

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

ESTUDIO Y MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN DE  
LA EMBOTELLADORA DE LOS ALTOS, QUETZALTENANGO

TESIS

PRESENTADA A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE  
INGENIERÍA

POR

ERICK ADOLFO COTÍ SAC

AL CONFERIRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO MECÁNICO

GUATEMALA, 18 DE SEPTIEMBRE DE 1996

PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
Biblioteca Central

08  
T(3817)  
c.4

**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:**

**ESTUDIO Y MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN DE LA EMBOTELLADORA DE LOS ALTOS, QUETZALTENANGO**

**tema que me fuera asignado por la dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica con fecha 15 de enero de 1996. Ref. EIM T062.96**

**Erick Adolfo Cotí Sac**

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

MIEMBROS DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	ING.	JULIO ISMAEL GONZÁLEZ PODSZUECK
VOCAL 1o.	ING.	MIGUEL ANGEL SANCHEZ GUERRA
VOCAL 2o.	ING.	JACK DOUGLAS IBARRA SOLORZANO
VOCAL 3o.	ING.	JUAN ADOLFO ECHEVERRIA MENDEZ
VOCAL 4o.	BR.	FERNANDO WALDEMAR DE LEON CONTRERAS.
VOCAL 5o.	BR.	PEDRO IGNACIO ESCALANTE PASTOR
SECRETARIO	ING.	FRANCISCO JAVIER GONZÁLEZ LÓPEZ

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL  
EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	ING.	JULIO ISMAEL GONZÁLEZ PODSZUECK
EXAMINADOR	ING.	FLORENCIO GRAMAJO OVALLE
EXAMINADOR	ING.	PEDRO ENRIQUE KUBES
EXAMINADOR	ING.	CARLOS HUMBERTO FIGUEROA V.
SECRETARIO	ING.	FRANCISCO JAVIER GONZÁLEZ LÓPEZ

Guatemala, 20 de febrero de 1,996.

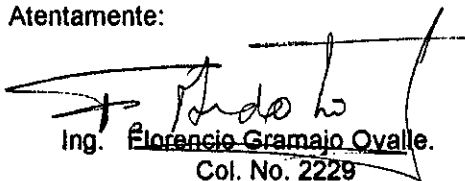
Ing. Pedro Quiroa  
Coordinador del área de E. P. S.  
Facultad de Ingeniería  
Universidad de San Carlos de Guatemala

Ingeniero:

De acuerdo a la designación, que se me hiciera para asesorar el trabajo de tesis titulado: ESTUDIO Y MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN DE LA EMBOTELLADORA DE LOS ALTOS, QUETZALTENANGO, que realizó el estudiante ERICK ADOLFO COTI SAC, previo a optar el título de Ingeniero Mecánico.

Deseo manifestarle, que luego de revisar el contenido y verificar la consistencia de los temas tratados, he encontrado satisfactorio el presente trabajo y en mi opinión, llena los requisitos para su plena aprobación.

Atentamente:

  
Ing. Florencio Gramajo Ovalle.  
Col. No. 2229



**FACULTAD DE INGENIERIA**  
Unidad de Prácticas de Ingeniería  
Ejercicio Profesional Supervisado  
E.P.S

Ciudad Universitaria, Zona 12  
01012 Guatemala, Centroamérica

**REF.EPS.C.082.96**

Guatemala, 21 de agosto de 1,996

Señor

Ing. Jorge Siguere R.  
Director de la Escuela  
de Ingeniería Mecánica  
Facultad de Ingeniería, USAC.

Señor Director:

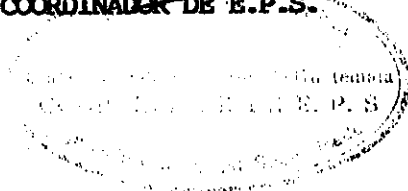
Atentamente, por este medio estoy trasladando para su revisión y autorización el Informe Final, (equivalente al trabajo de Tesis) correspondiente al Proyecto titulado **ESTUDIO Y MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE REFRIGERACION DE LA EMBOTELLADORA DE LOS ALTOS, QUEZALTENANGO**, el trabajo fue desarrollado por el estudiante universitario **ERICK ADOLFO COTI SAC**, y existiendo la **APROBACION** por parte del Asesor nombrado para la revisión, Ingeniero Mecánico **Florencio Arnoldo Gramajo Ovalle** (COLEGIADO No. 2229); esta Coordinación Aprueba el contenido del mismo y manifiesta que fueron cumplidos los objetivos y requisitos para esta Unidad, por lo que se solicita el trámite correspondiente.

Sin otro particular, me es grato suscribirme de usted.

Deferentemente,

**"ID Y ENSEÑAD A TODOS"**

ING. PEDRO QUIROGA MENDEZ  
COORDINADOR DE E.P.S.



PQM/lgg.  
c.c.: Archivo  
Anexo: El mencionado Informe Final



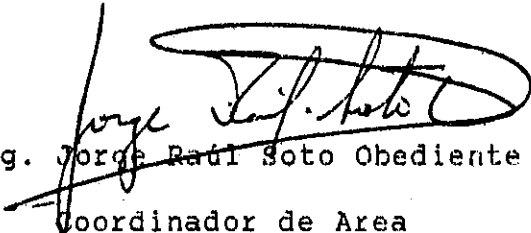
**FACULTAD DE INGENIERIA**

Escuelas de Ingeniería Civil, Ingeniería  
Mecánica Industrial, Ingeniería Química,  
Ingeniería Mecánica Eléctrica, Técnica  
y Regional de Post-grado de Ingeniería  
Sanitaria.

Ciudad Universitaria, zona 12  
Guatemala, Centroamérica

El Coordinador del área de Térmica de la Escuela de Ingeniería Mecánica, luego de conocer el dictamen del asesor, y habiendo revisado en su totalidad el trabajo titulado Estudio y Mejoramiento del Sistema de Refrigeración de la Embotelladora de los Altos, Quetzaltenango del estudiante Erick Adolfo Cotí Sac, recomienda la autorización.

ID Y ENSEÑAD A TODOS

  
Ing. Jorge Raúl Soto Obediente  
Coordinador de Area

Guatemala, octubre de 1,996.

/behdei.





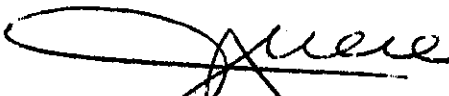
**FACULTAD DE INGENIERIA**

Escuelas de Ingeniería Civil, Ingeniería  
Mecánica Industrial, Ingeniería Química,  
Ingeniería Mecánica Eléctrica, Técnica  
y Regional de Post-grado de Ingeniería  
Sanitaria.

Ciudad Universitaria, zona 12  
Guatemala, Centroamérica

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 Area Térmica, al trabajo de tesis titulado Estudio y Mejoramiento del Sistema de Refrigeración de la Embotelladora de los Altos, Quetzaltenango, del estudiante Erick Adolfo Cotí Sac, procede a la autorización del mismo.

ID Y ENSEÑAD A TODOS

  
Ing. Jorge C. Siguere Rockstroh

DIRECTOR DE ESCUELA

Guatemala, octubre de 1, 1996.

/behdei



**FACULTAD DE INGENIERIA**

Escuelas de Ingeniería Civil, Ingeniería  
Mecánica Industrial, Ingeniería Química,  
Ingeniería Mecánica Eléctrica, Técnica  
y Regional de Post-grado de Ingeniería  
Sanitaria.

Ciudad Universitaria, zona 12  
Guatemala, Centroamérica

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 Jorge C. Síguere Rockstroh, al trabajo de tesis titulado Estudio y Mejoramiento del Sistema de Refrigeración de la Embotelladora de los Altos, Quetzaltenango, presentado por el estudiante universitario Erick Adolfo Coti Sac, procede a la autorización para la impresión del mismo.

IMPRIMASE

ING. JULIO ISMAEL GONZALEZ PODSZUECK

DECANO

Guatemala, octubre de 1,996.

/behdei.





**AGRADECIMIENTO**

**A DIOS  
FUENTE DE SABIDURÍA**

**A MIS PADRES  
C. WIGBERTO COTÍ XICARÁ  
MARIA JOVITA SAC DE COTÍ**

## ÍNDICE GENERAL

	Página
GLOSARIO	III
INTRODUCCIÓN	V
CAPÍTULO No. 1	I
REFRIGERANTES	
1.1. Tipos	1
1.2. Aplicaciones	4
1.3. Refrigerantes industriales	4
1.4. Refrigerantes utilizados en la planta	4
CAPÍTULO No. 2	7
ANÁLISIS Y DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN EXISTENTE EN LA PLANTA	
2.1. Compresores	7
2.2. Condensador evaporativo	13
2.3. Recibidor	16
2.4. Evaporadores	17
2.5. Tuberías	22
2.6. Accesorios	23
2.7. Descripción de operación	24
CAPÍTULO No. 3	26
EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DE REFRIGERACIÓN	
3.1. Capacidad de producción de los compresores	26
3.2. Carga de consumo del equipo existente	26
3.3. Comparación de cargas y determinación de la eficiencia del ciclo	31
3.4. Análisis de un ciclo existente y un ciclo teórico	31
3.5. Evaluación de anomalías existentes	35

<b>CAPÍTULO No. 4</b>	<b>37</b>
<b>AMPLIACIÓN O AJUSTE</b>	
4.1. Determinación del consumo de carga del equipo futuro	37
4.2. Cálculos para determinar ampliación o ajuste	37
4.3. Determinación del tipo de compresor a adquirir	39
4.4. Análisis de la ubicación del banco de compresores	40
<b>CAPÍTULO No. 5</b>	<b>42</b>
<b>EVALUACIÓN DE LA TUBERÍA DEL SISTEMA</b>	
5.1. Determinación de la tubería actual y sus accesorios	46
5.2. Determinación de la tubería del equipo futuro	46
5.3. Determinación de accesorios a modificar	
<b>CAPÍTULO No. 6</b>	<b>49</b>
<b>MANTENIMIENTO DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN</b>	
6.1. Mantenimiento preventivo	49
6.2. Mantenimiento correctivo	51
6.3. Mantenimiento de emergencia	52
6.4. Análisis del mantenimiento actual y el propuesto	52
<b>CONCLUSIONES</b>	<b>53</b>
<b>RECOMENDACIONES</b>	<b>55</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>56</b>

## GLOSARIO

**ANSI:** siglas en inglés que significan Instituto Nacional Americano de Estandarización; su función es actuar como centro distribuidor de normas industriales.

**btu:** es la cantidad de calor necesaria para elevar la temperatura de una libra de agua en un grado Fahrenheit (1 °F). Es la unidad de calor en el sistema inglés.

**Calor:** es una forma de energía en movimiento de un cuerpo a otro como resultado de una diferencia de temperaturas entre ambos.

**Entalpia:** energía calorífica de un sistema termodinámico, cuya magnitud depende de los estados inicial y final del mismo. Se expresa como:  $h = u + pv$ , donde  $h$  es entalpia,  $u$  es energía interna del sistema,  $p$  es la presión y  $v$  el volumen.

**Entropía:** es una medida del desorden energético que posee un cuerpo. Representa la energía total transferida al sistema por grado de temperatura, para llevar al mismo a su condición de energía real desde un punto de referencia seleccionado arbitrariamente.

**Kilocaloría (kcal):** es la cantidad de calor necesario para elevar la temperatura de un kilogramo de agua en un grado centígrado (1 °C). Es la unidad de calor del sistema internacional.

**Líquido saturado:** es aquel que se encuentra a las condiciones de presión y temperatura de saturación.

**Líquido sub-enfriado:** es aquel que se encuentra a unas condiciones de temperatura o presión inferiores a las condiciones de saturación.

**Presión:** es una variable indicativa de la interacción molecular entre un cuerpo y el medio que lo rodea. También se puede definir como la relación entre la fuerza aplicada sobre una unidad de superficie. Pueden ser  $\text{lb} / \text{pulg}^2$  (psi) en sistema inglés ó  $\text{N} / \text{m}^2$  (pascal) en el sistema internacional.

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

**Temperatura:** es una propiedad intrínseca de la materia. Indica el grado de presión térmica a la cuál está sometida un cuerpo. Alta presión térmica corresponde a un cuerpo caliente y, por ende, alta temperatura.

**Tonelada de refrigeración:** se define la tonelada de refrigeración, como la capacidad de absorber 200 Btu/ min (50.4 kcal / min).

**Vapor saturado:** es aquel que se encuentra a las condiciones de temperatura y presión de saturación.

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

**Tri-Micro:** es una marca de filtros para aceite de compresores, utilizados en sistemas de refrigeración. Estos filtros son exclusivos para la marca de compresores Vilter.

**Válvula King:** es un válvula principal que sirve para cortar el flujo de amoníaco, que va del receptor hacia la válvula de expansión, en un sistema de refrigeración.

## INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de EPS se realizó en la Planta Industrial "Embotelladora de los Altos", y se enfocó en el estudio del sistema de refrigeración, ya que se considera importante para la producción de bebidas gaseosas, agua pura y refrescos no carbonatados.

Dicho sistema es de ciclo cerrado y gran capacidad, debido a que se usa para el enfriamiento de grandes volúmenes de líquido en un tiempo relativamente corto.

El agente refrigerante utilizado es amoníaco y éste se hace recircular por medio de compresores reciprocantes. La finalidad del sistema es, primeramente, enfriar a temperatura adecuada una mezcla de jarabe y agua pura, para poder agregar anhídrido carbónico, con lo cual se producen las aguas gaseosas; este proceso se lleva a cabo en equipos que se conocen como Carbo - cooler y Chiller. Además de lo anterior, el sistema sirve para bajar la temperatura del agua pura en un equipo llamado Banco de hielo y ésta ya enfriada se utiliza en máquinas de pasteurización e intercambiadores de calor.

El mantener las temperaturas correctas en el proceso es un requisito indispensable para que la calidad de los productos sea óptima; aspecto que la empresa por su sólido prestigio exige.

El estudio realizado permite plantear un mejoramiento del sistema y poder determinar los consumos actuales y los que se pueden presentar en un futuro.

El capítulo No. 1 se refiere a los refrigerantes en general y luego al amoníaco que es el refrigerante utilizado para este sistema. Es necesario profundizar acerca de este refrigerante debido a que su manejo necesita ciertas precauciones.

En el capítulo 2, se explican los componentes y la forma de operar del sistema de refrigeración actual. Además, se amplía la información de cada componente, para dar una mejor explicación acerca de éstos y, en el caso de los compresores, se explica un mecanismo que tienen para poder trabajar cuando las cargas de consumo son variables.

El capítulo 3 trata sobre las cargas que consumen los evaporadores y las cargas que producen los compresores; también se hace un análisis y comparación de cargas para determinar la eficiencia y anomalías en el sistema.

En el capítulo 4, se determinan las necesidades que tiene el sistema actual en cuanto al consumo de toneladas de refrigeración y prevé una carga de consumo para equipo futuro en caso sea necesaria.

En el capítulo 5, se analiza si la tubería utilizada es adecuada y se determinan las caídas de presión en cada una de las líneas de conducción de amoníaco. Además, se calcula la tubería adecuada en caso fuera implementado, en un futuro, otro evaporador.

En el capítulo 6, se analiza y propone un mantenimiento adecuado al sistema de refrigeración en los tres tipos que se aplican en la planta; ellos son: mantenimiento preventivo, mantenimiento correctivo y mantenimiento de emergencia.

## Capítulo No. 1

### REFRIGERANTES

Un refrigerante es una sustancia empleada para transmitir calor en un sistema de refrigeración. Recoge calor por evaporación a baja presión y temperatura, lo cede condensándose a presión y temperaturas más elevadas.

Las características que debe tener todo refrigerante son:

- Debe ser volátil, o sea susceptible de ser evaporado.
- El calor latente de evaporación debe ser lo suficientemente alto para que la circulación de una cantidad mínima de refrigerante logre el resultado deseado.
- La seguridad de su uso en determinadas condiciones de operación es importante. Los refrigerantes no deben arder, apoyar la combustión, o ser explosivos.
- Debe ser inocuo y detectable con pruebas simples.
- Su costo debe ser razonable.
- No debe tener un efecto perjudicial en los metales o lubricantes usados en los compresores y otros componentes.
- Debe tener presiones de evaporación y condensación razonables.
- Debe producir la máxima refrigeración posible por volumen manejado por el compresor.
- La temperatura crítica debe quedar muy por arriba de la temperatura de condensación.

#### 1.1 TIPOS DE REFRIGERANTE

En la tabla No. 1.1, se muestran los refrigerantes existentes con su numeración, nombre químico, fórmula, peso molecular, punto de ebullición y clasificación por grupo.

El ANSI agrupa los refrigerantes en tres clases, y dependen de su toxicidad e inflamabilidad. Los refrigerantes del grupo No. 1 no son tóxicos o inflamables; los del grupo No. 2 son ligeramente tóxicos o inflamables y los del grupo No. 3 son altamente tóxicos o inflamables.

##### 1.1.1 Característica de algunos refrigerantes:

El anhídrido carbónico es un refrigerante seguro, pero sus presiones de trabajo son elevadas.

El amoníaco es uno de los refrigerantes más antiguos; ha encontrado gran aplicación en la fabricación de hielo y acumuladores de frío. El amoníaco es mucho más económico que algunos refrigerantes. Los inconvenientes del amoníaco son: toxicidad; posible tendencia a explotar; olor desagradable; corroe el cobre, zinc y latón.



## Sistema de designación numérica de refrigerantes

Tabla No. 1.1.\*

Número del refrigerante	Nombre químico	Fórmula química	Peso molecular	Punto de ebullición normal, °C	Clasificación por grupo	
10	tetracloruro de carbono	$\text{CCl}_4$	153.8	77	2	
11	triclorofluorometano	$\text{CCl}_3\text{F}$	137.4	24	1	
12	diclorodifluorometano	$\text{CCl}_2\text{F}_2$	120.9	-30	1	
13	clorotrifluorometano	$\text{CClF}_3$	104.5	-81	1	
22	clorodifluorometano	$\text{CHClF}_2$	86.5	-41	1	
23	trifluorometano	$\text{CHF}_3$	70	-82	1	
113	1, 1, 2 - triclorotrifluoroetano	$\text{CCl}_2\text{FCClF}_2$	187.4	48	1	
114	1, 2 - diclorotetrafluoroetano	$\text{CClF}_2\text{CClF}_2$	179.9	4	1	
<b>Hidrocarburos</b>						
50	metano	$\text{CH}_4$	16	-161	3	
170	etano	$\text{CH}_3\text{CH}_3$	30	-89	3	
290	propano	$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_3$	44	-42	3	
600	butano	$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_3$	56.1	0	3	
600a	isobutano	$\text{CH}(\text{CH}_3)_3$	58.1	-12	3	
<b>Compuestos inorgánicos</b>						
717	amoníaco	$\text{NH}_3$	17	-33	2	
732	oxígeno	$\text{O}_2$	32	-183		
744	bióxido de carbono	$\text{CO}_2$	44	-78	1	
764	bióxido de azufre	$\text{SO}_2$	64.1	-10	2	
<b>compuestos orgánicos insaturados</b>						
1 140	cloruro de vinilo	$\text{CH}_2=\text{CHCl}$	62.5	-14		
1 141	floruro de vinilo	$\text{CH}_2=\text{CHF}$	46	-72		
1 150	etileno	$\text{CH}_2=\text{CH}_2$	28.1	-104	3	
1 270	propileno	$\text{CH}_3\text{CH}=\text{CH}_2$	42.1	-48	3	
<b>Azcótopos</b>						
	Composición	Temperatura azcótropica, °C				
500	R - 12 / 152a		0	99.3	-33	1
502	R - 22 / 115		19	112	-45	1

El cloruro de metilo es un gas que posee propiedades físicas y termodinámicas que lo hacen un refrigerante satisfactorio. En presencia de la humedad es corrosivo, y puede destruir piezas de zinc y aluminio, disuelve compuestos orgánicos y el caucho. Debido a

\*M. Kutz; enciclopedia de la mecánica, ingeniería y técnica; Vol. 8. España, 1,989.

que el aceite y el cloruro de metilo son miscibles, hay que tomar las medidas oportunas para separarlos cuando se ponen en contacto en la lubricación de la máquina.

El anhídrido sulfuroso, cuando se halla herméticamente encerrado, no crea problemas serios, si bien su toxicidad es un riesgo que hay que tener en cuenta. Es un cuerpo estable, con un penetrante olor; irrita las mucosas pero no contamina los alimentos. Mezclado con agua constituye un agente muy corrosivo.

El vapor de agua a presión atmosférica es un refrigerante muy económico, no tóxico, fácilmente controlable y posee el calor latente de vaporización más elevado de todos los refrigerantes. Cuando se le emplea para este fin, es preciso manipular grandes volúmenes de vapor a baja presión, y la instalación debe estar construida de manera que no pueda penetrar aire en su interior.

El grupo Freón está compuesto por varios grupos halogenados. Son refrigerantes muy apreciados por sus densidades y temperaturas de congelación, ebullición y crítica. Estos no corroen los metales ni irritan las mucosas; tampoco tienen olores molestos ni alteran los alimentos, no reaccionan con los aceites lubricantes con los que puedan entrar en contacto. Sin embargo, en los aparatos alimentados con freón, hay que proteger de su acción disolvente el caucho, los barnices, algunos cuerpos aislantes y otras sustancias.

Cabe mencionar que estos productos tienen que ser eliminados del mercado en un tiempo prudencial, debido a que son muy perjudiciales para la capa de ozono y se deben buscar refrigerantes alternos.

Además de enumerar los tipos de refrigerantes, es necesario tener un conocimiento de la toxicidad que tienen los refrigerantes más comunes; en la siguiente tabla se presentan:

Tabla No. 1.2

Refrigerante	Duración de la exposición en minutos	Concentración letal % volumen de vapor en el aire
Amoniaco	30	0.5
Freón-11	120	10.0
Freón-12	30	10.2
Freón-22	120	28.5
Anhídrido carbónico	30	29.0

## 1.2 APLICACIONES DE LOS REFRIGERANTES

La elección del refrigerante, o medio de trabajo, para un determinado tipo de instalación de refrigeración, se basa en las temperaturas y presiones a las cuales se vaporiza.

La aplicación del anhídrido carbónico es solamente en casos especiales, debido a la potencia absorbida por tonelada de refrigeración y a las presiones de trabajo.

El amoniaco es ideal para la aplicación, en la industria de la refrigeración, por ser económico y estar indicado para bajas temperaturas, y requiere recircular solamente un reducido volumen de gas por tonelada de refrigeración.

El cloruro de metilo es un refrigerante utilizado en la industria en pequeñas máquinas frigoríficas. Mientras que el anhídrido sulfuroso es aplicable en aparatos de refrigeración tipo doméstico, su temperatura de condensación es elevada; hierve a  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$  aproximadamente y permite trabajar con gran eficiencia a bajas presiones.

El vapor de agua es utilizable cuando las temperaturas que se requieran no sean bajas, ya que su aplicación está indicada para producir temperaturas arriba de los  $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

El grupo freón es utilizable para usos domésticos e industriales en referencia a su número.

## 1.3 REFRIGERANTES INDUSTRIALES

Los puntos de ebullición y congelación, así como las temperaturas críticas establecen límites en la operación de los refrigerantes. De las características de presión, depende el tipo de equipo y tubería a utilizarse. El volumen es una característica que determina algunas veces el tipo de compresor que va a usarse.

Debido a las características descritas anteriormente y al uso comercial que tienen, los refrigerantes comúnmente usados en la industria de la refrigeración son: el amoniaco, refrigerante No. 12, refrigerante No. 22 y refrigerante No. 502, ya que estos refrigerantes son económicamente rentables y sus propiedades físicas son adecuadas.

## 1.4 REFRIGERANTES UTILIZADOS EN LA PLANTA

De los refrigerantes mencionados anteriormente, tres son utilizados en la planta, pero para fines de refrigeración son únicamente dos los que se usan.

El anhídrido carbónico es una materia prima, que en la planta tiene utilidad para la carbonatación de los refrescos. En cambio el amoníaco y el freón-22, son sustancias que tienen utilidad como refrigerantes.

El freón-22 es utilizado en una mínima cantidad en relación al amoníaco (de 2 a 3 lb). Por la acción de este refrigerante, se extrae humedad al aire comprimido, que sirve para diferentes procesos. Este efecto se produce al pasar el aire por un serpentín en donde se evapora el refrigerante creando una baja de temperatura.

El Amoníaco es el refrigerante de mayor utilidad en la planta para los procesos de refrigeración, ya que a través de éste, se logran procesos como la pasteurización del agua y la temperatura adecuada para la carbonatación de refrescos.

Debido a que el amoníaco es el refrigerante utilizado en mayor proporción en la planta, es necesario tener un conocimiento más detallado de éste, y se da a continuación:

El refrigerante denominado amoníaco anhídrido, cuya denominación comercial es conocida como R-717, no es un veneno acumulativo. Tiene un olor nauseabundo muy característico, que aun a bajas concentraciones, es detectado por la mayoría de las personas. En vista de que 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 donde exista una pequeña fuga de amoníaco. Debido a que el amoníaco es más ligero que el aire, el mejor medio para prevenir acumulaciones peligrosas en 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.

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

El amoníaco se envasa en cilindros de acero de 150, 100 o 50 libras netas. Independientemente de su tamaño, se llena de manera que a los 65 °F el amoníaco líquido ocupe solamente el 88% del cilindro, el espacio adicional permite la expansión de éste a temperaturas mayores. El lugar donde se almacenan los cilindros debe de estar bien ventilado y alejado de líneas de vapor, tubos de escape calientes y dispositivos de calefacción, además no se debe aplicar soplete a un cilindro de amoníaco.

La conexión para cargar amoníaco en el sistema de refrigeración, está siempre en el lado de alta presión, cerca del receptor donde el refrigerante puede almacenarse; esto evita que al compresor llegue refrigerante líquido y este pueda sufrir daños.

Características del amoníaco:

Tabla No. 1.3.

Fórmula química	NH <sub>3</sub>
Denominación internacional	R-717
Identificación del cilindro	Negro, con una franja de color rojo en el centro.
Peso molecular	17
Punto de ebullición	-33 °C
Punto de solidificación	-77 °C
Combustibilidad	En caso se acerque llama a algún lugar, donde exista fuga.
Peligro de explosión	Explota espontáneamente cuando el amoníaco alcanza, en presencia del aire, una cantidad crítica de alrededor del 13 al 16%.
Aspecto visual	Incoloro

En la mayor parte de plantas grandes, la carga de amoníaco se efectúa entre el receptor y la válvula de expansión, como se indica en la figura 1.1. Para la carga de éste, se sube el extremo del fondo del cilindro 3/4 pulg. Se aprietan las conexiones de carga, se cierra la válvula king, se abre la válvula del cilindro y la de carga. Realizado esto, en el cilindro se crea succión, y permite que el amoníaco líquido fluya dentro del sistema. Para verificar que el cilindro está descargando, se debe colocar en una báscula y observar el cambio de peso.

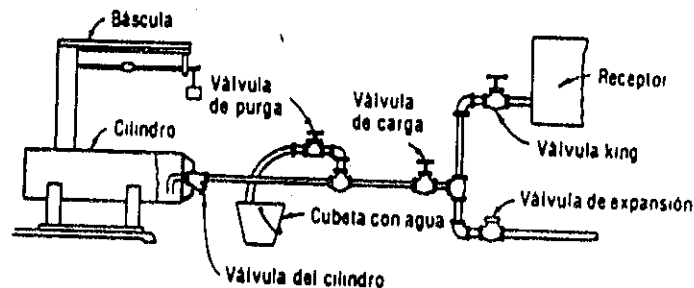


Fig. 1.1.

## ANÁLISIS Y DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN

### EXISTENTE EN LA PLANTA

#### 2.1 COMPRESORES

Son las máquinas con piezas en movimiento, destinadas a reducir el volumen del refrigerante y a aumentar su presión.

El corazón de cualquier ciclo de compresión de vapor es el compresor. Actualmente existen cuatro tipos básicos: reciprocante, centrífugo, rotatorio de aletas deslizantes y el más reciente de tornillo giratorio helicoidal.

Las diferencias básicas que existen entre los cuatro tipos son:

- a) Un compresor reciprocante consiste en una o más combinaciones de pistones y cilindros. El pistón o émbolo se desplaza con movimiento reciprocante para halar gas de succión hacia el cilindro en una carrera y además comprimirlo y descargarlo en el condensador en la carrera de retorno.
- b) Un compresor centrífugo tiene un impulsor de alta velocidad de una o varias etapas para establecer suficiente fuerza centrífuga dentro de una carcasa circular para elevar la presión del gas refrigerante hasta el nivel de condensación.
- c) Un compresor rotatorio de aspas o aletas deslizantes es una unidad de desplazamiento positivo en la que se atrapa un cierto volumen de gas, se comprime y se arroja fuera de la máquina.
- d) Un compresor de tornillo giratorio helicoidal es otra unidad de desplazamiento positivo. Consta básicamente de dos rotores ranurados o perfilados helicoidalmente, uno macho y uno hembra en un alojamiento estacionario con lumbreras de succión y descarga. El compresor en un sistema de refrigeración se utiliza para recuperar el líquido expandido y gasificado con el fin de poder usarse muchas veces.

Los compresores utilizados en el sistema de refrigeración de la planta (Fig. 2.1) son 3 y son del tipo reciprocante o movimiento alternativo (pistones). A continuación, se presentan las características de cada uno de los compresores existentes en la planta.

**Compresor No. 1 y 3****Tabla No. 2.1.**

Marca	Vilter V.M.C. 440
Tipo	448
No. de cilindros	8 dispuestos en 4 cabezas
Accionamiento	motor eléctrico de 230 voltios y 100 hp de potencia
Transmisión	fajas "V"
Diámetro de cilindro	4 1/2 pulg
Carrera	3 1/2 pulg
Conexiones	4 pulg en succión 3 pulg en descarga
Enfriamiento	Agua a 26 °C, de 2 a 4 gal / min
Lubricación	Aceite tipo nafténico, gravedad 25.3 resistente a la formación de espuma, capacidad Max. de carga, 7 gal
% de reducción de capacidad	25 %, 50 %, 75 %.

**Compresor No. 2****Tabla No. 2.2.**

Marca	Vilter V.M.C. 440
Tipo	446
No. de cilindros	6 dispuestos en 3 cabezas
Accionamiento	motor eléctrico de 230 voltios y 125 hp de potencia
Transmisión	fajas "V"
Diámetro de cilindro	4 1/2 pulg
Carrera	3 1/2 pulg
Conexiones	4 pulg en succión 3 pulg en descarga
Enfriamiento	Agua a 26 °C, de 2 a 4 gal / min
Lubricación	Aceite tipo nafténico, gravedad 25.3 resistente a la formación de espuma, capacidad Max. de carga, 7 gal
% de reducción de capacidad	33 % y 66 %.

Además de estas características, estos compresores son de simple efecto y de presión hidrostática variable y volumen constante. Manejan distintas presiones de descarga con cambios relativamente pequeños en el flujo volumétrico de entrada.

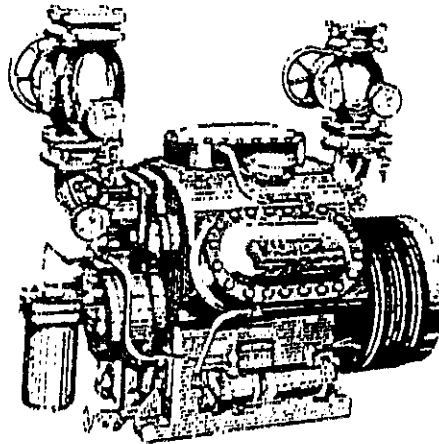


Fig. 2.1

### 2.1.1. CAPACIDAD DE DESCARGA

El compresor alcanza la presión de carga impuesta a cualquier nivel hasta el límite de su relación de compresión. Las condiciones de flujo variable pueden satisfacerse por medio de dispositivos que descargan cilindros individuales o múltiples. Esta descarga la realizan los compresores a través de un mecanismo de resortes y es accionado por un pistón de potencia.

Este mecanismo funciona por la diferencia de presiones entre la línea de succión y descarga. Cuando el compresor no está funcionando, éstas son iguales en cualquiera de los lados del pistón de potencia; los resortes de potencia mueven hacia arriba el soporte, el anillo elevador y los pernos elevadores, y da lugar a que el platillo de la válvula de succión suba y descargue el banco de cilindros del compresor.

Cuando se pone en marcha el compresor, la presión de succión es alta y los cilindros de descarga permanecen sin carga durante las primeras revoluciones. Luego, la presión de succión disminuye y la de descarga aumenta. Parte del gas de descarga pasa al pistón de potencia por conducto del orificio "A", con el resultado de que la diferencia de presión en el pistón de potencia también aumenta (Fig. 2.2). Cuando esta diferencia llega aproximadamente a  $25 \text{ lb/plg}^2$ , el pistón baja y vence la presión de los resortes de soporte, y da lugar a que el platillo de la válvula de succión se coloque nuevamente en su asiento y



a que se cargue el banco de cilindros correspondiente. Este procedimiento ocurre en el transcurso de unas cuantas revoluciones.

El compresor permanecerá cargado durante su operación normal. Cuando la presión de succión disminuye hasta quedar debajo de la escala normal, afecta a los controles de presión. Estos se utilizan para la operación de descarga; no son desconectores de baja presión, y su función es cerrar un circuito al caer ésta. Por lo tanto, al caer la presión de succión, el control de esta cierra un contacto y excita un solenoide conectado al banco del cilindro. Cuando este solenoide recibe corriente, abre un tubo de conexión que va directamente a la succión del compresor y permite que la presión del gas sobre el pistón de potencia se escape a la succión. Nuevamente se obtiene una condición de igualdad de la presión sobre el pistón de potencia y la presión debajo del mismo para permitir que los resortes del soporte levanten el platillo de succión y descarguen el banco de cilindros. Este ciclo se repite siempre que ocurra fluctuación de carga. Mientras la válvula solenoide esté abierta, el gas que sale medido de la descarga, pasará a la succión para mantener una condición de descarga.

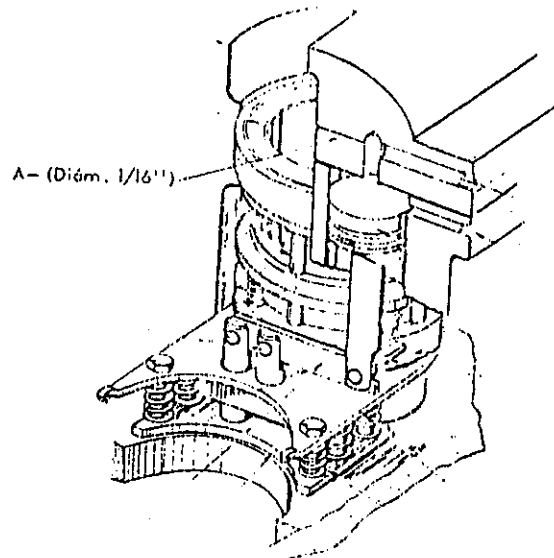


Fig. 2.2

Este sistema de descarga está habilitado para los tres compresores existentes en la planta, y la utilidad que tiene es debido a que los evaporadores no siempre requieren de una cantidad constante de refrigerante dado a que trabajan bajo un nivel determinado, que será explicado más adelante.

Los compresores No. 1 y 3 tienen una reducción de capacidad de 25 %, 50 % y 75 %, conectados de forma secuencial y abren de acuerdo con la disminución de presión en tres de las cuatro cabezas. (Fig. 2.3)

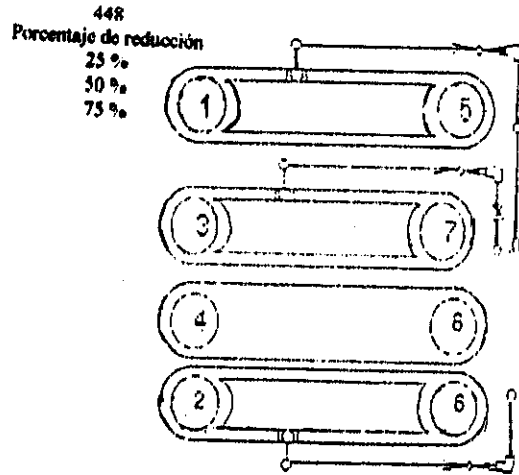


Fig. 2.3

El compresor No. 2 tiene una reducción de capacidad de 33 % y 66 %, que también está conectada en forma secuencial a 2 de las tres cabezas. (Fig. 2.4)

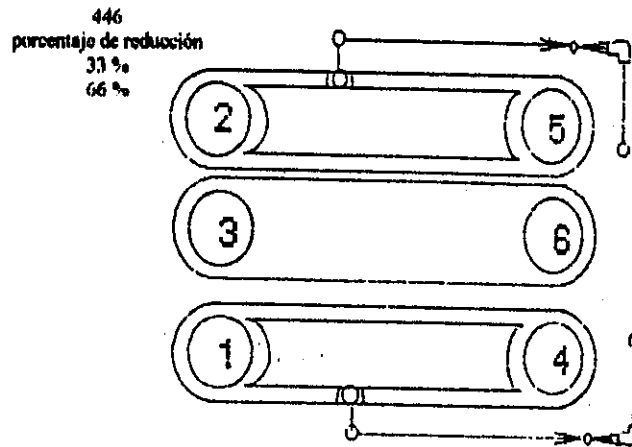


Fig. 2.4

## 2.1.2 ACCESORIOS DE LOS COMPRESORES

Los compresores incluyen diversos componentes que son necesarios para la correcta operación de la refrigeración. El compresor y su motor son las partes más importantes de estos elementos, pero además de éstos, existen los siguientes:

### 2.1.2.1. Separador de aceite:

Los compresores que trabajan con amoníaco normalmente permiten aceite en la línea de descarga. Gran porcentaje de este aceite es atrapado en el separador y luego es retornado al compresor, con lo cual se reduce el consumo en el sistema. Los vapores de descarga, junto con el aceite, entran en el separador de aceite y chocan contra una serie de deflectores. La velocidad del gas, además, es disminuida al entrar en el separador, lo cual favorece la separación del aceite de la corriente de gas. El aceite circula desde el separador a través de un filtro hacia una cámara controlada por un flotador. Cuando se ha acumulado suficiente aceite en la cámara, el flote se levanta, abriendo una válvula, y permite el retorno de éste al compresor.

### 2.1.2.2. Control de aceite:

Los compresores necesitan un seguro para prevenir fallas en el funcionamiento del sistema de lubricación. Es importante mantener la presión de aceite en todo momento. Como medida de seguridad, se incluye un control tipo Penn. Este control funciona por el diferencial, entre la presión del aceite y la de succión del compresor. Esta diferencia es la presión real del aceite en el sistema de lubricación del compresor.

### 2.1.2.3. Calentador del cárter:

El calentador del cárter se activa únicamente cuando el compresor no funciona y tiene por objeto evitar la acumulación de líquido en el cárter. Debe operar a una temperatura aproximada a 115 °F (46 °C) y estar conectado eléctricamente a través de un circuito independiente, a fin de permanecer conectado cuando el compresor no está en funcionamiento. El uso excesivo de aceite y desgaste, en las camisas del cilindro, pueden ser causados por la presencia de amoníaco líquido en el cárter.

### 2.1.2.4. Protector de presión:

Los compresores cuentan con un disyuntor dual de presión. El objeto de estos controles es proteger el compresor contra presiones de descarga excesivamente altas y presiones de succión excesivamente bajas. Los controles están contruidos de tal manera que cualquiera de las condiciones mencionadas abran un par de contactos y paren el compresor.

#### 2.1.2.5. Válvula de seguridad By-pass:

Los compresores están equipados con una válvula interna de seguridad. Si por alguna razón, la presión de descarga sube a 250 lb/pulg<sup>2</sup> sobre la presión de succión, la válvula se abre, y permite que los gases de alta presión del lado de descarga pasen al lado de baja presión. No se produce ninguna descarga de gases directamente a la atmósfera. Cuando ésta válvula es accionada, debe reemplazarse por una nueva.

#### 2.1.2.6. Manómetros:

Existen cuatro manómetros en cada compresor y sirven para visualizar las presiones a que se encuentran trabajando; existen dos para el lado de succión uno para el amoníaco y otro para el aceite, y del lado de descarga también existen dos, uno para el amoníaco y uno para el aceite.

#### 2.1.2.7. Interruptores de reducción de capacidad:

Cuando en el sistema varían las cargas, los interruptores de reducción de capacidad conservan presiones de succión predeterminadas y reducen la capacidad de la máquina para ajustarse a las condiciones existentes. Estos interruptores están conectados a la línea de succión.

#### 2.1.2.8. Agua refrigerante:

Los compresores están provistos de tubería para la entrada de agua refrigerante, en la que se instala un filtro, una válvula solenoide y una válvula manual. El agua pasa primero al enfriador de aceite y luego a las cabezas del compresor. El agua utilizada como refrigerante es suavizada y después de pasar por el compresor es botada en el drenaje.

#### 2.1.2.9. Filtro de aceite:

El filtro de aceite es de un material conocido como Tri - Micro y ha sido obtenido de un material especial que es altamente compatible con el uso de refrigerantes. Debe ser cambiado periódicamente, según normas del fabricante.

### 2.2. CONDENSADOR EVAPORATIVO

La evacuación del calor absorbido por las instalaciones de refrigeración se efectúa en condensadores enfriados por aire o bien por agua, los cuales transforman el refrigerante del estado gaseoso al estado líquido.

a) Los condensadores enfriados por aire se emplean en la mayoría de los pequeños refrigeradores de tipo doméstico.

b) Los condensadores enfriados por agua pueden ser: de doble tubo; de una o más camisas provistos de uno o más pasos de agua; de camisas múltiples y pequeño tamaño; evaporativos. Son estos últimos de mayor interés por ser con los que cuenta la planta.

Los condensadores evaporativos se emplean mucho cuando el agua utilizada para su enfriamiento debe recuperarse. Durante su funcionamiento el agua de enfriamiento, se proyecta pulverizada sobre los tubos del condensador, los cuales se hallan dispuestos dentro de un recinto. Al mismo tiempo y por medio de un ventilador, se lanza una corriente de aire sobre el condensador en sentido contrario al del agua pulverizada, la cual se enfría al evaporarse en parte y transformarse el calor sensible en calor latente. El agua sin evaporar se recoge en el fondo del aparato y se hace recircular mediante la bomba de los pulverizadores o aspersores. La pérdida de agua por pulverización es del orden del 10 % de la manipulada. Los condensadores evaporativos se pueden instalar a la intemperie, o bien dentro de locales; en este último caso, es necesario disponer de canalizaciones para la entrada y salida del aire. (Fig. 2.5)

## CONDENSADOR EVAPORATIVO

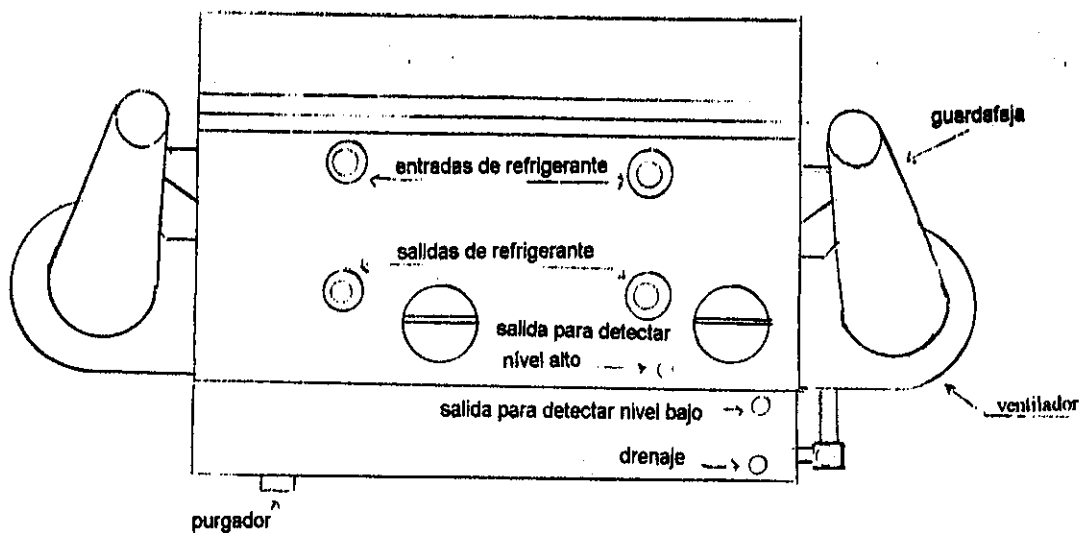


Fig. 2.5

La planta cuenta con dos condensadores evaporativos a la intemperie con las siguientes características:

### Condensador evaporativo No. 1

Este condensador fue instalado con la primera línea, pero carece de datos; solamente se sabe que tiene una capacidad de disipación de 85.2 toneladas de refrigeración.

además, éste se encuentra en malas condiciones y no trabaja.

### Condensador evaporativo No. 2

Tabla No. 2.3.

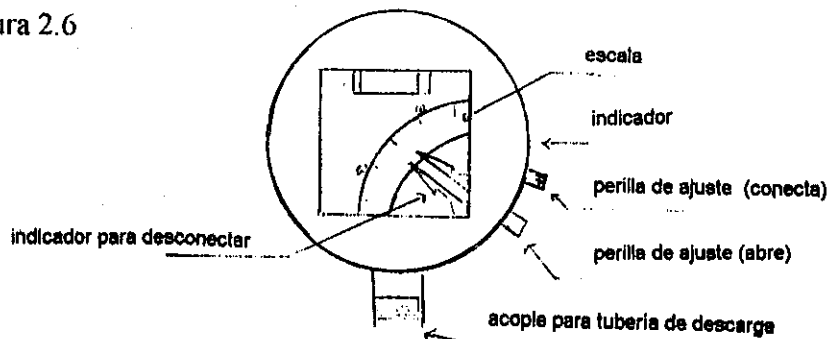
Marca	Vilter
Tipo	Condensador evaporativo
Modelo No.	300
Capacidad de disipación de calor con amoníaco	213 ton de refrigeración
No. de ventiladores	4
Pot. de motor de ventilador	15 hp
No. y Pot. de bombas	2 de 2 hp
Caudal de agua	320 gal / min
Cantidad de aire	57,000 pies / min
Diámetro de entrada de amoníaco	4 pulg con dos entradas
Diámetro de salida de amoníaco	4 pulg con dos salidas
Capacidad de carga de amoníaco	520 lb

La forma de circulación del amoníaco comienza cuando los gases calientes provenientes de la descarga del compresor ingresan a los serpentines por medio de las entradas de amoníaco dispuestas en la parte superior, precipitan y condensan el gas hasta llegar a la salida de amoníaco líquido donde es llevado al receptor.

El agua utilizada en el condensador evaporativo, y es suavizada antes de ser usada para evitar incrustaciones dentro de éste, además, se le agregan algicidas para evitar la formación de algas o cuerpos orgánicos, los cuales pueden obstruir el libre paso de agua en los aspersores o rociadores.

Los controles de presión (Fig. 2.6) que operan en el condensador evaporativo son conectados a la tubería de descarga en la entrada del condensador y suficientemente alejados del compresor, a fin de prevenir pulsaciones en la tubería de descarga. Existen dos controles; uno conectado al circuito eléctrico de los motores de los ventiladores y el otro conectado al circuito eléctrico de las bombas de agua. La calibración está regida a normas proporcionadas por el fabricante.

Figura 2.6



### 2.3 RECIBIDOR

Un recibidor desempeña las siguientes funciones: almacena el refrigerante no usado que regresa del condensador; almacena el refrigerante que va a ser utilizado en el evaporador; almacena el exceso de refrigerante en el sistema, y proporciona un lugar donde almacenar el refrigerante cuando se vacía el evaporador durante las operaciones de mantenimiento. El recibidor debe de tener una línea de retorno del condensador, una válvula de alivio y una línea igualadora o en la parte superior del condensador.

En la planta, el recibidor es un cilindro horizontal a donde llega a dar el amoníaco líquido, después de haber sido condensado en el condensador evaporativo. Este recipiente está construido de hierro negro y diseñado para soportar altas presiones; no tiene partes móviles, por lo tanto está libre de problemas. De aquí, se distribuye el líquido refrigerante a los diferentes evaporadores existentes en la planta. (Fig. 2.7)

## RECIBIDOR DE REFRIGERANTE

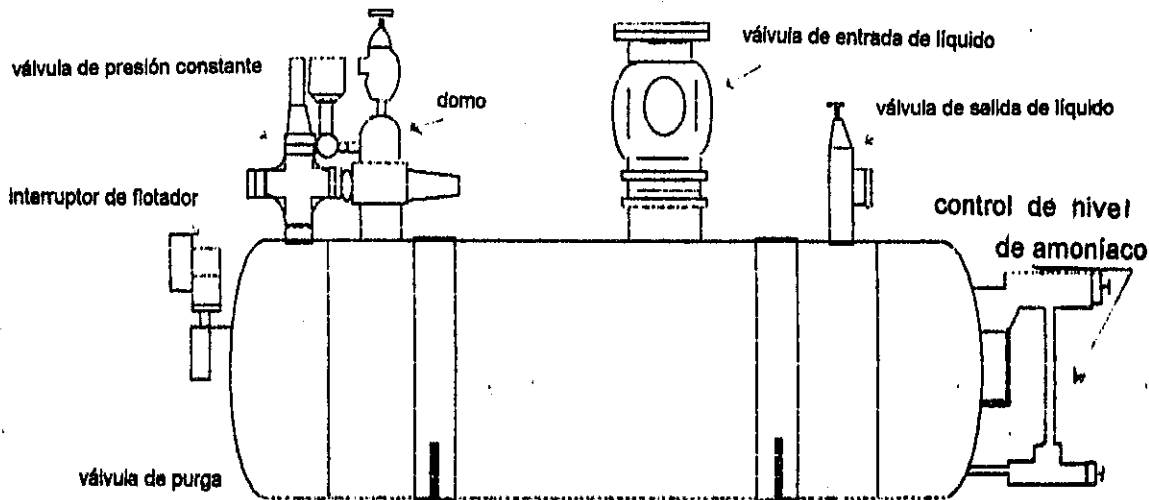


Figura 2.7

El nivel del líquido puede apreciarse por medio del tubo de control de vidrio y es importante que el tanque recibidor tenga por lo menos un tercio de la capacidad cuando el sistema se encuentre trabajando.

Además de recibir el líquido que viene del condensador y distribuirlo para los diferentes evaporadores, el recibidor también tiene una válvula de purga que sirve para evacuar los gases no condensables; una línea igualadora de presiones en la trampa de amoníaco y una en el condensador; una entrada para descarga de amoníaco líquido proveniente de la trampa de amoníaco de la línea de succión, el líquido recolectado en la trampa, cae por gravedad al recibidor.

#### 2.4. EVAPORADORES:

Como el nombre lo indica, ésta es la parte del sistema en donde se evapora el refrigerante líquido. Algunas veces se le llama serpentín de enfriamiento, unidad enfriadora, serpentín congelador, enfriador de líquido, etc., pero independientemente del nombre, la parte del sistema donde el refrigerante líquido se convierte en vapor por absorción de calor, es un evaporador. Aunque algunas veces es un aparato muy simple, constituye la parte más importante del sistema. Cualquier sistema de refrigeración se diseña, se instala y se opera con el único fin de quitar calor a una sustancia. Debido a que este calor debe ser absorbido por el evaporador, la eficiencia del sistema depende del diseño apropiado y de la adecuada operación del evaporador.

Las características que debe tener un evaporador son:

- a) Suficiente superficie para absorber la carga térmica sin una diferencia excesiva de temperatura entre el refrigerante y la sustancia que va a enfriarse.
- b) Proporcionar suficiente espacio para el refrigerante líquido y también un espacio adecuado para que el vapor del refrigerante se separe del líquido.
- c) Proporcionar espacio para la circulación de refrigerante sin excesiva caída de presión entre la entrada y la salida.

Los evaporadores se clasifican frecuentemente atendiendo al medio enfriado, esto es, en enfriadores de agua, salmuera o aire. Los evaporadores pueden ser simples serpentines de tubo, o bien elementos de hierro colado, los cuales se disponen en las paredes del local a enfriar. Otras veces, se les da la forma de condensadores de camisa, tubo, de doble tubo o serpentines de tubos de aletas. En cualquier caso, es esencial para un funcionamiento satisfactorio que quede distribuido adecuadamente el refrigerante en el evaporador.

Los evaporadores usados para servicio de refrigeración deben de tener requerimientos especiales que no se dan en otros tipos de intercambiadores de calor. Lo anterior incluye problemas de retorno de aceite, distribución de gas de transvaporación, separación de gas y líquido, y efectos de sumersión.



Cuando el evaporador se usa con equipo de compresión de movimiento alternativo, es necesario asegurar el retorno adecuado del aceite desde el evaporador. Si el aceite no regresara en el flujo de refrigerante, es necesario dotar al sistema de un depósito para el aceite y extraerlo regularmente.

Como regla general, los refrigerantes se introducen en el evaporador expandiendo líquido desde una presión alta. En el proceso de expansión, una cantidad significativa de refrigerante se convierte en gas por transvaporación (vaporización por reducción de presión). Este gas debe introducirse al evaporador de manera apropiada para que el rendimiento sea satisfactorio. La distribución inadecuada del gas de transvaporación puede causar un arrastre de líquido hacia el compresor, así como daño a los tubos del cambiador de calor por erosión o vibración.

El gas de aspiración que sale del evaporador debe estar seco para evitar que dañe el compresor. El diseño debe asignar un espacio de separación adecuado o bien incluir eliminadores de neblina. El arrastre de líquido es una de las principales fuentes de problemas en los sistemas de refrigeración.

Los evaporadores existentes en la planta son 3 y tienen nombres específicos como lo son: banco de hielo, chiller y carbo-cooler. Cada uno de estos cumple una función específica, que a continuación se detalla:

#### 2.4.1. Banco de hielo:

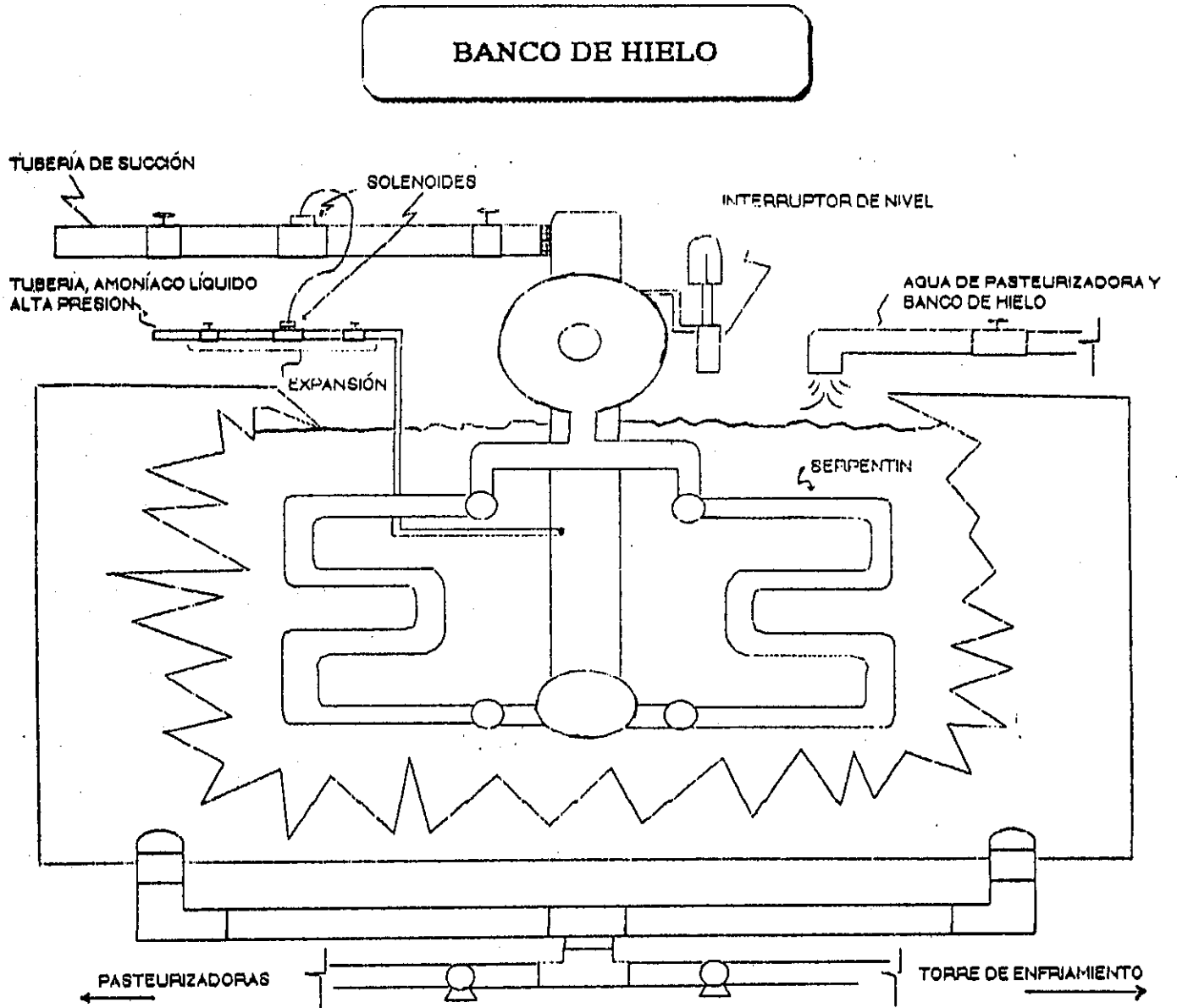
El banco de hielo tiene como función enfriar agua que sirve para: pasteurizar agua que tiene usos alimenticios como agua pura, agua para preparar bebidas gaseosas y refrescos no carbonatados, y también se utiliza en una torre de enfriamiento, en donde el agua sirve para enfriar intercambiadores de calor de jarabes para la preparación de bebidas gaseosas y refrescos no carbonatados.

El banco de hielo está constituido por: (Fig. 2.8)

- Recipiente o depósito de agua
- Bombas de agua, para distribuir el agua enfriada a las pasteurizadoras y banco de hielo (2)
- Tubería de entrada de amoníaco líquido proveniente del recibidor -Juego de válvulas para la expansión y dosificación del amoníaco.
- Serpentín de evaporación de amoníaco de 2 pasos (2)
- Interruptores de flote para control de nivel máximo y mínimo

El depósito de enfriamiento de agua está construido de lámina galvanizada de gran resistencia a la presión hidrostática; su forma es cúbica y en su interior se encuentra el agua enfriada, que es recirculada por medio de las bombas; este depósito se encuentra a

Figura 2.8



presión atmosférica. En el interior, se encuentra el serpentín de evaporación, el cual se encarga del enfriamiento del agua. El sistema de evaporador que se utiliza es de serpentín inundado y el control es por gravedad. Este último es aplicable al sistema, debido a que el refrigerante es distribuido en forma general, a todos los evaporadores y, por lo tanto, es en éstos donde se debe graduar la admisión de amoníaco. Esta admisión se logra por medio de la activación de válvulas solenoides del lado de alta y baja presión y los circuitos los abren o cierran los interruptores de flote que controlan los niveles máximos y mínimos. Además, existen termostatos que controlan la temperatura del agua y abren o cierran la válvula de expansión cuando sube o baja la temperatura respectivamente.

La pasteurización y enfriamiento de jarabe se realizan por medio de un sistema de salmuera, donde el fluido intermedio entre el sistema de amoníaco, las máquinas pasteurizadoras y la torre de enfriamiento es agua.

#### 2.4.2. Carbo-cooler:

El carbo-cooler es una máquina que utiliza un evaporador; sirve para carbonatar uniformemente un líquido por medio de un enfriamiento eficiente hasta 36 °F, bajo una atmósfera de CO<sub>2</sub> cuidadosamente controlada.

Al igual que el banco de hielo, el sistema del evaporador es por serpentín inundado y el control de amoníaco es por gravedad. La diferencia es que en este proceso, el refrigerante pasa directamente al intercambiador de calor donde se efectúa la carbonatación y no como en el banco de hielo, donde se utiliza un sistema de salmuera.

En instalaciones como las de la planta, donde existe más de un evaporador, se distribuye todo el refrigerante, desde un sistema central de amoníaco, y es necesario el control por gravedad, a fin de regular el flujo de refrigerante a los evaporadores. Un control abre o cierra la válvula solenoide, que mantiene el nivel de amoníaco aproximadamente a una o dos pulgadas sobre el fondo del cilindro de retorno. El amoníaco circula a través de las placas de enfriamiento del carbo-cooler por gravedad, el líquido desciende por la tubería y entrada. Una mezcla de líquido y gases retornan al tanque de retorno a través de la tubería. Aceite proveniente del compresor se acumula en la trampa de éste y debe drenarse a través de una válvula. Un control flotante sirve como alarma de alto nivel.

#### 2.4.3. Chiller:

En la planta, el chiller es el evaporador de mayor importancia, debido a que a través de éste se logra enfriar glicol, que a la vez sirve para enfriar la mezcla de jarabe y agua, a una temperatura adecuada para su posterior carbonatación en el intermix.

El sistema que utiliza el chiller es de serpentín inundado y control por gravedad; además, la forma de refrigeración de la mezcla es por el método de salmuera. Este consiste en un enfriamiento indirecto del refrigerante con la mezcla; esto se logra a través de un fluido intermedio conocido como glicol. Este proceso se lleva a cabo debido a que el glicol usado no es tóxico, no se gasifica y tiene una baja temperatura práctica. Estas características son adecuadas para evitar que existan mezclas entre el glicol y la mezcla que se va a preparar cuando pasan por el intercambiador de calor. En caso fuera una refrigeración directa, el gas de amoníaco podría filtrarse en las placas del intercambiador de calor y contaminar la mezcla, por lo tanto, se hace necesario utilizar los glicoles.

El tipo de glicol utilizado en el proceso de enfriamiento de la línea de embotellado No. 2 es el propilenglicol, que tiene las siguientes características:

Tabla No. 2.4.

Temperatura práctica mínima	-10 °C
Toxicidad	ninguna
Explosividad	ninguna
Corrosividad	media
Costo	medio
Densidad	1.118 gr / lt
Concentración	60 % en agua

El proceso que se lleva a cabo en este evaporador es de la siguiente manera:

El amoníaco llega por la línea de líquido del receptor al serpentín que trabaja y está constituido de la misma forma que en el banco de hielo, con la diferencia que el depósito donde se enfría el glicol es de forma cilíndrica y está cerrado herméticamente. En el interior, el glicol es enfriado por el refrigerante, y luego bombeado por tubería hacia el intercambiador de calor, que está constituido por un conjunto de placas por donde circula por un lado el glicol y por el otro la mezcla para agua gaseosa en flujo contrario. Luego de extraer calor a la mezcla, el glicol regresa al chiller donde de nuevo es enfriado para su recirculación.

El control de temperatura, presión y otras variables, son controladas de forma eléctrica para la apertura y cierre de válvulas del lado de glicol, como del lado de amoníaco.

Es necesario que la temperatura de la mezcla sea constante, debido a que la carbonatación del producto se realiza a 2 °C aproximadamente. Si esta temperatura no se controla los niveles de CO<sub>2</sub> en la bebida son bajos o altos, se obtiene un producto de mala

calidad. Por eso es necesario que el circuito que controla la temperatura del glicol y amoníaco, esté calibrado adecuadamente y funcione de forma regular.

## 2.5. TUBERÍAS

Los conductos para mover fluidos que estén o no a presión, reciben el nombre general de tubos. Se considera que hay dos tipos: tubo normal y tubo especial. El tubo normal o común es de pared gruesa de más de 1 pulg. de diámetro; el tubo especial es de pared delgada y por lo general de menos de 1 pulg. de diámetro; las especificaciones de cada uno son diferentes. El tubo normal se especifica por un tamaño o diámetro nominal y por su espesor de pared o cédula.

El Instituto Nacional Americano de Estandarización (ANSI) define la tubería de refrigeración como: "un componente tubular, usualmente cilíndrico, utilizado para conducir un fluido". El fluido puede ser compresible, incompresible o una combinación de éstos.

Básicamente, tres materiales son utilizados en la fabricación de tubería para refrigeración: acero, cobre y latón.

Mientras los refrigerantes halocarburos pueden ser usados en tubería y componentes utilizados en sistemas de amoníaco, la tubería y componentes utilizados en refrigerantes halocarburos, no pueden ser utilizados en amoníaco, debido a que éste ataca el cobre y latón.

Cuando el sistema necesita refrigerantes del grupo 2 ó 3, no debe utilizarse tubería menor que cédula 80 en la línea de líquido y el diámetro debe ser 1 1/2 pulg. o menos.

La tubería existente en la planta para el sistema de refrigeración es la siguiente:

- a) Línea de líquido: tubería de acero ASTM-tipo A53 sin costura ni soldadura, cédula 80 y diámetro 1 1/2".
- b) Línea de succión: tubería de acero ASTM-tipo A53 de tope con soldadura, cédula 40 y diámetro 4".
- c) Línea de descarga: tubería de acero ASTM-tipo A53 sin costura ni soldadura, cédula 40 y diámetro 3".

En la planta, el sistema de refrigeración cuenta con tubería para la línea de descarga, líquido y de succión. Cada una de estas tuberías tienen un color específico para diferenciar la clase de fluido que lleva:

- a) Naranja: amoníaco gaseoso a alta presión (170 psig), que va de la descarga del compresor, hacia el condensador evaporativo
- b) Amarillo: amoníaco líquido a alta presión, que va desde el recibidor hasta los evaporadores (banco de hielo, carbo-cooler y chiller).
- c) Revestimiento con lámina plateada: amoníaco gaseoso a baja presión va desde la salida de los evaporadores hacia los compresores.

## 2.6. ACCESORIOS

Son varios accesorios que necesita un sistema de refrigeración para poder operar y entre sus funciones están: controlar, detectar, conectar o desconectar, etc. A continuación, se enumeran los accesorios más importantes:

2.6.1. **Válvula de expansión:** así se le llama al dispositivo que dosifica o regula el flujo de refrigerante líquido hacia el evaporador. Tiene dos propósitos: reducir la presión del líquido hacia el evaporador y regular el flujo de refrigerante hacia éste. Por esta razón, divide los lados de alta y de baja presión. En el sistema de refrigeración de la planta, la expansión se produce por medio de una válvula solenoide y una válvula reguladora de presión.

2.6.2. **Interruptor de flotador:** es un dispositivo de control de nivel de líquido que usa el ascenso o descenso de un flote para accionar contactos eléctricos. Los contactos, a su vez, energizan o desenergizan uno o más circuitos eléctricos. Se utilizan para mantener el nivel de líquido de amoníaco en el sistema de serpentín inundado, en los evaporadores.

2.6.3. **Válvula solenoide:** es una válvula de cierre o apertura por disparo, activada por una bobina electromagnética diseñada de manera que, cuando se energiza la bobina, el cambio magnético atrae una armadura corrediza en el núcleo de la bobina. Se puede utilizar para mantener la temperatura, la presión, el nivel, etc.

2.6.4. **Válvula reguladora de presión:** la función de la válvula reguladora de presión en el evaporador es evitar que la presión descienda por debajo de determinado punto.

2.6.5. **Controles de presión:** éstos se utilizan en los compresores y sirven para regular la capacidad de los mismos, así como, detener en caso de sobrepresión o caída de presión de los compresores, como del condensador evaporativo.

2.6.6. **Controles de temperatura:** estos son controles que activan o desactivan circuitos eléctricos por efectos térmicos. En la planta, son de mucha utilidad, ya que a través de éstos, también se regula el flujo de refrigerante líquido en el banco de hielo, en el chiller y además activa el circuito para bombear glicol.

2.6.7. Trampa de amoníaco de la línea de succión: este dispositivo sirve para retener el amoníaco líquido que pueda venir en la línea de succión, el cual es muy perjudicial si llega a entrar a los compresores. El amoníaco líquido atrapado en la trampa es llevado por gravedad hacia el recibidor.

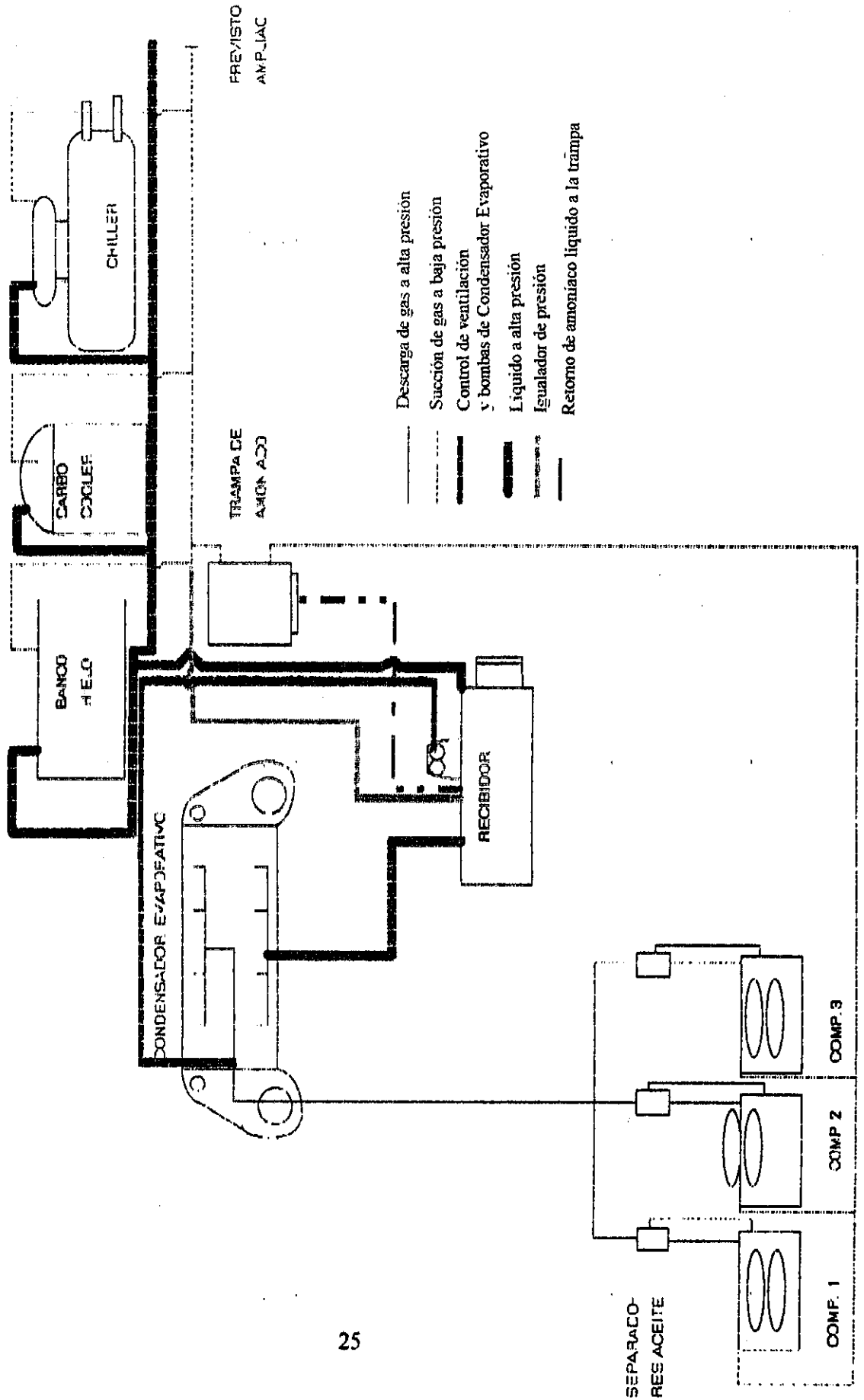
2.6.8. Además de lo anterior, la tubería de succión que contiene gas a baja presión y el chiller en la totalidad de su área se encuentran aislados. Este aislamiento tiene como fin retardar el flujo de calor, evita la ganancia de calor del gas refrigerante que conducen las tuberías, con lo que logra que el amoníaco no se sobrecaliente, y evita la formación de hielo o condensación de agua en las superficies frías de la tubería. El aislamiento térmico que se utiliza es fibra de vidrio.

Las superficies frías deben estar aisladas para evitar que el calor penetre al sistema o al espacio que trabaja a temperatura inferior al ambiente, como en el caso del chiller, puesto que el calor fluye de las temperaturas altas hacia las bajas. Extraer el calor de un espacio refrigerado puede costar diez veces más que reponer la pérdida térmica en un sistema de alta temperatura. Así, generalmente se justifica usar aislamiento más grueso a bajas temperaturas y no a altas.

## 2.7. DESCRIPCIÓN DE OPERACIÓN DEL SISTEMA (Fig. 2.9)

Es necesario describir en forma breve el ciclo y funcionamiento del sistema de refrigeración de la planta: este comienza en los compresores, donde el amoníaco gaseoso es comprimido, y aumenta la presión en la descarga a 165 psig., luego, el amoníaco pasa por los separadores de aceite en donde se le extrae éste al máximo. Después, es llevado por la tubería de descarga a un manifold, que recolecta la descarga de los compresores y conduce a través de una sola tubería hacia el condensador evaporativo. Cuando el amoníaco se ha condensado, es llevado por una tubería de 2 1/2 pulg de diámetro hacia el recibidor; a éste también llega el líquido proveniente de la trampa de amoníaco, en el domo están instalados los reguladores de presión para activar los ventiladores y bomba del condensador evaporativo y también están instaladas las válvulas de alivio. Del recibidor sale una línea para nivelar presiones en la succión antes de entrar a la trampa de amoníaco. También sale del recibidor la línea de líquido de 1 1/2 pulg de diámetro, para ser distribuido a los diferentes evaporadores. Al llegar a éstos, el amoníaco líquido es expandido por válvulas solenoides, que a su vez regulan su paso y son dependientes de los interruptores de flote los cuales controlan niveles máximos y mínimos. La caída de presión en los evaporadores es de 30 psig aproximadamente. Cuando el amoníaco se ha gasificado, es llevado por la tubería de succión hacia la trampa de amoníaco, donde se le extrae el líquido al gas; este último es llevado por un tubo de 4 pulg hacia un manifold, el cual distribuye el gas hacia la succión de cada uno de los compresores.

**DIAGRAMA ESQUEMATICO DEL SISTEMA DE REFRIGERACION DE LA PLANTA " EMBOTELLADORA DE LOS ALTOS "**





## EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DE REFRIGERACIÓN

Es importante determinar la capacidad de producción y consumo máximo que tiene el sistema de refrigeración de la planta, para poder determinar, si el sistema con que se trabaja actualmente, tiene la capacidad de satisfacer las necesidades requeridas.

### 3.1. CAPACIDAD DE PRODUCCIÓN DE LOS COMPRESORES.

Sabiendo que los compresores utilizados en la planta son del tipo recíprocante y que la presión crece por compresión politrópica.

La capacidad de producción de los compresores se obtiene a través de tablas contenidas en los manuales brindados por el fabricante, y es determinada respecto a 165 psig en la descarga del compresor y 32 psig en la succión; éstos se muestran en la tabla No. 3.1

Tabla No. 3.1

Compresores	Desplazamiento pies <sup>3</sup> / min	Toneladas de refrigeración
compresor 1	309	96
compresor 2	232	76
compresor 3	309	96

Realizando la sumatoria de la capacidad de producción de cada uno de los compresores, ésta da un total de 268 ton de refrigeración; ésta es la capacidad máxima de toneladas de refrigeración con que cuenta el sistema, pero se debe tomar en cuenta, que actualmente en el sistema no trabaja el compresor No. 1, por lo que la capacidad de producción se limita solamente a 172 ton de refrigeración.

### 3.2. CARGA DE CONSUMO DEL EQUIPO EXISTENTE.

Lo que consumen los evaporadores es lo de mayor importancia que se va a evaluar, si existe un balance entre la producción y el consumo, pero también existen consumos menores, como las pérdidas que no se pueden evitar por ser un sistema real, tales como: las de la tubería de succión (por el aislamiento) y las producidas por el efecto de expansión.

A continuación, se presenta el cálculo de consumo para cada evaporador:

### 3.2.1. Banco de hielo:

El cálculo del consumo del banco de hielo se realiza de acuerdo con las temperaturas requeridas en las máquinas pasteurizadoras e intercambiadores de calor, y se determina de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$Q = W \times Ce \times (t_2 - t_1)$$

donde:

Q = calor que se va a absorber (signo negativo)

w = demanda de agua

Ce = calor específico del agua (1 kcal/ (kg x °C))

t<sub>2</sub> = temperatura de salida del agua (5.5 °C)<sup>1</sup>

t<sub>1</sub> = temperatura de entrada del agua (10 °C)

Para obtener la demanda de agua (flujo másico), se hace un aforo en la descarga de agua del banco de hielo, del cual se obtiene un caudal promedio de 11.44 lt / seg, de agua a enfriar. Este dato hay que multiplicarlo por la densidad del agua 1 kg / lt y la conversión a kg / h.

$$w = 11.44 \text{ lt / seg} \times 3,600 \text{ s/h} \times 1 \text{ kg / lt} = 41,184 \text{ kg / hr}$$

$$Q = (41,184 \text{ kg / h}) \times (1 \text{ kcal / (kg °C)}) \times (5.5 - 10) \text{ °C}$$

$$Q = 185,328 \text{ kcal/h.}$$

Para dejarlo en términos de ton de refrigeración, se divide por el factor de conversión 3,024 kcal / h = 1 ton.

$$Q = (185,328 \text{ kcal / h}) / 3,024$$

$$Q = 62 \text{ Ton. de refrigeración.}$$

### 3.2.2. Carbo-cooler:

En la estimación del consumo del carbo-cooler, se utiliza la ecuación de calor:

$$Q = w \times Ce \times (t_2 - t_1)$$

donde:

Q = calor que se va a absorber.

w = demanda de producto (flujo másico a enfriar)

---

<sup>1</sup> Esta temperatura es la actual, pero se necesita una más baja, (ver capítulo 4, sección 4.2.1.)

Ce = calor específico (en éste caso es 0.938kcal/kg C correspondiente al sabor pepsi-cola, que es el más alto).

t<sub>1</sub> = temperatura del producto a la entrada. (25 °C)

t<sub>2</sub> = temperatura ideal del producto para la carbonatación (2 °C)

El cálculo de la demanda de producto se hace en base a la producción teórica máxima de aguas de 12 onzas. Sabiendo que la densidad del producto es 1.04 kg / lt y la producción en la línea de embotellado No. 1 es de 450 cajas/h.

$$\text{Produc.} = 450 \text{ cajas / h} \times 24 \text{ Unid./caja} = 10,800 \text{ Unid. / h}$$

$$\text{Produc.} = 10,800 \text{ Unid. / h} \times 0.35 \text{ lt / Unid.}$$

$$\text{Produc.} = 3,780 \text{ lt / h}$$

$$w = (\text{Produc.} \times \text{densidad}) = 3,780 \text{ lt / h} \times 1.04 \text{ kg / lt}$$

$$w = 3,931.2 \text{ kg / h}$$

Entonces:

$$Q = 3,931.2 \text{ kg / h} \times 0.938 \text{ kcal / kg } ^\circ\text{C} \times (2-20) ^\circ\text{C}$$

$$Q = 84,811.708 \text{ kcal / h}$$

Para convertir a Ton. de refrigeración se divide por el factor 3,024

$$Q = (84,811.708 \text{ kcal/hr}) / 3,024$$

$$Q = 28 \text{ ton. de refrigeración.}$$

### 3.2.3. Chiller:

Las toneladas de refrigeración que consume el chiller se determinan por la ecuación usada en los cálculos anteriores. Se utilizan, además, los datos de densidad y calor específico del refresco pepsi-cola, debido a que estos son los valores más altos usados en el proceso.

$$Q = w \times C_e \times (t_2 - t_1)$$

donde:

Q = calor absorbido por el sistema

w = demanda de producto (flujo másico) que se va a enfriar

Ce = calor específico del producto (0.938 kcal/kg °C)

t<sub>1</sub> = temperatura del producto a la entrada del intercambiador (25 °C)

t<sub>2</sub> = la temperatura ideal del producto es 2 °C pero por se un sistema de salmuera se toma como -5 °C por las perdidas en la transferencia del chiller y del intercambiador. <sup>2</sup>

producción teórica máxima 42,000 unidades / h de 0.35 lt c/u

$$\text{Prod.} = 42,000 \times 0.35 = 14,700 \text{ lt / h}$$

$$w = \text{Prod.} \times \text{densidad} = 14,700 \text{ lt / h} \times 1.04 \text{ kg / lt.}$$

$$w = 15,288 \text{ kg / h}$$

entonces:

$$Q = 15,288 \text{ kg / h} \times 0.938 \text{ kcal / kg} \times (-5-20) \text{ °C}$$

$$Q = 358,503.6 \text{ kcal / h}$$

Para convertir las kcal/hr a ton de refrigeración, se divide por el factor 3,024

$$Q = (358,503.6 \text{ kcal/hr}) / 3,024$$

$$Q = 119 \text{ ton de refrigeración.}$$

El consumo de toneladas de refrigeración actual se da en los evaporadores de sala de jarabes y en la línea de embotellado No. 2, banco de hielo y chiller, respectivamente.

Para determinar el consumo máximo, se suman las cargas de los evaporadores que trabajan y se debe estimar un porcentaje o factor de pérdida.

Consumo total actual = consumo del chiller + consumo del banco de hielo.

$$\text{Consumo total actual} = 62 + 119 = 181 \text{ ton de refrigeración}$$

Este consumo implica que el sistema debe tener una cantidad necesaria de amoníaco para poder operar eficientemente. Para evaporar un kilogramo de amoníaco, se necesitan 307.22 kcal.

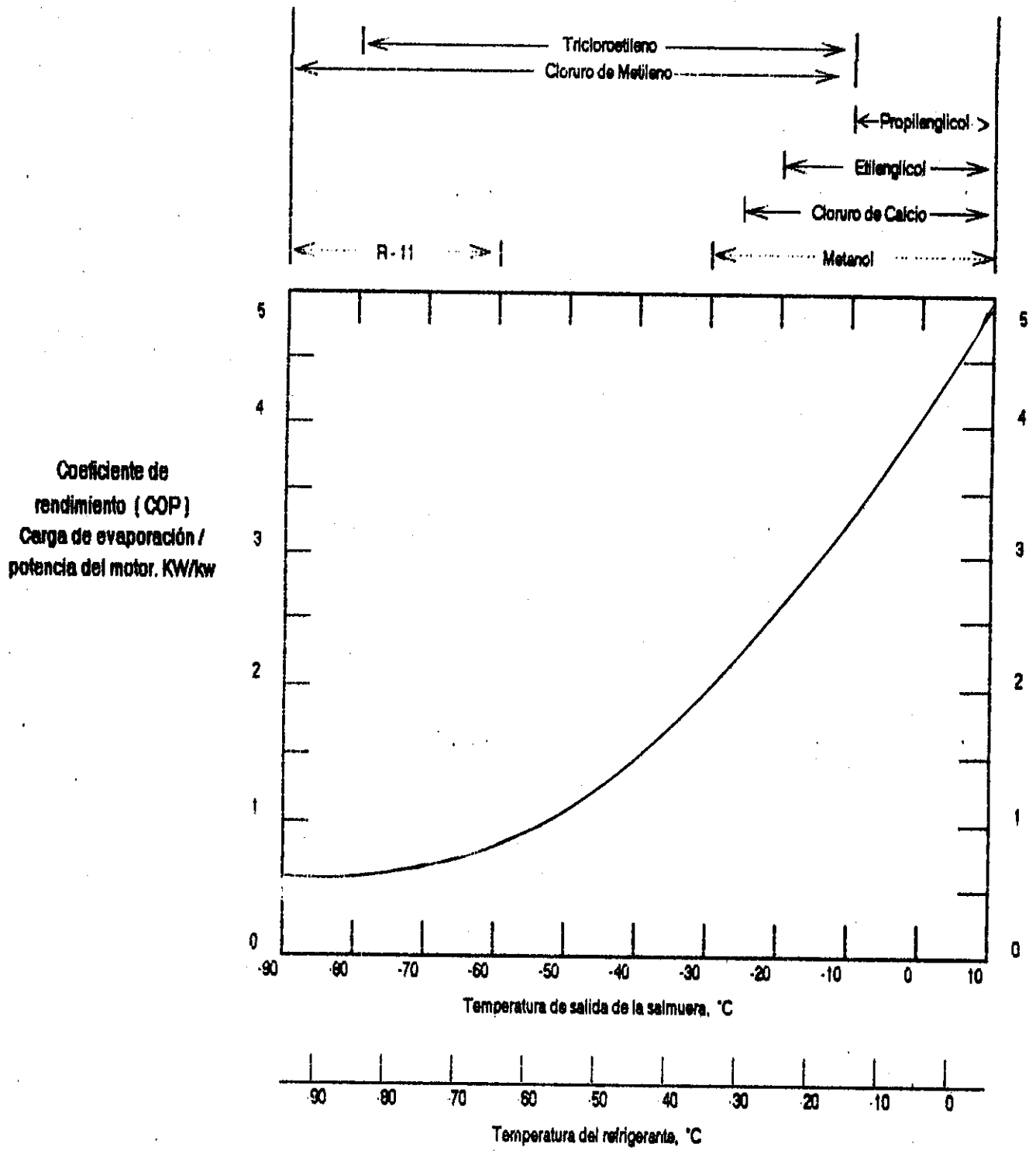
$$\text{cantidad de amoníaco} = (181 \times 3,024 \text{ kcal / h}) / (307.22 \text{ kcal / kg})$$

$$\text{cantidad de amoníaco} = 1,781 \text{ kg}$$

<sup>2</sup>

ver figura, gráfica 3.1.

gráfica 3.1.



Fuente: M. Kutz; Enciclopedia de la mecánica, Ingeniería y técnica; Vol. 8

### 3.3. COMPARACIÓN DE CARGAS Y DETERMINACIÓN DE LA EFICIENCIA DEL CICLO.

La comparación consiste en determinar cuánto excede o falta en la producción de toneladas de refrigeración. Debe tomarse en cuenta que los datos que se utilizan para realizar los cálculos son máximos, o sea, cuando el sistema trabaja al 100 %. Cuando en el sistema solamente trabaja un equipo de evaporación, su capacidad está holgada, entonces sólo se trabaja con un compresor. Por el contrario, si trabajan todos los evaporadores, entonces deben funcionar todos los compresores.

Producción total actual: 172 ton de refrigeración

Consumo total actual: 181 ton de refrigeración

Si se observan los datos anteriores, se puede comprobar que existe un déficit de 9 toneladas, lo que implica que el sistema no trabaja eficientemente.

Esto trae como consecuencia que cuando se trabaja a capacidad máxima, el sistema no es eficiente, y se tiene una temperatura por arriba de lo establecido.

Es necesario establecer que cuando los equipos trabajan al máximo, el porcentaje de toneladas de refrigeración que consumen, respecto a la producción de los compresores es el siguiente:

Chiller: 69 %

Banco de hielo: 36 %

### 3.4. ANÁLISIS DEL CICLO EXISTENTE Y UN CICLO TEÓRICO

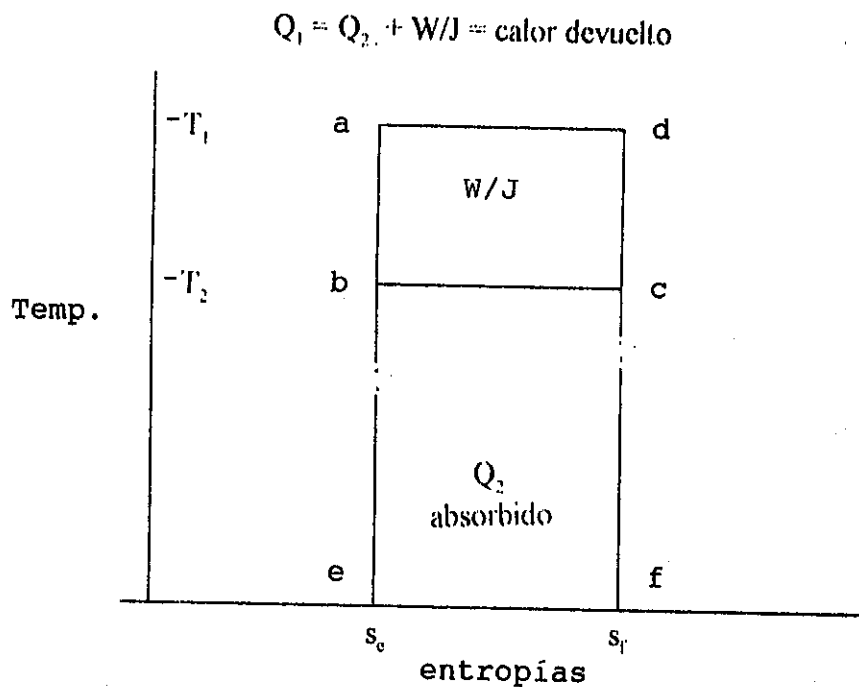
Es necesario comparar un ciclo de refrigeración teórico con el existente en la planta, para determinar las diferencias y deducir las causas de la deficiencia.

#### 3.4.1. Ciclo teórico:

Todos los procesos frigoríficos están regidos por principios termodinámicos. La refrigeración se realiza según el ciclo de Carnot invertido. El diagrama temperatura-entropía de la figura 1.3, representa el conjunto de procesos efectuados en un medio en sentido inverso al convencional; en éste se efectúa trabajo (compresor) sobre el refrigerante para elevar su temperatura absoluta desde  $T_2$  a  $T_1$ .

Cuando se realiza trabajo sobre un refrigerante en las condiciones de un Ciclo de Carnot invertido, se suceden los fenómenos siguientes:

- 1) Expansión esocentrópica del refrigerante entre a y b con una caída de temperatura de  $T_1$  a  $T_2$  al ir disminuyendo la presión del refrigerante.
- 2) Absorción del calor  $Q_2$  representado por la superficie b-c-f-e-b, por el fluido de trabajo, a una temperatura  $T_2$ , mediante un aparato transmisor de calor, en el cual otro fluido, ya sea aire o líquido, se enfría.
- 3) Aumento de la presión del refrigerante y elevación de su temperatura  $T_1$  por medio de compresión isoentrópica entre los puntos-estado c y d. El trabajo de compresión,  $-W/J$ , es proporcional a la superficie c-d-a-b-c.  $W$  representa trabajo sobre el refrigerante y  $J$  es el equivalente mecánico de calor.
- 4) Desde d hasta a, a una temperatura absoluta  $T_1$  y a presión constante, el calor fluye a un medio, el cual lo extrae del ciclo. En esta parte del ciclo, la cantidad de calor rechazado es  $Q_1$ . De esta forma, la instalación funciona recibiendo calor a temperatura y presión bajas y lo descarga a una temperatura y presión más elevadas. La superficie a-d-f-c-a es proporcional al calor  $Q_1$ , y es la suma de  $Q_2$  y  $W/J$ . En el Ciclo de Carnot,  $Q_1$  es el calor suministrado para la producción de energía, mientras que en el ciclo invertido, o de refrigeración  $Q_1$  es el calor evacuado.



Gráfica 3.2.

Fuente: Energía mediante vapor, aire o gas; W. H. Severns.

La eficiencia del ciclo invertido ideal de un motor térmico al producir refrigeración, se designa por coeficiente de funcionamiento (cop), el cual es la relación entre el efecto de refrigeración  $Q_2$  y el trabajo  $W/J$  necesario para producirlo; ambos están expresados en kcal por kg de refrigerante. El cociente  $W/J$  es igual a  $Q_1 - Q_2$  y puede expresarse por una de las tres relaciones siguientes:

$$\text{cop ideal} = Q_2 / (W / J) = Q_2 / (Q_1 - Q_2) = T_2 / (T_1 - T_2)$$

El trabajo, que es necesario realizar, decrece a medida que  $T_1 - T_2$  se hace más pequeño.

### 3.4.2. Ciclo comercial de refrigeración

Una máquina comercial de refrigeración no puede cumplir los requisitos del ciclo teórico. En el proceso real, el refrigerante líquido llega a la entrada de la válvula de expansión en estado saturado o sobre enfriado. De esta forma no es factible la expansión isoentrópica; la misión de la válvula de expansión consiste en estrangular el paso del refrigerante (variando la cantidad por medio de un orificio de diámetro variable) para producir un estado de entalpía constante, representado por la línea comprendida entre a y b de la figura 3.2. El proceso de estrangulación con entropía constante produce un aumento de entropía en el refrigerante a medida que disminuye su presión y temperatura para satisfacer las condiciones exigidas en el evaporador.

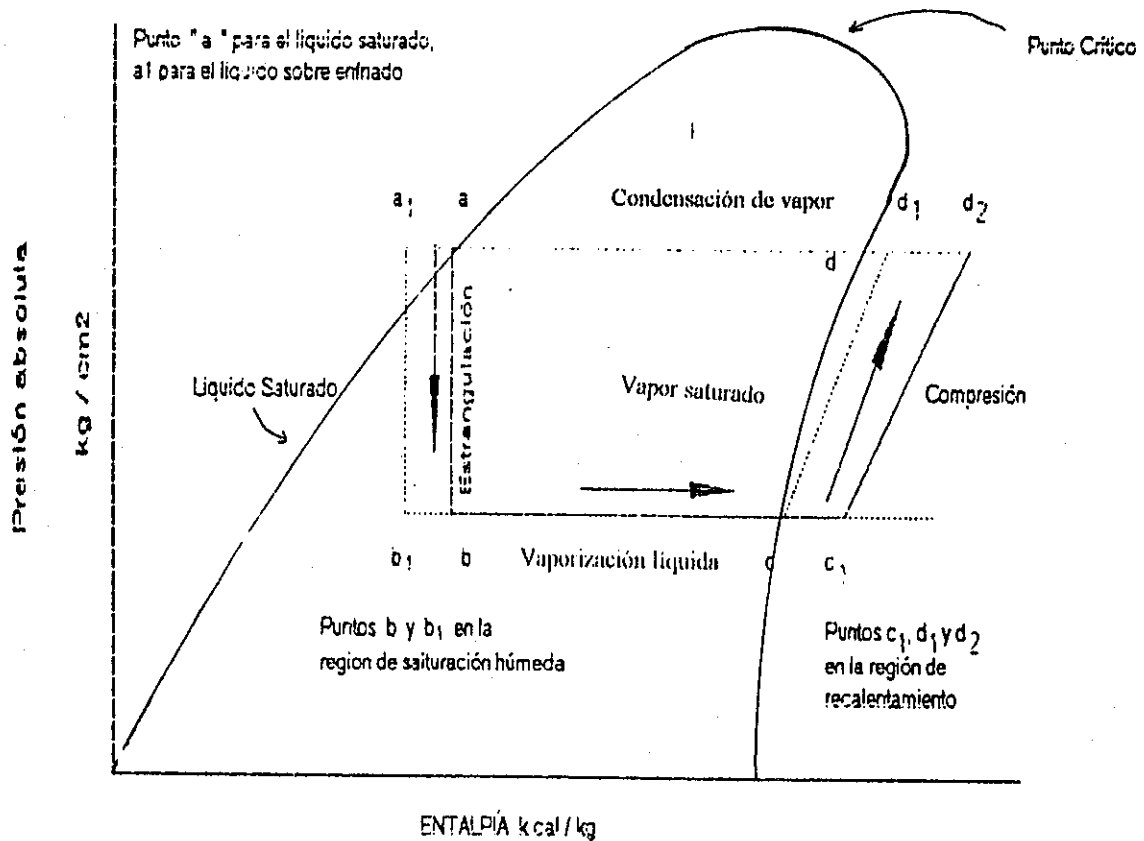
En el funcionamiento real, la temperatura del refrigerante que hierve en el evaporador debe ser inferior a la del medio que se trata de enfriar. La presión mantenida en el evaporador viene fijada por la temperatura del refrigerante necesaria para conseguir el enfriamiento deseado. En un ciclo real, el vapor de refrigerante puede abandonar el evaporador en los siguientes estados: saturado húmedo, saturado seco y recalentado. Generalmente, conviene cierto recalentamiento. En el ciclo real, la compresión politrópica y el estado final del refrigerante comprimido depende en parte de su estado inicial. Al final de la compresión, interesa que exista recalentamiento. El medio calentado, tal como se descarga, entra en el condensador en donde el medio que lo enfría se mantiene a una temperatura inferior a la del refrigerante. En el condensador, el refrigerante pierde entalpía de recalentamiento, entalpía de vaporización o calor latente de vaporización, y, si el líquido es sobrenfriado, parte de la entalpía del líquido. En cada etapa de este ciclo real (no solamente del compresor), el proceso es irreversible.

La ventaja principal del diagrama presión- entalpía descansa en el hecho de que las variaciones de energía que representan procesos de entalpía constante o presión constante aparecen en forma de líneas rectas. Los diagramas constituyen una ayuda para divisar los procesos de la refrigeración, así como también para hacer cálculos referentes a los mismos. Para obtener resultados más exactos, hay que recurrir a los valores obtenidos de las tablas, interpolando presiones y temperatura.

PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
Biblioteca Central



Durante el curso de los procesos reales, las entalpías en kcal o Btu por kg o lb de refrigerante en los varios puntos de un ciclo de compresión, se representan por el símbolo  $h$  con un subíndice. Cuando el refrigerante entra en el compresor en forma de mezcla de vapor y líquido (título inferior a 1), la compresión es húmeda, si bien en la descarga el vapor puede ser húmedo, seco saturado o recalentado. Si al principio de la compresión el refrigerante está saturado o recalentado, su estado final será recalentado, la compresión se denomina seca. Las entalpías que intervienen dependen de los títulos, presiones y temperaturas; para determinarlas, es preciso servirse de tablas referentes a los refrigerantes saturados y recalentados; asimismo, puede ser necesario emplear el diagrama de Mollier.



gráfica 3.3.

Las ecuaciones de energía, por kilogramo (o libra) de refrigerante, que se exponen a continuación, son aplicables a las condiciones  $a_1-b_1-c_1-d_2-a_1$ , de la figura anterior y con ciertas modificaciones, a las  $a-b-c-d_1-a$ . La entalpía  $h_{a1}$ , en  $a_1$ , es igual a la entalpía  $h_{b1}$ , en  $b_1$ . El efecto de refrigeración, en el evaporador, vale:

$$Q_2 = h_{b1} - h_{c1},$$

y el trabajo de la compresión isoentrópica,

$$W = h_{d2} - h_{c1}.$$

De lo anterior, se puede determinar que en un ciclo teórico del proceso de refrigeración no se estiman pérdidas por rozamiento; el refrigerante solamente tiene dos estados: líquido saturado y vapor saturado, lo que no sucede en la realidad. Por eso, el ciclo teórico sirve como punto de partida para el diseño de sistemas de refrigeración, y luego es necesario tomar en cuenta todos los factores que pueden influir en la eficiencia del sistema.

### 3.5. EVALUACIÓN DE ANOMALÍAS EXISTENTES

En el sistema de refrigeración de la planta industrial "Embotelladora de los Altos", existen algunos aspectos que pueden ser de perjuicio para dicho sistema y que con el tiempo pueden traer consecuencias, si no se toman las medidas pertinentes; entre estas anomalías se pueden mencionar las siguientes:

- 1) No existen manómetros en la entrada de cada uno de los evaporadores. Estos son necesarios para determinar si existe una presión adecuada, y controlar que no exista una caída de presión en cada evaporador.
- 2) No existen termómetros independientes en la entrada y salida del refrigerante, en el condensador evaporativo. Estos sirven para poder determinar la eficiencia del evaporador, y además saber a través de tablas, si el amoníaco ha sido condensado en su totalidad.
- 3) Al utilizar sólo el 50 % de la capacidad del condensador evaporativo, implica no usar dos ventiladores, una bomba de agua y una parte del serpentín. Si estas partes no se usan, pueden perjudicar el equipo, debido a que estos componentes no son controlados y se deterioran por corrosión e incrustaciones.
- 4) La no utilización del carbo-cooler tiene sus desventajas, ya que su puesta en marcha es un gran apoyo a la producción. Desde el punto de vista técnico, trae como consecuencias el deterioro de sus componentes por corrosión e incrustaciones.

5) El compresor No. 1 se encuentra actualmente varado debido a desperfectos mecánicos; su reparación es necesaria debido a que compensa la carga de consumo, además puede ser utilizado como un compresor de reserva en caso sufran desperfectos cualquiera de los otros compresores, e imposibilitar su operación.

6) Los termostatos que controlan la temperatura del agua del banco de hielo, han sido dañados por la intemperie y deben reemplazarse.

7) En el banco de hielo, se debe de aislar el cilindro receptor de amoníaco gaseoso, el que se encuentra justo antes de la tubería de succión, ya que este se encuentra a la intemperie, y en días calurosos es perjudicial para el sistema, ya que el calor absorbido a la intemperie hace disminuir la capacidad del sistema.

Las anomalías presentadas son las más importantes y son necesarias corregirlas para que pueda trabajar, en forma eficiente, el sistema de refrigeración.

## AMPLIACIÓN O AJUSTE

### 4.1. DETERMINACIÓN DEL CONSUMO DE CARGA DEL EQUIPO FUTURO

La "Embotelladora de los Altos" es una empresa relativamente joven, debido a que tiene pocos años operando, lo que implica un crecimiento o expansión en su producción. Actualmente cuenta con dos líneas de embotellado de aguas gaseosas, pero se ha dejado previsto lugar y tubería para una línea de embotellado más.

Para este caso, es necesario determinar el consumo de carga de refrigeración para un equipo futuro, el cual se determina de la siguiente manera:

Debido a que la línea de embotellado No. 2 es la más moderna y su producción teórica es bastante elevada, entonces se estima como consumo para un equipo futuro, el equivalente en toneladas de refrigeración igual al de la línea No. 2, y se refiere a los cálculos hechos en el capítulo No. 3, sección 3.2.3.. Además debe ser afectado por un 15 % que sugiere el fabricante debido a pérdidas en los intercambiadores y tuberías.

**Consumo del equipo futuro = 119 Ton. de refrigeración.**

### 4.2. CÁLCULOS PARA DETERMINAR AMPLIACIÓN O AJUSTE

Este inciso no solamente se refiere a equipo futuro, sino también es necesario para poder determinar las cargas del equipo actual. Se evalúa, cuando son utilizados todos los componentes del sistema y cuando se utiliza equipo futuro, para determinar en forma más precisa la cantidad de compresores y su tipo. Se estiman tres formas posibles de utilización del sistema, ya sea en la actualidad o en el futuro:

#### 4.2.1. Si el sistema es usado en la forma como está actualmente:

La forma en que trabaja el sistema de refrigeración utilizando dos evaporadores, banco de hielo y chiller, los cuales consumen una carga de refrigeración actual de 181 Ton. de refrigeración, pero, en el banco de hielo existe el inconveniente que la temperatura del agua de salida debe de ser de 2 °C y no 5 °C como está actualmente. Por lo tanto, deben de hacerse las correcciones:

Recurriendo de nuevo a la ecuación del consumo de carga

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

de donde

$$Q = (41,184 \text{ kg / h}) \times (1 \text{ kcal / (kg } ^\circ\text{C)}) \times (10-2) ^\circ\text{C}$$

$$Q = 329,472 \text{ kcal / h} = \mathbf{109 \text{ ton de refrigeración}}$$

Esta carga debe de afectarse por un 15 % de pérdidas en la transferencia de calor a sugerencia del fabricante

$$Q = 109 \times 1.15 = \mathbf{125 \text{ ton de refrigeración}}$$

A esta carga se le debe adicionar la carga que consume el chiller:

$$Q \text{ consumo} = Q \text{ chiller} + Q \text{ del banco de hielo}$$

$$Q \text{ consumo} = 125 + 119 = \mathbf{244 \text{ ton de refrigeración.}}$$

En este caso, se puede ver que, si se rebaja la temperatura en el banco de hielo, la carga se incrementa, por lo que es necesario aumentar la producción por parte de los compresores. La carga que producen éstos actualmente es de 172 toneladas de refrigeración. Si el sistema se utiliza en estas circunstancias, no es adecuada la producción. Pero si se cuenta con el compresor No. 1, la carga producida se puede incrementar a 268 toneladas de refrigeración, la cual si puede nivelar el consumo.

Otra modificación al sistema se tiene que hacer en la condensación del amoniaco donde se debe de reparar o cambiar el condensador evaporativo No. 1, ya que la capacidad de disipación del condensador No. 2 no es la suficiente, pero teniendo las 85.2 Ton. de refrigeración del condensador evaporativo No. 1, el sistema puede trabajar eficientemente.

4.2.2. Si el sistema es usado, incluyendo el Carbo-cooler:

Si se piensa en la reparación y uso posterior del carbo-cooler, entonces al consumo del inciso anterior se le debe adicionar el consumo de éste, teniendo en cuenta el 15 % de incremento.

$$Q \text{ consumido} = 244 + (28 \times 1.15)$$

$$Q \text{ consumido} = \mathbf{276.2 \text{ ton. de refrigeración}}$$

Como se puede observar, el consumo es mayor que la capacidad de producción de los tres compresores, por lo que cuando se utilicen los tres evaporadores al mismo tiempo, será

necesario tener un cuarto compresor que pueda balancear el consumo. Este será estimado más adelante.

En el caso de la condensación del refrigerante, si se repara el condensador evaporativo No. 1, es suficiente.

4.2.3. Si el sistema es usado con el equipo completo más el equipo futuro:

Es necesario incluir una carga de equipo futuro, debido a que se puede dejar prevista una producción de toneladas de refrigeración mayor a la estimada con el equipo actual y sería de beneficio económico a la empresa:

$$Q \text{ consumido} = 276.2 + 119$$

$$Q \text{ consumido} = 395.2 \text{ ton de refrigeración.}$$

Esta es la carga máxima que puede consumir el sistema incluyendo todos los posibles evaporadores que intervengan en los diferentes procesos que se realizan en la planta.

Es necesario determinar la producción de toneladas de refrigeración en los compresores y en el condensador evaporativo para que el sistema trabaje eficientemente.

$$\text{Falta de toneladas} = 395.2 - 268$$

$$\text{Falta de toneladas} = 127.2 \text{ ton. de refrigeración.}$$

Por lo tanto, la cantidad promedio que se va producir es de 128 toneladas de refrigeración por parte de los compresores, y de 97 ton de refrigeración en el condensador evaporativo.

#### 4.3 DETERMINACIÓN DEL TIPO DE COMPRESOR QUE SE VA A ADQUIRIR

No necesariamente se debe pensar en comprar un compresor; como se explicó en el inciso anterior, depende de la forma en que se utiliza el sistema, que es como se puede sugerir el tipo de compresor, en el caso de que el sistema sólo necesite una nivelación de consumo de cargas, como en el inciso 4.2.1. en que se necesita que la temperatura en la salida del banco de hielo sea inferior a la actual. Para este caso, solamente es necesario reparar el compresor No. 1, para nivelar las cargas, y el condensador evaporativo necesita activarse al 100 %.

En el caso del inciso No. 4.2.2., la carga de consumo se incrementa a 276.2 ton. de refrigeración, por que se toma en cuenta lo que consume el carbo-cooler, por lo tanto

en este caso existe una deficiencia de 104.2 Ton. de refrigeración, si se toman en cuenta sólo los compresores que actualmente trabajan. Esta deficiencia puede ser solucionada si se repara el compresor No. 1 y se realiza un ajuste en la succión de los compresores. Este ajuste se realiza incrementando aproximadamente 2 psi en el lado de succión de los compresores, lo cual proporciona una producción de 279 ton de refrigeración, que compensan el consumo.

Si se usa el sistema incluyendo el equipo futuro, entonces el consumo es de 395.2 Ton. de refrigeración, por lo que se necesitan 223.2 ton de refrigeración para nivelar el sistema.

Esta nivelación se puede producir primeramente incluyendo las 96 ton del compresor No. 1 si es reparado, lo cual da una producción de 268 ton, y disminuyen la diferencia a 127.2 ton de refrigeración. Esta diferencia no puede ser producida de ninguna manera con los compresores que se cuentan, por lo que es necesario incluir otro compresor o compresores al sistema. Este debe ser compatible con los ya instalados y debe trabajar a las mismas presiones de succión y descarga; también debe tener la capacidad de producir como mínimo 127.2 ton, que es el valor de la diferencia. Una de las opciones más inmediatas es la de adquirir un compresor de la misma marca que los anteriores.

Consultando tablas proporcionadas por el fabricante de compresores Vilter y tomando como guía, las 127 ton de refrigeración faltantes permiten establecer que el compresor más adecuado que se va a adquirir es un reciprocante de 12 cilindros dispuestos en 6 cabezas, el cual tiene una capacidad de 144 ton. de refrigeración a la presión de descarga y succión, a la cual trabajan los compresores ya instalados.

#### 4.4. ANÁLISIS DE LA UBICACIÓN DEL BANCO DE COMPRESORES.

Los compresores de amoníaco se encuentran en un área conocida como galera de apoyo; en esta también se encuentran las calderas para generación de vapor (2); las plantas eléctricas de combustión interna (2); el recibidor; un compresor de aire de tornillo, y un secador de aire comprimido.

Su ubicación se encuentra en un lugar adecuado, ya que en esta área existe seguridad contra accidentes, incendios, con adecuada ventilación, y se pueden controlar todos los equipos mencionados por una persona, lo cual es necesario para tener un suministro adecuado en cada uno de los sistemas que intervienen en el proceso de producción.

En el caso que se adquiriera un nuevo compresor, el lugar indicado para la ubicación de éste, es a un lado del compresor No. 3, ya que la instalación y acople de la tubería de succión y descarga son más accesibles en ese lugar, y se tiene que trasladar el compresor

de aire, de tornillo en un lugar adyacente a la galera de apoyo, en donde se encuentra el banco de compresores de aire, para el cual se tiene que diseñar su ubicación.

### Ubicación de los componentes de la galera de apoyo

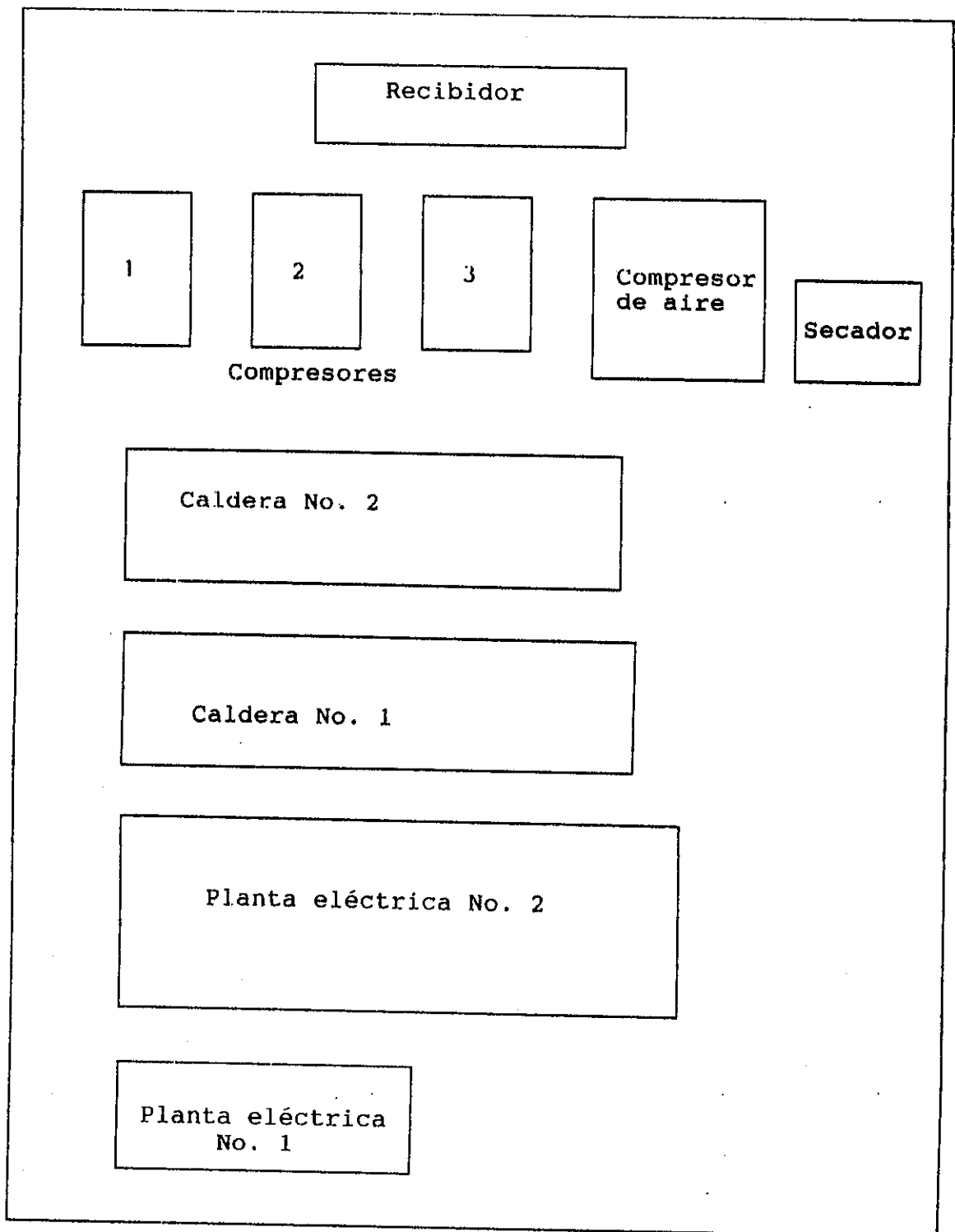


Figura 4.1.



## EVALUACIÓN DE LA TUBERÍA DEL SISTEMA

La tubería del sistema de refrigeración de la planta está dimensionada de acuerdo con las necesidades de presión, temperatura y velocidad a que trabaja el amoníaco, pero es necesario evaluar la eficiencia de ésta respecto al trabajo que realiza y al que en algún momento puede realizar.

### 5.1. DETERMINACIÓN DE TUBERÍA ACTUAL Y SUS ACCESORIOS

Como se mencionó en el capítulo No. 2, la tubería debe ser de cédula 80 si el diámetro de ésta es menor de 2 pulg y cédula 40 si es de 2 pulg o más.

Es necesario saber cómo afecta la caída de presión en cada una de las líneas de conducción de amoníaco, y que constituyen el sistema.

De la caída de presión, resulta un incremento en el consumo de potencia eléctrica del compresor y una baja en la capacidad de refrigeración. La línea más crítica respecto a esto es la de succión, debido a que las pérdidas en ésta tienen un gran efecto en el sistema. Un estudio económico involucra consumo de potencia del compresor, capacidad del sistema, tamaño y componentes del sistema; esto puede mejorar la determinación óptima.

En la línea de succión, la caída de presión incrementa el volumen del gas que va a ser comprimido, el radio de presión de descarga con la presión de succión y reduce la eficiencia volumétrica del compresor. Esto trae como consecuencia la pérdida de capacidad producida por el compresor y mayor consumo de potencia eléctrica por tonelada de refrigeración.

La caída de presión en la línea de líquido no afecta la capacidad del sistema. Solamente puede provocar la vaporización instantánea del amoníaco antes de llegar a los evaporadores. Esto se produce por una caída de presión desproporcionada o por diferencia de alturas cuando hay que elevar el amoníaco. Esto afecta la capacidad de los dispositivos de expansión.

Las velocidades rápidas en la línea de líquido deben ser usadas con precaución, debido a los cierres bruscos que pueden efectuar las válvulas solenoides que se encuentran a la entrada de los evaporadores, y crean golpe de ariete, que es perjudicial para la tubería y uniones.

Para verificar que la tubería actualmente utilizada es la adecuada, es necesario conocer la velocidad del flujo que se desplaza por ésta, y para eso se recurre a la gráfica

No. 5.1. sabiendo que el consumo es de 181 ton de refrigeración, 17 °F en la succión y 90 °F que es la temperatura de condensación. Estos cálculos corresponden a las líneas de descarga y líquido de amoníaco.

La velocidad de flujo obtenida a través de la gráfica es 0.423 lb / (min ton), y se multiplica por la cantidad de toneladas en el sistema.

$$\begin{aligned}\text{velocidad de flujo} &= 0.423 \text{ lb / (min ton)} \times 181 \text{ ton} \\ &= 76.56 \text{ lb / min}\end{aligned}$$

La capacidad que tienen las tuberías de las líneas de descarga y líquido, se verifican a través de la tabla No. 5.1. Para esto, es necesario saber que la caída de presión es de 2 psi por cada 100 pies de longitud de tubería; el diámetro de ésta es de 3 pulg en la descarga; el diámetro de la línea de líquido es de 2 1/2 pulg del condensador al recibidor y 1 1/2 pulg del recibidor a los evaporadores. Según la tabla, la línea de descarga tiene una capacidad de 246 ton de refrigeración y la línea de líquido tiene capacidad de 280 ton para la línea que va del condensador al recibidor y 351 ton en la línea que va del recibidor a los evaporadores. Las capacidades obtenidas están por encima de la capacidad actual, por lo tanto, éstas son adecuadas para el sistema.

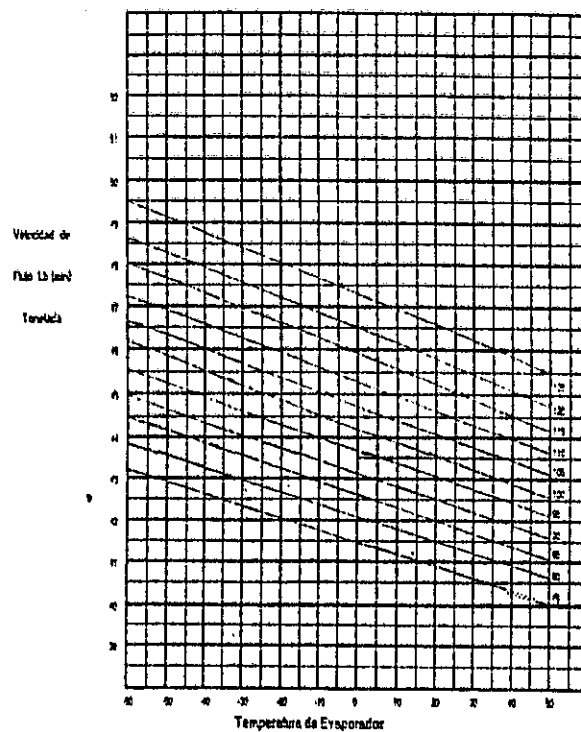
La caída de presión para la línea de descarga se calcula por medio de la gráfica No. 5.2. A 76.56 lb / min, 90 °F como temperatura de condensación y 3 pulg de diámetro. Por la gráfica, se estima que la caída de presión es 1.1 psi por 100 pies de longitud. Sabiendo que la distancia de los compresores al condensador es de 32.8 pies, entonces la caída de presión es 0.36 psi.

Para determinar la caída de presión de la tubería del recibidor hacia los evaporadores, se realiza por medio de la gráfica No. 5.3 asumiendo que la velocidad de flujo es 76.56 lb / min, temperatura de condensación 90 °F, y el diámetro de tuberías es 1 1/2 pulgadas, además de saber que las longitudes de la tubería son: 26.24 pies hacia el banco de hielo, 132 pies hacia el carbo-cooler y 196 pies hacia el chiller.

Con los datos anteriores, se obtienen los valores de caída de presión de 0.55 psi / 100 pies para la línea de líquido hacia los evaporadores; se multiplica este valor por cada longitud, y se encuentra la caída de presión para cada tubería: 0.14 psi para la tubería hacia el banco de hielo, 0.72 psi en la tubería hacia el carbo-cooler y 1.07 psi para la tubería hacia el chiller.

Para determinar que la tubería de la línea de succión es la adecuada, se recurre a la tabla 5.2 donde se obtiene por interpolación 295.85 ton de refrigeración para un diámetro de 4 pulg, por lo que la tubería actual es la necesaria.

Gráfica No. 5.1.\*



FLUJO VELOCIDAD POR TONELADA DE REFRIGERANTE  
VELOCIDAD DE FLUJO POR TONELADA DE REFRIGERANTE

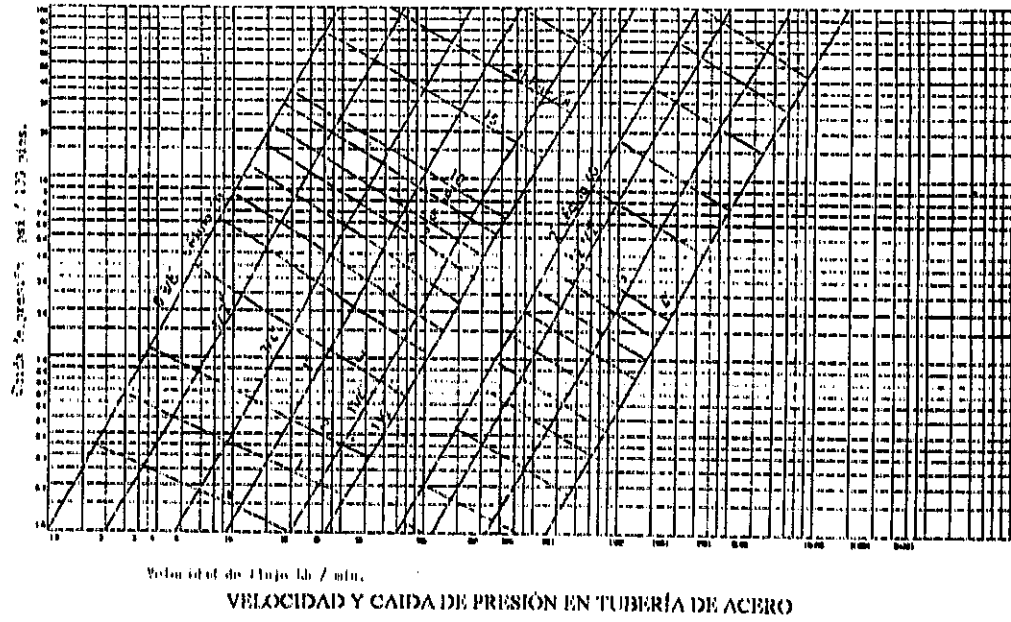
Tabla No. 5.1.\*

CAPACIDAD EN LÍNEA DE DESCARGA Y LÍNEA DE LÍQUIDO

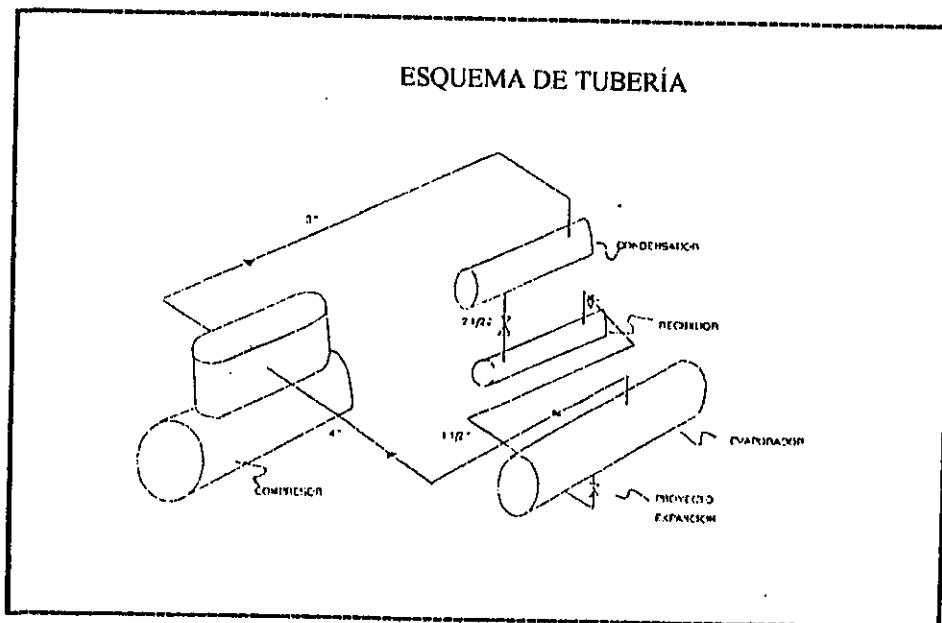
Diámetro Pulg	LÍNEA DE DESCARGA				LÍNEA DE LÍQUIDO	
	TEMPERATURA 250 °F				Al Receptor Velocidad FPM	Al Burbuja Caida de Presión
	Caida de Presión					
IPD	1/2	1	2	3	100	2
3/8	---	---	---	---	55	11.8
1/2	120	145	215	254	124	22.8
3/4	204	402	522	715	212	32.2
1	300	500	116	142	421	102
1 1/4	147	211	304	372	753	228
1 1/2	222	318	480	580	102	281
2	420	614	876	107	187	406
2 1/2	606	888	140	171	240	1160
3	122	174	248	300	412	227
4	244	351	497	628	746	425
5	400	628	880	1100	---	---
6	724	1020	1420	1850	---	---
8	1460	2110	3010	3650	---	---

\*Fuente: volétn Vilter para compresor VMC 440

Gráfica 5.2.\*



Gráfica 5.3.\*



\*Fuente: volétin Vilter para compresor VMC 440

La caída de presión en la tubería de la línea de succión se determina por medio de la gráfica No. 5.4, y al igual que la caída de presión en la línea de líquido, se calcula para cada longitud de tubería de los evaporadores hacia la trampa de vapor. La longitud de tubería es: 26.4 pies del banco de hielo, 132 pies del carbo-cooler y 196 pies del chiller.

Con los datos de 76.56 lb / min, 4 pulg de diámetro de la tubería y 17 °F en el evaporador. De la tabla, se obtiene 0.85 psi /100pies la caída de presión; si se multiplica esta caída por la longitud de cada tubería, se obtiene: 0.22 psi para la línea de succión del banco de hielo, 1.12 psi para el carbo- cooler y 1.66 psi para el chiller.

## 5.2 DETERMINACIÓN DE TUBERÍA DEL EQUIPO FUTURO.

La tubería que va a utilizarse en el sistema se debe determinar por la capacidad de toneladas del mismo, la velocidad de flujo, temperatura del lado de succión y temperatura de condensación; por las gráficas y tablas utilizadas en el inciso anterior, se puede determinar si la tubería debe ser modificada. Sabiendo que la temperatura de succión debe ser de 17 °F, la temperatura de condensación 90 °F, la velocidad del flujo 76.56 lb / min y la capacidad del sistema 395.2 ton de refrigeración.

Para la línea de descarga, se asume una caída de 2 psi por 100 pies de longitud y se utiliza la tabla No. 5.1, de donde se obtiene que la tubería más indicada es de un diámetro de 4 pulg.

Para la línea de líquido del condensador al receptor, se utiliza la tabla 5.1, la cual sugiere una tubería de diámetro de 3 pulg.

En la línea de líquido del receptor al sistema, se obtiene de la tabla 5.1, que indica que el diámetro debe de ser de 2 pulg.

En la línea de succión el diámetro recomendado para el equipo futuro, se basa en la tabla No. 5.2, la cual indica que el diámetro apropiado es de 5 pulg.

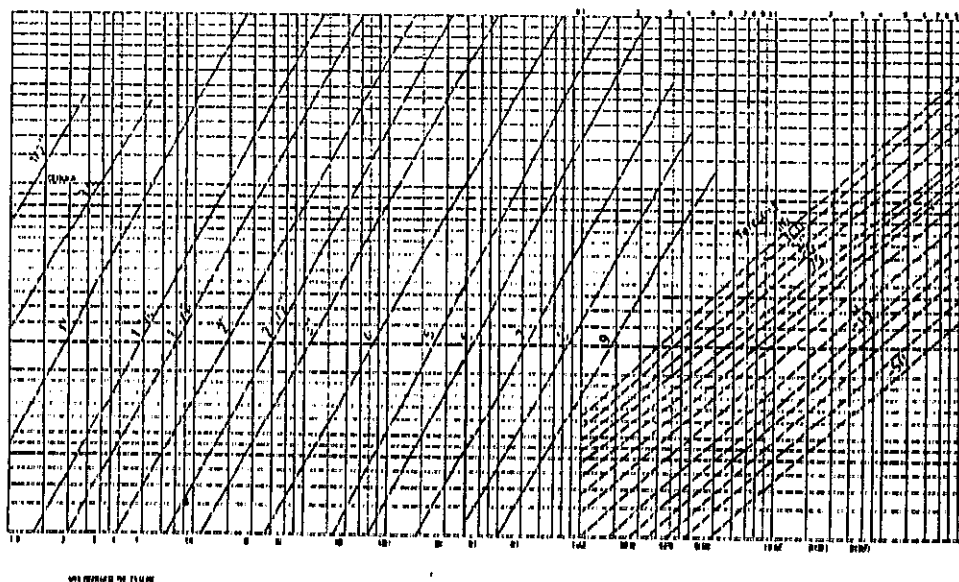
Los accesorios son determinados según el tipo de evaporador que se va a instalar, por lo que éstos se estiman posteriormente.

## 5.3 DETERMINACIÓN DE ACCESORIOS A MODIFICAR

Si el sistema sólo produce las toneladas de refrigeración actuales, entonces los accesorios con que cuenta no tienen ninguna variación en cuanto a tamaño o capacidad, pero sí es necesario realizar inspecciones para verificar su funcionalidad.

Si al sistema se le incrementa la producción de toneladas de refrigeración, se debe considerar el cambio de tuberías y de accesorios; si es implementado un equipo futuro de

Gráfica 5.4. \*



CAIDA DE PRESIÓN TUBERÍA DE ACERO

Tabla No. 5.2. \*

Diámetro P.D.I	TEMPERATURA Y SUCCIÓN SATURADA																
	-30			-20			20			40							
	CAIDA DE PRESIÓN																
PS	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	0.5	0.72	1.02	0.65	0.92	1.31	0.82	1.18	1.7	2.4	1.02	1.45	2.02	2.82
3/4	0.68	1.07	1.56	1.11	1.62	2.24	1.45	2.04	2.92	1.81	2.6	3.7	5.22	2.22	3.22	4.5	6.52
1	1.32	2.72	3.85	2.13	3.01	4.25	2.74	3.8	5.81	3.5	4.98	7.02	9.7	4.32	6.14	8.52	12.02
1 1/4	4.5	6.92	9.85	5.43	7.8	11.1	7.07	10.1	14.5	8.99	12.91	18.5	25.9	11.12	15.15	21.5	29.9
1 1/2	7.3	10.5	14.9	8.25	11.9	16.8	10.7	15.5	22	14.6	19.7	27.8	38.2	17.1	24.2	34.2	47.2
2	14.1	20.5	29	15.9	23.8	32.8	20.9	29.8	42.7	26.4	38	52.7	72.4	32.5	45.9	65.2	89
2 1/2	22.8	32.8	46.1	25.3	36.1	52	32.3	47.2	68.2	42.3	60.2	85.6	115	52.5	75	105.2	142
3	40.1	57.5	81.4	45.1	64.5	91.5	59.14	84.2	121	74.5	106.5	151	197.5	82.5	112	152	202
4	83.6	118	162	93	132	182	121	172	244	163	218	305	392	182	252	352	482
5	150	214	301	168	238	341	218	312	443	278	384	525	702	342	482	672	902
6	244	342	472	274	388	522	352	505	715	447	632	872	1152	522	722	1002	1352
8	500	710	1000	560	796	1128	726	1028	1468	920	1308	1850	2520	1135	1615	2255	3020
10	830	1200	1610	1010	1425	2020	1305	1850	2645	1645	2355	3220	4350	2020	2820	3920	5250
12	1450	2050	2850	1625	2310	3280	2100	2900	4200	2875	3925	5410	7350	3325	4625	6425	8520

CAPACIDAD EN LA LÍNEA DE SUCCIÓN

\*Fuente: volcán Vilter para compresor VMC 440

consumo, se debe extender la tubería y se deben adquirir los accesorios necesarios. Por lo tanto, si el sistema se trabaja en la forma actual, no es necesario el cambio de tubería y accesorios en relación al tamaño, pero si se incrementa el número de compresores o evaporadores, entonces es necesario incrementar la tubería al tamaño descrito en el inciso 5.2., y los accesorios deben ajustarse a la medida y capacidad de la tubería.

En la siguiente tabla (tabla 5.3), se dan las capacidades, caída de presión, diámetros actuales y los diámetros que pueden usarse en un equipo futuro, tomando en cuenta el incremento de la carga.

Tabla No. 5.3

	Actual			Futuro
	Capacidad máxima en ton de ref	Caída de presión en psi	Diámetro pulg	Diámetro pulg
Descarga				
Comp. a Cond. Evap.	246	0.36	3	4
Línea de líquido				
Condensador a receptor	280		2 1/2	3
receptor a banco de hielo	351	0.14	1 1/2	2
receptor a carbo-cooler	351	0.72	1 1/2	2
receptor a chiller	351	1.07	1 1/2	2
Succión				
banco de hielo a Comp.	295.85	0.22	4	5
carbo-cooler a Comp.	295.85	1.12	4	5
chiller a Comp.	295.85	1.66	4	5

## MANTENIMIENTO DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN

El sistema de refrigeración existente en la planta es de gran importancia para la producción y necesita una buena atención por parte de la sección de mantenimiento para evitar que los diferentes equipos que lo componen puedan sufrir daños imprevistos y causar paros innecesarios.

En la planta, el mantenimiento general de la maquinaria y equipo se aplica en tres secciones que son: mantenimiento preventivo, mantenimiento correctivo y mantenimiento de emergencia.

Para el sistema de refrigeración, también son aplicables estos tres tipos de mantenimiento que son necesarios.

### 5.1. MANTENIMIENTO PREVENTIVO

Este es un programa dirigido a preservar la condición normal y el buen desarrollo de equipo e instalaciones. El término preventivo incluye inspecciones frecuentes y ajustes en un programa fijo de reemplazo de partes, limpieza, saneamiento y lubricación.

El mantenimiento preventivo en el sistema de refrigeración no es llevado actualmente en forma correcta, debido a que no se tiene un control adecuado de la forma en que se cambian, reemplazan, agregan o se le da servicio al equipo y accesorios de éste.

El mantenimiento preventivo que actualmente se le ofrece al sistema consiste en: la reposición periódica de aceite a los compresores para ajustar niveles en el cárter; este ajuste solamente se lleva por observación; la purga de aceite en los evaporadores, consiste en extraer el aceite arrastrado hasta los evaporadores y luego reposado en el fondo de éstos, y se efectúa periódicamente pero sin un control establecido; la limpieza de sedimentos y lodos acumulados en el fondo del condensador evaporativo se efectúan aproximadamente cada mes, y se lleva control de esto por un encargado de este procedimiento.

Un programa de mantenimiento preventivo para el sistema de refrigeración de la planta debe de ser más consistente para evitar daños en el futuro. Este mantenimiento debe de estar de acuerdo con las condiciones y recursos con que se cuentan y se debe de presupuestar adecuadamente las inspecciones, limpieza y cambios que deben de registrarse en papeletas, reportar anomalías si existen, y programar de forma calendarizada cada actividad, y se puede presentar de la siguiente manera:



### 6.1.1 Inspecciones y servicio:

Diarias:

(tabla 6.1.)

Inspeccionar el nivel de aceite en los compresores, comprobando que éste se encuentre por arriba de la mitad del visor.
Revisar que el amoníaco en el recibidor se encuentre un tercio del nivel en condiciones de operación.
Revisar las presiones de succión y descarga de los compresores; éstas deben verificarse por lo menos dos veces cada turno. Las presiones deben ser: succión: 30 psi descarga : 160 psi aproximadamente. Además se deben verificar las presiones en los evaporadores y en el condensador evaporativo.

Semanales:

(tabla 6.2.)

Verificar el estado y tensión de las fajas de los compresores.
Verificar que la presión del aceite en los compresores es la adecuada.
Revisar los tableros eléctricos de los compresores, evaporadores y condensador evaporativo.
Inspección de fugas en las tuberías de descarga y succión.
Verificar si existe una buena funcionalidad en las bombas del banco de hielo, condensador evaporativo y chiller. Además, revisar estopas o retenedores de las mismas.
Lubricación con grasa a cojinetes y elementos rodantes de los compresores, ventiladores del condensador evaporativo y torre de enfriamiento.

**Mensuales:**

(tabla 6.3.)

Revisión de válvulas mecánicas y eléctricas del sistema.
Verificar la alineación de todos los mecanismos de transmisión del sistema y revisar que todos los soportes, abrazaderas, anclajes, y que los elementos de sujeción estén debidamente apretados.
Revisar la torre de enfriamiento y condensador evaporativo para detectar incrustaciones o formación de algas. Se deben limpiar los aspersores y deflectores.
Revisión de los enfriadores de aceite de cada uno de los compresores, para ver si presentan señales de corrosión, depósitos de sedimento u otro deterioro.

**Anuales:**

(tabla 6.4)

Se debe de examinar todo el sistema por lo menos cada año, para detectar fugas, deterioro por corrosión en los diferentes equipos y accesorios
Se deben examinar las tuberías internas del condensador evaporativo y banco de hielo, para detectar daños por corrosión o incrustaciones.
Pintar el equipo y tuberías del sistema por lo menos una vez al año, para evitar corrosión por humedad o por exposición a la intemperie.
Revisar todos los motores y ventiladores del sistema para detectar desgaste excesivo de los elementos rodantes y juego longitudinal de ejes
Revisar internamente los controles eléctricos, de presión y temperatura y determinar el estado en que se encuentran.

**6.2. MANTENIMIENTO CORRECTIVO.**

Éste se refiere a reparaciones menores o ajustes comúnmente conocidos, mientras el equipo está parado o fuera de horario de producción. La reparación es hecha con base en una necesidad y no con base en un programa diseñado con anterioridad.

Este mantenimiento es requerido por cualquier sección de producción y se programa en los turnos en donde no exista producción o funcionamiento de equipo en dicha área de trabajo. La forma en que se solicita es por medio de papeletas de requerimiento de mantenimiento.

### 6.3. MANTENIMIENTO DE EMERGENCIA

Este mantenimiento es hecho durante horas de producción, normalmente siguiendo a un equipo descompuesto y que resulta en un paro de trabajo. Es una corrección de una condición o situación que necesita acción inmediata.

Este mantenimiento, como se indica, es llevado sobre la producción; actualmente, no es eficiente debido a que en algunos casos existen errores operacionales que provocan paros en la producción y se asumen como fallas de equipo; en otros casos el personal debe de asistir otras emergencias, lo que se hace más lenta la reparación, así como paros muy largos por la falta de capacitación del personal de mantenimiento.

### 6.4. ANÁLISIS DEL MANTENIMIENTO ACTUAL Y EL PROPUESTO.

El mantenimiento actual puede ser mejorado; el que más problemas presenta es el mantenimiento preventivo, debido a que este no está bien estructurado y no se programa correctamente, además de no contar con un buen surtido de repuestos que se necesita para reemplazar accesorios según las recomendaciones del fabricante, sobre tiempo de uso del equipo.

Es bien sabido que un mantenimiento preventivo desarrollado al 100% es antieconómico, pero si se realiza una aplicación balanceada de éste, los resultados son la disminución de costos por mantenimiento correctivo y mantenimiento de emergencia.

En cuanto al mantenimiento correctivo, solamente es necesario hacer conciencia de su personal, que los trabajos programados deben ser realizados de una manera adecuada para evitar que la reparación deba repetirse.

El mantenimiento de emergencia debe ser agilizado; esto se logra con una buena capacitación del personal de mantenimiento en cuanto al funcionamiento del sistema y también contando con un amplio surtido de repuestos.

## CONCLUSIONES

- 1 Los dos compresores utilizados actualmente, según el estudio realizado, no tienen la capacidad necesaria para producir el tonelaje que se consume, si todos los evaporadores se hacen funcionar al mismo tiempo.
- 2 En el condensador evaporativo No. 2, no funciona la mitad del equipo; esto trae como consecuencia que el deterioro en éste sea más rápido debido a que no se le da un mantenimiento adecuado, respecto al equipo que si funciona. Además, el condensador No. 1 no se repara para estar previsto en caso de falla o reparación prolongada del No. 2
- 3 En cuanto al amoníaco, no existe una información adecuada para el personal que lo maneja, acerca de medidas de seguridad contra accidentes y los riesgos que tiene su uso.
- 4 El sistema de refrigeración, en cuanto a la forma como trabaja actualmente, no es eficiente, si se da a capacidad máxima, ya que el tonelaje producido por los compresores no es el adecuado para balancear la carga que consumen los evaporadores.
- 5 Las tuberías que componen las diferentes líneas de conducción de amoníaco son las adecuadas, si se utiliza el sistema de refrigeración de la forma actual, o si se pone en operación el compresor No. 1 y el carbo-cooler.
- 6 Existen áreas disponibles en caso de que se implemente un nuevo compresor y un nuevo evaporador, además de contar con entronques de tubería de amoníaco líquido y succión.

- 7 El mantenimiento preventivo que se realiza en la planta no es adecuado, debido a que no se calendarizan inspecciones, cambios, limpiezas, etc., y la programación y ejecución de éste es muchas veces desplazado, ya que existen órdenes de trabajo de mantenimiento correctivo o de emergencia, las cuales tienen mayor prioridad, y el personal existente es muy escaso para cubrir estas demandas. Además no existe en la sección de mantenimiento una conciencia de lo que realmente representa el mantenimiento preventivo y los beneficios que se obtienen con la aplicación del mismo.
- 8 A través de la observación, se pudo comprobar que los paros del sistema de refrigeración son generalmente por motivos operacionales y no por fallas o problemas mecánicos.
- 9 Uno de los problemas mecánicos más frecuentes en el sistema es el aumento de nivel de amoníaco en el receptor, ocasionado por fallas en los interruptores de nivel del banco de hielo.
- 10 Uno de los problemas operacionales más frecuente es que no se abre la válvula manual de entrada de amoníaco líquido al chiller (antes de la expansión), y el amoníaco reposado en él es succionado y depositado en el receptor, lo que también incrementa su nivel.
- 11 El estudio realizado en el sistema de refrigeración de la planta es para uso exclusivo de ésta, debido a que las cargas y equipo que se manejan no son iguales a los de otros sistemas.

PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
Biblioteca Central

## RECOMENDACIONES

- 1 Es aconsejable reparar el equipo averiado en el sistema de refrigeración, como ocurre con el compresor No. 1, el condensador evaporativo No. 1, el Carbo-cooler, ya que este equipo es necesario para que el sistema tenga un mejor rendimiento.
- 2 Un aspecto muy importante que se debe tomar en cuenta para la reparación del compresor No. 1 es corregir el sentido de rotación del motor eléctrico, ya que se encuentra conectado de manera que gira en dirección contraria a la rotación correcta del compresor.
- 3 Es necesario capacitar al personal nuevo respecto al ciclo de refrigeración que existe en la planta, debido a que éste es un sistema de gran capacidad, en cuyo mantenimiento intervine personal mecánico, eléctrico y electrónico.
- 4 El mantenimiento preventivo se debe mejorar y aplicar en forma consciente y real por parte del programador y del personal que tenga a cargo la realización de éste. Además, se debe exigir a los supervisores de mantenimiento, una mejor supervisión y control de los trabajos realizados, y que éstos sean reportados al programador.
- 5 Es necesario hacer una inspección minuciosa a los accesorios del sistema, tales como válvulas eléctricas y mecánicas, interruptores, manómetros, termostatos, controles de nivel, etc. y reparar, calibrar o reemplazar los que se encuentren defectuosos.
- 6 Un aspecto importante para el sistema de refrigeración y el mantenimiento general es la lubricación. Esta es inadecuada, y por eso es necesario implementar dentro del mantenimiento preventivo una calendarización adecuada para cambio, ajuste y limpieza de aceite y grasa en los elementos que lo requieran. Además, se debe designar una persona específica para esta tarea (lubricador).

## BIBLIOGRAFÍA

- Elonka, Stephen Michael. Refrigeración y Acondicionamiento de Aire, preguntas y respuestas. 3a. edición, México: Edit. Mc. Graw Hill, 1,989.
  
- Elonka, Stephen Michael. Operación de plantas Industriales. preguntas y respuestas; volúmenes I y II. 2a. edición, México: Edit. Mc. Graw Hill, 1,989.
  
- Kutz, Myer. Enciclopedia de la Mecánica, volúmenes VI y VIII. 2a. Edición, España: Edit. Oceano / Centrum, 1,989.
  
- Majonnier. Manual de Instrucciones; Illinois, Estados Unidos: Editado por Majonnier, 1,990.
  
- Severns, W. H. Energía Mediante Vapor, Aire o Gas. 3a. Edición, México: Edit. Reverté, 1,994.
  
- Vilter. Manual de Instrucciones Para Compresores Vilter, Boletín 440-5; Wisconsin, Estados Unidos: Editado por Vilter, 1,986.
  
- Wark, Kenneth. Termodinámica. 5a. Edición, México: Edit. Mc. Graw Hill, 1,981.