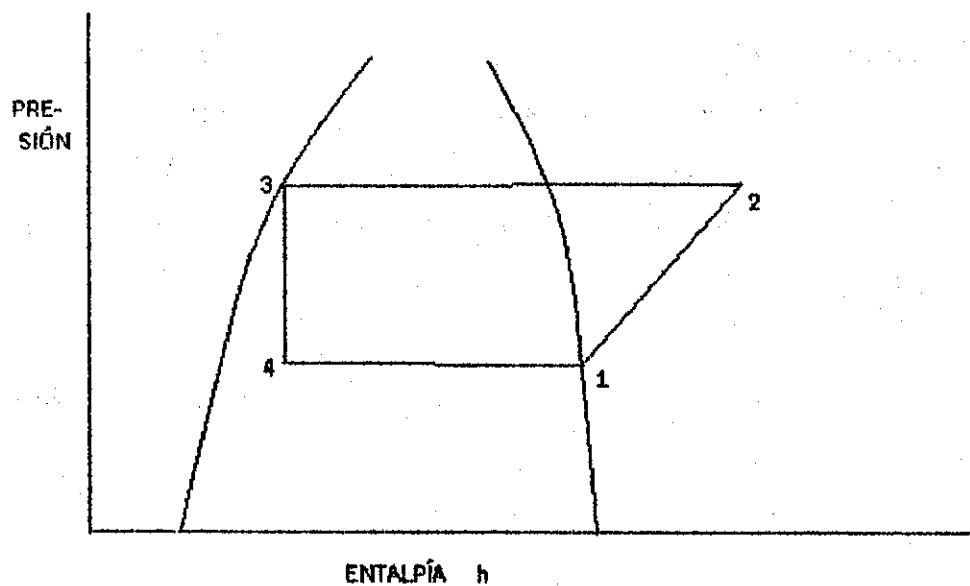
Estas cuatro etapas pueden ser representadas en un diagrama de presión entalpía como se ilustra en la figura 4.

- Compresión: de (1 --- 2) ; Ocurre en el compresor, en teoría es una operación isoentrópica (entropía en 1 es igual a entropía en 2), la presión del

gas es aumentada y también aumenta la temperatura, obteniéndose un vapor sobrecalentado en el punto de la descarga.

Figura 4.

Diagrama presión-entalpía de amoníaco



- Condensación: de (2 --- 3); ocurre en el condensador evaporativo, es una operación Isobárica (presión en 2 es igual a presión en 3). El gas sobrecalentado entra al condensador y empieza a entregar calor sensible

(disminuye su temperatura), hasta alcanzar el punto a que corresponde a vapor saturado. A partir de ese instante el amoníaco empieza a entregar calor latente (a temperatura constante) hasta alcanzar su condensación total en el punto 3. Por lo tanto, el punto 3 representa a un líquido saturado.

- Expansión: de (3 --- 4); en esta etapa, se reduce la presión y temperatura del refrigerante líquido desde la condensación hasta la evaporación. Este proceso es, en teoría, una operación isoentálpica (entalpía en 3 es igual a entalpía en 4); y parte del líquido se evapora.

- Evaporación: de (4 --- 1); ocurre en el evaporador, es decir, en el interior de las placas del carbo-cooler o en el interior de un evaporador de casco y tubo (chiller), es una operación isobárica (presión en 4 es igual a presión en 1), el amoníaco absorbe calor de la bebida, obteniéndose el enfriamiento de ésta y la evaporación del refrigerante. El amoníaco debería salir del evaporador, e ingresar al compresor para reiniciar el ciclo, en condición de vapor saturado.

2.3.3 Ciclo de compresión de vapor

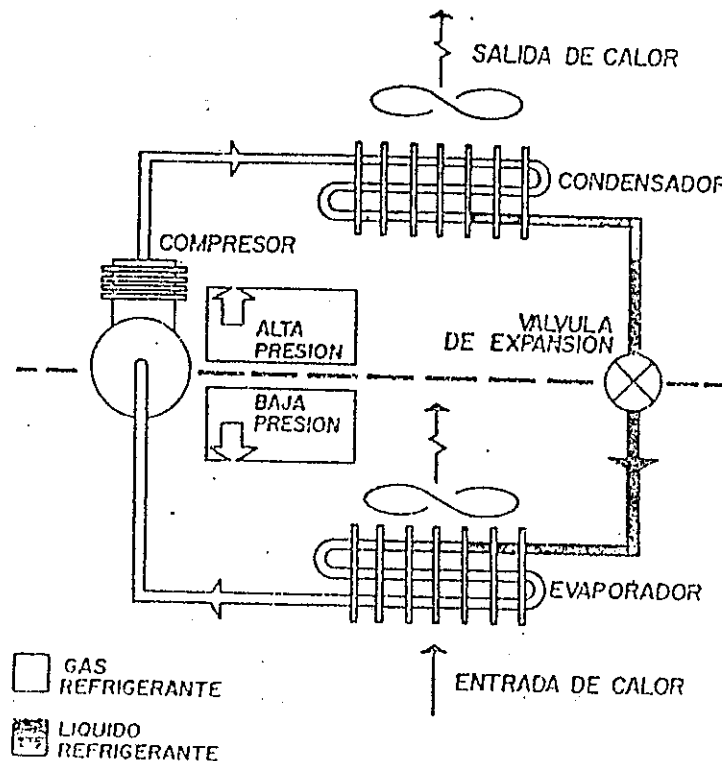
La figura 5 se muestra un ciclo típico de compresión de vapor, para realizar una explicación del funcionamiento del ciclo de refrigeración se puede empezar por cualquier parte del mismo, en este caso empezaremos por el tanque o cilindro receptor , el líquido refrigerante a alta temperatura y presión fluye del cilindro a través de la tubería hacia la válvula de expansión, a medida que el líquido pasa a través de ésta, su presión se va reduciendo hasta la

presión del evaporador de tal modo que, la temperatura de saturación del refrigerante que llega al evaporador hará disminuir la temperatura del espacio refrigerado. En el evaporador, el líquido se vaporiza a presión y temperatura constante a medida que el calor suministrado como calor latente de vaporización pasa desde el espacio refrigerado a través de las paredes del evaporador hasta el líquido vaporizado.

Figura 5.

Ciclo de compresión de vapor

Fuente: manual de instrucciones Pepsi



Por la acción del compresor, el vapor resultante de la vaporización es sacado del evaporador por el tubo de succión hasta la succión de entrada del compresor. El vapor que sale del evaporador esta saturado y tiene la misma presión y temperatura que la del líquido vaporizante. Mientras está fluyendo el vapor desde el evaporador, por el tubo de succión hasta el compresor, absorbe aire de los alrededores y se vuelve vapor sobrecalentado.

Aún cuando se aumenta la temperatura del vapor como resultado del sobrecalentamiento, no cambia la presión del vapor, de modo que la presión del vapor que llega al compresor es la misma que se tiene en la vaporización. (en realidad, la presión del vapor entre el evaporador y el compresor disminuye poco debido a las pérdidas por fricción en el tubo como resultado del flujo del mismo).

En el compresor, la temperatura y la presión del vapor son incrementadas debido a la compresión, el vapor de alta presión es llevado a el tubo de descarga, el vapor fluye por el tubo de gas caliente hasta el condensador, en donde cede calor al aire relativamente frío que es impulsado por el ventilador del condensador.

En la medida que el vapor cede calor al aire frío, su temperatura es reducida hasta la temperatura de saturación correspondiente a la nueva presión alta del vapor y el vapor condensado pasa a estado líquido una vez que se ha efectuado la eliminación de calor. Al tiempo que el refrigerante llega hasta la parte inferior del condensador, todo el vapor se ha condensado y el líquido pasa al cilindro receptor listo para ser recirculado.

1. GENERALIDADES

1.1 Empresa Embotelladora del Pacífico S.A.

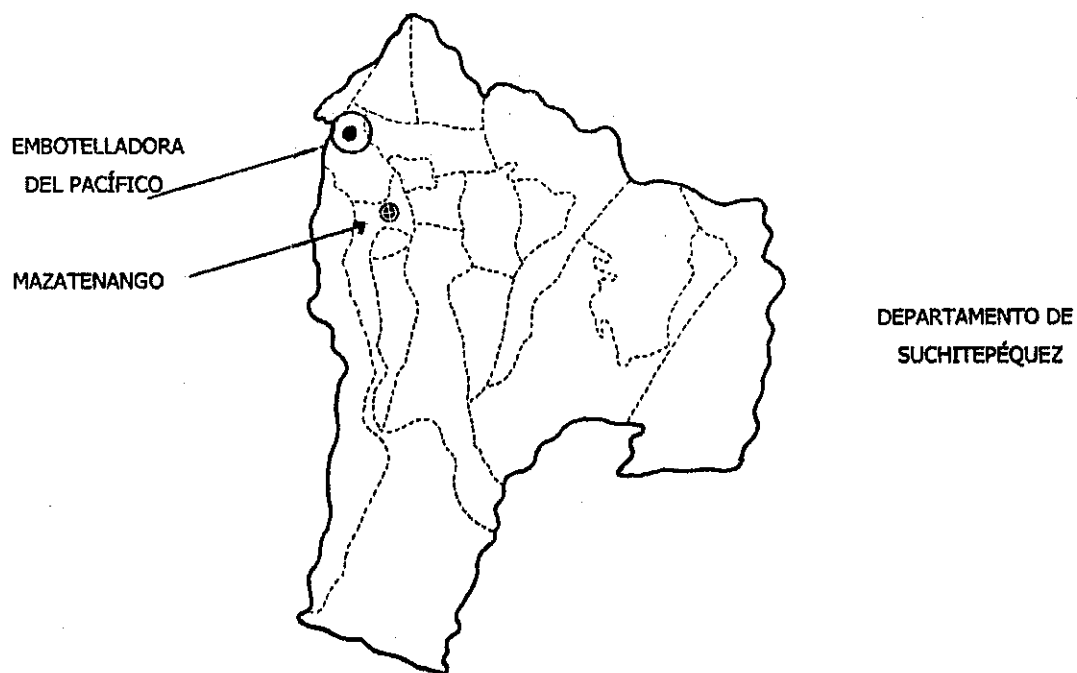
La Embotelladora del Pacífico S.A. es una empresa con más de 25 años de funcionamiento. Se dedica a la producción y comercialización de bebidas carbonatadas de primera calidad, con lo cual satisface el gusto de los consumidores por este tipo de producto y contribuye al desarrollo de la empresa, de los empleados y del área sur occidental del país a la cual provee de inversión y puestos de trabajo, que directa e indirectamente han beneficiado a los pobladores de los municipios de Cuyotenango, Mazatenango, Samayac, San Bernardino y San Antonio Suchitepéquez.

La planta se encuentra ubicada en el kilómetro 167 de la carretera al Pacífico (CA 2), en el municipio de Cuyotenango del departamento de Suchitepéquez (figura 1.1), su ubicación estratégica permite el abastecimiento del producto a los departamentos de Suchitepéquez, Retalhuleu, San Marcos, Sololá, Quetzaltenango, Totonicapán, Huehuetenango y parte del departamento de Escuintla.

Actualmente, la planta cuenta con varias secciones o departamentos de los cuales los más importantes son: Logística, Producción, Finanzas, Comercialización, Recursos Humanos, etc.

Figura 1

Ubicación geográfica de la Embotelladora del Pacífico



El área de la planta embotelladora es de aproximadamente de 6 manzanas en las cuáles se encuentran: tres bodegas, oficinas centrales, suministros, cafetería, talleres, clínica médica área de carga-descarga y áreas deportivas.

Las funciones y objetivos de la planta embotelladora son: el desarrollo de la empresa, colaboradores y el país, produciendo bebidas carbonatadas en cuatro tamaños de 6.5 onzas, 12 onzas, ½ litro y 1 litro con siete sabores: pepsi cola, 7up, mirinda, rica, rica uva, rica mandarina y salutaris

1.2 Descripción del área de producción y mantenimiento

La función del Departamento de Producción es la de fabricación y control de bebidas gaseosas, reduciendo tiempos y costos, así como establecer normas de calidad y llegar a determinar la cantidad de producto que se debe producir para satisfacer la demanda de la empresa.

La sección de mantenimiento industrial es la encargada de programar y ejecutar el mantenimiento preventivo, correctivo y de emergencia para los equipos que componen la planta e instalaciones en general.

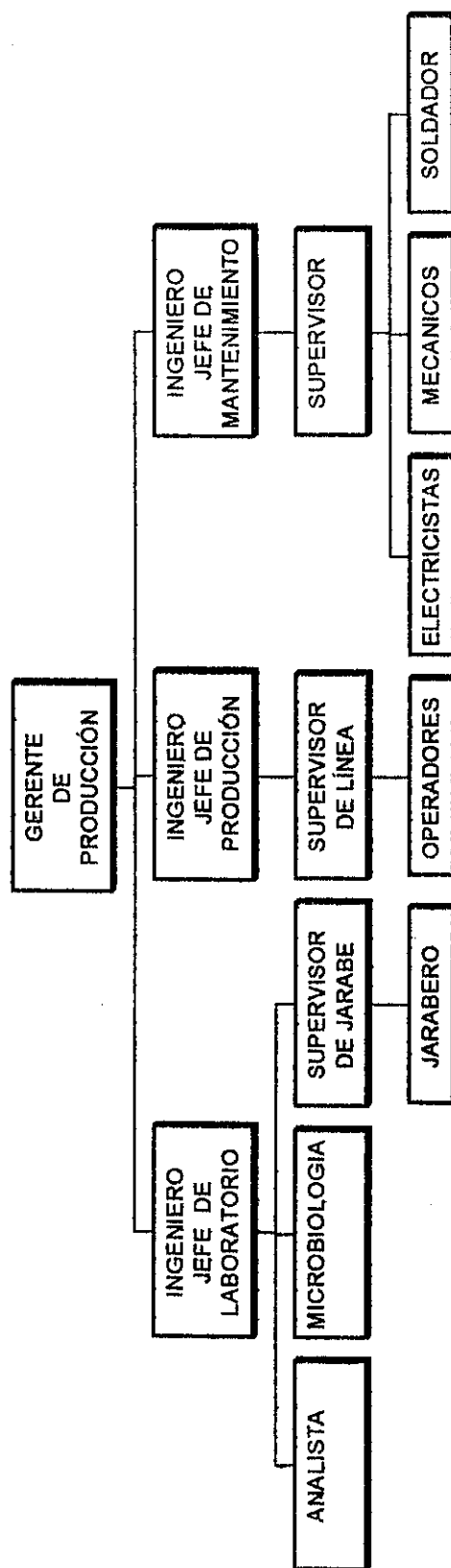
El organigrama del Departamento de Producción y mantenimiento se observa en la figura 2. Organigrama del departamento de producción.

FIGURA 2

EMBOTELLADORA DEL PACÍFICO

DEPARTAMENTO DE PRODUCCIÓN

ORGANIGRAMA DE PRODUCCIÓN Y MANTENIMIENTO



2. INTRODUCCIÓN A LA REFRIGERACIÓN

2.1 Historia y aplicaciones

En los inicios de la refrigeración mecánica, el equipo disponible era voluminoso, caro y no muy eficiente. Además, era de tal naturaleza que requería continuamente los servicios de un mecánico o de un ingeniero de servicio. Esto limitaba el uso de la refrigeración mecánica a unas cuantas aplicaciones tales como: plantas de hielo, plantas empacadoras de carne y a grandes bodegas de almacenamiento.

En el transcurso de unas pocas décadas, la refrigeración ha tenido un crecimiento asombroso y actualmente se ha extendido con rapidez a la industria. Este crecimiento explosivo es el resultado de varios factores. Primero, con el desarrollo de métodos de fabricación muy precisos, ha hecho posible la fabricación de equipos pequeños y eficientes. Esto, aunado al desarrollo de refrigerantes seguros y a la invención de motores eléctricos de potencia fraccional, ha hecho posible la fabricación de pequeñas unidades de refrigeración muy usadas en la actualidad en aplicaciones tales como: refrigeradores y congeladores domésticos, acondicionamientos de aire pequeños e instalaciones comerciales.

Poca gente, con excepción de aquellas que están relacionadas directamente con la industria, están enteradas de la parte tan importante que la refrigeración juega en el desarrollo de la sociedad, ni se dan cuenta de la dependencia de la sociedad con respecto a la refrigeración mecánica para contribuir a su existencia, por ejemplo, en la conservación de alimentos en cantidades suficientes para la alimentación de la población urbana en crecimiento, no sería posible hacerlo sin refrigeración mecánica, también, muchos de los grandes edificios que se tienen en el país que sirven a negocios e industrias, no sería posible su ocupación en los meses de verano por el calor existente sino estuvieran con aire acondicionado proporcionado por equipo de refrigeración mecánica.

Además, para conocer mejor las aplicaciones de la refrigeración tales como la comodidad que produce el acondicionamiento del aire y los métodos de fabricación de un producto, congelamiento, almacenaje, transportación, y exhibición de productos de fácil descomposición, la refrigeración mecánica es usada en el procesamiento o fabricación de muchos artículos que actualmente se obtienen en establecimientos comerciales. La lista de procesos o productos que es posible hacer o perfeccionar mediante el empleo de la refrigeración mecánica, es casi infinita, por ejemplo, la refrigeración hace posible la construcción de grandes represas las cuales son vitales en proyectos hidroeléctricos, hace posible la construcción y cimentación de tiros de minas a través de formaciones en terrenos inestables, hace también posible la producción de plásticos, de hule sintético y de muchos otros nuevos productos útiles, mediante la refrigeración, las industrias textiles y de papel permiten

aumentar la velocidad de sus máquinas y tener una mayor producción, se tienen mejoras en los métodos para tratamiento térmico de aceros usados en las máquinas herramientas, esto representa sólo unos pocos de los cientos de formas en los cuales la refrigeración mecánica está utilizándose en la actualidad y cada año se encuentran muchas aplicaciones más, de hecho, lo único que frena el crecimiento de la industria de la refrigeración es la falta de un suministro adecuado de entrenamiento del potencial humano técnico.

Por convenir más a su estudio, las aplicaciones de la refrigeración se han agrupado en seis categorías generales: 1.- refrigeración doméstica, 2.- refrigeración industrial, 3.- refrigeración marítima y de transportación, 4.- aire acondicionado, 5.- conservación de alimentos y 6.- refrigeración comercial. Resultará evidente que no se tiene límites exactos que definan estas áreas las cuales no están precisamente bien definidas y que se tienen traslapes entre las mismas.

2.1.1 Refrigeración doméstica

El campo de la refrigeración doméstica esta limitado principalmente a refrigeradores y congeladores caseros. Sin embargo, debido a que es muy grande el número de unidades en servicio, la refrigeración doméstica representa una parte muy significativa de la refrigeración industrial. Las unidades domésticas, generalmente, son de tamaño pequeño teniéndose capacidades de potencia que fluctúan entre 1/20 y 1/2 HP y son del tipo de sellado hermético.

2.1.2 Refrigeración industrial

La refrigeración industrial a menudo es confundida con la refrigeración comercial porque la división entre estas dos áreas no está claramente definida. Como regla general, las aplicaciones industriales son más grandes en tamaño que las aplicaciones comerciales y, la característica que las distingue es que requieren tener un empleado para su servicio, que por lo general es un ingeniero. Algunas aplicaciones industriales típicas son plantas de hielo, grandes plantas empacadoras de alimentos (carne, pescado, pollo etc.) , cervecerías, lecherías y plantas industriales tales como refinerías de petróleo, plantas químicas, plantas huleras etc. La refrigeración industrial también incluye aquellas aplicaciones referentes a la construcción industrial como se describió en la sección 2.1.

2.1.3 Refrigeración marina y de transportación

Las aplicaciones que caen en esta categoría pudieran ser una parte referida a refrigeración comercial y otra parte relacionada con la refrigeración industrial; sin embargo, ambas partes de dichas áreas de especialización han tenido tal crecimiento que merecen atención especial. Desde luego que la refrigeración marina se refiere a la refrigeración que se tiene a bordo de barcos e incluye, por ejemplo, refrigeración de barcos pesqueros y barcos que transportan productos de fácil descomposición, así como también refrigeración en depósitos que se tengan en toda clase de barcos. La refrigeración en transportación se refiere al equipo de refrigeración utilizado en camiones de furgones refrigerados.

2.1.4 Aire acondicionado

Como implica su nombre, el acondicionamiento de aire concierne con la condición del aire en alguna área o espacio designado. Por lo general, esto involucra además del control de la temperatura del espacio, al de la humedad del mismo y el movimiento del aire incluyéndose el filtrado y la limpieza de éste.

Las aplicaciones de acondicionamiento de aire son de dos tipos de acuerdo a sus propósitos, para producir confort o para uso industrial. Cualquier acondicionamiento de aire el cual tiene como función primordial la aplicación de aire para la comodidad, se llama acondicionamiento de aire para comodidad. Se tienen instalaciones típicas de aire acondicionado para casas, escuelas, oficinas, iglesias, hoteles, automóviles, aviones etc.

Por otra parte, cualquier otro tipo de acondicionamiento de aire el cual no satisfaga su fin primordial de acondicionamiento de aire para confort humano se le llama acondicionamiento de aire industrial. Esto, no necesariamente quiere decir que los sistemas de acondicionamiento de aire industriales no puedan también proporcionar confort, coincidiendo con la función principal. Algunas funciones del aire acondicionado industrial son: contenido de humedad en materiales hidróscópicos, reacción de la velocidad en las reacciones químicas y bioquímicas, límite de las variaciones en el tamaño de la precisión de artículos manufacturados debido a la expansión y contracción térmica y proporcionar aire filtrado limpio, lo cual es conveniente en determinadas operaciones y en la producción de productos de calidad.

2.1.5 Conservación de alimentos

Uno de los usos más comunes de la refrigeración mecánica es la conservación de artículos comerciales putrescibles, particularmente comestibles. Por lo mismo debe dársele la debida consideración en cualquier estudio de refrigeración.

En la actualidad, la conservación de alimentos tiene más importancia que la que antes tuvo en la historia del ser humano, actualmente las grandes poblaciones urbanas necesitan de enormes cantidades de alimento, de las cuales una gran parte son producidos y procesados en lugares muy apartados. Por lógica, estos comestibles deben conservarse en condiciones adecuadas durante su traslado y el subsecuente almacenamiento hasta que sean consumidos, lo cual podrá ocurrir en horas, días, semanas, meses y en algunos casos hasta en años, además muchos productos sobre todo frutas y vegetales son de temporada, ya que éstos son producidos en cierta época del año, se les debe almacenar y tenerlos a disposición todo el año.

Por ser cuestión de vida o muerte, la conservación de los alimentos ha sido uno de los problemas más importantes, desde el principio de la existencia sobre la Tierra, fue necesario buscar la manera de conservar los alimentos durante las estaciones que se tiene en abundancia a fin de sobrevivir durante las estaciones de escasez, es natural entonces, que el hombre haya descubierto y desarrollado métodos para conservar los alimentos tales como el secado, ahumado, de salmuera y salado ya que desde entonces él tenía conocimientos acerca de las causas de descomposición.

Estos métodos antiguos todavía son muy usados, en las sociedades antiguas eran los métodos disponibles, en nuestras sociedades modernas sirven como un suplemento a los métodos modernos. Sin embargo, aunque estos métodos antiguos son enteramente adecuados para la conservación de ciertos tipos de alimentos, con frecuencia se obtienen productos de sabor extraño pero que de otra manera no se podrían obtener, no obstante se tienen desventajas inherentes que limitan su utilización.

Resulta ser muy natural que se tengan algunos cambios en los productos en cuanto a su apariencia y su sabor, lo cual en muchos casos son objetables y no son universalmente adaptables para la conservación de todos los tipos de productos alimenticios, además aún cuando se conservase la calidad de los productos tales métodos están limitados por el tiempo. Para que un producto deba conservarse por tiempo indefinido o por un período de tiempo muy largo, debe utilizarse otros medios para su conservación, como la refrigeración.

2.1.6 Refrigeración comercial

La refrigeración comercial se refiere al diseño, instalación y mantenimiento de unidades de refrigeración del tipo que se tienen en establecimientos comerciales para su venta al menudeo, restaurantes, hoteles e instituciones que se dedican al almacenamiento, exhibición, procesamiento y a la distribución de artículos de descomposición de todos tipos.

2.2 Principios de refrigeración

2.2.1 Refrigeración

En general, se define la refrigeración como cualquier proceso de eliminación de calor, más específicamente, se define a la refrigeración como la rama de la ciencia que trata con los procesos de reducción y mantenimiento de la temperatura de un espacio o material a temperatura inferior con respecto de los alrededores correspondientes, para lograr lo anterior, debe sustraerse calor del cuerpo que va a ser refrigerado y ser transferido a otro cuerpo con temperatura inferior. Debido a que el calor eliminado del cuerpo refrigerado es transferido a otro cuerpo, es evidente que refrigeración y calefacción son en realidad los extremos opuestos del mismo proceso, a menudo, solo el resultado deseado distinguen uno del otro.

Debido a que el calor fluye de una región de temperatura alta a una región de temperatura baja, siempre se tendrá un flujo de calor hacia la región refrigerada de los alrededores calientes. Para limitar el flujo de calor hacia la región refrigerada de manera que sea un mínimo, resulta necesario aislar la región de sus alrededores con un buen material aislante de calor. La velocidad a la cuál deba ser el calor eliminado de un espacio o material refrigerado a fin de producir y mantener las condiciones deseadas de temperatura se le llama "carga térmica", en casi todas las aplicaciones de refrigeración la carga de enfriamiento del equipo de refrigeración es la suma de las ganancias de calor proveniente de diferentes fuentes: 1.- el calor transmitido por conducción a través de paredes aisladas, 2.- el calor que debe ser eliminado del aire caliente que llega al espacio a través de puertas que se abren y se cierran.

3.- el calor que deba ser eliminado del producto refrigerado para reducir la temperatura del producto a la temperatura de almacenamiento y 4.- el calor cedido por la gente que trabaja en el espacio y por motores, alumbrado y otros equipos que producen calor y que operan en dicho espacio.

2.2.2 Agente refrigerante

En cualquier proceso de refrigeración, la sustancia empleada para absorber calor o agente de enfriamiento, se llama " refrigerante". Todos los procesos de enfriamiento pueden clasificarse ya sea como sensibles o latentes de acuerdo al efecto que el calor absorbido tiene sobre el refrigerante, cuando el calor absorbido causa un aumento en la temperatura del refrigerante sin cambiar de estado, se dice que el proceso de enfriamiento es sensible, mientras que cuando el calor absorbido cause un cambio en el estado físico del refrigerante (ya sea una fusión o vaporización), se dice que el proceso de enfriamiento es latente, para cualquiera de ambos procesos si el proceso refrigerante es secuencial, la temperatura del refrigerante debe mantenerse en forma continua por debajo de la del material o espacio que esta siendo refrigerado.

Durante muchos años, la fusión del hielo se ha utilizado exitosamente como refrigerante y, no hace mucho tiempo que el hielo era el único agente de enfriamiento disponible para usarse en pequeños refrigeradores domésticos y comerciales. El hielo tiene ciertas desventajas que tienden a limitar su uso como refrigerante, por ejemplo, con hielo no es posible tener temperaturas muy bajas necesarias en muchas aplicaciones de refrigeración. Por lo general la temperatura mínima que se puede obtener a través de la fusión del hielo es de 32 ° F, en algunos casos puede bajarse la temperatura de fusión del hielo hasta

aproximadamente 0 ° F agregándole cloruro de sodio o cloruro de calcio para producir una mezcla congelante.

Otras desventajas evidentes de usar hielo es la necesidad de reemplazar con frecuencia el suministro, que es una práctica nada conveniente ni económica, además del problema de la extracción del agua originada por la fusión del mismo. Otra desventaja menos evidente, pero importante, de emplear hielo como refrigerante es la dificultad que se ha experimentado en el control del proceso de refrigeración, en el sentido de mantener un nivel de temperatura baja en el espacio refrigerado, debido a que la proporción a la cual el hielo absorbe calor es directamente proporcional al área de la superficie y a la diferencia de temperatura entre la temperatura del espacio y la temperatura de fusión del hielo, disminuye la cantidad de calor absorbida a medida que disminuye el área de la superficie del hielo debido a la fusión del mismo.

Los modernos sistemas de refrigeración mecánica se basan en la propiedad de los líquidos de absorber grandes cantidades de calor a medida que se produce vaporización en los mismos. Como refrigerantes, los líquidos al vaporizarse tienen muchas ventajas con respecto a los sólidos al fusionarse, en el proceso de vaporización es mucho más fácil su control, es decir, que el efecto refrigerante puede iniciarse y detenerse a voluntad, la velocidad del enfriamiento puede regularse dentro de límites pequeños y la temperatura de vaporización del líquido puede regularse controlando la presión a la cual el líquido se vaporiza. Además, se puede acumular con facilidad y condensar al vapor regresándolo a la fase líquida con lo cual podrá nuevamente usarse proporcionando un suministro continuo del líquido para vaporización.

2.2.3 Amoníaco

El amoníaco es el único refrigerante fuera del grupo de los fluorocarburos que se usa bastante en la actualidad, aunque el amoníaco es tóxico, poco inflamable y explosivo bajo ciertas condiciones, sus excelentes propiedades térmicas lo hacen ser un refrigerante ideal para fábricas de hielo, plantas empacadoras, pistas de patinaje, para grandes almacenes de enfriamiento etc. donde se cuente con los servicios de personal experimentado y su naturaleza tóxica sea de poca consecuencia.

El amoníaco es el refrigerante que tiene más alto efecto refrigerante por libra, a pesar de su volumen específico alto en la condición de vapor, tiene una gran capacidad refrigerante con relativamente un desplazamiento pequeño del pistón. El punto de ebullición del amoníaco a la presión atmosférica estándar es de -28°F . Las presiones en el evaporador y el condensador a las condiciones de tonelada estándar de 5°F y 86°F son 34.27 psia y 169.2 psia. respectivamente, las cuales son moderadas, de tal manera que pueden usarse materiales de peso ligero en la construcción del equipo refrigerante.

Sin embargo, la temperatura adiabática en la descarga es relativamente alta, siendo de 210°F para las condiciones de tonelada estándar, por lo cual es adecuado tener enfriamiento con agua tanto en el cabezal como en los cilindros del compresor, debe también evitarse tener sobrecalentamiento en la succión para los sistemas de amoníaco.

Aunque el anhídrido de amoníaco puro no es corrosivo para todos los metales normalmente usados en los sistemas de refrigeración, en la presencia de la humedad, el amoníaco se vuelve corrosivo para los metales no ferrosos,

tales como el cobre y el latón, es evidente que estos metales no deben emplearse en los sistemas de amoníaco.

El amoníaco no es miscible con el aceite y por lo mismo no se diluye en el aceite del cárter del cigüeñal del compresor, sin embargo, deben hacerse los arreglos necesarios para eliminar el aceite del evaporador y deberá usarse un separador de aceite en el tubo de descarga de los compresores. En los sistemas de amoníaco pueden usarse velas de azufre para detectar fugas, con lo cual se produce un humo blanco denso en la presencia del vapor de amoníaco, o también se puede aplicar una solución de jabón poniéndola alrededor de las juntas en la tubería, en cuyo caso la fuga se manifestaría mediante la aparición de burbujas en la solución. El amoníaco es fácil de conseguir y es el más barato de los refrigerantes comúnmente empleados. Estos dos hechos junto con su estabilidad química, afinidad con el agua y no miscibilidad con el aceite, hacen al amoníaco ser un refrigerante ideal para ser usado en sistemas muy grandes donde la toxicidad no es un factor importante.

Debido a su coeficiente de transferencia de calor relativamente alto y al consecuente mejoramiento de la razón de transferencia de calor, es el amoníaco particularmente adecuado para grandes instalaciones de enfriamiento de líquido. Al amoníaco se le usa con compresores recíprocos tipo abierto, rotatorios y centrífugos.

Debido a que el agente refrigerante usado en el sistema de refrigeración de la Embotelladora del Pacífico es el amoníaco, es conveniente conocer algunos aspectos del comportamiento de este refrigerante; la tabla I muestra sus características principales.

Tabla I

Refrigerante 717 (Amoniaco)

Fórmula química	NH ₃
Peso molecular	17.03
Temperatura de ebullición a presión atmosférica (° F)	-28
Temperatura de solidificación a presión atmosférica (° F)	-108
Temperatura crítica (° F)	271.4
Presión crítica (psia)	1657
Densidad crítica (lb/pie ³)	14.6
Densidad de líquido a 86 ° F (lb/pie ³)	37.16
Volumen específico de vapor saturado a 5° F (pie ³ /lb)	8.150
Calor específico de líquido a 86 ° F (btu/lb ° F)	1.143
Conductividad térmica (btu pie/ pie ² hora ° F)	
Líquido saturado a 32 ° F	0.29
Líquido saturado a 86 ° F	0.29 promedio
Vapor a una atmósfera de presión a 32 ° F	0.0128
Vapor a una atmósfera de presión a 86 ° F	0.0145
Viscosidad (centipoises)	
Líquido saturado a 5 ° F	0.250
Líquido saturado a 86 ° F	0.207
Vapor a una atmósfera de presión a 5 ° F	0.0085
Vapor a una atmósfera de presión a 86 ° F	0.0102
Color	Incoloro
Olor	Nauseabundo
Peligro de explosión. En presencia de aire alcanzando de un	16% al 25%
Clasificación toxicidad según laboratorios de Aseguradoras	Grupo 2

2.3 Conceptos termodinámicos

Es importante manejar algunos conceptos teóricos y leyes básicas de la termodinámica de fácil comprensión ya que estos nos ayudan a entender la operación de un sistema de refrigeración o cualquier ciclo térmico. A continuación se dan a conocer los conceptos más utilizados en ella.

2.3.1 Definiciones básicas

- Calor: es un flujo de energía que siempre se transmite de un medio a una cierta temperatura hacia otro medio que está a una temperatura menor, se expresa en btu/hr o Kcal/hr o Kj/hr.

- Calor latente y calor sensible: el calor sensible es el calor necesario para producir en un cuerpo un cambio de temperatura, sin cambiar de estado. El calor latente, es el calor necesario para producir en un cuerpo un cambio de estado, así se tiene 1 Kg. De agua a 20°C y se desea transformarla en vapor sobrecalentado a presión atmosférica, a 130°C ; el proceso podemos dividirlo en tres partes:

calentar el agua de 20°C a 100°C : calor sensible

evaporar el agua a 100°C : calor latente

calentar el vapor de 100°C a 130°C : calor sensible

- Entalpía: es una variable termodinámica que mide la capacidad de un cuerpo para dar o recibir calor, normalmente se representa como h y se expresa en btu/lb o Kcal / kg o Kj/Kg.

- Entropía: término que aún no se le ha dado una definición certera pero podemos decir que es una medida del desorden energético que posee un cuerpo , teóricamente representa la energía total transferida al material por grado de temperatura para llevar al material a su condición de energía real desde un punto de referencia seleccionado arbitrariamente.

- Líquido saturado: es un líquido que se encuentra en una condición tal que al adicionarle una pequeña cantidad de calor, inmediatamente producirá algo de vapor, en otras palabras el líquido se encuentra a punto de ebullición.

- Presión: es la fuerza aplicada por unidad de área, puede expresarse en varios tipos de unidades las más utilizadas son psi y Kg/cm^2 .

- Proceso isobárico: es aquel proceso que se realiza a presión constante, un ejemplo de este proceso lo encontramos en la operación del condensador el cual realiza la condensación del gas de descarga a presión constante.

- Proceso isoentálpico: es todo aquel proceso que como su nombre lo indica, se realiza a entalpía constante y en el cual los estados inicial y final del proceso poseen la misma cantidad de calor. Un ejemplo de este se encuentra en el proceso de expansión en el cual el refrigerante sufre una brusca caída de presión y temperatura sin variar su entalpía o calor contenido.

- Proceso isoentrópico: es aquel que se realiza a entropía constante, por lo tanto el desorden energético de la materia al inicio y final del proceso es igual, un ejemplo de este proceso se encuentra en la compresión.

- Proceso isotérmico: es todo aquel proceso que se realiza a temperatura constante, un ejemplo de éste se encuentra en el cambio que sufre el refrigerante que pasa de un estado líquido a un estado gaseoso a una misma temperatura.

- Vapor saturado: es un vapor que se encuentra en una condición tal que al quitarle una pequeña cantidad de calor, inmediatamente produciría algunas gotas de condensado, en otras palabras, es un vapor que se encuentra a punto de condensar.

- Vapor sobrecalentado: es aquel que se encuentra a unas condiciones de temperatura o presión superior a las de saturación.

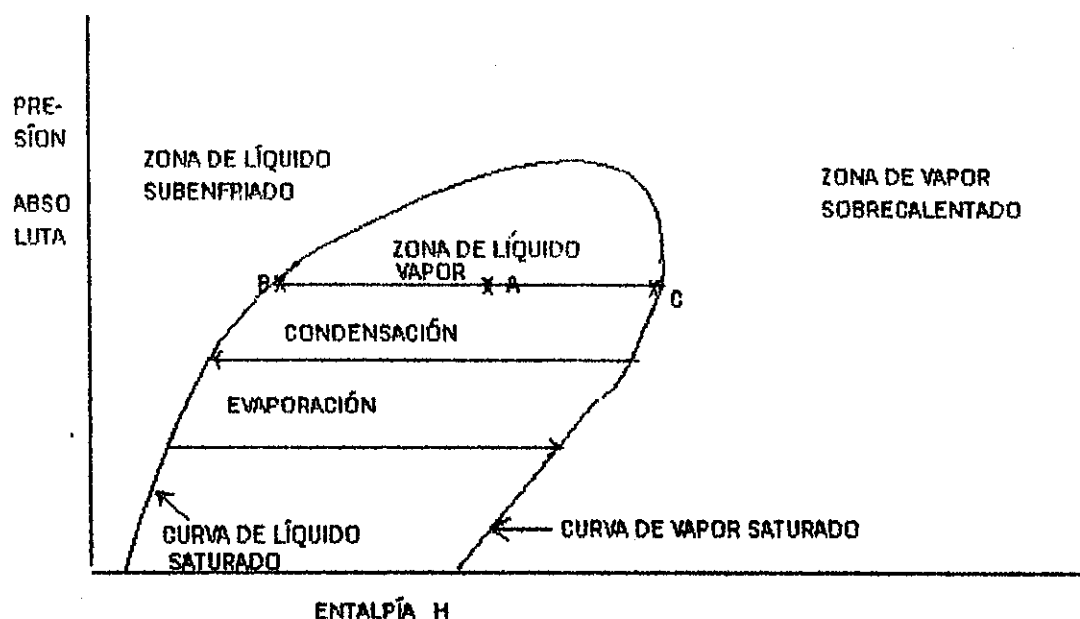
- Diagramas presión-entalpía: Son gráficos en los cuáles se representan las propiedades termodinámicas de una sustancia. Cada elemento tiene su diagrama característico. En todos estos se encuentran representadas las presiones en el eje vertical y la entalpía en el eje horizontal. Además, las condiciones de sub-enfriamiento, saturación, sobrecalentamiento de la materia en diferentes estados también aparecerán representadas, como se indica en la figura 3, este es un diagrama que permite conocer las propiedades termodinámicas de un determinado compuesto, en este caso amoníaco.

En el diagrama puede verse una campana, un punto en el interior de la campana representa una mezcla de vapor y líquido saturado.

Por ejemplo, el punto A representa una mezcla del líquido saturado B y el vapor saturado C. Sólo dentro de la campana cada horizontal corresponde con una presión y una temperatura particular: la presión y temperatura de saturación.

Figura 3.

Propiedades térmicas del amoníaco



Los puntos a la derecha de la campana representan condiciones de vapor sobrecalentado. Los puntos a la izquierda representan condiciones de líquido sub-enfriado.

Es importante llegar a familiarizarse con este tipo de diagramas ya que permiten hacer un análisis del ciclo de refrigeración que se esté utilizando. Cuando se presenta alguna anormalidad, el analizar el ciclo a la luz del diagrama puede ayudarnos a detectar el origen del problema sin necesidad, en muchos casos, de desarmar los equipos. Sin embargo, es fundamental contar con instrumentos de medición confiables ubicados en los puntos apropiados.

Normalmente, se dispone de manómetros a lo largo del circuito, estos deben calibrarse periódicamente, utilizando un calibrador de peso muerto. Por otra parte, es común que el circuito no disponga de termómetros, por lo que es necesario contar con ellos al menos en los siguientes puntos:

- A) **Succión de los compresores:** el gas en la succión debería de ser un gas saturado. Un termómetro permitiría saber si existe tal condición de saturación o si hay sobrecalentamiento que, como se verá, es perjudicial al sistema.
- B) **Salida de los compresores:** un termómetro en este punto serviría para comprobar que los gases de descarga no estén saliendo a mas de 250° F, lo cuál es también nocivo para el sistema.
- C) **Otro punto en que es conveniente revisar la temperatura es en la línea de líquido que viene desde el receptor de alta presión.** El termómetro habría que colocarlo lo más cerca posible del punto donde se produce la expansión de amoníaco antes de entrar al evaporador. Este termómetro permite determinar si el líquido, antes de la expansión, se encuentra en condición de saturación o subenfriamiento, esta última condición no perjudica al sistema.

2.3.2 Ciclo ideal de refrigeración

A medida que el refrigerante circula a través del sistema, éste pasa por un número de cambios en su estado o condición, cada uno de los cuáles es llamado una "etapa" . El refrigerante empieza en algún estado o condición inicial, pasa a través de una serie de etapas en una secuencia definida y regresa a su condición inicial. Esta serie de etapas es llamada un ciclo.

Para el estudio de un ciclo ideal de refrigeración, se supone que el líquido que sale del condensador es saturado y que el gas que regresa al compresor también lo es. A pesar de que en la realidad los ciclos no son ideales, su alejamiento de estas condiciones no es tan grande como para obviar el estudio de estos ciclos.

Un ciclo ideal de refrigeración está formado por cuatro etapas fundamentales:

- Compresión
- Condensación
- Expansión
- Evaporación

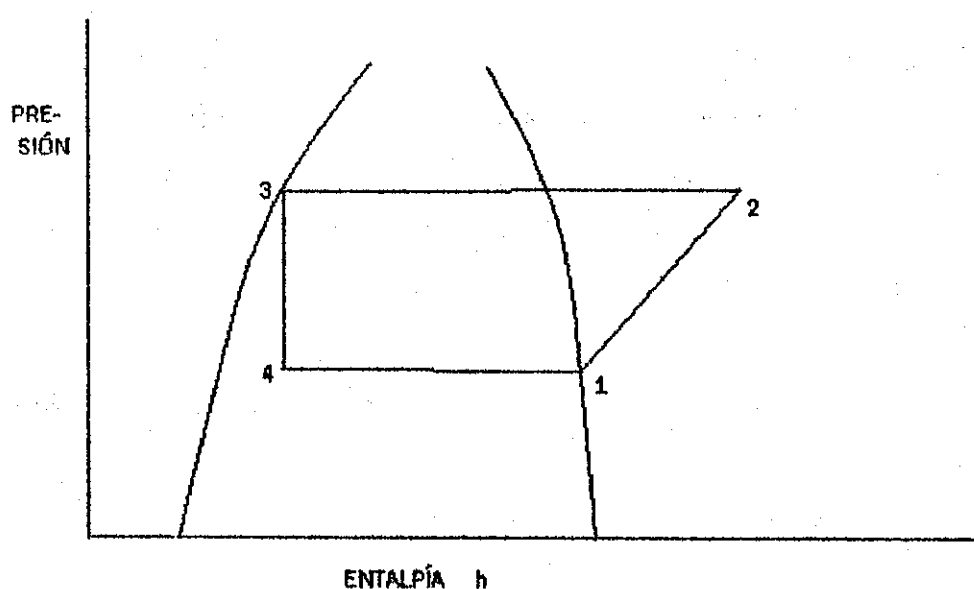
Estas cuatro etapas pueden ser representadas en un diagrama de presión entalpía como se ilustra en la figura 4.

- Compresión: de (1 --- 2) ; Ocurre en el compresor, en teoría es una operación Isoentrópica (entropía en 1 es igual a entropía en 2), la presión del

gas es aumentada y también aumenta la temperatura, obteniéndose un vapor sobrecalentado en el punto de la descarga.

Figura 4.

Diagrama presión-entalpía de amoníaco



- Condensación: de (2 --- 3); ocurre en el condensador evaporativo, es una operación isobárica (presión en 2 es igual a presión en 3). El gas sobrecalentado entra al condensador y empieza a entregar calor sensible

(disminuye su temperatura), hasta alcanzar el punto a que corresponde a vapor saturado. A partir de ese instante el amoníaco empieza a entregar calor latente (a temperatura constante) hasta alcanzar su condensación total en el punto 3. Por lo tanto, el punto 3 representa a un líquido saturado.

- Expansión: de (3 --- 4); en esta etapa, se reduce la presión y temperatura del refrigerante líquido desde la condensación hasta la evaporación. Este proceso es, en teoría, una operación isoentálpica (entalpía en 3 es igual a entalpía en 4); y parte del líquido se evapora.

- Evaporación: de (4 --- 1); ocurre en el evaporador, es decir, en el interior de las placas del carbo-cooler o en el interior de un evaporador de casco y tubo (chiller), es una operación isobárica (presión en 4 es igual a presión en 1), el amoníaco absorbe calor de la bebida, obteniéndose el enfriamiento de ésta y la evaporación del refrigerante. El amoníaco debería salir del evaporador, e ingresar al compresor para reiniciar el ciclo, en condición de vapor saturado.

2.3.3 Ciclo de compresión de vapor

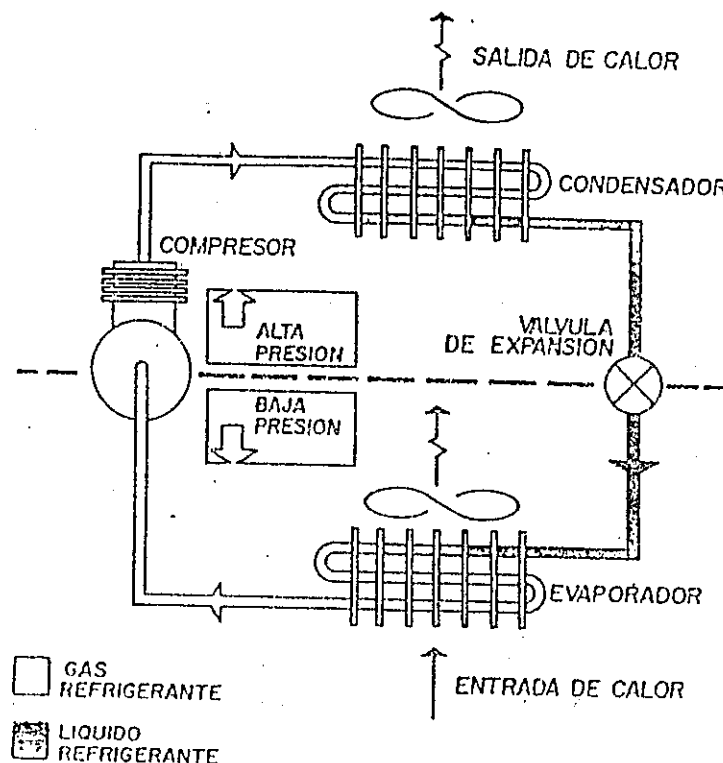
La figura 5 se muestra un ciclo típico de compresión de vapor, para realizar una explicación del funcionamiento del ciclo de refrigeración se puede empezar por cualquier parte del mismo, en este caso empezaremos por el tanque o cilindro receptor , el líquido refrigerante a alta temperatura y presión fluye del cilindro a través de la tubería hacia la válvula de expansión, a medida que el líquido pasa a través de ésta, su presión se va reduciendo hasta la

presión del evaporador de tal modo que, la temperatura de saturación del refrigerante que llega al evaporador hará disminuir la temperatura del espacio refrigerado. En el evaporador, el líquido se vaporiza a presión y temperatura constante a medida que el calor suministrado como calor latente de vaporización pasa desde el espacio refrigerado a través de las paredes del evaporador hasta el líquido vaporizado.

Figura 5.

Ciclo de compresión de vapor

Fuente: manual de instrucciones Pepsi



Por la acción del compresor, el vapor resultante de la vaporización es sacado del evaporador por el tubo de succión hasta la succión de entrada del compresor. El vapor que sale del evaporador esta saturado y tiene la misma presión y temperatura que la del líquido vaporizante. Mientras está fluyendo el vapor desde el evaporador, por el tubo de succión hasta el compresor, absorbe aire de los alrededores y se vuelve vapor sobrecalentado.

Aún cuando se aumenta la temperatura del vapor como resultado del sobrecalentamiento, no cambia la presión del vapor, de modo que la presión del vapor que llega al compresor es la misma que se tiene en la vaporización. (en realidad, la presión del vapor entre el evaporador y el compresor disminuye poco debido a las pérdidas por fricción en el tubo como resultado del flujo del mismo).

En el compresor, la temperatura y la presión del vapor son incrementadas debido a la compresión, el vapor de alta presión es llevado a el tubo de descarga, el vapor fluye por el tubo de gas caliente hasta el condensador, en donde cede calor al aire relativamente frío que es impulsado por el ventilador del condensador.

En la medida que el vapor cede calor al aire frío, su temperatura es reducida hasta la temperatura de saturación correspondiente a la nueva presión alta del vapor y el vapor condensado pasa a estado líquido una vez que se ha efectuado la eliminación de calor. Al tiempo que el refrigerante llega hasta la parte inferior del condensador, todo el vapor se ha condensado y el líquido pasa al cilindro receptor listo para ser recirculado.

3. EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN

3.1 Descripción de operación

Es importante hacer notar la importancia del sistema de refrigeración en las embotelladoras de refrescos carbonatados, pues éste, tiene varias funciones todas con un fin común; un producto de calidad óptima.

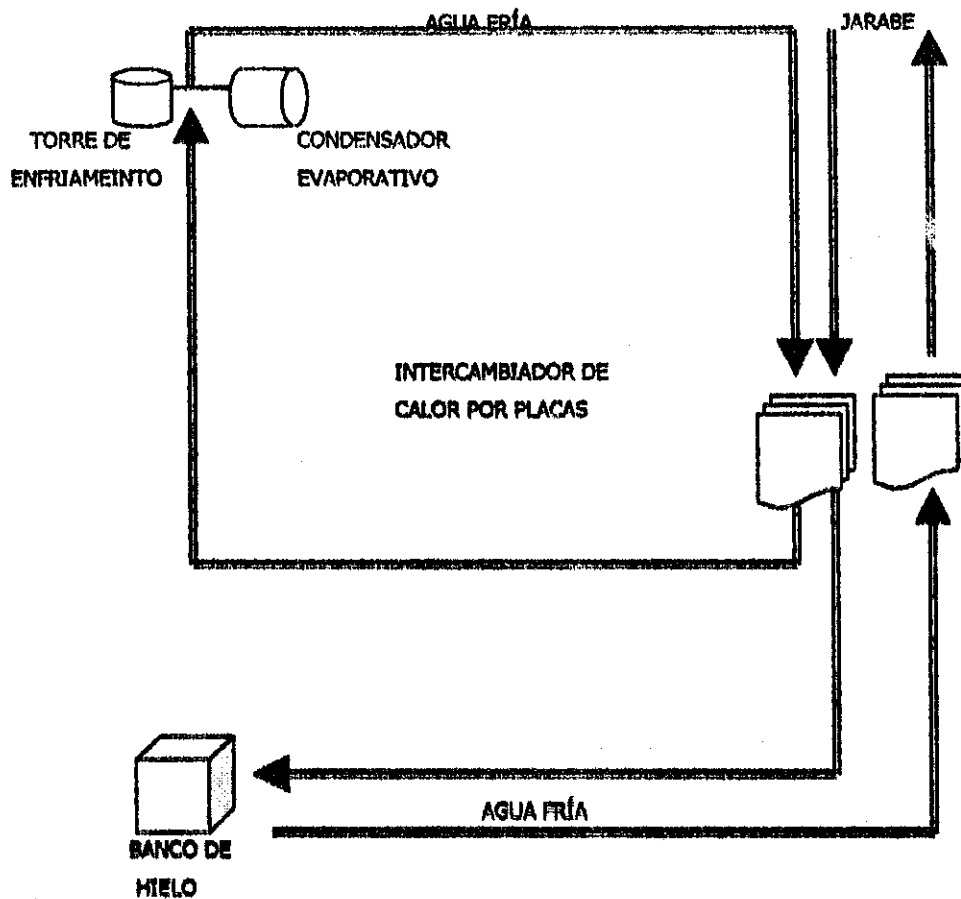
Concretamente en la Embotelladora del Pacífico el sistema de refrigeración tiene dos funciones:

- la primera función que se requiere del sistema es posterior al cocimiento del jarabe, al cuál se le baja su temperatura de cocimiento 176°F hasta 77°F , este proceso se realiza en un intercambiador de calor de placas por medio de agua fría en dos fases: la primera, el agua proviene de una torre de enfriamiento y un condensador evaporativo en donde el jarabe es enfriado de 176°F a 113°F ; la segunda fase que es donde interviene el sistema de refrigeración por amoníaco, agua fría proveniente de un banco de hielo (evaporador), entra al intercambiador de calor de placas para continuar con el enfriamiento del jarabe de 113°F a 77°F , figura 6.

La segunda función y la más importante es el enfriamiento de la bebida previo a su carbonatación o inyección de gas carbónico el cual es usado como un preservante, ya que la carbonatación o absorción de gas carbónico para un líquido depende primeramente de tres factores:

1. Temperatura del líquido (idealmente se necesita que el líquido se encuentre a una temperatura de 35.6°F).
2. Presión del gas carbónico.
3. Tiempo de contacto entre el líquido y el gas carbónico.

Figura 6. Circuito de enfriamiento de jarabe



Los principales componentes del equipo de refrigeración en la Embotelladora del Pacífico son, como se explicó en el ciclo de compresión de vapor (sección 2.3.3) de la refrigeración mecánica, en su orden compresores de amoníaco, condensadores evaporativos, válvulas de expansión y evaporadores (se tienen dos del tipo casco y tubo conocidos como chillers y un banco de hielo), pero según sea el sistema y aplicación se hace necesario tomar en cuenta los equipos auxiliares, que aparte de ser necesarios, son de mucha importancia para que el sistema pueda trabajar correcta y eficientemente, siendo éstos:

- Depósito de refrigerante
- Trampa de succión de amoníaco líquido
- Tubería

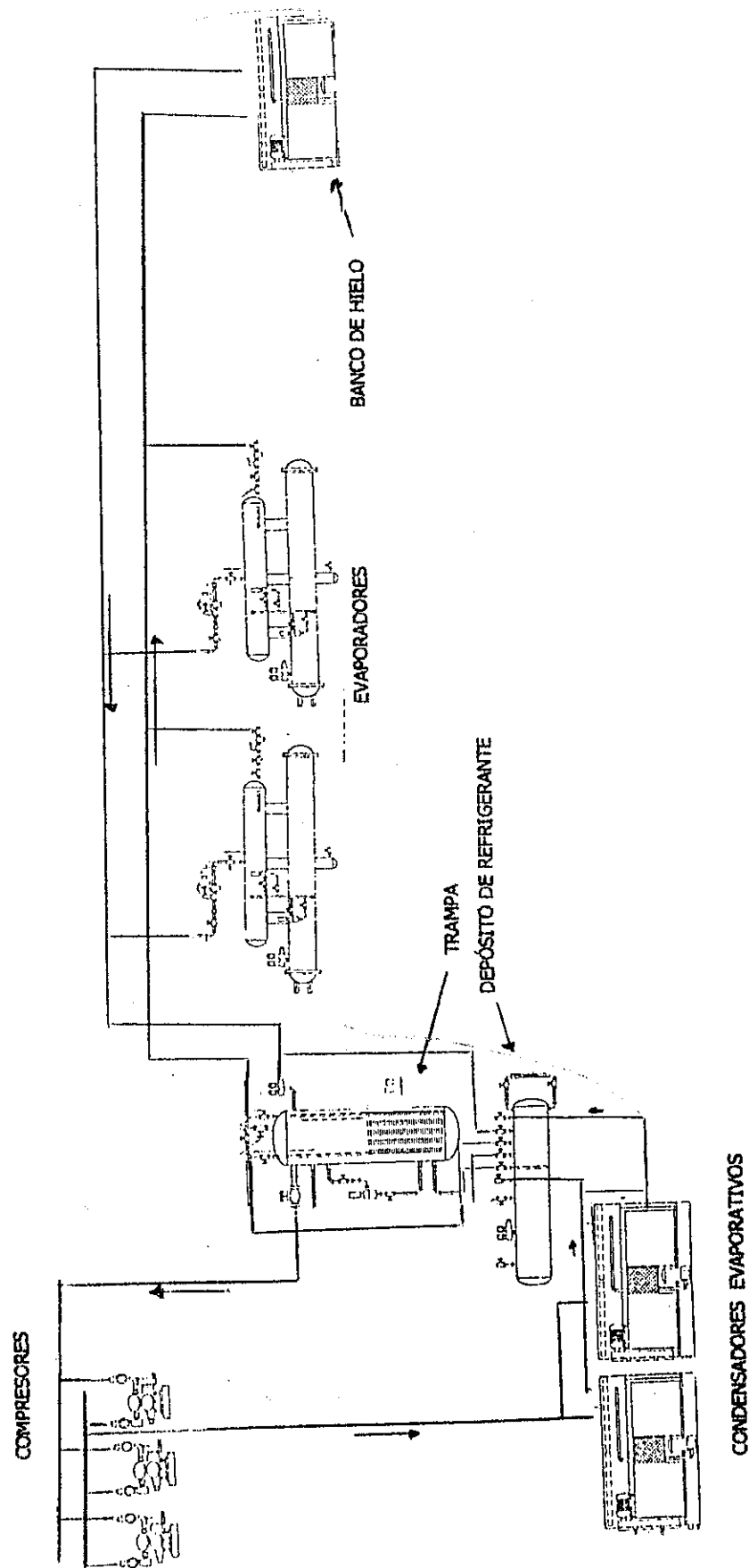
La figura 7 muestra la descripción del sistema de refrigeración de la Embotelladora del Pacífico, éste empieza cuando el vapor de amoníaco es comprimido en los compresores hasta una presión manométrica de 175 psig, posteriormente el vapor sobrecalentado pasa por los separadores de aceite de cada compresor hacia un colector común que recolecta la descarga de los compresores y por la tubería de descarga lo lleva a los condensadores evaporativos en donde la compresión que aumentó los niveles de temperatura y presión del amoníaco lo llevan hasta un punto donde el vapor sobrecalentado puede ser condensado por medio de enfriamiento de aire y agua.

Luego de ser condensado, el amoníaco a presión constante (proceso isobárico), éste fluye hacia el depósito de refrigerante a donde también llega una línea de amoníaco líquido proveniente de la trampa de succión de amoníaco líquido, al depósito , también llega una línea de igualación de presiones proveniente de la línea de succión, esta línea de igualación tiene por función que el amoníaco líquido que es atrapado en la trampa de succión (por consiguiente baja presión) pueda ingresar al depósito para ser recirculado, ésta línea es tomada unos centímetros antes de llegar a la trampa de succión y llega directamente al depósito de refrigerante en donde la presión sigue siendo de 175 psig pero con amoníaco condensado.

Del depósito sale una línea de líquido hacia los diferentes evaporadores, antes de que el refrigerante llegue a estos, el amoníaco líquido es expandido (al refrigerante se le da una baja de presión) gracias a la acción de las válvulas de expansión (las cuales se encuentran ubicadas una en la entrada de cada evaporador), en donde por medio de la reducción de presión se da como resultado la disminución de temperatura del refrigerante, en este proceso el amoníaco queda en un estado de líquido atomizado y así entra a los evaporadores , en donde absorbe el calor del agua proveniente del intercambiador de calor de placas de donde se realiza el enfriamiento del jarabe en el caso del banco de hielo, también absorbe el calor del propilenglicol del sistema de salmuera que enfría la bebida previo a su carbonatación en el caso de los evaporadores de casco y tubo (una explicación más detallada de este proceso de enfriamiento se da en la sección 3.4.1).

Figura 7

Sistema de refrigeración de la Embotelladora del Pacífico.



La absorción de calor del agua del banco de hielo y del propilenglicol de los evaporadores de casco y tubo (chillers) provoca la ebullición del amoníaco el cual queda en el depósito de succión de cada evaporador el cual almacena y dosifica la cantidad de refrigerante gaseoso (por medio de la válvula reguladora de presión) pedido por los compresores por medio de la línea de succión.

Todo el amoníaco requerido por los compresores es transportado hacia ellos por medio de la tubería de succión, antes de llegar se encuentra con la trampa de succión en donde el amoníaco líquido se queda atrapado y posteriormente es llevado al depósito o recibidor, el resto gaseoso a una presión manométrica de 34 psig es llevado al distribuidor que transfiere el amoníaco gaseoso a los compresores, iniciándose así de nuevo el ciclo de refrigeración.

3.2 Compresores de amoníaco

Los compresores son máquinas con piezas en movimiento, destinadas a reducir el volumen del refrigerante y aumentar su presión y temperatura.

Los compresores de vapor usados en la refrigeración industrial son de tres tipos principales:

- recíprocantes
- rotatorios
- centrífugos.

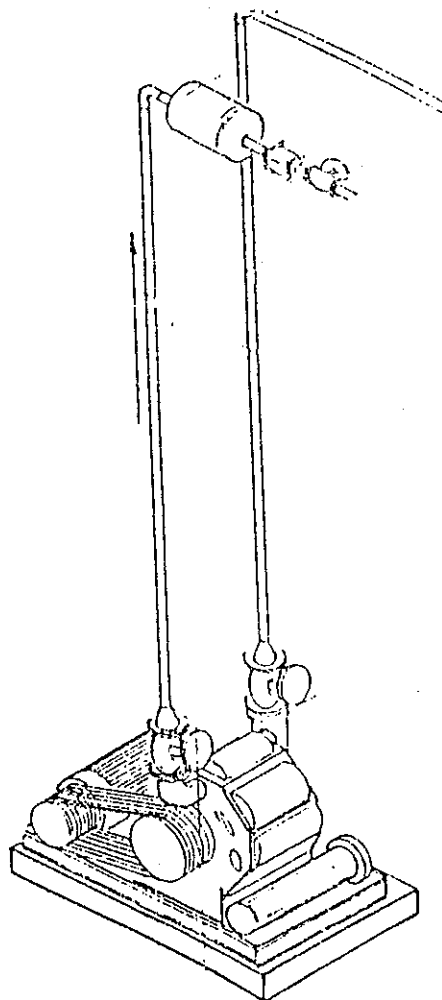
De los tres el compresor reciprocante es el más utilizado, siendo de este tipo los que posee el sistema de refrigeración de la Embotelladora del Pacífico, los tipos reciprocantes y rotatorio son compresores de desplazamiento positivo, efectuándose la compresión del vapor por medio de un miembro compresor. En el compresor reciprocante, el miembro compresor es un pistón reciprocante, mientras que en compresor rotatorio el miembro que comprime tiene forma de rodillo, aleta o lóbulo. Por otra parte, el compresor centrífugo no tiene miembro compresor, la compresión del vapor se obtiene principalmente por la acción de la fuerza centrífuga la cual es desarrollada a medida que el vapor es girado por un impulsor de alta velocidad.

Los tres tipos de compresores tienen ventajas en su propio campo de aplicación, para casi todos los casos, el tipo de compresor empleado en cada aplicación específica depende del tamaño y naturaleza de la instalación y del refrigerante usado. El compresor reciprocante es el tipo más usado, siendo utilizado en todos los campos de refrigeración, se adapta muy en especial para usarse con refrigerantes que requieran desplazamientos relativamente pequeños y para presiones condensantes relativamente altas. Entre los refrigerantes más usados con los compresores reciprocantes están el refrigerante 12, 22, 500, 502 y 717 (amoníaco).

Los sistemas de control y elementos de seguridad más importantes en los compresores reciprocantes usados en la Embotelladora del Pacífico son:

Figura 8.

Compresor de amoníaco



1. Presostato de aceite: tiene como función medir la presión del aceite lubricante y detener el compresor si la presión baja a menos del límite de seguridad, la presión de lubricación recomendada es de 45 a 50 psig

por sobre la presión de succión, por ejemplo, la presión de succión en el sistema de refrigeración en la Embotelladora es de 34 psig, entonces la presión de lubricación es de 79 a 84 psig, que es la presión que deberíamos leer en el manómetro de aceite.

La presión de lubricación mínima es de 20 a 25 psig sobre la presión de succión, en el ejemplo anterior, la presión mínima de lubricación es de 54 a 59 psig, si la presión baja de este límite y no se recupera dentro de 90 segundos, el Presostato detiene el compresor. El presostato debe ser chequeado periódicamente haciendo un puente en dos terminales al transcurrir 90 segundos el compresor debe detenerse. La temperatura del aceite recomendada es de 80 ° F a 100° F y es controlada por una combinación de calefactor y termostato. No se recomienda arrancar al compresor si la temperatura del aceite es menor a 80° F.

2- Presostato dual (alta y baja): tiene como función proteger al compresor contra presiones de descarga excesivamente altas o presiones de succión excesivamente bajas. El presostato de alta se regula a 210 psig para que actúe antes que la válvula de seguridad que lo hace a 225 psig, esta última válvula consiste en un disco de ruptura y debería normalmente actuar antes que la válvula de seguridad del receptor de alta, hay que revisarlas regularmente, el presostato de baja se regula de 20 a 25 psig normalmente

3- Termómetros: el equipo tiene termómetros en la succión, descarga y en el cárter de aceite.

En los compresores modernos de alta velocidad la compresión se efectúa muy rápidamente y el vapor está en contacto en el cilindro del compresor durante un corto tiempo, debido a que el tiempo de compresión es corto y a que el diferencial promedio de temperatura entre el vapor de amoníaco y la pared del cilindro es relativamente pequeño, se desprecia el flujo de calor que se tiene hacia o desde el amoníaco durante el proceso de compresión. Por lo tanto, se supone adiabática la compresión del refrigerante.

Durante un proceso de compresión adiabático, se aumenta la energía interna del gas en una cantidad igual a la cantidad de trabajo efectuado sobre el gas al comprimirlo, en consecuencia, cuando el vapor refrigerante es comprimido adiabáticamente en el compresor, la temperatura y la entalpía y del vapor se incrementa en proporción a la cantidad de trabajo efectuado sobre el vapor, a mayor trabajo de compresión, se tendrá un mayor incremento en la temperatura y en la entalpía.

La tabla II muestra las características principales de los compresores reciprocantes usados en la Embotelladora del Pacífico, debido a que los tres compresores son idénticos.

Tabla II **Características de los compresores**

Marca	Vilter
Modelo	VMC 448
No. de cilindros	8 en 4 cabezas
Desplazamiento máximo	309 pie ³ /min
Toneladas de Refrigeración	96.6
Carga de aceite	7 galones
Capacidad de reducción	25%,50% y 75%
Transmisión	6 fajas en V
Diámetro del cilindro	4 ½ pulgadas
Carrera	3 ½ pulgadas
Refrigerante	717 (amoníaco)
Peso	3400 libras
RPM	1200
Motor eléctrico y potencia	440v de 100hp

3.3 Condensadores evaporativos

El condensador es una superficie de transferencia de calor, el calor del vapor refrigerante caliente pasa a través de los tubos del condensador para su

condensación, como resultado de su pérdida de calor hacia el medio condensante, el vapor refrigerante es primero enfriado hasta saturación y después condensado hasta su fase de estado líquido.

Los condensadores son de tres tipos generales: 1- enfriados con aire, 2- enfriados con agua y 3. Evaporativos. Los condensadores enfriados con aire, emplean aire como medio condensante, mientras que los condensadores enfriados con agua, emplean agua para condensar al refrigerante. Para ambos condensadores el calor cedido por el refrigerante aumenta la temperatura del aire o del agua usados como medio condensante. Los condensadores evaporativos emplean tanto aire como agua, este es el tipo de condensador usado en la Embotelladora del Pacífico, aún cuando se tiene algún aumento en la temperatura del aire que está pasando a través del condensador, la condensación del refrigerante en el condensador se efectúa principalmente por la evaporación del agua rociada o atomizada sobre el condensador.

La función del aire es aumentar la razón de evaporación sacando el vapor de agua que resulta del proceso de evaporación. El calor total rechazado en el condensador incluye tanto el calor absorbido en el evaporador como la energía equivalente del trabajo de compresión, cualquier sobrecalentamiento absorbido por el vapor de succión del aire de los alrededores, también forma parte de la carga del condensador. Debido a que el trabajo de compresión por unidad de capacidad refrigerante depende de la relación de compresión, la cantidad de calor rechazado en el condensador por unidad de capacidad refrigerante varía con las condiciones de operación del sistema.

El calor de compresión varía con el diseño del compresor y es mayor para un compresor hermético con enfriamiento en la succión que para un compresor tipo abierto, debido al calor adicional del motor absorbido por el gas refrigerante.

Esencialmente un condensador evaporativo es una unidad empleada para conservar el agua y, en efecto, es una combinación de condensador y torre de enfriamiento en una sola unidad. Tanto el aire como el agua se utilizan en un condensador evaporativo, el agua es bombeada desde el depósito inferior de la unidad hasta el cabezal de atomización, la atomización se efectúa hacia abajo pasando sobre los serpentines refrigerantes hasta el depósito inferior de la unidad, el aire es tomado del exterior por la parte inferior del condensador utilizando un ventilador, el aire es descargado al exterior por la parte superior del condensador, en algunos casos, tanto la bomba como el ventilador son impulsados por el mismo motor, en otros casos se usan motores separados, los eliminadores se instalan en la corriente de aire arriba del cabezal atomizador, esto es para evitar la entrada de aire al ventilador.

Aun cuando el proceso termodinámico real que tiene lugar en el condensador evaporativo es algo complicado, fundamentalmente es un proceso de enfriamiento evaporativo. El agua es evaporada debido a la atomización y al paso del aire a través de la superficie humedecida del condensador, siendo la fuente de calor vaporizante el refrigerante condensante en el serpentín condensador.

El enfriamiento producido es casi igual a 1000 Btu/lb de agua evaporada, eventualmente todo el calor cedido por el refrigerante en el condensador sale, ya sea, como calor sensible o calor latente (humedad) en la descarga del aire.

Ya que tanto la temperatura como el contenido de humedad del aire se aumentan a medida que el aire pasa a través del condensador, la efectividad de este condensador, en parte depende la temperatura del bulbo húmedo del aire que entra al mismo, a menor temperatura de bulbo húmedo se tendrá un condensador evaporativo más efectivo.

Con objeto de facilitar la limpieza y eliminar las incrustaciones (el agua utilizada en los condensadores tiene que ser suavizada), el serpentín del condensador se hace de tubo descubierto en vez de tubo aletado, la cantidad de superficie de serpentín por tonelada de capacidad varía según el fabricante y depende en gran parte de la cantidad de aire y agua de circulación. Generalmente la capacidad de los condensadores evaporativos se aumenta, al aumentar la cantidad de aire en circulación a través del condensador. Como una cosa práctica, la cantidad máxima de aire que puede circular a través del condensador está limitada por los requerimientos de potencia del ventilador y por la velocidad máxima del aire que puede admitirse a través de los eliminadores sin que se transporten partículas de agua.

La cantidad de agua que circula por el condensador deberá de ser la necesaria para conservar bastante humedecida la superficie de los tubos a fin de obtener la eficiencia máxima de la superficie del tubo y tener el mínimo de incrustaciones. La tabla III muestra las características de los condensadores evaporativos.

Figura 9.

Condensador evaporativo

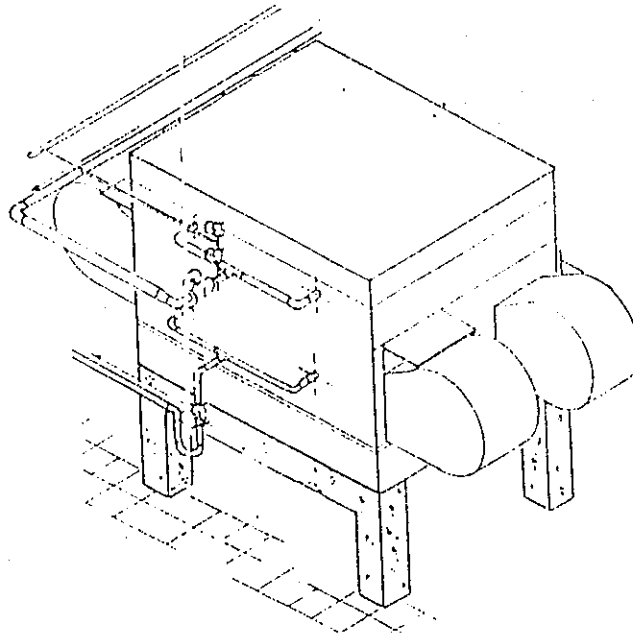


Tabla III Características de los condensadores evaporativos

Marca	Vilter
Modelo	VPC 260
Capacidad Ton. Refrig.	156
No. de ventiladores	4
No.de motores p/vent.	2 de 10 hp
Hp bomba	1 ½
Caudal de agua	240 gpm
Flujo de aire	49400 cfm
Carga de refrigerante	445 lbs
Peso	16200 lbs

3.4 Evaporadores

Un evaporador es cualquier superficie de transferencia de calor en el cual se vaporiza un líquido volátil para eliminar calor de un espacio o producto refrigerado, debido a las muchas y diversas aplicaciones de la refrigeración mecánica, los evaporadores se fabrican en una gran variedad de tipos, formas, tamaños, diseños y se pueden clasificar de diferentes maneras, tales como tipo de construcción, método de alimentación del líquido, condiciones de operación, método de circulación de aire o líquido, tipo de control del refrigerante y por sus aplicaciones.

A continuación se examinará los tipos de evaporadores existentes en la Embotelladora del Pacífico.

3.4.1 Enfriador de casco y tubo (chiller)

Son los evaporadores de mayor importancia en la planta, son también conocidos como chiller. Es de serpentín inundado y control por gravedad, su función es enfriar una solución de propilenglicol al 26 % el cual es el encargado de enfriar a la bebida previo a su carbonatación en un intercambiador de calor de placas en un equipo llamado Intermix, la razón de realizar el enfriamiento en dos etapas es porque, no se puede permitir la contaminación del producto en caso de una fuga de amoníaco; además, el propilenglicol no es tóxico, no se gasifica, y su temperatura de congelamiento

es muy baja. Después que el amoníaco líquido abandona el depósito del refrigerante y viaja a través de la línea de líquido llega a las válvulas anteriores a la entrada del evaporador que son una válvula de paso, un filtro, una solenoide, válvula de paso y por último la válvula de expansión,(figura 10). El amoníaco expandido inunda al evaporador, en su interior se encuentra una parte líquida y otra gaseosa (el amoníaco líquido llega a un nivel de 3 pulgadas en el tanque superior del evaporador, el resto lo ocupa amoníaco gaseoso).

Interiormente se encuentran tubos herméticamente sellados conteniendo el propilenglicol al cual enfría el amoníaco, el propilenglicol ya enfriado es conducido al intercambiador de calor de placas en el Intermix, en donde por un lado ingresa el propilenglicol y por el otro lado la bebida, ésta es enfriada y luego se le inyecta gas carbónico, la bebida debe de estar a una temperatura de 35.6 ° F para que pueda absorber correctamente al gas carbónico, el propilenglicol ya con una temperatura mayor es devuelto al chiller para ser enfriado de nuevo y completar el ciclo, recirculando una y otra vez.

Las características de los enfriadores de casco y tubo se muestran en la tabla IV de las líneas de producción No.1 y 2.

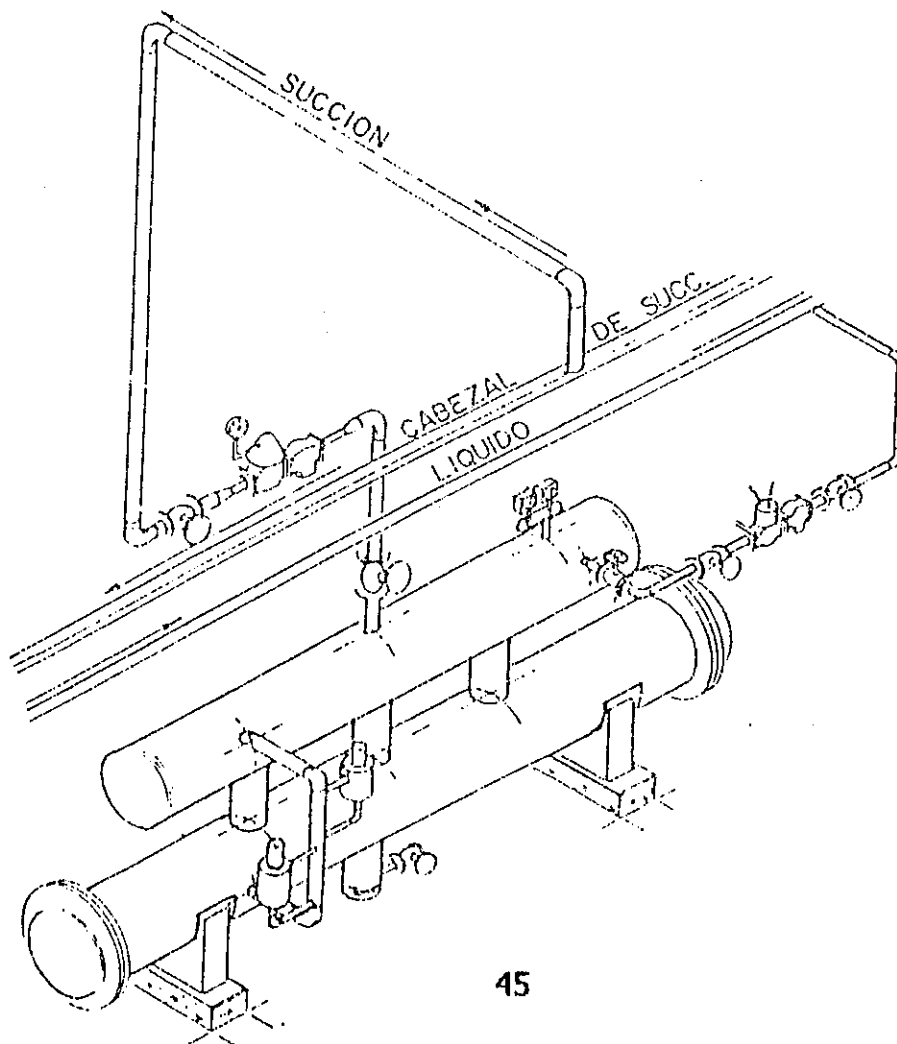
Tabla IV **Características de los chillers**

Datos técnicos	Línea No. 1	Línea No. 2
Capacidad	810000 kcal/hr	407000 kcal/hr
No. de cuerpos	1	1
Pasos por cuerpo	N/d	20

Caudal de propilenglicol	N/d	60000 lts/hr
Carga de amoníaco	2800 Kg	1150 Kg
Carga de propilenglicol	N/d	850 litros
Marca	Mebrafe	Sureña S.A.

Figura 10

Enfriador de casco y tubo (chiller)



3.4.2 Banco de hielo

La función del banco de hielo es proveer agua fría para el enfriamiento del jarabe posterior a su cocimiento (sección 3.1)

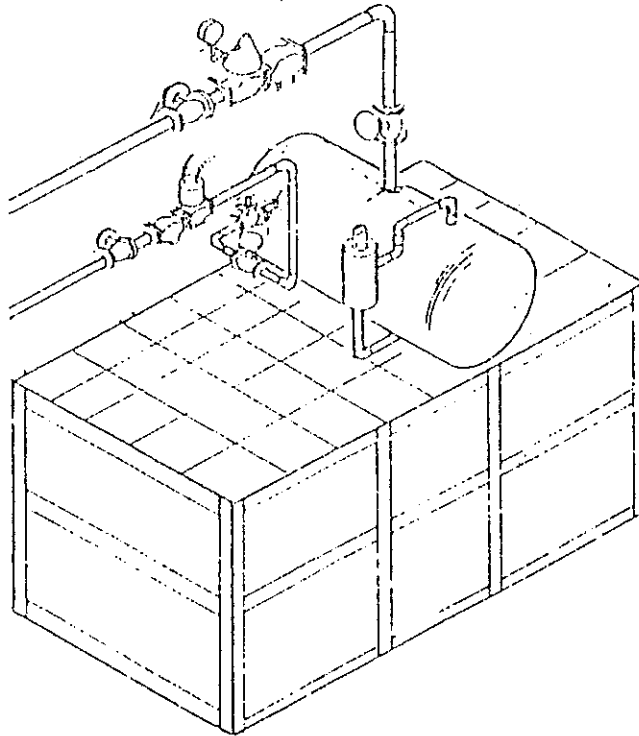
El banco de hielo está construido de lámina galvanizada con un diseño de resistencia a la presión hidrostática, de forma rectangular, con una capacidad de 5000 galones aproximadamente, esta recubierto con espuma aislante y lámina de aluminio, el agua enfriada es recirculada por medio de una bomba.

En su interior se encuentra un serpentín que es donde se evapora el amoníaco al realizar el intercambio de calor con el agua proveniente del intercambiador de calor de placas de la sala de jarabes, el sistema del banco de hielo es de serpentín inundado y control por gravedad, la razón de aplicar éste control es debido a que el refrigerante se distribuye en forma general y es en cada evaporador donde se gradúa la admisión del amoníaco según sea la demanda.

Este evaporador posee en la línea de líquido las mismas válvulas que el chiller, variando únicamente en tamaño debido al diámetro de la tubería, posee su acumulador de refrigerante el cuál en condiciones normales de operación debe estar con un nivel de líquido de refrigerante por la mitad, el resto lo ocupa amoníaco gaseoso, este tanque se diseña según la presión de trabajo y las toneladas de refrigeración que maneja el evaporador, para evitar que haya succión de líquido en la tubería de succión.

Figura 11.

Banco de hielo



3.5 Válvula de expansión

Hay seis tipos básicos de válvulas para el control del flujo refrigerante: 1- válvula de expansión manual, 2- válvula de expansión automática, 3- válvula de expansión termostática, 4- el tubo capilar, 5- válvula de flotador de presión baja y 6- válvula de flotador de presión alta.

Independientemente del tipo, la función de cualquier control del flujo refrigerante es doble: 1- medir el refrigerante líquido en la tubería del líquido que va hacia el evaporador con una rapidez que sea proporcional a la cual está ocurriendo la vaporización en esta última unidad y 2- mantener un diferencial de presión entre los lados de alta y baja presión del sistema a fin de permitir vaporizar el refrigerante bajo las condiciones de baja presión deseadas en el evaporador y al mismo tiempo efectuar la condensación a la presión alta que se tiene en el condensador.

Para su mejor funcionamiento, la válvula de expansión deberá instalarse lo más cerca posible del evaporador (sección 3.4.1), cuando se use un distribuidor de refrigerante no deberá haber ninguna restricción entre el evaporador y la válvula de expansión.

Antes de seleccionar el tamaño apropiado de la válvula deberá tomarse la decisión sobre el tipo exacto de la válvula deseada con respecto a límite de presión, y el tamaño de conexiones de entrada y salida de la válvula, obviamente, la naturaleza y condiciones de cada aplicación determinarán la presión a la que debe ser ajustada la válvula, el tamaño de las conexiones a la entrada y a la salida de la válvula corresponde a las que se tienen en la tubería de líquido y en el evaporador, respectivamente. Se puede permitir una pequeña reducción en el tamaño a la entrada del evaporador.

Una vez que se ha hecho la decisión de acuerdo a los parámetros anteriores, podrá seleccionarse el tamaño adecuado de la válvula de acuerdo a las especificaciones del fabricante. Para seleccionar de la tabla de especificaciones el tamaño apropiado de la válvula, deben conocerse los siguientes datos: 1- la temperatura en el evaporador, 2- la capacidad del sistema en toneladas, 3- la diferencia de presiones disponible a través de la válvula; en general los primeros dos factores determinan la razón del flujo necesario a través de la válvula, mientras que el último determina el tamaño del orificio necesario para suministrar la razón del flujo deseada, siendo la razón del flujo a través del orificio, proporcional a la diferencia de presiones a través de la válvula.

La diferencia de presiones a través de la válvula nunca debe considerársele como la diferencia de presión entre la presión de succión y descarga medidas en el compresor. Cuando se usan como base estas dos presiones para determinar la diferencia de presión a través de la válvula de expansión, siempre se debe de considerar una tolerancia debido a las pérdidas de presión que se tienen en la válvula de expansión y en el compresor en ambos lados de alta y baja presión en el sistema, esto incluye al distribuidor de refrigerante si se tiene en operación.

Al haberse ya determinado la diferencia de presión a través de la válvula de expansión, la válvula podrá seleccionarse de las tablas proporcionadas por el fabricante, la cual deberá tener una capacidad igual o ligeramente mayor a la capacidad del sistema a las condiciones de diseño del mismo.

Otro tipo de válvula muy importante usada en cada evaporador , específicamente a la salida de éste, es la válvula reguladora de presión. La función de la válvula reguladora de presión es evitar la caída debajo de un valor mínimo predeterminado de la presión en el evaporador y por lo tanto también de la temperatura, Independientemente qué tan baja sea la presión en la tubería de succión, ésta puede tener caídas debido a la acción del compresor.

Es importante saber que el regulador de presión del evaporador no mantiene presión constante en el evaporador sino que solamente limita la presión mínima en el evaporador, los reguladores de presión para los evaporadores pueden obtenerse de acción estranguladora (moduladora) o de acción de golpe (completamente abierto o completamente cerrado), el diferencial entre los puntos de cerrado y abierto del control tipo acción de golpe, no sólo proporciona un control preciso de la temperatura del producto sino que también sirve para deshielo automático en los evaporadores enfriados con aire cuando la temperatura en el espacio refrigerado sea lo suficientemente alta que permita efectuarse el ciclo de deshielo.

Los reguladores de presión de los evaporadores pueden usarse en cualquier instalación donde la presión o temperatura del evaporador deban ser mantenidos arriba de cierto valor mínimo, estos son muy usados en enfriadores de agua y salmuera con el fin de evitar tener congelamiento durante los períodos de carga mínima, también con frecuencia se usan en aplicaciones de enfriamiento de aire donde un control de humedad apropiado prescribe tener una temperatura mínima en el evaporador, en los sistemas de evaporador múltiple, donde todos los evaporadores están operados aproximadamente a la misma temperatura, puede instalarse un regulador simple en la succión principal

para controlar la presión en todos los evaporadores, por otra parte, cuando conectan varios evaporadores a un solo compresor y van a trabajar a temperaturas diferentes, deberá instalarse por separado un regulador de presión en la tubería de succión de cada uno de los evaporadores de temperatura más alta, esta disposición evita que descienda la presión de los evaporadores de más temperatura hasta el valor menor al mínimo deseado, mientras que el compresor continúa operando para satisfacer al evaporador más frío.

3.6 Depósito de refrigerante

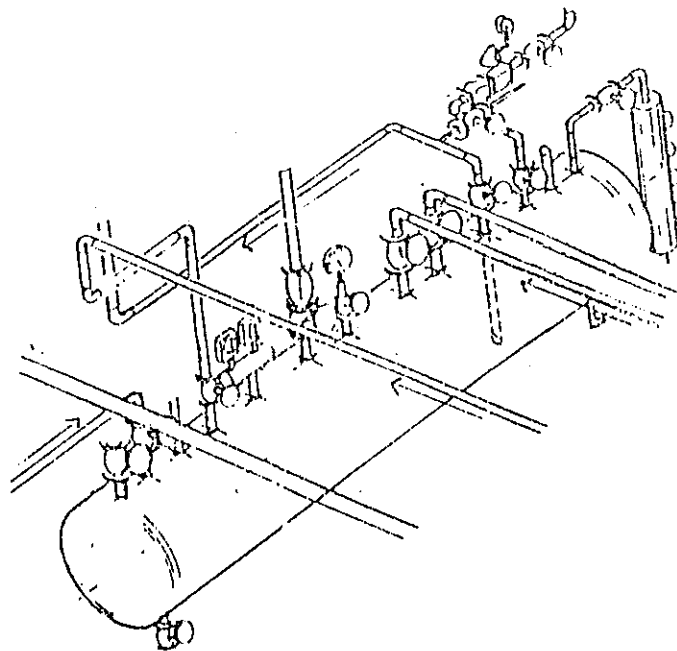
También es llamado recibidor de refrigerante, se encuentra localizado entre los condensadores evaporativos y los evaporadores, sus principales funciones son: almacenar refrigerante líquido que va a ser utilizado en los evaporadores y almacenar refrigerante líquido del sistema en caso de hacer un vacío por alguna reparación o mantenimiento, la carga de refrigerante que pierde el sistema por fugas se realiza en este depósito, por medio de cilindros o botellas.

Esta construido de hierro negro y con diseño para presiones hasta de 300 psig, un recipiente de éste tipo, por seguridad debe ser diseñado por lo menos con:

- visor de nivel: en condiciones normales de operación del sistema el nivel de amoníaco líquido debe de estar de $\frac{1}{4}$ a $\frac{1}{3}$ al altura en el recibidor
- válvula dual de seguridad: regulada a una presión de 250 psig .
- Purga de aceite
- Purga de aire
- Conexión para carga de amoníaco.
- Manómetro.

Figura 12

Depósito de refrigerante



Las conexiones que posee el tanque recibidor de refrigerante son:

- Entrada de líquido: proveniente de los condensadores evaporativos
- Salida de líquido: hacia los evaporadores.
- Línea de igualación de presiones: mantiene presurizado al recibidor por una baja notable en la temperatura ambiental se reduce la presión de condensación, esta línea permite mantener el recibidor a una presión apropiada para que el amoníaco pueda fluir sin dificultades hacia los evaporadores.
- Línea de líquido proveniente de la trampa de succión: hace ingresar al amoníaco líquido al recibidor que se encuentra en la trampa de succión.
- Línea de igualación de presión con la línea de succión: debido a que la trampa de succión y el depósito de refrigerante se encuentran a distintas presiones, ésta línea permite que el amoníaco líquido pueda ingresar al depósito (por gravedad) proveniente de la trampa.

3.7 Tubería para amoníaco

En general, el tipo de material empleado en tuberías para refrigeración, depende del tamaño y naturaleza de la instalación, del refrigerante utilizado, del costo de los materiales y mano de obra.

Los requerimientos específicos mínimos para la tubería empleada en refrigeración, con respecto al tipo y peso de los materiales de la tuberías, métodos de unión, etc., han sido definidos en el American Standard Safety Code for Mechanical Refrigeration (ASA Standard B9.1). Las especificaciones en dicho estándar representan una práctica buena y segura para las tuberías, éstas deberán respetarse; además, deben tomarse en consideración, para todos los casos los códigos y reglamentos locales.

Los materiales más frecuentemente usados en tuberías para refrigeración son: el acero, hierro dulce, cobre y latón. Todos éstos son apropiados para usarse con todos los refrigerantes comunes, excepto el cobre y el latón que no pueden ser usados con el amoníaco, debido a que en presencia de humedad, el amoníaco ataca a los metales no ferrosos.

Dependiendo del tipo y tamaño de las uniones en la tubería, las tuberías para refrigerantes pueden ser roscadas, embriadas, soldadas eléctricamente, soldadas con latón o soldadas con estaño. Las tuberías deberán estar localizadas de modo que no presenten riesgos o peligro, que no alteren la operación normal y el mantenimiento del equipo, y que no obstruyan el uso de los espacios adyacentes. Cuando los requerimientos de flujo refrigerante lo permitan la tubería deberá estar por lo menos a 7.5 pies del piso, a menos que esté instalada contra la pared o el cielo raso. Los códigos de tuberías prohíben que las tuberías de refrigerantes se instalen en pasillos públicos, salones de entrada, escaleras, cerca de elevadores, etc.

La disposición de las tuberías, deberá ser tal que su instalación sea fácil y además accesible para su inspección y mantenimiento, en todos los casos, la tubería deberá tener una apariencia limpia.

Deben tomarse en cuenta las expansiones y contracciones térmicas de la tubería la cual por lo general se aumenta en aproximadamente $\frac{3}{4}$ pulg (20 mm) por cada 100 pies de tubería, esto no es un problema serio, ya que en su forma usual la tubería se instala tridimensionalmente y por lo mismo es bastante flexible para absorber pequeños cambios en su longitud, sin embargo, debe tenerse cuidado de no anclar con rigidez ambos extremos de un tubo recto de gran longitud.

El amoníaco es un refrigerante no miscible, el aceite bombeado por el compresor hacia la tubería de descarga no será fácilmente transportado por el refrigerante hacia el sistema, por lo tanto, deberá instalarse un separador de aceite en la tubería de descarga para todos los sistemas que usan amoníaco, a fin de reducir al mínimo la cantidad de aceite que pase hacia el sistema, el aceite que es atrapado en el separador debe retornarse hacia el cárter del compresor.

El aceite, siendo más pesado que el amoníaco líquido tiende a separarse de éste y fijarse en varios puntos bajos del sistema, por esta razón se instalan purgas de aceite en la parte inferior de todos los receptores, evaporadores, acumuladores y otros depósitos del sistema que contengan amoníaco líquido,

debiendo periódicamente drenarse el aceite de dichos puntos, ya que la cantidad de aceite involucrado es pequeña, el empleado que está en servicio podrá drenarlo en forma manual. Desde luego que esto requiere que el cárter se este llenando periódicamente de aceite. Ya que el aceite lubricante no se regresa al compresor a través de la tubería del refrigerante no será de consecuencia el tener al vapor refrigerante circulando con velocidad mínima y la tubería puede dimensionarse para una caída baja de presión sin importar que el vapor tenga velocidad mínima.

La tubería del sistema de refrigeración en la Embotelladora del Pacífico consiste en:

- línea de descarga: tubería de acero ASTM tipo A53
- Línea de líquido: tubería de acero ASTM tipo A53
- Línea de succión: tubería de acero ASTM tipo A53

Las líneas de descarga, líquido y succión están pintadas de un color específico según la presión a las que están trabajando, las líneas de descarga y líquido son de color naranja y la línea de succión es de color amarillo.

3.8 Trampa de succión

Este equipo tiene dos funciones importantes:

- impedir el ingreso de amoníaco líquido a los compresores
- darle un subenfriamiento al refrigerante líquido de alta presión.

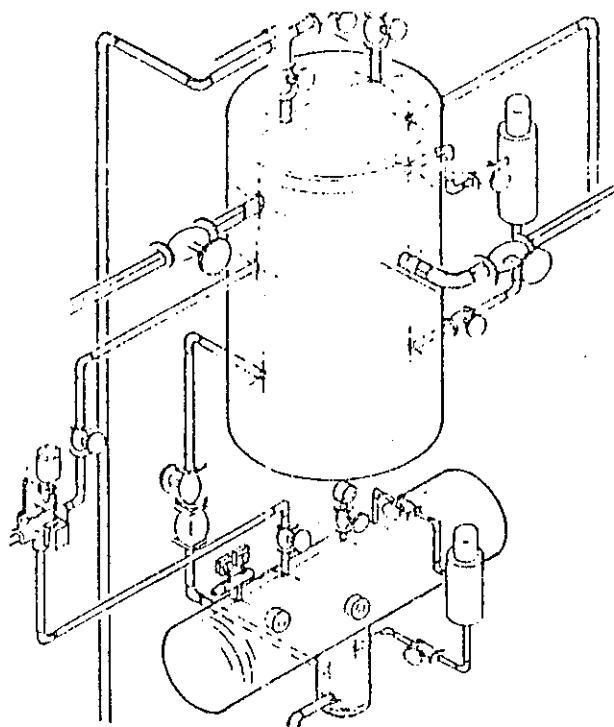
La primera función es una protección adicional al sistema para impedir el ingreso de amoníaco líquido a los compresores, si el amoníaco entrara a los compresores éste reaccionaría con el aceite produciendo espuma, fallando entonces la lubricación con sus obvias consecuencias; además del daño producido a la cabeza de los pistones por ingreso de líquido al compresor.

La segunda función es producir un subenfriamiento del líquido con dirección a los evaporadores, para producir éste efecto se instala en el interior de la trampa un serpentín por donde circula amoníaco líquido proveniente del depósito de refrigerante, éste es enfriado por el líquido que ha quedado en la trampa a baja presión (de la línea de succión), debido a la diferencia de temperaturas éste enfría al refrigerante que va hacia los evaporadores y el refrigerante líquido de la trampa se evapora, sin embargo, ¿qué ocurriría si se evapora todo el líquido de la trampa?. Podría empezar a sobrecalentarse el vapor que ingresa a la trampa y el compresor succionaría vapor sobrecalentado, el cual no es aconsejable en los compresores. (sección 4.1).

El problema se soluciona manteniendo el nivel de líquido en la trampa, la cuál posee dos controles, de nivel alto que detiene los compresores y de nivel bajo que mantiene líquido en el interior de la trampa. La trampa es de hierro negro y con diseño para soportar presión.

Figura 13

Trampa de succión



3.9 Cálculo de carga térmica para demanda actual

Para realizar el cálculo y estar en condiciones de evaluar el flujo de calor a retirar de la bebida, usamos la ecuación de calor (Q). Este mismo calor Q es el que absorberá el amoníaco, ya que generalmente los valores de Q son muy altos se les expresa en cierta unidad, LA TONELADA DE REFRIGERACIÓN que los hace más manejables. 1 Tonelada de Refrigeración (TR) es igual a 200 btu/min que es también igual a 12000 btu/hora. Este cálculo se basa en el consumo de los evaporadores actuales que posee la planta embotelladora (2 chillers y un banco de hielo), es de hacer notar que aparte del consumo producido por los evaporadores también se tienen algunas pérdidas producidas por fugas de refrigerante y aislamiento de la tubería de succión.

Los cálculos son los siguientes:

Línea de producción No.1: esta línea de producción tiene el sistema de chiller sección (3.4.1) que es un enfriador de casco y tubo de 42 pulg. de diámetro, las toneladas de refrigeración que consume este equipo se obtienen por la ecuación de calor:

$$Q = W \times C_e \times (T_2 - T_1)$$

En donde:

Q = calor absorbido

W = flujo másico a enfriar (producto)

C_e = calor específico del producto

T_1 = temperatura a la entrada del intercambiador de calor del producto

T_2 = temperatura a la salida del intercambiador de calor del producto.

Flujo másico a enfriar W : la línea produce un llenado de botellas de 0.35 lts. y 0.5 lts., la mayor demanda de refrigeración se da en la presentación de 0.5 lts.

Capacidad máxima = 570 bot./ min. De 0.5 lts.

Producción = (570 bot /min). * (60 min/ 1 hora) = 34200 bot/hora

Producción = (34200 bot/hora) * 0.5 lts = 17100 lts/hora

W = prod. * densidad.

La densidad del producto pepsi-cola es de 1.044 kg/lts que es igual a 2.302 lb/lts.

W = 17100 lts/hora * 2.302 lb/lts = 39364.2 lb/hora

Calor específico C_e del producto es 0.94 btu/(lb * °F), valor más alto de los producidos perteneciente al de pepsi-cola.

T_1 = 82.4 ° F

T_2 = temperatura ideal para carbonatación 33.8 ° F

Tenemos:

$$Q = 39364.2 \text{ lb/hora} * 0.94 \text{ (btu/lb} * ^\circ \text{F)} * (33.8 ^\circ \text{F} - 82.4 ^\circ \text{F})$$

$$Q = 1798314 \text{ btu/hora}$$

Para convertir los btu/hora en Toneladas de Refrigeración dividimos por el factor 12000 btu/hora,

$$Q = (1798314 \text{ btu/hora}) / (12000 \text{ btu/hora}) = \underline{\underline{150 \text{ TON. DE REF.}}}$$

Línea de producción No.2: esta línea de producción también tiene el sistema de chiller, un enfriador de casco y tubo de 40 pulg. de diámetro, las Toneladas de Refrigeración que consume este equipo se obtienen por la ecuación de calor:

$$Q = W * C_e * (T_2 - T_1)$$

Flujo másico a enfriar W: la línea produce un llenado de botellas de 0.190 lts. y 1 litro., la mayor demanda de refrigeración se da en la presentación de 1 litro.

Capacidad máxima = 170 bot./ min. De 1 litro.

$$\text{Producción} = (170 \text{ bot /min}) * (60 \text{ min/ 1 hora}) = 10200 \text{ bot/hora}$$

$$\text{Producción} = (10200 \text{ bot/hora}) * 1 \text{ litro} = 10200 \text{ lts/hora}$$

$W = \text{prod.} * \text{densidad.}$

La densidad del producto pepsi-cola es de 1.044 kg/lts que es igual a 2.302 lb/lts.

$$W = 10200 \text{ lts/hora} * 2.302 \text{ lb/lts} = 23480.4 \text{ lb/hora}$$

Calor específico C_e del producto es 0.94 btu/(lb * °F), valor más alto de los productos perteneciente al de pepsi-cola.

$$T_1 = 82.4^\circ \text{ F}$$

$$T_2 = \text{temperatura ideal para carbonatación } 33.8^\circ \text{ F}$$

Tenemos:

$$Q = 23480.4 \text{ lb/hora} * 0.94 \text{ (btu/lb} * ^\circ \text{F)} * (33.8^\circ \text{ F} - 82.4^\circ \text{ F})$$

$$Q = 1072678.6 \text{ btu/hora}$$

Para convertir los btu/hora en Toneladas de Refrigeración dividimos por el factor 12000 btu/hora.

$$Q = (1072678.6 \text{ btu/hora}) / (12000 \text{ btu/hora}) = \underline{\underline{90 \text{ TON. DE REFRIGERACIÓN.}}}$$

Banco de hielo: el consumo del banco de hielo se obtiene de manera similar al de los evaporadores de casco y tubo, con la ecuación de calor:

$$Q = W \times C_e \times (T_2 - T_1)$$

Flujo másico a enfriar W: el banco de hielo proporciona un caudal aproximado de 64.4 GPM a la sala de jarabes para enfriamiento del mismo (secc 3.1).

$$\text{Gasto} = 64.4 \text{ GPM} \times (60 \text{ min/hora}) \times 3.785 \text{ lts/ 1 galón} = 14625.25 \text{ lts/hr.}$$

$$W = \text{gasto} \times \text{densidad.}$$

La densidad del agua es igual a 2.205 lb/lts.

$$W = 14625.25 \text{ lts/hora} \times 2.205 \text{ lb/lts} = 32248.7 \text{ lb/hora}$$

Calor específico C_e del agua es 1 btu/(lb * ° F).

$$T_1 = 50^\circ \text{ F}$$

$$T_2 = 34^\circ \text{ F}$$

Tenemos:

$$Q = 32248.7 \text{ lb/hora} \times 1 \text{ (btu/lb * ° F)} \times (34^\circ \text{ F} - 50^\circ \text{ F})$$

$$Q = 515980 \text{ btu/hora}$$

Para convertir los btu/hora en toneladas de refrigeración dividimos por el factor 12000 btu/hora.

$$Q = (515980 \text{ btu/hora }) / (12000 \text{ btu/hora }) = \underline{\underline{43 \text{ TON. DE REF.}}}$$

El consumo total del sistema de refrigeración se da al sumar la carga de los 3 evaporadores (2 enfriadores de casco y tubo y 1 banco de hielo).

$$150 \text{ TR.} + 90 \text{ TR.} + 43 \text{ TR.} = \underline{\underline{283 \text{ TR.}}}$$

Conociendo el calor y las condiciones de operación del ciclo, se puede calcular el flujo de amoníaco a circular por el sistema, en la figura 14 el amoníaco absorbe calor en el evaporador entre 4 y 1, de modo que la diferencia de entalpía entre ambos puntos representa la cantidad de calor que puede absorber una libra de amoníaco.

Procedemos a encontrar en las tablas de amoníaco líquido y saturado (figura 19), para una presión de succión (punto 1) de 34 psig, buscamos en la columna de presión manométrica (gage) y perpendicularmente hasta encontrar la columna de entalpía gaseosa (hg), notamos que no tenemos un valor exacto para 34 psig, interpolamos los datos más cercanos para este valor y el resultado es de:

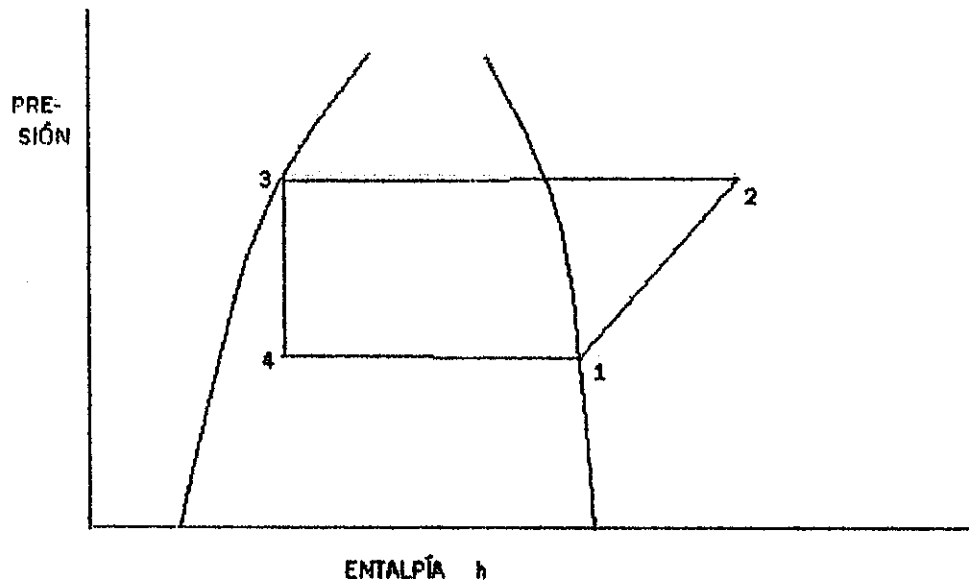
$$h_1 = 617.9 \text{ btu/lb}$$

Figura 14

Las presiones de la figura 14 corresponden a:

Punto 1 y 4 = 34 psig

Punto 2 y 3 = 175 psig



Según la figura 14 el valor de la entalpía en el punto 4 corresponde a la misma del punto 3 en donde el amoníaco se encuentra líquido, repetimos el procedimiento buscando el valor de presión del punto 3 a 175 psig (gage) con la de entalpía líquida (h_f), el resultado es:

$$h_3 = h_4 = 147 \text{ btu/lb.}$$

El flujo de amoníaco se despeja de la ecuación:

$$Q = M * \Delta h$$

Donde la masa M es:

$$M = Q / \Delta h$$

El flujo de calor a retirar según el consumo obtenido es: 283 TR.

$$283 \text{ TR.} * 12000 \text{ btu/hr} = 3396000 \text{ btu/hr.}$$

La diferencia de entalpía es:

$$\Delta h = h_1 - h_4$$

$$\Delta h = 617.9 \text{ btu/lb} - 147 \text{ btu/lb}$$

$$\Delta h = 471 \text{ btu/lb}$$

tenemos:

$$M = (3396000 \text{ btu/hora}) / (471 \text{ btu/lb})$$

$$M = 7210 \text{ lb/hora de amoníaco.}$$

3.10 Cálculo de producción de refrigerante en el sistema

En todo sistema de refrigeración es muy importante conocer la capacidad de producción de los compresores, este factor tiene que estar equilibrado, es decir, según sea la demanda así tiene que ser la producción.

El sistema de refrigeración de la Embotelladora del Pacífico se tienen tres compresores reciprocantes (sección 3.2), los cuales tienen una reducción de capacidad en el orden del 25, 50 y 75%, según sea la demanda en los evaporadores. Los datos proporcionados por el fabricante de los compresores (tabla II), indica que es 309 pies³ /min de desplazamiento máximo en cada compresor.

Para obtener las toneladas de refrigeración producidas en cada compresor nos ubicamos en la tabla de "capacidad de los compresores" proporcionada por el fabricante (figura 20).

En la tabla se busca la fila que corresponde a la presión manométrica y temperatura de condensación (175 psig), luego la subfila de presión manométrica de succión (34 psig), posteriormente con estos dos datos se intercepta la columna donde se encuentra el modelo del compresor Vilter (VMC 448), en este caso no se tiene el dato exacto de 34 psig en la subfila de presión de succión por lo cuál se procede a interpolar los dos datos más cercanos, 33.5 y 39 psig, el resultado es 96.3 T.R.

Capacidad de producción = compresor No.1 + compresor No.2 + compresor No 3

Capacidad de producción = 96.3 TR. + 96.3 TR. + 96.3 TR.

Capacidad de producción = 289 TR.

3.11 Análisis de resultados

Es importante realizar un análisis a manera de determinar si la producción de los compresores puede cumplir con la demanda de los evaporadores o si ésta excede, es importante realizar el comentario que los cálculos realizados anteriormente se obtuvieron bajo la condición que el sistema se encontraba trabajando a un 100 %, situación que ocurre muy a menudo, pero normalmente no se le exige tal situación al sistema, cuando esto sucede el sistema de refrigeración puede trabajar en forma holgada, el análisis se presenta a continuación:

- Consumo total del sistema de refrigeración = línea de producción No.1 + línea de producción No.2 + banco de hielo.

- Consumo total del sistema de refrigeración = 150 TR. + 89.6 TR. + 43 TR.

- Consumo total del sistema de refrigeración = 283 Toneladas de Refrigeración.

- Capacidad de producción del sistema = compresor No.1 + compresor No.2 + compresor No.3

- Capacidad de producción del sistema = 96.3TR. + 96.3TR. + 96.3 TR.

- Capacidad de producción del sistema = 289 Toneladas de Refrigeración.

Si se observan los datos anteriores se deduce que el sistema de refrigeración cuando trabaja al 100 % sí cumple con la demanda en las líneas de producción y posee 6 Toneladas de Refrigeración de más.

4. REDISEÑO DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN

4.1 Ampliación del sistema de refrigeración

La Embotelladora del Pacífico es una empresa que se encuentra en expansión de su planta de producción, se dedica al embotellado de bebidas carbonatadas entre ellas podemos citar a pepsi-cola, seven-up, mirinda, rica y salutaris en presentaciones de 6.5 y 12 onzas, así como de ½ y 1 litro.

Para la elaboración de estos productos es indispensable que la planta posea un sistema de refrigeración eficiente para las siguientes funciones:

- Enfriamiento del jarabe posterior a su cocimiento de 176 ° F a una temperatura de 68 ° F.
- El jarabe debe ser enfriado antes de ser carbonatado hasta una temperatura ideal de 35.6 ° F.

Debido a que en la planta de producción de la Embotelladora del Pacífico se llevará a cabo un trabajo de ampliación para tener una nueva línea de embotellado surgido de la creciente demanda del producto, es necesario hacer un nuevo cálculo del sistema de refrigeración, esto conlleva a la adquisición de

equipo y traerá como consecuencia que el sistema de refrigeración tiene que adecuarse para manejar la nueva carga térmica de refrigeración a la cuál deberá responder sin ningún tipo de Inconveniente.

Además, se tendrá que ampliar los suministros a la nueva línea de producción como sistema eléctrico, sistema neumático, soda cáustica, sistema de vapor, sistema de refrigeración, agua tratada, agua suavizada, etc.

Particularmente en este capítulo se realizan los cálculos para la ampliación del sistema de refrigeración que concierne al nuevo dimensionamiento de la tubería de amoníaco, selección de compresores, evaluación y selección de condensadores evaporativos para la nueva carga térmica de refrigeración.

Otro factor importante es la instalación de un nuevo evaporador (banco de hielo No. 2), el cuál tendrá la función de refuerzo del banco de hielo No.1 para el enfriamiento del jarabe posterior a su cocimiento o sustituirlo en los casos en que se requiera mantenimiento de cualquiera de los dos.

Es por esto que al realizarse la ampliación del sistema de refrigeración, se toma en cuenta las cargas producidas por un banco de hielo más (de iguales dimensiones al existente) y la línea de producción No. 3, que tendrá el mismo equipo que la línea de producción No. 1.

4.2 Criterio para el diseño de sistemas de refrigeración

El diseño de un sistema de refrigeración se basa principalmente en :

- Determinación de los niveles de temperatura
- Cargas térmicas
- Dimensionamiento de las tuberías.

El nivel de temperatura será fijado de acuerdo al proceso de enfriamiento que se desea realizar, la determinación de la capacidad se realiza mediante el cálculo de las cargas térmicas, que es el resultado de las sumas de diversas fuentes que aportan calor a el proceso.

Para tener una operación eficiente en un sistema de refrigeración es necesario reunir las siguientes condiciones:

- Obtener las temperaturas deseadas en el producto, esto se logra al utilizar el evaporador y temperatura de evaporación adecuadas.
- Utilizar el compresor con la capacidad necesaria para succionar el refrigerante que se evapora en los diversos evaporadores.
- Obtener una presión de condensación que permita mantener la operación del compresor dentro del radio de compresión adecuado.
- Obtener la más alta presión de succión posible y la más baja presión de condensación para efectos de ahorro de energía e incrementar la vida útil de los equipos.
- Dimensionar las tuberías de tal manera que se logre la menor caída de presión posible.

En esencia, los ciclo reales están formados por los mismos componentes y etapas que en el ciclo Ideal (sección 2.3.2), sólo que para su estudio han de tomarse otras consideraciones que difieren de las que se toman para el ciclo Ideal, las variantes a considerar son:

- Caídas de presión en las tuberías del sistema y sus accesorios.
- La eficiencia de los equipos componentes del sistema.
- Caídas de presión en los equipos componentes del sistema como: la caída de presión en el serpentín del evaporador y en el serpentín del condensador.

Todos los factores anteriormente nombrados han de considerarse para obtener un buen diseño del sistema y una operación eficiente, ésta no va a depender sólo de un buen diseño, sino que también de la eficiencia de los equipos que componen el sistema, además de las modificaciones que se puedan incluir en éste como el subenfriamiento del líquido refrigerante realizado en la trampa de succión (sección 3.8) y el tipo de evaporador a ser utilizado.

Existen dos tipos de evaporadores más conocidos y utilizados, su clasificación proviene de la forma en que se les suministra el refrigerante líquido, estos son:

- De expansión directa; como se ha podido apreciar en el diagrama de presión entalpía (figura 2.1), el proceso de expansión finaliza en la zona de mezcla, por lo tanto al utilizar un evaporador de éste tipo se le estará suministrando refrigerante en el cual, parte de éste ya se ha

- convertido en vapor, esto tiene como resultado que el evaporador sea ineficiente y no sea recomendable para utilizar en sistemas donde es necesario realizar un enfriamiento que requiera precisión, mucho menos en sistemas de baja temperatura utilizados para congelación de algún producto.
- Inundados; este tipo de evaporador mantiene al serpentín completamente inundado de refrigerante líquido, de ésta forma se mejora el coeficiente de transferencia de calor y además disminuye el riesgo de retorno de refrigerante líquido al compresor, este tipo de evaporador es recomendado utilizarlos en todos los casos en que la temperatura final de producto sea crítica o en sistemas de congelación de productos.

Como se puede apreciar la selección del tipo de evaporador es una forma de modificar el sistema para conseguir una mayor eficiencia, otros factores de suma importancia a tomar en cuenta al momento de diseñar un sistema de refrigeración son:

1.- Efecto de la baja presión en el evaporador : una baja presión en el evaporador no tiene buenas consecuencias en el sistema, a la baja de presión le corresponde una baja temperatura (figura 15) de T a T' en el evaporador, esto puede traer como consecuencia la formación de una capa de hielo o escarcha en el evaporador lo que afecta al brix de la bebida y también la transmisión de calor ya que el hielo es un aislante térmico.

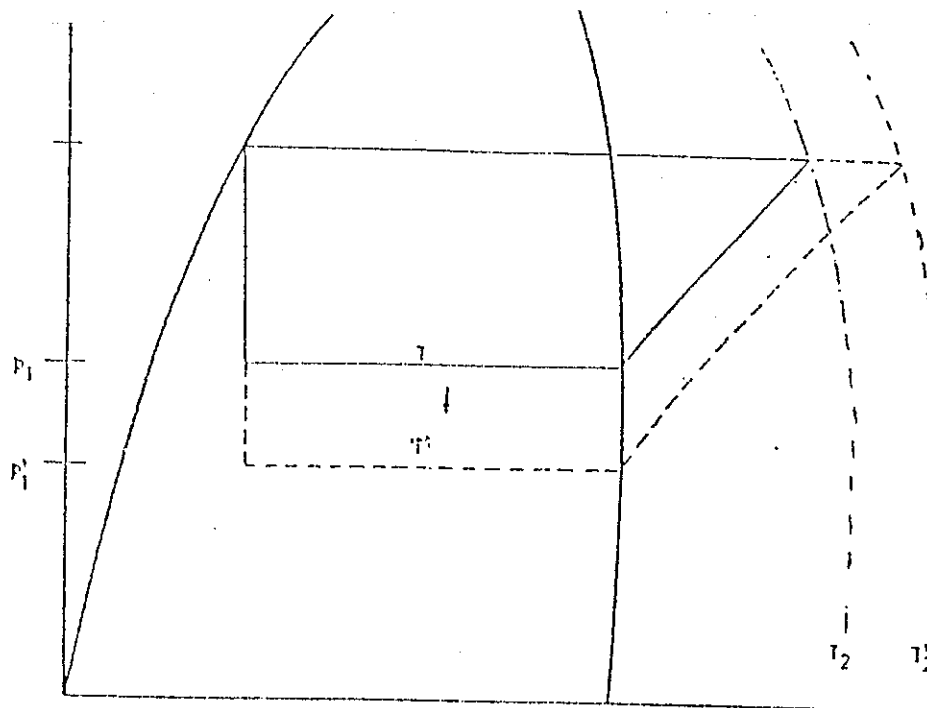
Además , si se observa la figura 15 se deduce que se aumenta la temperatura de descarga de los gases (de T_2 a T_2') .

Por otra parte, si baja la presión de evaporación, aumenta la velocidad de succión y la posibilidad que algunas gotas de amoníaco llegue al compresor, lo que perjudicaría al aceite, esto se detecta por la formación de espuma en el aceite provocada por la expansión violenta del amoníaco al pasar al estado gaseoso.

Figura 15.

Efecto de la baja presión en el evaporador

fuentes: manual de entrenamiento Pepsi



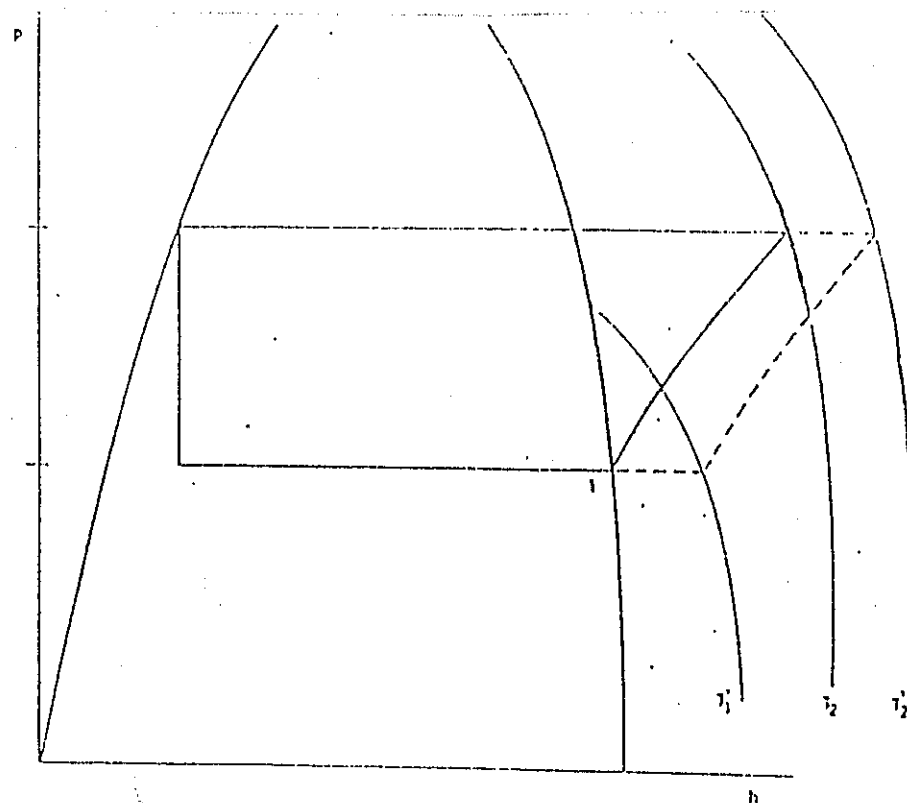
2 - Efecto del sobrecalentamiento en el vapor de succión: el sobrecalentamiento en el vapor de succión es perjudicial al sistema, el que exista esta condición significa que el vapor no ingresará saturado (a temperatura T_1) al compresor, sino que ingresará sobrecalentado a temperatura T_1' (mayor que T_1) figura 16.

Al igual que en el caso anterior se produce un aumento de la temperatura de los gases de descarga (de T_2 a T_2') . El sobrecalentamiento puede ocurrir en líneas de succión demasiado largas, a pesar de que estén aisladas no hay que olvidar que al aislar la tubería minimiza, pero no elimina la transferencia de calor.

Figura 16

Efecto del sobrecalentamiento en el vapor de succión

fuelle: manual de entrenamiento Pepsi

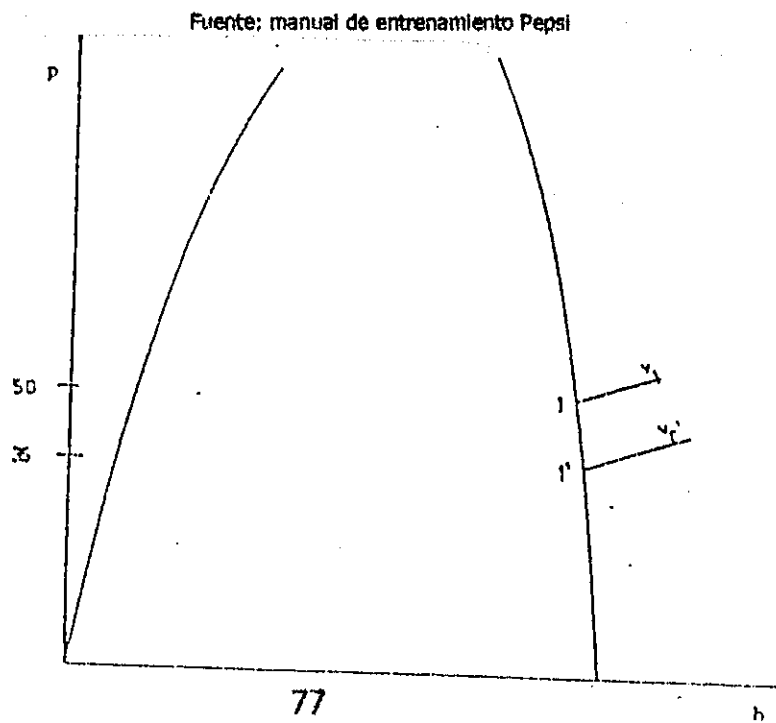


3 - Efecto de la caída de presión como resultado de la fricción: como se vio en el inciso 1, el alimentar un compresor con gas a baja presión tiene el efecto perjudicial de aumentar la temperatura de los gases de descarga.

Ahora bien, supongamos que ya se diseñó un compresor para que trabaje con una presión de succión de 50 psia y que, por algún motivo esta presión descendió a 35 psia cuando estaba trabajando a un 100 % de capacidad, el usar la figura 17 de presión - entalpía, puede ser de mucha utilidad para analizar esta situación, el volumen específico " v " es otra propiedad termodinámica útil, corresponde al volumen ocupado por una unidad de masa, el inverso del volumen específico ($1/v$) corresponde a la densidad " d ", es decir, a la masa contenida en una unidad de volumen.

Figura 17

Efecto de caída de presión como resultado de la fricción



De las tablas del anexo en la figura 19 podemos obtener los siguientes valores para 50 psia y 35 psia, en la columna de volumen gaseoso, como no tenemos los datos exactos procedemos a interpolar los valores más cercanos para ambos:

$$v_1 = 5.7 \text{ pie}^3 / \text{libra}$$

$$v_1' = 8 \text{ pie}^3 / \text{libra}$$

De estos valores deducimos las siguientes densidades:

$$d_1 = 0.175 \text{ libra} / \text{pie}^3$$

$$d_1' = 0.125 \text{ libra} / \text{pie}^3$$

Entonces, al bajar la presión en la succión el compresor aspira un gas menos denso (con menos masa por unidad de volumen) y, ya que no pueden aumentar la capacidad los compresores (supusimos que estaban trabajando al 100 %), esto significa que comprimirá un menor flujo de refrigerante y por consiguiente, bajará la capacidad de refrigeración. Este ejemplo ha sido exagerado y solo es analizado con el objeto de ver la aplicación del volumen específico y la densidad.

En cualquier sistema mecánico de refrigeración, la capacidad del compresor debe ser tal que el vapor producido en el evaporador sea sacado a la misma velocidad que el mismo es generado por la acción de ebullición del líquido refrigerante.

Si el refrigerante se vaporiza con mayor rapidez de la que el compresor sea capaz de extraerlo se acumulará un exceso de vapor en el evaporador y provocará un aumento de presión en el evaporador, lo que a su vez causará el que se incremente la temperatura de ebullición del líquido.

Por otra parte, si la capacidad del compresor es tal que el compresor elimine muy rápidamente al vapor del evaporador, disminuirá la presión en el evaporador y como resultado de ello disminuirá también la temperatura de ebullición del líquido refrigerante, en cualquiera de los casos las condiciones de diseño no mantienen satisfactoriamente al sistema de refrigeración.

4.3 Cálculo de nuevas cargas térmicas

En la sección 4.1 se mencionó que la ampliación del sistema de refrigeración consistía en la introducción de un banco de hielo de similares dimensiones y carga térmica que el ya existente, además de la línea de producción No.3 de idénticas dimensiones y también carga térmica de refrigeración que la línea de producción No.1.

Por consiguiente los cálculos para las cargas térmicas de los nuevos equipos los tomamos directamente de los ya obtenidos (sección 3.9) siendo estos:

- banco de hielo: **43 toneladas de refrigeración**
- línea de producción No. 3: producción estimada de 17100 litros/hora
Igual a : **150 toneladas de refrigeración.**

Carga térmica de refrigeración total con nuevos evaporadores: = Línea de producción No.1 + línea de producción No.2 + línea de producción No. 3 + banco de hielo No.1 + banco de hielo No.2

Carga térmica de refrigeración total con nuevos evaporadores: = 150 TR. + 90 TR. + 150 TR. + 43 TR. + 43 TR.

Carga térmica de refrigeración total con nuevos evaporadores: =
476 toneladas de refrigeración.

Es importante aplicar un factor de seguridad del 10 % al consumo total de carga térmica para el nuevo diseño del sistema de refrigeración.

Carga térmica de refrigeración total con nuevos evaporadores: = (476 TR. * 10 %)

Carga térmica de refrigeración total con nuevos evaporadores:

525 toneladas de refrigeración

Ahora corresponde el cálculo de la masa de amoníaco necesaria para el nuevo diseño del sistema de refrigeración:

Masa de amoníaco = (toneladas de refrigeración * 12000 btu/hora) / Δh

La diferencia de entalpía Δh se obtiene en la sección 3.9, la cual nos deja los siguientes resultados:

$$h_1 = 617.9 \text{ btu / libra}$$

$$h_4 = 147 \text{ btu / libra}$$

$$\Delta h = 471 \text{ btu / libra}$$

$$\text{Masa de amoníaco} = (525 \text{ TR.} * 12000 \text{ btu/hora}) / (471 \text{ btu / libra})$$

$$\text{Masa de amoníaco} = \mathbf{13375.8 \text{ libras de amoníaco / hora}}$$

4.4 Selección de compresores

Los compresores son denominados el corazón de cualquier sistema de refrigeración es por esto, que su selección debe ser manejada cuidadosamente para tener una capacidad que no exceda o falte en el sistema.

Primeramente, se calcula la potencia de los compresores; primero la "capacidad volumétrica", con base en el flujo de amoníaco y el volumen específico del amoníaco en las condiciones de aspiración del compresor en el punto 1 de la figura 14 y usando la figura 19.

Buscamos en la columna de presión manométrica, posteriormente interceptándose con la columna de volumen gaseoso v_g (en el punto 1 el refrigerante se encuentra gaseoso), el valor de 34 psig, no encontrándose el dato exacto procedemos a interpolar los más cercanos, el resultado es:

$$v_1 = 5.855 \text{ pie}^3 / \text{libra}$$

$$\text{Capacidad volumétrica} = (\text{volumen específico} * \text{masa de amoníaco}) / 60 \text{ min/hr}$$

$$\text{Capacidad volumétrica} = (5.855 \text{ pie}^3 / \text{libra} * 13375.8 \text{ libra/hora}) / 60 \text{ min/hr}$$

$$\text{Capacidad volumétrica} = \mathbf{1305 \text{ pie}^3 / \text{min.}}$$

Posteriormente se calcula la potencia teórica, considerando el aumento de la entalpía que ocurre en el compresor desde el punto 1 al punto 2 (Δh) de la figura 14, y con la masa de refrigerante:

$$W = \text{Masa de amoníaco} * \Delta h$$

La masa de amoníaco es de 13375.8 libra / hr (sección 4.3)

La diferencia de entalpía entre los puntos 1 y 2 (Δh) de la figura 14, observamos que el punto 2 se encuentra afuera de la campana, en el área de vapor sobrecalentado, en la figura 21 buscamos la presión

manométrica de 175 psig que es igual a 190 psia, la lectura del vapor sobrecalentado realizada al sistema en el manifold de distribución de vapor es de 122.5 ° F, ésta temperatura es buscada en la columna de temperaturas y se intercepta con la de entalpía, debido a que no tenemos el dato exacto interpolamos las dos más cercanas, el resultado es:

$$h_2 = 654.4 \text{ btu/libra.}$$

$$h_1 = 617.9 \text{ btu/libra (sección 4.3)}$$

$$\Delta h = 36.5 \text{ btu/libra}$$

tenemos entonces:

$$W = 13375.8 \text{ libra/hora} * 36.5 \text{ btu/libra}$$

$$W = 488216.7 \text{ btu/hora}$$

Si 1 HP = 2545 btu/hora , tenemos:

$$W = (488216.7 \text{ btu/hora}) / 2545 \text{ btu/hora}$$

$$W = 192 \text{ HP teóricos.}$$

Para obtener la potencia real hay que dividir la potencia teórica por una eficiencia que considere las pérdidas de calor en el compresor, pérdidas de energía por la transmisión desde el motor eléctrico hasta el compresor, etc. la eficiencia depende del fabricante, supondremos una del 85 %.

$$W = 192 \text{ HP} / 0.85$$

$$W = 226 \text{ HP}$$

Al considerar la selección de un compresor (en este caso Vilter) el fabricante provee una tabla que entrega capacidades de refrigeración y potencias requeridas para los distintos modelos que ofrecen y bajo ciertas condiciones de operación.

La carga térmica para el sistema de refrigeración es de 525 TR. y la capacidad actual es de 294 TR. (sección 3.10) por lo cuál es necesario realizar el balance de cargas para que el sistema opere correctamente.

Primero se toma en cuenta la presión de condensación del sistema (175 psig), esta sirve para buscar en la figura 20 , en la columna de presión de condensación, posteriormente se busca en la columna de presión de succión del sistema (34 psig), al no tener el dato exacto interpolamos todas las columnas de los distintos modelos de compresores, el resultado es la tabla V

Tabla V Modelo del compresor

Pre succ.	442	444	446	448	4412	4416
33.5 psig	23.7 TR	47.4 TR	71.1 TR	94.8 TR	142.2 TR	189.6 TR
34 psig	24.05TR	48.12TR	72.2TR	96.25TR	144.TR	192. TR
39 psig	27.6 TR	55.3 TR	82.9 TR	110.6 TR	165.9 TR	221.2 TR

Los anteriores cálculos se realizaron con las tablas correspondientes a la serie VMC de Vilter, aunque se pudieron haber realizado con otra serie de compresores de la misma marca o distinta.

El sistema de refrigeración de la Embotelladora del Pacífico posee tres compresores VMC 448 (sección 3.2), que proveen una producción de 294 TR. por lo que nos queda una carga faltante para el nuevo diseño de:

$$525 \text{ TR.} - 294 \text{ TR.} = 231 \text{ TR.}$$

Existen varias alternativas para cubrir las 231 TR. faltantes por producir, las cuáles son:

Tabla VI

Opciones para adquisición de compresores

Opción A	2 compresores 446 y	1 compresor 448 = 241 TR
Opción B	1 compresor 448 y	1 comp. 4412 = 241 TR
Opción C	1 compresor 444 y	1 compresor 4416 = 241 TR

Las tres opciones anteriores nos dan una producción de 241 TR.

La mejor opción de selección en este caso es " B " debido a que solo se tienen que adquirir dos compresores y uno de ellos es igual a los ya existentes, lo cuál es un beneficio al momento de realizar un mantenimiento, ya que se manejaría la misma línea de repuestos para cuatro compresores idénticos.

Otros factores importantes a tomar en cuenta a la hora de seleccionar compresores son:

- Monto de Inversión
- Facilidades de mantenimiento en época de menor producción
- Facilidades para superar una falla en época de mayor producción
- Espacio físico para los nuevos compresores

Los compresores tienen un rango de rpm en que pueden trabajar sin problemas (la tabla V fue tomada con los datos proporcionados por Vilter de la figura 20, tienen una velocidad de operación de 1200 rpm) de 730 rpm a 1200 rpm, según Vilter por sobre las 1200 rpm se tienen problemas con los materiales de construcción de los compresores y por debajo de 730 rpm hay problemas con las fajas de transmisión.

Por lo tanto, se puede calcular las rpm a las que los compresores nuevos trabajarán:

241 TR ----- 1200 rpm

231 TR ----- x

x = 1150 rpm

4.5 Selección de condensadores evaporativos

Al realizarse la ampliación del sistema de refrigeración, es importante verificar si los condensadores evaporativos tienen la capacidad de trabajar correctamente con las nuevas cargas de refrigeración, actualmente se tienen dos condensadores de la serie Vilter VPC 260 y uno de la serie VPC 220 (no se encuentra funcionando).

La carga de refrigeración que se tiene es de 525 TR., la temperatura máxima de bulbo húmedo en el municipio de Cuyotenengo, Suchiltepéquez es de 77 ° F que es igual a 25 ° C.

Conocemos temperaturas y presiones por medio de las tablas de la figura 19 de:

- succión = 20.45 ° F a una presión de 34 psig
- condensación = 93 ° F a una presión de 175 psig.

En la figura 28 proporcionado por Vilter se obtiene el factor de corrección para la temperatura de bulbo húmedo y de temperatura de condensación, la forma de uso de esta tabla es como sigue:

En la parte inferior se encuentra la fila de temperatura de bulbo húmedo y nos ubicamos en esa temperatura (77 ° F) subimos perpendicularmente hasta interceptar la temperatura de condensación (93 ° F), perpendicularmente y hacia la izquierda vemos el resultado de 0.60, lo llamaremos F_1 .

En la tabla de abajo encontramos el gráfico de factor de corrección debido a la temperatura de succión (20.45 ° F), buscamos en la fila de amoníaco, el resultado es 1 y lo llamaremos F_2 .

Ahora evaluamos la capacidad de los condensadores evaporativos según el modelo que son, VPC 260 y VPC 220.

$$\text{Capacidad} = \text{modelo} * F_1 * F_2$$

$$\text{Capacidad} = 260 * 0.60 * 1$$

$$\text{Capacidad} = 156 \text{ TR}$$

$$\text{Capacidad} = 156 \text{ TR.} * 2 \text{ condensadores}$$

$$\text{Capacidad} = \mathbf{312 \text{ TR.}}$$

Para la demanda actual sí cumple la capacidad de los condensadores evaporativos, pero para la nueva carga es evidente que no, procedemos a calcular las toneladas de refrigeración que tenemos en déficit:

Déficit = carga térmica total - TR. Instaladas

Déficit = 525 TR. - 312 TR.

Déficit = 213 TR.

Como se mencionó existe en la Embotelladora un condensador evaporativo que no se encuentra operando pero esta en buenas condiciones, la capacidad de éste condensador es:

Capacidad = modelo * F₁ * F₂

Capacidad = 220 * 0.60 * 1

Capacidad = 132 TR.

Sumamos estas toneladas de refrigeración a las que tenemos:

Capacidad total = 312 TR. + 132 TR.

Capacidad total = 444 TR.

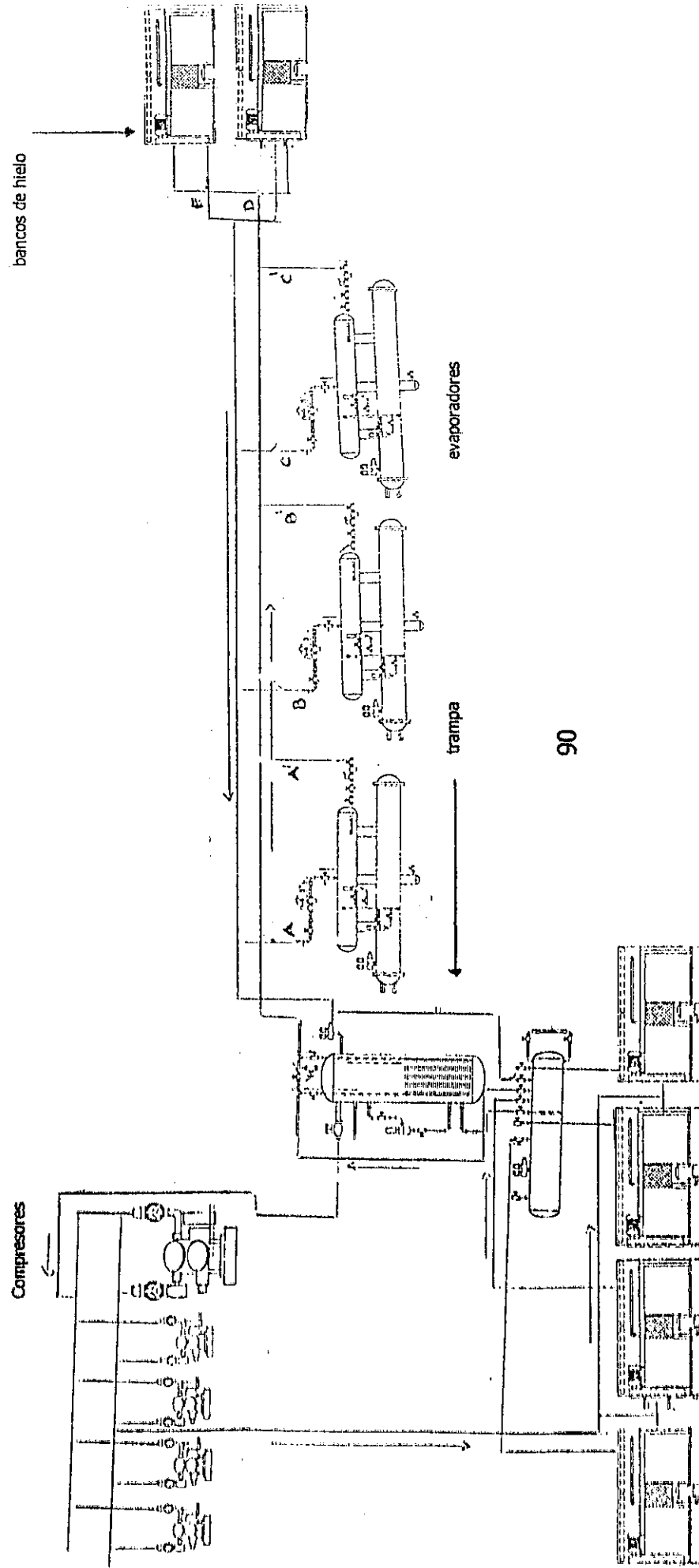
Aún conservamos un déficit de : 525 TR. - 444 TR. = 81 TR., lo cuál sería necesario la instalación de otro condensador evaporativo Vilter de la serie VPC 220 con una capacidad de 132 TR. con lo que se obtiene una capacidad de:

Capacidad final = 444 TR. + 132 TR.

Capacidad final = 576 TR.

Figura 18

Sistema de refrigeración ampliado de la Embotelladora del Pacífico



4.6 Diseño de la tubería de amoníaco

En general, el tipo de material empleado en tuberías para refrigeración, depende del tamaño y naturaleza de la instalación, del refrigerante utilizado, del costo de los materiales y mano de obra.

Tomando en cuenta las consideraciones anteriores, se realizan los cálculos de tubería de amoníaco. En la figura 18 se observa el esquema de sistema de refrigeración con todos los evaporadores, éste sistema debe manejar 525 toneladas de refrigeración, por lo que se debe tomar en cuenta también que:

- La tubería de descarga no tenga una caída de presión mayor a 3 psi
- La tubería de líquido no tenga una caída de presión mayor de 2 psi y que la velocidad del refrigerante en esta tubería no sea mayor de 5 pies/ seg. para evitar pre-expansiones
- La caída de presión después de la válvula reguladora de presión en la tubería de succión no sea mayor a 2 psi.

El cálculo se inicia con el flujo másico de refrigerante, para ello se utiliza la figura 22, flujo másico por tonelada de refrigeración para refrigerante amoníaco. A este gráfico se ingresa con las temperaturas de succión y condensación (sección 4.5) y se obtiene el flujo másico por tonelada de refrigeración.

Temperatura de succión = 20.45 ° F

Temperatura de condensación = 93 ° F

Flujo másico por Ton. Refrigeración = 0.423 (lb/ (min * TR)).

Por lo que el flujo másico es:

$$M = 0.423 \text{ (lb/ (min * TR)) } * 525 \text{ TR.}$$

$$M = 225 \text{ lb/min que equivalen a 13375 lb/hr de amoníaco.}$$

TUBERÍA DE DESCARGA: en la figura 23, capacidades en TR. para líneas de descarga y líquido, se observa que para una caída de presión de 2 psi/ 100 pies, una línea de seis (6) pulgadas puede manejar hasta 1470 TR. Por lo cual debe comprobarse si éste es el diámetro apropiado ya que existe un largo de tubería y pérdidas singulares (accesorios), para lo cual se utiliza la figura de la figura 24, caídas de presión en tuberías de acero para amoníaco refrigerante vapor, se ingresa con el flujo másico y el diámetro nominal (sugerido), el punto de intersección se proyecta a través de la horizontal hasta alcanzar la temperatura de condensación, la intersección se proyecta verticalmente y se obtiene la caída de presión.

Flujo másico = 225 lb/ min.

Diámetro nominal = 6 " cédula 40

Resultado = 0.25 psi/ 100 pies (figura 24)

De acuerdo a la figura 25, los accesorios tienen los siguientes equivalentes:

$$\begin{aligned} (4) \text{ Válvula de globo de } 6'' &= 227 \text{ pies} * 4 = 908 \text{ pies} \\ (2) \text{ codo de } 6'' &= 6.8 \text{ pies} * 2 = 13.6 \text{ pies} \\ (4) \text{ tee de } 6'' &= 6.1 \text{ pies} * 4 = 24.4 \text{ pies} \\ \text{total} &= 946 \text{ pies} \end{aligned}$$

Largo total = longitud del tramo + accesorios

$$\text{Largo total} = 92 \text{ pies} + 946 \text{ pies}$$

$$\text{Largo total} = 1038 \text{ pies}$$

La caída de presión Δp es:

$$\Delta p = (0.25 \text{ psi} / 100 \text{ pies}) * 1038 \text{ pies}$$

$$\Delta p = 2.6 \text{ psi.}$$

La caída de presión cumple con el requisito de caída máxima de presión de 3 psi en la tubería de descarga.

TUBERÍA DE LÍQUIDO: de la figura 23, se observa que una línea de tres " puede manejar hasta 2270 TR. con una caída de 2 psi / 100 pies, el dato parece exagerado pero hay que tomar en cuenta las pérdidas por accesorios.

Punto de O - A' (figura 18.)

Flujo másico = 225 lb/ min.

Diámetro nominal = 3 " cédula 40

Resultado = 0.12 psi/ 100 pies (figura 26)

Velocidad del líquido refrigerante = 1.9 ples / segundo

De acuerdo a la figura 25, los accesorios tienen los siguientes equivalentes:

(2) Válvula de globo de 3 "	= 123 ples * 2 = 246 ples
(4) codo de 3 "	= 3.4 ples * 4 = 13.6 ples
(1) tee de 3 "	= 3.6 ples * 1 = 3.6 ples
	total = 263.2 ples

Largo total = longitud del tramo + accesorios

Largo total = 94 ples + 263.2 ples

Largo total = 357 ples

La caída de presión Δp es:

$\Delta p = (0.12 \text{ psi/ } 100 \text{ ples}) * 357 \text{ ples}$

$\Delta p = 0.43 \text{ psi.}$

Punto de A' - B' (figura 18)

Al flujo másico le restamos lo del primer evaporador que es 165 TR. (525 TR. - 165 TR) = 360 TR, una nota importante es que, la carga de los

evaporadores al restarse están afectados por un 10 % de factor de seguridad. (sección 4.3)

Proseguimos con una regla de tres simple:

525 TR ----- 225 lb/min

360 TR. ----- x

x = 154.3 lb/min

Flujo másico = 154.3 lb/ min.

Diámetro nominal = 2 ½ " cédula 40

Resultado = 0.18 psi/ 100 pies (figura 26)

Velocidad del líquido refrigerante = 2.1 pies / segundo

De acuerdo a la figura 25, los accesorios tienen los siguientes equivalentes:

(1) Válvula de globo de 2 ½ "	= 101 pies * 1 = 101 pies
(1) codo de 2 ½ "	= 2.7 pies * 1 = 2.7 pies
(1) tee de 2 ½ "	= 2.9 pies * 1 = 2.9 pies
	total = 106.6 pies

Largo total = longitud del tramo + accesorios

Largo total = 65.5 pies + 106.6 pies

Largo total = 172 pies

La caída de presión Δp es:

$$\Delta p = (0.18 \text{ psi/ 100 pies }) * 172 \text{ pies}$$

$$\Delta p = \mathbf{0.31 \text{ psi.}}$$

Punto de B' - C' (figura 18)

Al flujo másico le restamos lo de 2 evaporadores, que es 265 TR. (525 TR. - 165 TR - 100 TR) = 260 TR

Proseguimos con una regla de tres simple:

$$525 \text{ TR} \text{ ----- } 225 \text{ lb/min}$$

$$260 \text{ TR.} \text{ ----- } x$$

$$x = 111.5 \text{ lb/min}$$

Flujo másico = 111.5 lb/ min.

Diámetro nominal = 2 " cédula 40

Resultado = 0.2 psi/ 100 pies (figura 26)

Velocidad del líquido refrigerante = 2 pies / segundo

De acuerdo a la figura 25, los accesorios tienen los siguientes equivalentes:

$$(1) \text{ Válvula de globo de 2 " } = 63 \text{ pies} * 1 = 63 \text{ pies}$$

$$(3) \text{ codo de 2 " } = 2.3 \text{ pies} * 3 = 6.9 \text{ pies}$$

$$(1) \text{ tee de 2 " } = 2.5 \text{ pies} * 1 = 2.5 \text{ pies}$$

$$\text{total} = 72.4 \text{ pies}$$

Largo total = longitud del tramo + accesorios

Largo total = 210 pies + 72.4 pies

Largo total = 282.4 pies

La caída de presión Δp es:

$\Delta p = (0.2 \text{ psi/ 100 pies}) * 282.4 \text{ pies}$

$\Delta p = 0.56 \text{ psi.}$

Punto de C'-D (figura 18)

Al flujo másico le restamos lo de 3 evaporadores que es 430 TR. (525 TR. - 165 TR - 100 TR. - 165 TR.) = 95 TR

Proseguimos con una regla de tres simple:

525 TR ----- 225 lb/min

95 TR. ----- x

x = 41 lb/min.

Flujo másico = 41 lb/ min.

Diámetro nominal = 1 ½ " cédula 80

Resultado = 0.17 psi/ 100 pies (figura 26)

Velocidad del líquido refrigerante = 1.5 pies / segundo

De acuerdo a la figura 25, los accesorios tienen los siguientes equivalentes:

$$\begin{aligned}
 (1) \text{ Válvula de globo de } 1 \frac{1}{2} \text{ "} &= 51 \text{ pies} * 1 = 51 \text{ pies} \\
 (1) \text{ codo de } 1 \frac{1}{2} \text{ "} &= 1.8 \text{ pies} * 1 = 1.8 \text{ pies} \\
 (1) \text{ tee de } 1 \frac{1}{2} \text{ "} &= 2.0 \text{ pies} * 1 = 2.0 \text{ pies} \\
 &\text{total} = 55 \text{ pies}
 \end{aligned}$$

Largo total = longitud del tramo + accesorios

Largo total = 51 pies + 55 pies

Largo total = 106 pies

La caída de presión Δp es:

$$\Delta p = (0.17 \text{ psi/ 100 pies}) * 106 \text{ pies}$$

$$\Delta p = 0.18 \text{ psi.}$$

Punto de D – E (figura 18)

Al flujo másico le restamos lo de 4 evaporadores que es 477.5 TR. (525 TR. - 165 TR - 100 TR - 165 TR - 47.5TR) = 47.5 TR

Proseguimos con una regla de tres simple:

$$525 \text{ TR} \text{ ----- } 225 \text{ lb/min}$$

$$47.5 \text{ TR.} \text{ ----- } x$$

$$x = 20.5 \text{ lb/min}$$

Flujo másico = 20.5 lb/ min.

Diámetro nominal = 1 ¼ " cédula 80

Resultado = 0.1 psi/ 100 pies (figura 26)

Velocidad del líquido refrigerante = 1 pies / segundo

De acuerdo a la figura 25, los accesorios tienen los siguientes equivalentes:

(1) Válvula de globo de 1 ¼ " = 46 pies * 1 = 46 pies

(2) codo de 1 ¼ " = 1.6 pies * 2 = 3.2 pies

total = 49.2 pies

Largo total = longitud del tramo + accesorios

Largo total = 17.3 pies + 49.2 pies

Largo total = 66.5 pies

La caída de presión Δp es:

$\Delta p = (0.1 \text{ psi/ 100 pies }) * 66.5 \text{ pies}$

$\Delta p = 0.07 \text{ psi.}$

La caída de presión total es: $0.43 + 0.31 + 0.56 + 0.18 + 0.07$

La caída de presión total es: 1.55 psi

TUBERÍA DE SUCCIÓN: en la figura 27 encontramos directamente los valores de caída máxima de presión de 2 psi/100 pies para la temperatura de succión de 20° F.

Se realizan los cálculos para los mismos tramos anteriores con la misma distancia y accesorios (no se toman la válvulas reguladoras de presión)

Punto de E – D (figura 18)

Seleccionamos el valor de tubería de 3", para el primer tramo, nuevamente se trabaja con la figura 24, con la salvedad que la proyección horizontal se hace hasta alcanzar la temperatura de succión 20 ° F , en vez de la temperatura de condensación.

Flujo másico = 20.5 lb/ min.

Diámetro nominal = 3 " cédula 40

Resultado = 0.2 psi/ 100 ples (figura 24)

De acuerdo a la figura 25, los accesorios tienen los siguientes equivalentes:

$$\begin{aligned} (2) \text{ codo de } 3 " &= 3.4 \text{ ples} * 2 = 6.8 \text{ ples} \\ &\text{total} = 6.8 \text{ ples} \end{aligned}$$

Largo total = longitud del tramo + accesorios

Largo total = 17.3 ples + 6.8 ples

Largo total = 24.1 ples

La caída de presión Δp es:

$$\Delta p = (0.2 \text{ psi/ } 100 \text{ ples}) * 24.1 \text{ ples}$$

$$\Delta p = 0.05 \text{ psi.}$$

Punto de D – C (figura 18)

Seleccionamos el valor de tubería de 4" , para el segundo tramo, nuevamente se trabaja con el figura 24.

Flujo másico = 41 lb/ min.

Diámetro nominal = 4 " cédula 40

Resultado = 0.2 psi/ 100 pies (figura 24)

De acuerdo a la figura 25, los accesorios tienen los siguientes equivalentes:

(1) codo de 4"	= 4.5 pies * 1 = 4.5 pies
(1) tee de 4"	= 4.5 pies * 1 = 4.5 pies
	total = 9 pies

Largo total = longitud del tramo + accesorios

Largo total = 51 pies + 9 pies

Largo total = 60 pies

La caída de presión Δp es:

$\Delta p = (0.2 \text{ psi/ 100 pies }) * 60 \text{ pies}$

$\Delta p = 0.12 \text{ psi.}$

Punto de C – B (figura 18)

Seleccionamos el valor de tubería de 6" , para el tercer tramo, nuevamente se trabaja con el figura 24.

Flujo másico = 111.5 lb/ min.

Diámetro nominal = 6 " cédula 40

Resultado = 0.16 psi/ 100 pies (figura 24)

De acuerdo a la figura 25, los accesorios tienen los siguientes equivalentes:

$$\begin{aligned} (3) \text{ codo de } 6'' &= 6.8 \text{ pies} * 3 = 20.4 \text{ pies} \\ (1) \text{ tee de } 6'' &= 6.1 \text{ pies} * 1 = 6.1 \text{ pies} \\ &\text{total} = 26.5 \text{ pies} \end{aligned}$$

Largo total = longitud del tramo + accesorios

Largo total = 210 pies + 26.5 pies

Largo total = 236.5 pies

La caída de presión Δp es:

$\Delta p = (0.16 \text{ psi/ } 100 \text{ pies}) * 236.5 \text{ pies}$

$\Delta p = 0.38 \text{ psi.}$

Punto de B – A (figura 18)

Seleccionamos el valor de tubería de 6 " , para el cuarto tramo, nuevamente se trabaja con la figura 24.

Flujo másico = 154.3 lb/ min.

Diámetro nominal = 6 " cédula 40

Resultado = 0.35 psi/ 100 pies (figura 24)

De acuerdo a la figura 25, los accesorios tienen los siguientes equivalentes:

$$\begin{aligned}(1) \text{ codo de } 6'' &= 6.8 \text{ pies} * 1 = 6.8 \text{ pies} \\(1) \text{ tee de } 6'' &= 6.1 \text{ pies} * 1 = 6.1 \text{ pies} \\&\text{total} = 12.9 \text{ pies}\end{aligned}$$

Largo total = longitud del tramo + accesorios

Largo total = 65.5 pies + 12.9 pies

Largo total = 78.4 pies

La caída de presión Δp es:

$\Delta p = (0.35 \text{ psi/ } 100 \text{ pies}) * 78.4 \text{ pies}$

$\Delta p = 0.27 \text{ psi.}$

Punto de A – manifold de admisión

Seleccionamos el valor de tubería de 8 ", para el quinto tramo, nuevamente se trabaja con la figura 24.

Flujo másico = 225 lb/ min.

Diámetro nominal = 8 " cédula 40

Resultado = 0.13 psi/ 100 pies (figura 24)

De acuerdo a la figura 25, los accesorios tienen los siguientes equivalentes:

(6) codo de 8"	= 9.0 pies * 6 = 54 pies
(2) tee de 8"	= 7.1 pies * 2 = 14.2 pies
(2) válvulas de globo	= 295 pies * 2 = 590 pies
	total = 658.2 pies

Largo total = longitud del tramo + accesorios

Largo total = 147.5 pies + 658.2 pies

Largo total = 805.7 pies

La caída de presión Δp es:

$\Delta p = (0.13 \text{ psi/ 100 pies }) * 805.7 \text{ pies}$

$\Delta p = 1.05 \text{ psi.}$

La caída de presión total es: $0.05 + 0.12 + 0.38 + 0.27 + 1.05$

La caída de presión total es : 1.87 psi

4.7 Arranque inicial del sistema

Los sistemas de refrigeración no pueden operar a su máxima eficiencia si no se encuentran libres de suciedad, gases no condensables y humedad, la contaminación es uno de los más graves problemas especialmente en aquellos ensamblados en sitio.

Entre los efectos que produce la contaminación en los sistemas están:

- Obstrucción de los filtros, no permitiendo el paso del flujo del refrigerante
- Desgaste de las paredes de los cilindros en los compresores reciprocantes
- Reducción de la transferencia de calor en los intercambiadores de calor
- Caídas de presión excesivas, incrementando el consumo de energía.
- Mal cierre de las válvulas
- Acumulación de suciedad en los orificios de las válvulas de control causando operaciones erróneas de éstas
- Reducción de la calidad del aceite de lubricación

Las tuberías de acero usadas en la instalación de un sistema deberán de estar libres de óxido, escamas, costras y barnices. Después del baño químico la tubería debe ser cubierta con una película de aceite de refrigeración para prevenir oxidaciones.

Las conexiones roscadas, que son muy usadas en sistemas de amoníaco, son otro punto de contaminación al sistema debido al excesivo teflón en la rosca que algunos instaladores utilizan.

Al momento de soldar la tubería deberá hacerse de forma de que los gases, producto de la soldadura, no entre en el sistema. El calor generado al realizarse esta acción, al mezclarse con el aire interior de las tuberías provoca incrustaciones, estas pueden reducirse purgando la tubería con chorros de nitrógeno seco durante el proceso de soldadura, el nitrógeno desplaza al aire evitando óxidos e incrustaciones.

4.8 Aceite en los sistemas de refrigeración

En todo tipo de equipos de compresión mecánica es necesario lubricar las partes móviles, esto reduce fricción, minimiza desgaste y consumo de energía, el calor absorbido por el aceite es consecuentemente rechazado por intercambio de calor el cual puede ser enfriado por refrigerante o por agua. Las propiedades que debe tener todo aceite en los sistemas de refrigeración son excelente viscosidad, estabilidad, no volverse corrosivo, bajo punto de fluidez y compatibilidad con los refrigerantes.

Los aceites que se utilicen en sistemas de refrigeración por amoníaco deben estar completamente libres de ceras. Las purgas de aceite en los depósitos, evaporadores y cualquier tanque que contenga amoníaco deberán de purgarse frecuentemente, así como reabastecer el cárter del compresor con aceite nuevo.

5. SEGURIDAD INDUSTRIAL EN EL MANEJO DE AMONIACO

El refrigerante denominado amoníaco anhidro, cuya denominación comercial es conocida como R-717, no es un veneno acumulativo, tiene un olor nauseabundo muy característico, que aún a bajas concentraciones, es detectado por la mayoría de las personas.

El amoníaco se detecta de inmediato, en caso de filtraciones mínimas, sirve como su propio agente de advertencia, es muy difícil que una persona permanezca por su propia decisión en áreas en que exista una pequeña filtración de amoníaco. Debido a que el amoníaco es más ligero que el aire, el mejor medio para prevenir acumulaciones peligrosas es una adecuada ventilación.

La experiencia ha demostrado que el amoníaco es extremadamente difícil de arder, y bajo condiciones normales es un compuesto muy estable. Bajo condiciones extremas, el amoníaco puede formar mezclas explosivas con el aire y el oxígeno, por lo que esta situación debería tratarse con mucho cuidado.

5.1 Recomendaciones en caso de accidente

En caso de una emergencia debido a una fuga de amoníaco en el sistema de refrigeración proceder de la siguiente manera:

- Mantener la calma.
- Proteger primero la vida, despejando la sala de máquinas del personal.
- Despejar todos los edificios cercanos de personas.
- Avisar a la compañía de electricidad y cuerpo de bomberos, si la fuga es demasiado grande.
- Con el personal de mantenimiento presente, se podrá cortar la energía eléctrica en la entrada principal de la planta.
- El cuerpo de bomberos deberá usar máscaras con aire comprimido, la planta deberá tener máscaras de este tipo, ubicadas en la parte exterior del edificio.
- Si la energía eléctrica está cortada y ya no existe peligro de explosión, entrar al edificio con máscara de aire y con una cuerda amarrada alrededor de la cintura para proceder a cerrar las válvulas correspondientes y detener la filtración.
- Las máscaras portátiles con filtro solamente son efectivas en caso de filtraciones pequeñas y son MUY PELIGROSAS si se usan en caso de filtraciones mayores incontroladas. Todas las máscaras deberán mantenerse en la parte exterior de la sala de máquinas.

Al entrar en un recinto con un ambiente que contenga amoníaco, es absolutamente necesario colocarse una máscara provista para este fin, aún cuando la concentración sea pequeña. Esta máscara debe cubrir completamente los ojos, la nariz y la boca.

Las manos deben estar protegidas por guantes de cuero o de hule para impedir las quemaduras provocadas al tocar elementos que están impregnados de amoníaco líquido, en caso de encontrarse una persona accidentada dentro del recinto afectado proceder de la siguiente manera.

5.1.1 Quemaduras por vapor de amoníaco

- 1- Evacuar a la persona afectada del recinto contaminado y expóngala al aire libre, si la persona tiene la ropa mojada o impregnada con amoníaco, deberá ser despojado de ésta rápidamente, lavar su 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 aplicar una solución de ácido pícrico o vaselina amarilla, con mucho cuidado en las áreas afectadas, mantener al paciente abrigado hasta que llegue un médico.
- 2- Si el accidentado está consciente y no presenta quemaduras en la boca, se le puede suministrar té o café dulce, tibio o caliente.
- 3- Si la persona está inconsciente y presente problemas de respiración, aplicarle respiración artificial de boca a boca.
- 4- El oxígeno puede ser administrado solamente por una persona autorizada por un médico.
- 5- Colocar un paño impregnado en vinagre diluido con agua sobre la nariz y la boca, a fin de que la persona inhale los vapores del vinagre.

- 6- En caso de haber estornudos fuertes, es aconsejable suministrar píldoras de codeína al 3% a la persona afectada.
- 7- La víctima no deberá caminar, sino que deberá ser transportada por el personal de la clínica.

5.1.2 Salpicadura de líquido de amoníaco en los ojos

- 1- Lavar los ojos en forma inmediata con una solución de 2 ½ % de ácido bórico y 2 ½ de borax en agua destilada, abriendo los ojos del afectado lo más posibles, levantándole los párpados.
- 2- En caso de que no se tengan las sustancias arriba mencionadas, usar agua tibia, a la temperatura del cuerpo, durante media hora.
- 3- No frotar por ningún motivo, ni permita que la víctima lo haga.
- 4- Llamar de inmediato a un médico especialista en ojos.

5.1.3 Ingerir agua contaminada con amoníaco

- 1- En caso que el afectado esté consciente, se le deberá hacer tomar inmediatamente vinagre diluido, jugo de limón o limonada en grandes cantidades (varios litros) hasta hacerlo vomitar. Además, se le puede hacer tomar agua caliente para acelerar el proceso.
- 2- Después de que la víctima haya vomitado, deberá tomar leche o la clara de tres huevos y hielo. Es imprescindible que el afectado sea tratado por un médico.

Como media de precaución, en caso de accidentes en plantas en las que se use amoníaco, es aconsejable disponer cerca de la sala de máquinas, de una ducha o de preferencia de un estanque donde se puedan introducir a las personas afectadas.

5.2. Utensilios para primeros auxilios

La planta debe tener un botiquín de primeros auxilios con los siguientes medicamentos y elementos a la vista, y de acceso fácil, es imprescindible que cada frasco o botella contenga una etiqueta con el nombre, uso y forma de empleo.

- Una botella conteniendo 2 ½ % de borax y 2 ½ % de ácido bórico en agua destilada, para salpicadura de líquido en los ojos.
- Dos botellas de vinagre diluido (5 partes de agua por 1 parte de vinagre) para que la persona inhale los vapores del vinagre.
- Una botella de ácido pícrico para las quemaduras de la piel.
- Un frasco de vaselina blanca para los ojos.
- Un frasco de vaselina amarilla para las quemaduras de piel.
- Un frasco de píldoras de codeína al 3% para los estornudos fuertes.
- Un paquete de algodón.
- Un paquete de gasa.
- Un platillo.
- Equipo especial para lavado de ojos.
- Un vaso para tomar líquidos.

5.3 Equipos de protección

Cada sala de máquinas tendrá el siguiente equipo de seguridad como mínimo para cada persona o trabajador en el área. El equipo de emergencia estará ubicado en un lugar accesible al exterior de la sala de máquinas.

- Una máscara facial con filtro (canister) para amoníaco; este filtro es efectivo por cortos períodos de tiempo en concentraciones ligeras de vapor de amoníaco, generalmente de 15 minutos de concentración del 3% o menor y no protege en concentraciones altas de vapores de amoníaco. Si vapores de amoníaco son detectados cuando se esté usando la máscara facial, nos indica que la concentración es demasiado alta por lo que su uso ya no es seguro.
- La vida de un filtro en servicio está controlada por el porcentaje de vapor de amoníaco a la que está expuesto. Los filtros no deben ser abiertos hasta que estén listos para usarse, y serán descartados después de su uso, aún cuando sea por breve tiempo.
- Los filtros sin abrir pueden ser garantizados por un período de tres años, los filtros deberán ser etiquetados con fecha cuando sean recibidos en bodega debido a su vida limitada. Además de esta protección, debe de usarse una máscara facial con suministro de aire independiente, del tipo usado por los cuerpos de bomberos o para pesca submarina (scuba),

para emergencias severas de pérdidas de amoníaco, y cada sala de máquinas debería de tener por lo menos uno de estos equipos:

- Un par de guantes de hule
- Un par de botas de hule
- Un impermeable de hule y/o pantalones y chaqueta de hule.
- Una linterna de buena calidad.
- Una regadera o ducha fácilmente accesible por lo menos, un tonel abierto en la parte superior, con agua limpia y con una regadera tipo jardín, cerca de la sala de máquinas.
- En una caja con puerta de vidrio, fácil de quebrar, se deberá mantener en forma permanente una cantidad adecuada de mechas de azufre y cerillos, para detectar en forma rápida, cualquier filtración de amoníaco por leve que esta sea.
- Botiquín de primeros auxilios, cerca de la sala de máquinas.

5.4 ¿Qué hacer en caso de localizar una fuga de amoníaco sensible al olfato?

- **DEJAR DE RESPIRAR, INMEDIATAMENTE.** Por lo general una persona puede estar entre 25 a 30 segundos sin sentir la necesidad inminente de respirar. En caso de ser necesario, respire ligeramente y deje de hacerlo apenas sienta el olor de amoníaco en su nariz.

- ENTRECIERRE LOS OJOS, para disminuir la exposición de la humedad de estos a los efectos del amoníaco.
- MANTENER LA BOCA CERRADA, no hable mientras se mantenga en un ambiente saturado de amoníaco.
- INCLINARSE debido a que el amoníaco es más liviano que el aire, siempre tenderá a estar en la parte superior de cualquier ambiente.
- NO CORRER, ubique con toda calma la salida más cercana y sin prisa, camine hacia ella.
- Una vez en el exterior, ubicar una llave de agua y lávese con abundante agua cualquier parte del cuerpo que haya sido afectada por el amoníaco.
- Informar de inmediato al personal de mantenimiento para que se tomen las medidas correctivas correspondientes.

5.5 Efectos fisiológicos en el ser humano

El amoníaco es fácil de detectar en el aire, debido a su olor característico y que en concentraciones pequeñas en el ambiente obligan al personal a salir del recinto afectado.

El amoníaco debido a que es muy soluble en el agua (a temperatura ordinaria y a presión atmosférica, un litro de agua puede absorber 700 litros de vapor de amoníaco, que corresponde aproximadamente medio kilo de amoníaco líquido), ataca todas las partes húmedas del cuerpo, en especial: ojos, nariz, garganta y pulmones.

Con una concentración de 0.035% de amoníaco en el ambiente, al poco tiempo de exposición surgen daños o lesiones corporales que presentan los siguientes síntomas:

- fuerte irritación de los ojos y nariz,
- estornudos, salivación excesiva,
- dolor de cabeza y enrojecimiento de la cara
- fuerte transpiración.

Estos efectos empiezan en los primeros minutos de exposición de la persona, al salir al ambiente no contaminado, la recuperación del individuo es rápida y fácil.

Las concentraciones más fuertes atacan las córneas de los ojos, las membranas mucosas de la garganta, los estornudos son más frecuentes y dolorosos, se tienen una sensación de asfixia llegando a la paralización del aparato respiratorio (pulmones) en la persona, lo que da como resultado la muerte del individuo.

5.6 Manejo seguro del amoníaco

- Tener a la mano una cuerda larga para amarrar a una persona en caso que necesite entrar de emergencia en una cámara o sala impregnada con cualquier refrigerante, esto sirve como una guía para salir, además en caso necesite ubicar y rescatar a otra persona.
- NUNCA ENTRE A UNA SALA QUE TENGA ALTAS CONCENTRACIONES DE AMONÍACO SIN ESTAR ACOMPAÑADO DE OTRA PERSONA.

- Comprobar las temperaturas del aceite y de las descargas del compresor, mantenerlas de acuerdo con las indicaciones del fabricante del compresor y determine la causa si las temperaturas límites han sido sobrepasadas.
- Por ningún motivo hay que colgarse, pararse o apoyarse en la tubería que conduce al refrigerante, además si encuentra cualquier tipo de vibración en esta tubería repórtelo de inmediato al jefe de mantenimiento para que sea eliminada.
- Mantener protegidas las poleas y las fajas del compresor y no ponerlo a operar hasta que las protecciones estén colocadas en su lugar.
- CONECTAR LAS DESCARGAS DE LAS VÁLVULAS DE SEGURIDAD A UN DIFUSOR INSTALADO EN EL EXTERIOR DEL EDIFICIO.
- Nunca cerrar la válvula de salida de un recibidor lleno de refrigerante líquido a menos que esté protegido con una válvula de seguridad de tamaño adecuado.
- Nunca exponer los recibidores, cilindros o botellas de refrigerante a un calor excesivo.
- Disponer siempre de un acompañante en caso de reparaciones en la sala de máquinas.
- Siempre usar una máscara que cubra toda la cara, cuando se hagan reparaciones en lugares donde la pérdida de amoníaco puede ocurrir.
- Desarrollar un **plan de procedimientos de emergencia** e instruir al personal de la planta, de una forma periódica, para que conozca la ubicación de la válvula de salida principal del recibidor de amoníaco, interruptor de los compresores y de la manguera de agua más cercana.

5.7 Precauciones en planta

El jefe de mantenimiento puede y debe minimizar los riesgos inherentes del amoníaco, tomando las siguientes precauciones:

- Mantener la presión de descarga dentro de los rangos normales de trabajo, entre 150 psig a 180psig, purgando el sistema todas las veces que sea necesario para evitar la acumulación de gases no condensables.
- Cuando se efectúen reparaciones con soldadura, se debe bombear el sistema, ventilar y proveer un área amplia para desahogo de la presión en caso que los vapores no pueden ser completamente eliminados.
- Eliminar lo más pronto posible cualquier tipo de fuga de amoníaco.
- Tener máscaras para gases de amoníaco (que cubran toda la cara) y exigir que se enseñe el uso apropiado.
- Deberá hacer un número suficiente de máscaras para todo el personal que tengan que entrar a zonas afectadas por pérdidas de amoníaco.
- Las máscaras deberán estar en lugares accesibles y que no estén expuestas a la contaminación de amoníaco.
- Las máscaras deben ser revisadas periódicamente para tener la seguridad de que están en buenas condiciones.
- El personal deberá practicar periódicamente el uso de máscaras, para no cometer errores o demoras en caso de alguna emergencia.
- Disponer en diversas partes de la planta de agua potable, duchas y mangueras.
- Proveer medidas adecuadas para una rápida y efectiva ventilación.

- De ser posible, tener en existencia dos máscaras faciales con sistema de aire comprimido autónomo (scuba), con trajes herméticos, que sirvan para entrar en recintos saturados de amoníaco (los cuerpos de bomberos a veces no cuentan con estos elementos de seguridad).
- Es siempre preferible mejorar al máximo las condiciones de seguridad en la planta, los controles de seguridad por alta presión serán controlados a intervalos regulares.
- Los controles de seguridad de alta presión serán retirados de su ubicación en la máquina y comprobados con un manómetro patrón.
- Asegurar que todo recibidor, acumulador o recolector, tengan una válvula de seguridad con tubo directamente hacia la parte exterior del edificio de la planta. La válvula de seguridad descargaría siempre hacia arriba, el gas del amoníaco es más liviano que el aire y continuaría 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 de agua.
- Mantener todas las válvulas principales de paso de líquido, succión y descarga en buenas condiciones de operación, esto es, con prensa estopa blanda, nuevas y fáciles de accionar con la mano. Nunca use llaves manuales sobre 10" o llaves especialmente diseñadas para otros fines.
- La sala de máquinas deberá tener ventilación en el techo, de ser posible, el amoníaco es más liviano que el aire y tiende a elevarse hacia el techo. Se recomienda tener ventiladores de emergencia, también se recomienda una máxima ventilación y durante los meses de verano, todas las ventanas deberán mantenerse abiertas. Mientras exista más circulación de aire, habrá menores posibilidades de mezclas explosivas críticas de aproximadamente 16% de amoníaco y aire.

- Se debe eliminar por todos los medios posibles, la vibración en las líneas de amoníaco, especial atención a las líneas de descarga.
- Asegurar que todos los controles de líquido estén trabajando en perfectas condiciones, si la planta está diseñada de tal manera que todo el amoníaco fluya hacia uno o dos grandes acumuladores, se deberá instalar un control de alto nivel para cerrar la válvula principal y detener todas las máquinas.
- Todas las válvulas deberán tener un asiente empujado contra la presión del compresor, en caso de pérdidas por el vástago de la válvula. Examinar todas las válvulas en las líneas de descarga y asegúrese que estén en la posición correcta, de no ser de esa forma, cambiar la posición de la válvula en 180 grados.
- La sala de calderas si se encuentra adyacente a la sala de compresores, deberán estar separadas por puertas que no permitan pasar el aire, y las ventanas deberán ser selladas con ladrillo.
- Las máscaras de amoníaco, siempre deberán estar listas afuera de la sala de máquinas, en caso de una posible pérdida de amoníaco en el área.

5.8 Prevención de explosiones

Para cualquier persona que esté relacionada con reparación u operación de plantas que trabajan con amoníaco, es de suma importancia tomar en cuenta todos los riesgos y peligros que representa trabajar con dicho refrigerante, aún cuando son relativamente seguras y eficientes, las plantas de refrigeración por amoníaco pueden ser peligrosas para la vida de individuos si son mal maniobradas.

Siempre que el amoníaco alcanza, en presencia del aire una mezcla crítica de alrededor del 15 al 16%, y existen llamas o chispas presentes, este explota.

La mayoría de las veces habrán incendio a menos que los materiales en el área de la explosión sean no combustibles.

Algunas de las causas conocidas como causantes de explosiones de amoníaco son las siguientes:

- Roturas de la línea de descarga, la vibración generalmente causa la rotura de las líneas en el sector de las roscas de acoplamiento.
- Congelamiento de enfriadores multitubulares, dejando escapar gran volumen de amoníaco.
- Golpes de líquido por abertura demasiado rápida de las válvulas que pueden romper la tubería, válvulas o empaques de los flanges.
- Fallas por falta de tolerancia en el movimiento de contracción y dilatación de la tubería.

Toda vibración será eliminada en las líneas de descarga, cada niple será eliminado en el manifold de descarga. Si existe la más pequeña filtración o pérdida, éste niple será cambiado por uno del tipo extra grueso.

Un mantenimiento riguroso, y un buen control del sistema de lubricación, además de controlar el funcionamiento de los sistemas de expansión para mantener el amoníaco líquido fuera de los cilindros del

compresor prevendría la gran mayoría de los problemas existentes en un sistema de refrigeración.

Un control adecuado de la densidad de la salmuera en el enfriador multitubular (chiller), y en los controles de los bancos de hielo para prevenir una fabricación de hielo en los mismos, prevendría las pérdidas de amoníaco y evitará el peligro de una posible concentración explosiva de amoníaco y aire en el área.

Los golpes de líquido pueden prevenirse con una puesta en marcha muy cuidadosa de la planta, si es que ha estado detenida por muchas horas con altas presiones de succión (35 psig o más).

Mantener el nivel de líquido trabajando en el depósito, de esta manera, se puede saber donde está el amoníaco en todo momento. **NUNCA HAY QUE ABRIR LA VÁLVULA DEL DEPÓSITO RÁPIDAMENTE.** Siempre debe hacerse muy despacio y dejar que las líneas vacías se llenen con líquido o gas muy lentamente, esto, más la extrema precaución en la puesta en marcha de los compresores, prevendrá los peligrosos golpes de líquido.

Para tener una explosión de amoníaco, se deberá tener una línea rota donde se pueda escapar rápidamente una gran cantidad del mismo, esto sucede generalmente en una líneas de descarga o en una línea grande se succión con presiones de 24 psig o más.

Con el amoníaco bombeado del cabezal del compresor, generalmente, se puede parar el compresor y cerrar las válvulas. Además, se podrán dirigir los vapores lejos de las líneas de drenaje de aceite rotas (por medio de ventiladores), filtraciones en los flanges por rotura de empaques, prensa estopa grandes y cualquier pérdida de menor magnitud. Una rotura deberá ser mayor que cualquiera de éstas para provocar una explosión y además tendrá que haber una chispa o llama abierta para provocarla.

En el caso que ocurriera una gran pérdida de amoníaco, se deberán realizar los siguientes pasos, de una forma urgente:

- Despejar la sala de máquinas.
- Bloquear los controles de tal manera que los compresores que estén funcionando se detengan.
- Despejar el área del personal no indispensable.
- Si se puede eliminar chispas o una llama abierta en forma suficientemente rápida. Desde un lugar seguro en el exterior del edificio de la planta, posiblemente se evitaría una explosión.

Si es posible salir de la sala de máquinas por cualquier circunstancia, alejarse, tanto como le sea posible de la filtración, tiéndase en el piso y cubrirse la cara de la mejor forma posible, las explosiones tienden a ser hacia arriba.

El lugar más seguro para cortar la energía eléctrica a los compresores, es el interruptor principal de entrada de energía, ya que existe peligro de un gran arco al desconectarlo. Esto por fuerza, sería efectuado por la compañía de servicio eléctrico correspondiente, y tendrá que ser efectuado tan rápidamente como sea posible.

¿Qué daño puede haber si se dejan las máquinas funcionando?, si la rotura es del lado de descarga, se vaciará solamente el evaporador, ya que la mayoría de los condensadores están en el exterior, y se podrán cerrar rápidamente las válvulas del condensador y del depósito de refrigerante.

Con roturas en la línea de succión, cuando la presión se aproxime a 0 psi, generalmente se puede entrar a la sala de máquinas con una máscara adecuada. Para cerrar las válvulas de alimentación hacia los evaporadores, no cerrar ninguna válvula en el condensador, solamente la salida principal del líquido en el depósito de refrigerante.

El compresor aspirará aire antes que se pueda cerrar las válvulas en forma rápida y las válvulas de seguridad pueden funcionar. Es extremadamente importante dejar las válvulas de entrada al condensador abiertas para que éstas trabajen en forma correcta, siempre se estará comprimiendo gas hacia el condensador. Colocar en la válvula de seguridad, un niple corto y llenarlo con aceite para evitar la corrosión.

En caso de explosión, mientras más rígido es el edificio de la planta, mayor será el daño, las ventanas serán empujadas hacia fuera y las paredes

débiles en la sala de máquinas, se caerían en el caso de que los sectores abiertos no sean suficientes para soltar o evacuar la presión rápidamente.

Las nuevas salas de máquinas tendrán un máximo de ventilación, y se usarán cubiertas metálicas delgadas, y una construcción ligera, de ser posible la sala de máquinas no deberá ser parte del edificio principal.

5.9 Protección de la planta con sistemas de amoníaco

Es más probable que ocurran daños al personal de planta por la toxicidad del amoníaco que un incendio o explosión, acostumbrarse a su olor, contribuye a ignorar el peligro que existe a una exposición prolongada de concentraciones sustanciales del vapor, el amoníaco es más tóxico que cualquiera de los refrigerantes comunes, una comparación de las concentraciones letales y tiempo de exposición se indica en la tabla VII, los efectos fisiológicos de respirar diversas concentraciones de vapor de amoníaco son indicadas en la tabla VIII.

Tabla VII Toxicidad de los refrigerantes

Refrigeran	Duración a la expos.	Concen. Letal % vol. vapor
Amoníaco	30 minutos	0.5 %
Freon 11	120 minutos	10.0 %
Freon 12	30 minutos	10.2 %
Freon 22	120 minutos	28.5 %
Anhi. Carbon	30 minutos	29.0 %

Tabla VIII**Efectos al respirar amoníaco**

Respuesta fisiológica	Ppm en vol. aire
Mínimo detectable por el olfato	53
Max. Permisible a expos. Prolongada	100
Max. Permisible de ½ a 1 hora	300-500
Irritación inmediata a la garganta	400
Irritación inmediata a los ojos	700
Tos	1720
Peligroso ½ hora de exposición	2500 - 4500
Fatal corta exposición	5000 - 10000

CONCLUSIONES

- 1- La ampliación del sistema de refrigeración en la Embotelladora del Pacífico contribuirá al aumento de la producción en un 35%. Además mejorará el proceso de carbonatación, debido al control de temperatura que se dará en los equipos de refrigeración.
- 2- La ampliación en el sistema de refrigeración por amoníaco de la Embotelladora del Pacífico se basó, principalmente, en determinar: niveles de temperatura, cargas térmicas de refrigeración, dimensionamiento de la tubería, compresores de amoníaco y condensadores evaporativos.
- 3- El proceso de enfriamiento indirecto a la bebida gaseosa, que se utiliza en la Embotelladora del Pacífico, previo a su carbonatación, con el refrigerante propilenglicol, presenta las siguientes ventajas: este refrigerante no es tóxico, no se gasifica y su temperatura de congelamiento es muy baja, permitiendo tener un producto de alta calidad y sin contaminación.

- 4- Con la ampliación del sistema de refrigeración en la Embotelladora del Pacífico fue necesaria la adquisición de dos compresores de amoníaco: un Vilter 448 de 97 T.R. de capacidad y un Vilter 4412 de 145 T.R. de capacidad, un condensador evaporativo Vilter VPC 220 de 132 T.R. de capacidad y la reparación del condensador evaporativo No. 3 Vilter VPC de 132 T.R. de capacidad ,existente en planta.

- 5- Para implementar cualquier programa de mantenimiento preventivo o correctivo en plantas con sistemas de refrigeración por amoníaco , es parte fundamental la seguridad industrial, debido a la toxicidad del refrigerante amoníaco.

RECOMENDACIONES

- 1- Para obtener un mejor control del sistema de refrigeración por amoníaco es necesario que el Departamento de Mantenimiento coloque termómetros y manómetros en las secciones importantes del sistema, tales como: entradas y salidas de evaporadores e intercambiadores de calor de placas.
- 2- Capacitar al personal de mantenimiento para enfrentar situaciones de emergencia, con temas como: fugas de amoníaco, utilización de mascarillas y equipos especiales, corte de energía eléctrica, quemaduras y salpicaduras de amoníaco líquido.
- 3- Se constató que la tubería de condensación y succión se encuentra con niveles de vibración que en ocasiones puede sobrepasar los límites establecidos, por lo cuál el Departamento de Mantenimiento debe eliminar cualquier vibración que se produzca en la tubería del sistema de refrigeración por amoníaco.
- 4- Al personal de mantenimiento realizar un programa de drenado a las purgas de aceite en todos los depósitos, evaporadores y receptores que contengan amoníaco, recuperar con aceite nuevo al cárter de los compresores, asimismo, revisar periódicamente la concentración de propilenglicol de los enfriadores de casco y tubo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Roy Dossat. Principios de refrigeración. México: Editorial Continental , 1995.
2. Vilter. Manual de instrucciones. Wisconsin, Estados Unidos: Editado por Vilter Ammonia School, 1986.
3. W. H. Severns. La producción de energía mediante vapor, aire o gas. 3ra. Edición, México: Editorial Reverté, 1994
4. Pepsi. Manual de instrucciones. Editado por Pepsi.

BIBLIOGRAFÍA

1. **Elonka, Stephen. Refrigeración y acondicionamiento de aire, preguntas y respuestas.** 3ra. Edición, México: Editorial McGraw Hill, 1989.
2. **Vilter, Manual de instrucciones para compresores Vilter,** Boletín 440 – 5 , Wisconsin, Estados Unidos: Editado por Vilter, 1986.
3. **Wark, Kenneth. Termodinámica,** 5ta. Edición, México: Editorial McGraw Hill, 1981.

ANEXOS

FIGURA 19

PROPIEDADES DEL AMONÍACO LÍQUIDO Y SATURADO.

TEMP °F	PRESSURE lb per sq in		VOLUME cu ft per lb		DENSITY lb per cu ft		ENTHALPY** Btu per lb			ENTROPY** Btu per (lb) (°R)		TEMP °F
	Absolute P	Gage P	Liquid V _f	Vapor V _g	Liquid ρ _f	Vapor ρ _g	Liquid h _f	Latent h _{fg}	Vapor h _g	Liquid s _f	Vapor s _g	
-43	8.95	11.7*	0.02310	28.62	43.28	0.03434	-5.3	600.9	595.6	-0.0127	1.4368	-43
-44	9.27	11.1*	.02313	27.82	43.24	.03395	-4.3	600.3	596.0	-.0102	1.4342	-44
-43	9.51	10.6*	.02315	27.04	43.20	.03359	-3.2	599.6	596.4	-.0076	1.4317	-43
-42	9.81	10.0*	.02317	26.29	43.16	.03304	-2.1	598.9	596.8	-.0051	1.4292	-42
-41	10.10	9.3*	.02320	25.55	43.11	.03212	-1.1	598.3	597.7	-.0025	1.4267	-41
-40	10.41	8.7*	0.02322	24.86	43.07	0.04022	0.0	597.6	597.6	0.0000	1.4242	-40
-39	10.72	8.1*	.02324	24.18	43.03	.04135	1.1	596.9	598.0	.0025	1.4217	-39
-38	11.04	7.4*	.02326	23.52	42.99	.04251	2.1	596.2	598.3	.0051	1.4193	-38
-37	11.37	6.8*	.02328	22.89	42.95	.04369	3.2	595.5	598.7	.0076	1.4169	-37
-36	11.71	6.1*	.02331	22.27	42.90	.04489	4.3	594.8	599.1	.0101	1.4144	-36
-35	12.05	5.4*	0.02333	21.68	42.86	0.04513	5.3	594.2	599.5	0.0126	1.4120	-35
-34	12.41	4.7*	.02335	21.10	42.82	.04739	6.4	593.5	599.9	.0151	1.4096	-34
-33	12.77	3.9*	.02338	20.54	42.77	.04858	7.4	592.8	600.2	.0176	1.4072	-33
-32	13.14	3.2*	.02340	20.00	42.73	.04999	8.5	592.1	600.6	.0201	1.4048	-32
-31	13.52	2.4*	.02343	19.48	42.69	.05134	9.6	591.4	601.0	.0226	1.4025	-31
-30	13.90	1.6*	0.02345	18.97	42.65	0.05271	10.7	590.7	601.4	0.0250	1.4001	-30
-29	14.30	0.8*	.02347	18.48	42.61	.05411	11.7	590.0	601.7	.0275	1.3978	-29
-28	14.71	0.0	.02350	18.00	42.56	.05555	12.8	589.3	602.1	.0300	1.3955	-28
-27	15.12	0.4	.02352	17.54	42.52	.05701	13.9	588.6	602.5	.0325	1.3932	-27
-26	15.53	0.8	.02355	17.09	42.48	.05850	14.9	587.9	602.8	.0350	1.3909	-26
-25	15.98	1.3	0.02357	16.66	42.44	0.06003	16.0	587.2	603.2	0.0374	1.3886	-25
-24	16.42	1.7	.02360	16.24	42.39	.06159	17.1	586.5	603.6	.0399	1.3863	-24
-23	16.88	2.2	.02362	15.83	42.35	.06317	18.1	585.8	603.9	.0423	1.3840	-23
-22	17.34	2.6	.02364	15.43	42.31	.06479	19.2	585.1	604.3	.0448	1.3818	-22
-21	17.81	3.1	.02367	15.03	42.26	.06644	20.3	584.3	604.6	.0472	1.3796	-21
-20	18.30	3.6	0.02369	14.68	42.22	0.06813	21.4	583.6	605.0	0.0497	1.3774	-20
-19	18.79	4.1	.02371	14.32	42.18	.06985	22.4	582.9	605.3	.0521	1.3752	-19
-18	19.30	4.6	.02374	13.97	42.13	.07161	23.5	582.2	605.7	.0545	1.3729	-18
-17	19.81	5.1	.02376	13.62	42.09	.07340	24.6	581.5	606.1	.0570	1.3708	-17
-16	20.34	5.6	.02378	13.29	42.05	.07522	25.6	580.8	606.4	.0594	1.3686	-16
-15	20.88	6.2	0.02381	12.97	42.00	0.07709	26.7	580.0	606.7	0.0618	1.3664	-15
-14	21.43	6.7	.02383	12.66	41.96	.07898	27.8	579.3	607.1	.0643	1.3643	-14
-13	21.99	7.3	.02386	12.36	41.91	.08092	28.9	578.6	607.5	.0666	1.3621	-13
-12	22.56	7.9	.02388	12.06	41.87	.08290	30.0	577.8	607.8	.0690	1.3600	-12
-11	23.15	8.5	.02391	11.78	41.82	.08490	31.0	577.1	608.1	.0714	1.3579	-11
-10	23.74	9.0	0.02393	11.50	41.78	0.08695	32.1	576.4	608.5	0.0738	1.3558	-10
-9	24.35	9.7	.02395	11.23	41.74	.08904	33.2	575.6	608.8	.0762	1.3537	-9
-8	24.97	10.3	.02398	10.97	41.69	.09117	34.3	574.9	609.2	.0786	1.3516	-8
-7	25.61	10.9	.02401	10.71	41.65	.09334	35.4	574.1	609.5	.0809	1.3495	-7
-6	26.26	11.6	.02403	10.47	41.60	.09555	36.4	573.4	609.8	.0832	1.3474	-6
-5	26.92	12.2	0.02406	10.23	41.56	0.09780	37.5	572.6	610.1	0.0857	1.3454	-5
-4	27.59	12.9	.02408	9.991	41.52	.1001	38.6	571.9	610.5	.0880	1.3433	-4
-3	28.28	13.6	.02411	9.763	41.47	.1024	39.7	571.1	610.8	.0904	1.3413	-3
-2	28.98	14.3	.02414	9.541	41.43	.1048	40.7	570.4	611.1	.0928	1.3393	-2
-1	29.69	15.0	.02416	9.326	41.38	.1072	41.8	569.6	611.4	.0951	1.3372	-1
0	30.42	15.7	0.02419	9.116	41.34	0.1097	42.9	568.9	611.8	0.0975	1.3352	0
1	31.16	16.5	.02422	8.912	41.29	.1122	44.0	568.1	612.1	.0998	1.3332	1
2	31.92	17.2	.02424	8.714	41.25	.1149	45.1	567.3	612.4	.1022	1.3312	2
3	32.69	18.0	.02427	8.521	41.20	.1174	46.2	566.5	612.7	.1045	1.3292	3
4	33.47	18.8	.02429	8.333	41.16	.1200	47.2	565.8	613.0	.1069	1.3273	4
5	34.27	19.6	0.02432	8.150	41.11	0.1227	48.3	565.0	613.3	0.1092	1.3253	5
6	35.09	20.4	.02435	7.971	41.07	.1254	49.4	564.2	613.6	.1115	1.3234	6
7	35.92	21.2	.02438	7.798	41.02	.1282	50.5	563.4	613.9	.1138	1.3214	7
8	36.77	22.1	.02440	7.629	40.98	.1311	51.6	562.7	614.3	.1162	1.3195	8
9	37.63	22.9	.02443	7.464	40.93	.1340	52.7	561.9	614.6	.1185	1.3176	9
10	38.51	23.8	0.02446	7.304	40.89	0.1369	53.8	561.1	614.9	0.1208	1.3157	10
11	39.40	24.7	.02449	7.148	40.84	.1399	54.9	560.3	615.2	.1231	1.3137	11
12	40.31	25.6	.02451	6.996	40.80	.1429	56.0	559.5	615.5	.1254	1.3118	12
13	41.24	26.5	.02454	6.847	40.75	.1460	57.1	558.7	615.8	.1277	1.3099	13
14	42.18	27.3	.02457	6.703	40.71	.1492	58.2	557.9	616.1	.1300	1.3081	14
15	43.14	28.4	0.02460	6.562	40.66	0.1524	59.2	557.1	616.3	0.1323	1.3062	15
16	44.12	29.4	.02463	6.425	40.62	.1556	60.3	556.3	616.6	.1346	1.3043	16
17	45.12	30.4	.02466	6.291	40.57	.1590	61.4	555.5	616.9	.1369	1.3025	17
18	46.13	31.4	.02468	6.161	40.52	.1623	62.5	554.7	617.2	.1392	1.3006	18
19	47.16	32.3	.02471	6.034	40.48	0.1657	63.6	553.9	617.5	0.1415	1.2988	19

fuentes: manual de Vilter

TEMP °F	PRESSURE lb per sq in		VOLUME cu ft per lb		DENSITY lb per cu ft		ENTHALPY** Btu per lb			ENTROPY** Btu per (lb) (°R)		TEMP °F
	Absolute P	Gage P	Liquid v _f	Vapor v _g	Liquid 1/v _f	Vapor 1/v _g	Liquid h _f	Latent h _{fg}	Vapor h _g	Liquid s _f	Vapor s _g	
20	48.21	32.5	0.02474	5.910	40.43	0.1692	64.7	555.1	619.8	0.1437	1.2969	20
21	49.28	34.6	0.02477	5.789	40.38	0.1726	65.8	552.2	618.0	0.1460	1.2951	21
22	50.36	35.7	0.02480	5.671	40.34	0.1763	66.9	551.4	618.3	0.1483	1.2933	22
23	51.47	36.8	0.02483	5.556	40.29	0.1800	68.0	550.6	618.6	0.1505	1.2915	23
24	52.59	37.9	0.02485	5.443	40.25	0.1837	69.1	549.8	618.9	0.1528	1.2897	24
25	53.73	39.0	0.02488	5.334	40.20	0.1875	70.2	548.9	619.1	0.1551	1.2879	25
26	54.90	40.2	0.02491	5.227	40.15	0.1913	71.3	548.1	619.4	0.1573	1.2861	26
27	56.08	41.4	0.02494	5.123	40.11	0.1952	72.4	547.3	619.7	0.1596	1.2843	27
28	57.28	42.6	0.02497	5.021	40.06	0.1992	73.5	546.4	619.9	0.1618	1.2825	28
29	58.50	43.8	0.02500	4.922	40.01	0.2032	74.6	545.6	620.2	0.1641	1.2808	29
30	59.74	45.0	0.02503	4.825	39.96	0.2073	75.7	544.8	620.5	0.1663	1.2790	30
31	61.00	46.3	0.02506	4.730	39.92	0.2114	76.8	543.9	620.7	0.1686	1.2773	31
32	62.29	47.6	0.02509	4.637	39.87	0.2156	77.9	543.1	621.0	0.1708	1.2755	32
33	63.59	48.9	0.02512	4.547	39.82	0.2199	79.0	542.2	621.2	0.1730	1.2738	33
34	64.91	50.2	0.02515	4.459	39.77	0.2243	80.1	541.4	621.5	0.1753	1.2721	34
35	66.26	51.6	0.02518	4.373	39.72	0.2287	81.2	540.5	621.7	0.1775	1.2704	35
36	67.63	52.9	0.02521	4.289	39.68	0.2332	82.3	539.7	622.0	0.1797	1.2686	36
37	69.02	54.3	0.02524	4.207	39.63	0.2377	83.4	538.8	622.2	0.1819	1.2669	37
38	70.43	55.7	0.02527	4.128	39.59	0.2423	84.6	537.9	622.5	0.1841	1.2652	38
39	71.87	57.2	0.02530	4.048	39.54	0.2470	85.7	537.0	622.7	0.1863	1.2635	39
40	73.32	58.6	0.02533	3.971	39.49	0.2518	86.8	536.2	623.0	0.1885	1.2618	40
41	74.80	60.1	0.02536	3.897	39.44	0.2566	87.9	535.3	623.2	0.1908	1.2602	41
42	76.31	61.6	0.02539	3.823	39.39	0.2616	89.0	534.4	623.4	0.1930	1.2585	42
43	77.83	63.1	0.02542	3.752	39.34	0.2665	90.1	533.6	623.7	0.1952	1.2568	43
44	79.38	64.7	0.02545	3.682	39.29	0.2716	91.2	532.7	623.9	0.1974	1.2552	44
45	80.96	66.3	0.02548	3.614	39.24	0.2767	92.3	531.8	624.1	0.1996	1.2535	45
46	82.55	67.9	0.02551	3.547	39.20	0.2819	93.5	530.9	624.4	0.2018	1.2519	46
47	84.16	69.5	0.02554	3.481	39.15	0.2872	94.6	530.0	624.6	0.2040	1.2502	47
48	85.82	71.1	0.02557	3.418	39.10	0.2926	95.7	529.1	624.8	0.2062	1.2486	48
49	87.49	72.8	0.02560	3.355	39.05	0.2981	96.8	528.2	625.0	0.2085	1.2469	49
50	89.19	74.5	0.02564	3.294	39.00	0.3036	97.9	527.3	625.2	0.2108	1.2453	50
51	90.91	76.2	0.02567	3.234	38.95	0.3092	99.1	526.4	625.5	0.2129	1.2437	51
52	92.66	78.0	0.02570	3.176	38.90	0.3149	100.2	525.5	625.7	0.2149	1.2421	52
53	94.43	79.7	0.02574	3.119	38.85	0.3207	101.3	524.6	625.9	0.2171	1.2405	53
54	96.23	81.5	0.02577	3.063	38.80	0.3265	102.4	523.7	626.1	0.2192	1.2389	54
55	98.06	83.4	0.02581	3.008	38.75	0.3325	103.5	522.8	626.3	0.2214	1.2373	55
56	99.91	85.2	0.02584	2.954	38.70	0.3385	104.7	521.8	626.5	0.2235	1.2357	56
57	101.8	87.1	0.02587	2.902	38.65	0.3446	105.8	520.9	626.7	0.2257	1.2341	57
58	103.7	89.0	0.02590	2.851	38.60	0.3508	106.9	520.0	626.9	0.2279	1.2325	58
59	105.6	90.9	0.02594	2.800	38.55	0.3571	108.1	519.0	627.1	0.2301	1.2310	59
60	107.6	92.9	0.02597	2.751	38.50	0.3635	109.2	518.1	627.3	0.2322	1.2294	60
61	109.6	94.9	0.02600	2.703	38.45	0.3700	110.3	517.2	627.5	0.2344	1.2278	61
62	111.6	96.9	0.02604	2.656	38.40	0.3765	111.5	516.2	627.7	0.2365	1.2262	62
63	113.6	98.9	0.02607	2.610	38.35	0.3832	112.6	515.3	627.9	0.2387	1.2247	63
64	115.7	101.0	0.02611	2.563	38.30	0.3899	113.7	514.3	628.0	0.2408	1.2231	64
65	117.8	103.1	0.02614	2.520	38.25	0.3968	114.8	513.4	628.2	0.2430	1.2216	65
66	120.0	105.3	0.02618	2.477	38.20	0.4037	116.0	512.4	628.4	0.2451	1.2201	66
67	122.1	107.4	0.02621	2.435	38.15	0.4108	117.1	511.5	628.6	0.2473	1.2186	67
68	124.3	109.6	0.02625	2.393	38.10	0.4179	118.3	510.5	628.8	0.2494	1.2170	68
69	126.5	111.8	0.02628	2.352	38.05	0.4251	119.4	509.5	628.9	0.2515	1.2155	69
70	128.8	114.1	0.02632	2.312	38.00	0.4325	120.5	508.6	629.1	0.2537	1.2140	70
71	131.1	116.4	0.02636	2.273	37.95	0.4399	121.7	507.6	629.3	0.2558	1.2125	71
72	133.4	118.7	0.02639	2.235	37.90	0.4474	122.8	506.6	629.4	0.2579	1.2110	72
73	135.7	121.0	0.02643	2.197	37.85	0.4551	124.0	505.6	629.6	0.2601	1.2095	73
74	138.1	123.4	0.02647	2.161	37.79	0.4628	125.1	504.7	629.8	0.2622	1.2080	74
75	140.5	125.8	0.02650	2.125	37.74	0.4707	126.2	503.7	629.9	0.2643	1.2065	75
76	143.0	128.3	0.02654	2.089	37.69	0.4786	127.4	502.7	630.1	0.2664	1.2050	76
77	145.4	130.7	0.02657	2.055	37.64	0.4867	128.5	501.7	630.2	0.2685	1.2035	77
78	147.9	133.2	0.02661	2.021	37.58	0.4949	129.7	500.7	630.4	0.2706	1.2020	78
79	150.5	135.8	0.02665	1.988	37.53	0.5031	130.8	499.7	630.5	0.2728	1.2006	79
80	153.0	138.3	0.02668	1.955	37.48	0.5115	132.0	498.7	630.7	0.2749	1.1991	80
81	155.6	140.9	0.02672	1.923	37.43	0.5200	133.1	497.7	630.8	0.2769	1.1976	81
82	158.3	143.6	0.02676	1.892	37.37	0.5287	134.3	496.7	631.0	0.2791	1.1962	82
83	161.0	146.3	0.02680	1.861	37.32	0.5374	135.4	495.7	631.1	0.2812	1.1947	83
84	163.7	149.0	0.02683	1.831	37.26	0.5462	136.6	494.7	631.3	0.2833	1.1933	84

fuentes: manual de Vilter

TEMP F	PRESSURE lb per sq in		VOLUME cu ft per lb		DENSITY lb per cu ft		ENTHALPY** Btu per lb			ENTROPY** Btu per (lb) (°R)		TEMP F
t	Absolute P	Gage P	Liquid v _f	Vapor v _g	Liquid 1/v _f	Vapor 1/v _g	Liquid h _f	Latent h _{fg}	Vapor h _g	Liquid s _f	Vapor s _g	t
85	166.4	151.7	0.02687	1.801	37.21	0.5552	137.8	493.6	631.4	0.2854	1.1918	85
86	169.2	154.3	0.02691	1.772	37.16	0.5643	138.9	492.6	631.5	0.2875	1.1904	86
87	172.0	157.3	0.02695	1.744	37.10	0.5735	140.1	491.6	631.7	0.2895	1.1889	87
88	174.8	160.1	0.02699	1.716	37.05	0.5828	141.2	490.6	631.8	0.2917	1.1875	88
89	177.7	163.0	0.02703	1.688	36.99	0.5923	142.4	489.5	631.9	0.2937	1.1860	89
90	180.6	165.9	0.02707	1.661	36.94	0.6019	143.5	488.5	632.0	0.2958	1.1846	90
91	183.6	168.9	0.02711	1.635	36.89	0.6116	144.7	487.4	632.1	0.2979	1.1832	91
92	186.6	171.9	0.02715	1.609	36.83	0.6214	145.8	486.4	632.2	0.3000	1.1818	92
93	189.6	174.9	0.02719	1.584	36.78	0.6314	147.0	485.3	632.3	0.3021	1.1804	93
94	192.7	178.0	0.02723	1.559	36.72	0.6415	148.2	484.3	632.5	0.3041	1.1789	94
95	195.8	181.1	0.02727	1.534	36.67	0.6517	149.4	483.2	632.6	0.3062	1.1775	95
96	198.9	184.2	0.02731	1.510	36.62	0.6620	150.5	482.1	632.6	0.3083	1.1761	96
97	202.1	187.4	0.02735	1.487	36.56	0.6725	151.7	481.1	632.8	0.3104	1.1747	97
98	205.3	190.6	0.02739	1.464	36.51	0.6832	152.9	480.0	632.9	0.3125	1.1733	98
99	208.6	193.9	0.02743	1.441	36.45	0.6939	154.0	478.9	632.9	0.3145	1.1719	99
100	211.9	197.2	0.02748	1.419	36.40	0.7048	155.2	477.8	633.0	0.3166	1.1705	100
101	215.2	200.5	0.02752	1.397	36.34	0.7159	156.4	476.7	633.1	0.3187	1.1691	101
102	218.6	203.9	0.02756	1.375	36.29	0.7270	157.6	475.6	633.2	0.3207	1.1677	102
103	222.0	207.3	0.02760	1.354	36.23	0.7384	158.7	474.6	633.3	0.3228	1.1663	103
104	225.4	210.7	0.02764	1.334	36.18	0.7498	159.9	473.5	633.4	0.3248	1.1649	104
105	228.9	214.2	0.02769	1.313	36.12	0.7615	161.1	472.3	633.4	0.3269	1.1635	105
106	232.5	217.8	0.02773	1.293	36.07	0.7732	162.3	471.2	633.5	0.3289	1.1621	106
107	236.0	221.3	0.02778	1.274	36.01	0.7852	163.5	470.1	633.6	0.3310	1.1607	107
108	239.7	225.0	0.02782	1.254	35.96	0.7972	164.6	469.0	633.6	0.3330	1.1593	108
109	243.3	228.6	0.02786	1.235	35.90	0.8095	165.8	467.9	633.7	0.3351	1.1580	109
110	247.0	232.3	0.02790	1.217	35.84	0.8219	167.0	466.7	633.7	0.3372	1.1566	110
111	250.8	236.1	0.02794	1.198	35.79	0.8344	168.2	465.6	633.8	0.3392	1.1552	111
112	254.5	239.8	0.02799	1.180	35.73	0.8471	169.4	464.4	633.8	0.3413	1.1538	112
113	258.4	243.7	0.02804	1.163	35.67	0.8600	170.6	463.3	633.9	0.3433	1.1524	113
114	262.2	247.5	0.02808	1.145	35.61	0.8730	171.8	462.1	633.9	0.3453	1.1510	114
115	266.2	251.5	0.02813	1.128	35.55	0.8862	173.0	460.9	633.9	0.3474	1.1497	115
116	270.1	255.4	0.02817	1.112	35.50	0.8996	174.2	459.8	634.0	0.3495	1.1483	116
117	274.1	259.4	0.02822	1.095	35.44	0.9132	175.4	458.6	634.0	0.3515	1.1469	117
118	278.2	263.5	0.02826	1.079	35.38	0.9269	176.6	457.4	634.0	0.3535	1.1455	118
119	282.3	267.6	0.02831	1.063	35.32	0.9408	177.8	456.2	634.0	0.3556	1.1441	119
120	286.4	271.7	0.02836	1.047	35.26	0.9549	179.0	455.0	634.0	0.3576	1.1427	120
121	290.6	275.9	0.02840	1.032	35.20	0.9692	180.2	453.8	634.0	0.3597	1.1414	121
122	294.8	280.1	0.02845	1.017	35.14	0.9837	181.4	452.6	634.0	0.3618	1.1400	122
123	299.1	284.4	0.02850	1.002	35.08	0.9983	182.6	451.4	634.0	0.3638	1.1386	123
124	303.4	288.7	0.02855	0.987	35.02	1.0132	183.9	450.1	634.0	0.3659	1.1372	124
125	307.8	293.1	0.02860	0.973	34.96	1.028	185.1	448.9	634.0	0.3679	1.1358	125

fuentes: manual de Vilter

FIGURA 20

TONELADAS DE REFRIGERACION DE PRODUCCION PARA COMPRESORES

VILTER DE LA SERIE VMC. (fuente: manual de Vilter)

		REFRIGERANT 717 (AMMONIA) <i>Vilter</i>										BASED ON 1200 RPM		
		COMPRESSOR MODEL												
SUCTION		442		444		446		448		4412		4416		
Temp. °F	First Surge	TONS	HP	TONS	HP	TONS	HP	TONS	HP	TONS	HP	TONS	HP	
165# 89.5°	-15	6.2	7.6	18.8	15.7	35.8	23.5	52.5	31.4	66.2	47.1	100.2	62.0	
	-10	9.0	9.6	20.7	19.2	38.6	26.8	56.7	34.4	71.5	57.6	106.3	76.0	
	-5	12.2	11.6	21.7	23.2	41.4	34.8	60.6	46.4	78.7	69.8	115.6	92.0	
	0	15.7	13.7	23.1	27.5	44.0	41.2	64.5	55.0	83.7	82.5	123.1	110.0	
	5	19.6	16.1	24.6	32.3	46.7	48.4	68.5	64.7	89.0	97.0	131.0	125.4	
	10	23.6	19.0	25.9	37.6	49.3	56.4	72.3	75.2	93.8	117.6	130.0	153.4	
	15	28.4	21.6	26.9	43.3	51.1	64.9	75.0	86.6	97.4	129.9	143.3	173.2	
175# 91.0°	20	33.5	24.1	27.4	48.3	52.2	72.4	76.6	96.6	99.4	144.9	146.0	191.2	
	25	39.0	28.2	27.9	55.4	53.1	84.6	77.7	112.8	101.0	162.2	140.6	195.0	
	30	45.0	31.6	28.0	63.3	53.2	94.9	77.9	126.6	101.2	187.9	148.9	196.4	
	185# 91.5°	-15	6.2	7.6	19.3	15.2	36.8	22.8	53.9	30.4	69.9	45.6	102.8	60.8
		-10	9.0	9.6	20.9	18.3	39.8	24.9	58.3	37.2	73.4	55.8	110.9	74.4
		-5	12.2	11.2	22.3	23.5	42.4	32.7	62.0	45.0	80.6	61.5	118.3	80.0
		0	15.7	13.4	23.7	26.8	45.0	40.2	66.0	51.7	85.7	65.0	126.0	107.4
5		19.6	15.8	25.2	31.6	47.7	47.4	70.0	63.3	91.0	94.9	134.0	126.5	
10		23.6	18.4	26.6	36.8	50.2	55.2	73.5	73.7	95.5	110.5	140.4	147.4	
15		28.4	21.2	27.4	43.2	52.2	63.6	76.6	84.9	99.4	127.3	146.0	169.8	
205# 102.5°	20	33.5	23.7	26.1	47.4	53.4	71.1	78.3	94.8	117.7	148.2	149.6	192.6	
	25	39.0	27.6	28.9	53.3	55.0	82.9	80.5	110.6	104.6	163.9	154.0	221.2	
	30	45.0	31.1	29.3	61.2	55.9	93.3	81.8	124.5	106.2	185.7	156.2	242.0	
	225# 108.0°	-13	6.2	7.3	19.0	14.7	37.2	22.0	54.6	29.4	71.0	44.1	102.4	58.8
		-10	9.0	9.9	20.0	15.0	40.2	22.5	58.6	35.0	76.4	54.0	107.0	72.0
		-5	12.2	10.9	21.6	21.8	42.9	32.7	62.8	46.7	81.7	65.0	120.0	84.0
		0	15.7	12.1	24.1	26.2	45.8	39.3	67.1	52.4	87.2	78.6	128.0	104.0
5		19.6	15.5	25.6	31.1	48.7	46.6	71.4	62.2	92.8	93.3	136.2	124.4	
10		23.6	18.0	26.1	36.1	51.4	55.2	75.2	72.2	97.7	108.3	143.6	144.4	
15		28.4	20.6	28.0	41.6	53.4	62.7	78.3	83.3	101.6	124.9	149.3	156.6	
205# 102.5°	20	33.5	23.2	28.9	46.5	54.9	69.7	80.4	93.0	104.4	139.5	154.8	188.0	
	25	39.0	27.0	29.6	54.1	56.7	81.1	83.4	108.3	108.0	162.4	159.0	216.0	
	30	45.0	30.0	30.7	61.2	58.4	91.0	85.7	122.5	111.1	183.7	163.5	245.0	
	225# 108.0°	-5	12.2	10.3	23.6	20.7	44.8	31.0	65.7	41.5	85.4	62.2	125.5	83.0
		0	15.7	12.4	25.2	23.0	47.9	37.5	70.2	50.0	91.2	75.0	134.0	100.0
		5	19.6	14.8	26.6	29.8	50.6	44.4	74.2	59.2	96.4	86.6	141.7	118.4
		10	23.6	17.3	27.9	36.7	53.3	52.0	78.0	69.5	101.2	104.2	149.0	139.5
15		28.4	20.0	29.1	40.1	55.5	60.1	81.2	82.1	105.4	120.4	159.0	160.0	
20		33.5	22.5	30.1	45.0	57.3	67.3	84.0	90.0	109.0	135.0	160.0	180.0	
25		39.0	25.3	31.4	52.6	59.0	78.9	87.7	105.2	117.8	157.6	167.3	210.4	
225# 108.0°	30	45.0	29.7	32.9	59.5	62.0	89.2	91.0	119.1	118.0	178.6	173.5	238.2	
	20	33.5	21.7	31.5	43.4	60.0	65.1	88.0	86.9	114.2	130.3	168.1	173.8	
	25	39.0	25.4	33.0	50.9	67.7	76.2	92.0	101.0	119.4	152.8	175.3	203.8	
225# 108.0°	30	45.0	28.9	34.1	57.9	68.8	86.8	95.2	115.8	123.8	171.7	182.0	231.6	
	35	51.6	32.7	35.6	65.4	67.7	98.1	90.2	130.0	128.6	195.2	189.7	261.6	

FIGURA 21

VAPOR SOBRECALENTADO DE AMONÍACO

Temp °F	Abs Pressure 140.0 psi Gage Pressure 125.3 psi (Sat'n Temp 74.78 °F)			Abs Pressure 145.0 psi Gage Pressure 130.3 psi (Sat'n Temp 75.82 °F)			Abs Pressure 150.0 psi Gage Pressure 135.3 psi (Sat'n Temp 76.81 °F)			Abs Pressure 160.0 psi Gage Pressure 145.3 psi (Sat'n Temp 82.64 °F)		
t	v	h	s	v	h	s	v	h	s	v	h	s
(Sat'n)	(2.122)	(629.9)	(1.2068)	(2.061)	(630.3)	(1.2034)	(1.994)	(630.3)	(1.2009)	(1.872)	(631.1)	(1.1952)
80	2.188	633.8	1.2140	2.080	632.8	1.2082	2.001	631.4	1.2025	1.969	630.9	1.2186
90	2.228	640.9	2.272	2.141	639.9	2.216	2.061	638.8	2.161	1.914	636.6	1.2033
100	2.288	647.8	1.2356	2.200	646.9	1.2342	2.118	645.9	1.2289	1.969	643.9	1.2186
110	2.347	654.3	2.2513	2.257	653.6	2.2462	2.174	652.8	2.240	2.023	651.0	2.211
120	2.404	661.1	2.2628	2.313	660.2	2.2577	2.228	659.4	2.2526	2.075	657.8	2.2429
130	2.460	667.4	2.2738	2.368	666.7	2.2687	2.281	665.9	2.2638	2.125	664.4	2.2542
140	2.515	673.7	2.2843	2.421	673.0	2.2793	2.334	672.3	2.2743	2.175	670.9	2.2652
150	2.569	679.9	1.2943	2.474	679.2	1.2896	2.385	678.6	1.2849	2.224	677.2	1.2757
160	2.622	686.0	3.043	2.526	685.4	2.2996	2.435	684.9	2.2949	2.272	683.3	2.2859
170	2.675	692.0	3.141	2.577	691.4	3.053	2.485	690.9	3.047	2.319	689.7	2.2958
180	2.727	698.0	3.238	2.627	697.5	3.108	2.534	696.9	3.142	2.365	695.8	3.054
190	2.779	704.0	3.328	2.677	703.4	3.161	2.583	702.9	3.236	2.411	701.9	3.148
200	2.830	709.9	1.3418	2.727	709.4	1.3372	2.631	708.9	1.3327	2.457	707.9	1.3240
210	2.880	715.8	3.307	2.776	715.3	3.3461	2.679	714.8	3.3416	2.502	713.9	3.3331
220	2.931	721.8	3.3594	2.825	721.2	3.3548	2.726	720.7	3.3504	2.547	718.9	3.3419
230	2.981	727.5	3.3679	2.873	727.1	3.3634	2.773	726.6	3.3590	2.591	725.8	3.3506
240	3.030	733.3	3.3763	2.921	732.9	3.3718	2.820	732.3	3.3675	2.635	731.7	3.3591
250	3.080	739.2	1.3848	2.969	738.8	1.3801	2.868	738.4	1.3758	2.679	737.9	1.3675
260	3.129	745.0	3.3828	3.017	744.8	3.3883	2.912	744.3	3.3840	2.723	743.5	3.3757
270	3.178	750.8	4.088	3.064	750.5	3.3964	2.956	750.1	3.3921	2.768	749.4	3.3838
280	3.227	756.7	4.088	3.111	756.3	4.043	3.004	756.0	4.001	2.809	755.3	3.3919
290	3.275	762.5	4.106	3.158	762.2	4.122	3.049	761.8	4.079	2.852	761.2	3.3998
300	3.323	768.3	1.4243	3.205	768.0	1.4199	3.095	767.7	1.4157	2.895	767.1	1.4076
320	3.420	780.0	1.4393	3.298	779.7	1.4352	3.185	779.4	1.4310	2.980	778.9	1.4229
340	....	....	....	....	....	....	3.274	791.2	1.4459	3.064	790.7	1.4379

Temp °F	Abs Pressure 170.0 psi Gage Pressure 155.3 psi (Sat'n Temp 86.29 °F)			Abs Pressure 180.0 psi Gage Pressure 165.3 psi (Sat'n Temp 89.78 °F)			Abs Pressure 190.0 psi Gage Pressure 175.3 psi (Sat'n Temp 93.13 °F)			Abs Pressure 200.0 psi Gage Pressure 185.3 psi (Sat'n Temp 96.34 °F)		
t	v	h	s	t	v	h	t	v	h	t	v	s
(Sat'n)	(1.784)	(631.8)	(1.1900)	(1.687)	(632.0)	(1.1830)	(1.581)	(632.4)	(1.1802)	(1.502)	(632.7)	(1.1756)
90	1.784	634.4	1.1932	1.688	632.2	1.1853	1.581	632.4	1.1802	1.502	632.7	1.1756
100	1.837	641.9	1.2087	1.720	639.9	1.1992	1.615	637.8	1.1899	1.520	635.6	1.1809
110	1.889	649.1	2.215	1.770	647.3	2.2123	1.663	645.4	2.2034	1.567	643.4	1.1847
120	1.939	656.1	2.2236	1.818	654.4	2.2247	1.710	652.8	2.2160	1.612	650.9	2.2077
130	1.988	662.8	2.232	1.865	661.3	2.2364	1.755	659.7	2.2281	1.658	658.1	2.2200
140	2.035	669.4	2.2403	1.910	668.0	2.2477	1.799	666.5	2.2396	1.698	665.0	2.2317
150	2.081	675.9	1.2859	1.955	674.8	1.2588	1.842	673.2	1.2506	1.740	671.8	1.2429
160	2.127	682.3	2.2773	1.999	681.0	2.2691	1.884	679.7	2.2612	1.780	678.4	2.2537
170	2.172	688.5	2.2873	2.042	687.3	2.2792	1.925	686.1	2.2715	1.820	684.9	2.2641
180	2.216	694.7	2.2971	2.084	693.6	2.2891	1.966	692.5	2.2813	1.859	691.3	2.2742
190	2.260	700.8	3.066	2.126	699.8	2.2987	2.005	698.7	2.2912	1.897	697.7	2.2840
200	2.303	706.9	1.3158	2.167	705.9	1.3081	2.045	704.9	1.3007	1.933	703.9	1.2935
210	2.346	713.0	3.3249	2.208	712.0	3.3172	2.084	711.1	3.3099	1.972	710.1	3.3029
220	2.389	719.0	3.3338	2.248	718.1	3.3262	2.122	717.2	3.3189	2.009	716.3	3.3120
230	2.431	724.9	3.3426	2.288	724.1	3.3350	2.161	723.2	3.3278	2.046	722.4	3.3208
240	2.473	730.9	3.3512	2.328	730.1	3.3436	2.199	729.3	3.3363	2.082	728.4	3.3296
250	2.514	736.8	1.3596	2.367	736.1	1.3521	2.236	735.3	1.3450	2.118	734.3	1.3382
260	2.555	742.8	3.3679	2.407	742.0	3.3605	2.274	741.3	3.3534	2.154	740.3	3.3467
270	2.596	748.7	3.3761	2.446	748.0	3.3687	2.311	747.3	3.3617	2.189	746.5	3.3550
280	2.637	754.6	3.3841	2.484	753.9	3.3768	2.348	753.2	3.3698	2.225	752.5	3.3631
290	2.678	760.5	3.3921	2.523	759.9	3.3847	2.384	759.2	3.3778	2.260	758.5	3.3712
300	2.718	766.4	1.3999	2.561	765.8	1.3926	2.421	765.2	1.3857	2.295	764.5	1.3791
320	2.798	778.3	1.4153	2.637	777.7	1.4081	2.493	777.1	1.4012	2.364	776.5	1.3947
340	2.878	790.1	1.4303	2.713	789.6	1.4231	2.565	789.0	1.4163	2.432	788.5	1.4099
360	....	....	....	....	....	....	....	....	....	2.500	800.5	1.4247
380	....	....	....	....	....	....	....	....	....	2.568	812.5	1.4392

fuentes: manual de Vilter

FIGURA 22
FLUJO MASICO POR TONELADA DE REFRIGERACIÓN PARA AMONÍACO

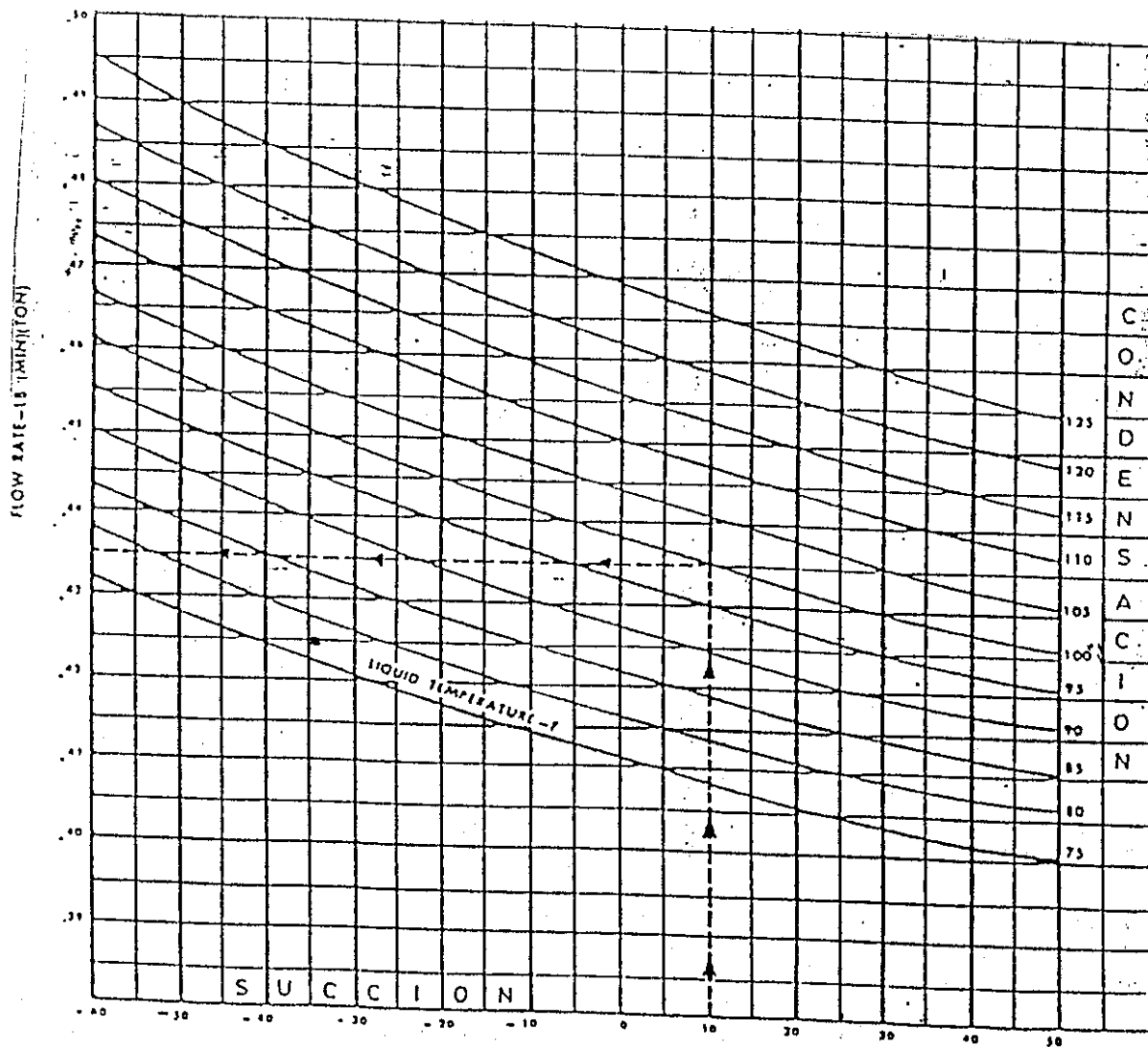


FIGURA 23

CAPACIDADES DE LÍNEA DE DESARGA Y LÍQUIDO EN TONELADAS DE REFRIGERACIÓN

LINE SIZE (Inches)	DISCHARGE LINES DESCARGA				LIQUID LINES LÍQUIDO	
	Temperature 250 F				To Receiver	To System
	Pressure Drop Psi/100 ft		Caída de presión		Velocity fpm	Pressure Drop Psi/100 ft
	1/8	1/4	1/2	3/4	100	2
1/8	—	—	—	—	8.5	11.6
1/4	1.28	1.85	2.65	3.25	13.6	23.5
3/8	2.84	4.03	5.83	7.15	25.2	53.2
1/2	5.68	8.06	11.6	14.2	42.1	105
3/4	14.7	21.1	30.4	37.2	75.3	225
1	22.2	31.5	45.0	55.0	103	351
1 1/4	43.0	61.4	87.6	107	197	805
1 1/2	68.6	98.5	140	171	280	1280
2	122	174	246	300	432	2270
2 1/2	244	351	497	608	745	4630
3	490	638	900	1100	—	—
3 1/2	734	1030	1470	1800	—	—
4	1480	2110	3010	3650	—	—

FIGURA 24

CAÍDAS DE PRESIÓN EN TUBERÍAS PARA AMONÍACO VAPOR

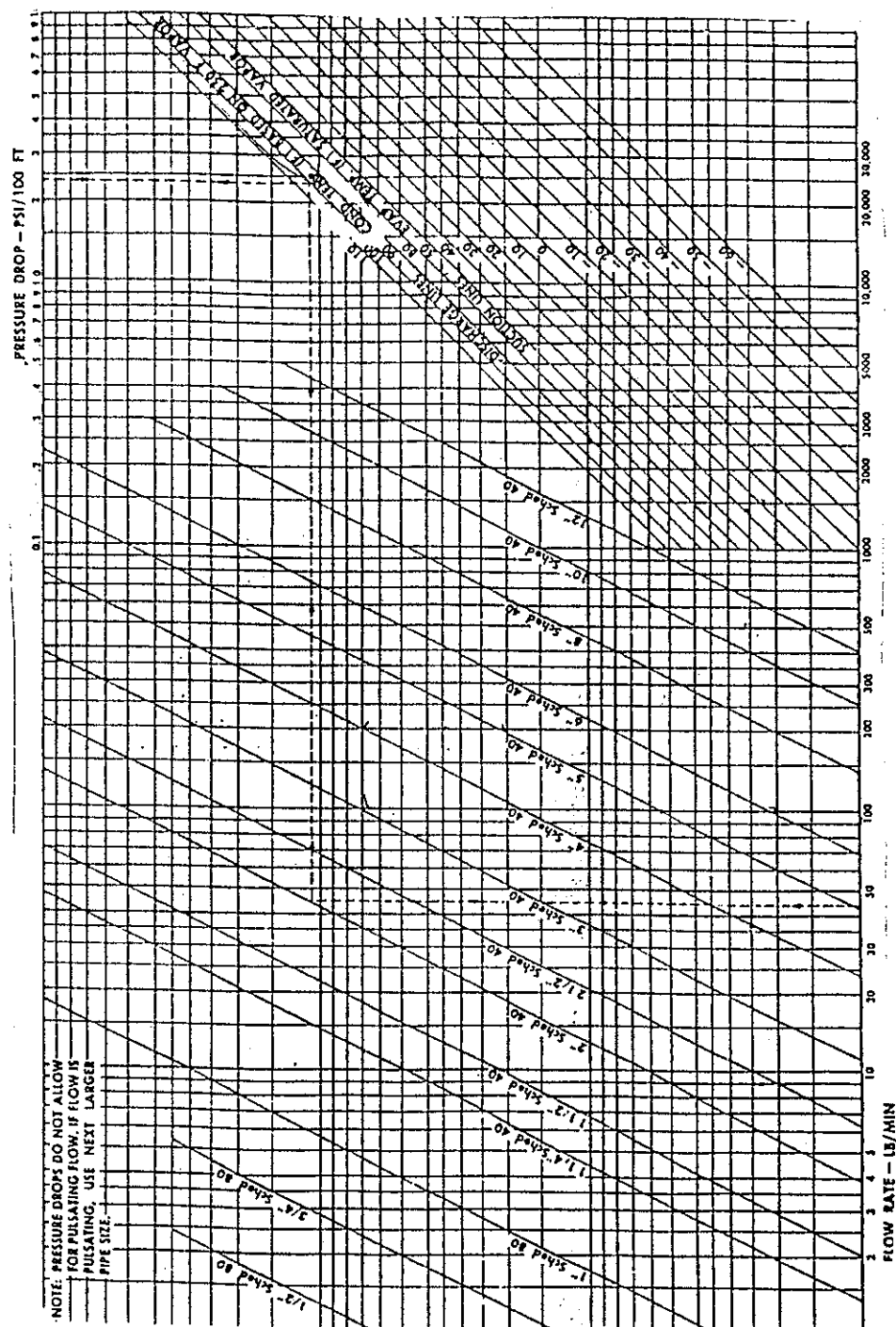


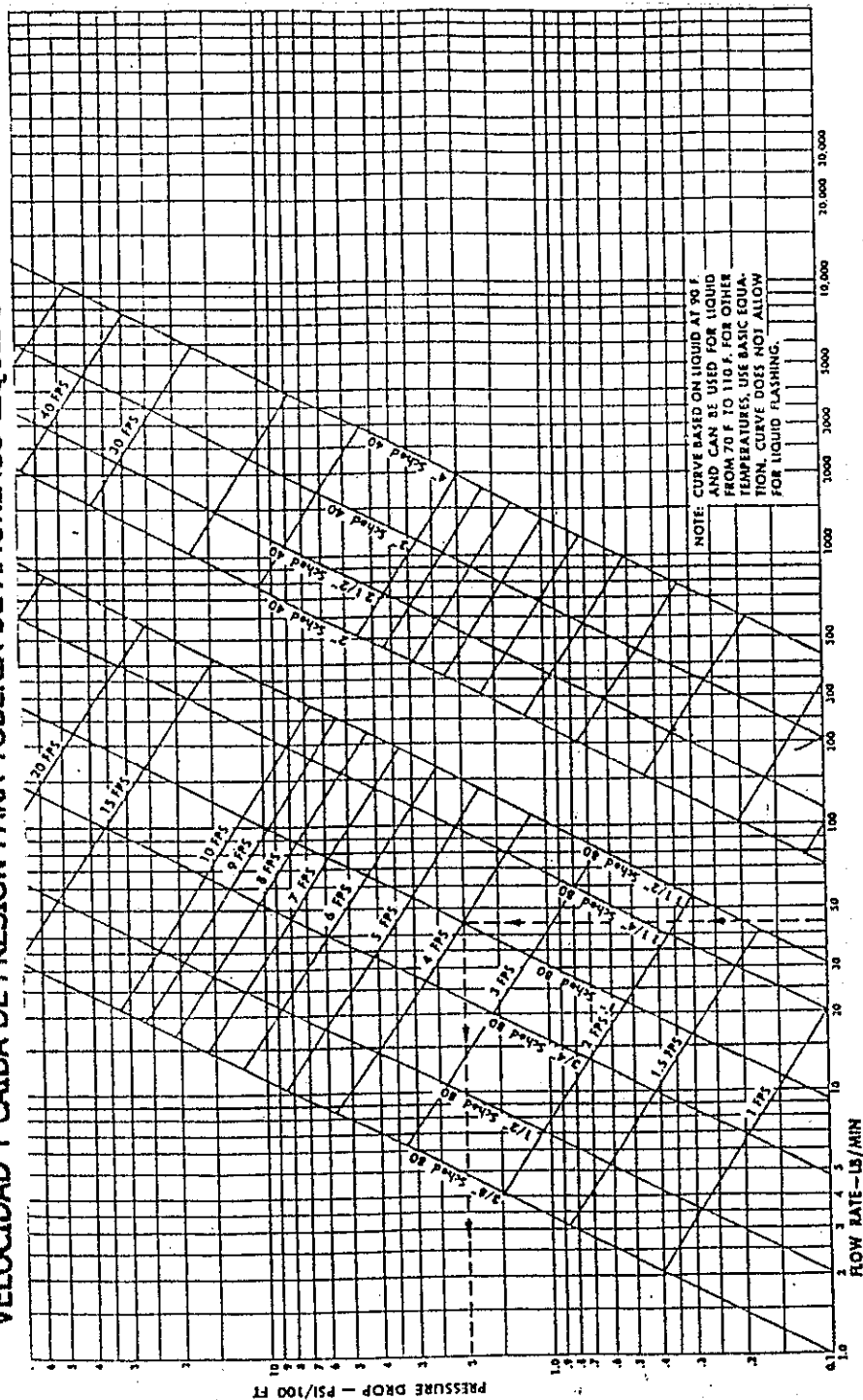
FIGURA 25

LARGOS EQUIVALENTES DE VÁLVULAS Y ACCESORIOS

NOMENCLATURA	GLOBE VALVE		ANGLE VALVE		SHORT-RADIUS ELL			LONG-RADIUS ELL			TEE, LINE-FLOW			TEE, BRANCH-FLOW		
	Screwed	Flanged	Screwed	Flanged	Screwed	Flanged	Welded	Screwed	Flanged	Welded	Screwed	Flanged	Welded	Screwed	Flanged	Weld
1/8"	31	—	16	—	3.7	—	—	—	—	—	1.3	—	—	4.0	—	—
1/4"	29	—	16	—	4.1	—	—	—	—	—	1.8	—	—	4.7	—	—
1/2"	31	—	16	—	4.7	—	—	2.5	—	—	2.5	—	—	5.6	—	—
3/4"	35	57	16	19	5.3	1.6	1.8	2.8	1.5	1.2	3.4	1.0	1.6	6.8	3.8	5.1
1 1/8"	46	69	19	22	7.1	2.2	2.3	3.3	2.0	1.6	4.9	1.3	2.0	9.2	4.9	7.1
1 1/4"	51	76	19	22	7.9	2.6	2.6	3.4	2.2	1.8	5.9	1.4	2.0	9.9	5.8	8.1
2"	63	89	20	25	9.0	3.2	3.4	3.6	2.7	2.3	8.1	1.7	2.5	12.6	7.2	10.1
2 1/2"	—	101	—	28	—	3.8	4.2	—	3.0	2.7	—	1.9	2.9	—	8.4	13.1
3"	—	123	—	36	—	4.9	5.3	—	3.7	3.4	—	2.4	3.6	—	11	16
4"	—	155	—	48	—	6.2	7.2	—	4.5	4.5	—	2.9	4.5	—	14	22
5"	—	190	—	63	—	8.1	9.2	—	5.4	5.7	—	3.5	5.1	—	17	27
6"	—	227	—	78	—	9.5	11	—	6.1	6.8	—	4.1	6.1	—	20	33
8"	—	295	—	110	—	13	15	—	7.1	9.0	—	4.7	7.1	—	27	44
10"	—	370	—	142	—	16	18	—	8.7	11	—	5.6	8.7	—	32	56
12"	—	465	—	173	—	19	22	—	10	14	—	6.2	10	—	39	68

FIGURA 26

VELOCIDAD Y CAÍDA DE PRESIÓN PARA TUBERÍA DE AMONÍACO LÍQUIDO



fuerate: manual de Vilter

FIGURA 27

CAPACIDADES DE LÍNEAS DE SUCCIÓN

LINE SIZE (Inches)	Saturated Suction Temperature—F																	
	- 30 -			- 20			0			20			40					
	Pressure Drop, Psi/100 ft																	
IPS	1/2	1	2	1/2	1	2	1/2	1	2	1/2	1	2	3	1/2	1	2	3	
1/2	0.44	0.62	0.88	0.50	0.72	1.02	0.65	0.92	1.31	0.82	1.18	1.70	2.40	1.02	1.45	2.06	2.92	
3/4	0.96	1.37	1.96	1.11	1.58	2.24	1.45	2.06	2.93	1.81	2.60	3.70	5.23	2.25	3.22	4.61	6.52	
1	1.92	2.72	3.85	2.13	3.01	4.26	2.74	3.9	5.61	3.5	4.98	7.06	8.70	4.33	6.14	8.84	10.8	
1 1/4	4.8	6.95	9.85	5.43	7.80	11.1	7.07	10.1	14.6	8.99	12.95	18.5	22.8	11.18	16.15	23.1	28.3	
1 1/2	7.3	10.5	14.9	8.25	11.9	16.8	10.7	15.5	22.0	14.6	19.7	27.8	34.2	17.1	24.2	34.5	42.6	
2	14.1	20.5	29.0	15.9	23.9	32.5	20.9	29.6	42.7	26.4	38.0	53.7	67.1	32.8	46.8	66.7	82.0	
2 1/2	22.8	32.6	46.1	25.3	36.1	52.0	33.3	47.7	68.2	42.3	60.2	85.6	105.0	52.5	75.0	106.5	131.0	
3	40.1	57.5	81.4	45.1	64.6	91.5	59.1	84.2	121	74.5	106.5	151	187.5	92.5	132	190	233	
4	83.5	119	169	93.0	132	186	121	172	244	153	218	305	378	190	269	382	469	
5	150	214	303	168	238	341	218	312	443	276	394	555	683	342	485	690	849	
6	244	344	487	274	388	550	354	505	715	447	637	900	1110	558	789	1125	1380	
8	500	710	1000	560	796	1128	726	1039	1468	920	1308	1850	2270	1135	1615	2295	2810	
10	900	1280	1810	1010	1435	2020	1305	1860	2645	1645	2350	3310	4100	2040	2900	4140	5035	
12	1450	2050	2900	1625	2310	3280	2100	2780	4280	2675	3820	5410	6600	3325	4685	6670	8200	

fuerite: manual de Vilter

FIGURA 28

FACTORES DE CORRECCIÓN PARA CONDENSADORES EVAPORATIVOS

