

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**



**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**CÁLCULO Y DISEÑO DE UN BANCO DE HIELO PARA LA REDUCCIÓN DE  
TEMPERATURA, EN LA PRODUCCIÓN DE JARABE SIMPLE**

**TRABAJO DE GRADUACIÓN**

**PRESENTADO A JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA**

**POR**

**MIGUEL HUMBERTO CASTILLO JUÁREZ**

**ASESORADO POR EL INGENIERO DOUGLAS RAFAEL GONZÁLEZ ARANA**

**AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE  
INGENIERO MECÁNICO INDUSTRIAL**

**GUATEMALA, JULIO DE 2010**



**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

<b>DECANO</b>	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos.
<b>VOCAL I</b>	Inga. Glenda Patricia García Soria.
<b>VOCAL II</b>	Inga. Alba Maritza Guerrero Spinola de López.
<b>VOCAL III</b>	Ing. Miguel Angel Dávila Calderón.
<b>VOCAL IV</b>	Br. Luis Pedro Ortiz de León.
<b>VOCAL V</b>	AGr. José Alfredo Ortiz Herincx.
<b>SECRETARIA a.i</b>	Inga. Mayra Grisela Corado.

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

<b>DECANO</b>	Ing. Sydney Alexander Samuels Milson.
<b>EXAMINADOR</b>	Ing. Juan José Peralta Dardón.
<b>EXAMINADOR</b>	Ing. César Leonel Ovalle Rodríguez.
<b>EXAMINADOR</b>	Ing. José Arturo Estrada Martínez.
<b>SECRETARIO</b>	Ing. Carlos Humberto Pérez Rodríguez.

**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 graduación titulado:

**CÁLCULO Y DISEÑO DE UN BANCO DE HIELO PARA LA REDUCCIÓN  
DE TEMPERATURA, EN LA PRODUCCIÓN DE JARABE SIMPLE,**

tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial, con fecha 27 de noviembre de 2007.

  
**MIGUEL HUMBERTO CASTILLO JUAREZ**

Guatemala, 03 de julio de 2009

Ingeniero  
José Francisco Gómez Rivera  
Director de Escuela  
Ingeniería Mecánica Industrial  
Facultad de Ingeniería, USAC  
Presente,

Respetable Ingeniero:

Por medio de la presente hago de su conocimiento que he revisado el trabajo de graduación titulado: **"CÁLCULO Y DISEÑO DE UN BANCO DE HIELO PARA LA REDUCCIÓN DE TEMPERATURA EN LA PRODUCCIÓN DE JARABE SIMPLE"**; desarrollado por el estudiante **Miguel Humberto Castillo Juárez**. El trabajo en referencia cumple con las normas establecidas para la presentación del trabajo de graduación.

Atentamente,



Ing. Douglas Rafael González Arana.

Colegiado No. 6007

Douglas Rafael González Arana  
Ingeniero Mecánico Industrial  
Colegiado No. 6,007



FACULTAD DE INGENIERIA

Como Catedrático Revisor del Trabajo de Graduación titulado **CÁLCULO Y DISEÑO DE UN BANCO DE HIELO PARA LA REDUCCIÓN DE TEMPERATURA EN LA PRODUCCIÓN DE JARABE SIMPLE** presentado por el estudiante universitario Miguel Humberto Castillo Juárez, apruebo el presente trabajo y recomiendo la autorización del mismo.

ID Y ENSEÑAD A TODOS

Ing. Luis González Castañeda  
Catedrático Revisor de Trabajos de Graduación  
Escuela Mecánica Industrial

Ingeniero Industrial  
Luis Gerardo González Castañeda  
Colegiado No. 7814

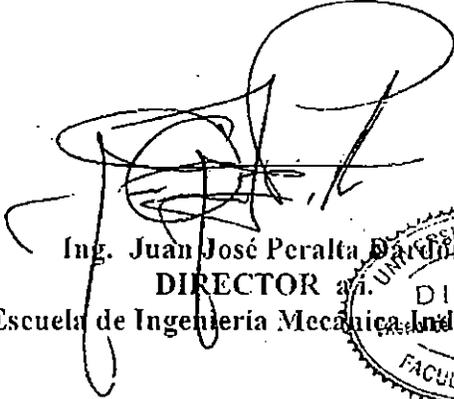
Guatemala, Noviembre de 2009.

/agrm



El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor, el Visto Bueno del Revisor y la aprobación del Área de Lingüística del trabajo de graduación titulado **CÁLCULO Y DISEÑO DE UN BANCO DE HIELO PARA LA REDUCCIÓN DE TEMPERATURA, EN LA PRODUCCIÓN DE JARABE SIMPLE**, presentado por el estudiante universitario **Miguel Humberto Castillo Juárez**, aprueba el presente trabajo y solicita la autorización del mismo.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

  
Ing. Juan José Peralta ~~Ordoñez~~  
DIRECTOR a.i. ~~Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial~~  
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial  


Guatemala, junio de 2010.

/imgp



Facultad de Ingeniería  
Decanato

Ref. DTG.239.2010

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 Industrial, al trabajo de graduación titulado: **CÁLCULO Y DISEÑO DE UN BANCO DE HIELO PARA LA REDUCCIÓN DE TEMPERATURA, EN LA PRODUCCIÓN DE JARABE SIMPLE**, presentado por el estudiante universitario Miguel Humberto Castillo Juárez, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos  
Decano

Guatemala, julio de 2010.



/gdech

## **ACTO QUE DEDICO A**

- Dios** Por ser el guía y protector de mis pasos, y haberme permitido alcanzar este triunfo.
- Mis padres** Aléxis Castillo López †  
Gladys Haydeé Juárez  
Por brindarme incondicionalmente su amor, apoyo, confianza, ejemplo y enseñarme a trazar y alcanzar mis metas.
- Mi esposa e hija** María Nelly Morales Fajardo de Castillo.  
Mariangeles Castillo Morales  
Por su apoyo y por ser el motivo de la lucha diaria de mi vida.
- Mis hermanos** Gladys, Alex y Mayra  
Por su ayuda y apoyo incondicional.
- Mis amigos** A todos y cada uno de los cuales me ayudaron a la realización del presente trabajo de graduación y por su amistad sincera.



## **AGRADECIMIENTOS A**

**Ing. Douglas Rafael González Arana**

Por su apoyo, asesoría y colaboración para el desarrollo del presente trabajo de graduación.

**Inga. Melanie Teresa Ramírez Jaramillo,**

Por haberme brindado sus conocimientos y apoyo.

**Ing. Minor Borneo López, Aram Prim Morales y Nery Lique.**

Por haberme brindado su apoyo y amistad

## ÍNDICE GENERAL

<b>ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....</b>	<b>V</b>
<b>GLOSARIO.....</b>	<b>XI</b>
<b>RESUMEN.....</b>	<b>XVII</b>
<b>OBJETIVOS.....</b>	<b>XIX</b>
<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>XXI</b>

### 1. ANTECEDENTES GENERALES

1.1 Historia de la empresa.....	1
1.2 Ubicación.....	2
1.3 Misión.....	3
1.4 Visión.....	3
1.5 Valores.....	3
1.6 Organización.....	4
1.6.1. Organigrama.....	4
1.7 Jarabe Simple.....	6
1.7.1. Definición.....	6
1.7.2. Aplicaciones.....	6
1.8 Principios de refrigeración.....	7
1.9 Agente refrigerante.....	9
1.9.1. Clasificación de los refrigerantes.....	10
1.10 El amoníaco.....	14
1.10.1. Producción, aplicaciones y usos.....	16
1.10.2. Efectos sobre la salud.....	18
1.10.3. Niveles permisibles de exposición ocupacional.....	26
1.11 Clasificación de evaporadores.....	27
1.11.1. Para enfriar líquidos.....	27
1.11.1.1. De inmersión.....	27

1.11.1.2. De circulación interna.....	29
1.11.2. Para enfriar gases.....	32
<b>2. DIAGNÓSTICO O SITUACIÓN ACTUAL DEL PROCESO</b>	
2.1 Descripción del proceso de producción del jarabe simple.....	35
2.1.1. Mezcla de ingredientes.....	35
2.1.2. Cocimiento.....	36
2.1.3. Enfriamiento.....	36
2.1.4. Filtrado.....	37
2.1.5. Clarificación.....	37
2.2 El Sistema de refrigeración.....	37
2.2.1. Descripción de operación del sistema.....	38
2.2.2. Compresores de amoníaco.....	40
2.2.3. Condensadores evaporativos.....	41
2.2.4. Evaporadores.....	44
2.2.5. Válvula de expansión.....	44
2.2.6. Depósito refrigerante.....	45
2.2.7. Tubería de amoníaco.....	47
2.2.8. Trampa de succión.....	61
<b>3. PROPUESTA DE DISEÑO DE UN BANCO DE HIELO</b>	
3.1 Partes del dispositivo de refrigeración.....	63
3.1.1. Recibidor de baja presión.....	63
3.1.2. Recibidor de alta presión.....	64
3.1.3. Bombas de agua helada.....	65
3.1.4. Agitador.....	66
3.1.5. Válvula reguladora de presión de succión.....	67
3.1.6. Bajante de líquido.....	68
3.1.7. Tambor de alimentación .....	69

3.1.8. Válvula de flotador.....	70
3.1.9. Tanque de almacenamiento de agua helada.....	71
3.1.10. Visor nivel del tanque de agua.....	72
3.1.11. Visor del serpentín o evaporador.....	72
3.1.12. Evaporador de enfriamiento.....	73
3.2 Aislamiento térmico.....	73
3.3 Funcionamiento del Banco de Hielo.....	74

#### **4. IMPLANTACIÓN DE LA PROPUESTA**

4.1 Cálculos de cargas térmicas para el enfriamiento.....	79
4.1.1. De los flujos de proceso.....	80
4.1.2. De las cargas térmicas.....	82
4.2 Sistema de refrigeración con banco de hielo.....	87
4.2.1. Cálculos para la selección de equipos.....	90
4.2.1.1. Evaporador.....	90
4.2.1.2. Bombas de agua helada.....	100
4.2.1.3. Agitador.....	101
4.2.1.4. Recibidor de baja presión.....	104
4.2.1.5. Recibidor de alta presión.....	106
4.3 Soldadura de recipientes a presión.....	108
4.4 Tanques rectangulares.....	108
4.5 Pintura.....	113
4.6 Análisis de costos.....	114
4.6.1. Costos de materiales y equipos.....	114
4.6.2. Costo de fabricación.....	115
4.6.3. Costo de instalación.....	116
4.6.4. Costo operativo.....	118
4.6.5. Costo de mantenimiento.....	119

## **5. SEGUIMIENTO, MEJORA CONTINUA**

5.1 Instrucciones de construcción.....	121
5.1.1. Tanque de agua.....	121
5.1.1.1. Lámina primaria.....	123
5.1.1.2. Aislamiento térmico.....	124
5.1.1.3. Lámina secundaria.....	125
5.1.1.4. Visor del evaporador.....	126
5.1.1.5. Cubierta o tapa del banco de hielo.....	127
5.1.2. Evaporador de aire.....	128
5.1.2.1. Soporte del evaporador.....	129
5.1.2.2. Evaporador principal.....	130
5.1.3. Visor nivel del tanque de almacenamiento de agua.....	131
5.1.4. Soporte bombas de agua helada.....	132
5.1.5. Soporte del agitador.....	133
5.1.6. Recibidor de alta y baja presión.....	134
5.1.7. Bajante de líquido.....	135
5.1.8. Tubería de amoníaco.....	136
5.1.9. Planos del banco de hielo.....	137
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>143</b>
<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>145</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>147</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>149</b>

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1.	Mapa del departamento de Zacapa.....	2
2.	Organigrama de la embotelladora.....	5
3.	Evaporador tipo parrilla. ....	28
4.	Evaporador tipo <<Herringbone>>.....	28
5.	Evaporador de doble tubo.....	29
6.	Evaporador tipo <<dry-ex>>.....	30
7.	Evaporador tipo inundado.....	30
8.	Evaporador multitubular vertical.....	31
9.	Evaporador multitubular tipo lluvia.....	32
10.	Evaporador tipo <<Coil>>.....	33
11.	Evaporador tipo serpentín.....	33
12.	Sistema de refrigeración industrial.....	39
13.	Compresor alternativo.....	41
14.	Condensador evaporativo.....	43
15.	Evaporador de tubo aletado.....	44
16.	Válvula de expansión.....	45
17.	Depósito refrigerante.....	46
18.	Arreglo de tubería con el condensador situado por debajo del compresor.....	48
19.	Arreglo de tubería con el condensador y el compresor situado al mismo nivel.....	49
20.	Arreglo de tubería con el condensador situado por encima del compresor y tubo vertical a ocho pies.....	50
21.	Arreglo de tubería con el condensador situado por encima del compresor y tubo vertical entre ocho y veinticinco pies.....	51

22. Arreglo de tubería con el condensador situado por encima del compresor y tubo vertical entre veinticinco y cincuenta pies .....	52
23. Arreglo de tubería de descarga con doble tubo vertical.....	54
24. Arreglo de tubería de descarga con separador de aceite.....	55
25. Arreglo de tubería con el evaporador y el compresor situados al mismo nivel.....	56
26. Arreglo de tubería con el evaporador situado por encima del compresor.....	57
27. Arreglo de tubería con el evaporador situado por debajo del compresor .....	57
28. Línea de succión con control de reducción de presión.....	58
29. Línea de succión con tubería vertical doble.....	59
30. Línea de líquido con circunvalación invertida.....	61
31. Trampa de succión.....	62
32. Tambor de alimentación.....	69
33. Válvula de flotador.....	70
34. Partes de un banco de hielo.....	75
35. Cambio de fase del refrigerante dentro del evaporador.....	76
36. Esquema del sistema de refrigeración.....	80
37. Esquema del sistema de refrigeración con evaporador de aire.....	82
38. Transferencia de calor por convección natural.....	84
39. Arreglos comunes para los tubos de evaporadores.....	86
40. Esquema del sistema de refrigeración con sus respectivas cargas térmicas.....	87
41. Parilla del evaporador de aire.....	90
42. Esquema de equilibrio para el principio de Arquímedes.....	91
43. Volumen de referencia de 1 m <sup>3</sup> .....	92
44. Diámetros de la tubería con capa de hielo.....	94

45.	Capacidad de la refrigeración almacenada en tubería de acero negro de 4 pulgadas por metro de longitud.....	95
46.	Distancia entre centros de los tubos.....	97
47.	Bomba de agua helada.....	100
48.	Largo de tubería y codo de 4 pulgadas cedula 40 .....	101
49.	Dimensiones internas del tanque de agua helada.....	102
50.	Fluidificación en un tanque de almacenamiento.....	103
51.	Tanque de almacenamiento rectangular.....	104
52.	Recibidor de baja presión.....	105
53.	Volumen del cilindro.....	106
54.	Recibidor de alta presión.....	107
55.	Tipos de juntas soldadas recomendadas para los bordes de las placas.....	108
56.	Placa con tirantes a un paso horizontal <b>a</b> y un paso vertical <b>b</b> .....	109
57.	Detalle de las distancias entre tirantes en el tanque de almacenamiento de agua helada.....	110
58.	Tanque de almacenamiento de agua helada.....	122
59.	Lámina primaria del tanque de almacenamiento de agua.....	123
60.	Aislamiento Térmico con poliestireno expandido.....	124
61.	Lámina secundaria del tanque de almacenamiento de agua.....	125
62.	Visor del evaporador principal.....	126
63.	Cubierta o tapadera del banco de hielo.....	127
64.	Evaporador de aire.....	128
65.	Soporte del evaporador principal.....	129
66.	Evaporador principal.....	130
67.	Visor nivel del tanque de almacenamiento de agua.....	131
68.	Soporte bombas de agua helada.....	132
69.	Soporte del agitador.....	133
70.	Recibidor de alta y baja presión.....	134

71. Bajante de líquido.....	135
72. Tubería de amoníaco.....	136
73. Planos del Banco de Hielo.....	137

## Tablas

I.	Peligrosidad de soluciones acuosas y amoníaco anhidro.....	15
II.	Propiedades del amoníaco NH <sub>3</sub> .....	15
III.	Propiedades del Jarabe Simple.....	79
IV.	Propiedades para el cálculo del evaporador de aire.....	82
V.	Propiedades del agua para el cálculo de la masa.....	83
VI.	Propiedades del tubo acero negro cédula 40 de 4 pulgadas.....	93
VII.	Almacenamiento de hielo por metro lineal en tubería de 4 pulgadas cédula 40 .....	95
VIII.	Datos para el diseño del tanque de almacenamiento de agua.....	110
IX.	Costos de equipos del sistema de refrigeración con banco de hielo...	114
X.	Costos de fabricación del evaporador principal del banco de hielo.....	115
XI.	Costos de fabricación del evaporador de aire.....	116
XII.	Costos de instalación del sistema de refrigeración.....	117
XIII.	Costos operativos del sistema de refrigeración.....	119
XIV.	Costos de mantenimiento del sistema.....	119



## GLOSARIO

- Adsorción:** Proceso de transferencia de masa que para el caso se da entre sólido-líquido, en el que partículas a remover son adheridas al área superficial del sólido por medio de fuerzas de Van Der Waals principalmente.
- Agente patógeno:** Toda aquella entidad biológica capaz de producir enfermedad o daño en la biología de un huésped (humano, animal, vegetal, etc.) sensiblemente predispuesto.
- Amoníaco:** Combinación química de nitrógeno e hidrógeno (NH<sub>3</sub>). También se usa como refrigerante y se identifica como R-717.
- Calor latente:** Cantidad de energía calorífica requerida para efectuar un cambio de estado (fusión, evaporación, solidificación) de una sustancia, sin cambio en la temperatura o presión.
- Calor sensible:** Calor que causa un cambio de temperatura en una sustancia, sin que cambie de estado.
- Carbón activado:** Tipo de carbón con tratamiento especial de manufactura con el objetivo de un acabado poroso y de gran área superficial de hasta 1,500 m<sup>2</sup> por gramo que es capaz de adsorber color, olor y sabor de sustancias con la que se ponga en contacto.

**Ciclo:** Serie de eventos u operaciones, las cuales tienen una tendencia a repetirse en el mismo orden.

**Color:** Índice de cantidad de luz transmitida a través de un espectro de luz visible por una sustancia determinada. Puede ser medido por varios métodos, entre ellos RBU e ICUMSA.

**Compresor:** Máquina en sistemas de refrigeración, hecha para succionar vapor del lado de baja presión en el ciclo de refrigeración, y comprimirlo y descargarlo hacia el lado de alta presión del ciclo.

**Condensador:** Componente del mecanismo de refrigeración, el cual recibe del compresor vapor caliente a alta presión, enfriándolo y regresándolo luego a su estado líquido. El enfriamiento puede ser con aire o con agua.

**Convección:** Transferencia de calor por medio del movimiento o flujo de un fluido.

### **Convección**

**forzada:** Transferencia de calor que resulta del movimiento forzado de un líquido o un gas, por medio de una bomba o un ventilador.

### **Convección**

**natural:** Circulación de un gas o un líquido, debido a la diferencia en densidad resultante de la diferencia de temperaturas.

- Damajuana:** Recipiente de vidrio con boca angosta, parecido a un garrafón, sin forrar o forrado con una especie de ayate tejido con las fibras del agave, cuya capacidad es de 32 litros aproximadamente.
- Efecto peltier:** Cuando la corriente directa es pasada a través de dos metales adyacentes, una unión se vuelve más fría y la otra más caliente. Éste principio es la base para la refrigeración termoeléctrica.
- Enfriamiento magnético:** Se produce cuando se desmagnetizan bruscamente determinadas sustancias paramagnéticas.
- Evaporador:** Componente del mecanismo de un sistema de refrigeración, en el cual, el refrigerante se evapora y absorbe calor.
- Filtración:** Proceso en el que se retienen pequeñas partículas sólidas aprovechando el conocimiento de su tamaño y dejando pasar las demás.
- Filtro Ayuda:** Material hecho de tierras diatomeas con secciones porosas que atraviesan la totalidad de la partícula y sirve para hacer más eficiente la filtración y evitar que se tapen las placas de los filtros.
- Higroscópico:** Habilidad de una sustancia para absorber y soltar humedad y cambiar sus dimensiones físicas, conforme cambia su contenido de humedad.

- Ión:** Átomo o grupo de átomos cargados eléctricamente.
- Jarabe simple:** Mezcla de agua y azúcar que ya ha sido terminada del cocimiento y cumple con los requisitos de concentración y color.
- Línea de descarga:** En un sistema de refrigeración, es la tubería que conduce el gas refrigerante, desde el compresor hasta el condensador.
- Línea de líquido:** Tubería que conduce el refrigerante líquido, desde el condensador o recibidor, hasta el mecanismo de control de refrigerante.
- Línea de succión:** Tubería que conduce el refrigerante gaseoso, desde el evaporador hasta el compresor.
- Normas ISO:** Especificaciones de carácter técnico, recomendadas por el organismo regulador ISO.
- OSHAS:** Agencia Europea para la Seguridad y la Salud en el Trabajo (OSHA por sus siglas en inglés) constituye uno de los órganos más importantes de la política social de la Unión Europea (UE).
- Pasteurización:** Proceso térmico realizado a líquidos (generalmente alimentos) con el objeto de reducir los agentes patógenos que puedan contener, tales como bacterias, protozoos, mohos y levaduras.

**Punto de rocío:** Temperatura a la cual el vapor de agua del aire (a 100% de humedad relativa) comienza a condensarse y depositarse como líquido.

**Refrigerante:** Sustancia utilizada en los mecanismos de refrigeración. Este absorbe calor en el evaporador, cambiando de estado de líquido a vapor, liberando su calor en un condensador, al regresar de nuevo del estado gaseoso al estado líquido.

**Sacarosa:** Es un disacárido formado por alfa-glucosa y beta-fructosa.

**Salinidad:** Cantidad de sales que se encuentran en el agua, predomina el cloruro de sodio o sal común. La salinidad es una de las principales propiedades químicas del agua de mar. Se mide a través de conductividad eléctrica.

## **Tierras**

**diatomeas:** Material sólido obtenido de la calcinación de ciertos esqueletos de algas con alto contenido de óxido de sílice con formaciones diversas, pero todas con agujeros transversales.

**Válvula selenoide:** Válvula diseñada para funcionar por acción magnética, a través de una bobina energizada eléctricamente. Esta bobina acciona un núcleo móvil, el cual abre o cierra la válvula.

**Vapor:** Estado o fase de una sustancia que está en su temperatura de saturación, o muy cercano a ella.



## RESUMEN

El presente trabajo de graduación muestra información técnica necesaria para el cálculo y diseño de un banco de hielo, para la reducción de temperatura. Este es un tema relativamente muy conocido en la industria de la refrigeración industrial pero con muy poca información, ya que los fabricantes son muy reacios a dar a conocer dicha información, con lo cual se estará apoyando a todas aquellas industrias que necesiten una solución práctica al problema de cargas térmicas muy altas en un tiempo muy pequeño de consumo.

En el primer capítulo, se describirá la información general de la empresa desde su historia, ubicación, misión, visión y valores como compañía; su organigrama. Además de una descripción de los principales conceptos como los son la definición de Jarabe Simple, los principios de refrigeración, clasificación de los refrigerantes, asimismo se hará una clasificación de los evaporadores.

En el segundo capítulo se ejecutará la descripción del proceso de producción del jarabe simple, desde el ciclo de la mezcla de ingredientes hasta el ciclo de clarificación. También se realizará una descripción del Sistema de Refrigeración.

En el tercer capítulo se encontrará las partes que conforman el banco de hielo, como lo son las bombas de agua helada, los distintos tipos de visores así como también los recibidores; el tanque de agua, etc. Asimismo se hará una representación de su funcionamiento.

En el cuarto capítulo se realizará los cálculos de las cargas térmicas para el enfriamiento del jarabe, así como el cálculo del evaporador o serpentín. También se harán los cálculos necesarios para la selección de los componentes del Banco de Hielo como lo son las bombas de recirculación de agua helada, el agitador, los recibidores de alta y baja presión; el tanque de agua helada, la parte de la soldadura y pintura. Asimismo, se realizará un análisis de los costos referentes a los materiales que se utilizarán para la fabricación, los costos de instalación, operación y mantenimiento del dispositivo.

En el último capítulo, se explicaran de una forma detallada las instrucciones de construcción de cada una de las partes que conforman el enfriador, desde el tanque de agua helada; el evaporador y sus soportes, los soportes de las bombas de recirculación de agua, etc.

## **OBJETIVOS**

### **GENERAL**

Realizar el cálculo y diseño de un Banco de Hielo para la reducción de temperaturas con ciertas especificaciones en el proceso de Jarabe Simple.

### **ESPECÍFICOS:**

1. Conocer los efectos sobre la salud al estar expuesto al amoníaco.
2. Describir el proceso de preparación de jarabe simple en la industria.
3. Identificar el Sistema de Refrigeración.
4. Describir las partes y funcionamiento del enfriador.
5. Identificar el tipo de evaporador a utilizar en el dispositivo.
6. Realizar un análisis de costos tanto de fabricación, operativo y de mantenimiento.
7. Elaborar por medio de herramientas CAD las instrucciones de construcción del dispositivo.



## INTRODUCCIÓN

En ocasiones existe la necesidad en empresas industriales de contar con un dispositivo que satisfaga sus requerimientos de conservar los productos que manufacturan o necesidades de enfriamiento dentro de los mismos procesos, todo esto para cumplir con las especificaciones de producción, estándares de calidad y competitividad.

El agua por su bajo costo, su abundancia en la naturaleza y sus propiedades termodinámicas es el mejor elemento para este cometido en instalaciones de hasta  $0^{\circ}\text{C}$  con agua dulce y hasta  $-2.2^{\circ}\text{C}$  con agua de mar, dependiendo de la salinidad. Inclusive es posible bajar mas allá del  $0^{\circ}\text{C}$  la temperatura de congelación haciendo uso de productos químicos.

Muchas veces no se tiene en cuenta la evolución o antecedentes históricos acerca del tema de la refrigeración. Varios de los aparatos y tecnología que se posee actualmente son gracias a la gran evolución que se ha desarrollado con el pasar del tiempo y el estudio exhaustivo de las cosas. Por ejemplo, el arte de la refrigeración basado en el hielo natural es muy antiguo y se practicó antes de construirse cualquier máquina térmica.

Cuando dentro de un proceso se requiere agua enfriada, la termoacumulación se transforma en la solución ideal, permitiendo reducir el costo inicial del sistema frigorífico, disminuir el costo de operación y obtener alta eficiencia y confiabilidad.

La formación de hielo en un enfriador puede lograrse por dos vías diferentes denominadas “Derretimiento Externo” y “Derretimiento Interno”. En el derretimiento externo, circula el fluido refrigerante por el interior de los tubos, generando y acumulando hielo sobre la pared externa de los mismos; bombeando el agua acumulada en el tanque, su retorno produce el derretimiento de dicha acumulación.

En el derretimiento interno, la solución contenida en el tanque permanece estática y la disolución se produce por circulación en el interior de la batería de enfriamiento.

## **1. ANTECEDENTES GENERALES**

### **1.1. Historia de la empresa.**

La empresa nace en 1936, implementando un proceso a base de maquinaria sencilla (damajuanas de barro con jivas de madera) para cubrir las necesidades de ese tiempo. Más tarde, en la década del 50 se montan dos equipos Niágara para el embotellado del líquido, con lo que se logró un llenado de 220 garrafones (5 gl) por hora - un proceso de alta velocidad para la época-. Comprometida con la filosofía de dar lo mejor a sus clientes y preocupada por el bienestar y la buena salud de la familia guatemalteca, la firma amplió sus instalaciones productivas en 1977. Para finales de 1980, la adquisición de nuevo equipo logró aumentar el llenado de 220 a 1,000 garrafones por hora, y a partir de ese punto, el compromiso de innovar siempre ha llevado a superar la cifra en varios miles de envases por mes.

Actualmente cuenta con 6 importantes plantas en puntos estratégicos de todo el país; Guatemala -El Zapote, Guatemala-Concepción, Teculután, Petén, Quetzaltenango y Escuintla, lo que ha convertido a la planta más grande de Centroamérica.

La investigación, la nueva tecnología y la periódica adquisición de equipo moderno hacen que sea la única planta cuya producción cuenta con los más altos estándares de calidad.

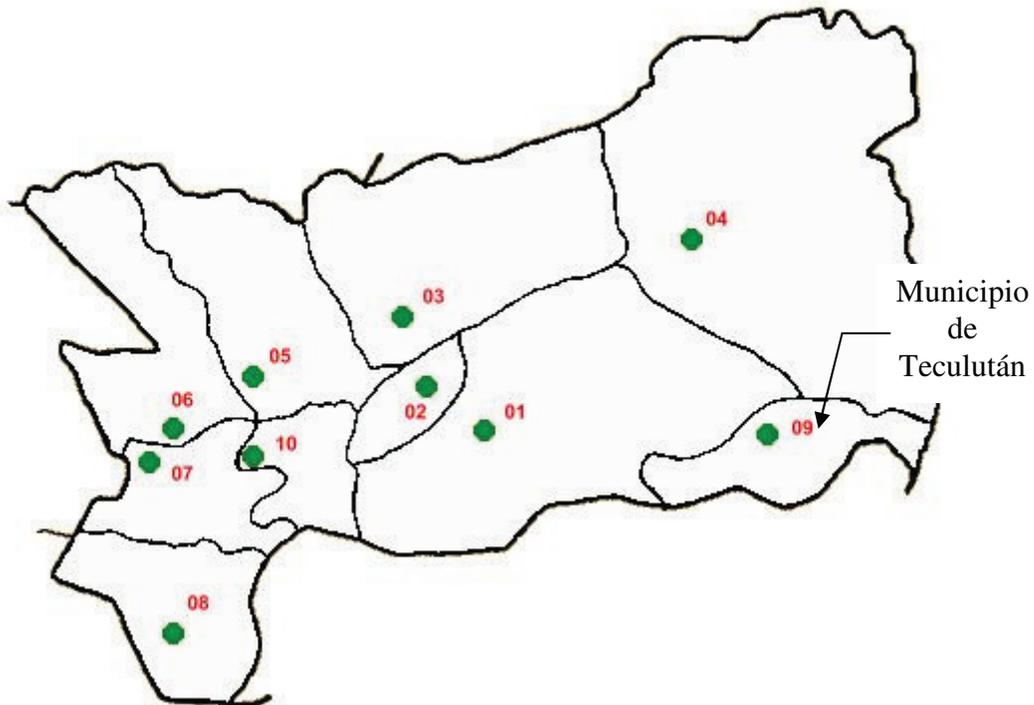
Prueba reciente de ello es el nuevo tapón de los garrafones. Diseñado para cumplir su misión básica de proteger el contenido y mantenerlo puro,

también incorpora avances en cuanto a su diseño lo que lo hace mucho más fácil de abrir, más “amigable” que el anterior y por lo tanto más familiar.

### 1.2. Ubicación

La empresa se encuentra ubicada en el kilómetro 127 a la carretera al atlántico, en el municipio de Teculután del departamento de Zacapa (Figura 1)

**Figura 1. Mapa del departamento de Zacapa**



### **1.3. Misión**

Ser una empresa dedicada a la elaboración y venta de bebidas de la más alta calidad y bajo costo, como resultado de una organización motivada y orientada a la satisfacción de nuestros clientes, preservando el Medio Ambiente y en armonía con nuestra sociedad.

### **1.4. Visión**

Estamos orientados a la búsqueda constante de la Excelencia creando el compromiso de capacitación constante y abriendo los canales de comunicación de nuestro personal, clientes y proveedores a fin de obtener el mejor producto y contribuir a la preservación del Medio Ambiente.

### **1.5. Valores**

Confianza. En su pureza, en su gente, en su compromiso con la calidad de cada gota de agua pura. Una confianza ganada a pulso día tras día desde su inicio. Una confianza que agradece a los consumidores, a todos los que trabajan en las distintas plantas del país, y por supuesto a toda Guatemala. Es la única planta de agua pura en Guatemala con las siguientes certificaciones internacionales:

- ISO 9000 (excelencia a través de un sistema de gestión de calidad que asegura la satisfacción de sus consumidores).
- ISO 14000 (minimización de los efectos en el medio ambiente).

- OHSAS 18000 (excelencia en normas de seguridad, higiene y salud ocupacional)

Maduros, realizado el trabajo durante muchos años y la experiencia nos ha hecho fuertes: el futuro es prometedor.

Organizados, se conforma un sistema de producción de bebidas elaboradas bajo rigurosos requisitos y con buenos hábitos de manufactura.

Creadores, cotidianos de una cultura sustentada en la confianza, el respeto y la convicción de que un trabajo bien hecho produce beneficios para la organización y los individuos que la componen.

## **1.6. Organización**

Actualmente la embotelladora cuenta con varios departamentos, los más importantes son: Producción, Mantenimiento y Administración.

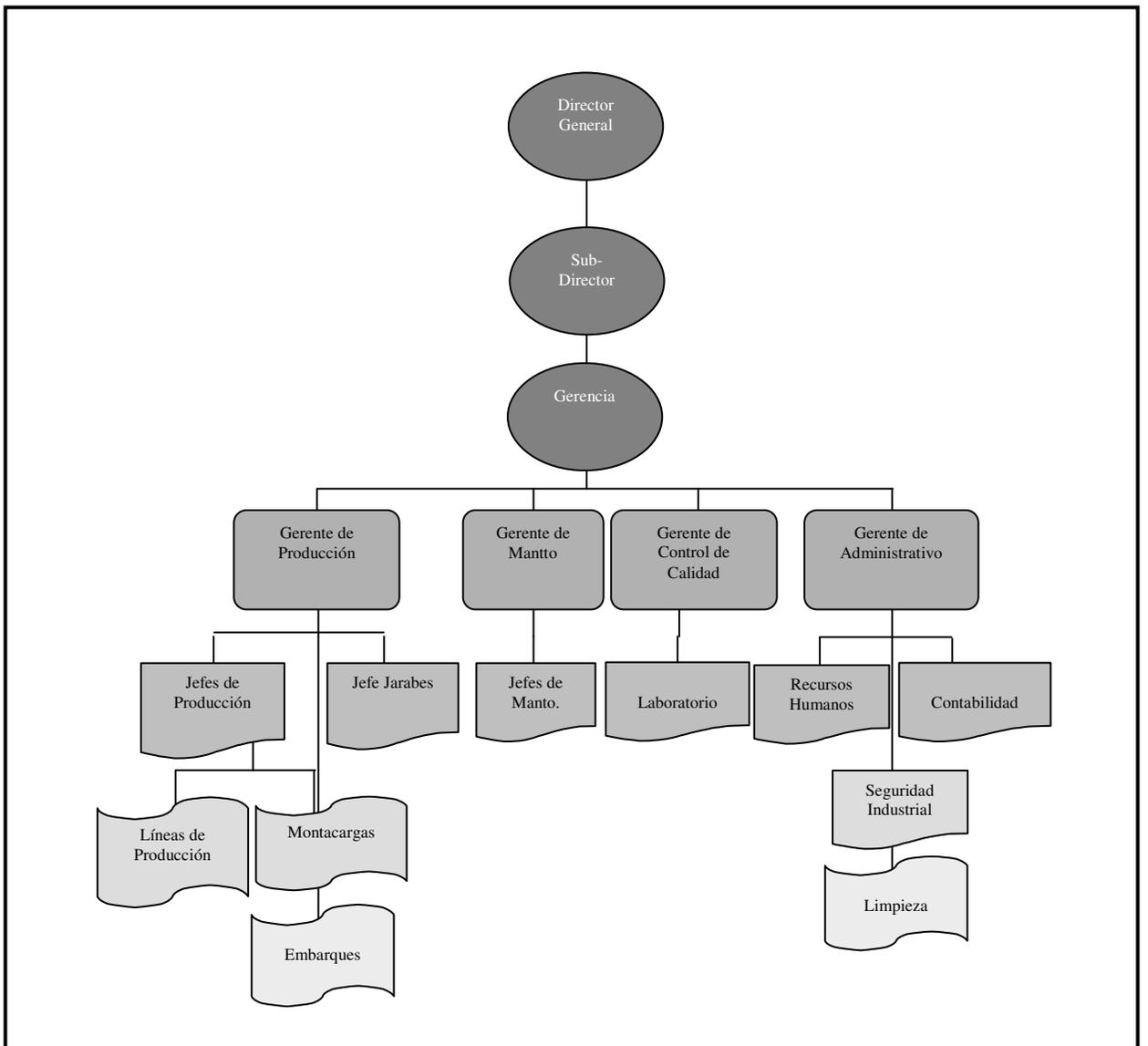
El objetivo principal de la embotelladora es el desarrollo de la empresa, el país y sus colaboradores ofreciendo un producto de la más alta calidad y a un bajo costo.

### **1.6.1. Organigrama**

Se muestra la representación gráfica de la estructura orgánica de la empresa, la cual refleja en forma esquemática la posición de las áreas que la integran, sus niveles jerárquicos, líneas de autoridad y de asesoría.

Como el organigrama lo refleja es del tipo integral, ya que todas las representaciones gráficas de las unidades administrativas de la organización y sus relaciones de jerarquía o dependencia.

**Figura 2. Organigrama de la embotelladora**



## **1.7. Jarabe simple**

### **1.7.1. Definición**

Los jarabes son líquidos de consistencia viscosa por lo general contienen soluciones concentradas de azúcares, como la sacarosa, en agua o en otro líquido.

Si se utiliza agua purificada solamente para preparar una solución de sacarosa, la preparación se conoce con el nombre de jarabe simple.

En cambio, si la preparación contiene algún principio activo adicionado se emplea el nombre de jarabe medicado.

También existe el jarabe aromatizado, que por lo general no está medicado pero contiene diversas sustancias aromáticas o de sabor agradable y se utiliza en la mayoría de los casos como vehículo o agente aromatizante.

### **1.7.2. Aplicaciones**

El jarabe simple se utiliza principalmente en la industria de bebidas y farmacéutica. En la industria de bebidas en la elaboración de jugos concentrados de frutas y bebidas carbonatadas, en la farmacológica en la producción de medicamentos.

En la industria farmacéutica se utiliza para uso terapéutico, como vehículos para los productos orales, parenterales, tópicos, utópicos, etc. También se utilizan como excipientes, buffers, conservadores y como agentes de suspensión para una variedad de formas de dosificación líquida.

## **1.8. Principios de refrigeración**

Existen principalmente cuatro principios de refrigeración como lo es por calor sensible, calor latente, el efecto Peltier y el enfriamiento Magnético.

La refrigeración por calor sensible es cuando el enfriamiento se produce por aumento de la temperatura del refrigerante. Este aumento de temperatura producirá necesariamente una disminución de la temperatura del fluido o carga que deseamos refrigerar. Es evidente que el refrigerante deberá estar mas frío que la carga. El enfriamiento del refrigerante, por ejemplo aire, se consigue mediante un proceso de expansión con o sin producción de trabajo. Si no hay producción de trabajo el fenómeno viene determinado por el efecto Joule-Thompson.

Cuando el enfriamiento se produce por el cambio de estado de líquido a gas o de sólido a líquido del refrigerante. En ambos casos el calor latente del cambio de estado se absorberá del fluido o carga que deseamos enfriar. Este principio lo llamaremos latente.

El efecto Peltier. Si en un circuito formado por dos conductores de diferente naturaleza, por ejemplo, hierro y cobre, mantenemos una diferencia de temperatura entre las soldaduras, se producirá una fuerza electromotriz en el circuito. Este es el principio del termopar, un instrumento muy útil para medir temperaturas. Este fenómeno es reversible: si mantenemos las dos uniones a una diferencia de potencial, se producirá una desigualdad de temperaturas. Para tener un efecto frigorífico apropiado deben unirse muchos termopares. El conjunto, que puede utilizarse tanto para producir frío como para producir calor, se llama Bomba Termométrica.

Enfriamiento magnético. Se basa en el enfriamiento que se produce cuando se desmagnetizan bruscamente determinadas sustancias paramagnéticas. El método permite alcanzar temperaturas próximas al cero absoluto.

Los métodos habituales están basados en el efecto latente. La necesidad de trabajar de forma cíclica con un fluido que pueda circular sin trabas por el circuito, descarta el efecto latente basado en la fusión. Así pues, la forma casi única del efecto latente es la ebullición de un líquido. Para llevar a cabo este proceso de forma cíclica y útil se utilizan principalmente dos procedimientos:

En el ciclo de compresión de vapor, el refrigerante condensa a una presión alta y se evapora a una presión baja. La condensación se lleva a cabo en un intercambiador de calor llamado condensador, y la evaporación del líquido en otro intercambiador llamado evaporador. La necesaria caída de presión del líquido antes del evaporador, se lleva a cabo mediante una válvula de expansión termostática o, en algunos casos, mediante tubos capilares. La compresión del vapor se realiza mediante un compresor.

El ciclo de absorción. Es muy parecido al ciclo de compresión de vapor, pero con una diferencia fundamental. El vapor producido en el evaporador se absorbe a baja presión en una disolución con sustracción de calor y se desprende posteriormente a presión alta por adición de calor. La absorción se lleva a cabo en un depósito denominado absorbedor y el desprendimiento del vapor en otro depósito denominado generador. La compresión se hace mediante una bomba. En el ciclo de compresión de vapor la energía primaria es corriente eléctrica o trabajo mecánico. En el ciclo de absorción es calor, puesto que el trabajo de la bomba es muy

reducido comparado con el necesario para comprimir un vapor. La máquina de absorción es, en general, más cara que la de compresión de vapor; sin embargo, el consumo energético puede ser mas económico.

Los evaporadores y condensadores constituyen los elementos fundamentales en las máquinas de refrigeración por compresión de vapor y también son importantes en las máquinas de absorción

### 1.9. Agente refrigerante

Un refrigerante es cualquier fluido que actúa como agente de enfriamiento, absorbiendo calor de un foco caliente al evaporarse. El refrigerante en una instalación frigorífica debe tener las siguientes características:

- **Calor latente de evaporación alto:** cuanto mayor sea su valor menor cantidad de refrigerante hay que utilizar en el proceso de refrigeración para obtener una temperatura determinada.
- **Presión de evaporación superior a la atmosférica:** para evitar que entre aire en el circuito de refrigeración, lo que acarrearía el problema de que el agua contenida en el aire se solidifique y obstruya algún conducto.
- **Punto de ebullición lo suficientemente bajo** para que sea inferior a la temperatura de trabajo del evaporador.
- **Temperaturas y presión de condensación bajas:** así se evitan trabajar con presiones de condensación altas en el compresor lo que se traduce en un considerable ahorro tanto de energía como en el costo de la instalación.
- **Inercia química:** es decir que no reaccione con los materiales que componen el circuito ni con el aceite del compresor.

- **Ha de ser inmisible o totalmente miscible con el aceite del compresor:** la solubilidad parcial da origen a problemas de depósitos de aceite en el evaporador.
- **Debe de ser químicamente estable:** hasta el grado de no ser inflamable ni explosivo.
- **Ha de ser soluble en agua:** de esta forma se evita que el agua libre pueda formar cristales de hielo. Por este motivo los circuitos de refrigeración van provistos de filtros deshidratantes.
- **Debe ser no tóxico para el hombre.**
- **Debe tener un impacto ambiental bajo o nulo** en el caso de ser liberado por posibles fugas.
- **Debe ser fácilmente detectable por el olfato** para poder localizar las fugas que se produzcan en el sistema.
- **Debe ser barato.**

### 1.9.1. Clasificación de los refrigerantes

Los primeros refrigerantes utilizados por reunir varias de estas características y ser los únicos disponibles cuando aparecieron las primeras máquinas de producción mecánica de frío (1867) fueron el amoníaco (NH<sub>3</sub>), el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y el dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>). Pero estos refrigerantes presentaban grandes problemas de toxicidad, explosión y corrosión en las instalaciones de modo que su utilización estaba restringida a usos industriales. Con excepción del amoníaco todos estos refrigerantes han dejado de usarse siendo reemplazados por otros denominados freones que aparecen en el mercado a partir del año 1928 y no presentan los inconvenientes de los primeros.

**El amoníaco** hoy en día se sigue empleando en instalaciones de gran tamaño, debido a que es el refrigerante conocido que tiene el efecto frigorífico más alto. Es uno de los más baratos y fáciles de conseguir y tiene gran estabilidad química. Es inmiscible con el aceite, por lo tanto debe usarse un separador de aceite en la tubería de descarga del compresor hacia el condensador. Como inconveniente: es tóxico, algo inflamable y puede llegar a ser explosivo en grandes concentraciones, pero puede ser detectado fácilmente por el olor, por lo que estos inconvenientes tienen poca importancia en industrias con alto nivel de control. Las fugas de amoníaco se detectan con velas de azufre, formándose un humo denso en presencia de vapor de NH<sub>3</sub> o también se puede aplicar una solución de jabón en el punto donde se cree que puede haber una fuga formándose burbujas en caso positivo.

**Freones:** Es un grupo de refrigerantes derivados de hidrocarburos de bajo peso molecular fundamentalmente derivados del metano y el etano en los que alguno o todos sus átomos de H se han sustituido por halógenos normalmente flúor, cloro y bromo. En función de su composición estos refrigerantes pueden clasificarse en tres grupos: CFC (clorofluorocarbonos), HCFC (hidroclorofluorocarbonados) y HFC (hidrofluorocarbonados).

**CFC:** son hidrocarburos totalmente halogenados, es decir, todos sus hidrógenos están sustituidos por cloro y flúor. Se caracterizan por ser gases muy estables que persisten en la atmósfera muchos años y por tanto pueden llegar a la estratosfera donde destruyen la capa de ozono. Por este motivo dejaron de fabricarse y usarse a partir de 1995 según lo acordado en el Protocolo de Montreal. El protocolo de Montreal, sobre productos que destruyen la capa de ozono, es un acuerdo internacional adoptado en una conferencia diplomática que tuvo lugar en Montreal (Canadá) el 16 de

septiembre de 1987 por el que los gobiernos firmantes se comprometieron a reducir progresivamente y finalmente suprimir la fabricación y uso de estas sustancias, para lo que se estableció un calendario para su eliminación. Dicho calendario fue revisado en varias ocasiones, la última en 1997. Uno de los refrigerantes con mejores propiedades termodinámicas y por ello el más utilizado hasta dicha fecha pertenece a este grupo es el R-12 o diclorodifluorometano y el R-11 o triclorofluorometano.

**HCFC:** son hidrocarburos halogenados que contienen un átomo de hidrogeno en su molécula lo cual le permite oxidarse con mayor rapidez en la parte baja de la atmósfera siendo su poder de destrucción de la capa de ozono menor. Son sustitutos a medio plazo de los CFC. Según el Protocolo de Montreal su uso y producción tendrá que estar reducido al 100% en enero del 2030. Ejemplo: R-22 clorodifluorometano ODP = 0.005.

**HFC:** derivados halogenados que no contienen cloro en su molécula oxidándose con gran rapidez en capas bajas de la atmósfera, siendo su ODP=0. Ejemplo R-152 o difluorometano.

Consideraciones sobre los refrigerantes según el reglamento de seguridad para plantas e instalaciones frigoríficas.

**Denominación simbólica de los refrigerantes:** según este reglamento los refrigerantes además de por su fórmula química pueden identificarse por su código adoptado internacionalmente siguiendo las siguientes reglas: el código va precedido de una R, a continuación aparecen unas cifras relacionadas con la fórmula química del refrigerante que indican lo siguiente: la primera cifra de la derecha en los compuestos que carezcan de Br indica el número de átomos de F en sus moléculas.

La segunda cifra de la derecha es el número de átomos de H+1.

A la izquierda de la anterior se indica con otra cifra el número de átomos de C-1. R-(C-1)-(H+1)-(F).

Si la molécula contiene átomos de Br se procede según lo visto añadiendo luego a la derecha una B seguida del número de dichos átomos.

Los derivados cíclicos se expresan según la regla general, encabezándolos por una C a la izquierda del número del refrigerante.

Los compuestos no saturados siguen las mismas reglas anteponiendo el número 1 como cuarta cifra contada desde la derecha.

Las mezclas determinadas de refrigerantes o aceótropos (disolución de 2 o más líquidos cuya composición no cambia por destilación) se expresan por las denominaciones de sus componentes intercalando entre paréntesis el porcentaje en peso correspondiente a cada uno. También pueden designarse por un número de la serie 500 completamente arbitrario. Los refrigerantes de los compuestos inorgánicos se identifican añadiendo a la cifra 700 el peso molecular de los compuestos.

**Criterios de seguridad:** el reglamento de seguridad de plantas e instalaciones frigoríficas divide los fluidos en tres categorías y recomienda el uso de aquellos que sean menos tóxicos y menos inflamables. Estas categorías son:

- **Refrigerantes de alta seguridad:** Se incluyen todos los refrigerantes halogenados más utilizados actualmente.
- **Refrigerantes de media seguridad:** es el amoniaco y otros residuos en desuso como el SO<sub>2</sub> y el CH<sub>3</sub>CL.
- **Refrigerantes de baja seguridad:** son los hidrocarburos gaseosos como el propano, butano y etileno no utilizados habitualmente.

## 1.10. El Amoníaco

En condiciones de temperatura y presión ambiente el amoníaco anhidro es un gas incoloro, sofocante, de olor irritante y altamente irritante; su olor es familiar al público en general debido a que se emplea en productos de limpieza en forma de soluciones acuosas. Es más liviano que el aire y posee características de inflamabilidad. Es fácilmente comprimido hasta condensar como líquido transparente a condiciones de 10 atmósferas y 25°C. El amoníaco anhidro en cualquiera de sus presentaciones es higroscópico.

El amoníaco se disuelve fácilmente en agua donde genera el Ión Amonio ( $\text{NH}_4^+$ ) y forma soluciones alcalinas. El Ión Amonio no es gaseoso y no se capta por olor en el ambiente. La forma iónica y neutra del Amoniaco permanece en equilibrio en la solución y por tanto dichas soluciones, aún a bajas concentraciones, generan vapores de olor irritante.

Industrialmente, el amoníaco está disponible como gas licuado en cilindros de acero, carro tanques presurizados, barcazas (en todos lleva la etiqueta "Gas Comprimido No Inflamable") y líneas de tuberías. Gracias a su solubilidad en agua, esta sustancia es ampliamente vendida y usada en forma de solución acuosa, que por lo general es del 25% al 30% (peso a volumen). A esta concentración el Amoniaco forma solución saturada en agua.

En la naturaleza el amoníaco se encuentra en forma de soluciones de diferentes concentraciones en ríos, lagos, pozos y suelos húmedos. Es un nutriente prioritario para algunas plantas y por tanto vital en las cadenas alimenticias donde ellas se encuentran.

**Tabla I.** Peligrosidad de soluciones acuosas y amoníaco anhidro.

<b>Amoniaco Anhidro</b>		
Componente	Contenido	Peligroso
Amoniaco	99.5 %	Sí
<b>Soluciones Acuosas</b>		
Componente	Contenido	Peligroso
Amoniaco	25 – 30 %	Sí
Agua	70 – 75 %	No

**Tabla II.** Propiedades del amoníaco NH<sub>3</sub>.

<b>PROPIEDAD</b>	<b>VALOR</b>
Estado físico	Gas; Puro Líquido; Solución
Peso molecular (g/mol)	17.03
Punto de ebullición (°C)(760mmHg)	-33.35
Punto de fusión (°C)	-77.7
Presión de vapor (mmHg)	6080 (20°C Anhidrido) 447 (20°C aq al 28%)
Gravedad específica (Agua = 1)	0.6818 (Líquido a -33.35 °C)
Densidad del Vapor (Aire = 1)	0.59
Velocidad de Evaporación (Acetato de Butilo = 1)	No disponible
Constante de la Ley de Henry (atm*m <sup>3</sup> /mol)	1.6x10 <sup>-5</sup> ; 25°C
Solubilidad en Agua (g/ml)	0 °C 895 g/litro 20 °C 529 g/litro 40 °C 316 g/litro 60 °C 168 g/litro
Limites de Inflamabilidad (% Vol)	16% - 25%
Temperatura de auto ignición (°C)	650
Punto de inflamación (°C)	No disponible
pH	11.6 ; solución acuosa 1N

### 1.10.1. Producción, aplicaciones y usos

El método principal de producción de Amoníaco Anhidro es el proceso de Haber-Bosh modificado, que constituye la forma de producción del 90% del Amoníaco mundial. En este proceso, el Nitrógeno (obtenido de la atmósfera) y el hidrogeno (a partir del gas natural) se mezclan en una proporción de 1:3 y pasan sobre un catalizador a alta presión. El Amoníaco así producido se colecta por diferentes métodos y los reactivos que no reaccionaron se recirculan al reactor. Pequeñas cantidades de Amoníaco se producen industrialmente como subproducto de la coquización del carbón. La mayor proporción de producción industrial de Amoniaco ocurre en áreas donde el gas natural es barato y abundante, ya que el Amoníaco se sintetiza usando este medio.

El proceso completo de producción de Amoníaco puede subdividirse en las siguientes operaciones:

- **Preparación del gas de síntesis** El objetivo de esta etapa consiste en la preparación de una mezcla de Nitrógeno e Hidrógeno tan pura como sea posible a una razón estequiométrica de 1:3. Las materias primas consisten en agua, aire y un medio reductor que contenga Carbono, y que por su parte contenga Hidrógeno. Existen dos procedimientos fundamentales para la producción del gas de síntesis: reformado de vapor y oxidación parcial. Los principales productos de estos procedimientos constituyen Hidrógeno y Monóxido de Carbono. El oxígeno necesario puede ser proveído ya sea como vapor, como oxígeno gaseoso o como aire. Si se usa un catalizador y se emplea el vapor como agente de transferencia de oxígeno, el proceso se llama reformado de vapor. Por otro lado, si el reactante es oxígeno o aire y no se usan catalizadores, el proceso se llama oxidación parcial.

- **Producción de gas**
- **Conversión de monóxido de carbono**
- **Purificación del gas**
- **Compresión.** Termodinámicamente, la generación de Amoníaco necesita de altas presiones o muy bajas temperaturas. Con mayor facilidad se puede obtener alta presión que la temperatura necesaria para una conversión aceptable, así que todas las plantas de producción incluyen este paso. Los sistemas de presión industrialmente usados se encuentran en el intervalo de 8 a 45 MPa (80-450 bar), aunque la mayoría opera a presiones de entre 15 y 25 MPa (150-250 bar).
- **Síntesis.** Los catalizadores empleados permiten el trabajo de alrededor de 350 °C. A las condiciones comerciales de operación la conversión alcanzada por paso del gas de síntesis es solo del 25-35% y por ello, en las plantas de producción se recurre a reciclos para elevar la conversión global del proceso. El gas que sale del reactor se fracciona por condensación para retirar el Amoníaco producido y el resto se devuelve al proceso.

Previo al proceso Haber-Bosch, el Amoníaco se producía por la hidrólisis de cianuros. Otro método a pequeña escala para la producción de Amoníaco consiste en la regeneración a partir de sales de Amonio por medio del calentamiento en presencia de una base.

El Amoníaco se produce tanto por el hombre como por procesos naturales. La cantidad de Amoníaco producido por el hombre cada año es casi igual al producido por la naturaleza en el mismo periodo. En el medio ambiente el Amoníaco se produce por bacterias en el suelo, plantas y animales en descomposición y por desechos animales.

## **Aplicaciones y usos**

La mayoría del Amoníaco producido se usa con fines agrícolas, ya sea por aplicación directa o como intermediario en la producción de fertilizantes. El amoníaco y los compuestos de amonio usados en fertilizantes representan cerca del 89% del amoníaco producido comercialmente. El uso directo del Amoníaco puede caer en las siguientes categorías: Amoníaco Anhidro 30%, soluciones de urea/nitrato de Amonio 24%, urea 17,5%, nitrato de Amonio 5%, sulfato de Amonio 2% y otras formas 21,5%. Muchos compuestos de Amonio y Ácido Nítrico se usan directamente en la producción de fertilizantes.

Las proporciones pequeñas de Amoniaco producido no incorporado en fertilizantes se usan como inhibidor de corrosión, en la purificación de fuentes de agua, como componente de limpiadores domésticos y en la industria de refrigerantes. Se usa en las industrias de pulpa de papel, de la metalurgia, del caucho, de comidas y bebidas, de los textiles, de productos farmacéuticos y en las industrias del cuero.

### **1.10.2. Efectos sobre la salud**

Frases de riesgo

Amoníaco anhidro

Inflamable

Tóxico por inhalación

Provoca quemaduras

Muy tóxico para los organismos acuáticos

*Solución de amoníaco Concentración Mayor a 25%*

Provoca quemaduras

Muy tóxico para los organismos acuáticos

*Solución de Amoníaco Concentración entre 5% y 10%*

Irrita los ojos, la piel y las vías respiratorias

Siempre se debe tener en cuenta que todas las personas se encuentran expuestas a pequeñas cantidades de Amoniaco en la vida diaria, pero este nivel no afecta en mayor grado ni la salud humana ni la estabilidad del medio ambiente. Posee un olor tan irritante que las personas pueden detectarlo antes que pueda causar daños graves.

El Amoníaco es una sustancia altamente irritante para las mucosas. En forma líquida causa quemaduras en la piel y los ojos al contacto. Es también una sustancia venenosa y puede ser fatal por inhalación en grandes cantidades. Todos los síntomas pueden tener efecto retardado. No se ha clasificado esta sustancia como generadora de cáncer pero en presencia de otros químicos puede promover la generación de algunos tipos de cáncer (2,4, 5, 6, 7, 8).

Por lo general, respirar amoníaco en concentraciones altas pero no letales puede causar laringitis, dificultad para respirar, sensación de ahogo y dolor en el pecho. También a partir de la inhalación puede generarse edema pulmonar y neumonía.

Por respiración de amoníaco en áreas de concentraciones altas, el amoníaco puede generar segregación de flemas espumosas de color rosado, convulsiones y coma.

El contacto con los ojos produce irritación, dolor, conjuntivitis (ojos rojos e inflamados), lagrimación y erosión corneal. También es posible la pérdida de la visión en situaciones extremas de concentración o en salpicaduras de soluciones acuosas concentradas o gas licuado.

Los contenedores de amoníaco anhidro pueden explotar con generación de llama por acción de fuego o calor.

La exposición por inhalación a altos niveles de amoníaco se puede presentar a causa de fugas o derrames en plantas de producción y procesamiento, instalaciones de almacenamiento, tuberías de transporte, camiones tanque y barcos de transporte. Exposición moderada se puede presentar en el momento de aplicación de fertilizantes en campos de cultivo. Exposiciones bajas se presentan cuando se realizan labores de limpieza con productos que contienen soluciones de Amoniaco.

El amoníaco posee un olor muy fuerte y se puede detectar en concentraciones de hasta 50 ppm en el aire, a partir de las cuales se siente fuerte irritación del tracto respiratorio superior; aunque el nivel de tolerancia de los individuos expuestos continuamente a esta sustancia puede aumentar y no presentarse estos efectos hasta concentraciones un poco más altas. Su alto olor a concentraciones no nocivas hace que su detección sea rápida y da una alarma previa a concentraciones atmosféricas que puedan llegar a ser nocivas.

El amoníaco anhidro es más liviano que el aire y por eso tiende a subir en la atmósfera pero los vapores del Amoníaco líquido son inicialmente más pesados y se pueden extender a todo lo ancho del suelo, de tal forma que se

pueden producir casos de asfixia y efectos de inhalación en lugares cerrados o pobremente ventilados.

Los niños expuestos a iguales niveles de amoníaco pueden resultar más afectados que los adultos a causa de su alta relación de superficie pulmonar y corporal y de su alto metabolismo representado por respiración mas frecuente.

Inicialmente el amoníaco que se respira del aire se disuelve totalmente en las mucosas, pero de la totalidad del amoníaco que ingresa, cerca del 80% es devuelto de nuevo a la atmósfera por esta misma ruta. El Amoníaco inhalado puede ingresar directamente a las vías circulatorias. El Amoníaco adsorbido se excreta a través de los riñones en la orina como urea y por el sudor en forma de compuestos de Amonio.

La extensión del daño causado por respiración del amoníaco depende de la duración de la exposición, la concentración del gas y la profundidad de la inhalación.

La exposición a 250 ppm es soportable para muchas personas hasta por una hora. Las exposiciones a aerosoles concentrados de amonio o sales de amonio (>500 ppm) resultan en quemaduras nasofaríngeas y de la traquea, obstrucción de las vías de aire, acumulación de fluido en los pulmones, afección respiratoria y edema bronquial y alveolar. Exposiciones a concentraciones de 2500 a 4500 ppm son fatales en un período de 30 minutos; concentraciones de entre 5000 y 10000 ppm son letales de forma inmediata. Las muertes inmediatas por exposiciones elevadas se deben a obstrucción de las vías de aire mientras que la mortalidad retardada a estas concentraciones obedece a infecciones y complicaciones secundarias.

La exposición con la piel y ojos a niveles nocivos de Amoníaco se puede generar por las mismas razones que para la inhalación.

Además, se puede dar por contacto con fuentes de agua contaminada o manipulación poco segura de esta sustancia.

Otra forma de contacto consiste en la manipulación inadecuada de productos de limpieza amoniacales tanto industriales como domésticos, los que pueden contener hasta 25% de amoníaco. La exposición dérmica al amoníaco en cualquiera de sus formas es muy frecuente en el área laboral y por lo común genera quemaduras e irritaciones de muy diversos grados.

Una pequeña cantidad de amoníaco o de solución de amonio concentrada en contacto con la piel causa de forma inmediata quemaduras y llagas abiertas si no se lava rápidamente. Las quemaduras pueden llegar a ser tan graves como para requerir injertos de piel a causa de la pérdida de capas cutáneas. Las heridas mal tratadas generadas por el contacto con Amoníaco pueden dar lugar a infecciones serias en el mediano plazo. En los ojos, por contacto con Amoníaco (concentraciones en el aire arriba de 100 ppm dependiendo el individuo) o soluciones de él, además de quemaduras puede producirse lacrimación, hinchazón de los párpados, abrasión de la córnea, visión borrosa y en casos graves, ceguera permanente.

Por contacto con la piel de soluciones de amoníaco en agua, pequeñas cantidades de éste pueden ingresar al torrente sanguíneo pero se eliminan de forma similar que en la inhalación a través de la orina y el sudor.

El daño por contacto causado por esta sustancia se debe de manera más marcada a su reactividad y sus propiedades de irritabilidad. La

severidad del daño por contacto a este producto depende de la duración y amoníaco concentración en el momento de la exposición. Por lo general, soluciones de amoníaco de concentración menor al 5% raramente causan quemaduras serias aunque pueden llegar a ser irritantes.

El amoníaco gaseoso se disuelve en el agua presente en la piel y los ojos convirtiéndose en Hidróxido de Amonio, el que es fácilmente dissociado y causa necrosis de los tejidos. A causa de su alta solubilidad en agua, se puede difundir en capas de la piel más profundas y producir daño más crítico. Específicamente el Hidróxido de Amonio causa saponificación de los lípidos presentes en la membrana celular generando trastornos celulares y en circunstancias extremas, la muerte. En forma adicional, rompe las proteínas estructurales de la célula, extrae el agua presente en la célula e inicia una respuesta inflamatoria, que posteriormente compromete los tejidos cercanos.

Para el caso del contacto con amoníaco líquido (gas licuado), se generan quemaduras por frío además de las quemaduras de tipo alcalino antes descritas.

La ingestión es una de las vías menos comunes de entrada de amoníaco al organismo. La ingestión de amoníaco y sus soluciones y sales en bajas cantidades (arriba de 35 ppm, que es el límite de percepción en el sentido del gusto) puede ocurrir por consumo de alimentos contaminados. Otra forma de acceso oral del amoníaco consiste en la ingesta accidental o deliberada de soluciones de limpiadores domésticos o industriales de concentraciones de 5 a 10%.

La ingestión de soluciones de amoníaco (Hidróxido de Amonio) conduce a daños y quemaduras por corrosión en la boca, garganta y

estómago. La ingestión de amoníaco por lo general no conduce a envenenamiento del individuo pero puede causar la muerte dependiendo de la concentración y cantidad ingerida. En seguida de una ingestión de amoníaco se puede sentir náusea, vómito y dolor abdominal. Si se sobrevive a los daños iniciales, puede existir la posibilidad de infección, cicatrices y otras complicaciones posteriores en periodos de días e incluso semanas.

Cuando se consume amoníaco en la comida o en el agua, éste entra al flujo sanguíneo y se difunde por el cuerpo en corto tiempo. El amoníaco que ingresa de esta forma cambia rápidamente a otras sustancias que no poseen efectos adversos para el organismo. Aquel amoníaco que no se transforma en esos compuestos, se elimina por la orina en cuestión de días.

La exposición crónica a bajas concentraciones de esta sustancia en el aire (<25 ppm) no ha mostrado tener influencia en las funciones pulmonares. Exposición prolongada (o crónicas) a concentraciones moderadas (25 - 100 ppm) influencia la generación de asma y bronquitis. Se pueden desarrollar en algunos irritaciones crónicas del tracto respiratorio y tos crónica. En los ojos se puede presentar irritación crónica de las membranas y en la piel puede causar dermatitis.

Niveles tóxicos en el organismo no se desarrollan en exposiciones respiratorias crónicas porque el cuerpo posee mecanismos de descontaminación y eliminación que le permiten excretarlo.

Los Efectos cardiovasculares por exposición aguda a nieblas de Amoniaco de altas concentraciones (> 500 ppm) puede producir pulso elevado, aumento de la presión sanguínea, bradicardia y en algunos casos de exposición masiva se ha reportado falla cardiaca.

Los efectos gastrointestinales son quemaduras y ulceraciones generadas por contacto en la boca, traquea y estomago son las afecciones mas comunes. También se ha reportado vómito en exposiciones agudas.

Los efectos hematológicos se ha observado cianosis, numero elevado de glóbulos blancos y trombosis arterial en seres humanos expuestos a aerosoles de amoníaco de altas concentraciones.

Los efectos musculares en ocasiones y para algunos individuos afectados se genera espasmo muscular a exposición de concentraciones elevadas de amoníaco gaseoso.

Para casos de exposición letal a Amoníaco gaseoso (3000-4000 ppm) por un período de alrededor de una hora se puede presentar necrosis hemorrágica del hígado

Se han reportado casos de nefritis hemorrágica y congestión renal luego de exposiciones agudas accidentales de aerosoles de Amoníaco. En algunos casos se ha reportado la muerte por falla renal a causa de ingestión de soluciones amoniacaes con fines domésticos.

En exposiciones crónicas de amoníaco a niveles de concentración bajos se produce aumento en el contenido de hormonas como adrenalina excretadas en la orina. No obstante la significancia de estos efectos no esta clara.

La exposición crónica a aerosoles de compuestos amoniacaes genera asma en muchos casos. La exposición crónica o aguda puede producir en

algunos individuos la disminución de la resistencia bacterial y de la respuesta inmune a la infección por bacterias comunes del ambiente.

A causa del contacto con Amoniaco en concentraciones elevadas se puede presentar pérdida de la conciencia, debilidad muscular y visión borrosa.

### **1.10.3. Niveles permisibles de exposición ocupacional**

TLV (TWA; 8 horas; ACGIH): 25 ppm; 17 mg/m<sup>3</sup> (2001) (2, 5, 6,13)

PEL (TWA; 8 horas; OSHA para la industria general): 50 ppm; 35 mg/m<sup>3</sup> (2002) (2, 5, 6, 13)

PEL (TWA; 8 horas; OSHA para la industria de la construcción): 50 ppm; 35 mg/m<sup>3</sup> (2002) (5)

IDLH (NIOSH): 300 ppm; 200 mg/m<sup>3</sup> (2002) (5, 6)

STEL (TWA; 15 minutos; ACGIH): 35 ppm; 24 mg/m<sup>3</sup> (2001) (5)

TLV: Threshold Limit Value (Valor Límite Umbral).

PEL: Permissible Exposure Limit (Límite Permissible de Exposición).

IDLH: Immediately Dangerous to Life and Health (Peligroso Inmediatamente para la vida y la Salud).

STEL: Short Time Exposure Limit (Límite de Exposición en Períodos Cortos)

## **1.11. Clasificación de evaporadores**

El evaporador es un intercambiador de calor, que se utiliza en los sistemas de refrigeración por compresión de vapor y de absorción, para extraer calor del medio a refrigerar. La extracción de calor la realiza un fluido que pasa del estado líquido a gaseoso. Este fluido lo llamaremos frigorífico o refrigerante. El calor latente de vaporización es el que, fundamentalmente, se extrae del medio a enfriar. El fluido vehicular del frío será en general aire o agua, aunque puede ser cualquier otro fluido o incluso disoluciones acuosas u orgánicas de determinados productos.

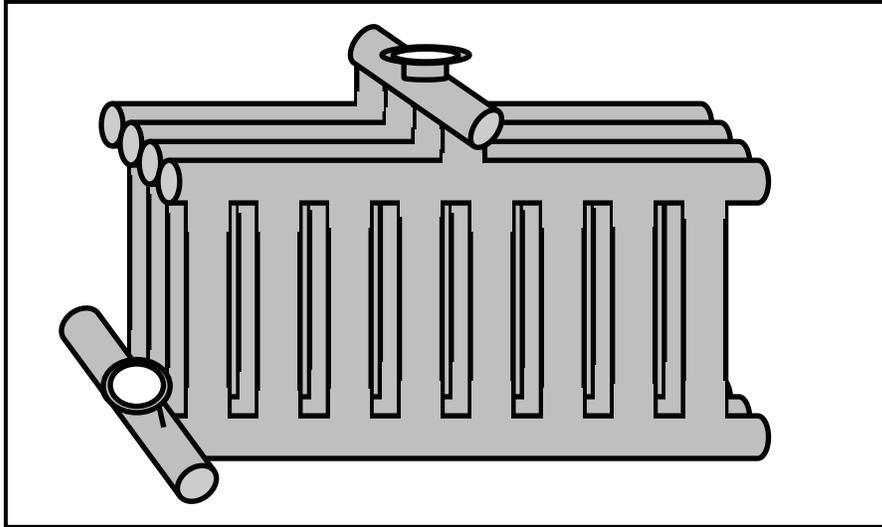
### **1.11.1. Para enfriar líquidos**

Cuando se trata de enfriar un líquido, el  $\Delta T$  es, en general, de unos 5 °C. Los Evaporadores para enfriar líquidos se clasifican en *evaporadores de inmersión* y *evaporadores de circulación interna*. En el primer caso, el sistema que sostiene el refrigerante esta sumergido en el líquido que se desea enfriar. En el segundo caso, el líquido circula a través del sistema que conduce el refrigerante.

#### **1.11.1.1. De inmersión**

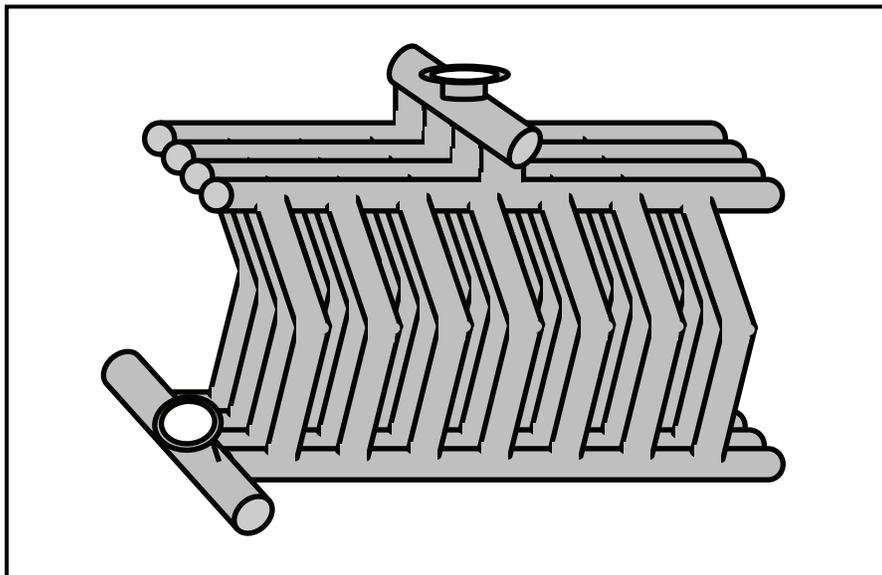
Se clasifican según el tipo de sistema que conduce el refrigerante, en evaporadores tipo *parrilla* o tipo *serpentín*. En el primer caso, el agente refrigerante se distribuye mediante un colector a un conjunto de tubos en una disposición parecida a una parrilla, donde se recogen los vapores del agente refrigerante mediante otro colector. La altura del evaporador es esencial debido a la necesidad de quedar contenido totalmente dentro del líquido a enfriar.

**Figura 3. Evaporador tipo parrilla**



Para disponer de más superficie de intercambio con la misma altura, los tubos se doblan como la espina de un pescado, de ahí el nombre de estos evaporadores: <<herringbones>>. Todo el conjunto está sumergido en el líquido que se desea enfriar. Este tipo de evaporadores está reservado a usos puntuales en la industria alimenticia. Los coeficientes globales son altos, sin embargo, sólo se aplican a potencias frigoríficas medias y bajas.

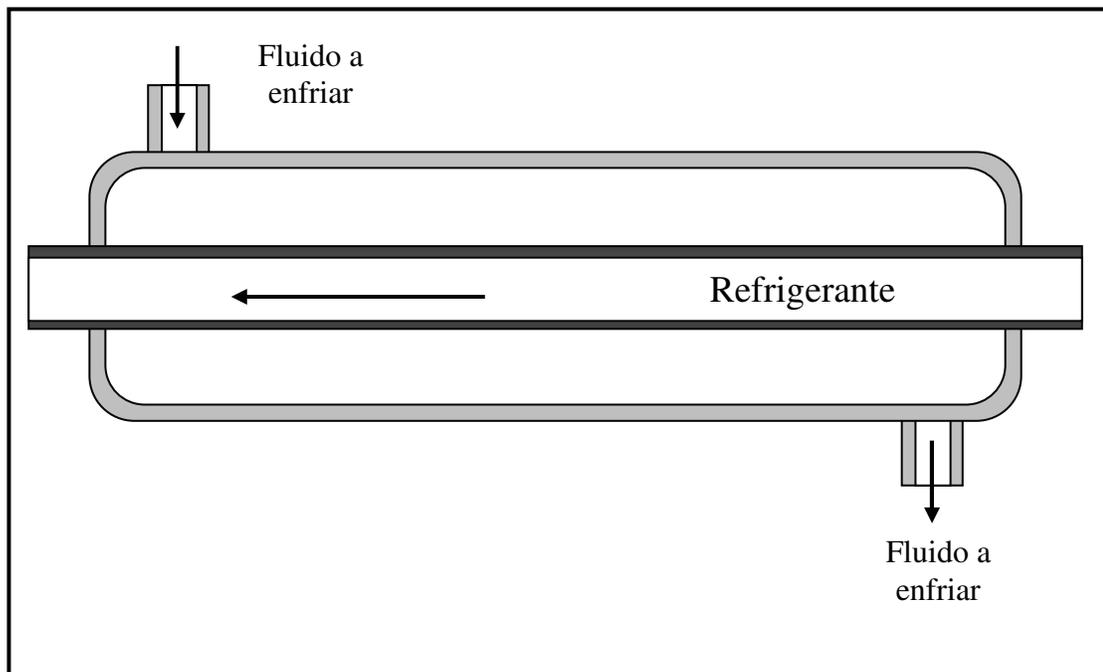
**Figura 4. Evaporador tipo <<Herringbone>>**



### 1.11.1.2. De circulación interna

A su vez se clasifican en evaporadores de *doble tubo*, *multitubulares horizontales* y *multitubulares verticales*. Los de doble tubo están constituidos, como su nombre lo indica, por un doble tubo concéntrico, de forma que uno de los fluidos pasa por el tubo central y el otro por el espacio anular.

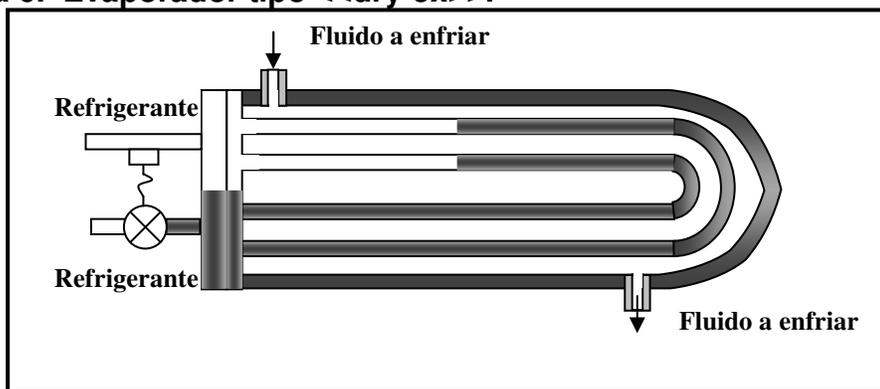
**Figura 5. Evaporador de doble tubo.**



Los evaporadores multitubulares están constituidos por un haz de tubos inmerso en una carcasa o envuelta que lo contiene. Uno de los fluidos circula por el interior de los tubos y el otro por la carcasa. Si el agente refrigerante moja toda la superficie de intercambio se dice que es del tipo *inundado*, si queda parte seca se dice que es de *expansión seca* o *dry-ex*.

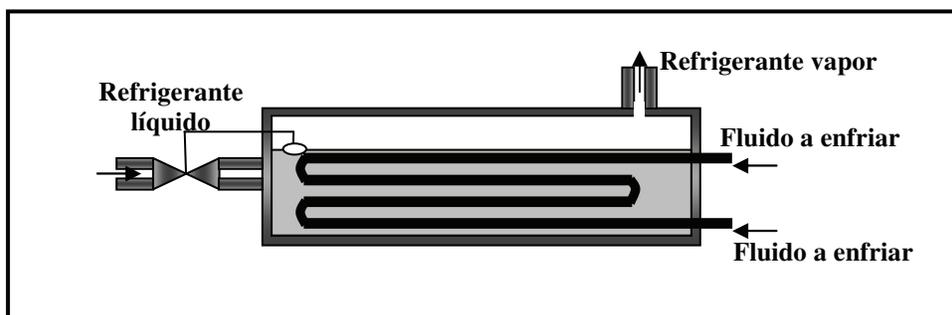
Los multitubulares con el fluido frigorífico por el interior de los tubos acostumbran a ser del tipo dry-ex. Obsérvese que el refrigerante entra en los tubos en estado líquido y que se vaporiza totalmente antes de salir del evaporador, de forma que el estado final es de vapor recalentado. El control de la entrada del refrigerante suele hacerse mediante una válvula de expansión termostática que detecta el grado de recalentamiento del vapor a la salida.

**Figura 6. Evaporador tipo <<dry-ex>>.**



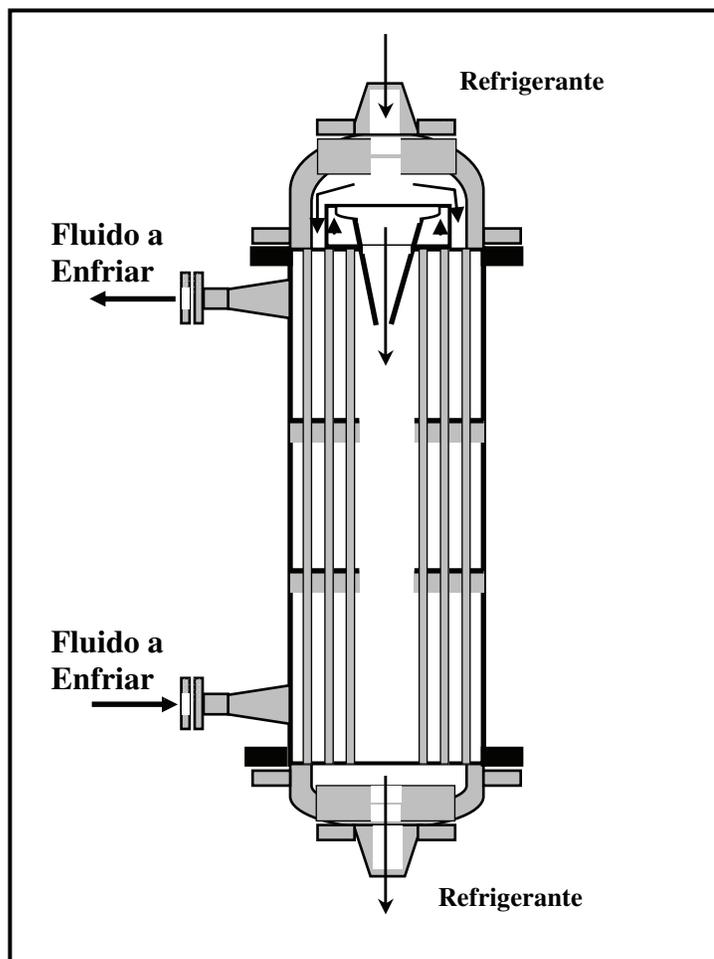
Si el refrigerante va por la carcasa, es del tipo inundado. Por la izquierda entra el refrigerante en estado líquido y por arriba sale en estado de vapor saturado. El fluido a refrigerar circula por los tubos del interior de la carcasa, aunque en la figura se ha dibujado un serpentín, en la práctica es un haz de tubos.

**Figura 7. Evaporador tipo inundado.**



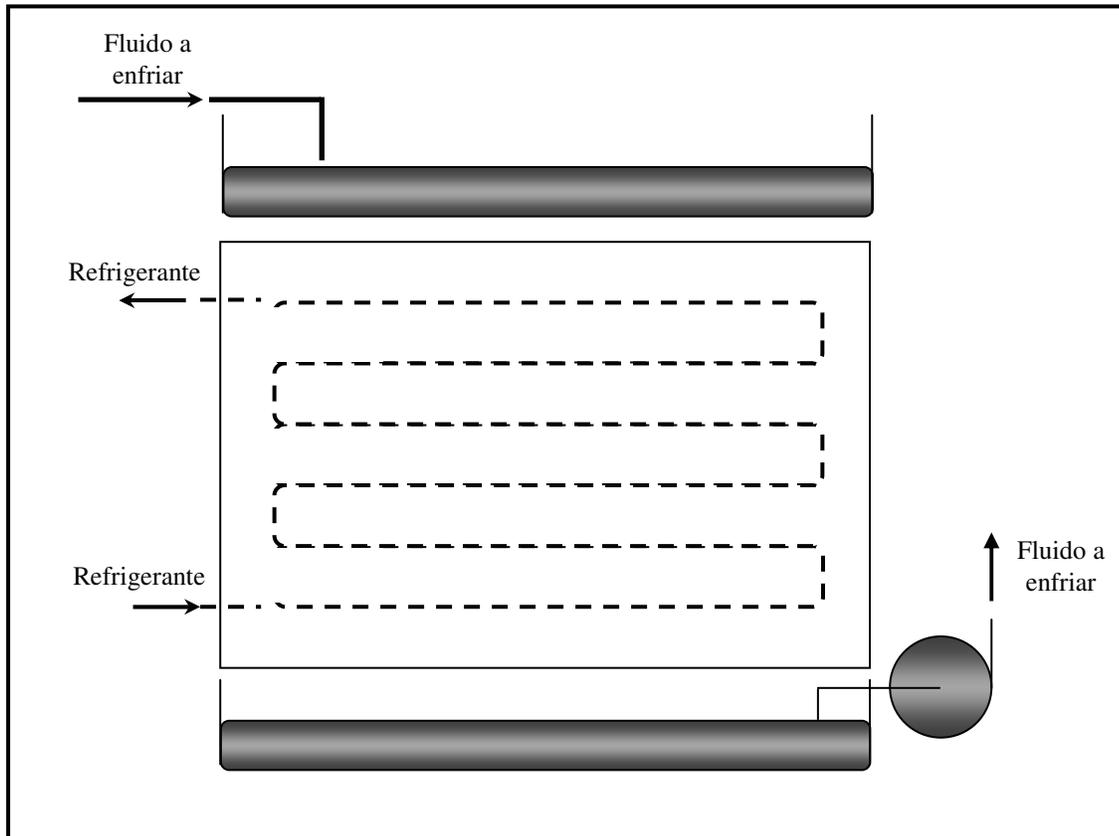
El multitubular de tubos verticales, como su nombre indica está en posición vertical. El refrigerante entra por la parte superior y puede seguir un recorrido sencillo distribuyéndose por los tubos y salir por la parte inferior o bien seguir un recorrido más complejo con tramos de circulación ascendente y otros de circulación descendente.

**Figura 8. Evaporador multitubular vertical.**



El de tipo lluvia esta constituido por un haz de tubos por el que circula el fluido frigorífico sumergido en una lluvia del líquido que deseamos enfriar, que llega por la parte superior y cae bien sea por la acción de la gravedad o impulsada por una red de toberas pulverizadoras.

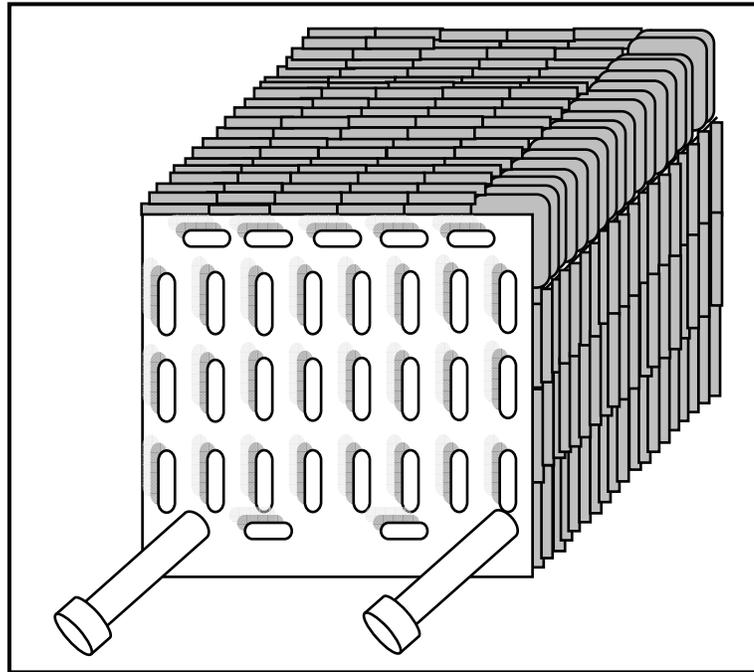
**Figura 9. Evaporador multitubular tipo lluvia.**



### 1.11.2. Para enfriar gases

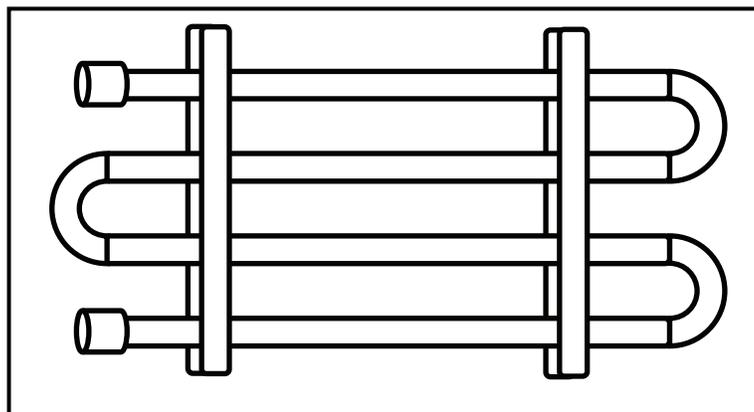
Cuando se trata de enfriar un gas el  $\Delta T$  está comprendido entre 4 y 14 °C. El fluido a enfriar es generalmente aire y la forma mas habitual es el tipo llamado <<Coil>>, constituido por una batería de tubos con aletas que agarran todo el haz de tubos, de forma que a la vez los sujetan. El aire es impulsado por un ventilador y fluye perpendicularmente al haz de tubos circulando por los canales que forman las aletas.

**Figura 10. Evaporador tipo <<Coil>>**



En casos más sencillos el evaporador puede estar constituido por un serpentín o incluso por dos planchas yuxtapuestas de forma que al encajar una en la otra queden unos espacios de forma diversa, por los que circula el refrigerante. En todos los casos se trata de un evaporador del tipo dry-ex.

**Figura 11. Evaporador tipo serpentín.**









## **2. DIAGNÓSTICO O SITUACIÓN ACTUAL DEL PROCESO**

### **2.1. Descripción del proceso de producción del jarabe simple**

Los jarabes deben de prepararse cuidadosamente en equipo limpio para prevenir contaminaciones. Se pueden utilizar tres métodos para la preparación de jarabes:

- Disolución con calor.
- Agitación sin calor.
- Percolado.

Aunque el método de la disolución con calor es el más rápido, no es aplicable a jarabes cuyos ingredientes son volátiles. Cuando se utiliza calor, la temperatura debe ser controlada cuidadosamente para evitar la descomposición y el oscurecimiento del mismo (caramelización).

En nuestro caso se utiliza la disolución del azúcar con calor para la producción del jarabe simple.

#### **2.1.1. Mezcla de ingredientes**

Toda la mezcla para la obtención del jarabe simple se lleva a cabo en un contenedor de acero inoxidable recubierto en su parte externa de un enchaquetado, por el cual se agrega vapor. Esto con el fin de elevar la temperatura dentro de la marmita para que la mezcla llegue al punto de ebullición.

La mezcla es homogenizada por la acción de un agitador. Dentro del tanque o marmita se prepara el jarabe simple, el cual es una solución del 60% de azúcar en peso y 40% de agua. Además se le agrega carbón activado como agente adsorbedor de color, olor y sabor.

### **2.1.2. Cocimiento**

El cocimiento consiste en llevar la mezcla de agua y azúcar a una temperatura de 85 °C. Puede utilizarse vapor, resistencias eléctricas, etc., para dicho calentamiento. Una vez la mezcla alcanza los 85 °C se mantiene en estas condiciones por un periodo de 15 a 30 minutos.

Esta pasteurización a alta temperatura se hace con el fin de extinguir bacterias y hongos que pueda contener la azúcar cruda utilizada.

### **2.1.3. Enfriamiento**

Es necesario reducir la temperatura del jarabe simple dentro de un rango de 20 y 25 °C, para que los aceites esenciales utilizados en las formulaciones no se alteren o volaticen.

Luego de ser enfriado el jarabe simple es bombeado hacia un contenedor de almacenamiento, en el cual se mezcla con los aceites esenciales los cuales determinan el sabor característico de cada uno de las presentaciones del producto final.

#### **2.1.4. Filtrado**

Luego de concluir el cocimiento se procede a bombear el jarabe con la ayuda de filtros de placas verticales u horizontales, filtros prensa, etc., según sea la necesidad requerida. La filtración debe ser efectiva para retener todo el carbón activado agregado en el cocimiento. Para eso la manera más convencional es utilizar filtros de placas recubiertos con ayuda filtro. El ayuda filtro son tierras diatomeas que varían según las necesidades de filtración. Al final del filtrado se suele colocar un filtro pulidor, ya sea de cartuchos o prensa, de un micraje de hasta 10 micras para retener los finos de carbón que el ayuda filtro no fue capaz de retener.

#### **2.1.5. Clarificación**

La clarificación del jarabe simple se realiza con la finalidad de eliminar todas las impurezas que le aumentan el color al jarabe de azúcar. La clarificación se realiza a través del carbón activado que es el encargado de atrapar las partículas disueltas o en suspensión en la mezcla, por el fenómeno de adsorción, las cuales son las responsables de los colores altos en el jarabe simple. Los colores son medidos como ICUMSA que es la norma internacional de métodos para la determinación del color en el azúcar.

### **2.2. El sistema de refrigeración**

La refrigeración puede definirse como el proceso de remover calor bajo condiciones controladas. Un refrigerador produce hielo y conserva los alimentos en buen estado porque un líquido llamado refrigerante entra en ebullición (hierve) y extrae el calor del interior del refrigerador.

### 2.2.1. Descripción de operación del sistema

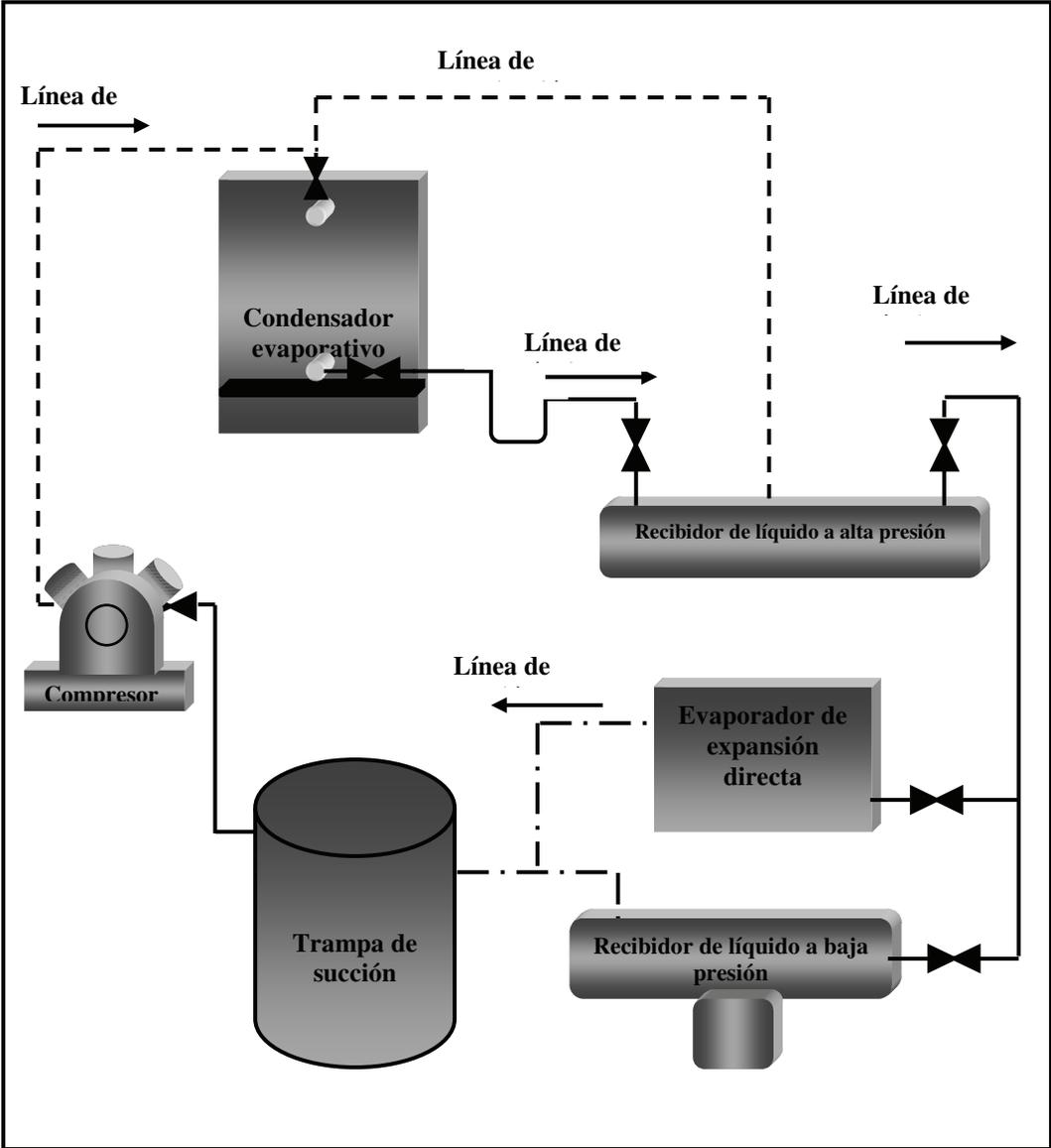
El transporte de energía térmica desde un foco a baja temperatura a otro a alta temperatura; para ello es necesario la aportación de energía.

Interviene un fluido, refrigerante; que sufre una serie de transformaciones termodinámicas a lo largo de un ciclo cerrado.

Este ciclo cerrado comprende las siguientes etapas:

- **Compresión:** Proceso de incrementar la presión, sobre un volumen dado de gas, usando energía mecánica. Al hacer esto, se reduce el volumen y se incrementa la presión del gas.
- **Condensación:** Proceso de cambiar de estado un vapor o un gas a líquido, al enfriarse por debajo de su temperatura de saturación o punto de rocío.
- **Expansión:** Proceso de reducir la presión y temperatura del refrigerante líquido desde la condensación hasta la evaporación.
- **Evaporación:** Proceso de cambiar de estado de líquido a vapor. En este proceso se absorbe calor.

Figura 12. Sistema de refrigeración industrial



### 2.2.2. Compresores de amoníaco

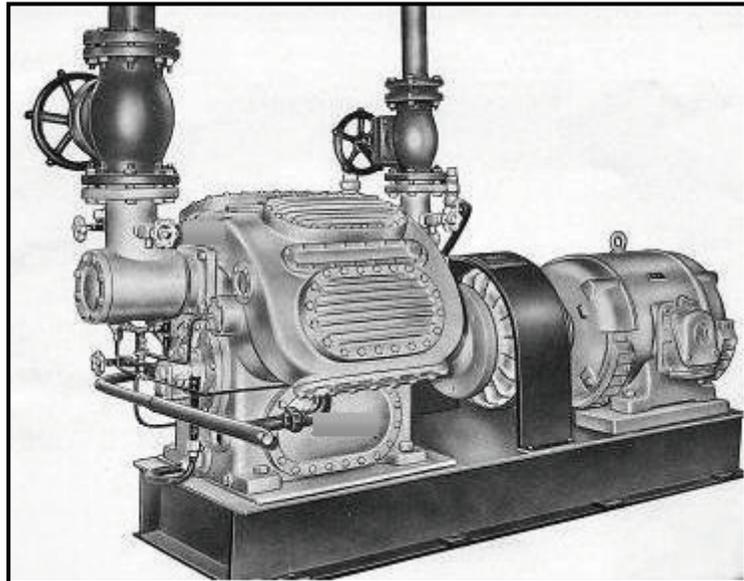
Es una máquina que tiene la misión de aumentar la presión de los gases, es decir, comprimirlos al disminuir el volumen que dicho gas ocupa. La función del compresor es aspirar el refrigerante en estado de vapor y aumentar su presión al disminuir el volumen que dicho gas ocupa.

Se suministra una frigoría a un cuerpo cuando se extrae una Kcal. La frigoría/h es la unidad de enfriamiento equivalente a la Kcal/h.

**Compresores alternativos o de pistón:** son los más utilizados y se caracterizan por la intermitencia a la que sale el gas comprimido. Constan de un cilindro con dos válvulas, una para la admisión y otra para el escape. Por el interior del cilindro se desliza un pistón unido a un mecanismo de biela-manivela que transforma el movimiento circular de un eje procedente de un motor en movimiento rectilíneo. En el movimiento descendente del pistón la válvula de admisión se abre por efecto de la depresión creada y el cilindro se llena de refrigerante gaseoso. Al subir el pistón se cierra la válvula de admisión y el gas se comprime. Tras la compresión la válvula de escape se abre y el gas sale a una presión superior de la que tenía.

El aumento de presión del refrigerante produce una subida inevitable de la temperatura del mismo, por lo que para poder evacuar el calor se colocan alrededor del pistón unas aletas de refrigeración similares a la que llevan los motores de las motos. Cuando se trabaja en varias etapas el gas comprimido se refrigera a la salida de cada una de ellas, a través de un sistema de intercambio de calor.

**Figura 13. Compresor alternativo**



### **2.2.3. Condensadores evaporativos**

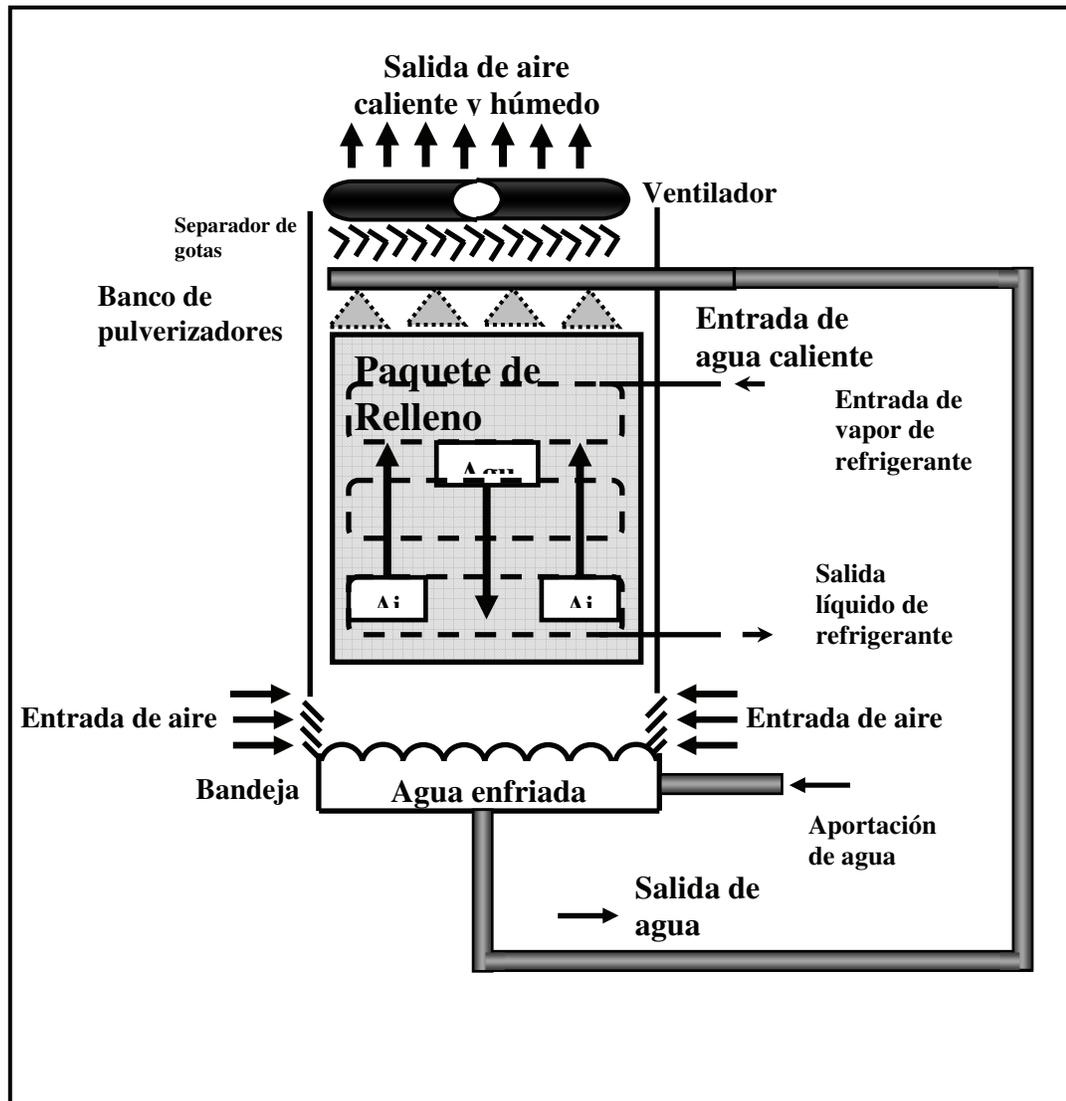
Es un intercambiador de calor cuya función es extraer del refrigerante en estado gaseoso el calor con el fin de producir su condensación. Este calor es la suma del calor absorbido en el evaporador y el producido por el trabajo de compresión. Constan de un serpentín o conjunto de tubos normalmente de acero al carbón por cuyo interior circula el refrigerante. Normalmente en estos condensadores el aire se hace circular de manera forzada a través de ventiladores que se pueden montar de manera que, o bien impulsan el aire sobre el conjunto de tubos aleteados o bien extraen el aire a través del condensador.

El inconveniente que presenta este tipo de condensadores es el alto consumo de agua, que en grandes instalaciones frigoríficas encarece mucho el proceso. En estos casos el agua se recupera para hacerla recircular y reutilizarla en su función condensadora enfriándola en equipos auxiliares denominados torres de enfriamiento o torres de refrigeración. En ellas el agua caliente que sale del condensador es atomizada o rociada desde la parte superior cayendo por gravedad hacia la parte inferior. Mediante la circulación de aire por el interior de la torre se consigue reducir la temperatura del agua al ceder este su calor al aire y también por evaporación de una parte de ella que pasa a la corriente de aire que se crea, tomando el calor necesario del resto del agua. El agua así enfriada es bombeada de nuevo al condensador donde absorbe el calor de condensación procedente del refrigerante. Las pérdidas de agua por evaporación se compensan con una aportación de agua nueva. Según el tipo de circulación del aire las torres se clasifican en:

- **Atmosféricas:** Aquellas en las que el aire se mueve por convección natural.
- **De tiro mecánico:** En las que el aire se mueve por convección forzada impulsada por un ventilador.

Las torres de enfriamiento suelen tener un relleno para aumentar la superficie de contacto entre el agua rociada y el aire. También disponen de unos separadores de gotas para evitar el arrastre excesivo de gotas de agua por parte del aire.

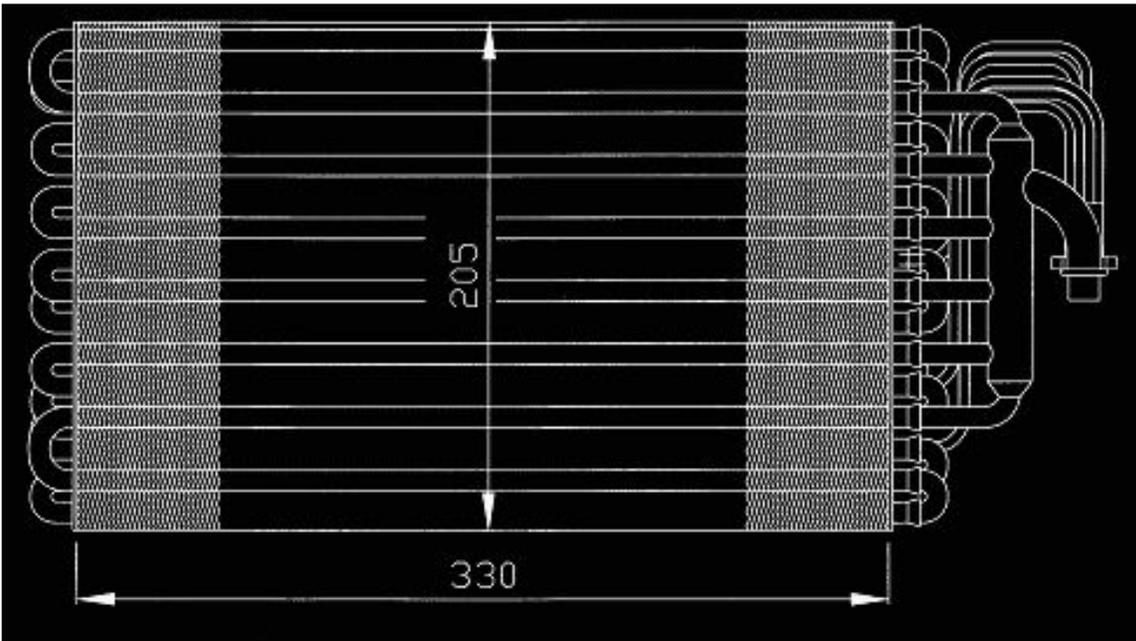
Figura 14. Condensador evaporativo



#### 2.2.4. Evaporadores

El evaporador es otro de los elementos importantes de toda instalación frigorífica, por ser donde se produce el efecto frigorífico que se desea obtener. Definiendo los evaporadores de un modo general, son recipientes cerrados de paredes metálicas donde se efectúa la ebullición del refrigerante líquido que procede del equipo compresor, con la consiguiente absorción de las calorías contenidas en el refrigerador, cámara o depósito.

**Figura 15. Evaporador de tubo aletado**

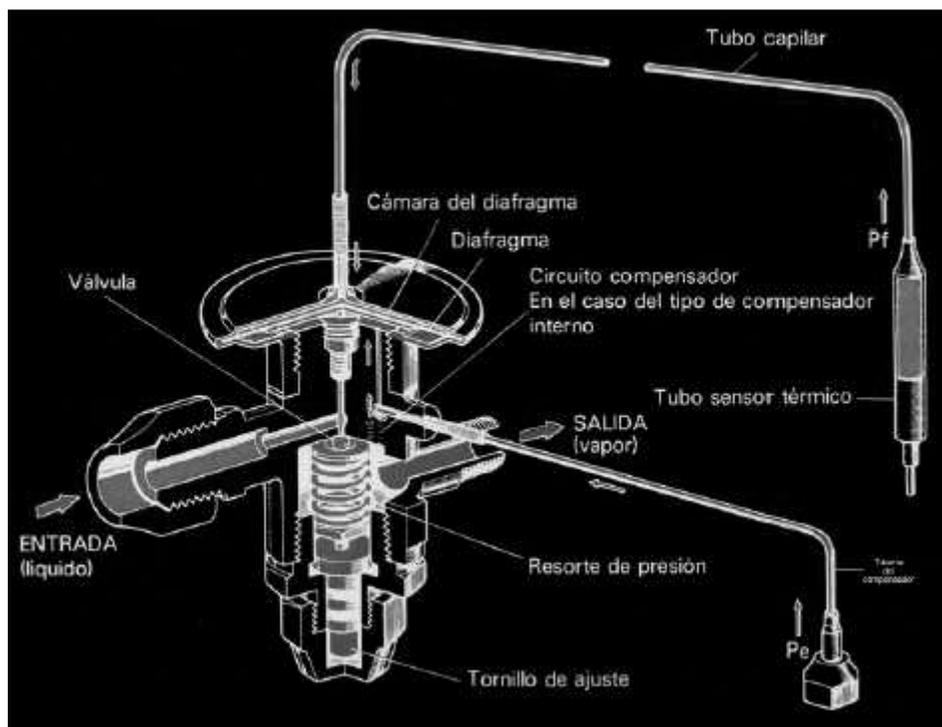


#### 2.2.5. Válvula de expansión

La válvula de expansión es el término con que generalmente en la industria se designa a cualquier dispositivo que dosifique o regule el flujo del

refrigerante líquido hacia un evaporador. Tiene dos propósitos: 1) reducir la presión del refrigerante líquido y 2) regular el flujo de refrigerante hacia el evaporador. Por esta razón divide los lados de alta y de baja presión en el sistema de refrigeración.

**Figura 16. Válvula de expansión**



### 2.2.6. Depósito refrigerante

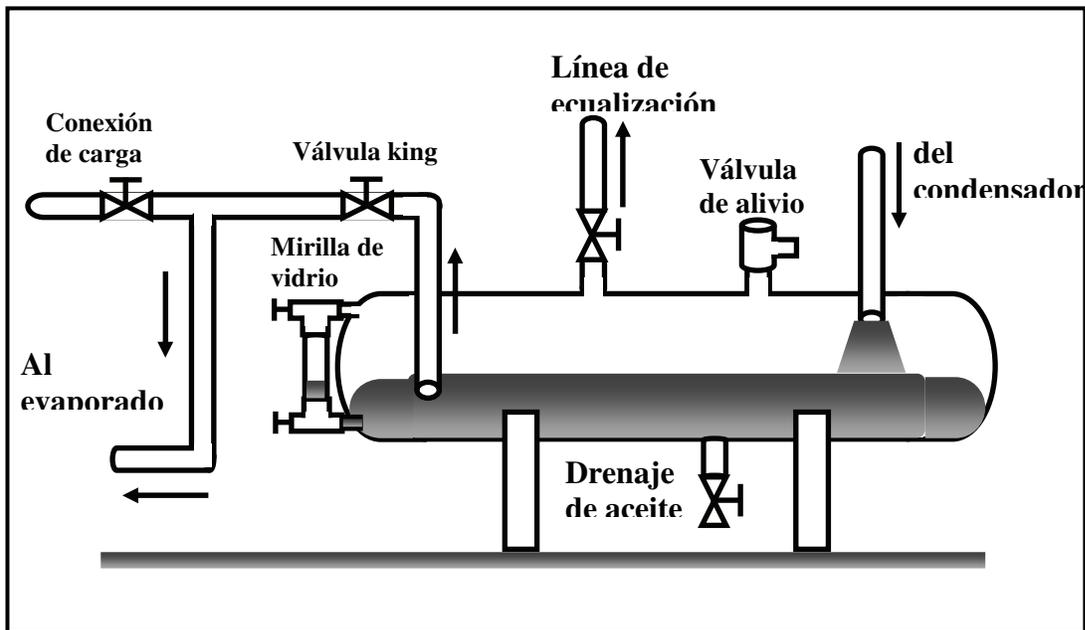
Es el receptor de líquido que desempeña las siguientes funciones:

- Almacena el refrigerante no usado que regresa del condensador.
- Almacena el refrigerante que va a ser evaporado por la válvula de expansión.

- Almacena el exceso de refrigerante en el sistema.
- Proporciona un lugar de almacenamiento.

El receptor debe tener una línea de retorno del condensador, una válvula de alivio y una línea igualadora a la parte superior del condensador. Esta línea de ventilación iguala la presión en el condensador y en el receptor, de modo que el refrigerante condensado fluya del condensador al receptor. La línea de líquido se extiende dentro del receptor unas cuantas pulgadas arriba del fondo, de manera que no recoja mugre ni el aceite que se asienta. Una mirilla de vidrio muestra el nivel de líquido en todo momento. Un drenaje de aceite en el fondo del receptor sirve para sacar el aceite que es arrastrado por el refrigerante.

**Figura 17. Depósito refrigerante**



### 2.2.7. Tubería de amoníaco

Aparentemente cualquier tipo de tubería que sea capaz de conducir el refrigerante a través del sistema con flujo apropiado, puede resultar adecuado, pero esto dista mucho de ser del todo cierto. Además de conducir el refrigerante, la tubería debe servir para otras funciones. Si no es así, el sistema no funcionará satisfactoriamente, y el equipo puede dañarse. Entre las funciones que debe llevar a cabo el sistema de tuberías, se encuentran las siguientes:

- Proveer el flujo adecuado de refrigerante.
- Evitar una excesiva caída de presión.
- Evitar la entrada al compresor de refrigerante líquido, así como de pequeñas porciones de aceite.
- Proveer el retorno al cárter del aceite lubricante.

El tamaño de la tubería debe ser adecuado a la función, a fin de evitar la restricción del flujo de refrigerante. Tampoco debe tener una longitud innecesaria, ni cambios en la dirección u otras restricciones que puedan afectar adversamente el flujo.

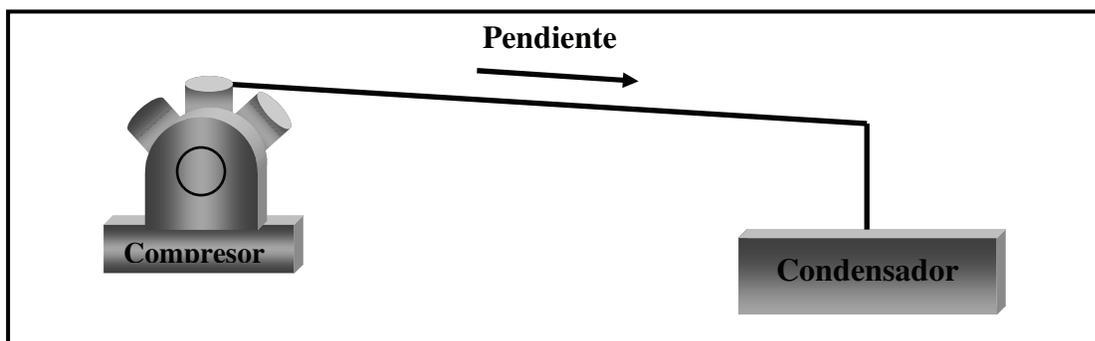
*La línea de gas caliente o de descarga* conduce el vapor refrigerante junto con pequeñas gotas de aceite, y se debe diseñar e instalar de tal manera que:

- La caída de presión no sea excesiva.
- El compresor esté protegido contra la entrada del líquido procedente de la línea de descarga.
- El aceite sea conducido al condensador.

*El condensador situado por debajo del compresor.* La tubería es directa, sin curvas innecesarias. Se le debe dar una inclinación a la línea horizontal, en la dirección del flujo, de  $\frac{1}{2}$  pulgada por cada 10 pies de longitud; para impedir que el aceite drene nuevamente al compresor, cuando éste no se halle en operación.

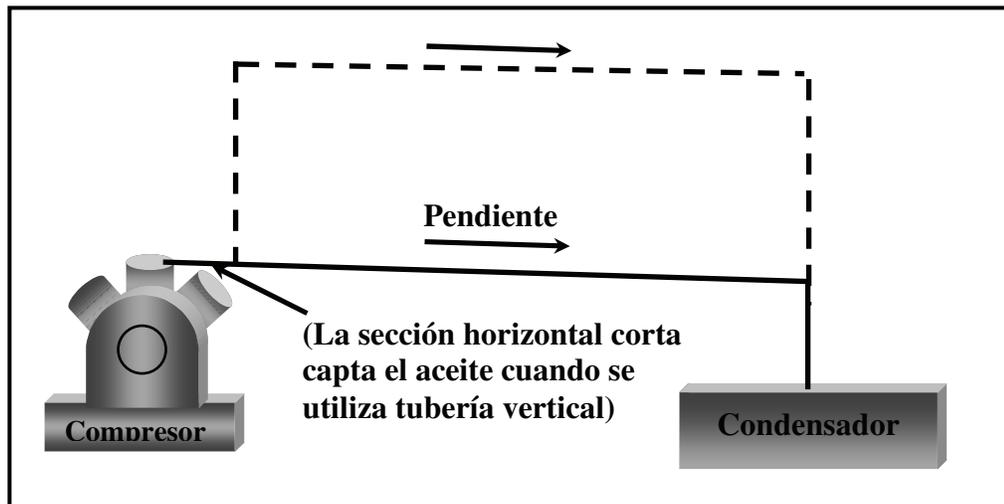
Esta inclinación recomendada, se aplica a todas las líneas horizontales del gas caliente y de la succión, a fin de asegurar una circulación adecuada en la dirección del flujo.

**Figura 18. Arreglo de tubería con el condensador situado por debajo del compresor**



*El condensador y el compresor situado al mismo nivel.* La línea puede estar a nivel horizontal, con la inclinación apropiada, o puede hacer una circunvalación por la parte superior para evitar atravesar el piso. En este caso, se deja una corta sección horizontal de tubería a la salida del compresor, para atrapar la pequeña cantidad de aceite que podría drenar del corto tubo vertical, durante las paradas. La línea que hace el rodeo no debe tener una altura mayor de ocho pies.

**Figura 19. Arreglo de tubería con el condensador y el compresor situado al mismo nivel**



*El condensador situado por encima del compresor.* Las instalaciones en las que el condensador está situado por encima del compresor, presentan un problema más difícil, las soluciones dependen de varias condiciones.

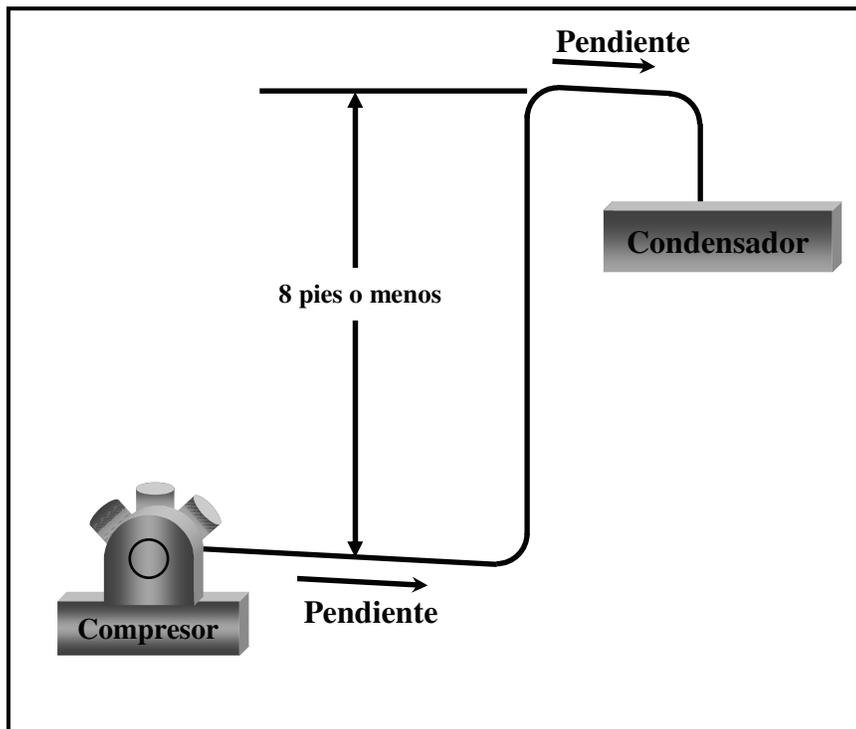
Puesto que un tubo vertical constituirá siempre una parte esencial de la tubería, el aceite drenará por esta sección durante el período de parada. Se deben tomar precauciones para evitar que este aceite fluya de nuevo al compresor. El tubo vertical debe tener un diámetro apropiado, de tal manera que la velocidad del gas sea lo suficientemente alta para que junto con él, se eleve el aceite.

En las líneas horizontales también deben existir velocidades adecuadas para que circule el aceite. Las velocidades mínimas requeridas son menores en el caso de las líneas horizontales, puesto que no es necesario elevar el aceite en contra de la gravedad. Todas las líneas horizontales deben tener una inclinación en la dirección del flujo.

Si el condensador está ubicado en un lugar donde su temperatura sea superior a la del compresor durante las paradas, la presión más elevada del refrigerante en el condensador, hace que el refrigerante circule hacia la línea del gas caliente, para luego condensarse en la cabeza del compresor. Esto puede perjudicar al compresor durante el arranque. El problema se resuelve mediante la instalación de una válvula de retención en la línea del gas caliente, a la entrada del condensador.

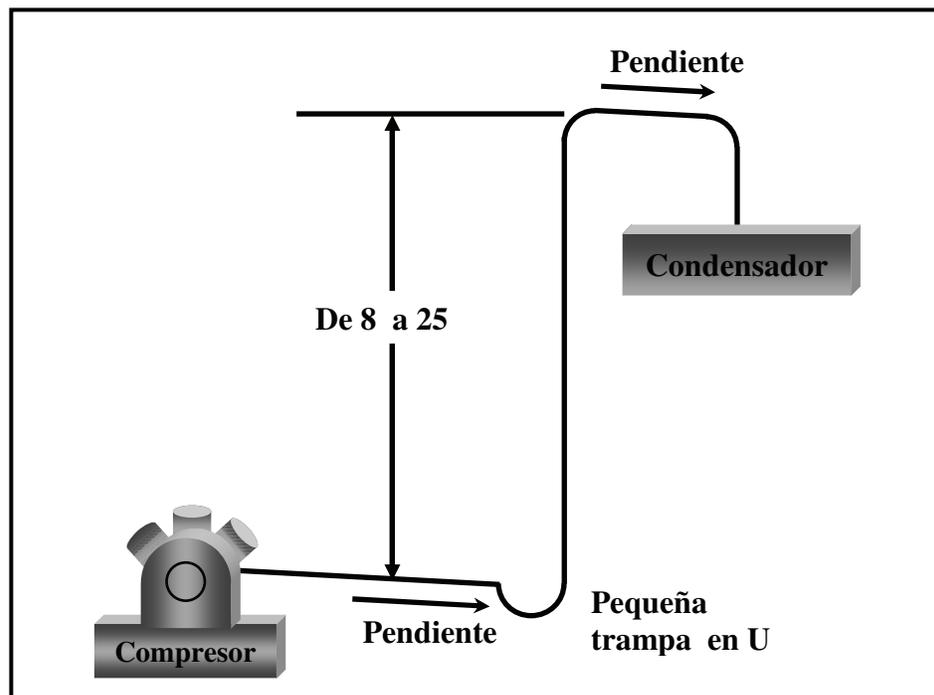
Cuando la altura del tubo vertical es de ocho pies o menos, es conveniente instalar una sección horizontal a la salida del compresor, para captar la pequeña cantidad de aceite que drena del tubo vertical durante las paradas.

**Figura 20. Arreglo de tubería con el condensador situado por encima del compresor y tubo vertical a ocho pies**



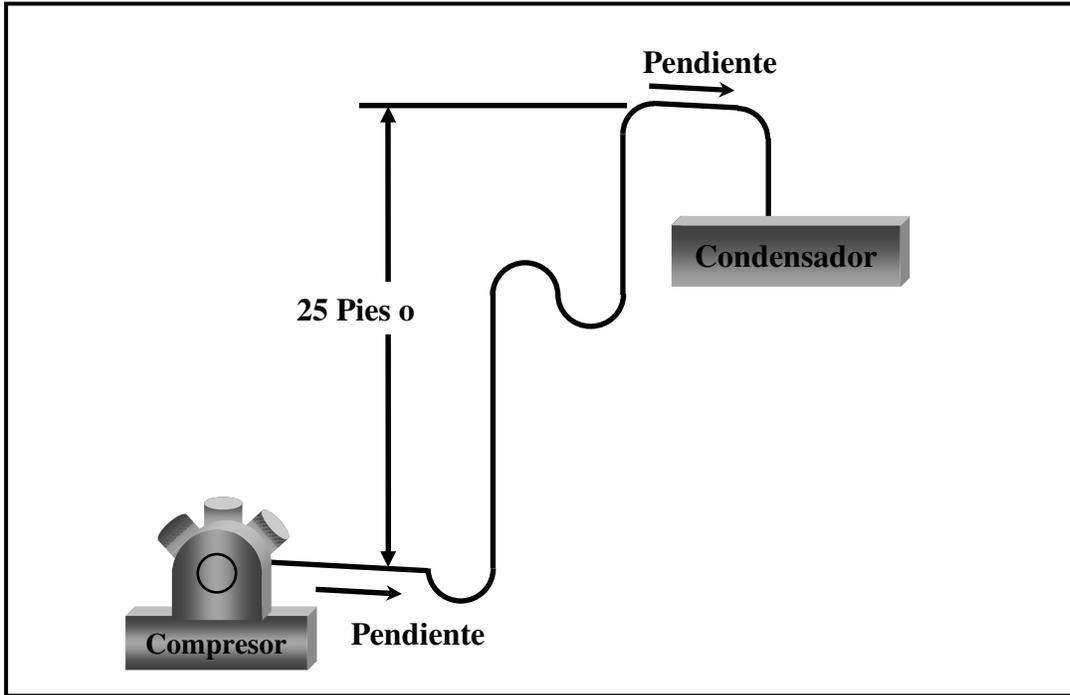
Si el tubo vertical del gas caliente tiene una longitud mayor de ocho pies, es preciso instalar una trampa en la parte inferior del mismo. La trampa recoge el aceite que drena del tubo vertical durante las paradas. La forma de la trampa ayuda asimismo a elevar el aceite acumulado, cuando arranca el sistema. El gas caliente tiende a descomponer el aceite en pequeñas gotas, para ser barrido cuando el gas caliente choca con él. La trampa debe ser pequeña, de manera que no acumule demasiado aceite, y prive del mismo al compresor.

**Figura 21. Arreglo de tubería con el condensador situado por encima del compresor y tubo vertical entre ocho y veinticinco pies**



Es necesario instalar una segunda trampa en el punto medio, si la longitud del tubo vertical es de entre 25 y 50 pies. Se debe instalar una trampa por cada 25 pies o fracción de longitud adicional.

**Figura 22. Arreglo de tubería con el condensador situado por encima del compresor y tubo vertical entre veinticinco y cincuenta pies**



*Compresores equipados con un control de capacidad de descarga.* Las recomendaciones anteriores para los tubos verticales se aplican asimismo cuando el compresor opera de manera intermitente. En esta situación, el flujo, y por consiguiente la velocidad del gas caliente, son aproximadamente constantes cuando el compresor está en operación. La línea del gas caliente tiene un diámetro apropiado para impartir al gas una velocidad suficiente para elevar el aceite. Cuando el compresor está equipado con accesorios de descarga, puede suceder que el flujo reducido de gas caliente y la velocidad, a carga parcial, no sean capaces de elevar el aceite en la sección vertical.

Esta condición se determina cuando se calculan los diámetros de las tuberías. Si en condiciones de carga baja, la velocidad del gas no es adecuada, la solución puede ser utilizar doble tubo vertical, o un separador de aceite.

*Doble tubo vertical.* El tubo vertical de menor diámetro (el más cercano al compresor) tiene una dimensión apropiada para manejar el flujo menor del gas a carga mínima. El tubo vertical mayor tiene el diámetro suficiente para manejar el resto del gas a plena carga, contando ambos con una suficiente velocidad de gas.

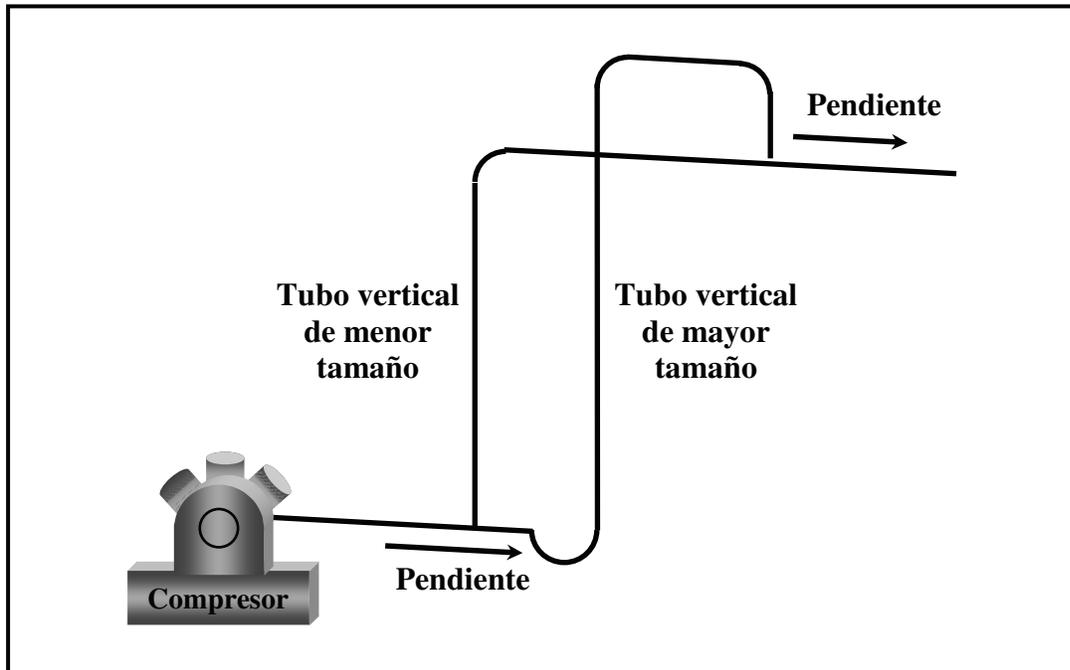
A plena carga, el gas fluye a través de ambos tubos verticales, a una velocidad suficiente para hacer circular el aceite. Cuando disminuye la capacidad del compresor, la velocidad reducida resultará insuficiente para elevar el aceite, y por consiguiente drena de nuevo a través de ambos tubos, y llena la trampa situada en la parte inferior del tubo vertical mayor. Queda así bloqueado dicho tubo, y todo el flujo de gas se desvía al tubo vertical menor, que tiene el diámetro necesario para proveer una velocidad adecuada del gas al flujo de capacidad mínima.

Cuando aumenta la capacidad, la velocidad más elevada producida por un mayor flujo de gas, obliga al aceite a salir de la trampa, y ambos tubos verticales operan de nuevo con suficiente velocidad.

Se observará que el tubo vertical mayor, está conectado a la sección horizontal de la tubería que lleva al condensador mediante una trampa invertida, en lugar de estar conectado directamente a la parte inferior de la línea horizontal. Esto impide que el aceite drene por el tubo mayor, cuando sólo esté activo el tubo menor. La continua acumulación del aceite en el tubo

vertical mayor a carga parcial, puede privar de aceite el cárter del compresor, ocasionalmente una lubricación inadecuada.

**Figura 23. Arreglo de tubería de descarga con doble tubo vertical**



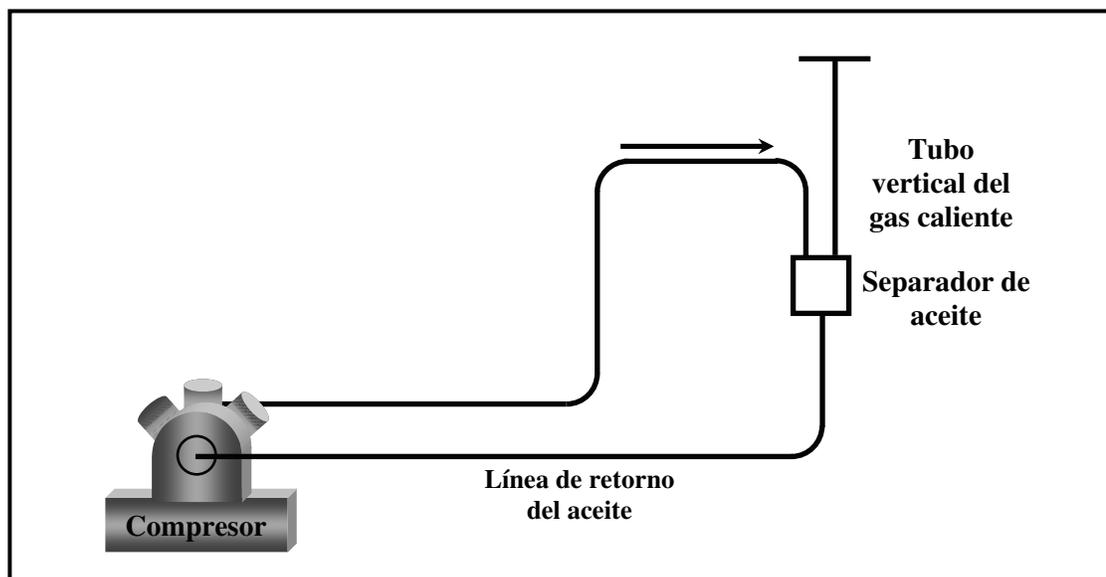
*Separador de aceite.* Si no es posible mantener una velocidad adecuada del gas en el tubo vertical único del gas caliente, otra solución para remediar esto consiste en instalar un separador de aceite en la línea de descarga. El separador de aceite atrapa y separa el aceite que procede, junto con el gas caliente, del compresor. El separador de aceite debe instalarse en la base del tubo vertical único, de manera que durante las paradas recoja la pequeña cantidad de aceite que no haya sido captada.

El aceite se retorna desde una conexión hecha entre el separador y la succión del compresor. Si el separador se haya expuesto a una temperatura más baja que la del condensador, el refrigerante puede trasladarse al separador durante las paradas, y diluir así el aceite lubricante. En esta

situación, puede ser necesario instalar una válvula selenoide en el condensador, para aislarlo del separador.

Por lo general, para controlar la circulación del aceite, en los sistemas que utilizan halocarburos, el sistema de doble tubería vertical para el gas caliente se utiliza con mayor frecuencia que el separador de aceite.

**Figura 24. Arreglo de tubería de descarga con separador de aceite**



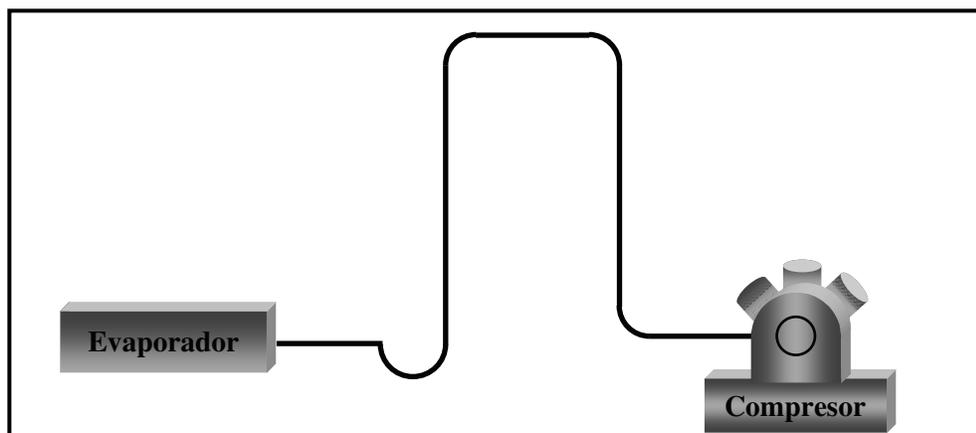
*En la Línea de Succión* el refrigerante líquido y el aceite se encuentran mezclados cuando entran en el evaporador, pero cuando el refrigerante hierve, se separan el vapor y el aceite, y este último debe ser llevado al compresor, ya sea por la velocidad del gas o por gravedad. El diseño de la línea de succión es similar al de las líneas de gas caliente. Esto es, la tubería debe asegurar el retorno del aceite al cárter del compresor, debe impedir la entrada del refrigerante líquido o de pequeñas porciones de aceite a la succión del compresor, y debe tener el diámetro apropiado para que la caída de presión no sea excesiva. El diseño de la línea de succión es más

decisivo que el de la línea de gas caliente, debido a que el retorno del aceite resulta más difícil. A bajas temperaturas de evaporación, disminuye la capacidad del compresor; por consiguiente, disminuye el flujo del vapor refrigerante. Además, la densidad del refrigerante disminuye a medida que disminuye la presión de succión. Esto reduce la capacidad del vapor para arrastrar las pequeñas gotas de aceite, y éste puede permanecer en el evaporador. Por otra parte, puede presentarse el problema de la penetración de líquido en la succión del compresor.

*Recomendaciones generales.* Las líneas horizontales deben tener una inclinación en la dirección del flujo para ayudar al retorno del aceite. Se debe proveer un tubo vertical y una trampa a la salida del evaporador, para recolectar el aceite drenado del tubo vertical. La trampa sirve, además, para recolectar el líquido más abajo del bulbo de la válvula de expansión.

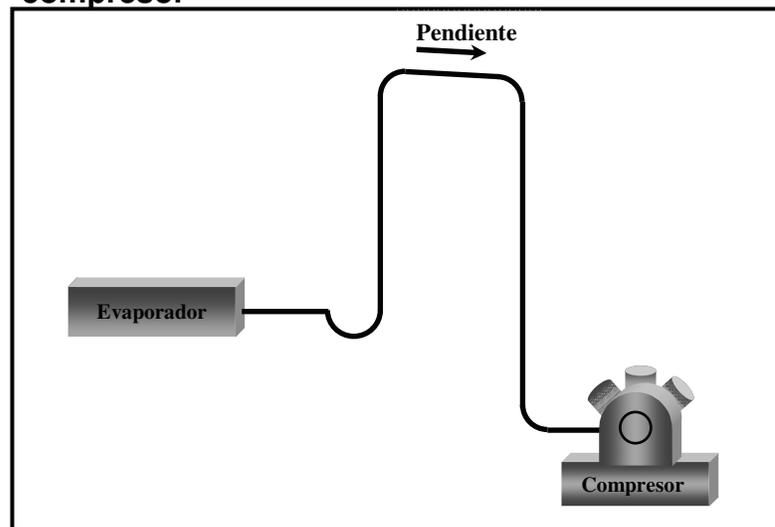
*El evaporador y el compresor situados al mismo nivel.* Se debe proveer un tubo vertical y una línea de circunvalación, para impedir que el líquido drene al compresor. La trampa a la salida del evaporador recoge cualquier líquido que pueda drenar durante las paradas.

**Figura 25. Arreglo de tubería con el evaporador y el compresor situados al mismo nivel**



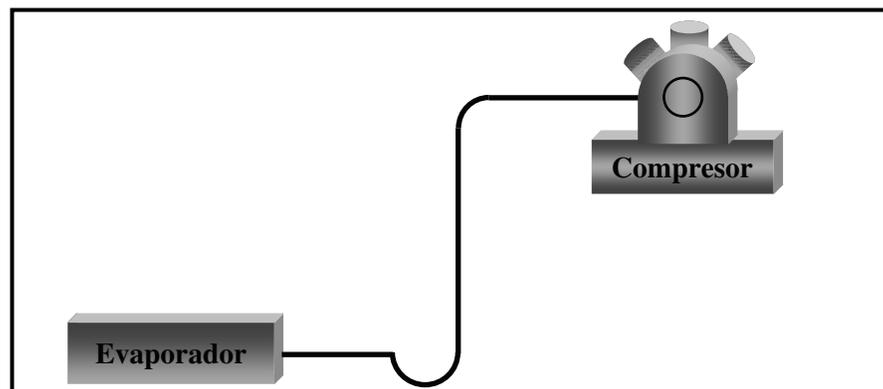
*El evaporador situado por encima del compresor.* Si el evaporador se encuentra encima del compresor, se provee un tubo vertical y una línea de circunvalación, además de una trampa en el evaporador.

**Figura 26. Arreglo de tubería con el evaporador situado por encima del compresor**



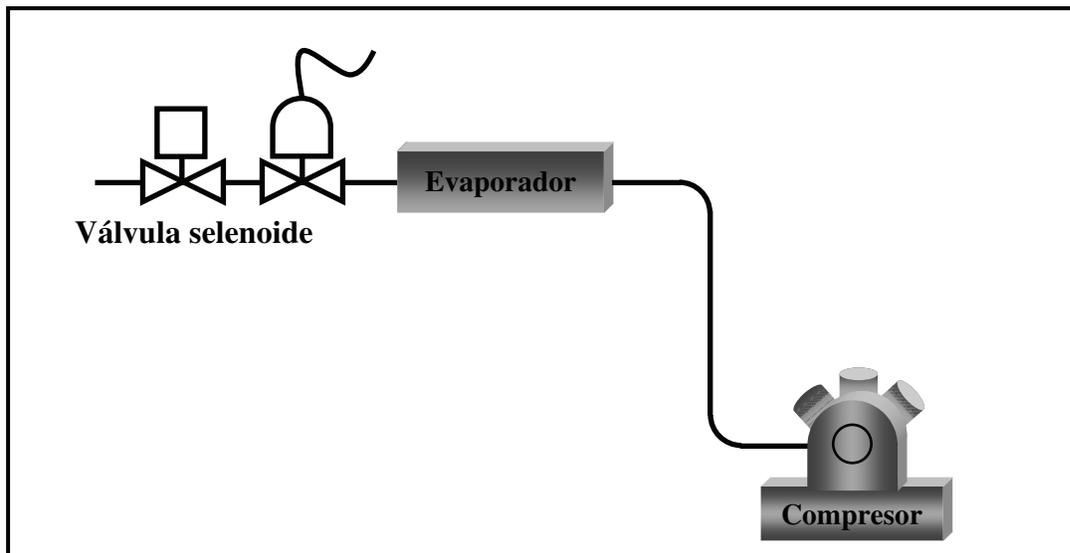
*El evaporador situado por debajo del compresor.* Se debe de proveer de una trampa adicional por cada 25 pies de tubo vertical, igual que en el caso del tubo vertical para el gas caliente.

**Figura 27. Arreglo de tubería con el evaporador situado por debajo del compresor**



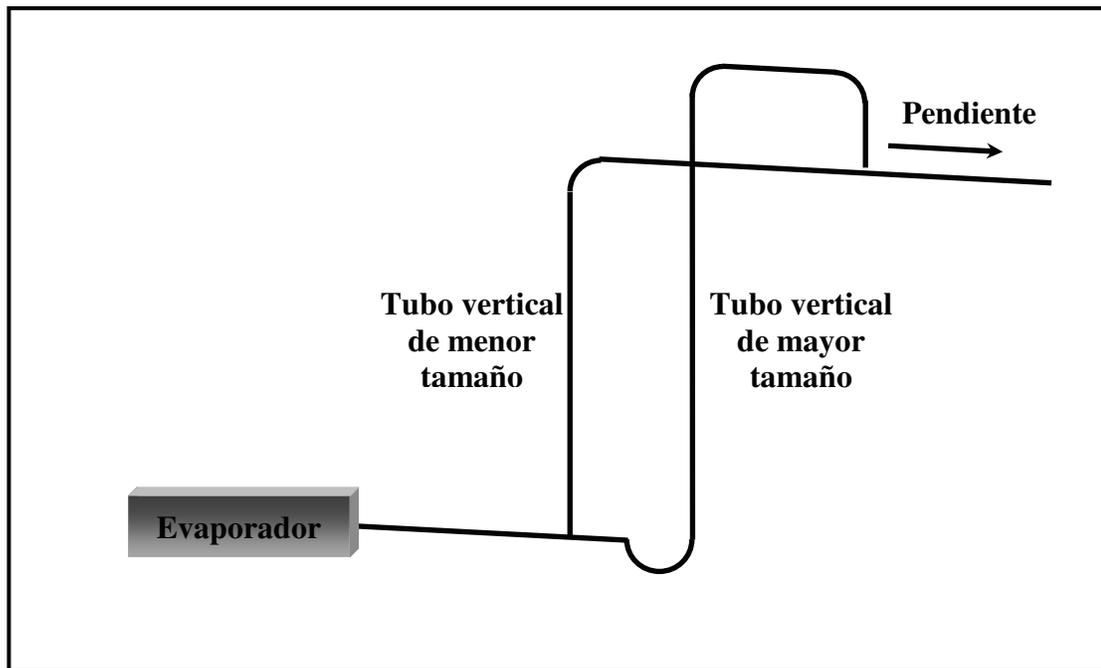
*Control de reducción de presión.* Si el sistema esta provisto de un control de reducción de presión, no es necesario utilizar la trampa y la línea de circunvalación para evitar que el líquido acumulado drene al compresor cuando el evaporador está situado por encima del compresor. Cuando se utiliza el control de reducción de presión, se instala una válvula accionada por una selenoide a la entrada del evaporador. El termostato de control se conecta de manera que cierre la válvula, en lugar de parar el compresor. Éste sigue operando el tiempo suficiente para eliminar cualquier refrigerante que quede en el evaporador y en la línea de succión, y luego en condiciones de baja presión de succión, se detiene mediante la acción de un controlador de baja presión.

**Figura 28. Línea de succión con control de reducción de presión**



*Tubería vertical doble.* Cuando el compresor está provisto con etapas de capacidad, o cuando los compresores múltiples se operan en secuencia, se utilizan dos tubos verticales con el fin de mantener la velocidad del gas refrigerante, y asegurar así la elevación del aceite; de la misma manera que se hace cuando se trata de un tubo vertical de gas caliente.

**Figura 29. Línea de succión con tubería vertical doble**



*La línea de líquido.* El aceite y los refrigerantes líquidos se mezclan antes de entrar a la línea de líquido, porque el retorno del aceite no constituye un problema al diseñar la línea del líquido. El problema más importante estriba en evitar la formación de gas de vaporización súbita en la línea del líquido. Este gas aumenta el volumen del refrigerante que llega a la válvula de expansión, lo que reduce el flujo másico a través de la válvula, y disminuye asimismo, la capacidad de refrigeración. El gas de alta velocidad que pasa por el orificio de la válvula, puede erosionar el asiento y la aguja.

La vaporización del gas tendrá lugar en la línea del líquido, si la presión disminuye por debajo de la presión de saturación correspondiente a la temperatura del líquido refrigerante. Por consiguiente, la caída de presión en la línea del líquido resulta de la fricción de la tubería y sus accesorios.

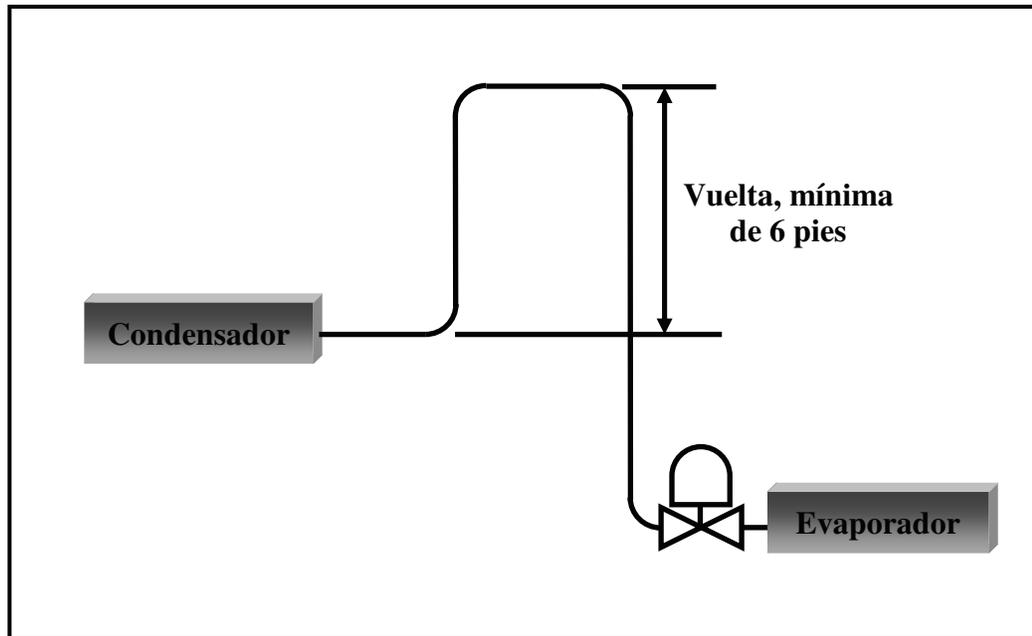
Tendrá lugar una caída adicional de presión, en el caso en que el evaporador se encuentre por encima del recibidor (o del condensador, si no se tiene recibidor). Esto se conoce como carga estática. La presión en la parte superior del líquido (en el evaporador), será menor que aquella en la parte inferior, debido al peso de la columna líquida. En el caso de los refrigerantes R-12, R-22, R-502 y el amoniaco, una columna líquida de un pie de alta, ejerce una presión de aproximadamente 0.5 lb/pulg<sup>2</sup>.

Con el fin de obtener una caída de presión razonable en la línea de líquido y evitar la vaporización súbita, los condensadores se diseñan y seleccionan para obtener un subenfriamiento considerable del refrigerante líquido, de 12 a 20 °F. Se puede asimismo tomar medidas adicionales, tales como la utilización de un cambiador de calor de líquido y succión.

Si el evaporador se halla situado por debajo del recibidor y del condensador, se tiene entonces que la carga estática ayuda a impedir la vaporización súbita, puesto que la columna del líquido aumenta la presión en el evaporador.

Cuando el evaporador está situado por debajo del recibidor, el refrigerante puede hacer efecto de sifón al evaporador, durante las paradas. Durante el arranque puede tener lugar el escurrimiento de líquido al compresor. Si el sistema tiene instalada una válvula selenoide en la línea de líquido para el control de reducción de presión, este problema no puede tener lugar. En el caso de que el sistema no tenga instalada la válvula selenoide, la línea del líquido debe tener entonces una línea de circunvalación invertida.

**Figura 30. Línea de líquido con circunvalación invertida**

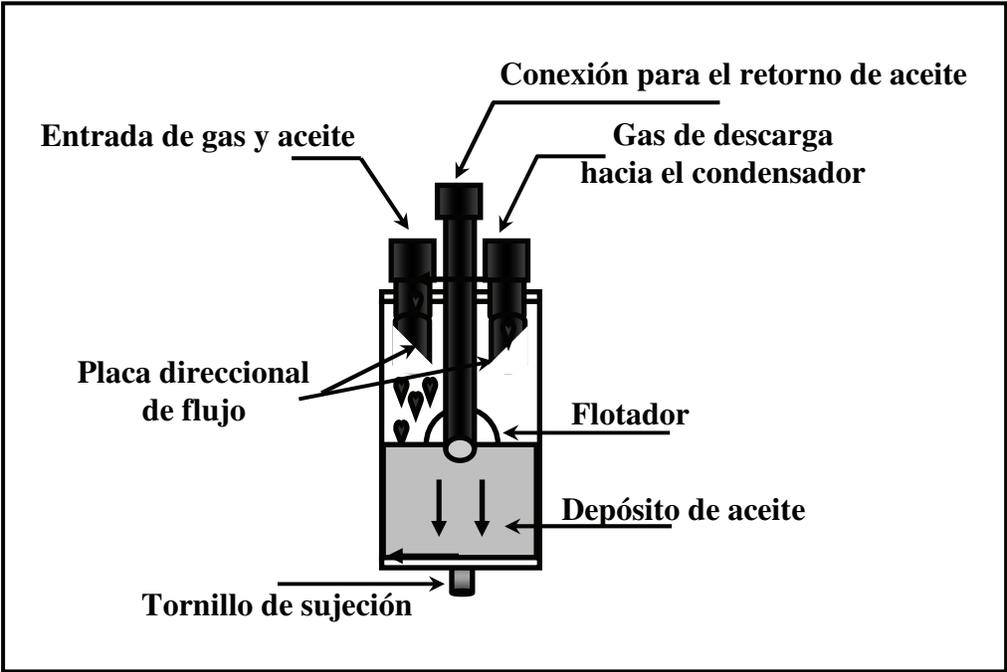


### **2.2.8. Trampa de succión.**

La trampa de succión se utiliza en instalaciones frigoríficas en las que no existe un control eficiente del refrigerante líquido que se inyecta en el evaporador como en instalaciones antiguas con control manual del refrigerante o con válvulas de expansión automáticas con variaciones bruscas de carga térmica o con evaporadores inundados y semi-inundados o en las que exista una ebullición incompleta del refrigerante en el evaporador o en instalaciones de temperaturas múltiples. Particularmente en aquellos sistemas de deshielo por gas caliente.

La función de la trampa de succión será la de prevenir la llegada del líquido al compresor y que este perjudique durante el proceso de compresión.

**Figura 31. Trampa de succión**



### **3. PROPUESTA DE DISEÑO DE UN BANCO DE HIELO**

#### **3.1. Partes del dispositivo de refrigeración**

El dispositivo de refrigeración esta compuesto de una serie de partes, las cuales cumplen un cometido específico para el adecuado funcionamiento del sistema.

##### **3.1.1. Recibidor de baja presión**

El recibidor de baja presión trabaja hasta un rango de 150 PSI. Éste almacena el refrigerante líquido en condiciones de presión de succión o temperatura de evaporación. El diseño, construcción, soldaduras, inspección y ensayos, cumplirán con las normas y reglamentos de la sección VIII división I del código ASME, para recipientes sin fuego, sometidos a presión. Debe ser probado hidráulicamente a 25 Kg. / cm<sup>2</sup>. El tanque llevará un tratamiento térmico de recocido, para el alivio de las tensiones producidas por soldaduras, de acuerdo al código ASME.

Todos los tubos de conexión son fabricados en conducto sin costura ASTM-A-53 cédula 80 para diámetros menores de 1 ½" y cédula 40 para diámetros mayores de 2". Debe contar con conexiones de entrada de líquido, vacío, ecualización, purga de aire, manómetro, válvula de seguridad dual, salida de líquido, purga de aceite y control de nivel.

Se aplicará sobre todas las superficies una mano de pintura protectora anticorrosivas en base cromato de zinc.

### **3.1.2. Recibidor de alta presión**

El recibidor de alta presión es el recipiente que almacena el refrigerante que se ha condensado. Hasta una presión de trabajo de 250 PSI. Cuando se refiere a la alta presión en el sistema de refrigeración es la presión de descarga o condensación.

La disposición del recibidor de alta presión es de forma horizontal con casquetes semielípticos en una sola pieza. El espesor mínimo debe de ser de ¼" realizado en material ASTM-516 Gr. 70.

Equipado con conexiones para entrada de líquido, salida de líquido, visor de nivel, válvula automática de cierre, válvula para purga de aceite, conexión para igualación de presión, conexión para manómetro y purga de aire, conexión para válvula de seguridad.

El tanque debe ser dimensionado bajo código ASME para recipientes sometidos a presión y probados hidráulicamente a 25 Kg. / cm<sup>2</sup>. Recocido como tratamiento térmico para el alivio de las tensiones producidas por la soldadura, de acuerdo al código ASME.

Se aplicará sobre toda la superficie del tanque una capa de pintura anticorrosiva en base de cromato de zinc como barrera protectora.

### **3.1.3. Bombas de agua helada**

Esta bomba es la encargada de la recirculación de agua en el sistema de banco de hielo. Esta bomba debe ser debidamente calculada para que suministre el flujo adecuado en el sistema.

Bomba sanitaria centrífuga con succión de 2" frontal con brida radialmente partida de un solo paso, descarga de 2" con brida. Impulsor de inoxidable tipo cerrado, sello mecánico con caras de cerámica y carbón. Flecha de acero al carbón.

Acoplada con brida directamente a motor eléctrico de corriente alterna, NEMA TEFC cara Ce (acero laminado pintado o hierro fundido pintado), 3 fases 220 / 440 voltios 60 ciclos, 2 polos.

Presión máxima de entrada 150 PSI, intervalo de temperatura -40°C a 204 °C, nivel de ruido 60 a 85 dB. Componentes de contacto con el producto fabricado en acero inoxidable AISI 316L, empaques de viton y empaques de tapa tipo buna.

Bajo costo de mantenimiento, menor costo de energía, configuración aséptica para asegurar la esterilidad del producto.

### 3.1.4. Agitador

La agitación se refiere a forzar un fluido por medios mecánicos para que adquiera un movimiento circulatorio en el interior de un recipiente. Los objetivos de la agitación pueden ser:

- Mezcla de dos líquidos miscibles.
- Disolución de sólidos en líquido.
- Mejorar la transferencia de calor (en calentamiento o enfriamiento)
- Dispersión de un gas en un líquido.
- Dispersión de partículas finas en un líquido.
- Dispersión de dos fases no miscibles.

Sobre un eje suspendido desde la parte superior, va montado un agitador. El eje está accionado por un motor, conectado a veces, directamente al mismo, pero con mayor frecuencia, a través de una caja de engranajes reductores.

El agitador crea un cierto tipo de flujo dentro del sistema, dando lugar a que el líquido circule por todo el recipiente y vuelva de vez en cuando al agitador.

Los agitadores se dividen en dos clases: los que generan corrientes paralelas al eje del agitador llamados de flujo axial y los que dan origen a corrientes en dirección tangencial o radial denominados de flujo radial.

### **3.1.5. Válvula reguladora de presión de succión**

Esta es la encargada de dosificar o regular el flujo del refrigerante líquido hacia el evaporador que se encuentra en la parte interna del banco de hielo, con el fin de reducir la presión del refrigerante líquido y regular el flujo de refrigerante. Por esta razón divide los lados de alta y de baja presión en el sistema.

Protege al compresor contra sobrecargas ocasionadas por alto flujo másico por arriba de la capacidad del compresor. Regula la presión de entrada para protegerlo contra sobrecargas durante el arranque inicial o después de un deshielo. También cuando la capacidad del motor del compresor es limitada.

Se utiliza en los sistemas de refrigeración donde la presión de succión llegue a ser eventualmente muy alta. Una vez que se van normalizando las presiones de trabajo, la válvula va quedando abierta nuevamente.

La válvula reguladora debe estar fabricada con hierro dúctil normalizado por la ASTM resistente a la corrosión y a la temperatura y aptos para utilizarlo con amoníaco que es el refrigerante a utilizar en el sistema. Los elementos críticos como vástagos, obturadores, guías y asientos son de acero inoxidable. Los diafragmas están contruidos con doble lámina y los sellos de teflón.

Los reguladores de presión están normalmente en líneas horizontales y los pilotos y vástagos abiertos manualmente. La flecha indica la dirección normal del fluido refrigerante.

### **3.1.6. Bajante de líquido**

El bajante es una parte del recibidor de líquido el cual sirve para almacenar el fluido refrigerante de la instalación frigorífica. Debe ser capaz por medio de la gravedad de suministrar fluido refrigerante de una forma continua para inundar el evaporador principal que esta en el tanque de almacenamiento de agua helada. Debe estar fabricado según las normas y reglamentos de la Sección VIII División I del código ASME, para recipientes sin fuego, sometidos a presión. Debe ser probado hidrostáticamente a una presión de 25 Kg./cm<sup>2</sup>.

El bajante llevará un tratamiento térmico de recocido, para el alivio de las tensiones producidas por soldaduras, de acuerdo al código ASME. Se aplicará sobre toda la superficie una capa de pintura anticorrosiva en base de cromato de zinc como barrera protectora de la corrosión.

Debe ser provisto de aislamiento térmico para evitar la humedad que genera corrosión y la pérdida de frigorías que son de suma importancia para la correcta y eficiente operación del sistema frigorífico.

El líquido refrigerante esta a una temperatura menor y la temperatura promedio ambiente es mayor que la temperatura del refrigerante, propiciando así la formación de una capa de hielo por el exterior del bajante de líquido lo cual representa una considerable perdida económica al transcurso de operación anual.

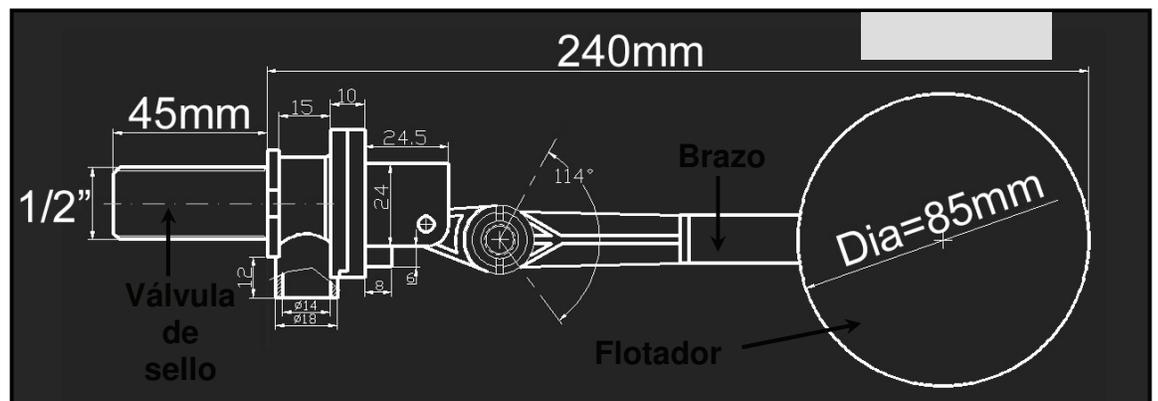
### 3.1.7. Tambor de alimentación

Es una válvula de flotador que determina el nivel de agua en el tanque de almacenamiento, es la encargada de suministrar agua fresca debido a la evaporación de cierta cantidad de agua por perdidas en el sistema.

El tambor de alimentación esta conformado por los siguientes elementos principales:

- Flotador
- Brazo
- válvula de sello

Figura 32. Tambor de alimentación



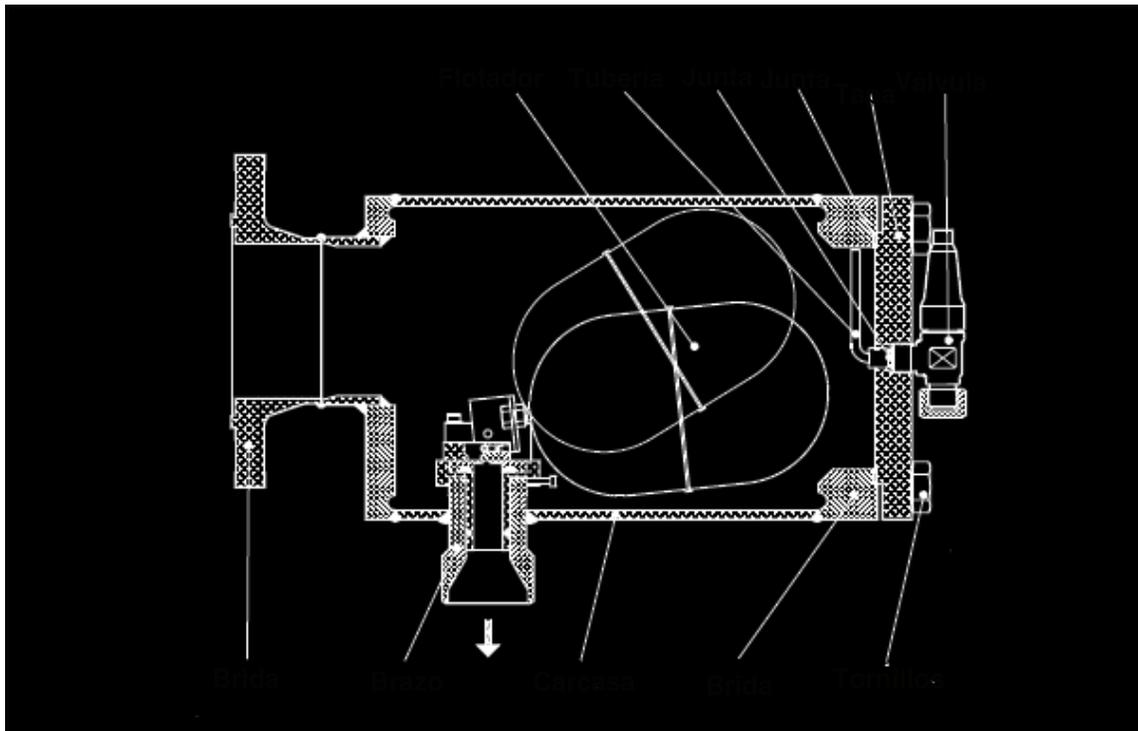
Para la conexión con la tubería de agua es por rosca de 1/2", trabaja con un flujo de 60 L/m (P = 0.6 Mpa); y una presión de agua de trabajo de 0.10 – 1.2 Mpa y una temperatura de trabajo de -35°C a +70°C.

### 3.1.8. Válvula de flotador

La válvula de flotador es la que determina el nivel de refrigerante líquido contenido en el recipiente. Esta es una forma mecánica de determinar dicho nivel. Existen formas electromecánicas como lo son los flotadores de nivel LL los cuales son ampliamente usados en los sistemas de refrigeración para activación de alarmas, cierre o apertura de contactos.

El montaje de la válvula de flotador es directamente a la línea de líquido, con conexiones de 1" que debe constar de una bola como flotador probada a alta presión que se mueve hacia arriba o hacia abajo vía un vástago de gran diámetro superando un potencial dobléz o fractura.

**Figura 33. Válvula de flotador**



### **3.1.9. Tanque de almacenamiento de agua helada**

Es donde se concentra el agua helada que se utilizara en el proceso de intercambio de calor para la reducción de temperatura en el proceso de producción de jarabe simple. Esta construido con bases de acero al carbón, una lámina primaria y una secundaria de acero al carbón y un aislante.

Debe estar reforzado con elementos endurecedores como lo son los tirantes a un paso horizontal y un paso vertical.

Debe estar provisto de tapaderas de acero al carbón, removibles para poder dar mantenimiento al evaporador principal y evitar las perdidas en el sistema.

Para la mejor conservación de las superficies se debe aplicar pintura en condiciones de operación industrial, resistente a la inmersión de agua fresca y salada, sujeta a la exposición de ácidos y álcalis.

El tanque de almacenamiento de agua helada debe de tener un desnivel de por lo menos el dos por ciento del tamaño total, para que cuando se realice el mantenimiento se pueda evacuar en su totalidad el agua helada y poder realizar las revisiones de la lámina primaria con respecto a corrosión y oxidación y efectuar las respectivas medidas correctivas.

### **3.1.10. Visor de nivel del tanque de agua**

La función principal de este visor es el de mostrar el nivel de agua en el tanque por medio de la altura de la columna de agua en el visor, y de esta manera controlar el nivel de agua y no tener excesos ni derrames en el contenedor y por lo tanto sufrir pérdidas de frigorías en el sistema.

Está provisto de una válvula de globo de 2 pulgadas en la parte superior y una en la parte inferior, debidamente conectadas al sistema. En el medio un tubo transparente de silicon para poder controlar el nivel de agua contenido en el tanque de almacenamiento de agua helada.

Además este visor de nivel proporciona información del estado físico del tambor de alimentación, ya que si este no funciona adecuadamente, el nivel de agua fresca sobrepasaría los niveles permisibles y se acercaría a un inminente derrame de agua helada.

### **3.1.11. Visor del serpentín o evaporador**

La función de este visor es la de proporcionar una vista del evaporador principal del sistema de banco de hielo. Esto permite controlar el estado físico de los tubos y visualizar las posibles fugas del fluido frigorífico debido a la corrosión de los tubos.

Debe estar provisto de un mecanismo de fácil acceso al tanque de almacenamiento de agua helada y con empaquetadura de viton para el sello térmico. Fabricado en acero al carbón y con pintura epóxica grado alimenticio para el excelente manejo aséptico del sistema.

### **3.1.12. Evaporador de enfriamiento**

La función del evaporador es la de proporcionar una transferencia continua y eficiente de calor desde el medio a enfriar, al fluido refrigerante. En el evaporador de enfriamiento el refrigerante fluye por los tubos, mientras que el agua que se desea enfriar fluye por el exterior de los mismos. A estos tubos, se le denomina superficie de transferencia de calor.

Debe estar construido en tubería sin costura ASTM-A-53 cédula 40, probado hidráulicamente a 25 Kg. / cm<sup>2</sup>. Recocido como tratamiento térmico para el alivio de las tensiones producidas por la soldadura, de acuerdo al código ASME.

Es de suma importancia mencionar que la tubería destinada para la construcción del evaporador principal de enfriamiento no lleva ningún tipo de recubrimiento (pintura o aislamiento) ya que esto alteraría el grado de transmisión sobre toda la superficie.

### **3.2. Aislamiento térmico**

Un aislante es un material que establece una barrera al paso del calor entre dos medios que naturalmente tenderían a igualarse en temperatura.

El material más resistente al paso de calor es el aire debido a su baja conductividad térmica y un bajo coeficiente de absorción de la radiación. Para el aislamiento térmico se utilizan materiales porosos o fibrosos, capaces

de inmovilizar el aire confinado en el interior de celdillas más o menos estáticas. Se suelen utilizar como aislantes térmicos: Lana de roca, fibra de vidrio, poliestireno extruído, espuma de poliuretano, aglomerados de corcho, etc.

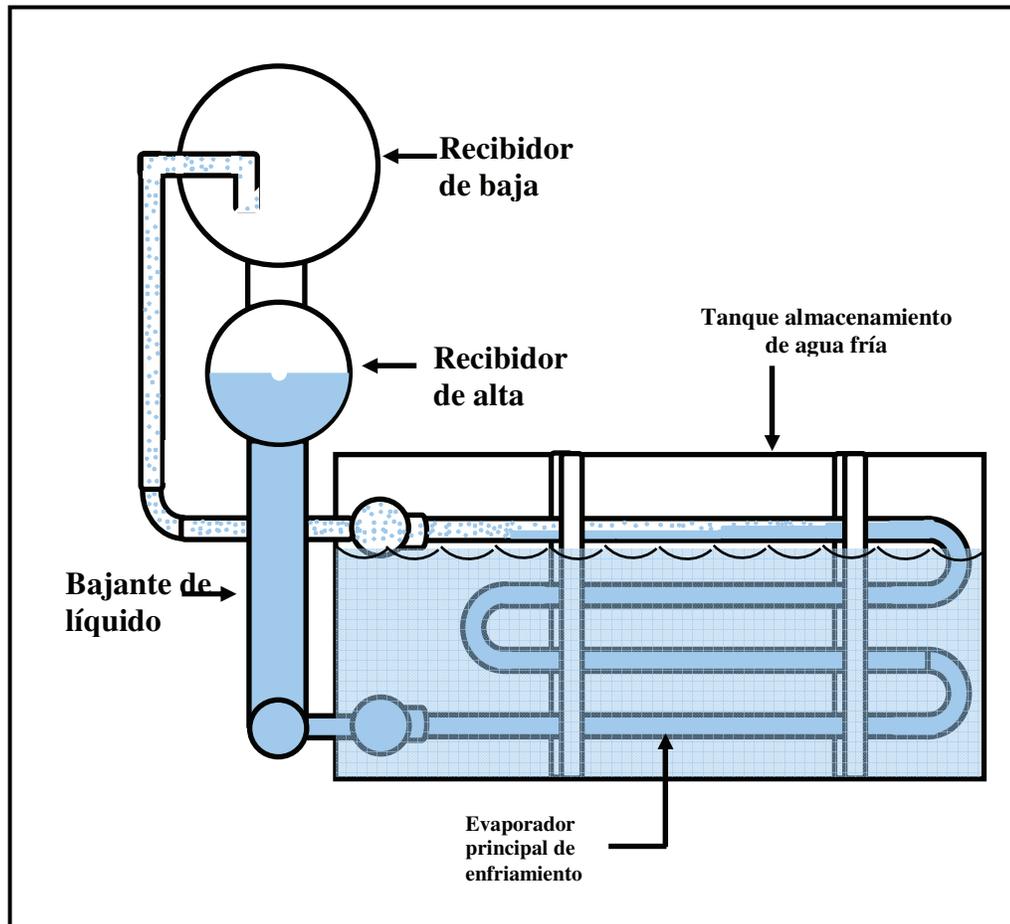
El material del cual se fabrica el aislante térmico debe de proveer de valores aislantes e impermeabilizantes excelentes y resistentes al clima, así como de no contener sustancias dañinas al ser humano. El aislamiento de las tuberías y en si de todo el sistema esta considerado como un ahorrador de recursos y energía.

Algunos aspectos como son la resistencia a la compresión del material aislante, su coeficiente de conductividad térmica, su permeabilidad de vapor de agua, su inflamabilidad, su acabado exterior, su posibilidad de variación de dimensiones, su peso específico, la temperatura admisible para su uso, su posible prohibición desde el punto de vista sanitario. Otros aspectos como el establecimiento de barreras antivapor adecuadas, cámaras de aireación u otros sistemas equivalentes cuando sea necesario y la eliminación de los posibles puentes térmicos que pudieran crearse, también requerirán un estudio esmerado y un control detallado durante la ejecución de la obra.

### **3.3. Funcionamiento del banco de Hielo**

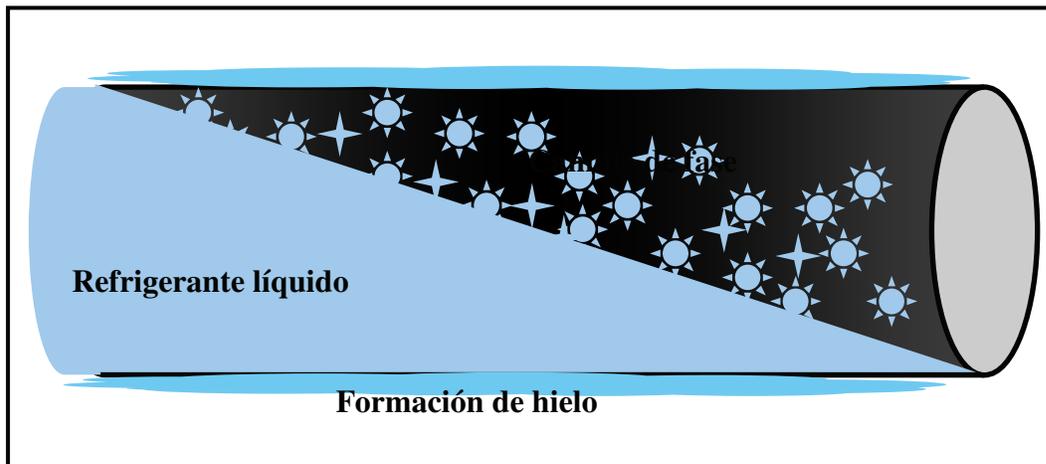
El refrigerante líquido circula desde el recibidor de alta presión pasando por el bajante de líquido hasta inundar la parte inferior del evaporador principal de enfriamiento. La evaporación del refrigerante líquido se da conforme este va circulando por los tubos del serpentín y absorbe el calor del agua almacenada en el tanque de almacenamiento de agua helada.

**Figura 34. Partes de un banco de hielo**



Debido al intercambio gradual de fases del refrigerante de líquido a gas, el volumen del fluido refrigerante aumenta. Se forma alrededor de las paredes externas de los tubos del serpentín una capa de hielo, debido al aumento de temperatura del agua.

**Figura 35. Cambio de fase del refrigerante dentro del evaporador**



En cada uno de los tubos del serpentín, el refrigerante que ha cambiado de fase se recolecta en el cabezal de vapores el cual se comunica por medio de un tubo con la parte superior del receptor de alta presión, esto con el fin de asegurar que no llegue refrigerante líquido al compresor. A presión constante se realiza el proceso de circulación del refrigerante, ya que las tuberías y parrillas forman un circuito cerrado. La diferencia de densidades entre el refrigerante líquido y el gaseoso es lo que produce una circulación del mismo a medida que el refrigerante líquido se gasifica.

El nivel de refrigerante líquido dentro del receptor disminuye conforme se evapora el fluido frigorífico en cada uno de los tubos del evaporador de enfriamiento. Un sistema de control, que consta de un nivel tipo flotador y una electroválvula, mantiene el nivel normal de refrigerante dentro del receptor, inyectando refrigerante líquido proveniente del condensador evaporativo.

La presión dentro del receptor, llamada presión de succión del sistema o de evaporación del refrigerante, se mantiene por la succión del compresor. El compresor tiene el trabajo de reducir el incremento de presión dentro del acumulador, resultado del aumento de volumen del refrigerante y la inyección del líquido a alta presión.



## 4. IMPLANTACIÓN DE LA PROPUESTA

Cuando los requerimientos, en el proceso productivo, la carga térmica no es uniforme y con grandes picos de consumo, es necesario utilizar un dispositivo en el cual se acumule esta carga térmica para el uso puntual de la misma.

### 4.1. Cálculos de cargas térmicas para el enfriamiento

Para poder realizar los respectivos cálculos de las cargas térmicas con respecto al enfriamiento del jarabe simple es necesario considerar un batch de producción lo cual es: 17,500 litros de jarabe simple el cual se enfría en un periodo de aproximadamente 50 minutos. Lo cual nos da un caudal de:

$$\text{Caudal} = \frac{17,500 \text{ Litros}}{50 \text{ Minutos}} = 350 \frac{\text{Litros}}{\text{Minuto}} * \frac{60 - \text{Minutos}}{1 - \text{Hora}} = 21,000 \frac{\text{Litros}}{\text{Hora}}$$

Características del Jarabe simple a enfriar:

**Tabla III.** Propiedades del jarabe simple

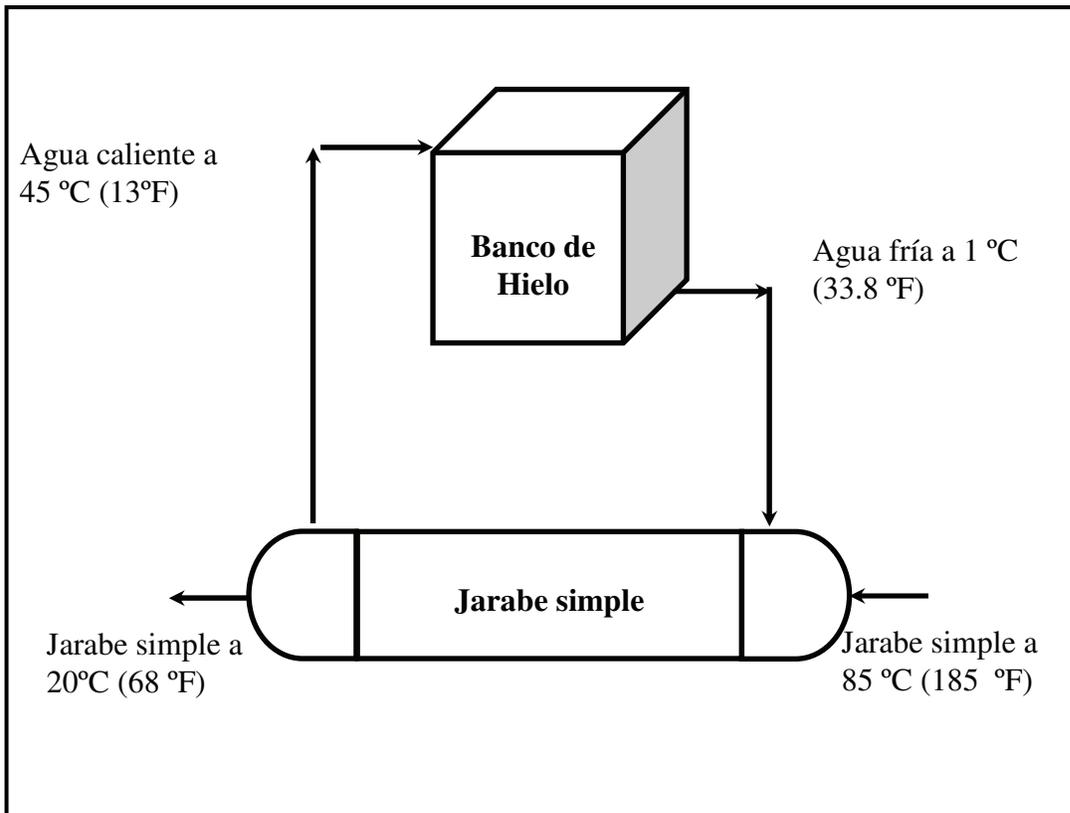
<b>Densidad</b>	<b>1.289 Kg. / litro</b>	
<b>Calor específico</b>	<b>0.662 Kcal. / Kg. °C</b>	<b>0.662 Btu / Libra °F</b>
<b>Temperatura inicial</b>	<b>85 °C</b>	<b>185 °F</b>
<b>Temperatura final</b>	<b>20 °C</b>	<b>68 °F</b>
<b>Caudal a enfriar</b>	<b>21,000 Litros / hora</b>	

#### 4.1.1. De los flujos de proceso

Para el caso de que el banco de hielo pueda disipar toda la carga térmica, se considera un batch de jarabe de 17,500 litros en aproximadamente 50 minutos. La carga térmica se determina como el producto de la masa de jarabe por el calor específico y por el diferencial de la temperatura inicial y la temperatura final.

$$Q = Masa * CalorEspecifico * \Delta Temperatura$$

**Figura 36. Esquema del sistema de refrigeración**



Lo primero es encontrar la cantidad de masa de jarabe simple, que se encuentra de la siguiente manera:

$$Masa = 21,000 \frac{\text{Litros}}{\text{Hora}} * 2.2 \frac{\text{Libras}}{\text{Kg}} * 1.289 \frac{\text{Kg.}}{\text{Litro}}$$

$$Masa = 59,551.8 \frac{\text{Libras}}{\text{Hora}}$$

Ahora se calcula la carga térmica:

$$Q = 59,551.8 \frac{\text{Libras}}{\text{Hora}} * 0.662 \frac{\text{Btu}}{\text{Libra} * ^\circ F} * (185^\circ F - 68^\circ F)$$

$$Q = 4,612,525.12 \frac{\text{Btu}}{\text{Hora}}$$

Ahora se convierte esta carga térmica a toneladas de refrigeración.

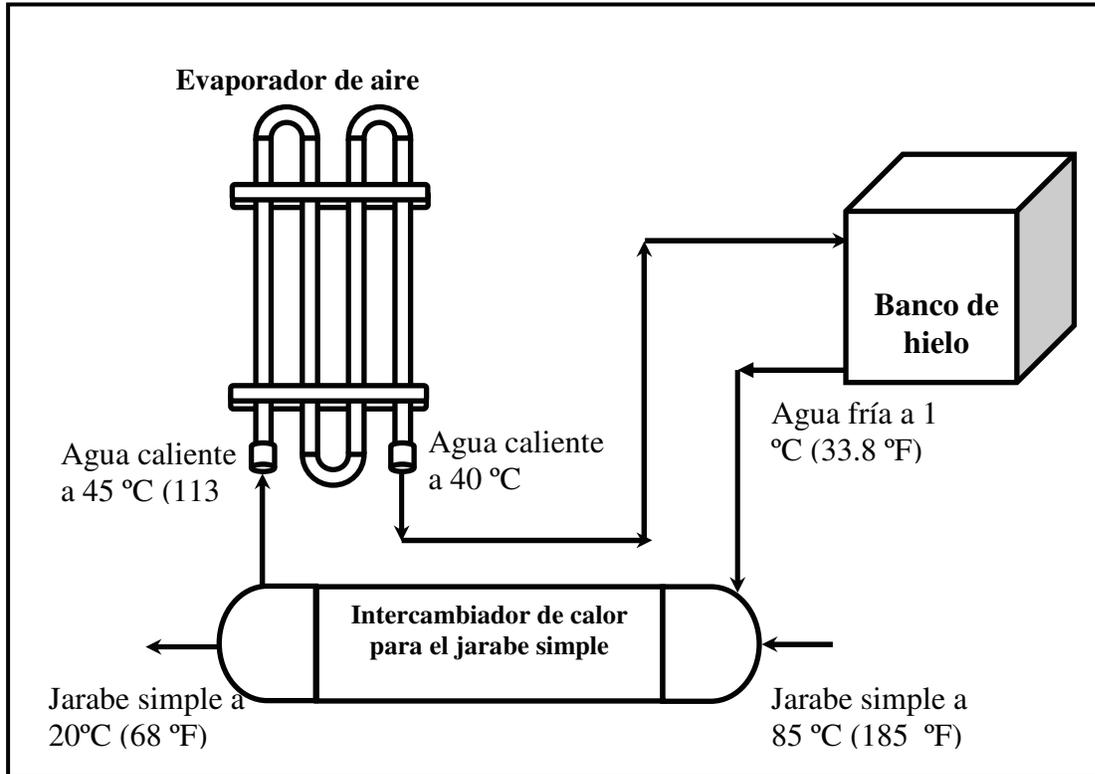
$$Q = 4,612,525.12 \frac{\text{Btu}}{\text{Hora}} * \frac{1 \text{Tonelada}}{12,000 \text{Btu}}$$

$$Q = 384.38 \frac{\text{Toneladas Refrigeración}}{\text{Hora}}$$

En caso que el proceso de enfriamiento de jarabe simple se realizara en una sola etapa, la carga térmica total seria de 384.38 toneladas de refrigeración. Por razones económicas el proceso se realizará en dos etapas de enfriamiento.

#### 4.1.2. De las cargas térmicas

**Figura 37. Esquema del sistema de refrigeración con evaporador de aire**



Para el cálculo del calor absorbido por el evaporador de aire se realiza tomando en cuenta que el agua que pasara por dicho evaporador es la que viene directamente del intercambio de calor con el jarabe simple, entonces:

**Tabla IV.** Propiedades para el cálculo del evaporador de aire

<b>Masa de jarabe simple</b>	<b>59,551.8 Libras/ hora</b>	
<b>Calor específico</b>	<b>0.622 Kcal. / Kg. °C</b>	<b>0.622 Btu / libra °F</b>
<b>Temperatura inicial</b>	<b>45 °C</b>	<b>113 °F</b>
<b>Temperatura final</b>	<b>40 °C</b>	<b>104 °F</b>

$$Q = \text{Masa} * \text{Calor específico} * \Delta\text{Temperatura}$$

$$Q = 59,551.8 \frac{\text{Libras}}{\text{Hora}} * 0.622 \frac{\text{Btu}}{\text{Libra} * ^\circ\text{F}} * (113^\circ\text{F} - 104^\circ\text{F})$$

$$Q = 333,370.98 \frac{\text{Btu}}{\text{Hora}}$$

Convirtiendo la carga térmica a toneladas de refrigeración:

$$Q = 333,370.98 \frac{\text{Btu}}{\text{Hora}} * \frac{1 \text{Tonelada de Refrigeración}}{12,000 \text{Btu}}$$

$$Q = 27.78 \frac{\text{Toneladas de Refrigeración}}{\text{Hora}}$$

Calculando la masa de agua del evaporador de aire necesaria para el enfriamiento:

**Tabla V.** Propiedades del agua para el cálculo de la masa

<b>Calor específico</b>	<b>1 Btu / libra °F</b>	
<b>Temperatura entrada</b>	<b>45 °C</b>	<b>113 °F</b>
<b>Temperatura salida</b>	<b>40 °C</b>	<b>104 °F</b>
<b>Eficiencia de transferencia</b>		<b>0.60</b>
<b>Calor rechazado</b>	<b>333,370.98 Btu/hora</b>	

$$\text{Masa}_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{\text{Calor Rechazado}}{(\text{Calor Específico H}_2\text{O} * \Delta\text{Temperatura} * \text{Eficiencia de la Transferencia})}$$

$$Masa_{H_2O} = \frac{333,370.98 \frac{Btu}{Hora}}{\left(1 \frac{Btu}{Libra \cdot ^\circ F} * (113^\circ F - 104^\circ F) * 0.60\right)}$$

$$Masa_{H_2O} = 61,735.36 \frac{Libras}{Hora}$$

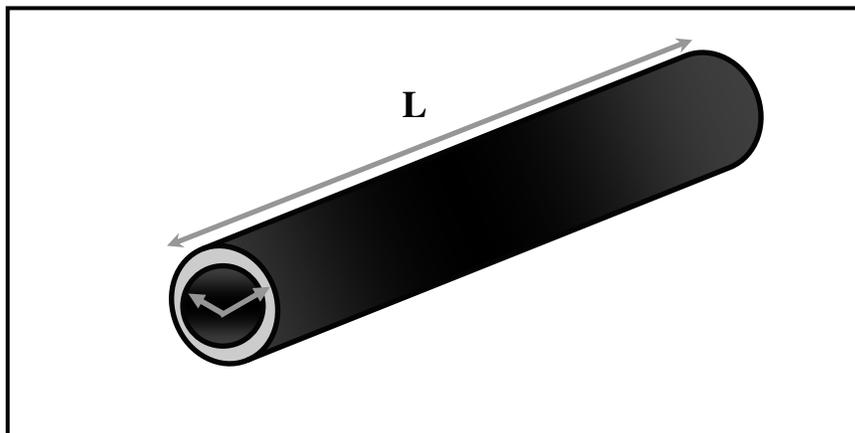
Convirtiendo la masa de agua a galones por minuto.

$$Flujo_{H_2O} = 61,735.36 \frac{Libras}{Hora} * \frac{1Kg.}{2.2Libras} * \frac{1Litro}{1Kg.} * \frac{1Galón}{3.785Litros} * \frac{1Hora}{60Min.}$$

$$Flujo_{H_2O} = 123.56 \frac{Galones}{Minuto}$$

Para calcular el arreglo del evaporador de Aire se tiene en cuenta que la transferencia de calor se realiza por convección natural y la conducción de calor ocurre a través del espesor de la pared desde la superficie interna hasta la externa.

**Figura 38. Transferencia de calor por convección natural**



$$Q = \text{Area} * \text{Coeficiente de transmisión de calor} * \text{Temperatura Media}$$

$$\text{Area} = \frac{Q}{\text{Coeficiente de transmisión de calor} * \text{Temperatura Media}}$$

$$\text{Área} = \frac{333,370.98 \frac{\text{Btu}}{\text{Hora}} * \frac{0.2522 \text{Kcal}}{\text{Btu}}}{140 \frac{\text{Kcal}}{\text{h} * \text{m}^2 * ^\circ \text{C}} * 42.45^\circ \text{C}}$$

$$\text{Area} = 14.14 \text{metros}^2$$

Por un factor de seguridad del 10% tenemos el siguiente resultado:

$$\text{Area} = (14.14 * 10\%) + 14.14 = 15.55 \text{metros}^2$$

Para el coeficiente de transmisión de calor se utilizó la tabla de coeficientes de paso de calor para tubos desnudos del Manual Técnico de Refrigeración y Aire Acondicionado del Autor Aram Prim Morales (Anexo 1):

Se elige el diámetro del tubo de 2" galvanizado, ya que este nos permite buena cantidad de área de transferencia de calor, es relativamente manejable y su costo es muy accesible.

Calculando la cantidad de Tubos requerida para la formación de la parilla del evaporador de aire:

$$\text{Diámetro del tubo en mm} = 2" \times 25.4 \text{ mm} = 50.8 \text{ mm}$$

El perímetro del tubo de 2" es:

$$P = \pi d$$

$$P = 3.1416(50.8mm) * \frac{1m}{1000mm} = 0.15959328m$$

Calculando la longitud del evaporador por convención natural:

$$A = LxD$$

*A = Area – de – transferencia – de – calor*

*L = Longitud – del – tubo*

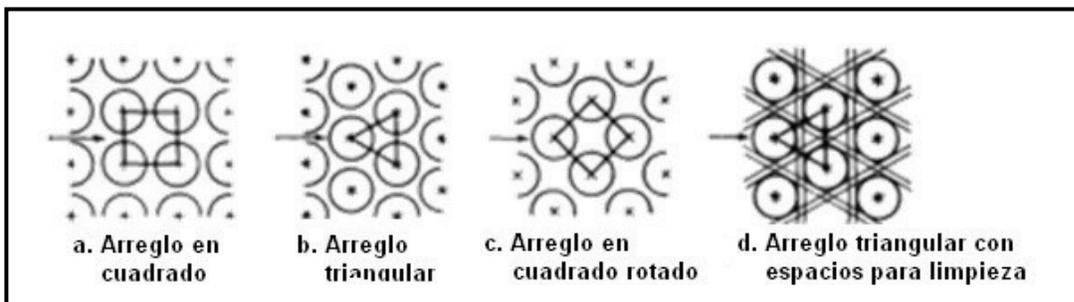
*D = Equivalent e – Lineal – del – Diametro – Externo – del – tubo*

$$L = \frac{A}{D}$$

$$L = \frac{15.55m^2}{0.15959328m} = 97.46m$$

Comercialmente los tubos galvanizados de 2" vienen de una longitud de 6.01 metros, por lo tanto necesitamos  $(97.46 \text{ metros} / 6.01 \text{ metros} * \text{tubo}) = 16.21$  tubos, entonces utilizamos 16 tubos de 2 pulgadas de diámetro por 6.01 metros de largo. Por especificaciones de espacio se utilizará los tubos a la mitad y se utiliza el arreglo en cuadrado, como se muestra en la figura.

**Figura 39. Arreglos comunes para los tubos de evaporadores**



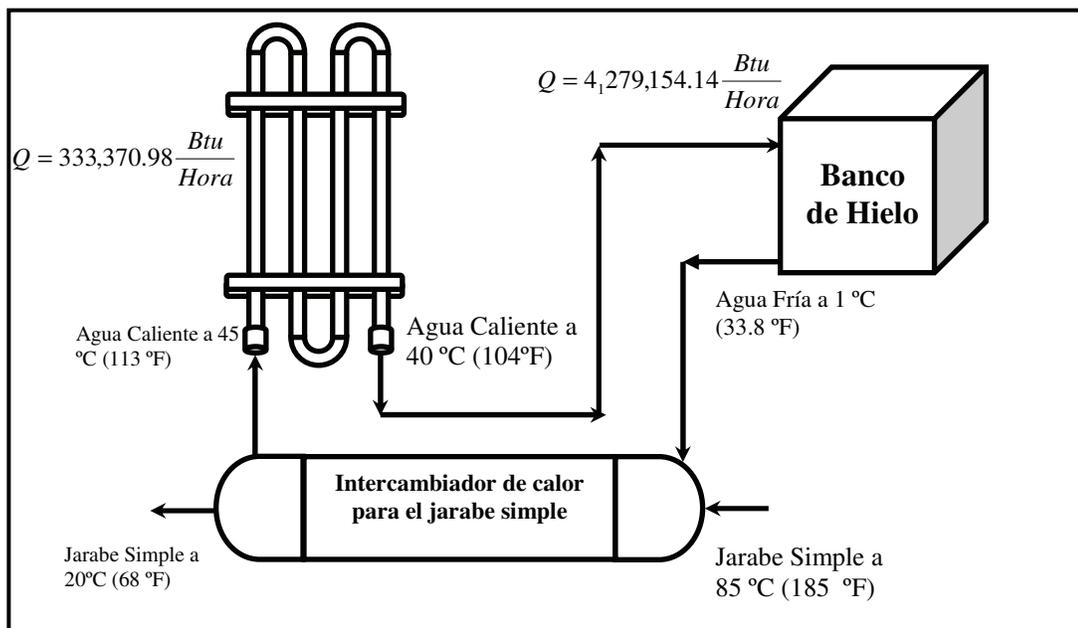
## 4.2. Sistema de refrigeración con banco de hielo

Ahora se calcula la cantidad de agua helada que el banco de hielo debe ser capaz de producir para satisfacer la demanda que requiere el proceso. Para ello debemos saber que la carga total requerida es de  $Q = 4,612,525.12 \frac{Btu}{Hora}$  el evaporador de aire nos disipa una carga de calor de  $Q = 333,370.98 \frac{Btu}{Hora}$  la resta de ambas cargas es la que debe disipar el banco de hielo:

$$Q = 4,612,525.12 - 333,370.98 \frac{Btu}{Hora}$$

$$Q = 4,279,154.14 \frac{Btu}{Hora}$$

**Figura 40. Esquema del sistema de refrigeración con sus respectivas cargas térmicas**



Cálculo del agua helada:

$$QH_2O - \text{Helada} = \text{Masa} - \text{del} - \text{agua} - \text{helada} * Cp * \Delta T * \text{Eficiencia}$$

$$\text{Masa} - \text{del} - \text{agua} - \text{helada} = \frac{QH_2O - \text{Helada}}{Cp * \Delta T * \text{Eficiencia}}$$

$$\text{Masa} - \text{del} - \text{agua} - \text{helada} = \frac{4,279,154.14 \frac{\text{Btu}}{\text{Hora}}}{1 \frac{\text{Btu}}{\text{lbm}^\circ \text{F}} * (104 - 41^\circ \text{F}) * 0.87}$$

$$\text{Masa} - \text{del} - \text{agua} - \text{helada} = \frac{4,279,154.14 \frac{\text{Btu}}{\text{Hora}}}{1 \frac{\text{Btu}}{\text{lbm}^\circ \text{F}} * (104 - 41^\circ \text{F}) * 0.87}$$

$$\text{Masa} - \text{del} - \text{agua} - \text{helada} = 78,072.51 \frac{\text{lbm}}{\text{hora}}$$

Convirtiendo la masa del agua a flujo en galones por minuto:

$$\text{Flujo} - \text{de} - \text{agua} - \text{helada} = 78,072.51 \frac{\text{lbm}}{\text{hora}} * 1 \frac{\text{Galón}}{8.327 \text{lbm}} * \frac{1 - \text{Hora}}{60 - \text{Minutos}}$$

$$\text{Flujo} - \text{de} - \text{agua} - \text{helada} = 156.26 \frac{\text{Galones}}{\text{Minuto}}$$

Convirtiendo el agua helada en su equivalente en libras de hielo:

$$1 - \text{Libra} - \text{de} - \text{hielo} = 144 \text{Btu}$$

$$\text{Libras} - \text{de} - \text{hielo} = \frac{\text{Calor} - a - \text{dipisar}}{144 \frac{\text{Btu}}{\text{hora}}}$$

$$\text{Libras} - \text{de} - \text{hielo} = \frac{4,279,154.14 \frac{\text{Btu}}{\text{Hora}} * 1 - \text{Libra} - \text{de} - \text{hielo}}{144 \text{Btu}}$$

$$\text{Libras - de - hielo} = 29,716.35 \frac{\text{Libras - de - hielo}}{\text{Hora}}$$

El ciclo de enfriamiento se realiza en un tiempo de 50 minutos y se considera que durante el día se realizan cuatro ciclos de enfriamiento, se calcula el total de libras de hielo por día requeridos para el proceso de preparación del jarabe simple:

$$\frac{\text{Libras - de - hielo}}{\text{día}} = 29,716.35 \frac{\text{Libras - de - hielo}}{\text{Hora}} * 0.833 \frac{\text{Hora}}{\text{Ciclo}} * 4 \frac{\text{Ciclos}}{\text{día}}$$

$$\frac{\text{Libras - de - hielo}}{\text{día}} = 99,054.50$$

El ciclo de enfriamiento de jarabe simple consta de un flujo de 21,000 Litros / hora con una temperatura inicial de 85 °C y una temperatura final de 20 °C. Para dicho ciclo se requiere extraer un total de 384.38 toneladas de refrigeración / hora durante 50 minutos que perdura cada ciclo de enfriamiento.

En la primera etapa se utiliza un evaporador de aire que permite enfriar el jarabe simple, con solamente el echo de hacer circular el agua caliente a través del evaporador de aire a un flujo de 123.56 galones / minuto disipando un calor de 333,370.98 Btu / Hora lo cual es un 7.22% de la carga total horaria.

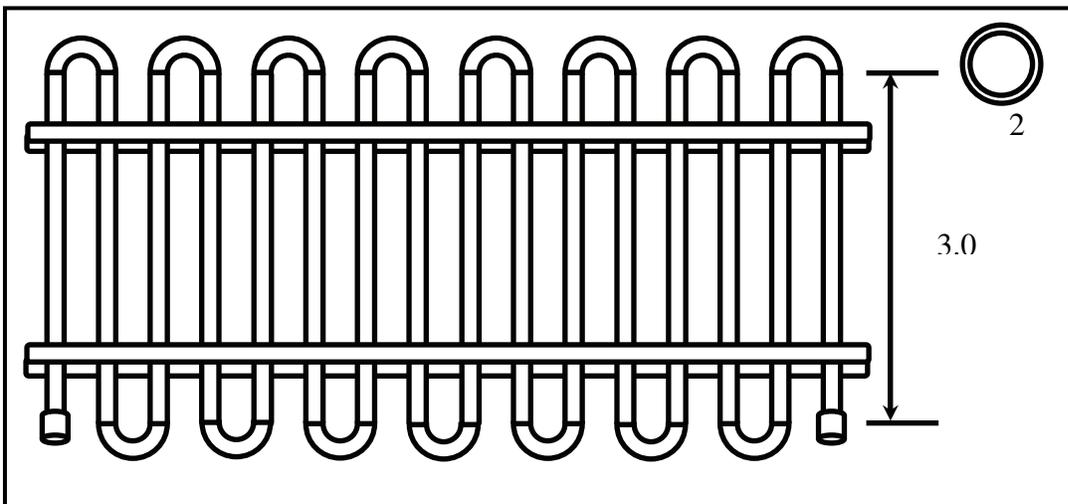
La segunda etapa se utiliza un banco de hielo el cual permite enfriar el jarabe simple hasta una temperatura de 20 °C a un flujo de agua helada de 156.26 galones / minuto disipando un calor de 4,279,154.14 Btu / hora lo cual es el 92.78 % de la carga total horaria.

## 4.2.1. Cálculos para la selección de equipos

### 4.2.1.1. Evaporador

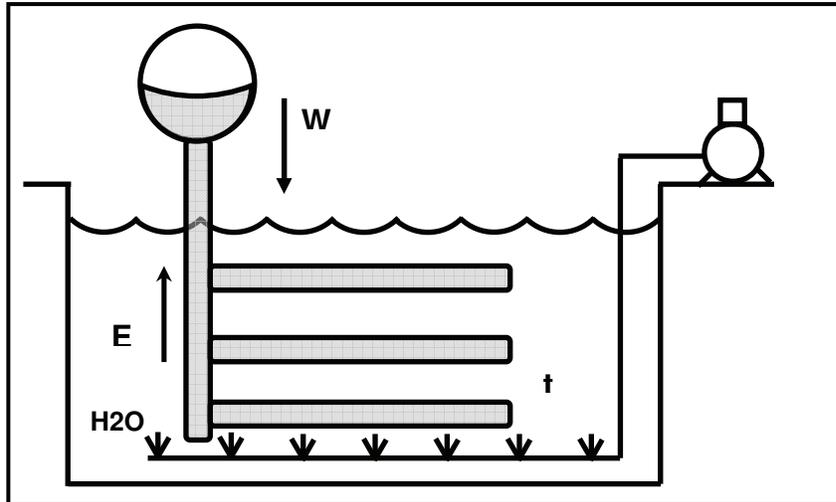
Para el evaporador de aire los cálculos fueron realizados en el inciso 4.1.2 determinándose que debe manejar 27.78 ton / hr, el cual estará constituido por 2 parrillas de 16 tubos de 2 pulgadas de diámetro con una longitud de 3.0 metros cada una de ellas y con un flujo de 123.56 galones / minuto.

**Figura 41. Parrilla del evaporador de aire**



Para llevar a cabo el cálculo del evaporador principal del Banco de Hielo se utiliza el método establecido por ALVARO AGUIRRE ANDRADE (Profesor de la Universidad Nacional de Colombia). El cual desarrolla una metodología y análisis específico para el diseño de Bancos de Hielo y como fuente la Tesis Diseño de un Banco de Hielo para la Planta Piloto de la Universidad del Tolima, de la Inga. Melanie Teresa Ramírez Jaramillo y Olga Cristina Roa Hayden. Para ello se utiliza el principio de Arquímedes, el cual se demuestra a continuación.

Figura 42. Esquema de equilibrio para el principio de arquímedes



$$\sum Fy = 0 \quad \text{Equilibrio}$$

$$\sum Fy = Fe - W$$

$$W = \text{Peso} - \text{Tubos} + \text{Peso} - \text{Hielo}$$

$$W = Ft + FH$$

$$\sum Fy = Fe - Ft - FH$$

$$0 = Fe - Ft - FH$$

$$Fe = Ft + FH$$

$$Fe = \text{Fuerza} - \text{de} - \text{empuje} - \text{hidráulico}$$

$$Ft = \text{Peso} - \text{de} - \text{Tubos}$$

$$FH = \text{Peso} - \text{de} - \text{Hielo}$$

$$F_e = m_A g$$

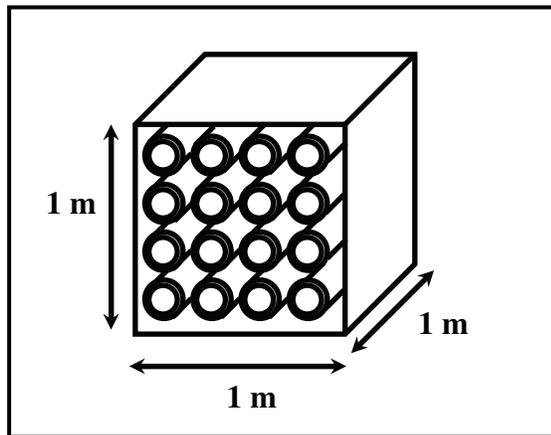
$$m_A = \rho_A V_A$$

$$\rho_A = 999.84 \text{ Kg. / m}^3$$

La densidad del agua a diferentes temperaturas se encuentra expresada en la tabla del anexo 2.

Como referencia tomaremos el volumen de  $1 \text{ m}^3$ .

**Figura 43. Volumen de referencia de  $1 \text{ m}^3$**



Por lo tanto, la fuerza de empuje hidráulico queda de la siguiente manera:

$$F_e = 999.84 \frac{\text{Kg.}}{\text{m}^3} * 1\text{m}^3 * g$$

$$F_e = 999.84 \text{ Kg} * g$$

Calculando el peso del hielo:

$$FH = m_H * g$$

$$FH = \rho_H * V_H * g$$

Donde la densidad del hielo es  $916.80 \text{ Kg. / m}^3$ .

Por tanto,

$$FH = 916.80 \frac{Kg.}{m^3} * 1m^3 * g$$

$$FH = 916.80Kg * g$$

$$Ft = No. - tubos \frac{No. - Tubos}{m^2} * \frac{Wt}{m} * g$$

Sustituyendo valores en la formula  $Fe = Ft + FH$  obtenemos:

$$999.84Kg * g = \left( \frac{No.Tubos}{m^2} * \frac{Wt}{m} * g \right) + 916.80Kg * g$$

Despejando el:

$$\frac{No.Tubos}{m^2} = \frac{999.84 - 916.80}{\frac{Wt}{m}}$$

La tubería seleccionada para construir el evaporador principal de la batería es de acero negro cédula 40 con las siguientes características (Ver Anexo 3).

**Tabla VI.** Propiedades del tubo acero negro cédula 40 de 4 pulgadas.

	Pulgadas	Metros
Diámetro nominal	4	0.1016
Diámetro externo	4 1/2	0.1143
Diámetro interno	4.026	0.1023
Espesor	0.273	0.0069
Peso nominal		16.06 Kg. / m
Espesor capa hielo		0.07

Ahora se calcula la cantidad de hielo que es capaz de almacenar el Banco, se debe de considerar que se calcula la cantidad de hielo almacenado por metro lineal de tubería seleccionada.

$$QH = \frac{\rho_H * \pi}{4} * \lambda (De^2 - Di^2)$$

Donde:

$\rho_H$  = Densidad del hielo (Kg. / m<sup>3</sup>)

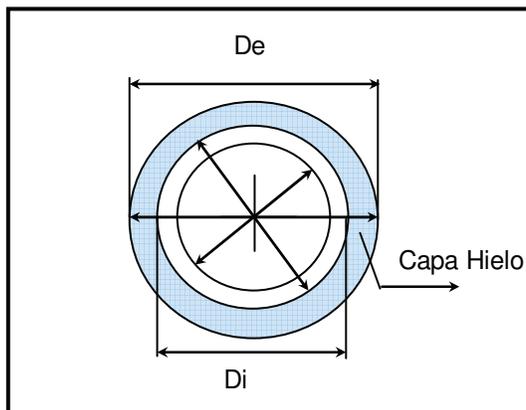
$\lambda$  = Calor de fusión del hielo (Kj / Kg.)

De = Diámetro externo del anillo de hielo (m)

Di = Diámetro interior del anillo de hielo (m)  
(Diámetro exterior del tubo)

Qh = Cantidad de hielo almacenado por metro lineal de tubería (Kcal./ m)

**Figura 44. Diámetros de la tubería con capa de hielo**



Las propiedades físicas del hielo están contenidas en el anexo 4.

Cálculo de Qh para un espesor de hielo de 7 cm.

$$QH = \frac{916.80 \frac{Kg.}{m^3} * \pi}{4} * 336 \frac{Kj.}{Kg.} \left( (0.2543)^2 - (0.1143)^2 \right)$$

$$QH = 12,484.96 \frac{Kj}{m}$$

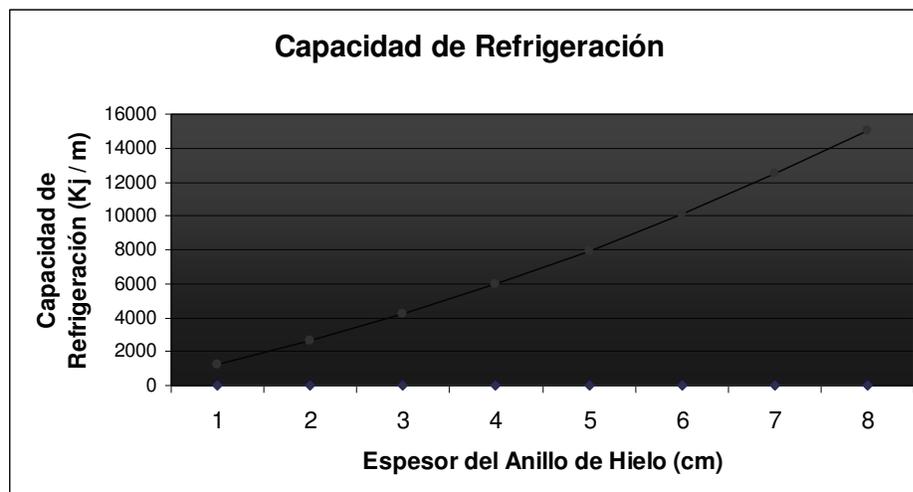
$$QH = 2,983.89 \frac{Kcal.}{m}$$

Se escoge 7 cm. de capa de espesor de hielo porque se ha demostrado que las mejores eficiencias en los Bancos de Hielo se presentan con 5 cm. como mínimo y 7 cm. como máximo de espesor.

**Tabla VII.** Almacenamiento de hielo por metro lineal en tubería de 4 pulgadas cédula 40

Espesor del Hielo (cm.)	Enfriamiento (Qh)
1	1203
2	2599
3	4189
4	5973
5	7950
6	10120
7	12485
8	15042

**Figura 45.** Capacidad de refrigeración almacenada en tubería de acero negro de 4 pulgadas por metro de longitud



Para realizar correctamente el diseño del evaporador, es necesario tener en cuenta la cantidad de hielo que logra almacenar por metro lineal de tubería y el empuje hidráulico o la fuerza ejercida por un líquido sobre un área plana, en este caso será la fuerza que el agua puede llegar a ejercer sobre un metro cúbico de hielo.

$$F_e = \rho * h * A$$

Donde,

$F_e$  = Fuerza de empuje hidráulico.

$\rho$  Agua = Densidad del agua a 1 °C

h = Altura

A = área

$$F_e = \rho * h * A$$

$$F_e = 999.84 \frac{\text{Kg.}}{\text{m}^3} * 1\text{m} * 1\text{m}^2$$

$$F_e = 999.84 \text{Kg}$$

A partir de la fuerza de empuje se calcula el número mínimo de tubos de longitud de 1 m que deberá haber en 1 m<sup>3</sup> de hielo y serpentín:

$$\frac{\text{No.Tubos}}{\text{m}^2} = \frac{999.84 - 916.80}{16.06}$$

$$N = 5.17 \frac{\text{Tubos}}{\text{m}^2}$$

Como se trata de evaporador del tipo inundado, el arreglo cuadrado es el más indicado, ya que permite la formación óptima de la capa de hielo para que no se presenten problemas de levantamiento del serpentín, además que ocupa una menor área dentro del tanque que lo contiene. Se dispondrán de una formación de 3 x 3 tubos obteniéndose 9 tubos por metro cuadrado, dándonos un factor de seguridad de 74.08%.

Para el cálculo de la distancia entre centros el número de espacios es de 2 entre tubos y 2 espacios mas entre paredes externas, correspondientes al espacio entre el primer y último tubo con la pared.

$$D_{\text{externo}} + \text{Espesor} - \text{Hielo} = 25.43\text{cm.}$$

$$D_{\text{externo}} * \text{No.Tubos} - \text{Horizontales} = 34.29\text{cm.}$$

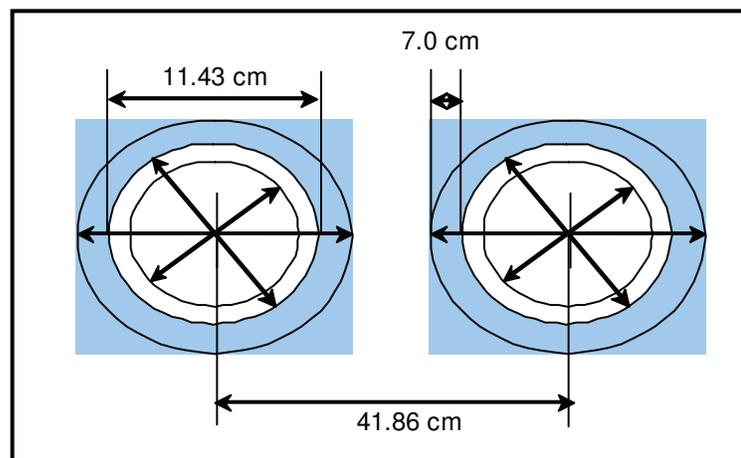
$$\text{Espacio} - \text{Libre} = 100\text{cm.} - 34.29\text{cm.} = 65.71\text{cm.}$$

$$\text{Dis tan cia} - \text{entre} - \text{tubos} = \frac{\text{Espacio} - \text{Libre}}{\text{No.} - \text{Espacios}} = \frac{65.71\text{cm.}}{4 - \text{Espacios}} = 16.43\text{cm.}$$

$$\text{Dis tan cia} - \text{entre} - \text{centros} = 16.43\text{cm.} + 25.43\text{cm}$$

$$\text{Dis tan cia} - \text{entre} - \text{centros} = 41.86\text{cm.}$$

**Figura 46. Distancia entre centros de los tubos**



Basándose en los análisis anteriores, se obtiene la longitud del serpentín, que se expresa por la relación entre la cantidad de frío almacenado en la tubería y la capacidad de refrigeración que se tiene por metro de serpentín, expresado como ecuación se tiene:

$$cfa = Qx \frac{\text{Horas}}{\text{Ciclo}} x \frac{\text{Ciclos}}{\text{Dia}}$$

$$cfa = 4,279,154.14 \frac{\text{Btu}}{\text{hr}} * \frac{0.2522 \text{Kcal}}{1 \text{Btu}} * (50/60) \frac{\text{Horas}}{\text{Ciclo}} * 4 \frac{\text{Ciclos}}{\text{Dia}}$$

$$cfa = 3,597,342.25 \frac{\text{Kcal}}{\text{dia}}$$

Ahora se calcula la longitud de la tubería de acero negro cédula 40 necesaria:

$$Ls = \frac{Cfa}{QH}$$

$$Ls = \frac{3,597,342.25 \frac{\text{Kcal}}{\text{dia}}}{2,983.89 \frac{\text{Kcal}}{\text{m}}}$$

$$Ls = 1,205.59m$$

Para obtener el número de tubos que componen el serpentín de enfriamiento, es necesario especificar la longitud comercial de la tubería de acero al carbón cédula 40, la cual es de una longitud de 6.01 metros. Con lo anterior tenemos:

$$Nt = \frac{Ls}{6.01 \frac{\text{m}}{\text{Tubo}}}$$

$$Nt = \frac{1,205.59m}{6.01 \frac{m}{Tubo}} = 200.60Tubos$$

Finalmente, el evaporador principal del Banco de Hielo puede tener varios arreglos de tubos 6 x 34 ó 4 x 50, preferimos el arreglo de 15 x 15, para tener un factor de seguridad de 25 tubos con un 12.50%.

Para producir la cantidad de hielo requerida por el proceso, se necesita una unidad de refrigeración que sea capaz de operar la siguiente carga:

$$1 - \text{Libra} - \text{de} - \text{hielo} = 144Btu$$

$$Q = 3,597,342.25 \frac{Kcal}{Dia} * \frac{1Btu}{0.2522Kcal} * \frac{1 - \text{Libra} - \text{de} - \text{Hielo}}{144Btu}$$

$$Q = 99,054.50 \text{Libras} - \text{de} - \text{hielo}$$

$$Q = 99,054.50 \text{Libras} - \text{de} - \text{hielo} * \frac{144Btu}{1 - \text{Libra} - \text{de} - \text{Hielo}} * \frac{1 \text{Ton.} - \text{Re} \text{ frigeracion}}{12,000Btu}$$

$$Q = 1,188.65 \frac{ton}{dia}$$

Considerando que el hielo se forma en un período de 15 horas por día, se necesita una unidad de 79.24 ton / hr.

#### 4.2.1.2. Bombas de agua helada

Para la selección adecuada de la bomba de recirculación de agua, es necesario calcular el flujo requerido, tomando en cuenta que el agua sale a 1 °C (33 °F) y retorna al sistema a 45 °C (113 °F) con un diferencial de 80 °F por libra de agua; entonces:

$$Q_{hr} = m^{\circ} * C_p * \Delta t$$

Donde:

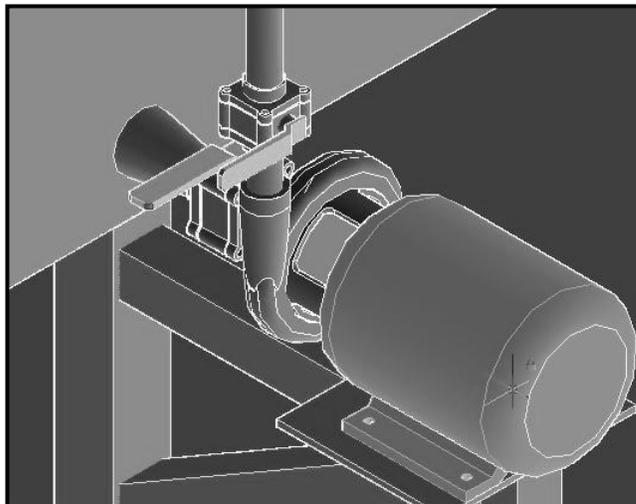
$$m^{\circ} = \frac{Q_{hr}}{C_p * \Delta t}$$

$$m^{\circ} = \frac{4,279,154.14 \frac{Btu}{hr}}{\frac{1Btu}{(lb.^{\circ}F)} * (113 - 33)^{\circ}F} * \frac{1Gal}{8.327lb.} * \frac{1hr.}{60min.}$$

$$m^{\circ} = 107.06 \frac{galones}{min\ uto}$$

Se necesita por lo menos una bomba que suministre 110 gpm a una presión de 40 psi, con una conexión de 2" de diámetro en la succión y en la descarga.

**Figura 47. Bomba de agua helada**



### 4.2.1.3. Agitador

Para la correcta selección del agitador es necesario el cálculo del volumen de agua que el mismo debe hacer circular, por lo tanto:

La distancia entre centros es de 41.86 cm. y el tamaño del tubo es de 4 pulgadas, entonces son 15 parrillas de 15 tubos cada una. El arreglo queda de la siguiente manera:

$$\text{Ancho} = \text{Distancia entre centros} * 14 \text{espacios} + 2 \text{espacios} (1/2 \text{tubo}) + \text{capa de hielo}$$

$$\text{Ancho} = 41.86 \text{cm} * 14 \text{espacios} + 2 * (11.43 / 2) + (7 + 7)$$

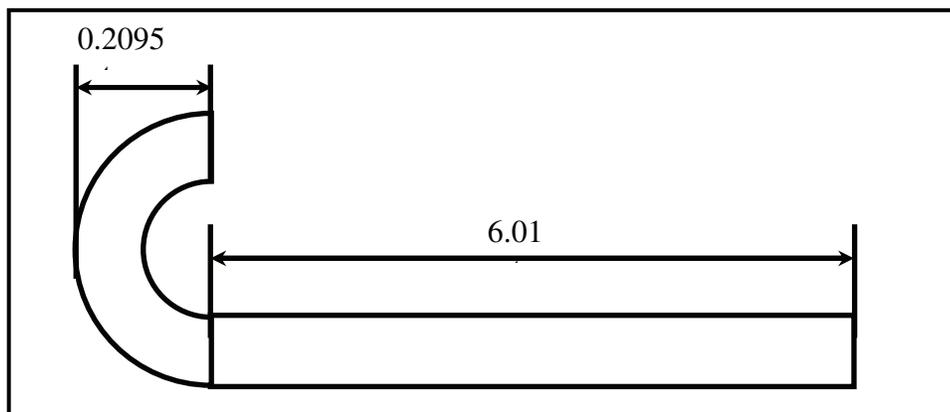
$$\text{Ancho} = 611.47 \text{cm}$$

$$\text{Altura} = \text{Dist.} - \text{centros} * 14 \text{espacios} + 2 \text{espacios} (1/2 \text{tubo}) + \text{capa de hielo} + \text{dist.} - \text{recirculacion}$$

$$\text{Altura} = 41.86 \text{cm} * 14 + 2 * (11.43 / 2) + (7 + 7) + 5.08 + 15$$

$$\text{Altura} = 631.55 \text{cm}$$

**Figura 48. Largo de tubería y codo de 4 pulgadas cédula 40**



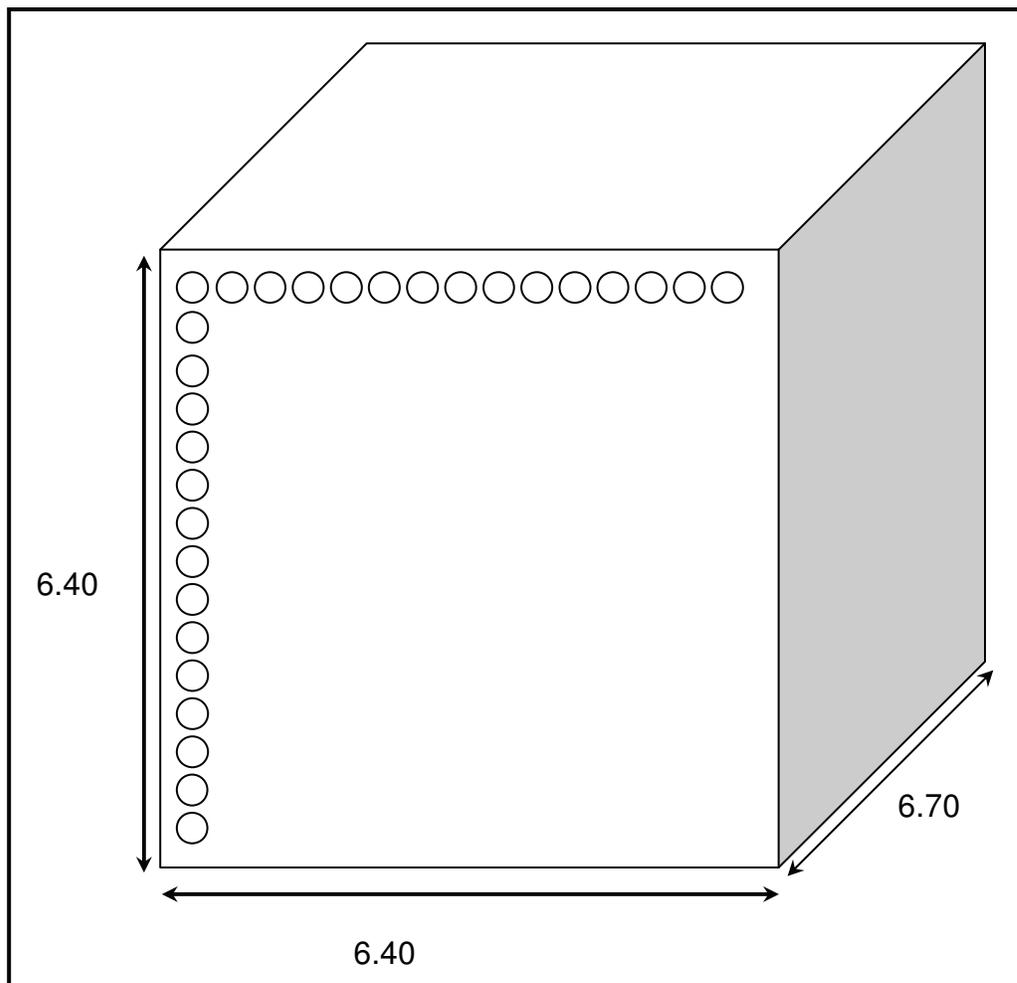
$Largo = Largo - tubería + Largo - codos + capa - hielo$

$$Largo = 601 + 2 * \left(8 \frac{1}{4} * 2.54\right) + 7 + 7$$

$Largo = 656.91cm$

El largo de los codos se determina por el diámetro de la tubería y codos a 180°. Anexo 5

**Figura 49. Dimensiones internas del tanque de agua helada**



El volumen total del tanque para el almacenamiento del agua helada es de:

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

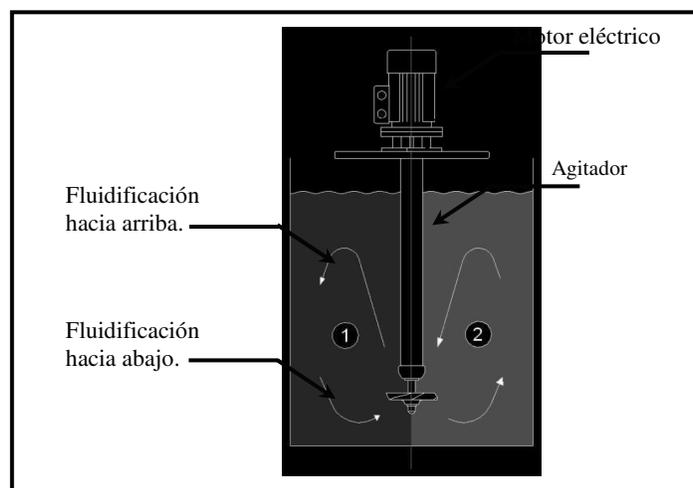
$$\text{Volumen} = 6.40 * 6.40 * 6.70$$

$$\text{Volumen} = 274 \text{Mts}^3$$

Necesitaremos un agitador de acoplado de engranaje (caja reductora), son eficientemente usados en productos con alta viscosidad o aplicaciones con altos volúmenes. Estos agitadores varían desde ¼ a 5 caballos de fuerza (HP), con una velocidad relativamente baja ya que si la mezcla se realiza de una manera muy movida, tendremos muchas perdidas al ambiente con lo cual estaremos elevando el costo de operación del sistema.

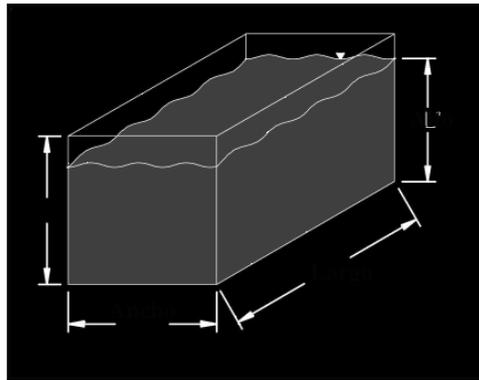
La fluidificación debe ser hacia abajo ya que el calor tiende a subir y es necesario mover gran cantidad de líquido.

**Figura 50. Fluidificación en un tanque de almacenamiento**



El tanque es rectangular por lo tanto la mejor instalación del agitador es la que no está en el medio del mismo, esto es para evitar fenómenos de rotación del líquido.

**Figura 51. Tanque de almacenamiento rectangular**



#### **4.2.1.4. Recibidor de baja presión**

Para formar hielo la temperatura del agua debe estar por debajo de 32 °F, como una regla general en refrigeración se estima que la temperatura del refrigerante deberá estar al menos en un rango de 10 a 15 °F por debajo de la temperatura deseada del agua. Para poder congelar el agua el amoníaco debe estar a 20 °F, ya que la presión de succión de trabajo esta relacionada directamente con la temperatura del refrigerante la cual depende del producto que se desea enfriar. De acuerdo a la tabla de saturación del amoníaco, (Ver anexo 6), a 20 °F le corresponde una presión manométrica de 33.5 psi, de esta manera se tiene un diferencial de 12 °F entre el refrigerante y el agua.

Para dimensionar el recibidor de baja presión debemos encontrar el flujo volumétrico al cual se da la vaporización. En el anexo 7 se da el flujo volumétrico de vapor en el evaporador por unidad de refrigeración.

$$\text{Flujo - Volumétrico - de - vapor} = 3.43 \frac{\text{pie}^3}{\text{min}} * TR$$

$$\text{Flujo - Volumétrico - de - vapor} = 3.43 \frac{\text{pie}^3}{\text{min}} * 79.24$$

$$\text{Flujo - Volumétrico - de - vapor} = 271.79 \frac{\text{pie}^3}{\text{min}}$$

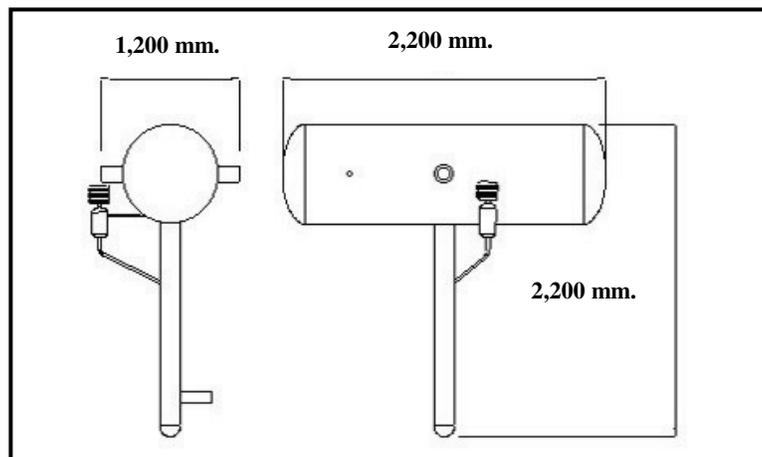
Convirtiendo a m<sup>3</sup> / hr.

$$\text{Flujo - Volumétrico - de - vapor} = 271.79 \frac{\text{pie}^3}{\text{min}} * \frac{0.0283 \text{lm}^3}{1 \text{pie}^3} * \frac{60 \text{Min.}}{1 \text{Hora}}$$

$$\text{Flujo - Volumétrico - de - vapor} = 461.67 \frac{\text{m}^3}{\text{hr}}$$

Un recibidor con funcionamiento por gravedad de 1,200 mm de diámetro externo (A), 2,200 mm de largo (L) y 2,200 mm de alta (H) tiene una capacidad de desplazamiento de 525 m<sup>3</sup> / hr con un factor de seguridad del 13.72%. El tanque debe ser dimensionado bajo código ASME para recipientes sometidos a presión y probados a 25 kg. / cm<sup>2</sup>.

**Figura 52. Recibidor de baja presión**



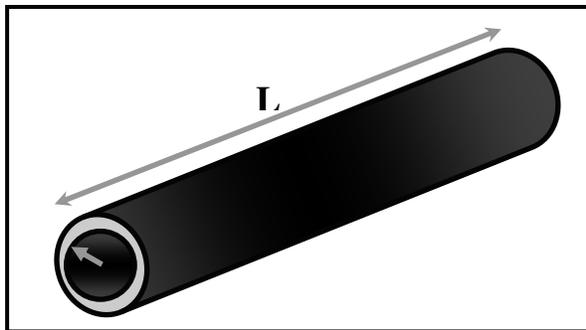
El receptor es provisto con conexiones para soldar a los siguientes elementos:

- Tubería de retorno al evaporador.
- Tubería de succión al compresor.
- Conexión para válvula de seguridad.
- Alimentación de líquido al separador.
- Inyección de líquido al separador.

#### 4.2.1.5. Receptor de alta presión

La teoría indica que el tanque debe ser dimensionado como mínimo con 1 ½ vez el volumen de la mayor carga de líquido a vaciar o descongelar. Para ello se calcula el volumen que ocupa el refrigerante en el sistema, en los serpentines del banco de hielo, asumiendo que se encuentran llenos de amoníaco líquido.

**Figura 53. Volumen del cilindro**



$$\text{Volumen - Cilindro} = \pi * r^2 * h$$

$r^2$  = Radio interno del tubo cedula 40. (0.05115 m)

h = Longitud de la tubería (6.01 m)

$$\text{Volumen - Cilindro} = \pi * (0.05115 \text{ m})^2 * (6.01 \text{ m})$$

$$\text{Volumen - Cilindro} = 0.04940 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen - del - evaporador} = \text{Volumen - cilindro} * \text{cantidad - total - de - tubos}$$

$$\text{Volumen - del - evaporador} = 0.05014 \text{ m}^3 * 225 \text{ tubos}$$

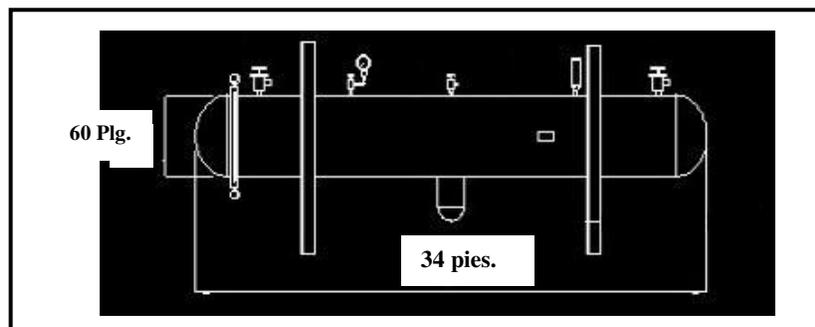
$$\text{Volumen - del - evaporador} = 11.11 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen - del - Re cibidor - de - baja - Pr esión} = 1.5 * 11.11 \text{ m}^3 * \frac{(3.2808 \text{ pie})^3}{1 \text{ m}^3}$$

$$\text{Volumen - del - Re cibidor - de - baja - Pr esión} = 588.50 \text{ pie}^3$$

Un recibidor de 60 pulgadas de diámetro externo (A) y 34 pies de largo (B) es capaz de almacenar un volumen de 600.85 pies<sup>3</sup>. Tiene una capacidad de almacenamiento de 22,231.38 libras de amoniaco líquido, más un margen del 10%. El tanque debe ser dimensionado bajo código ASME para recipientes sometidos a presión y probados a 25 kg. / cm<sup>2</sup>.

**Figura 54. Recibidor de alta presión**



Además el recibidor cuenta con los siguientes accesorios:

- 1 Válvula de aguja de 6" para la Entrada de líquido al recibidor.
- 1 Válvula de aguja de 2" para la salida del recibidor.
- 1 Juego de válvulas de seguridad de 1" ajustadas a 250 psig.
- 2 Válvulas de 1 1/2" para la igualación y purga del recibidor.

### 4.3. Soldadura de recipientes a presión

En recipientes a presión principalmente se encuentra la soldadura de las juntas, existen varios métodos para realizar juntas soldadas. En cada caso la elección depende de:

- Las circunstancias en que ha de realizarse la soldadura.
- Los requisitos del código.
- Los aspectos económicos.

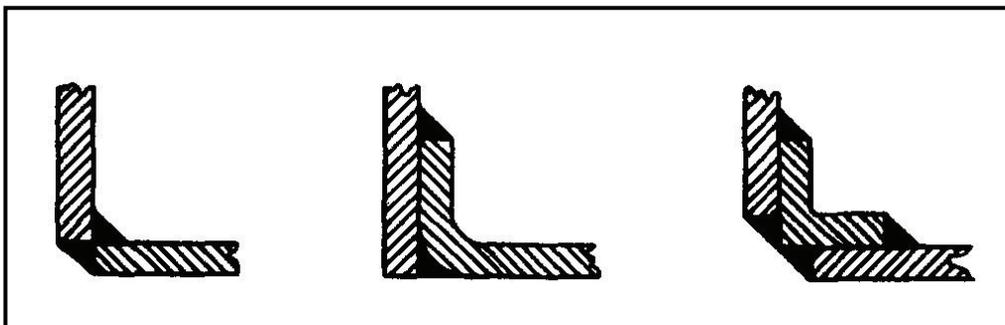
En el anexo 8 se presentan varios tipos de juntas y los principales símbolos de soldadura.

### 4.4. Tanques rectangulares

Debido a su forma mecánicamente débil, los tanques rectangulares se utilizan para presiones hidrostáticas bajas. Se prefiere utilizar dichos tanques por la facilidad de fabricación y buena utilización de espacio.

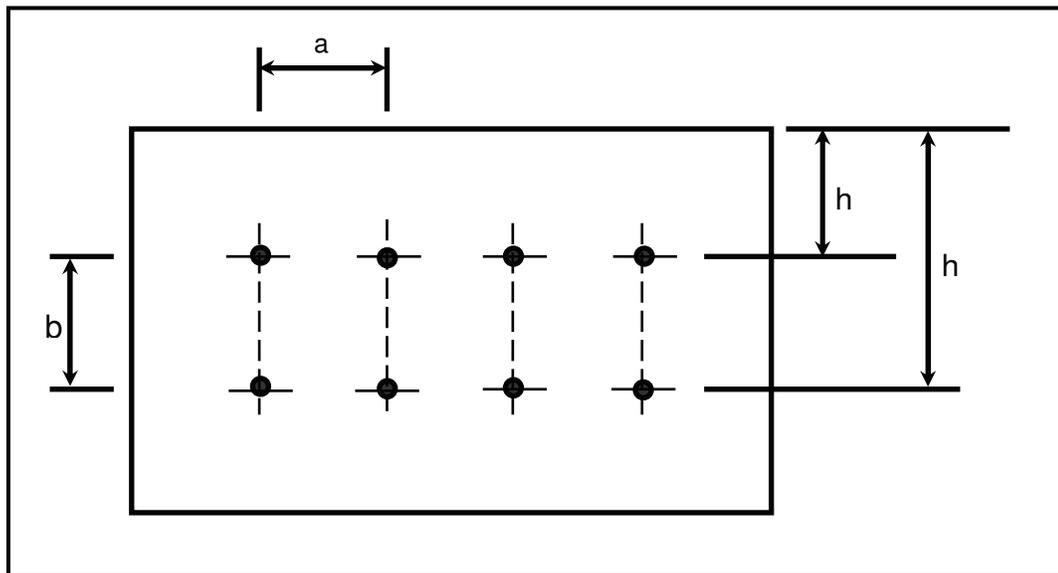
Los tanques sin elementos endurecedores no pueden ser mayores de 30 pies<sup>3</sup> de capacidad; los que si llevan tendrán menos de 140 pies<sup>3</sup> de capacidad. Para los de mayor capacidad se utilizan tirantes por razones económicas.

**Figura 55. Tipos de juntas soldadas recomendadas para los bordes de las placas**



El volumen del tanque de almacenamiento de agua helada es de 274 metros<sup>3</sup> aproximadamente 9,675.87 pies<sup>3</sup>, entonces para el diseño del tanque de almacenamiento de agua helada hay que tomar en cuenta lo siguiente:

**Figura 56. Placa con tirantes a un paso horizontal a y un paso vertical b**



Donde:

$A$  = Área requerida de sección transversal del tirante,  $\text{plg}^2$ .

$a$  = Paso horizontal,  $\text{plg}$ .

$b$  = paso vertical,  $\text{plg}$ .

$G$  = densidad relativa del líquido. (Agua Anexo 9)

$P$  = presión del líquido,  $\text{lb}$ .

$S$  = valor de esfuerzo del material del tirante,  $\text{lb} / \text{plg}^2$ .

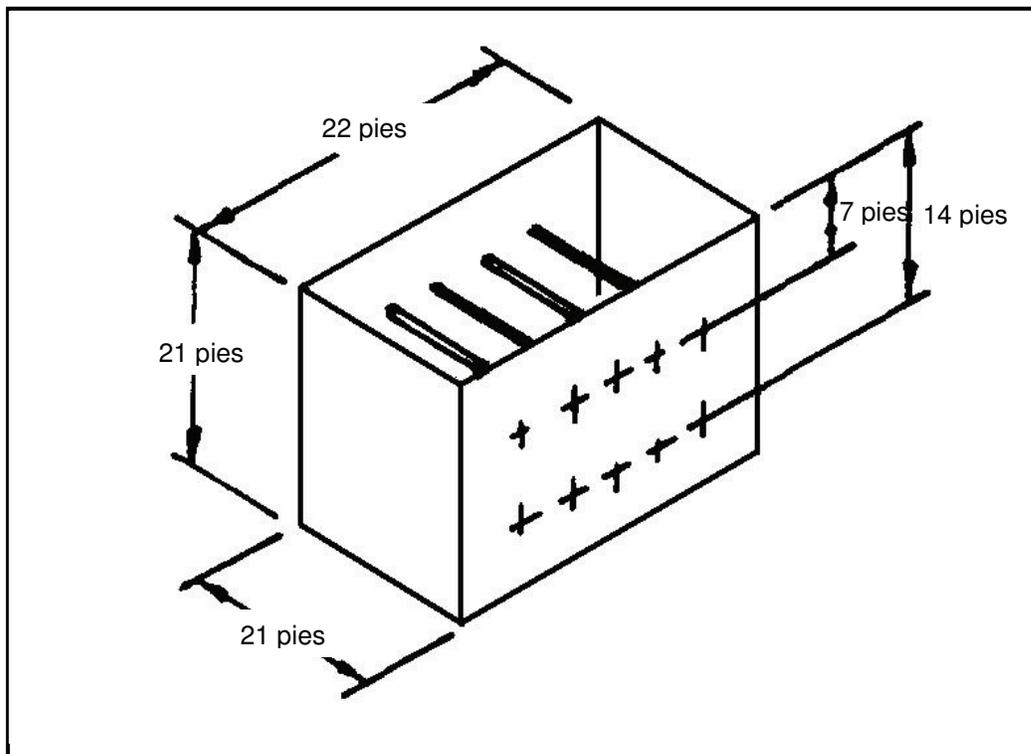
$t$  = espesor de placa requerido,  $\text{plg}$ .

Los datos para el diseño del tanque de almacenamiento de agua se detallan en la siguiente tabla:

**Tabla VIII. Datos para el diseño del tanque de almacenamiento de agua**

<b>Longitud</b>	6.70	Metros
<b>Ancho</b>	6.40	Metros
<b>Altura</b>	6.40	Metros
<b>A</b>	84	Pulgadas
<b>B</b>	84	Pulgadas
<b>G</b>	1	Densidad Relativa del agua.
<b>S</b>	20,000	Lb. / plg <sup>2</sup> .

**Figura 57. Detalle de las distancias entre tirantes en el tanque de almacenamiento de agua helada**



Ahora se calcula el espesor de la placa, de la siguiente manera:

Cuando  $a \approx b$ , entonces:

$$t = \frac{b}{200} \sqrt{0.036Gh}$$

$$t = \frac{84}{200} * \sqrt{0.036x1x168}$$

$$t = 1 \frac{1}{16} \text{ Plg.}$$

Como lo indica Eugene F. Megyesy en el manual de recipientes a presión en la sección reglas de las normas relacionadas con diversos servicios página 151 (Anexo 10), los recipientes con espesor mínimo requerido menor de  $\frac{1}{4}$  de pulgada que hayan de usarse para servicio de agua deberán tener un margen por corrosión no menor de  $\frac{1}{6}$  del espesor de placa calculado. Entonces el espesor de la placa a utilizar es:

$$t = 1 \frac{1}{16} + \frac{1}{6} = 1 \frac{3}{16} \text{ Plg.}$$

Las reglas aplicables de las normas con relación a diferentes espesores de pared (Anexo 11) del recipiente son:

- Las aberturas sencillas soldadas para tubo hasta de 2 plg., no requieren refuerzo.
- Las juntas soldadas de recipientes a presión sujetos a fuego directo comprenden en la categoría B serán del tipo (1) o (2). Requieren tratamiento térmico posterior a la soldadura.
- No deben usarse placas de acero que correspondan a las especificaciones SA-36 y SA-283.
- El espesor máximo del refuerzo para soldaduras a tope es  $\frac{3}{16}$  Plg.
- Para uniones circunferenciales o longitudinales se usarán juntas a tope con doble soldadura o juntas a tope con soldadura sencilla y solera de respaldo.

La carga que actúa sobre el tirante es:

$$P = axbx0.036xGxh$$

El área requerida de sección transversal del tirante:

$$A = \frac{P}{S}$$

Entonces la carga que actúa sobre el tirante que esta a 14 pies es:

$$P_2 = 84x84x0.036x1x168$$

$$P_2 = 42,674.69Lb.$$

El área transversal del tirante es:

$$A_2 = \frac{42,674.69Lb.}{20,000 \frac{Lb.}{Plg.^2}}$$

$$A_2 = 2 \frac{2}{16} plg.^2$$

Varillas de 2 2/16 plg.<sup>2</sup> Ø.

La carga que actúa sobre el tirante que esta a 7 pies es:

$$P_1 = 84x84x0.036x1x84$$

$$P_1 = 21,337.34Lb.$$

El área transversal del tirante es:

$$A_1 = \frac{21,337.34Lb.}{20,000 \frac{Lb.}{Plg.^2}}$$

$$A_1 = 1 \frac{1}{16} plg.^2$$

Varillas de 1 1/16 plg.<sup>2</sup> Ø.

## 4.5. Pintura

La pintura tiene como objetivo principal la conservación de las superficies, debe ser adecuada para resistir los efectos del medio, el calor, el impacto, la abrasión y la acción de las sustancias químicas; evitando el contacto de los agentes corrosivos con la superficie y por la acción inhibidora de la oxidación debida a las propiedades electroquímicas del material de la pintura.

Para lograr una buena aplicación de pintura es necesario el desprendimiento de las escamas de laminación, la herrumbre, suciedad, grasa, aceite y materia extraña.

Un galón de pintura cubre 1,600 pies cuadrados de superficie con una película de 1 milésima de pulgada de espesor, estando húmeda. El espesor seco se determina por el contenido sólido (no volátil) de la pintura, el cual puede hallarse en las indicaciones del fabricante. Si el contenido de sólidos por volumen es, por ejemplo de 60%, la cobertura máxima en seco (régimen de extendido) estará teóricamente entre  $1,600 \times 0.6 = 960$  pies cuadrados.

Con lo que respecta a las láminas que conformaran el tanque de almacenamiento de agua helada se aplicara un sistema de pintura epoxica como lo indica Eugene F. Megyesy en el manual de recipientes a presión en la sección sistemas de pinturas página 220 (Anexo 12). Las condiciones de operación del sistema es exposición industrial, medio marítimo, inmersión en agua fresca y salada, y áreas sujetas a exposición química tal como ácidos y álcalis.

Las pinturas epoxicas son recubrimientos de alta resistencia a diferentes ataques, están compuestas en su mayoría por una parte que contiene la resina epoxica y en la otra parte el reactor o endurecedor que normalmente son a base aminas o poliamidas. Entre sus características se destaca la gran resistencia química, sin que le afecte los disolventes ni los aceites o grasas. Gran resistencia a la abrasión y tráfico pesado, excelente adherencia sobre cemento, presenta buena resistencia a los agentes atmosféricos, pero puede decolorarse debido al efecto de los rayos ultravioletas.

#### 4.6. Análisis de costos

##### 4.6.1. Costos de materiales y equipos

El sistema propuesto involucra la adquisición de nuevos equipos y accesorios correspondientes para la adecuada operación.

**Tabla IX. Costo de equipos del sistema de refrigeración con Banco de Hielo**

Equipo	Capacidad	Valor US\$
Banco de Hielo	99,100 lbs.	93,720
Bomba agua helada	120 gpm	4,000
Arrancador del motor bomba	5 HP	150
Recibidor de baja presión	60" x 34'	15,000
Recibidor de alta presión	60" x 20'	6,600
Válvulas y accesorios		5,200
Evaporador de Aire	28 TR	1,243
Compresor recíprocante	90 TR	25,500
Motor Compresor 1,800 rpm	75 HP	2,200
Arrancador Part Winding	75 HP	850
Condensador evaporativo	60 TR	8,250
<b>Total</b>		<b>US\$ 162,713</b>

Estos precios son de los equipos puestos en fábrica, hay que tomar en cuenta que el Banco de Hielo y el evaporador de Aire son de fabricación local. Para realizar el cálculo de los equipos puestos en Guatemala hay que agregar un 35% por concepto de impuestos, fleteo y otros.

El costo de los equipos puestos en Guatemala es de: **US\$ 186,425.50**

#### 4.6.2. Costo de fabricación

El costo de fabricación del banco de hielo, implica solamente la batería de enfriamiento; lo cual se detalla a continuación.

**Tabla X. Costo de fabricación del evaporador principal del banco de hielo**

<b>Detalle</b>	<b>Material</b>	<b>Mano de Obra</b>	<b>Costo</b>
Tubería 4" SCH 40	35,966	1,200	37,166
Lamina tanque almacenamiento	33,600	21,600	55,200
Soportes	719	60	779
Válvulas y accesorios	525	50	575
<b>Total</b>			<b>US\$ 93,720</b>

El costo de fabricación del Evaporador de Aire es en tubería galvanizada de 2 pulgadas, válvulas y soportes; el cual se detalla a continuación:

**Tabla XI. Costo de fabricación del evaporador de aire**

<b>Detalle</b>	<b>Material</b>	<b>Mano de Obra</b>	<b>Costo</b>
Tubería 2" galvanizada	780	150	930
Soportes	63	50	113
Válvulas y accesorios	175	25	200
<b>Total</b>			<b>US\$ 1,243</b>

#### **4.6.3. Costo de instalación**

La instalación de los diferentes equipos que componen el sistema se detalla en los siguientes apartados:

El montaje del compresor 448 incluye la fabricación de la base, montaje del compresor; conexiones eléctricas. Tubería de agua para el enfriamiento de aceite.

La instalación del condensador evaporativo incluye la fabricación de la base, montaje del condensador evaporativo. Tubería de suministro de agua, tubería de rebalse y drenaje. Conexiones eléctricas de la bomba de recirculación y ventilador centrífugo.

El montaje del banco de hielo incluye la instalación del recibidor de alta y baja, la conexión de la tubería de succión y descarga del refrigerante. La tubería de suministro de agua, tubería de recirculación de agua helada y finalmente la tubería de circulación por el intercambiador. Conexiones eléctricas.

Como el sistema de refrigeración es un circuito cerrado, las tuberías por donde circulara el refrigerante tanto en estado líquido como gas se harán de acuerdo con las siguientes especificaciones:

- Línea de descarga del compresor al condensador, tubería de 2 pulgadas de diámetro cédula 40 sin costura.
- Línea del condensador al recibidor de amoniaco de alta presión con tubería de 1 ½ pulgada de diámetro cedula 40 sin costura.
- Línea de ecualización entre el condensador y recibidor de alta presión con tubería de 1 pulgada de diámetro cedula 40 sin costura.
- Línea de liquido hacia el recibidor del banco de hielo con tubería de 1 pulgada de diámetro cedula 40 sin costura.
- Línea de amoniaco gas, desde el recibidor de baja presión hasta la succión del compresor con tubería de 3 pulgadas de diámetro cédula 40 sin costura. Aislamiento de 2 pulgadas de espesor.

**Tabla XII. Costos de instalación del sistema de refrigeración**

<b>Detalle</b>	<b>Mano de Obra</b>	<b>Costo de Materiales</b>	<b>Costo US\$</b>
Tubería Hg recirculación del agua	100	500	600
Válvulas y accesorios	200	900	1,100
Montaje del compresor	2,500	300	2,800
Montaje del condensador	1,900	1,200	3,100
Montaje del Banco de Hielo	2,300	850	3,150
Montaje líneas de amoníaco	3,000	4,500	7,500
Aislamiento de la línea de succión	1,600	2,900	4,500
Carga del refrigerante	500	4,600	5,100
<b>Total</b>			<b>27,850</b>

#### 4.6.4. Costo operativo

Se determina como la suma de todos los servicios, materiales, insumos y mano de obra que son necesarios para la operación del sistema de refrigeración con banco de hielo.

Para la operación se utiliza: Agua Tratada, químicos para evitar la formación de algas dentro del tanque de almacenamiento de agua, electricidad para el accionamiento de todos los motores del sistema y el operador del sistema.

El costo eléctrico se calcula sobre el consumo promedio de kilovatios hora (de acuerdo con las especificaciones de los fabricantes de los equipos) por las horas de operación diarias de cada uno y finalmente por el costo del kilovatio.

El costo del kilovatio se calculó sobre el cobro promedio que realiza la Empresa Eléctrica de Guatemala, según recibo del mes de marzo del 2009, incluyendo el Iva y la Tasa Municipal.

El costo diario del operador se calcula sobre un empleado con salario mensual de Q. 2,800.00 mas el 33.5% por prestaciones laborales.

$$\text{Costo} - \text{mano} - \text{obra} - \text{operador} = \frac{Q.2,800}{\text{mes}} * 1.335 * \frac{1\text{mes}}{22\text{dias}} * \frac{1\text{dia}}{8\text{hrs}}$$

$$\text{Costo} - \text{mano} - \text{obra} - \text{operador} = \frac{Q.21.24}{\text{hr}} * \frac{US\$.1.00}{Q.8.00} = US\$.2.65 \frac{US\$.2.65}{\text{hr}}$$

**Tabla XIII. Costos operativos del sistema de refrigeración**

<b>Detalle</b>	<b>Costo Unitario</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Sub total</b>
Agua tratada	0.98/ Galón	40 Galones	39.20
Químico tratamiento	20.00 / Galón	2 Galones	40
Electricidad	0.167/Kw	480	80.01
Mano de obra operador	2.65/hr	12	31.80
<b>Costo de operación diario</b>			<b>US\$ 191.01</b>
<b>Costo de operación anual</b>			<b>US\$ 68,763.60</b>

**4.6.5. Costo de mantenimiento**

El tipo de mantenimiento al que se refiere es del tipo preventivo, basado en las recomendaciones de los fabricantes de los equipos.

**Tabla XIV. Costo de mantenimiento del sistema**

<b>Equipo</b>	<b>Costo Mano de Obra Anual</b>	<b>Costo de Materiales Anual</b>	<b>Sub Total Anual</b>
Compresor reciprocante	250	1,255	1,505
Banco de Hielo	300	678	978
Recibidores	100	650	750
Condensador evaporativo	360	700	1,060
<b>Total de mantenimiento anual</b>			<b>US\$ 4,293</b>



## **5. SEGUIMIENTO, MEJORA CONTINUA**

Para construir correctamente la batería de enfriamiento es necesaria una serie de detalles constructivos los cuales se brindan a continuación.

### **5.1. Instrucciones de construcción**

#### **5.1.1. Tanque de almacenamiento de agua helada**

El tanque de almacenamiento de agua helada esta constituido por la lámina primaria y la lámina secundaria, y en el intermedio de un aislante. Las dimensiones internas del tanque son: ancho 6.40 metros, alto 6.40 metros y una longitud de 6.70 metros. Construido por placas de 1 3/16 de espesor y 4 pies de ancho, 8 pies de largo con un recubrimiento de pintura epóxica grado alimenticio de color blanco. El cálculo de las dimensiones del tanque de almacenamiento de agua helada se indican el la sección 4.2.1.3.

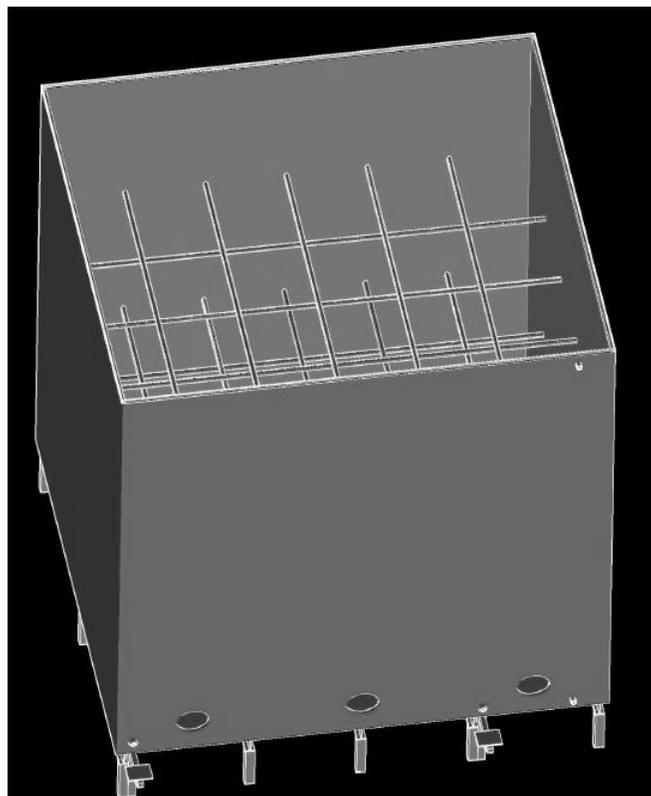
El chequeo de densidad del alguicida utilizado para la prevención de la formación de las algas dentro del tanque debe de ser de una semana, reponiéndolo si fuera necesario de acuerdo a la casa distribuidora y reemplazar toda el agua cuando el químico utilizado este saturado.

Agregar una serie de filtros de sedimentación en la entrada de agua fresca para evitar la formación sedimentaria tanto dentro del tanque de agua helada como del evaporador principal. La revisión de los filtros debe ser semanal y su reemplazo cuando el filtro se encuentre saturado.

Chequear que el flote de agua fresca este en buenas condiciones de operación para evitar el derrame de agua fresca en el sistema, este chequeo debe ser de forma semanal.

Es necesario revisar cada año la presencia de puntos de oxidación, si esto ocurre deberán limpiarse profundamente, no pulir a menos que sea necesario, ya que esto reduce el espesor de la pared, aplicar algún removedor de óxido es lo mas recomendable, usar una base selladora como el cromato de zinc.

**Figura 58. Tanque de almacenamiento de agua helada**

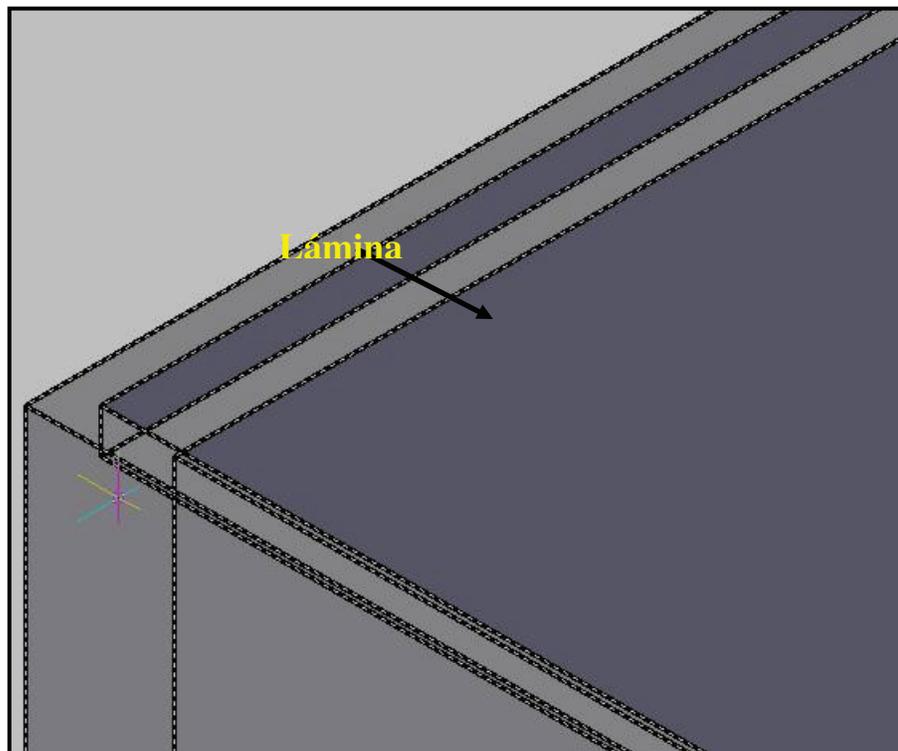


### 5.1.1.1. Lámina primaria

La Lámina primaria es la lámina interna del tanque de almacenamiento de agua esta compuesta de placas de  $1 \frac{3}{16}$  pulgadas de espesor, 4 pies de ancho y 8 pies de largo. Con recubrimiento de pintura epóxica de color blanco grado alimenticio.

Anualmente se hace necesario revisar la oxidación, si esto ocurre deberán limpiarse profundamente, no pulir a menos que sea necesario, ya que esto reduce el espesor de la pared, aplicar algún removedor de óxido es lo más recomendable, usar una base selladora como el cromato de zinc.

**Figura 59. Lámina primaria del tanque de almacenamiento de agua**

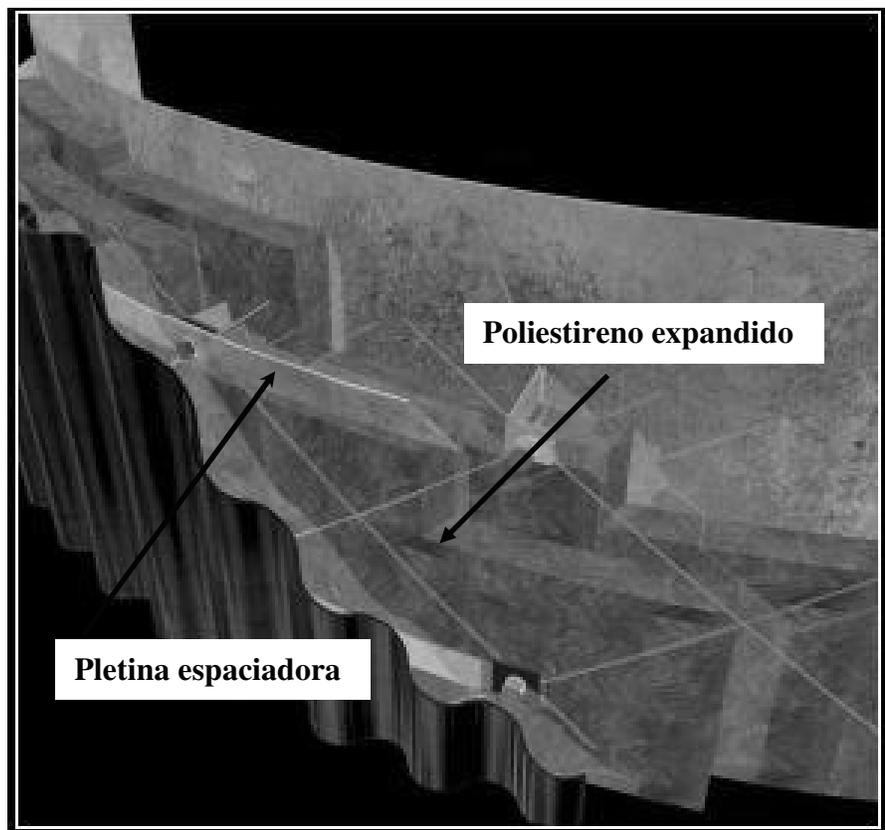


### 5.1.1.2. Aislamiento térmico

El aislamiento del tanque de almacenamiento de agua es con Poliéstireno expandido en planchas de 2 pulgadas de espesor, 2 pies de ancho y 4 pies de largo, recubriendo todo el tanque de almacenamiento de agua helada y con pletinas espaciadoras para su respectiva colocación.

Revisar la cantidad de humedad del aislante térmico de forma anual al momento de hacer el trabajo de desincrustación del tanque de almacenamiento de agua helada. Cambiar la plancha de poliéstireno expandido de ser necesario.

**Figura 60. Aislamiento térmico con poliéstireno expandido**

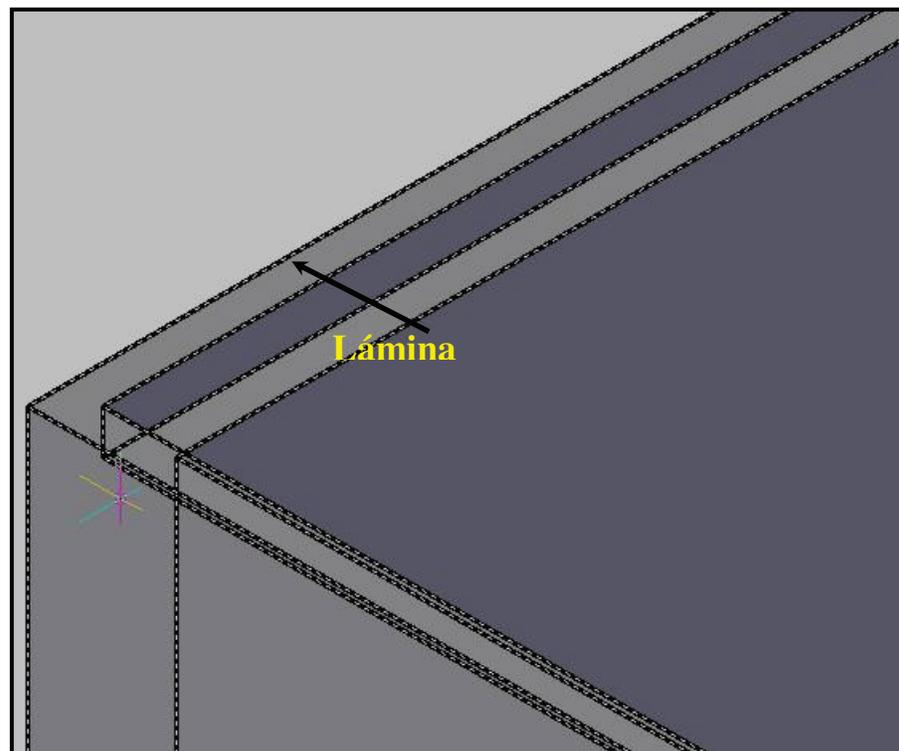


### 5.1.1.3. Lámina secundaria

La lámina secundaria es la que se encuentra inmediatamente después de la plancha del aislamiento térmico de poliestireno expandido. Esta compuesta por placas de un espesor de 3/8 de pulgada, 4 pies de ancho y 8 pies de largo. Recubierta de pintura epóxica de color blanco grado alimenticio.

Revisión de puntos de oxidación, no pulir a menos que sea necesario, ya que esto reduce el espesor de la pared, aplicar algún removedor de oxido, usar una base selladora como el cromato de zinc.

**Figura 61. Lámina secundaria del tanque de almacenamiento de agua**

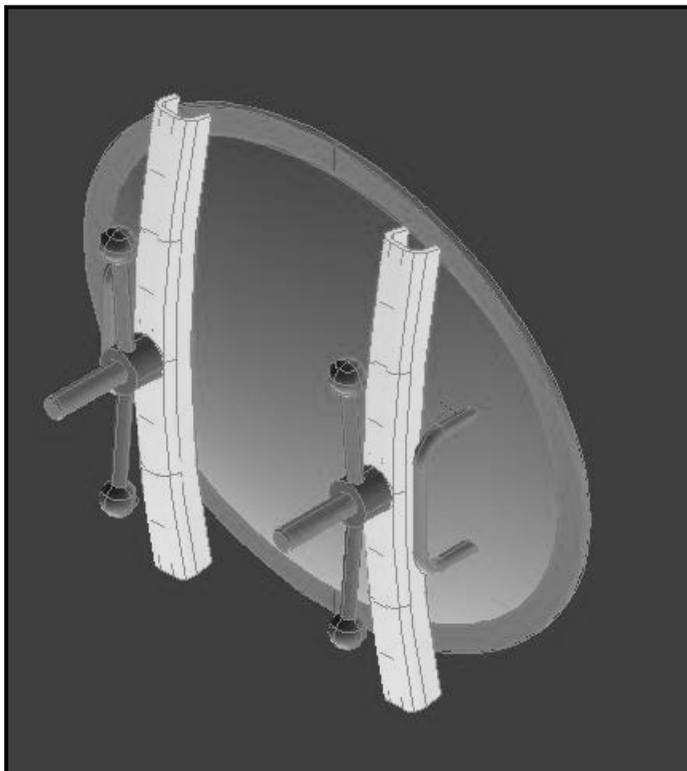


#### 5.1.1.4. Visor del evaporador

Está compuesto por una compuerta de 1 metro de diámetro, con dos agarradores para su manipulación y con dos soportes para su fijación al tanque de almacenamiento de agua helada. Provista de un empaque interno de viton grado alimenticio para su respectivo sello. Recubierta con pintura epóxica de color blanco grado alimenticio.

El cambio del sello de viton se realiza de forma anual. La revisión de puntos de oxidación, aplicación de algún removedor de oxido, usar una base selladora como el cromato de zinc y aplicación de pintura también es una rutina anual.

**Figura 62. Visor del evaporador principal**

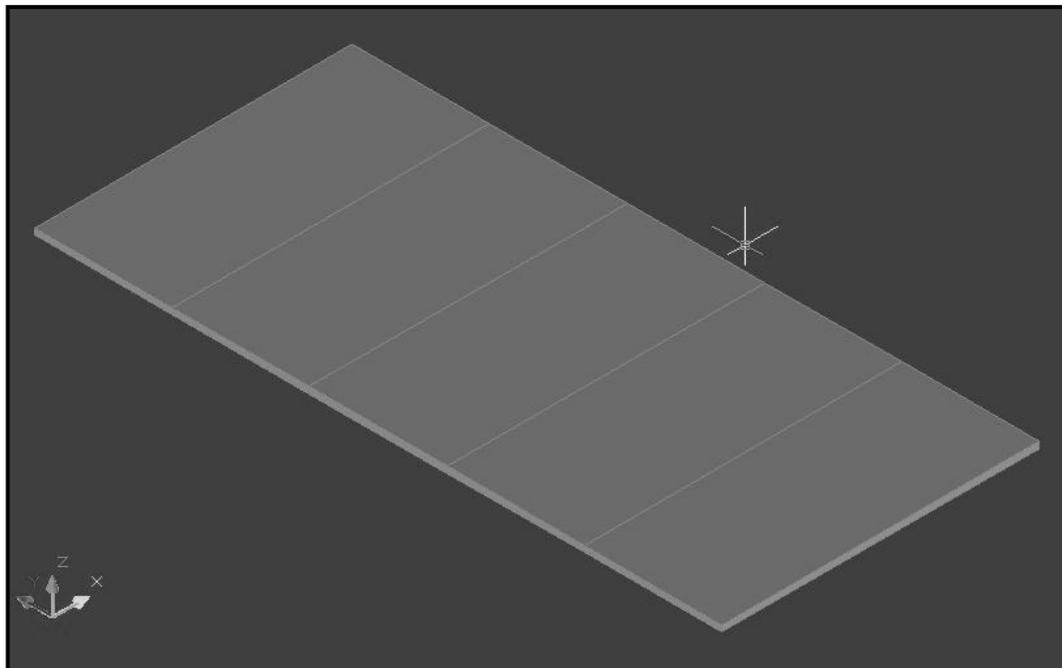


#### 5.1.1.5. Cubierta o tapa del banco de hielo

La cubierta del banco de hielo es la encargada del cierre del tanque de almacenamiento de agua helada, son placas de acero negro de 3/16 de espesor con un recubrimiento de pintura epóxica de color blanco grado alimenticio.

Anualmente se hace necesario revisar la oxidación, si esto ocurre deberán limpiarse profundamente, no pulir a menos que sea necesario, ya que esto reduce el espesor de la pared, aplicar algún removedor de oxido es lo mas recomendable, usar una base selladora como el cromato de zinc.

**Figura 63. Cubierta o tapa del banco de hielo**

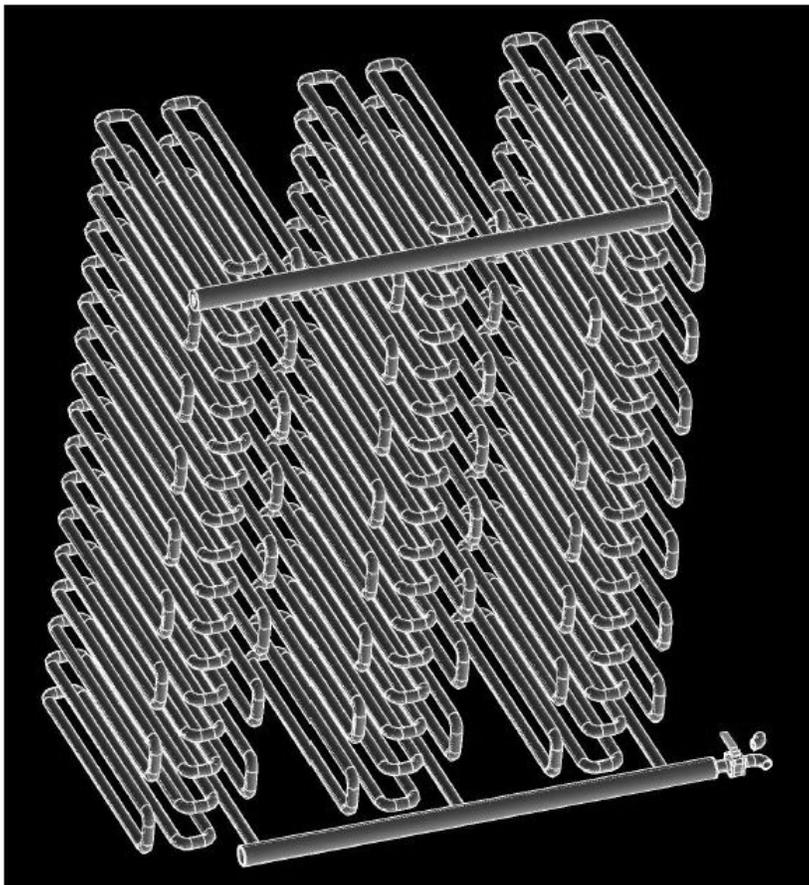


### 5.1.2. Evaporador de aire

El evaporador de aire está constituido por 32 tubos galvanizados de 2 pulgadas de diámetro, con una longitud de 3 metros cada uno. El cálculo de las dimensiones del evaporador de aire se indican en la sección 4.1.2.

Mensualmente debe realizarse una revisión visual de fugas en las uniones y conexiones de la tubería y colector. Así como el buen funcionamiento de las válvulas de circulación de agua.

**Figura 64. Evaporador de aire**

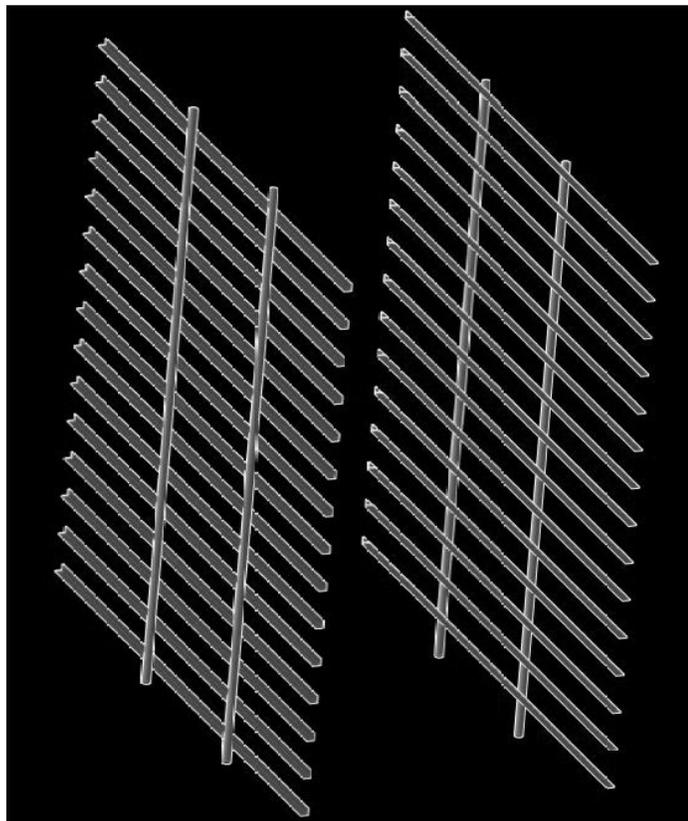


### 5.1.2.1. Soporte del evaporador

El soporte del evaporador principal es el que le brinda sostenimiento a la estructura del evaporador principal. Esta es construido de hembra de  $\frac{1}{4}$  de espesor 6.4 metros de largo y dos soportes a una distancia de 2.15 metros de los extremos, con una separación de 0.418 metros entre soporte. Ver sección 5.1.9.

La inspección de las uniones soldadas, limpieza de los puntos de oxidación y aplicación de un removedor de óxido y aplicación de pintura de la estructura tiene una rutina de mantenimiento anual.

**Figura 65. Soporte del evaporador principal**

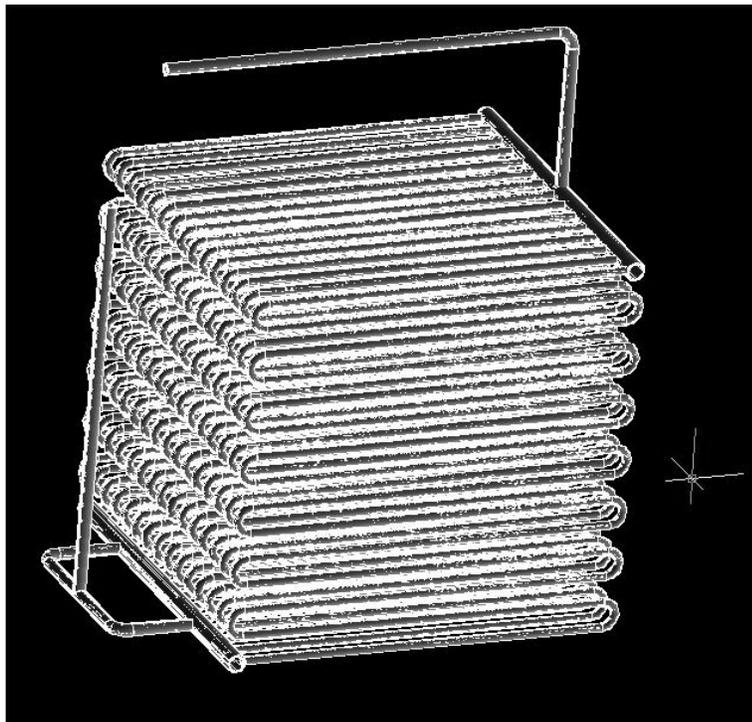


### 5.1.2.2. Evaporador principal

El evaporador principal esta constituido por 15 x 15 parrillas con tubos de acero negro cédula 40 de 4 pulgadas de diámetro y 6.01 metros de largo. El cálculo de las dimensiones del evaporador principal se indica en la sección 4.2.1.

La rutina de mantenimiento se realiza anualmente inspeccionando visualmente fugas en las uniones soldadas y conexiones de la tubería al colector. Estado físico de las paredes de los tubos para evitar las fugas del agente refrigerante.

**Figura 66. Evaporador principal**

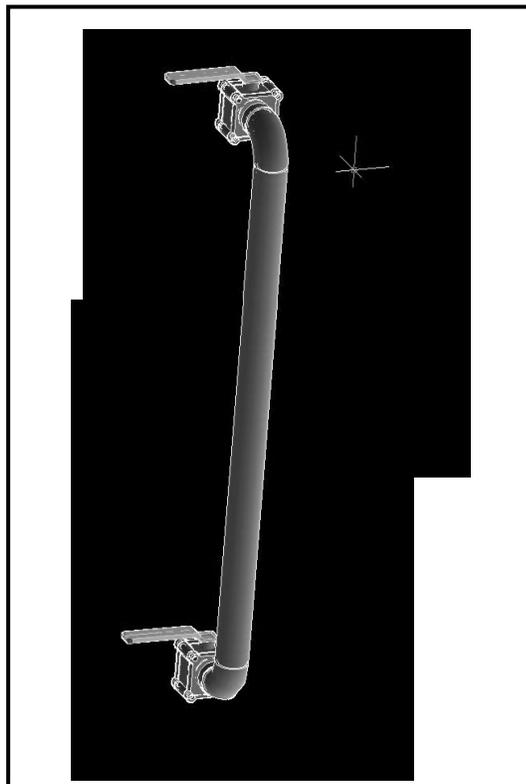


### 5.1.3. Visor nivel del tanque de almacenamiento de agua

El visor es el que indica el nivel de agua en el tanque de almacenamiento de agua helada. Esta constituido por dos válvulas de globo de 2 pulgadas y un visor de tubo transparente de Silicon de 2 pulgadas.

La inspección del buen funcionamiento de las válvulas de circulación de agua, fugas en conexiones y uniones se realiza de forma mensual como parte del mantenimiento.

**Figura 67. Visor nivel del tanque de almacenamiento de agua**

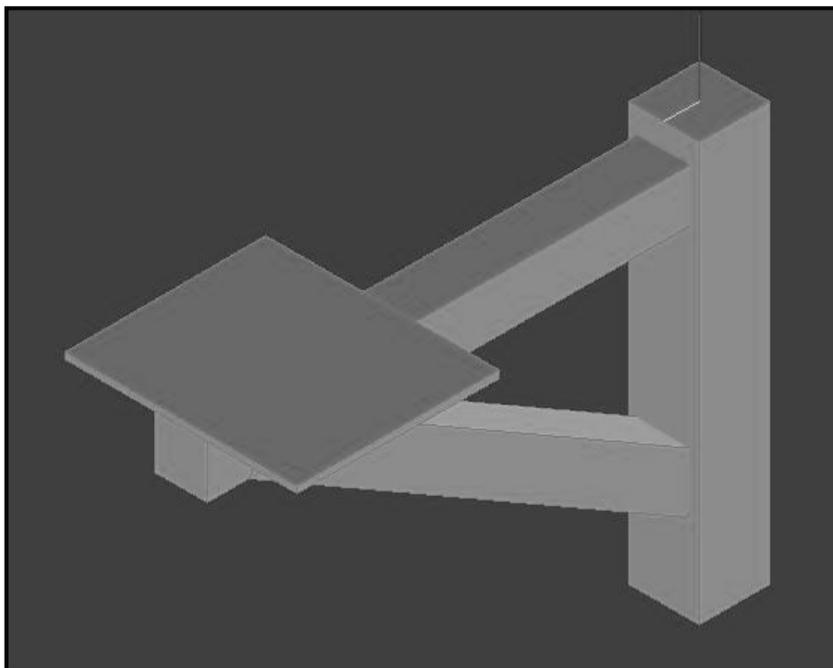


#### 5.1.4. Soporte bombas de agua helada

Los soportes están constituidos por tubos cuadrados de 2 pulgadas de ancho y alto. Con recubrimiento de pintura epóxica de color blanco y grado alimenticio.

Es necesario revisar la presencia de puntos de oxidación, si esto ocurre deberán limpiarse profundamente, aplicar algún removedor de oxido, usar una base selladora como el cromato de zinc.

**Figura 68. Soporte bombas de agua helada**

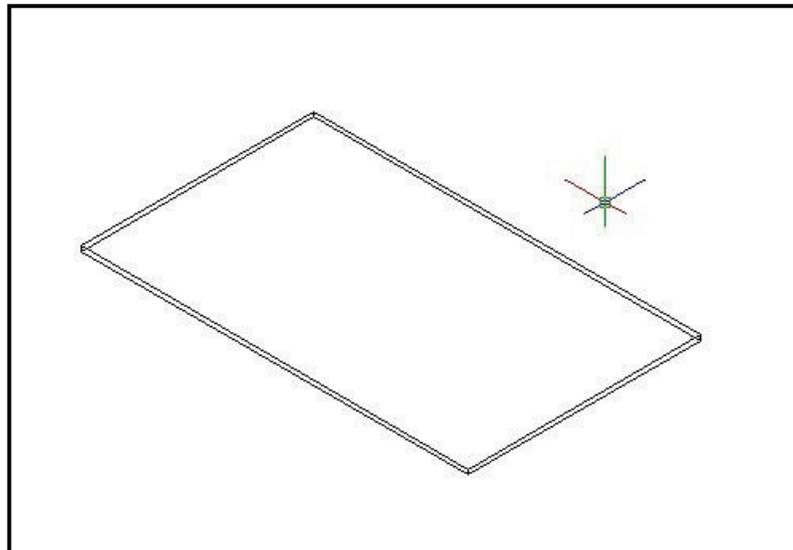


### 5.1.5. Soporte del agitador

El soporte del agitador esta constituido por una placa de 3/16 de espesor y 15 pulgadas de largo y 15 pulgadas de ancho. Recubrimiento de pintura epóxica de color blanco grado alimenticio.

La inspección de las uniones soldadas, limpieza de los puntos de oxidación y aplicación de un removedor de óxido y aplicación de pintura de la estructura tiene una rutina de mantenimiento anual.

**Figura 69. Soporte del agitador**



### 5.1.6. Recibidor de alta y baja presión

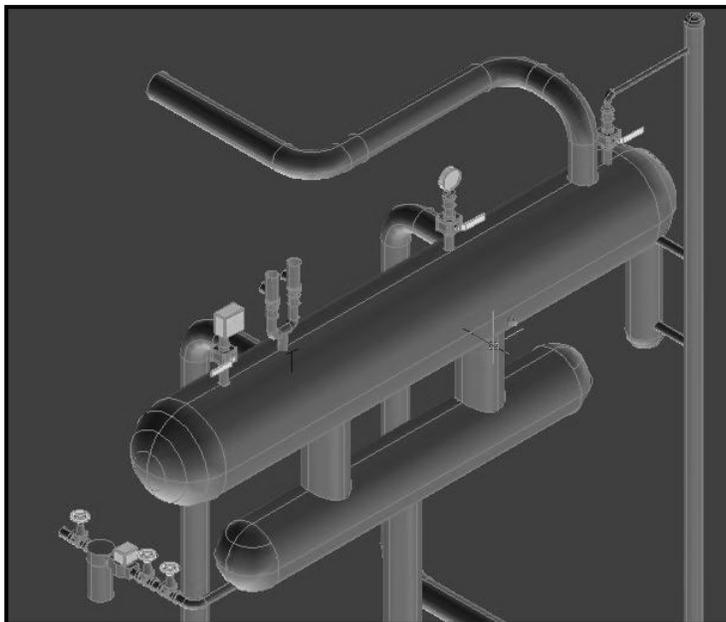
El recibidor de alta presión tiene unas dimensiones de 60 pulgadas de diámetro y 34 pies de largo.

El recibidor de baja presión tiene unas dimensiones de 1,200 milímetros de diámetro, 2,200 milímetros de largo y 2,200 milímetros de alto.

El cálculo de las dimensiones del recibidor de baja y alta presión se indica en la sección 4.2.1.4 y 4.2.1.5

La inspección de fugas en las uniones soldadas, limpieza de los puntos de oxidación y aplicación de un removedor de óxido y aplicación de pintura de la estructura tiene una rutina de mantenimiento anual.

**Figura 70. Recibidor de alta y baja presión**

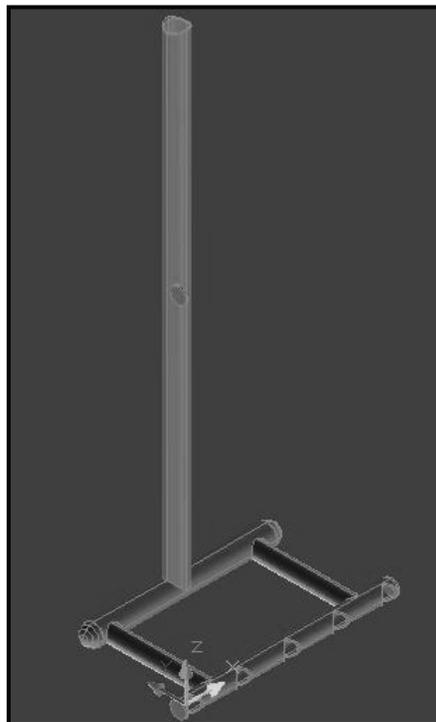


### 5.1.7. Bajante de líquido

Tiene una altura de 2,200 milímetros de alto con un diámetro de 4 pulgadas, construido con tubo de acero negro cedula 40 sin costura. El cálculo de las dimensiones del bajante de líquido se indica en la sección 4.2.1.4.

Es necesario revisar cada 6 meses la presencia de oxidación, si esto ocurre debe limpiarse profundamente, no pulir a menos que sea necesario, ya que esto reduce el espesor de la pared, aplicar algún removedor de óxido, usar una base selladora como el cromato de zinc y pintura epóxica; también se debe de verificar la humedad en el aislamiento térmico aplicado al bajante.

**Figura 71. Bajante de líquido**

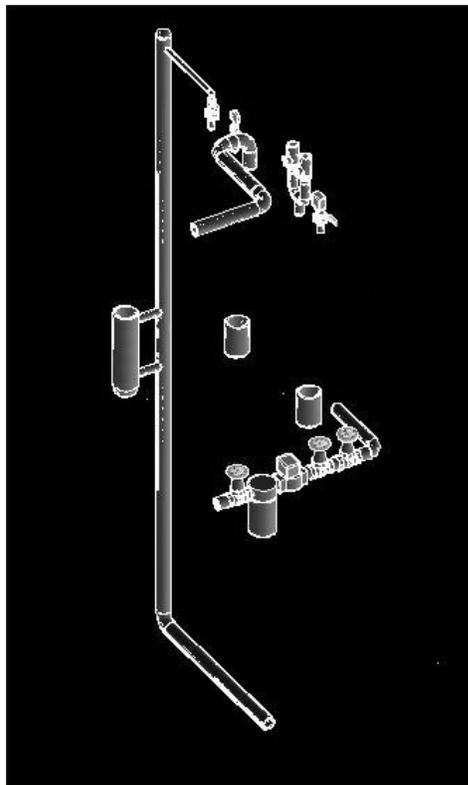


### 5.1.8. Tubería de amoníaco

La tubería de amoníaco se refiere a todas las conexiones tanto en alta como en baja. En alta se tiene el ingreso al receptor de alta presión y en el lado de baja la conexión del evaporador principal al receptor de baja presión y de éste a la salida de la succión.

La inspección del fugas en uniones soldadas, aplicación de pintura y cambio de ser necesario del aislamiento térmico de la tubería de amoníaco se realiza con una frecuencia anual.

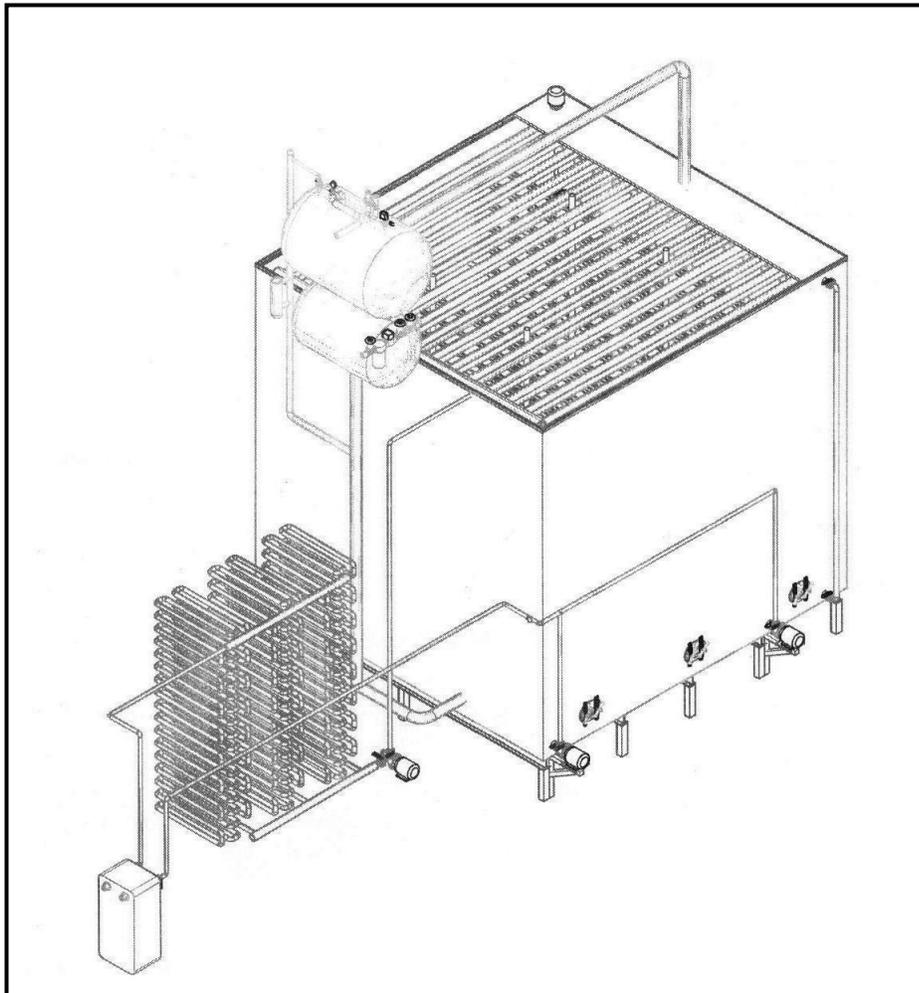
**Figura 72. Tubería de amoníaco**

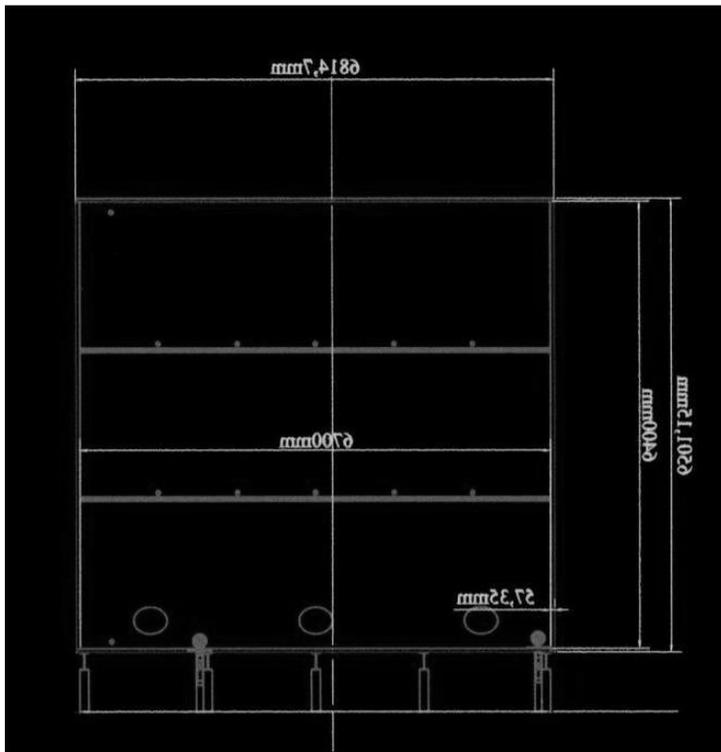
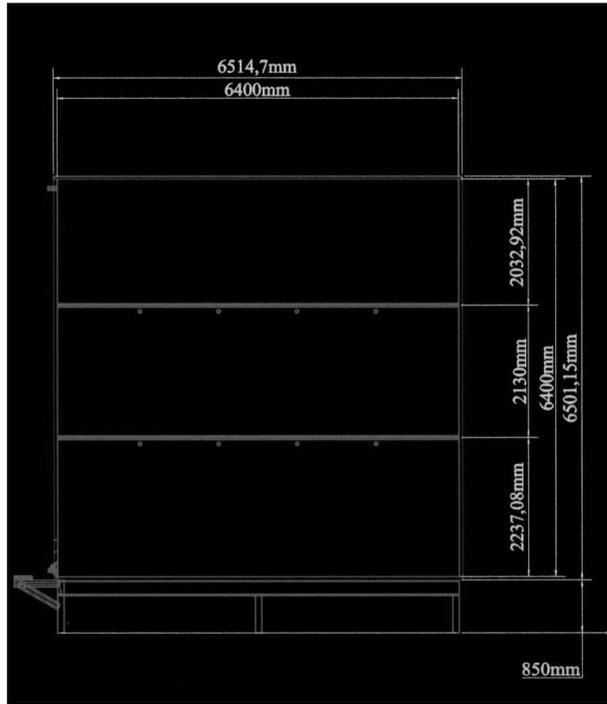


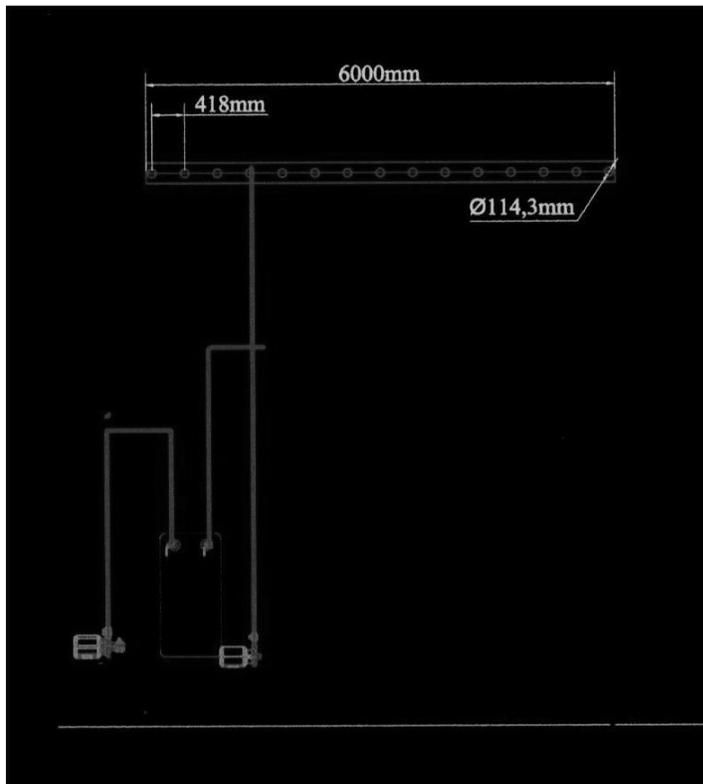
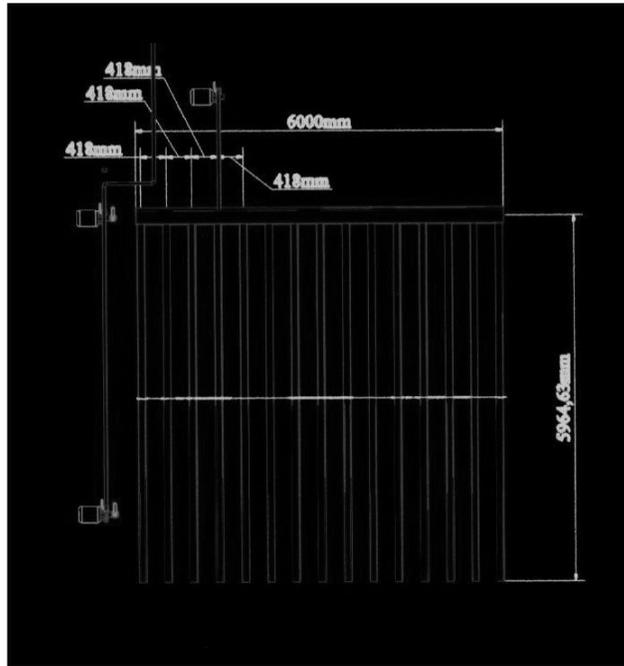
### 5.1.9. Planos del banco de hielo

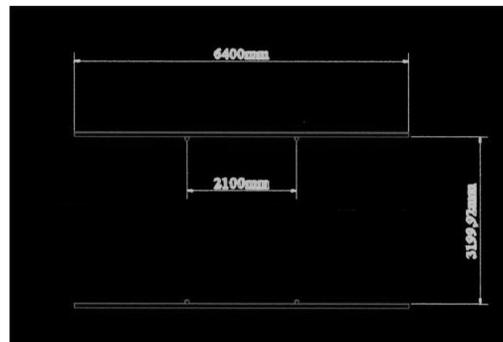
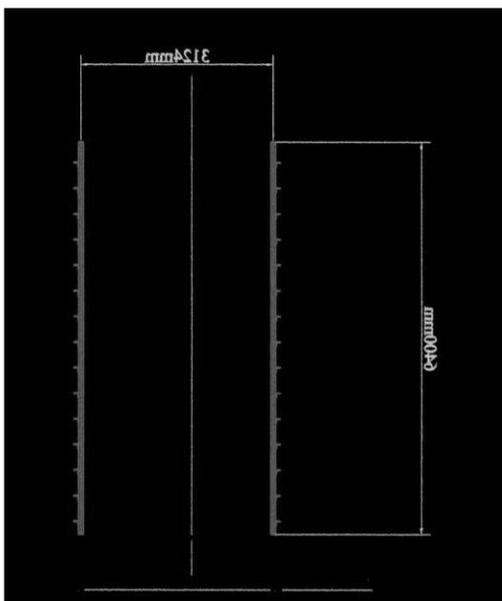
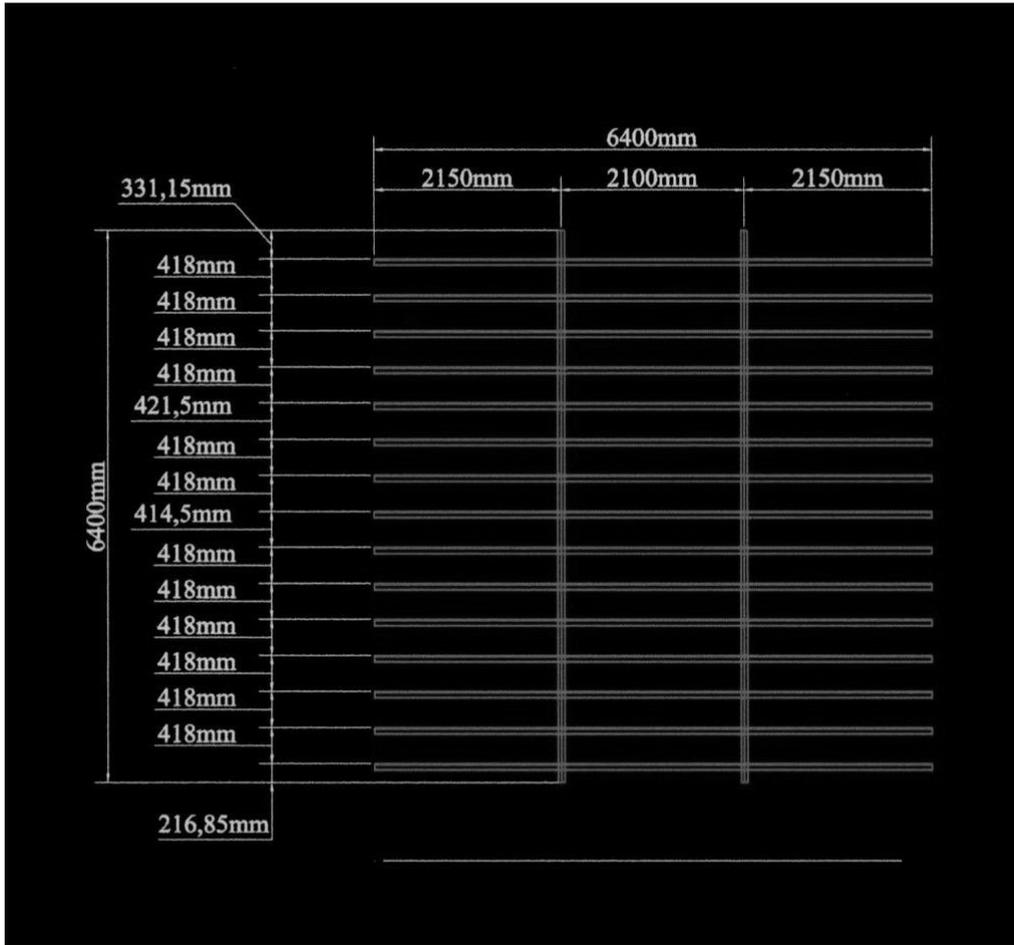
Se presentan los detalles de diseño del banco de hielo.

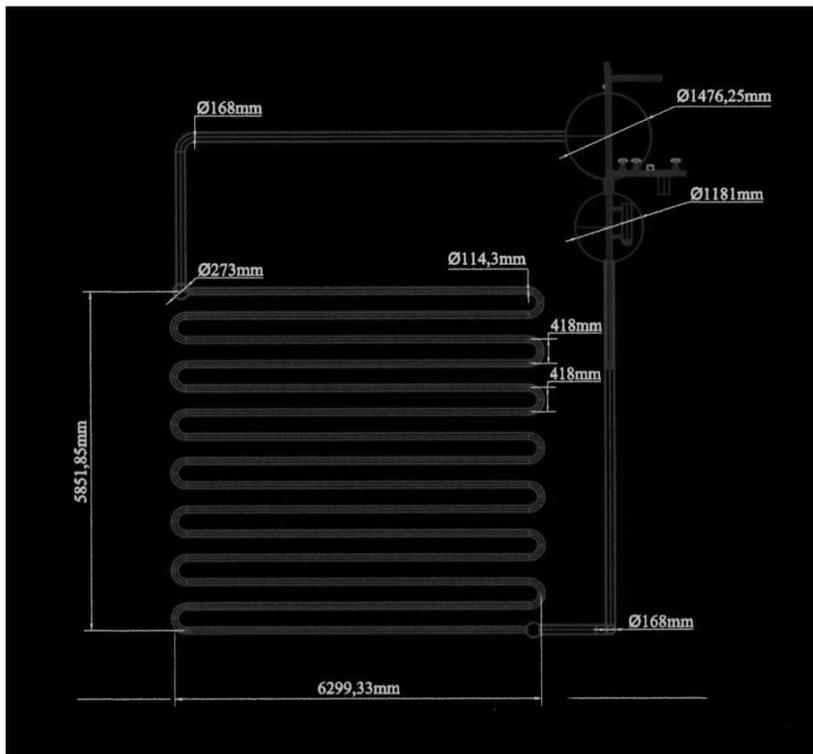
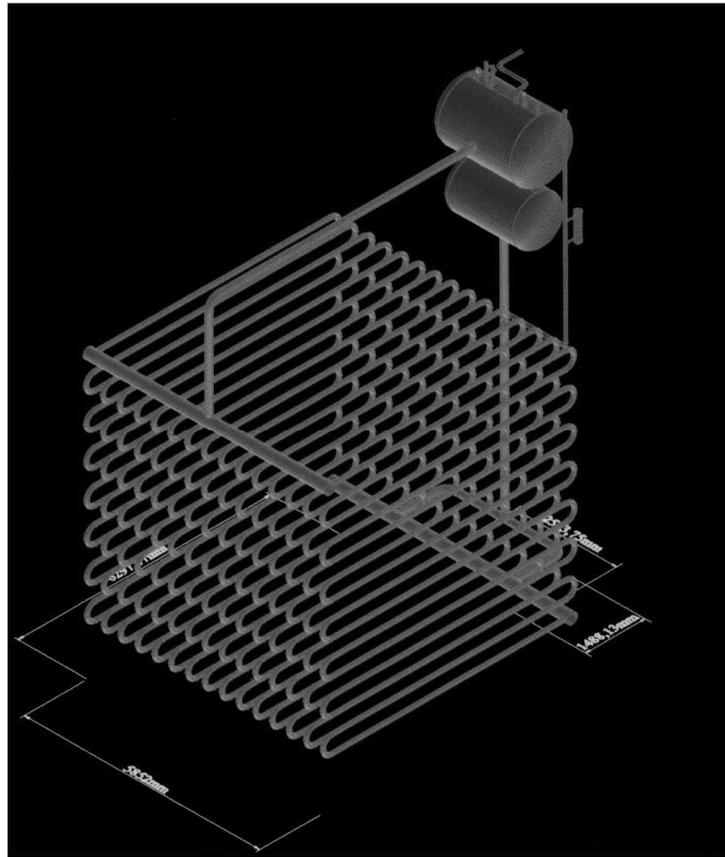
**Figura 73. Planos del banco de hielo**













## CONCLUSIONES

1. La exposición a 250 ppm es soportable para muchas personas hasta por una hora. Las exposiciones a aerosoles concentrados de Amonio o sales de amonio (>500 ppm) resultan en quemaduras nasofaríngeas y de la traquea, obstrucción de las vías respiratorias, acumulación de fluido en los pulmones, afección respiratoria y edema bronquial y alveolar. Exposiciones a concentraciones de 2,500 a 4,500 ppm son fatales en un período de 30 minutos; concentraciones de entre 5,000 y 10,000 ppm son letales de forma inmediata. Las muertes inmediatas por exposiciones elevadas se deben a la obstrucción de las vías respiratorias.
2. El proceso de preparación del jarabe simple se inicia con la mezcla del 60% de azúcar en peso y 40% de agua, para luego dar lugar al cocimiento de la mezcla a 85°C por un período de 15 a 30 minutos. El enfriamiento se realiza en un rango de temperatura de los 20 a 25°C para que los aceites esenciales utilizados en las formulaciones no se volaticen. La clarificación se realiza a través del carbón activado con la finalidad de eliminar todas las impurezas. Para finalizar el proceso se filtra toda la mezcla con la ayuda de tierras diatomeas que varían según las necesidades de filtración.

3. El sistema de refrigeración es por compresión de vapor, este consiste en un compresor recíprocante, un evaporador, un condensador y una válvula de expansión termostática.
4. Las partes que conforman el banco de hielo son el receptor de alta presión, el bajante de líquido, el evaporador principal, el receptor de baja presión, el tanque de almacenamiento de agua, el evaporador de aire y finalmente las bombas de agua helada. El banco funciona como un acumulador de frigorías que se utilizan en demandas picos del proceso productivo.
5. El tipo de evaporador utilizado en el sistema de banco de hielo es de inmersión, ya que el refrigerante se distribuye mediante un colector a un conjunto de tubos en una disposición parecida a una parrilla, donde se recogen los vapores del refrigerante mediante otro colector. El fluido a enfriar circula en la parte externa de los tubos.
6. Los costos de instalación son de US\$27,850, el costo de operación del equipo anualmente es de US\$ 22,824 y el costo de mantenimiento del sistema es de US\$4,293.
7. Con un programa de CAD (Diseño asistido por Ordenador), se puede conseguir cualquier composición, por muy compleja que sea. Creando cuantos objetos gráficos básicos sean precisos, enlazados entre sí; hasta formar figuras adecuadas al proyecto.

## RECOMENDACIONES

1. Es necesario colocar termómetros y manómetros en las secciones importantes del circuito de refrigeración (salida del condensador, entrada y salida del evaporador principal, succión y descarga del compresor, entrada y salida de los filtros de aceite) para obtener un mejor control del sistema y localización de averías. Hay que tener en cuenta que los instrumentos de medida para la localización de averías deben cumplir ciertos requisitos en lo que se refiere a fiabilidad.
2. Realizar un programa de drenado de las purgas de aceite en todos los depósitos, evaporadores y receptores de amoníaco; para evitar la saturación de aceite dentro del evaporador así como gases no condensables dentro del condensador.
3. Para mantener una buena eficiencia del sistema de refrigeración es necesario aislar las tuberías y recipientes que trabajan por debajo de la temperatura ambiente, para evitar la pérdida de frigorías dentro del sistema.
4. Evitar que las bombas de recirculación de agua helada trabajen en vacío o parcialmente llenas para evitar que estas se quemen.

5. Es necesario aplicar un químico para prevenir la formación de algas e incrustaciones en el agua del tanque de almacenamiento, esto con el fin de evitar las incrustaciones en el evaporador principal y limitar el rendimiento del mismo.
  
6. Realizar chequeos periódicos en base a termómetros en la salida y entrada del evaporador para saber si se está utilizando la transferencia de calor deseada en el sistema.

## BIBLIOGRAFÍA

1. BARRERAS MIRANDA, Ángel Luis. **Evaporadores**. España: Grupo Editorial Ceac, S.A., 2000.
2. ALARCON CREUS, José. **Tratado Práctico de Refrigeración Automática**. México: Editorial Alfaomega Marcombo. 2000.
3. ELONKA, Stephen Michael. **Refrigeración y acondicionamiento de aire: Preguntas y Respuestas**. México: Editorial Mcgraw-Hill. 1988.
4. PITA, Edgard G. **Principios y Sistemas de Refrigeración**. México: Editorial Limusa. 1991.
5. Air Conditioning and Refrigeration Institute. **Refrigeración y aire acondicionado**. Editorial Prentice / Hall Internacional. 1981.
6. MEGYESY, Eugene I. **Manual de Recipientes a Presión, Diseño y Cálculo**. México: Editorial Limusa. 1992.
7. DEL VALLE ALBUREZ, Mario Estuardo. Ampliación del Sistema de Refrigeración por Amoníaco en La Embotelladora del Pacífico S. A., **Cuyotenango Suchitepéquez**. Trabajo de graduación. Guatemala. Universidad de San Carlos de Guatemala. 1999.

8. MONTAVAN FUENTES, Mario. **Evaluación de Sistemas de Refrigeración para el enfriamiento del Jarabe en una fábrica de Bebidas Carbonatadas.** Guatemala. Universidad de San Carlos de Guatemala. 2002.
  
9. RAMIREZ JARAMILLO, Melanie Teresa, ROA HAYDEN, Olga Cristina. **Diseño de un Banco de Hielo para la Planta Piloto de la Universidad del Tolima.** Ibagué. Universidad del Tolima. 2002.
  
10. MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL COLOMBIANO, en convenio con el Consejo colombiano de Seguridad. Guías para el Manejo Seguro y Gestión Ambiental de 25 Sustancias Químicas.

# ***ANEXOS***

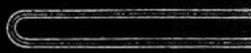
## Anexo 1

Coefficientes de paso de calor k para varios tipos de evaporadores.

Coefficientes de paso de calor k en kcal/m<sup>2</sup>h°C para  
varios tipos de evaporadores

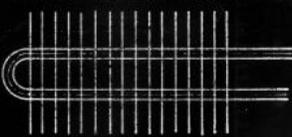
■ Tubos desnudos

(Tubos de cobre para R 12, R 22, R 502)  
(Tubos de acero para R 717)



Enfriamiento de aire			Enfriamiento de líquidos			
	sobre 0°C	bajo 0°C	Temperatura de evaporación	0 ÷ -10	-15°C	-20°C
Aire tranquilo (sin ventilador)	16	12*	Líquido tranquilo	100-120	90-100	80
Aire forzado (con ventilador)	20	16*	Líquido ligeramente en movimiento	170	160	140
			Líquido fuertemente en movimiento	200-250	180-200	140-160
* Tomada en cuenta la escarcha.			Enfriador de agua o salmuera de cubierta y tubo	500	400	300

b) Tubos con aletas



		Temperatura del aire	sobre 0°C	bajo 0°C
Aire tranquilo	(sin ventilador)		6	5
Aire forzado	(con ventilador, construcción parcialmente abierta)		7,5	6,5
Aire forzado	(con ventilador, evaporador de alto rendimiento)		8...10	6...8
Evaporador de aire acondicionado	(velocidad elevada de aire)		20...40	

**Fuente:** Morales, Aram Prim. Manual técnico Refrigeración y aire acondicionado, Pág. 10-9

## Anexo 2

Densidad del agua a diversas temperaturas.

Temperatura °C	Densidad Kg. / m <sup>3</sup>
0	999.84
5	999.96
10	999.70
15	999.10
20	998.20
25	997.05
30	995.65
35	994.03
40	992.21
45	990.22
50	988.05
55	985.70
60	983.21
65	980.57
70	977.78
75	974.86
80	971.80
85	968.62

**Fuente:** Segura J., Termodinámica Técnica. Editorial Reverté (1993) Pág. 646

### Anexo 3

Características de Tubería de Acero al Carbón Sch 40, soldar sin costura, material SA-A105, o SA-A286, ASME B313.

Tamaño Nominal en Pulg.	Diámetro Exterior en Pulg.	Espesor de Pared en Pulg.	Diámetro Interior en Pulg.	Área Transversal en Pulg. Cuadradas	Área Transversal en Pies Cuadrados	Momento de Inercia en [pulg.] <sup>4</sup>	Peso en Lb. / Pie	Presión Máxima de Trabajo en PSI	Presión de Ruptura en PSI
1/8	0.405	0.068	0.269	0.0568	0.00040	0.00106	0.24	2.238	13.428
1/4	0.540	0.088	0.364	0.1041	0.00072	0.00331	0.42	2.173	13.038
3/8	0.675	0.091	0.493	0.1910	0.00133	0.00729	0.57	1.797	10.782
1/2	0.840	0.109	0.622	0.3040	0.00211	0.01709	0.85	1.73	10.38
3/4	1,050	0.113	0.824	0.5330	0.00371	0.03704	1.13	1.435	8.61
1	1,315	0.133	1,049	0.8640	0.00600	0.08734	1.68	1.348	8.088
1 1/4	1,660	0.140	1,380	1,495	0.01040	0.1947	2.27	1.124	6.744
1 1/2	1,900	0.145	1,610	2,036	0.01414	0.3099	2.72	1.017	6.102
2	2,375	0.154	2,067	3,355	0.02330	0.6657	3.65	864	5.184
2 1/2	2,875	0.203	2,469	4,788	0.03322	1,530	5.79	941	5.646
3	3,500	0.216	3,068	7,393	0.05130	3,017	7.58	823	4.938
3 1/2	4,000	0.226	3,548	9,886	0.06870	4,788	9.11	-	-
4	4,500	0.237	4,026	12.73	0.0884	7,233	10.79	-	-
5	5,563	0.258	5,047	20.01	0.1390	15,160	14.62	-	-
6	6,625	0.280	6,065	28.89	0.2006	28,140	18.97	-	-
8	8,625	0.322	7,981	50.03	0.3474	72,490	28.55	-	-
10	10,750	0.365	10,020	78.86	0.5475	160.70	40.48	-	-
12	12,750	0.406	11,938	111.93	0.7773	300.30	53.52	-	-
14	14,000	0.438	13,124	135.28	0.9394	429.10	63.44	-	-
16	16,000	0.500	15,000	176.72	12,272	731.90	82.77	-	-
18	18,000	0.562	16,876	223.68	15,533	1171.50	104.67	-	-
20	20,000	0.594	18,812	278.00	19,305	1703.00	123.11	-	-
24	24,000	0.688	22,624	402.07	27,921	3421.30	171.29	-	-
32	32,000	0.688	30,624	736.57	51,151	8298.30	230.08	-	-
34	34,000	0.688	32,624	835.92	58,050	9991.60	244.77	-	-
36	36,000	0.750	34,500	934.82	64,918	12906.10	282.35	-	-

Fuente: [www.techniforum.com](http://www.techniforum.com)

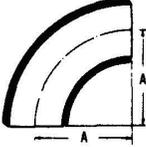
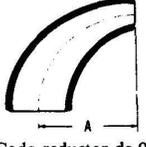
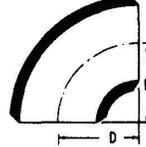
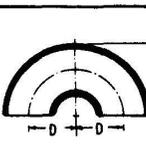
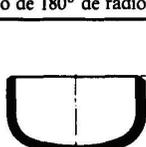
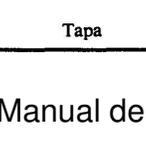
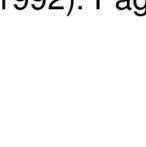
## Anexo 4

### Propiedades físicas del hielo

<b>PROPIEDADES FISICAS DEL HIELO</b>	
Densidad	916.80 Kg. / m <sup>3</sup> .
Calor específico	0.487 cal / g °C
Calor latente de congelación	336 Kj. / k.g.

## Anexo 5

### Accesorios soldables

		<b>ACCESORIOS SOLDABLES</b>								
		<b>ANSI B 16.9</b>								
		<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Todas las dimensiones están en pulgadas.</li> <li>2. El material de los accesorios soldables cumple con la especificación SA 234 grado WPB.</li> <li>3. Los tamaños 22, 26 y 30 pulg no están cubiertos por la norma ANSI B 16.9.</li> <li>4. Para los espesores de pared ver página 314.</li> <li>5. La dimensión F<sub>1</sub> se aplica a las tapas estándares y extrarreforzadas. La dimensión F<sub>2</sub> se aplica a las tapas de mayor peso.</li> </ol>								
		<b>Dimensiones</b>								
Tamaño nominal del tubo	Diámetro exterior	A	B	C	D	E	F <sub>1</sub> <sup>5</sup>	F <sub>2</sub> <sup>5</sup>		
			Codo de 90° de gran radio							
	Codo reductor de 90° de gran radio									
	Codo de 45° de radio corto									
	Codo de 180° de gran radio	1/2 3/4 1 1 1/4	0.840 1.050 1.315 1.660	1 1/2 1 3/4 1 1/2 1 3/8	3/8 1/4 1/8 1	1 1/4 1 1/2 2 1/16 2 3/8	..... ..... 1 1/8 2 1/16	..... ..... 1 1/2 1 1/2		
	Codo de 180° de radio corto	1 1/2 2 2 1/2 3	1.900 2.375 2.875 3.500	2 1/4 3 3 3/4 4 1/2	1 1/8 1 3/8 1 1/4 2	3 3/4 4 3/16 5 3/16 6 1/4	1 1/2 2 2 1/2 3	1 1/2 1 3/4 2 2 1/2		
	Codo de 90° de radio corto	3 1/2 4 5 6	4.000 4.500 5.563 6.625	5 1/4 6 7 1/2 9	2 1/4 2 1/2 3 3/8 3 3/4	7 1/4 8 1/4 10 3/16 12 3/16	3 1/2 4 5 6	3 3 3 1/2 4		
	Codo de 180° de radio corto	8 10 12 14	8.625 10.750 12.750 14.000	12 15 18 21	5 6 1/4 7 1/2 8 3/4	16 3/16 20 3/8 24 3/8 28	8 10 12 14	12 3/16 15 3/8 18 3/8 21	4 5 6 6 1/2	5 6 7 7 1/2
	Tapa	16 18 20 22	16.000 18.000 20.000 22.000	24 27 30 33	10 11 1/4 12 1/2 13 1/2	32 36 40 44	..... ..... ..... .....	24 27 30 30	7 8 9 10	8 9 10 10
	Tapa	24 26 30	24.000 26.000 30.000	36 39 45	15 16 18 1/2	48 52 60	24 ..... 30	36 ..... 45	10 1/2 10 1/2 10 1/2	12 ..... .....

**Fuente:** Manual de Recipientes a Presión, Eugene F. Megyesy. Editorial Limusa (1992). Pág. 347

## Anexo 6

Tabla de presión / temperatura R717 (Amoníaco) NH3.

Temp	Presión	Temp	Presión	Temp	Presión	Temp	Presión	Temp	Presión	Temp	Presión	Temp	Presión	Temp	Presión	Temp	Presión		
°F	PSIA	PSIG	°C	Kg/Cm <sup>2</sup>	°F	PSIA	PSIG	°C	Kg/Cm <sup>2</sup>	°F	PSIA	PSIG	°C	Kg/Cm <sup>2</sup>	°F	PSIA	PSIG	°C	Kg/Cm <sup>2</sup>
-60	5.6	18.6	-51.1		-14	21.4	6.7	-25.6	0.47	31	61	46.3	-0.6	3.25	76	143	128.3	24.4	9.00
-58	5.9	17.8	-50.0		-13	22	7.3	-25.0	0.51	32	62.3	47.6	0.0	3.34	77	145.4	130.7	25.0	9.17
-57	6.1	17.4	-49.4		-12	22.6	7.9	-24.4	0.55	33	63.6	48.9	0.6	3.43	78	147.9	133.2	25.6	9.35
-56	6.3	17	-48.9		-11	23.2	8.4	-23.9	0.59	34	64.9	50.2	1.1	3.52	79	150.5	135.8	26.1	9.53
-55	6.5	16.6	-48.3		-10	23.7	9	-23.3	0.63	35	66.3	51.6	1.7	3.62	80	153	138.3	26.7	9.71
-54	6.8	16.2	-47.8		-9	24.4	9.6	-22.8	0.67	36	67.6	52.9	2.2	3.71	81	155.6	140.9	27.2	9.89
-53	7	15.7	-47.2		-8	25	10.3	-22.2	0.72	37	69	54.3	2.8	3.81	82	158.3	143.6	27.8	10.08
-52	7.2	15.3	-46.7		-7	25.6	10.9	-21.7	0.76	38	70.4	55.7	3.3	3.91	83	161	146.3	28.3	10.27
-51	7.4	14.9	-46.1		-6	26.3	11.6	-21.1	0.81	39	71.9	57.2	3.9	4.01	84	163.7	149	28.9	10.46
-50	7.7	14.5	-45.6		-5	26.9	12.2	-20.6	0.86	40	73.3	58.6	4.4	4.11	85	166.4	151.7	29.4	10.65
-49	7.9	13.9	-45.0		-4	27.6	12.9	-20.0	0.91	41	74.8	60.1	5.0	4.22	86	169.2	154.5	30.0	10.84
-48	8.2	13.3	-44.4		-3	28.3	13.6	-19.4	0.95	42	76.3	61.6	5.6	4.32	87	172	157.3	30.6	11.04
-47	8.4	12.9	-43.9		-2	29	14.3	-18.9	1.00	43	77.8	63.1	6.1	4.43	88	174.8	160.1	31.1	11.24
-46	8.7	12.2	-43.3		-1	29.7	15	-18.3	1.05	44	79.4	64.7	6.7	4.54	89	177.7	163	31.7	11.44
-45	9	11.7	-42.8		0	30.4	15.7	-17.8	1.10	45	81	66.3	7.2	4.65	90	180.6	165.9	32.2	11.64
-44	9.2	11.1	-42.2		1	31.2	16.5	-17.2	1.16	46	82.6	67.8	7.8	4.76	91	183.6	168.9	32.8	11.85
-43	9.5	10.6	-41.7		2	31.9	17.2	-16.7	1.21	47	84.2	69.5	8.3	4.88	92	186.6	171.9	33.3	12.06
-42	9.8	10	-41.1		3	32.7	18	-16.1	1.26	48	85.8	71.1	8.9	4.99	93	189.6	174.9	33.9	12.27
-41	10.1	9.3	-40.6		4	33.5	18.8	-15.6	1.32	49	87.5	72.8	9.4	5.11	94	192.7	178	34.4	12.49
-40	10.4	8.7	-40.0		5	34.3	19.6	-15.0	1.38	50	89.2	74.5	10.0	5.23	95	195.8	181.1	35.0	12.71
-39	10.7	8.1	-39.4		6	35.1	20.4	-14.4	1.43	51	90.9	76.2	10.6	5.35	96	198.9	184.2	35.6	12.93
-38	11	7.4	-38.9		7	35.9	21.2	-13.9	1.49	52	92.7	78	11.1	5.47	97	202.1	187.4	36.1	13.15
-37	11.4	6.8	-38.3		8	36.8	22.1	-13.3	1.55	53	94.4	79.7	11.7	5.59	98	205.3	190.6	36.7	13.38
-36	11.7	6.1	-37.8		9	37.6	22.9	-12.8	1.61	54	96.2	81.5	12.2	5.72	99	208.6	193.9	37.2	13.61
-35	12.1	5.4	-37.2		10	38.5	23.8	-12.2	1.67	55	98.1	83.4	12.8	5.85	100	211.9	197.2	37.8	13.84
-34	12.4	4.7	-36.7		11	39.4	24.7	-11.7	1.73	56	99.9	85.2	13.3	5.98	101	215.2	200.5	38.3	14.07
-33	12.8	3.9	-36.1		12	40.3	25.6	-11.1	1.80	57	101.8	87.1	13.9	6.11	102	218.6	203.9	38.9	14.31
-32	13.1	3.2	-35.6		13	41.2	26.5	-10.6	1.86	58	103.7	89	14.4	6.25	103	222	207.3	39.4	14.55
-31	13.5	2.4	-35.0		14	42.2	27.5	-10.0	1.93	59	105.6	90.9	15.0	6.38	104	225.4	210.7	40.0	14.79
-30	13.9	1.6	-34.4		15	43.1	28.4	-9.4	1.99	60	107.6	92.9	15.6	6.52	105	228.9	214.2	40.6	15.03
-29	14.3	0.9	-33.9		16	44.1	29.4	-8.9	2.06	61	109.6	94.9	16.1	6.66	106	232.5	217.8	41.1	15.28
-28	14.7	0	-33.3	0.00	17	45.1	30.4	-8.3	2.13	62	111.6	96.9	16.7	6.80	107	236	221.3	41.7	15.53
-27	15.1	0.4	-32.8	0.03	18	46.1	31.4	-7.8	2.20	63	113.6	98.9	17.2	6.94	108	239.7	225	42.2	15.79
-26	15.6	0.8	-32.2	0.06	19	47.2	32.5	-7.2	2.28	64	115.7	101	17.8	7.09	109	243.3	228.6	42.8	16.04
-25	16	1.3	-31.7	0.09	20	48.2	33.5	-6.7	2.35	65	117.8	103.1	18.3	7.24	110	247	232.3	43.3	16.30
-24	16.4	1.7	-31.1	0.12	21	49.3	34.6	-6.1	2.43	66	120	105.3	18.9	7.39	111	250.8	236.1	43.9	16.57
-23	16.9	2.2	-30.6	0.15	22	50.4	35.7	-5.6	2.51	67	122.1	107.4	19.4	7.54	112	254.5	239.8	44.4	16.83
-22	17.3	2.6	-30.0	0.18	23	51.5	36.8	-5.0	2.58	68	124.3	109.6	20.0	7.69	113	258.4	243.7	45.0	17.10
-21	17.8	3.1	-29.4	0.22	24	52.6	37.9	-4.4	2.66	69	126.5	111.8	20.6	7.85	114	262.2	247.5	45.6	17.37
-20	18.3	3.6	-28.9	0.25	25	53.7	39	-3.9	2.74	70	128.8	114.1	21.1	8.01	115	266.2	251.5	46.1	17.65
-19	18.8	4.1	-28.3	0.29	26	54.9	40.2	-3.3	2.82	71	131.1	116.4	21.7	8.17	116	270.1	255.4	46.7	17.92
-18	19.3	4.6	-27.8	0.32	27	56.1	41.4	-2.8	2.91	72	133.4	118.7	22.2	8.33	117	274.1	259.4	47.2	18.20
-17	19.8	5.1	-27.2	0.36	28	57.3	42.6	-2.2	2.99	73	135.7	121	22.8	8.49	118	278.2	263.5	47.8	18.49
-16	20.3	5.6	-26.7	0.39	29	58.5	43.8	-1.7	3.07	74	138.1	123.4	23.3	8.66	119	282.3	267.6	48.3	18.78
-15	20.9	6.2	-26.1	0.44	30	59.7	45	-1.1	3.16	75	140.5	125.8	23.9	8.83	120	286.4	271.7	48.9	19.07

Fuente: [www.sirsatitanio.com](http://www.sirsatitanio.com)

## Anexo 7

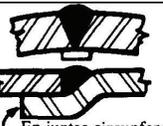
Propiedades de algunos refrigerantes.

<b>Propiedad</b>	<b>HCFC-22</b>	<b>HCFC-123</b>	<b>HFC-134a</b>	<b>R-717 Amoniaco</b>
Calor de vaporización a 15 °C (5 °F) (Btu / Lb)	92.8	76.7	89.3	564
Volumen específico del vapor a -15 °C (5 °F), (Pie <sup>3</sup> /Lb)	1.24	6.26	1.92	8.14
Gasto por unidad de refrigeración (Lb. / min por tonelada)	2.87	3.05	3.17	0.422
Flujo volumétrico de vapor en el evaporador por unidad de refrigeración. (Pie <sup>3</sup> /min por TR)	3.54	19.1	6.08	3.43

Fuente: W. F. Stoecker, op. Cit., Pág 5

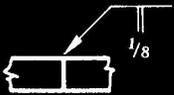
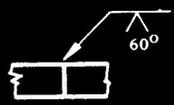
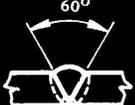
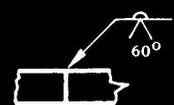
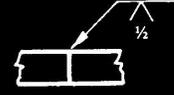
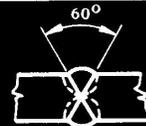
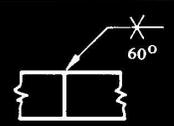
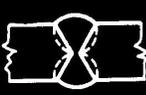
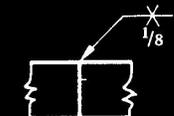
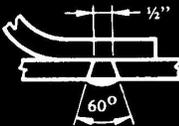
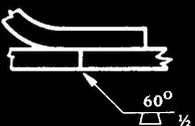
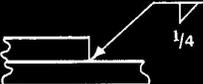
## Anexo 8

Tipos de juntas soldadas y símbolos de soldadura.

TIPOS DE JUNTAS SOLDADAS				
TIPOS NORMA UW-12	EFICIENCIA DE LA JUNTA, E Cuando la junta es:			
		a. Radiogra- fiada total- mente	b. Examinada por zonas	c. No Examinada
1 	<p>Juntas a tope hechas por doble cordón de soldadura o por otro medio con el que se obtenga la misma calidad de metal de soldadura depositada sobre las superficies interior y exterior de la pieza.</p> <p>Si se emplea placa de respaldo, debe quitarse ésta después de terminar la soldadura.</p>	1.00	0.85	0.70
2  En juntas circunferen- ciales únicamente	<p>Junta a tope de un solo cordón con tira de respaldo que queda en su lugar después de soldar</p>	0.90	0.80	0.65
3 	<p>Junta a tope de un solo cordón sin tira de respaldo</p>	—	—	0.60
4 	<p>Junta a traslape de doble filete completo</p>	—	—	0.55
5 	<p>Junta a traslape de un solo filete completo con soldaduras de tapón</p>	—	—	0.50
6 	<p>Junta a traslape de un solo filete completo sin soldaduras de tapón</p>	—	—	0.45

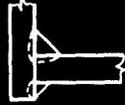
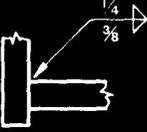
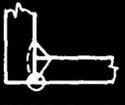
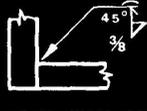
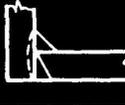
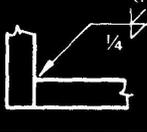
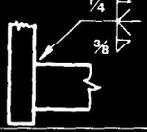
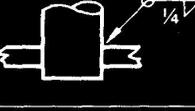
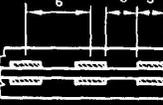
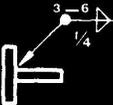
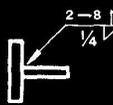
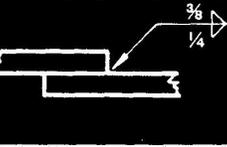
**Fuente:** Manual de Recipientes a Presión, Eugene F. Megyesy. Editorial Limusa (1992). Pág. 142

## Símbolos de soldadura

SIMBOLOS DE SOLDADURA		
SOLDADURA	SIMBOLO	SIGNIFICADO DEL SIMBOLO
		EL SIMBOLO INDICA SOLDADURA DE RANURA ESCUÁDRADA EN EL LADO DE LA FLECHA. ABERTURA EN LA RAIZ 1/8 PULG
		EL SIMBOLO INDICA SOLDADURA DE RANURA EN V CON ANGULO DE 60 GRADOS EN EL LADO DE LA FLECHA
		EL SIMBOLO INDICA SOLDADURA DE RANURA EN V CON ANGULO DE 60 GRADOS EN EL LADO DE LA FLECHA Y SOLDADURA DE RESPALDO DEL TIPO DE CORDON EN EL OTRO LADO
		EL SIMBOLO INDICA SOLDADURA DE RANURA EN V DE 1/2 PULG
		EL SIMBOLO INDICA SOLDADURA DE RANURA EN V EN EL LADO DE LA FLECHA Y EN LA CARA OPUESTA CON ANGULO DE 60 GRADOS
		EL SIMBOLO INDICA SOLDADURA DE RANURA EN V EN EL LADO DE LA FLECHA Y EN EL OTRO LADO CON ABERTURA EN LA RAIZ DE 1/8 PULG
		EL SIMBOLO INDICA SOLDADURA DE TAPON DE 1/2 PULG DE DIAMETRO Y CON ANGULO DE 60 GRADOS
		EL SIMBOLO INDICA SOLDADURA DE FILETE DE 1/4 DE PULG

**Fuente:** Manual de Recipientes a Presión, Eugene F. Megyesy. Editorial Limusa (1992). Pág. 149

## Símbolos de soldadura

SIMBOLOS DE SOLDADURA		
SOLDADURA	SIMBOLO	SIGNIFICADO DEL SIMBOLO
		EL SIMBOLO INDICA SOLDADURA DE FILETE DE 3/8 DE PULG EN EL LADO DE LA FLECHA Y DE 1/4 DE PULG EN LA CARA OPUESTA
		EL SIMBOLO INDICA RANURA BISELADA CON ANGULO DE 45 GRADOS, SOLDADURA DE FILETE DE 3/8 EN EL LADO DE LA FLECHA Y SOLDADURA POSTERIOR DEL TIPO DE CORDON EN EL LADO CONTRARIO
		EL SIMBOLO INDICA SOLDADURA DE FILETE DE 1/4 DE PULG EN EL LADO DE LA FLECHA Y SOLDADURA DE RANURA BISELADA EN LA CARA OPUESTA. ESMERILESE A RAS EN EL OTRO LADO
		EL SIMBOLO INDICA SOLDADURA DE RANURA BISELADA Y DE FILETE DE 3/8 DE PULG EN EL LADO DE LA FLECHA, RANURA BISELADA Y SOLDADURA DE FILETE DE 1/4 EN LA CARA OPUESTA
		EL SIMBOLO INDICA SOLDADURA DE FILETE A TODO ALREDEDOR, DE 1/4 DE PULG
		EL SIMBOLO INDICA SOLDADURA DISCONTINUA DE FILETE DE 1/4 DE PULG. CADA UNA DE 3 PULG DE LARGO, ESPACIADAS A 6 PULG ENTRE CENTROS, APLICADAS EN CAMPO
		EL SIMBOLO INDICA SOLDADURA DISCONTINUA DE FILETE DE 1/4 DE PULG, CADA UNA DE 2 PULG DE LARGO Y ESPACIADAS A 8 PULG ENTRE CENTROS. LAS SOLDADURAS VAN ALTERNADAS
		EL SIMBOLO INDICA SOLDADURA DE FILETE DE 1/4 DE PULG EN EL LADO DE LA FLECHA Y DE 3/8 EN EL OTRO LADO

**Fuente:** Manual de Recipientes a Presión, Eugene F. Megyesy. Editorial Limusa (1992). Pág. 150



## Anexo 10

Reglas de las normas relacionadas con diversos servicios.

<b>REGLAS DE LAS NORMAS RELACIONADAS CON DIVERSOS SERVICIOS</b>		
Servicio	Extractos abreviados de los requisitos de las normas	Párrafo de la norma
Aire	Todos los recipientes sujetos a presión para aire comprimido, excepto lo que se indica como permitido en este párrafo, deberán tener una abertura de inspección adecuada. Los recipientes de espesor mínimo requerido menor de 1/4 de pulgada que hayan de usarse para aire comprimido deberán tener un margen por corrosión no menor de 1/6 del espesor de placa calculado. Espesor mínimo 3/32 pulg.	UG - 46 (a)  UCS - 25  UG 16-(b) (6)
Gases y líquidos inflamables y/o nocivos	No se usarán conexiones expandidas.	UG - 43 (g)
Sustancias peligrosas	Las juntas soldadas a tope de recipientes que contienen sustancias letales deberán radiografiarse completamente. Cuando se fabriquen de acero al carbono o de bajo contenido de aleación se someterán a tratamiento térmico posterior a la soldadura. Las juntas de las diversas categorías deberán cumplir con lo dispuesto en el párrafo UW-2. No se usarán placas de acero que correspondan a las especificaciones SA-36 y SA-283.	UW - 2 (a)  UW - 2 (a)  UCS - 6 (b) (1)
Vapor de agua	Los recipientes con espesor mínimo requerido menor de 1/4 de pulgada que hayan de usarse para vapor de agua deberán tener un margen por corrosión no menor de 1/6 del espesor de placa calculado. Espesor mínimo, de cascos y cabezas, 3/32 de pulg.	UCS - 25  UG-16 (b) (6)
Calderas de vapor sin fuego directo (1)	Con presiones de diseño en exceso de 50 lb/pulg <sup>2</sup> , las juntas de las diversas categorías deberán cumplir con el párrafo UW-2. No se usarán las placas de acero que correspondan a las especificaciones SA-36 y SA-283. Espesor mínimo, de cascos y cabezas, 1/4 de pulg.	UCS - 6 (b) (2)  UG-16 (b) (5)
Agua (2)	Los recipientes con espesor mínimo requerido menor de 1/4 de pulgada que hayan de usarse para servicio de agua deberán tener un margen por corrosión no menor de 1/6 del espesor de placa calculado. Espesor mínimo de cascos y cabezas, 3/32 de pulg.	UCS - 25  UG-16 (b) (6)
<p>NOTAS:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>Las calderas de vapor sin fuego directo pueden construirse también de acuerdo con las reglas de la sección 1 de las normas.</li> <li>Los recipientes para servicio de agua excluidos de lo que abarcan las normas aparecen en la lista U-1 (c)(6) y (7).</li> </ol>		

**Fuente:** Manual de Recipientes a Presión, Eugene F. Megyesy. Editorial Limusa (1992). Pág. 151

## Anexo 11

Reglas de las normas con relación a diferentes espesores de pared del recipiente.

REGLAS DE LAS NORMAS CON RELACION A DIFERENTES ESPESORES DE PARED DEL RECIPIENTE								
Espesor de pared, pulg	$\frac{1}{16}$	$\frac{3}{32}$	$\frac{3}{16}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{5}{16}$	$\frac{3}{8}$	$\frac{7}{16}$	$\frac{1}{2}$
Notas aplicables	2, 4, 15 5, 6, 8, 9, 11, 12, 14	2, 4, 15 5, 6, 8, 9, 11, 12, 14	2, 3, 4, 5, 6, 8, 9, 11 12, 14, 15	2, 4, 5, 6, 8, 9, 11, 12, 14	4, 6, 8, 9 11, 12, 14 15	4, 6, 8, 9 11, 12, 14 15	7, 8, 9, 11, 12, 14, 15	7, 8, 9, 11, 12, 14, 15
Espesor de pared, pulg	$\frac{9}{16}$	$\frac{5}{8}$	$\frac{11}{16}$	$\frac{3}{4}$	$\frac{13}{16}$	$\frac{7}{8}$	$\frac{15}{16}$	1
Notas aplicables	7, 10, 11, 12, 14, 15	7, 10, 11, 12, 14, 15	7, 10, 13, 16, 20	7, 10, 13, 16, 20	7, 10, 13, 16, 20	7, 10, 13, 16, 20	7, 10, 13, 16, 20	7, 10, 13, 16, 20
Espesor de pared, pulg.	$1\frac{1}{16}$	$1\frac{1}{8}$	$1\frac{3}{16}$	$1\frac{1}{4}$	$1\frac{5}{16}$	$1\frac{3}{8}$	$1\frac{7}{16}$	$1\frac{1}{2}$ y mayores
Notas aplicables	7, 13, 16, 17, 20	7, 13, 16, 17, 20	7, 13, 16, 17, 20	7, 13, 16, 17, 20, 19, 22	7, 13, 16, 17, 18, 19, 20, 22	7, 13, 16, 17, 18, 19, 20, 22	7, 13, 16, 17, 18, 19, 20, 22	7, 13, 16, 17, 18, 19, 20, 21
Notas (Extractos breves de los requisitos de las normas)								
1. El espesor mínimo de placa para construcción soldada no deberá ser menor de $\frac{1}{16}$ de pulg. El espesor mínimo de cascos y cabezas para servicio en aire comprimido, en vapor de agua o en agua, deberá ser $\frac{3}{32}$ de pulg.							UG-16 (b)	
2. La marca del fabricante no deberá ser de estampado profundo por dado.							UG-77 (b)	
3. En servicio de aire comprimido, de vapor de agua y de agua deberá dejarse margen por corrosión no menor de $\frac{1}{16}$ del espesor de placa calculado.							UCS-25	
4. Las aberturas sencillas soldadas hasta para tubo de 3 pulg, no requieren refuerzo.							UG-36 (c) (3)	
5. El espesor mínimo de cascos y cabezas de calderas de vapor no sujetas a fuego directo no deberá ser menor de $\frac{1}{4}$ de pulg.							UG-16 (b) (5)	
6. Para juntas longitudinales soldadas es aceptable la unión a traslape de doble filete completo.							Tabla UW-12	
7. Las aberturas sencillas soldadas para tubo hasta de 2 pulg, no requieren refuerzo.							UG-36 (c) (3)	
8. Es aceptable la junta de traslape de un solo filete con soldaduras de tapón para la sujeción de cabezas no mayores de 24 pulg de diámetro exterior a cascos.							Tabla UW-12	
9. Espesor máximo del refuerzo para soldadura a tope: $\frac{3}{32}$ de pulg.							UW-35 (a)	
10. Espesor máximo para soldadura a tope: $\frac{1}{8}$ de pulg.							UW-35 (a)	
11. Es aceptable la junta a traslape de un solo filete completo con soldaduras de tapón para unión circunferencial.							Tabla UW-12	

**REGLAS DE LAS NORMAS CON RELACION A  
DIFERENTES ESPESORES DE PARED DEL RECIPIENTE  
(Continuación)**

Notas (Extractos breves de los requisitos de las normas)	
12. Son aceptables las juntas a traslape de un solo filete completo sin soldaduras de tapón para la sujeción de cabezas convexas hacia el lado de presión a los cascos.	Tabla UW-12
13. Las juntas soldadas de recipientes de presión sujetos a fuego directo comprendidas en la Categoría B serán del tipo (1) ó (2). Requieren tratamiento térmico posterior a la soldadura.	UW-2 (d) (1) (2)
14. Es aceptable la junta a tope sencilla soldada sin solera de respaldo para uniones circunferenciales no mayores de 24 pulg de diámetro exterior.	Tabla UW-12
15. Para unión circunferencial son aceptables las juntas a traslape de doble filete completo.	Tabla UW-12
16. No deberán usarse placas de acero que correspondan a las especificaciones SA-36 y SA-283.	UCS-6 (b) (4)
17. El espesor máximo del refuerzo para soldaduras a tope es 3/16 de pulg.	UW-35 (a)
18. Las juntas soldadas a tope en material de clasificación P-I deberán ser radiografiadas totalmente	USC-57
19. El tratamiento térmico posterior a la soldadura de los materiales P-I es forzoso para todas las conexiones y accesorios soldados.	Tabla UCS-56
20. Para uniones circunferenciales o longitudinales se usarán juntas a tope con doble soldadura o juntas a tope con soldadura sencilla y solera de respaldo.	Tabla UW-12
21. Las juntas soldadas a tope hechas de acuerdo con los tipos No. (1) y No. (2) serán examinadas radiográficamente en toda su longitud.	UW-11 (a) (2)
22. El tratamiento térmico posterior a la soldadura de los materiales P-I no es forzoso siempre que se precaliente el material.	Tabla UCS-56 Nota (2)(a)(b)

**Fuente:** Manual de Recipientes a Presión, Eugene F. Megyesy. Editorial Limusa (1992). Pág. 152 y 153

## Anexo 12

### Sistemas de pintura.

PINTURA										
TABLA I, SISTEMAS DE PINTURA										
Número de sistema SSPC-PS	CONDICION	Preparación de la superficie, Tabla II	Pretratamiento, Tabla III	Espesor de la pintura seca, milésimas						
				1a. mano	2a. mano	3a. mano	4a. mano	5a. mano	Espesor total	
1.01	No hay condensación, humos químicos, goteo de salmueras y demás condiciones en extremo corrosivas	2 ó 3	No se requiere	14	104	104			4.0	
1.02				(1.7)	(1.3)	(1.0)				
1.03				14	14	104	104		5.0	
1.05				(1.7)	(1.3)	(1.0)				
1.06				1	104	104			4.0	
				2	104	104			4.0	
				(1.7)						
				A	104	104			4.0	
				(1.7)						
2.01	Superficies de acero expuestas a la intemperie, alta humedad, inmersión poco frecuente en agua fresca o salada o a atmósferas químicas benignas	6 ó 8	No se requiere	C	C	104	104		5.0	
2.02				(1.5)	(1.5)					
2.03				D	104	104			4.0	
				(1.5)	(1.5)	(1.0)				
				B	104	104			4.0	
				(1.5)	(1.5)	(1.0)				
				E	104	104			3.5	
				(1.5)						
3.00	Superficies de acero expuestas a inmersión alternada, alta humedad y condensación o a la intemperie, o a atmósferas químicas moderadamente severas o a inmersión en agua fresca	5, 6, 8, ó 10	1, 2, 3, ó 4	5, ó 6 (1.5)	5, ó 6 (1.5)	103 (1.0)	5, ó 6 ó 103 *		4.0 or 5.0	
4.01	Inmersión en agua salada o en varias soluciones químicas, condensación, exposición muy severa a la intemperie o a atmósferas químicas	10	3 **	G (1.5)	G	9	9		5.5	
4.02	Inmersión en agua fresca, condensación, exposición a la intemperie o a atmósferas químicas muy severas.	10	No se requiere	H (1.5)	H	H	H		6.0	
4.03	Inmersión completa o alternada en agua salada, alta humedad, condensación y exposición a la intemperie	6 ó 8	3 **	G (1.5)	9	8			4.0	
4.04	Condensación o exposición a intemperie muy severa o a atmósferas químicas	6 ó 8	No se requiere	9 (1.2)	9	9	9		4.5	
4.05	Condensación, intemperie severa, atmósferas químicas benignas	6 ó 8	3 **	G (1.5)	F	F			4.0	
6.01	Recipientes de acero y estructuras flotantes expuestas a agua fresca o salada, agua sucia y a la intemperie	10 ó 8 ó 6	3	G	G	G	G (2.0)		7.0	
6.02				(1.5)						
6.03				G	G	J	J		7.0	
				(1.5)	G*	G	L	K	6.25	
7.01	Ambiente seco, no corrosivo, interior de edificios o protección temporal contra intemperie	limpieza nominal	No se requiere	13 (1.0)					1.0	
8.01	Protección a largo plazo en lugares cubiertos o inaccesibles, protección a corto plazo o temporal en medios corrosivos	1 y 2 ó 3	No se requiere	M 31 (húmeda)					31 (húmeda)	
9.01	Atmósferas corrosivas o químicas, pero no debe usarse en contacto con aceites, disolventes u otros agentes	6	No se requiere	12 ó 63					63	
10.01	Estructuras subterráneas y submarinas de acero	6	No se requiere	N (.5-2)	N (31)	N (31)			63-100	
10.02	Para medios corrosivos subterráneos, submarinos o húmedos. No se recomienda para agua potable ni para alta temperatura	6	No se requiere	0 (15-18)	0 (25)	P (8-15)			35	

\*Se recomiendan cuatro manos bajo condiciones severas

\*\*El espesor de la película seca de la mano de lavado es de 0.3 a 0.5 milésimas.

TABLA I, SISTEMAS DE PINTURA (continuación)							
Número de sistema SSPC-PS	CONDICION	Preparación de la superficie, Tabla II	Pretratamiento, tabla III	Espesor de la pintura en seco, milésimas			Espesor total
				1a. mano	2a. mano	3a. mano	
11.01	Inmersión en agua fresca o de mar, exposición a zona de mareas y rompientes, condensación, enterrados bajo tierra vegetal y exposición a salmuera, petróleo crudo, drenajes y álcalis, humos químicos, neblinas.	6 ó 10	No se requiere	16 (16)	16 (16)		32
12.00	Exposiciones a alta humedad o atmósferas marinas, inmersión en agua fresca. Con recubrimiento superior apropiado para inmersión en agua salada y de mar, y exposición a ácidos químicos y humos alcalinos.			Los recubrimientos ricos en zinc comprenden varios tipos comerciales diferentes como: caucho clorinado, estireno, epóxicos, poliésteres, vinilos, uretanos, silicones, ésteres de silicatos, silicatos, fosfatos.			
13.00	Exposición industrial, medio marítimo, inmersión en agua fresca y salada, y áreas sujetas a exposición química tal como ácidos y álcalis.			Sistema de pintura epóxica			

TABLA III, ESPECIFICACIONES PARA EL TRATAMIENTO PREVIO		
Referencia a la Tabla I	Título y objetivo	Número de especificación
1	<b>TRATAMIENTO POR MOJADO CON ACEITE</b> Saturación de la capa superficial de acero oxidado y en escamas con aceite de mojado que sea compatible con la pintura primaria, mejorando así la adhesión y la calidad del sistema de pintura que haya de aplicarse.	SSPC-PT 1-64
2	<b>TRATAMIENTO SUPERFICIAL CON FOSFATO EN FRIO</b> Conversión de la superficie del acero a sales insolubles de ácido fosfórico con objeto de restringir la corrosión y mejorar la adhesión y la calidad de las pinturas por aplicar.	SSPC-PT 2-64
3	<b>MANO DE LAVADO (Primario de lavado) BASICO DE CROMATO DE ZINC Y BUTIRAL VINILICO</b> Pretratamiento que reacciona con el metal y, al mismo tiempo, forma un película protectora de vinilo que contiene un pigmento inhibidor para ayudar a evitar la oxidación.	SSPC-PT 3-64
4	<b>TRATAMIENTO SUPERFICIAL CON FOSFATO EN CALIENTE</b> Conversión de la superficie del acero a una capa gruesa cristalina de sales insolubles de ácido fosfórico con objeto de restringir la corrosión y mejorar la adhesión y la calidad de las pinturas por aplicar.	SSPC-PT 4-64

**Fuente:** Manual de Recipientes a Presión, Eugene F. Megyesy. Editorial Limusa (1992). Pág. 219 y 22