

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**

**Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la  
Producción**

“Diseño de un Software para calcular cámaras frigoríficas”

**TESIS DE GRADO**

Previo a la obtención del Título de:

**INGENIERO MECÁNICO**

Presentada por:

Leonel Iván Pilligua Chilán

**GUAYAQUIL – ECUADOR**

Año: 2006

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a DIOS por la oportunidad de estudiar que me brindó.

A mi director de tesis Ing. Francisco Andrade por su colaboración en esta tesis.

A Gabriela Coronel por haber sido un gran apoyo en la elaboración de esta tesis.

# DEDICATORIA

A MIS QUERIDOS PADRES

JOSÉ Y LAURA

A MIS HERMANOS

A MIS ABUELOS

A LA MEMORIA DE MI ABUELO

VÍCTOR CHILÁN.

# TRIBUNAL DE GRADUACIÓN

---

Ing. Omar Serrano V.  
DELEGADO DEL DECANO FIMCP  
PRESIDENTE

---

Ing. Francisco Andrade S.  
DIRECTOR DE TESIS

---

Ing. Eduardo Orces P.  
VOCAL

---

Ing. Rodolfo Paz M.  
VOCAL

## DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad del contenido de esta Tesis de Grado, me corresponden exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL”.

(Reglamento de Graduación de la ESPOL)

---

Leonel Iván Pilligua Chilán

## RESUMEN

En este proyecto se desarrolla un software para seleccionar el espesor de las paredes de la cámara y el equipo de refrigeración, en base a las dimensiones dadas de la cámara, la descripción del producto, las dimensiones de la puerta, número de personas trabajando dentro de la cámara y el tiempo que estén dentro de esta, y las temperaturas del medio donde esta se encuentra ubicada.

Empezamos con la descripción de los factores de influencia de los alimentos y las maneras que estos pueden ser conservados.

Continuamos con la descripción de los refrigerantes, tipos de aislantes y con la descripción de los diferentes accesorios y equipos de refrigeración utilizados en la industria.

Luego empezamos a realizar la parte de los cálculos y seleccionamiento del aislante para las paredes de la cámara frigorífica, del sistema de refrigeración, así como la selección de sus accesorios.

Finalmente describimos el software, dando detalles que es lo que realiza cada segmento en el diagrama de flujo del software, y con la presentación de resultados obtenidos mediante la utilización del software. Una vez obtenidos los resultados dados por el software se tienen los parámetros principales para construir la cámara frigorífica.

## INDICE GENERAL

	Pág.
RESUMEN.....	II
ÍNDICE GENERAL.....	VI
ABREVIATURAS.....	VII
SIMBOLOGÍAS.....	VIII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	X
ÍNDICE DE TABLAS.....	XII
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPITULO 1	
1. CONSERVACIÓN DE ALIMENTOS.....	3
1.1 Conservación de productos alimenticios.....	3
1.2 Factores que influncian en la conservación de los productos.....	7
1.3 Sistemas de refrigeración para conservación de alimentos.....	9
1.4 Ventajas que ofrece la conservación de alimentos por medio de refrigeración.....	14
CAPITULO 2	
2. DESCRIPCIÓN DE EQUIPOS Y ACCESORIOS DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN.....	16



2.1	Cámaras de refrigeración.....	16
2.2	Refrigerantes.....	25
2.3	Aislantes.....	40
2.4	Compresores.....	45
2.5	Condensadores.....	61
2.6	Evaporadores.....	74
2.7	Accesorios del sistema de Refrigeración.....	79

### CAPITULO 3

3.	CÁLCULOS, SELECCIÓN DE LOS EQUIPOS Y ACCESORIOS PARA LA CÁMARA.....	99
3.1	Calculo del aislante para las paredes.....	99
3.2	Calculo de la carga frigorífica del sistema.....	108
3.3	Selección del sistema de refrigeración.....	122
3.4	Selección de los accesorios del sistema.....	139

### CAPITULO 4

4.	DISEÑO DEL SOFTWARE .....	151
4.1	Descripción del Software.....	151
4.2	Pasos para utilizar el programa.....	173
4.3	Utilidad del programa.....	176

## CAPITULO 5

5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	178
----	-------------------------------------	-----

APÉNDICES

BIBLIOGRAFÍA

## ABREVIATURAS

BTU	Unidad Térmica de medida
cms	Centímetros
cms <sup>2</sup>	Centímetros cuadrados
<sup>0</sup> C	Grados centígrados
<sup>0</sup> F	Grados Fahrenheit
<sup>0</sup> K	Grados Kelvin
h	Hora
m	Flujo másico
mt	Metro
mts <sup>2</sup>	Metros cuadrado
mts <sup>3</sup>	Metros cúbicos
cms	Centímetros
cms <sup>2</sup>	Centímetros cuadrados
Hp	Caballos de Fuerza (Horse power)
J	Joule
KJ	Kilojoule
Kcal	Kilocalorías
KW	Kilowatts
Seg	Segundos
Kg	Kilogramos
Mpa	Megapascal
Pulg	Pulgadas
RPM	Revoluciones por minuto
TON	Toneladas
<i>v</i>	Volumen específico
V	Caudal volumétrico
P	Potencia del compresor
v	Velocidad
S	Superficie de transferencia de calor

## SIMBOLOGÍA

$H_i$	Coefficiente de convección del refrigerante
$H_e$	Coefficiente de convección del aire
$\eta_m$	Rendimiento Mecánico
$\eta_v$	Rendimiento volumétrico
$r$	Relación de compresión
$T_{ext}$	Temperatura del medio exterior.
$T_{max}$	Temperatura máxima del lugar de trabajo.
$T_{min}$	Temperatura mínima del lugar de trabajo.
$T_{med}$	Temperatura a la que se le agrega los grados de acuerdo a su ubicación.
$T_{int}$	Temperatura interior de la cámara o de almacenamiento.
$T_{cond}$	Temperatura de condensación.
$T_{evapor}$	Temperatura de evaporación.
TON	Toneladas
$U$	Coefficiente de transferencia de calor.
$e_n$	Espesor de los diferentes materiales utilizados en la pared
$\lambda$	Coefficiente de transmisión de calor de los diferentes materiales.
$Q$	Calor generado por las paredes, pisos y techos.
$Q_T$	Calor total del sistema.

$Q_{rechazad}$  Calor disipado por el condensador.

$Q_{\text{absorbido}}$	Calor absorbido por el evaporador.
K	Coefficiente de transmisión de calor en el evaporador y condensador.
A	Área de transmisión de calor.
C	Calor específico del producto.
$c_1$	Calor específico del embalaje.
$c_2$	Calor específico de la madera.
M	Masa total del producto.
I	Calor de respiración.
N	Cambios de aire.
$V_{ol}$	Volumen de la cámara de conservación.
$V_a$	Volumen específico del aire.
$h_a$	Entalpía del aire del medio
$h_f$	Entalpía del aire dentro de la cámara.
$Q_{dv}$	Calor desprendido por los ventiladores.
$N_p$	Numero de personas que trabajan dentro de la cámara.
CP	Calor corporal de las personas.
t	Tiempo de permanencia de las personas dentro de la cámara en un día.
$P_i$	Potencia de las luminarias en KW.
$t_i$	Tiempo de permanecía que están prendido los focos.
d	Diámetro de la tubería.
$\rho$	Densidad del refrigerante.
$\phi$	Humedad relativa
$v$	Volumen específico.

## ÍNDICE DE FIGURAS.

	Pág.
Figura 2.1	Cerramiento verticales de la cámara..... 18
Figura 2.2	Estructura del techo de la cámara..... 19
Figura 2.3	Detalles de la unión de paneles techo - pared..... 21
Figura 2.4	Puertas de cámaras..... 23
Figura 2.5	Estructuras de las cámaras..... 24
Figura 2.6	Compresor hermético..... 46
Figura 2.7	Compresor semihermético..... 46
Figura 2.8	Compresor abierto..... 47
Figura 2.9	Compresor alternativo..... 47
Figura 2.10	Llaves de servicios de compresores..... 50
Figura 2.11	Pistón del compresor..... 51
Figura 2.12	Cilindro del compresor..... 51
Figura 2.13	Sistema de lubricación de los compresores..... 53
Figura 2.14	Acoplamiento de motor- compresor con poleas..... 54
Figura 2.15	Alineamiento de motor- compresor con poleas..... 57
Figura 2.16	Relación del diámetro de la polea..... 57
Figura 2.17	Compresor rotativo..... 58
Figura 2.18	Compresor scroll..... 59
Figura 2.19	Compresor de tornillo..... 60
Figura 2.20	Condensador de aire..... 64
Figura 2.21	Condensador de doble tubo..... 66
Figura 2.22	Condensador multitubular..... 67
Figura 2.23	Condensador evaporativo..... 68
Figura 2.24	Condensador multitubular vertical..... 69
Figura 2.25	Torre de enfriamiento..... 69
Figura 2.26	Forma de transferencia de calor en el evaporador..... 76
Figura 2.27	Evaporador estático..... 77
Figura 2.28	Evaporador de tiro forzado..... 77
Figura 2.29	Forma correcta de soldar tuberías..... 81
Figura 2.30	Ubicación del tubo capilar..... 85

Figura 2.31	Válvula termostática.....	88
Figura 2.32	Ubicación de la válvula termostática con compensación interna.....	89
Figura 2.33	Ubicación de la válvula termostática con compensación externa.....	90
Figura 2.34	Maneras de colocar del bulbo.....	92
Figura 2.35	Distribución de varios evaporadores.....	93
Figura 2.36	Válvula m.o.p.....	96
Figura 2.37	Válvula flotador.....	97
Figura 2.38	Válvula de expansión electrónica.....	98
Figura 3.1	Unidad condensadora.....	134
Figura 3.2	Acumulador de succión.....	147
Figura 3.3	Mirilla.....	149
Figura 3.4	Filtro secador.....	150
Figura 4.1	Ventana de inicio de lab view.....	152
Figura 4.2	Barra de herramienta del panel frontal.....	155
Figura 4.3	Barra de herramientas del diagrama de bloques.....	157
Figura 4.4	Paleta de herramientas.....	159
Figura 4.5	Paleta de controles.....	162
Figura 4.6	Paleta de funciones.....	164
Figura 4.7	Flujograma para calcular el espesor de las paredes de la cámara.....	168
Figura 4.8	Flujograma para calcular aporte de calor a la cámara.....	169
Figura 4.9	Flujograma para calcular el sistema de refrigeración de la cámara.....	170
Figura 4.10	Icono para ingresar al programa.....	174
Figura 4.11	Ventana de ingreso de datos.....	174
Figura 4.12	Ventana para seleccionar el tipo de refrigerante.....	175
Figura 4.13	Icono para poner en marcha los cálculos.....	175
Figura 4.14	Ventana para seleccionar los resultados.....	175
Figura 4.15	Ventana de resultados.....	176

## ÍNDICE DE TABLAS

		Pág.
Tabla 1	Secciones de poleas.....	55
Tabla 2	Diámetros de poleas.....	56
Tabla 3	Características de los tubos de cobre.....	80
Tabla 4	Características de la soldadura de fósforo.....	83
Tabla 5	Escala de válvulas m.o.p.....	95
Tabla 6	Temperaturas adicionales de acuerdo a la ubicación de la cámara.....	101
Tabla 7	Coefficientes de transferencias de calor.....	102
Tabla 8	Espesores y conductividades de los materiales.....	104
Tabla 9	Valores de la conductividad térmica.....	113
Tabla 10	Propiedades del producto.....	115
Tabla 11	Datos del producto de embalaje.....	119
Tabla 12	Numero de renovaciones de acuerdo al volumen de la cámara.....	122
Tabla 13	Potencia calorífica liberadas por las personas.....	132
Tabla 14	Coefficientes de transferencia para los tipos de condensadores.....	133
Tabla 15	Diferencia de temperaturas vs. la humedad relativa.....	137



## INTRODUCCIÓN

La necesidad de realizar este proyecto es debido a la gran variedad de productos que existen en nuestro medio y que necesitan ser refrigerados para ser manipulados de un lugar a otro, ya sea para su traslado interno o para exportación, tratamos de facilitar los cálculos de diseño de cámaras frigoríficas, para con esto tratar de eliminar tiempo y costo que resultan muy valiosos a la hora del diseño.

Este software tiene una gran variedad de productos que usted puede seleccionar para realizar sus cálculos, tomando en cuenta la temperatura de almacenamiento de cada uno.

Para construir una cámara frigorífica requiere que se preste especial atención a determinados detalles, ya que de otra forma diferente no se alcanzarían los objetivos perseguidos en su construcción y aislamiento, pudiendo llegarse a producir daños importantes a la construcción.

Una vez elegido el material aislante más conveniente para nuestro caso, se iniciarán los trabajos preparatorios para su instalación, debe prestar una

atención muy especial a la ejecución de la barrera antivapor, porque, el vapor de agua puede penetrar en él, aumentando su conductividad térmica.

# CAPITULO 1

## 1. CONSERVACIÓN DE ALIMENTOS.

### 1.1 Conservación de los productos alimenticios.

La conservación de los productos es el conjunto de [procedimientos](#) y [recursos](#) para preparar y envasar los productos alimenticios, con el fin de guardarlos y consumirlos mucho [tiempo](#) después. El objetivo de la conservación de los alimentos es evitar que sean atacados por microorganismos que originan la descomposición, y así [poder](#) almacenarlo, por más tiempo.

La conservación de los alimentos es una batalla constante contra los microorganismos que alteran los alimentos o que los hacen inseguros. A pesar de las tecnologías disponibles, la industria alimentaría investiga cada vez más con la finalidad de modificar, o incluso sustituir, las técnicas de conservación tradicionales

(tratamientos térmicos intensos, salado, acidificación, deshidratación y conservación química) por nuevas tecnologías.

La aplicación de nuevas tecnologías en el ámbito de la conservación de alimentos pretende dar respuesta al incremento de la demanda, por parte de los consumidores, de alimentos con aromas más parecidos a los frescos o naturales, más nutritivos y fáciles de manipular. En general los alimentos son perecederos, por lo que necesitan ciertas condiciones de tratamiento, conservación y manipulación. Su principal causa de deterioro es el ataque por diferentes tipos de microorganismos (bacterias, levaduras y mohos). Esto tiene implicaciones económicas evidentes, tanto para los fabricantes (deterioro de materias primas y productos elaborados antes de su comercialización, pérdida de la imagen de marca, etc.) como para distribuidores y consumidores (deterioro E de productos después de su adquisición y antes de su consumo). Se calcula que más del 20% de todos los alimentos producidos en el mundo se pierden por acción de los microorganismos.

Por otra parte, los alimentos alterados pueden resultar muy perjudiciales para la salud del consumidor. La toxina botulínica,

producida por una bacteria, *Clostridium botulinum*, en las conservas mal esterilizadas, embutidos y en otros productos, es una de las sustancias más venenosas que se conocen (miles de veces más tóxica que el cianuro). Otras sustancias producidas por el crecimiento de ciertos mohos son potentes agentes cancerígenos. Existen pues razones poderosas para evitar la alteración de los alimentos. A los métodos físicos, como el calentamiento, deshidratación, irradiación o congelación, pueden asociarse métodos químicos que causen la muerte de los microorganismos o que al menos eviten su crecimiento.

En muchos alimentos existen de forma natural sustancias con actividad antimicrobiana. Muchas frutas contienen diferentes ácidos orgánicos, como el ácido benzoico o el ácido cítrico. La relativa estabilidad de los yogures comparados con la leche se debe al ácido láctico producido durante su fermentación. Los ajos, cebollas y muchas especias contienen potentes agentes antimicrobianos, o precursores que se transforman en ellos al triturarlos.

### Según el tiempo de duración, los alimentos se clasifican en:

- **Alimentos Perecederos:** Son aquellos que se descomponen fácilmente, como la leche, las carnes, los huevos y las verduras.
- **Alimentos semi-perecederos:** Son aquellos que permanecen exentos de deterioro por mucho tiempo. Ejemplo de ellos son las papas, las nueces y los alimentos enlatados.
- **Alimentos no perecederos:** No se dañan fácilmente. Ejemplo de ellos son las harinas, las pastas y el azúcar.

### Cómo se empiezan a conservar los alimentos?

La primera técnica desarrollada por el hombre primitivo fue probablemente la desecación y la deshidratación.

Otro gran descubrimiento fue el de los efectos del calor (cocidos, asados.). El calor deshidrata, pero tiene además otros efectos, tanto por el humo como por las transformaciones que induce en los alimentos. La conservación por frío también data de la prehistoria y se ha ido progresando hasta conseguir la congelación gracias a las cámaras de refrigeración.

Existen 2 técnicas principales de conservación de los alimentos:

- Conservación por calor.
- Conservación por frío.

Existen otras técnicas como: la liofilización, la deshidratación y la irradiación.

## 1.2 Factores que influyen en la conservación de los productos.

Los dos factores más importantes en la conservación de alimentos son: la **temperatura** y **el tiempo** (ver Apéndice A) factores de conservación por temperatura.

La conservación de los alimentos como medio para prevenir tiempos de escasez ha sido una de las preocupaciones de la humanidad. Para conseguir aumentar la despensa, la experiencia había demostrado, a lo largo de la historia, que existían muy pocos sistemas fiables. Sólo el ahumado, las técnicas de salazón y salmueras, el escabeche, y el aceite, podían generar medios que mantuvieran los alimentos en buen estado.

Nicolas Appert (1750-1840) fue el primer elaborador de latas de conserva, tal como se realizan hoy en día en el hogar. Utilizó el baño maría para conservar alimentos cocinados, guardados en botellas de cristal que luego tapaba con corchos encerados. El descubrimiento de Appert, ideado para la despensa de los ejércitos de Napoleón le

valió el reconocimiento del Emperador, pero no fue utilizado por la Grande Armée en la campaña de Rusia, quizás por la fragilidad del envase, o porque, de quedar aire en el interior, tal como sucede en las conservas caseras, el contenido se arruina, pudiendo ser colonizado por las bacterias causantes del botulismo.

Bryan Donkin utilizó botes de hojalata en lugar de cristal. A partir de 1818, las latas de Donkin tenían el aspecto de las actuales, recubiertas por un barniz interior, protector. La carne, las galletas y las harinas conservadas en lata formaron parte de la dieta del rey Jorge III y de la marina británica.

La leche no se podía enlatar, dada la fragilidad de su conservación. En 1856, Gail Borden consiguió evaporar la leche en una caldera de vacío. Hasta la divulgación de los trabajos de Pasteur fue la leche en conserva más segura y digestiva.

A partir de estas experiencias, y una vez conocidos los procesos microbiológicos que condicionan la esterilización, la evolución de las técnicas de conservación fue rapidísima. De las experiencias de Sir Benjamin Thompson, elaborador de los primeros concentrados de



carne, se llegó a la liofilización, mientras que la aplicación de la congelación permitió la conservación de alimentos frigorizados, congelados y ultracongelados. Más tarde surgieron las teorías de Frederic Tudor, un empresario de Boston que fue el primero en aunar la cadena de frío, conseguida con hielo y paja, con la velocidad de los entonces modernos medios de locomoción.

### **1.3 Sistemas de refrigeración para conservación de alimentos.**

La conservación de alimentos en frío consiste en someter los alimentos a la acción de bajas temperaturas, para reducir o eliminar la actividad microbiana y enzimática y para mantener determinadas condiciones físicas y químicas del alimento.

El frío es el procedimiento más seguro de conservación. La congelación previene y detiene la corrupción, conservando los alimentos en buen estado durante largo tiempo. Tras su cocinado, los alimentos pueden contaminarse por:

- Contener algunos gérmenes de las materias primas utilizadas y que son resistentes a la cocción.

- Microorganismos del aire, del manipulador, del recipiente, etc., sobre todo si estos encuentran temperaturas y tiempos idóneos para su reproducción.

Estas dos cuestiones hacen que la rapidez de la aplicación del frío sobre los alimentos ya cocinados, si no van a consumirse enseguida, tiene una importancia vital.

El tiempo de enfriado de los alimentos cocinados es muy variable dependiendo del sistema utilizado, desde minutos a horas. Estudios científicos demuestran la necesidad de enfriar en menos de dos horas, con objeto de bajar la temperatura de los alimentos desde 65 hasta 10°C (en el centro de éstos) y almacenar después a temperaturas inferiores a 2°C.

El período de conservación de un alimento almacenado a 2°C no debe sobrepasar de los 6 días normalmente.

**Los procesos de conservación en frío son:**

- Refrigeración
- Congelación

**Refrigeración.**

Mantiene el alimento por debajo de la temperatura de multiplicación bacteriana. (entre 2 y 5 °C en frigoríficos industriales, y entre 8 y 15°C en frigoríficos domésticos.) Conserva el alimento sólo a corto plazo, ya que la humedad favorece la proliferación de hongos y bacterias.

Mantiene los alimentos entre 0 y 5-6°C, inhibiendo durante algunos días el crecimiento microbiano. Somete al alimento a bajas temperaturas sin llegar a la congelación. La temperatura debe mantenerse uniforme durante el periodo de conservación, dentro de los límites de tolerancia admitidos, en su caso, y ser la apropiada para cada tipo de producto

Las carnes se conservan durante varias semanas a 2 - 3°C bajo cero, siempre que se tenga humedad relativa y temperatura controladas. De este modo no se distingue de una carne recién sacrificada

**Congelación.**

La industria de la alimentación ha desarrollado cada vez más las técnicas de congelación para una gran variedad de alimentos: frutas, verduras, carnes, pescados y alimentos precocinados de muy diversos tipos. Para ello se someten a un enfriamiento muy rápido, a temperaturas del orden de  $-30^{\circ}\text{C}$  con el fin de que no se lleguen a formar macrocristales de hielo que romperían la estructura y apariencia del alimento. Con frecuencia envasados al vacío, pueden conservarse durante meses en cámaras de congelación a temperaturas del orden de  $-18$  a  $-20^{\circ}\text{C}$ , manteniendo su aspecto, valor nutritivo y contenido vitamínico.

El fundamento de la congelación es someter a los alimentos a temperaturas iguales o inferiores a las necesarias de mantenimiento, para congelar la mayor parte posible del agua que contienen. Durante el período de conservación, la temperatura se mantendrá uniforme de acuerdo con las exigencias y tolerancias permitidas para cada producto.

Detiene la vida orgánica, ya que enfría el alimento hasta los  $20^{\circ}$  bajo cero (en congeladores industriales llega hasta  $40^{\circ}$  bajo cero). Es un buen método, aunque la rapidez en el proceso influirá en la calidad de la congelación.

Congelación lenta: Produce cambios de textura y valor nutritivo.

Congelación rápida: Mantiene las características nutritivas y organolépticas.

### **Puntos importantes en el proceso de Congelación**

Condiciones de los alimentos

1. Alimentos muy frescos
2. Preparación inmediata e higiénica
3. Blanqueo o escaldado de vegetales y frutas

### **Ultracongelación**

La sobrecongelación o ultracongelación consiste en una congelación en tiempo muy rápido (120 minutos como máximo), a una temperatura muy baja (inferior a  $-40^{\circ}\text{C}$ ), lo que permite conservar al máximo la estructura física de los productos alimenticios. Dado que éstos conservan inalteradas la mayor parte de sus cualidades, solo deben someterse a este proceso aquellos que se encuentren en perfecto estado. Los alimentos ultracongelados una vez adquiridos se conservan en las cámaras de congelación a unos  $-18$  a  $-20^{\circ}\text{C}$ .

#### **1.4 Ventajas que ofrece la conservación de alimentos por medio de Refrigeración.**

La conservación del producto por medio de refrigeración ofrece diferentes ventajas como veremos a continuación:

- Reduce o elimina la actividad microbiana y enzimática y mantiene determinadas condiciones físicas y químicas del alimento.
- La congelación previene y detiene la corrupción, conservando los alimentos en buen estado durante largo tiempo.
- Mantiene el alimento por debajo de la temperatura de multiplicación bacteriana.
- Conserva el alimento en un plazo determinado para su respectiva manipulación.
- Pueden conservarse durante meses en cámaras de congelación a temperaturas del orden de  $-18$  a  $-20^{\circ}\text{C}$ , manteniendo su aspecto, valor nutritivo y contenido vitamínico.
- Mantiene las características nutritivas y organolépticas.
- Conservar los alimentos es lograr mantenerlos durante largo tiempo, bajo ciertas condiciones que nos permitan consumirlos en cualquier momento, sin que causen daño a nuestra salud.



# **CAPITULO 2**

## **2. DESCRIPCION DE EQUIPOS Y ACCESORIOS DEL SISTEMA DE REFRIGERACION.**

### **2.1 Cámaras de refrigeración.**

Como elementos constitutivos básicos de cualquier cámara frigorífica consideramos el aislamiento, la barrera antivapor y los revestimientos. Otros elementos, a veces tan importantes como los citados son: válvulas de equilibrado de presiones, puertas, resistencias en puertas, protección del suelo contra el hielo, existencia de raíles y estanterías fijas o móviles, tuberías, desagües, extractores de aire.



## **Aislamiento**

En la actualidad son muy pocos los materiales utilizados para el aislamiento de las cámaras frigoríficas, siendo los más importantes el poliuretano, el poliestireno expandido y el poliestireno extrusionado, cuando se aislante cerramientos, y la espuma elastomérica para el aislamiento de tuberías. Citaremos a continuación las soluciones más utilizadas en el aislamiento de cámaras frigoríficas.

### ***Aislamiento de cerramientos constituidos por elementos de fábrica***

**Cerramientos verticales:** Cuando los cerramientos verticales se proyectan de fábrica de ladrillo o de fábrica de bloques de hormigón prefabricados, resulta necesario, previo a la instalación del aislamiento, colocar una barrera antivapor sobre la cara interior del cerramiento. En este caso los materiales más usados son la espuma de poliuretano proyectada «in situ» y el poliestireno expandido. Más raramente suelen utilizarse paneles aislantes prefabricados, en este caso, salvo que el cerramiento haya sido construido por imperativo estético y/o que los paneles aislantes se hayan proyectado como la mejor solución técnica a un determinado

problema. Los cerramientos de fábrica son construidos con mortero de cemento para ser pintados a continuación. En ocasiones, y sobre todo por el interior suelen chaparse mediante piezas cerámicas, colocadas sobre fábrica de ladrillo, pueden fratasarse con mortero de cemento para su posterior pintado.

Los parámetros verticales, suelen estar protegidos por un bordillo o murete de hormigón armado en su base, con objeto de proteger el revestimiento del aislamiento y al propio aislamiento de posibles golpes de carretillas elevadoras o montacargas, al tiempo que facilitan la circulación del aire entre el producto y el parámetro vertical.



**FIGURA 2.1 CERRAMIENTO VERTICALES DE LA CÁMARA.**

**Techos:** Cuando los techos no tienen que soportar cargas, suelen construirse mediante materiales ligeros sobre los que se aplica capas de poliuretano inyectado in situ; se colocan placas de poliestireno, o productos similares a los anteriores, siendo preciso establecer exteriormente la barrera antivapor..

Para el soporte de los techos suelen utilizarse estructuras auxiliares o de vigas de madera, uniendo el material aislante a esta evitando los puentes térmicos.



**FIGURA 2. 2 ESTRUCTURA DEL TECHO DE LA CÁMARA.**

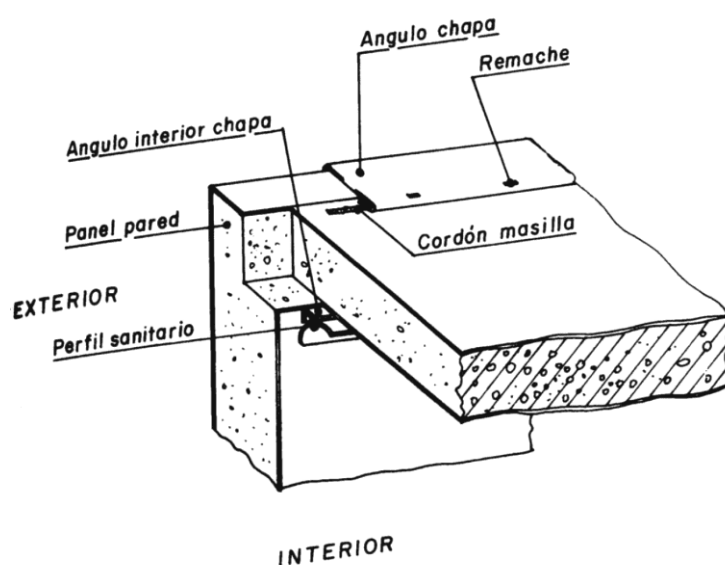
**Suelos:** Tras haber compactado el terreno mediante el aporte de materiales adecuados, suele establecerse una capa de hormigón de limpieza que al mismo tiempo permite nivelar la superficie y formar las pendientes de la cámara en caso necesario. Conviene que el

acabado de esta capa de hormigón, que suele tener de 5 a 10 cm de espesor, sea lo mas fino posible, ya que sobre ella se ejecutara la barrear antivapor; seguidamente se colocara el espesor del material aislante necesario, debiendo reunir este material las características de densidad y resistencia a ala compresión adecuadas a la carga que recibirá. Sobre el material aislante se ejecutara el piso definitivo el cual suele tener de 12- 15 cm de espesor, utilizando para ello hormigón de la resistencia adecuada y, en otros casos, el acabado del suelo se realiza mediante pavimentos cerámicos impermeables.

### **Aislamiento con paneles prefabricados.**

En la actualidad los paneles prefabricados constituyen, con diferencia, el material prefabricado mas utilizado para la construcción de cámaras frigoríficas, utilizándose como material aislante el poliestireno expandido y con mucha mayor frecuencia el poliuretano. En ambos casos el aislante suele estar recubierto por dos chapas de acero de 0.5 o 0.6 mm, que pueden estar galvanizadas o lacadas. Los paneles de poliestireno suelen tener un espesor de 50 a 250mm y una longitud de hasta 12m.

Los paneles de poliuretano suelen tener un espesor de 30 a 180 mm y una longitud de hasta 12m. Esta en auge el uso de los paneles prefabricados se deben por lado a que constituyen una solución técnica muy adecuada, de fácil instalación, gran rapidez de montaje, fácil mantenimiento y por otro, a su constante reducción de precio, resultando en muchas ocasiones competitivos con las fabricas de ladrillos o bloques tradicionales, sobre todo cuando estas deben ser aisladas.



**FIGURA 2. 3 DETALLES DE LA UNION DE PANELES TECHO-PARED.**

**Barrera antivapor:** La barrera antivapor sirve para evitar el paso o difusión del vapor de agua hacia el interior del aislamiento, evitando así su condensación aun cuando se alcance la temperatura de rocío. El material de estas barreras antivapor suelen ser emulsiones acuosas bituminosas en frío, los productos soldables en obras como las láminas de polietileno, laminas de aluminio-polietileno o telas asfálticas con o sin aluminio o chapas metálicas, que generalmente constituyen un elemento estructural como ocurre en el caso de paneles prefabricados.

Con el uso de las barreras antivapor conseguiremos:

- Mantener el valor de la conductividad térmica del material aislante.
- Evitar deterioros en el aislante y en la obra de albañilería que constituye el parámetro vertical u horizontal.
- Un menor consumo energético y mayor vida útil tanto de cerramientos y de materiales como del equipo frigorífico.

**Puertas:** Las puertas son elementos de las cámaras frigoríficas que se encuentran sometidas frecuentemente a un uso muy importante,

por lo que sus características constructivas y mecánicas deberán cumplir las máximas exigencias.



**FIGURA 2.4 PUERTAS DE CÁMARAS.**

Las puertas tienen que cumplir las siguientes cualidades:

- Que sea isoterma, es decir, deberá estar aislada adecuadamente, utilizándose generalmente en la actualidad el poliuretano como material aislante.
- Que sea estanca al vapor de agua y de aire.
- Que sea resistente a golpes, a su repetida apertura y cierre, indeformable y de construcción ligera para facilitar su uso.

- Que sea de dimensiones y caracterizas adecuadas al tipo de cámaras, sistema de trabajo, elementos de transporte interno utilizados y de fácil mecanización para sus apertura y cierre.

**Desagües:** Los desagües deberán ser sifónicos para impedir el retroceso de olores dotados de rejillas que impida la entrada de roedores o de insectos a las cámaras frigoríficas.

**Tipos de construcciones:** en la actualidad el tipo de construcción mas utilizado es la estructura metálica para las cámaras frigoríficas, dada su facilidad de construcción , su rapidez de montaje y versatilidad como veremos a continuación:



**FIGURA 2.5 ESTRUCTURAS DE LAS CÁMARAS.**



## 2.2 Refrigerantes

Es cualquier cuerpo o sustancia que actúa como agente de enfriamiento absorbiendo calor de otro cuerpo o sustancia.

Con respecto al ciclo *compresión-vapor*, el refrigerante es el fluido de trabajo del ciclo el cuál alternativamente se vaporiza y se condensa absorbiendo y cediendo calor, respectivamente. Para que un refrigerante sea apropiado y se le pueda usar en el ciclo antes mencionado, debe poseer ciertas propiedades físicas, químicas y termodinámicas que lo hagan seguro durante su uso.

No existe un refrigerante “ideal” ni que pueda ser universalmente adaptable a todas las aplicaciones. Entonces, un refrigerante se aproximará al “ideal”, solo en tanto que sus propiedades satisfagan las condiciones y necesidades de la aplicación para la que va a ser utilizado.

### **Propiedades:**

Para tener uso apropiado como refrigerante, se busca que los fluidos cumplan con la mayoría de las siguientes características:

- **Baja temperatura de ebullición:** Un punto de ebullición por debajo de la temperatura ambiente, a presión atmosférica. (evaporador)
- **Fácilmente manejable en estado líquido:** El punto de ebullición debe ser controlable con facilidad de modo que su capacidad de absorber calor sea controlable también.
- **Alto calor latente de vaporización:** Cuanto mayor sea el calor latente de vaporización, mayor será el calor absorbido por kilogramo de refrigerante en circulación.
- **No inflamable, no explosivo, no tóxico.**
- **Químicamente estable:** A fin de tolerar años de repetidos cambios de estado.
- **No corrosivo:** Para asegurar que en la construcción del sistema puedan usarse materiales comunes y la larga vida de todos los componentes.
- **Moderadas presiones de trabajo:** las elevadas presiones de condensación (mayor a 25-28 kg/cm<sup>2</sup>) requieren un equipo extrapesado. La operación en vacío (menor a 0 kg/cm<sup>2</sup>) introduce la posibilidad de penetración de aire en el sistema.

- **Fácil detección y localización de pérdidas:** Las pérdidas producen la disminución del refrigerante y la contaminación del sistema.
- **Inocuo para los aceites lubricantes:** La acción del refrigerante en los aceites lubricantes no debe alterar la acción de lubricación.
- **Bajo punto de congelación:** La temperatura de congelación tiene que estar muy por debajo de cualquier temperatura a la cuál pueda operar el evaporador.
- **Alta temperatura crítica:** Un vapor que no se condense a temperatura mayor que su valor crítico, sin importar cuál elevada sea la presión. La mayoría de los refrigerantes poseen críticas superiores a los 93°C.
- **Moderado volumen específico de vapor:** Para reducir al mínimo el tamaño del compresor.
- **Bajo costo:** A fin de mantener el precio del equipo dentro de lo razonable y asegurar el servicio adecuado cuando sea necesario.

Haremos hincapié en las más importantes para la selección del refrigerante adecuado para la aplicación de que se trate y el equipo disponible.

### **Refrigerantes del grupo 1:**

Son los de toxicidad e inflamabilidad despreciables. De ellos, los refrigerantes 11, 113 y 114 se emplean en compresores centrífugos.

Los refrigerantes 12, 22, 500 y 502 se usan normalmente en compresores alternativos y en los centrífugos de elevada capacidad.

### **Refrigerantes del grupo 2:**

Son los tóxicos o inflamables, o ambas cosas.

El grupo incluye el **Amoníaco**, **Cloruro de etilo**, **Cloruro de metilo** y **Dióxido de azufre**, pero solo el **Amoníaco (r-717)** se utiliza aún en cierto grado.

### **Refrigerantes del grupo 3:**

Estos refrigerantes son muy inflamables y explosivos. A causa de su bajo costo se utilizan donde el peligro está siempre presente y su uso no agrega otro peligro, como por ejemplo, en las plantas petroquímicas y en las refinerías de petróleo.

El grupo incluye el Butano, Propano, Isobutano, Etano, Etileno, Propileno y Metano.

Estos refrigerantes deben trabajar a presiones mayores que la atmosférica para evitar que aumente el peligro de explosión. Las presiones mayores que la atmosféricas impiden la penetración de aire por pérdidas porque es la mezcla aire-refrigerante la que resulta potencialmente peligrosa.

### **Diferentes tipos de refrigerantes (características).**

#### **Amoníaco**

Aunque el amoníaco es tóxico, algo inflamable y explosivo bajo ciertas condiciones, sus excelentes propiedades térmicas lo hacen ser un refrigerante ideal para fábricas de hielo, para grandes almacenes de enfriamiento, etc., donde se cuenta con los servicios de personal experimentado y donde su naturaleza tóxica es de poca consecuencia.

El amoníaco es el refrigerante que tiene mas alto efecto refrigerante por unidad de peso.

El punto de ebullición del amoníaco bajo la presión atmosférica estándar es de  $-2,22^{\circ}\text{C}$ , las presiones en el evaporador y el condensador en las condiciones de tonelada estándar es de  $-15^{\circ}\text{C}$  y  $30^{\circ}\text{C}$  son 34,27 libras por pulgada $\clubsuit$  y 169,2 libras por pulgada $\clubsuit$  abs. , respectivamente, pueden usarse materiales de peso ligero en la construcción del equipo refrigerante. La temperatura adiabática en la descarga es relativamente alta, siendo de  $98,89^{\circ}\text{C}$  para las condiciones de tonelada estándar, por lo cuál es adecuado tener enfriamiento en el agua tanto en el cabezal como en el cilindro del compresor.

En la presencia de la humedad el amoníaco se vuelve corrosivo para los materiales no ferrosos.

El amoníaco no es miscible con el aceite y por lo mismo no se diluye con el aceite del cárter del cigüeñal del compresor. Deberá usarse un separador de aceite en el tubo de descarga de los sistemas de amoníaco.

El amoníaco es fácil de conseguir y es el más barato de los refrigerantes.

Su estabilidad química, afinidad por el agua y no-miscibilidad con el aceite, hacen al amoníaco un refrigerante ideal para ser usado en sistemas muy grandes donde la toxicidad no es un factor importante.

### ***Refrigerante 22***

Conocido con el nombre de Freón 22, se emplea en sistemas de aire acondicionado domésticos y en sistemas de refrigeración comerciales e industriales incluyendo: cámaras de conservación e instalaciones para el procesado de alimentos: refrigeración y aire acondicionado a bordo de diferentes transportes; bombas de calor para calentar aire y agua. Se puede utilizar en compresores de pistón, centrífugo y de tornillo.

El refrigerante 22 (CHClF) tiene un punto de ebullición a la presión atmosférica de  $40,8^{\circ}\text{C}$ . Las temperaturas en el evaporador son tan bajas como  $8^{\circ}\text{C}$ . Resulta una gran ventaja el calor relativamente pequeño del desplazamiento del compresor.

La temperatura en la descarga con el refrigerante 22 es alta, la temperatura sobrecalentada en la succión debe conservarse en su valor mínimo, sobre todo cuando se usan unidades herméticas

motor-compresor. En aplicaciones de temperatura baja, donde las relaciones de compresión altas, se recomienda tener en enfriamiento con agua al cabezal y a los cilindros del compresor. Los condensadores enfriados por aire empleados con el refrigerante 22, deben ser de tamaño generoso.

Aunque el refrigerante 22 es miscible con aceite en la sección de condensación a menudo suele separársele del aceite en el evaporador.

No se han tenido dificultades en el retorno de aceite después del evaporador cuando se tiene el diseño adecuado del serpentín del evaporador y de la tubería de succión.

Siendo un fluorcarburo, el refrigerante 22 es un refrigerante seguro. Se comercializa en cilindros retornables (CME) de 56,7 Kg, cilindros desechables de 22,68 kg, cilindros desechables de 13,61 kg y cajas de 12 latas de 5,10 kg cada una.

### ***Refrigerante 123***

Es un sustituto viable para el **freón 11** como refrigerante. Las propiedades termodinámicas y físicas del refrigerante 123 en



conjunto con sus características de no-inflamabilidad lo convierte en un reemplazo eficiente del Freón 11 en chillers centrífugos.

El refrigerante 123 fue diseñado para trabajar en equipos nuevos existentes. Cuando se considere u reacondicionamiento para refrigerante 123 de un equipo existente, debe considerarse el ciclo de vida útil del equipo, la diferencia de costo de operación y mantenimiento y el costo de reacondicionamiento.

Los equipos nuevos que han sido diseñados para trabajar con el refrigerante 123 tienen menor costo de operación comparada con los equipos existentes.

Debido a que tiene un olor tan leve que no se puede detectar por medio del olfato es necesaria una verificación frecuente de fugas y la instalación de detectores de fugas por áreas cerradas utilizadas por el personal. Se comercializa en tambores de 283,5kg, tambores de 90,72kg y tambores de 45,36kg. Su composición en peso es de 100% HFC-123.

### **Refrigerante 134-a**

El refrigerante marca Suva134a, ha sido introducido por DuPont, como reemplazo de los clorofluorocarbonos (CFC) en muchas

aplicaciones. La producción de CFC es reemplazada por el hidrofluorocarbano HFC-134<sup>a</sup>.

Este refrigerante no contiene cloro y puede ser usado en muchas aplicaciones que actualmente usan CFC-12. Sin embargo en algunas ocasiones se requieren cambios en el diseño del equipo para optimizar el desempeño del Suva 134<sup>a</sup> en estas aplicaciones.

Las propiedades termodinámicas y físicas del Suva 134<sup>a</sup> y su baja toxicidad lo convierten en un reemplazo seguro y muy eficiente del CFC-12 en muchos segmentos de la refrigeración industrial mas notablemente en el aire acondicionado automotriz, equipos domésticos, equipo estacionario pequeño, equipo de supermercado de media temperatura y chillers, industriales y comerciales. El Suva134a ha mostrado que es combustible a presiones tan bajas como 5,5 psig a 177°C cuando se mezclan con aire a concentraciones generalmente mayores al 60% en volumen de aire. A bajas temperaturas se requieren mayores presiones para la combustibilidad. No deben ser mezclados con el aire para pruebas de fuga. En general no se debe permitir que estén presentes con altas concentraciones de aire arriba de la presión atmosférica. Se comercializan en cilindros retornables (CME) de 56,7kg, cilindros

desechables de 13,61kg, y cajas de 12 latas de 3,408kg cada una. Temperatura del evaporador  $-7^{\circ}\text{C}$  a  $7^{\circ}\text{C}$ . Su composición en peso es de 100% HFC-134<sup>a</sup>.

### **Refrigerante 407c/410 a**

DuPont los comercializa con el nombre de Suva 9100 respectivamente.

Reemplazan el HCFC-22 en el aire acondicionado doméstico en aplicaciones en el calentamiento de bombas. El Suva 9000 sirve para equipos nuevos o en servicio, tiene un desempeño similar del HCFC-22 en el aire acondicionado. El Suva 9100 sirve solo para equipos nuevos y es un reemplazo del Freón 22 de mayor capacidad. Se comercializa en cilindros desechables de 6,8kg y en cajas de 12 latas de 3,408kg cada una. Su composición en peso es de 60% HCFC-22, 23% HFC-152<sup>a</sup> y 27% HCFC-124.

### **Refrigerante 401<sup>a</sup>**

Comercializado por DuPont con el nombre de Suva MP39. Algunas aplicaciones de este refrigerante son refrigeradores domésticos, congeladores, equipos de refrigeración para alimentos de media

temperatura de humidificadores, máquinas de hielo y máquinas expendedoras de bebidas.

Tiene capacidades y eficiencia comparables a las del Freón 12, en sistemas que operan con una temperatura de evaporación de  $-23^{\circ}\text{C}$  ( $-10^{\circ}\text{F}$ ) y superiores.

Se comercializan en cilindros retornables (CGT) de 771kg, cilindros retornables de 56,7kg, cilindros desechables de 6,8kg y cajas de 12 latas de 3,408kg cada una. Su composición en peso es de 60% HCFC-22, 13% HCF-152<sup>a</sup> y 27% HCFC-124.

### ***Refrigerante 401-b***

Comercializado por DuPont con el nombre de Suva MP66, provee capacidades comparables al CFC-12 en sistemas que operan a temperatura de evaporación debajo de los  $-23^{\circ}\text{C}$  ( $-10^{\circ}\text{F}$ ), haciéndolo adecuado para el uso en equipos de transporte refrigerado y en congeladores domésticos y comerciales. También puede ser utilizado para reemplazar en equipos que usan R-500. Se comercializa en cilindros retornables (CGT) de 771kg, cilindros retornables de 56,7kg y cilindros desechables de 13,61kg. Sus

composición en peso es de 60% HCFC-22, 13% HFC-152<sup>a</sup> y 27% HCFC-124.

### ***Refrigerante 402<sup>a</sup>***

Comercializado por DuPont con el nombre de Suva HP80, reemplaza al R-502 en sistemas de media y baja temperatura. Tiene aplicaciones muy variadas en la industria de la refrigeración. Es usado ampliamente en aplicaciones de supermercados, almacenamiento y transporte de alimentos en sistemas de cascada de temperatura. Ofrece buena capacidad y eficiencia sin sufrir los incrementos de presión y temperatura en la descarga del compresor, lo cuál si sucede cuando un equipo es convertido HCFC-22. Se comercializa en cilindros retornables (CME) de 49,9kg y cilindros desechables de 13.25 kg.

### ***Refrigerante 402b***

Comercializado por DuPont con el nombre de Suva HP81, todos los refrigerantes designados HP fueron diseñados para reemplazar al R-502 en sistemas de refrigeración de temperatura media y baja. Está diseñado para el reacondicionamiento de equipos como máquinas de hielo. Además ofrece mas alta eficiencia comparado

con el R-502 y una capacidad relativamente mejor. Sin embargo el mayor contenido de HCFC-22 resulta en temperaturas de descarga de compresor en un rango de 14°C (25°F). Se comercializa en cilindros desechables de 5,9kg. Su composición en peso es de 60% HCFC-22, 38% HFC-125 y 2% de propano.

**Los refrigerantes son nombrados por un R y tres cifras:**

- A la primera cifra se le suma 1 para obtener el número de átomos de carbono que contiene la molécula.
- A la segunda se le resta 1 para obtener el número de átomos de Hidrógeno.
- La tercera se refiere al número de átomos de fluor.
- El resto de valencias, salvo que se indique lo contrario, quedan cubiertas con cloro.

Por ejemplo la fórmula del R-245 sería:

Carbono:  $2+1=3$  átomos

Hidrógeno:  $4-1=3$  átomos

Fluor: 5 átomos

El resto de valencias cubiertas con cloro no existen.

Cuando sólo aparezcan dos cifras se entiende que la primera no escrita será cero. Así tendríamos:

R-11

Carbono:  $0+1= 1$  átomo C

Hidrógeno:  $1-1= 0$  átomo H

Flúor: 1 átomo F

Resto: Cloro

Existen en la actualidad tres tipos de refrigerantes de la familia de los hidrocarburos halogenados:

CFC: (Flúor, Carbono, Cloro), Clorofluorocarbono totalmente halogenado, no contiene hidrógeno en su molécula química y por lo tanto es muy estable, esta estabilidad hace que permanezca durante largo tiempo en la atmósfera afectando seriamente la capa de ozono y es una de las causas del efecto invernadero.(R-11, R-12, R-115). Esta prohibida su fabricación desde 1995.

HCFC: (Hidrógeno, Carbono, Flúor, Cloro), Es similar al anterior pero con átomos de hidrógeno en su molécula. La presencia de Hidrógeno le confiere menos estabilidad, en consecuencia, se descompondrá en la parte inferior de la atmósfera y no llegará a la

estratosfera. Posee un potencial reducido de destrucción de la capa de ozono. Su desaparición está prevista para el año 2015. (R-22)

HFC: (Hidrógeno, Flúor, Carbono), Es un Fluorocarbono sin cloro con átomos de hidrógeno sin potencial destructor del ozono dado que no contiene cloro. (R-134a, 141b).

### **2.3 Aislantes.**

Los aislamientos o aislantes son materiales destinados a disminuir la entrada de calor a través de las paredes de las cámaras frigoríficas. Estos materiales son malos conductores de calor que son fijados por procedimientos especiales contra las paredes, pisos y techos de los locales refrigerados con el fin de realizar una economía del frío.

Los aislantes son materiales fibrosos o celulares donde la fase gaseosa es inmovilizada en:

- Una estructura celular
- Natural : corcho
- Artificial : aislantes de plásticos celulares
- Un colchón fibroso : lana de vidrio



- Un conjunto de paredes múltiples.

### Objetivos

Los objetivos fundamentales de los materiales aislantes en las instalaciones frigoríficas, además de cumplir con la legislación, son:

- Facilitar el mantenimiento de la temperatura adecuada en el interior de los recintos o tuberías aislados, ajustando las pérdidas de calor a unos valores prefijados por unidad de superficie o de longitud y evitar las condensaciones.
- Obtener un ahorro energético con un espesor económico óptimo.

### Aspectos a considerar

Algunos aspectos como son la resistencia a la compresión del material aislante, su coeficiente de conductividad térmica, su permeabilidad al 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, etc., deberán tenerse en cuenta por el ingeniero proyectista.

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.

### **Características de los aislantes.**

De entre los materiales aislantes existentes en el mercado, no todos pueden ser utilizados para el aislamiento de instalaciones frigoríficas; a estos se les exige, como cualidades más importantes las siguientes, que deben mantener en el tiempo:

- Baja conductividad térmica.
- Muy poco higroscópico. Es una de las características más importantes.
- Imputrescible.
- Inatacable por los roedores.
- Inodoro y ausencia de fijación de olores.
- Incombustible.

- Neutro químicamente frente a otros materiales utilizados en la construcción y frente a fluidos con los que deba estar en contacto.
- Plástico, adaptándose a las deformaciones de la obra.
- Facilidad de colocación.
- Resistencia a la compresión y a la tracción.

La higroscopicidad es una de las características que hacen inservibles algunos aislantes para su uso en instalaciones frigoríficas. Como ejemplo puede citarse el de una tubería de agua caliente aislada, en la que en su superficie tendremos una temperatura superior a la del ambiente exterior sin riesgo de condensación; sin embargo si por esta tubería circulase un fluido frigorífico frío, el flujo de calor se establece desde el exterior hacia el interior (punto frío) pudiendo existir una diferencia de presiones de vapor entre el ambiente y la superficie de la tubería produciéndose, entonces, la penetración del vapor de agua hacia el interior con el consiguiente riesgo de condensación. Para poner de manifiesto la importancia de la higroscopicidad en un aislante, Rapin (1984) expone los valores que alcanza el coeficiente de conductividad térmica para el R-II.

### **Clasificación de aislantes.**

**a) Por su origen:**

- Minerales.
- Sintéticos.
- vegetales.

**b) Por su estructura:**

- Pulvulentos (corcho, diatomeas, kieselguhr, perlitas, vermiculitas).
- Fibrosos (fibra de vidrio, lanas minerales, lanas de escoria, animales y vegetales).
- Espumas (de origen mineral como los hormigones celulares; de origen sintético, con células abiertas y cerradas; y los aglomerantes).

**c) Por su temperatura:**

- Refractarios (más de 800 °C).
- Semirrefractarios (fibras cerámicas).

- Ordinarios (menos de 800 °C ).

## 2.4 Compresores.

La misión del compresor es la de aspirar el gas que proviene del evaporador y transportarlo al condensador aumentando su presión y temperatura.

Tipos de compresores:

- Alternativo
- Rotativo
- Tornillo
- Centrífugos
- Scroll

Estos se pueden clasificar en

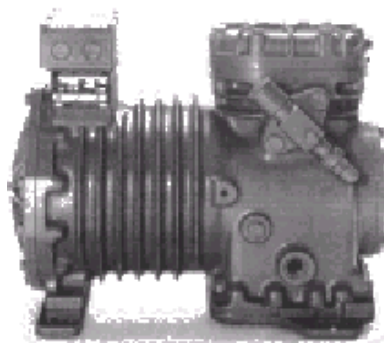
:

**Herméticos:** Tanto el motor como el compresor están dentro de la misma carcasa y es inaccesible. Van enfocados a pequeños equipos de carga crítica.



**FIGURA 2.6 COMPRESOR HERMÉTICO.**

**Semi-herméticos:** Es igual que el anterior pero es accesible, se puede reparar cada una de sus partes.



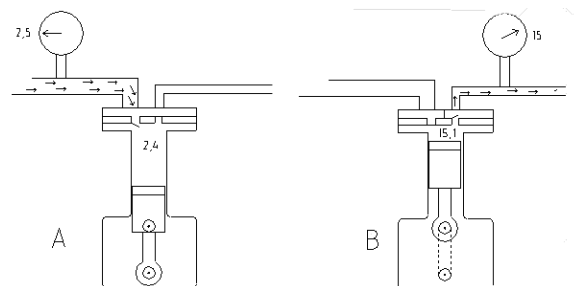
**FIGURA 2.7 COMPRESOR SEMIHERMÉTICO.**

**Abiertos:** Motor y compresor van separados.



**FIGURA 2.8 COMPRESOR ABIERTO.**

**Compresor alternativo:**



**FIGURA 2.9 COMPRESOR ALTERNATIVO.**

- Al bajar el pistón creamos una depresión en el interior del cilindro respecto la línea de aspiración, entonces se abre la válvula de aspiración y va entrando el gas en la cámara.

- Al subir el pistón comprimimos el gas y abre la válvula de descarga.

No se abren las válvulas hasta que no se vence la presión del exterior, al superar la presión de admisión o de descarga.

El espacio necesario entre el pistón y el plato de válvulas se llama claro, este espacio repercute negativamente al rendimiento del compresor de manera que si tenemos menos claro mayor rendimiento.

En este claro siempre se nos queda la presión de alta, de manera que el pistón ha de hacer más recorrido en el momento de la admisión.

Con un compresor de igual potencia puede dar más o menos rendimiento según esta característica.

Al entrar los gases en el compresor, el cilindro está extremadamente caliente, el gas aumenta su volumen y por lo tanto entra menos gas y disminuimos su capacidad, a parte podríamos carbonizar el aceite dañando así el plato de válvulas.



Las válvulas llevan un seguro que permite saltarlas en caso de que nos llegue líquido.

Desplazamiento del pistón:

Es el volumen teórico que es capaz de aspirar y comprimir el cilindro del compresor.

$$V = \frac{\pi \cdot D^3 \cdot L \cdot N \cdot rpm}{4}$$

V= Volumen teórico (m<sup>3</sup>/minuto).

N= Número de pistones.

Rendimiento volumétrico:

Es la diferencia entre el volumen real por el desplazamiento.

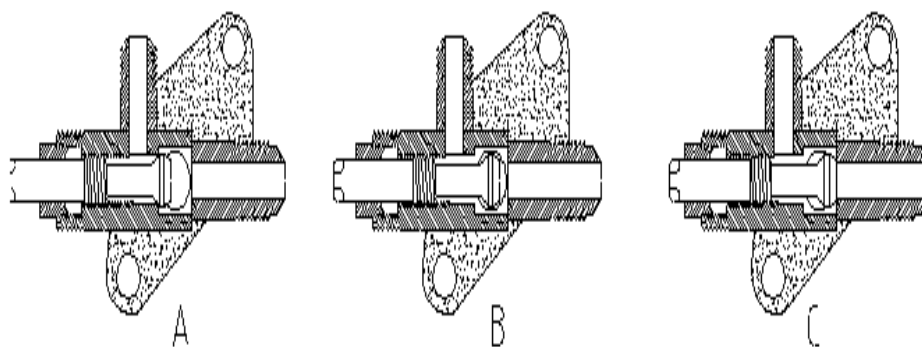
$$Rv = \frac{\text{Volumen\_real}}{\text{Despl.volumetrico}}$$

Llaves de servicio

∴

Si las apretamos a tope incomunicamos el compresor con la instalación. Si la abrimos comunicamos el compresor con la instalación pero no con la toma de servicio.

Para conectar el manómetro le damos media vuelta a la llave de servicio para comunicar los tres sitios.



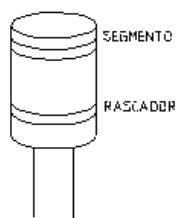
**FIGURA 2.10 LLAVES DE SERVICIOS DE COMPRESORES.**

Cada vez que abrimos y cerramos la llave de servicio se ha de aflojar el prensa para evitar que en el futuro pierda por ahí.

Relación de compresión:

Es la diferencia entre la presión de baja y la de alta, cuando mayor sea esta relación menor rendimiento tiene el compresor.

$$Rel.comp = \frac{PA}{PB}$$



**FIGURA 2.11 PISTÓN DEL COMPRESOR.**

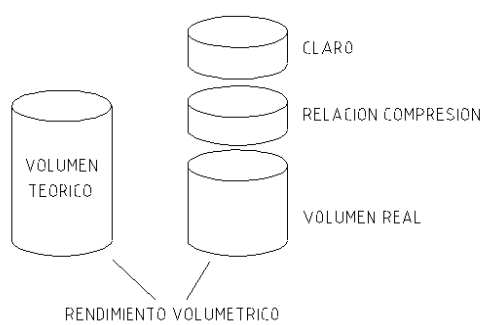
Volumen real:

Al volumen real del cilindro del compresor le afecta:

Claro.

Relación de compresión.

Calentamiento.



**FIGURA 2.12 CILINDRO DEL COMPRESOR.**

### Lubricación compresores:

El aceite de los compresores lubrica las partes móviles y cierra el espacio entre el cilindro y el pistón.

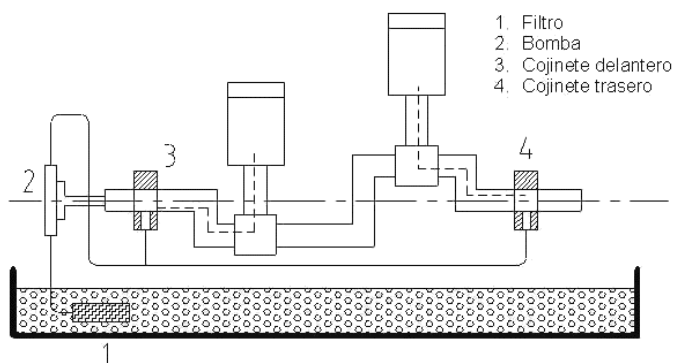
El compresor bombea el aceite por toda la instalación, este circula por la parte baja de la tubería y es retornado otra vez al compresor.

El aceite sólo es útil en el compresor, fuera de este es más perjudicial que beneficioso.

Se emplean dos sistemas de lubricación; el barboteo o por bomba de aceite. Hasta 4 ó 5 CV se emplea el sistema por barboteo, el cual funciona de la siguiente manera:

Dentro del nivel de aceite que existe en el compresor se introduce una de las partes móviles del compresor, como puede ser una cazoleta de la biela, un eje del cigüeñal hueco, etc.

Esta parte móvil salpica o conduce el aceite hacia otras partes del compresor.



**FIGURA 2.13 SISTEMA DE LUBRICACIÓN DE LOS COMPRESORES.**

A partir de 5 CV es necesario una bomba de aceite que inyecte este a una presión constante. Para ello se utiliza una bomba formada por dos piñones que es accionada por el mismo eje del cigüeñal.

La bomba aspira el aceite del cárter del compresor, y lo conduce a cierta presión por un conducto a todas las partes móviles (cigüeñal, pistones, bielas) las cuales tienen un orificio por donde sale el aceite.

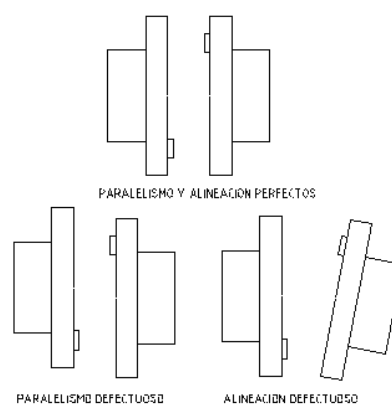
Todos los compresores con bomba de aceite han de llevar un presostato diferencial de aceite.

### Accionamiento de los compresores:

El accionamiento en los compresores del tipo abierto puede ser directo o por poleas.

- Directo: En este tipo de accionamiento se sujeta en el eje del motor y del compresor un acoplador con los cuales unimos las dos máquinas.

El acople a de ser flexible ya que nos permite cierto grado de desviación, (1-2mm, 2° de inclinación) si este fuera rígido nos exigiría mucha exactitud.



**FIGURA 2.14 ACOPLAMIENTO DE MOTOR- COMPRESOR  
CON POLEAS.**

- Poleas: Este tipo de accionamiento permite adaptar la velocidad del motor a la del compresor.

Para accionar las poleas se usan las correas que pueden ser planas, las cuales están ya obsoletas, y las trapezoidales. Todas las poleas tienen el mismo ángulo inferior ( $40^\circ$ ), nunca deben tocar el fondo de la polea ya que entonces resbalaría.

Las secciones se indican con dos números, perteneciendo el primero a la base grande del trapecio, y el segundo, a su altura expresada en milímetros. Estas secciones tienen los valores siguientes y se designan por una letra que sirve de referencia:

**TABLA 1**  
**SECCIONES DE POLEAS.**

6 x 4	Y
10 x 6	Z
13 x 8	A
17 x 11	B
22 x 14	C
32 x 19	D
38 x 25	E

Las dos primeras son las menos utilizadas en la industria frigorífica.

Cada correa tiene un diámetro mínimo de polea para evitar que estas sufran:

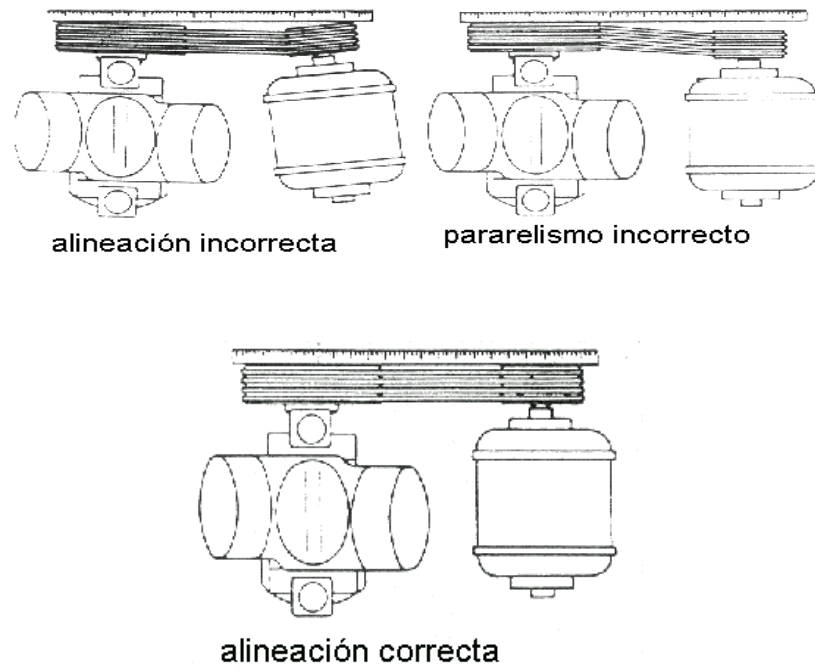
**TABLA 2**  
**DIÁMETROS DE POLEAS.**

	<i>Sección de la correa (mm)</i>	<i>Diámetro polea (mm)</i>	
		<i>Normal</i>	<i>Mínimo</i>
<b>Z</b>	10 x 6	60	50
<b>A</b>	13 x 8	80	70
<b>B</b>	17 x 11	128	108
<b>C</b>	22 x 14	221	204
<b>D</b>	32 x 19	340	310
<b>E</b>	38 x 25	550	500

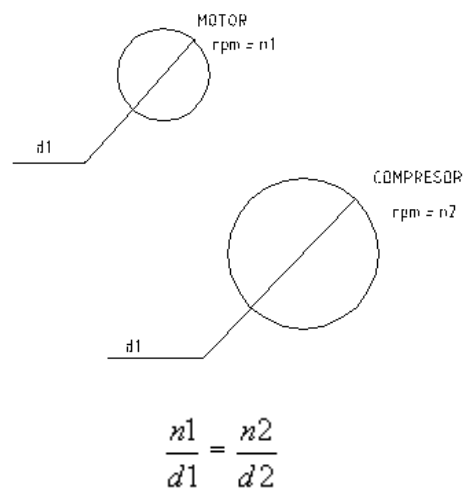
Para el cálculo del diámetro de la polea del compresor se ha de respetar la velocidad mínima que indica el fabricante del compresor ya que sino el aceite no haría su función de sellado del prensa.

Al contrario si nos pasamos de la velocidad máxima se produce un mayor desgaste y calentamiento





**FIGURA 2.15 ALINEAMIENTO DE MOTOR- COMPRESOR CON POLEAS.**



**FIGURA 2.16 RELACIÓN DEL DIÁMETRO DE LA POLEA.**

La tensión de la correa ha de ser un 5% de la longitud libre de la correa, si no fuera así llegaríamos a forzar el prensaestopas.

### **Compresor rotativo:**

Esta formado por una excéntrica que va rodando dentro de una cavidad de manera que va aspirando y comprimiendo gas a la vez.



**FIGURA 2.17 COMPRESOR ROTATIVO.**

Tiene la misma apariencia que un compresor hermético alternativo pero a diferencia de este el rotativo es más pequeño y menos ruidoso, otra diferencia es que la presión de alta se descarga dentro de la carcasa por lo tanto está muy caliente.

Tienen más rendimiento que los alternativos al carecer de tantas partes móviles. Se usan casi exclusivamente en aire acondicionado y es necesario que lleven una botella de aspiración.

### **Compresor scroll:**

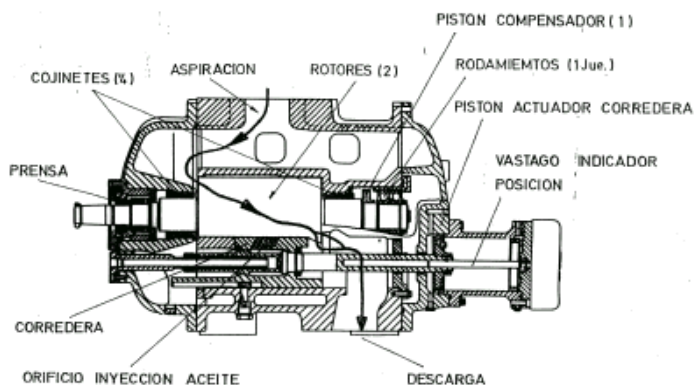
Está formado por dos espirales, una fija y otra móvil de manera que la móvil se va cerrando sobre la fija. La espiral móvil va aspirando el gas y lo va cerrando contra la otra espiral y lo va comprimiendo. Igual que el rotativo el scroll va comprimiendo y aspirando continuamente. Admite golpes de líquido, tiene bajo nivel sonoro y de vibraciones, no arrastra casi aceite, tiene bajo par de arranque y se utiliza generalmente en aire acondicionado.



**FIGURA 2.18 COMPRESOR SCROLL.**

### Compresores de tornillo:

Estos están formados por dos tornillos que van aspirando y comprimiendo gas a la vez. de manera que el espacio entre los dos tornillos se va reduciendo y comprimiendo el gas.



**FIGURA 2.19 COMPRESOR DE TORNILLO.**

Este tipo de compresores se utiliza a partir de los 300m<sup>3</sup> de aspiración, suelen ser abiertos accionados por motores a partir de los 100-500CV.

Las instalaciones para este tipo de compresores son costosas ya que requieren bastantes aparatos auxiliares. El aceite va en la parte de alta, el circuito de aceite se pone en marcha antes que el compresor para que suba la temperatura.

El aceite se inyecta por los rodamientos, prensa y otras partes móviles. El aceite se cambia cada 3000 horas de funcionamiento, el presostato diferencial de aceite es de acción inmediata, no tiene retardo. Este tipo de compresor es el que mejor se puede regular (de forma lineal desde el 10% hasta el 100%), esta regulación se lleva a cabo con un pistón de capacidad que abre o cierra el espacio entre los dos tornillos. (El accionamiento de este pistón se lleva a cabo con el aceite). Son bastante ruidosos y aceptan retornos de líquido, la temperatura máxima de descarga son 100°C. Funcionan las 24 horas del día y el mantenimiento más común es el cambio de rodamientos.

## **2.5 Condensadores**

El condensador tiene la función de poner en contacto los gases que provienen del compresor con un medio para licuarlo, una parte de condensador tiene la función de quitar el calor sensible (1/6 parte), cuando llegamos a la temperatura de condensación ya no podemos enfriar más y empezamos a condensar. (4/6).

El condensador suele ser un 30% más grande que el evaporador.

Para poder condensar ha de haber 10°C de  $\Delta t$  entre la temperatura de condensación y el medio condensable.

Un buen subenfriamiento es de 6 8°C por debajo de la temperatura de condensador, si el condensador fuera demasiado grande no tendríamos suficiente presión de alta y no podríamos empujar el líquido hacia el evaporador. La presión ideal de condensación es la mínima que podamos mantener todo el año. En el momento que cesa el medio condensable aumentaría la temperatura de condensación y la presión.

#### **Capacidad del condensador:**

La capacidad del condensador es la cantidad de calor que el condensador es capaz de extraer al refrigerante. Si disminuimos la temperatura de condensación el condensador podrá ser más pequeño. También nos modifica la capacidad del condensador la relación de compresión, o la diferencia de presión entre la baja y la alta, Cuando más alta sea la temperatura de condensación más grande deberá ser el condensador para la misma potencia frigorífica.

Por ejemplo si tenemos dos cámaras de la misma potencia frigorífica pero de diferentes temperaturas aumentaría la capacidad del condensador al aumentar la relación de compresión.

La diferencia de temperatura entre el invierno y el verano afecta negativamente en los condensadores de aire, ya que en invierno tendremos menos presión de alta. Para compensar esto es necesaria una regulación de condensación (ventiladores, etc.).

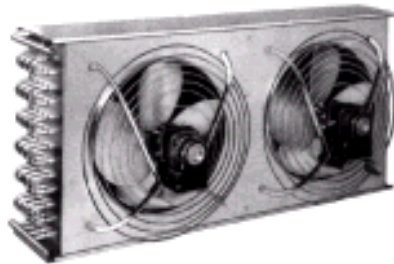
El  $\Delta t$  de condensador es la diferencia de temperatura entre el medio condensante y la temperatura de condensación.

El problema de todos los condensadores es la suciedad que se acumula que hace de aislante impidiendo que salga el calor, a continuación detallaremos los tipos de condensadores:

#### **Condensador de aire:**

Los condensadores que tienen como medio enfriador el aire ambiente pueden ser estáticos o de tiro forzado:

- Estáticos: Suelen ser de tubo liso, como la velocidad del aire es lenta se acumula mucha suciedad. Suelen ser bastante largos y se usa sólo en el entorno doméstico.
- Tiro forzado: Utilizan ventiladores para aumentar la velocidad del aire, por lo tanto reducimos superficie de tubo. Exteriormente es bastante parecido a un evaporador.



**FIGURA 2.20 CONDENSADOR DE AIRE.**

Cuando está instalado junto con el compresor el condensador a de tomar el aire en el lado contrario de este para evitar tomar el aire ya caliente.



### **Condensador de agua:**

Son aquellos que usan el agua como medio condensable.

Para asegurar un buen funcionamiento y limitar el consumo de agua, las temperaturas idóneas del agua a la salida del condensador con respecto a la temperatura de entrada han de ser:

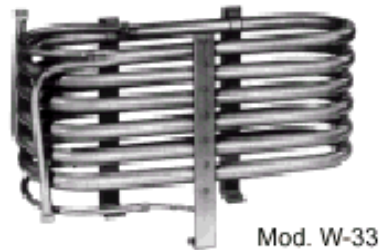
- Temperatura de entrada hasta 15°C, la salida ha de ser 10°C más que la entrada.
- Temperatura de entrada a partir de 16°C, la salida ha de ser 9°C más que la entrada.
- Temperatura de entrada a partir de 21°C, la salida ha de ser 8°C más que la entrada.

Se deben instalar torres de recuperación de agua a partir de las siguientes potencias frigoríficas:

En sistemas de refrigeración, a partir de 18.000frg/h.

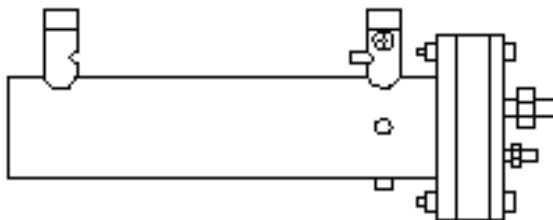
En aire acondicionado, a partir de 6.000frg/h.

Estas torres de recuperación deben de recuperar hasta el 75 % del agua.

**Condensador de doble tubo:****FIGURA 2.21 CONDENSADOR DE DOBLE TUBO.**

Es un serpentín formado por dos tubos concéntricos, por el tubo interior circula el agua y por el exterior el refrigerante, se hace circular a contracorriente para robar mejor el calor al refrigerante.

Se instala junto con el serpentín una válvula presostática para controlar la presión del agua según la presión de alta de la instalación de manera que cuando la instalación está parada no circule agua, son condensadores pequeños y se usa como refuerzo.

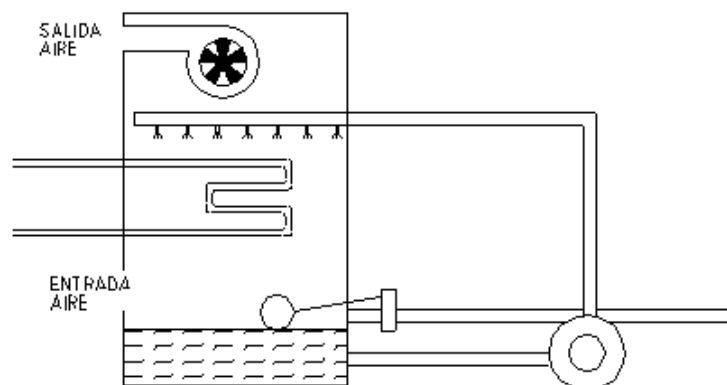
**Condensador multitubular:****FIGURA 2.22 CONDENSADOR MULTITUBULAR.**

Se utiliza como bancada del compresor y hace de recipiente en los equipos medianos.

Circula agua por los tubos interiores y condensa el refrigerante contenido en el recipiente, llevan un tapón fusible de seguridad y una válvula de purga para extraer los gases incondensables.

**Condensador evaporativo:**

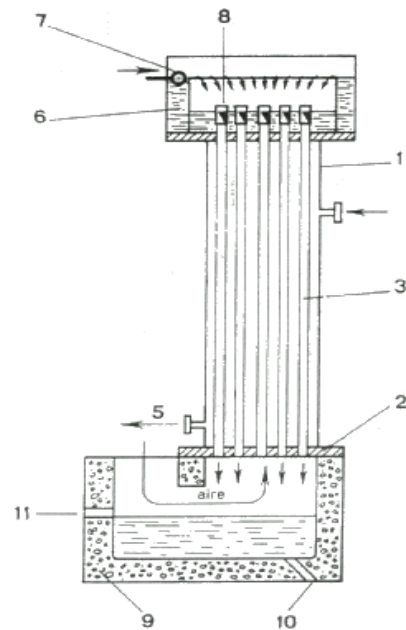
Está formado por un serpentín por el cual circula el refrigerante, este serpentín es mojado por unas duchas de agua de manera que al hacer circular una corriente de aire el agua que moja los tubos se evapora extrayendo calor.



**FIGURA 2.23 CONDENSADOR EVAPORATIVO.**

**Condensador multitubular vertical:**

Son parecidos a los horizontales pero mucho más grandes y suelen ser de obra. Por el mismo tubo circula agua y aire a contracorriente, al agua va lamiendo la pared del tubo y el aire va por el centro del tubo que está en contacto con el refrigerante. Tiene una especie de corona para que el agua circule de esta manera. Tiene el mismo rendimiento o más que el evaporativo.



**FIGURA 2.24 CONDENSADOR MULTITUBULAR VERTICAL.**

**Torre de enfriamiento:**



**FIGURA 2.25 TORRE DE ENFRIAMIENTO.**

La torre de enfriamiento tiene la misión de mantener el agua caliente el mayor tiempo posible en contacto con el aire para enfriarla, el calor que se acumula se saca mediante una turbina, el eliminador evita que se arrastren gotas al exterior.

En una torre de enfriamiento hay que tener en cuenta:

- La cantidad de calor.
- Caudal de agua.
- Temperatura entrada del agua.
- Temperatura de salida.
- Temperatura de bulbo húmedo.

El rendimiento de la torre depende de la humedad relativa, si el aire es muy húmedo no se podrá llevar mucho vapor de agua, para conseguir un buen rendimiento el acercamiento ha de ser de 5 6 °C, el margen de 6 – 7C.

El caudal de aire que tenemos que mover es de 175-225m<sup>3</sup>/h por cada 1000frig/h, se evapora 1 litro de agua por cada 538 kcal/h de

calor extraído al agua, aproximadamente el 5% de agua que hacemos circular. (2% cada 5°C de margen).

Las torres suelen llevar una resistencia dentro de la cubeta del agua con un termostato para que el agua nunca llegue a 0°C.

Algunas llevan una válvula de 3 vías para evitar quedarse sin presión en invierno si la temperatura de entrada es menor de 20°C.

Si esto ocurre el agua vuelve a circular por el condensador hasta que alcance una temperatura elevada.

#### Tratamiento del agua:

Los problemas que puede crear el agua como elemento refrigerante son muchos, los más habituales son:

- La formación de incrustaciones.
- Los cultivos orgánicos.
- La corrosión de los metales empleados en la instalación.

- Las aguas pueden clasificarse como duras o blandas o también ácidas o alcalinas.

Las aguas duras son aquellas que contienen un elevado contenido en sales de calcio y magnesio.

Las blandas son aquellas que contienen pequeñas cantidades de estas sales.

La acidez o alcalinidad del agua se refleja principalmente por su P.H.

El agua utilizada en refrigeración generalmente procede de;

- Aguas subterráneas.
- Aguas superficiales.
- Aguas de mar.
- Aguas de la red urbana.

Las aguas subterráneas o de pozos profundos son muy estimadas para procesos de enfriamiento debido a su temperatura. Pero usualmente estas aguas son muy duras y tienen un alto contenido



de sólidos disueltos por lo que si no son debidamente tratadas presentan problemas de incrustaciones.

Las aguas superficiales generalmente están sujetas a grandes variaciones de temperatura y por el contrario contienen poca cantidad de sólidos disueltos.

El agua de mar puede ser empleada siempre que la instalación esté construida con materiales resistentes a la corrosión.

Las aguas de la red urbana no son adecuadas para muchos procesos de refrigeración, antes de realizar un tratamiento del agua debemos conocer su P.H. siendo por debajo de P.H. 7 ácida y por encima alcalina.

Existen varios procedimientos para evitar la formación de incrustaciones o el ensuciamiento del circuito de refrigeración, los más destacados son:

- Filtración.
- Descalcificación.
- Acidificación.

La filtración del agua es empleada para evitar el ensuciamiento de las instalaciones. Los filtros están formados por elementos filtrantes como pueden ser tejidos metálicos o sintéticos.

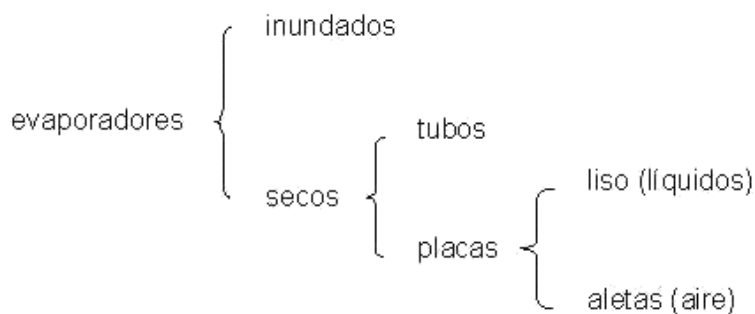
La descalcificación se emplea para evitar la formación de incrustaciones. Consiste en pasar el agua a una determinada velocidad a través de una resina que está alojada en un depósito, la resina cede los iones de sodio al agua modificando la dureza de ésta, cuando todos los iones del agua han sido cedidos el intercambiador está gastado y hay que regenerarlo.

El agua, una vez descalcificada, tiene tendencia a producir fenómenos de corrosión, por lo que es conveniente complementar este tratamiento con otro para la corrosión, la acidificación consiste en la adición de un ácido, normalmente el sulfúrico, que evita las incrustaciones.

## **2.6 Evaporadores**

El evaporador es el lugar de la instalación donde se produce el intercambio térmico entre el refrigerante y el medio a enfriar.

En los evaporadores inundados la transmisión de calor es uniforme, en los secos es una mezcla de gas y líquido pulverizado.



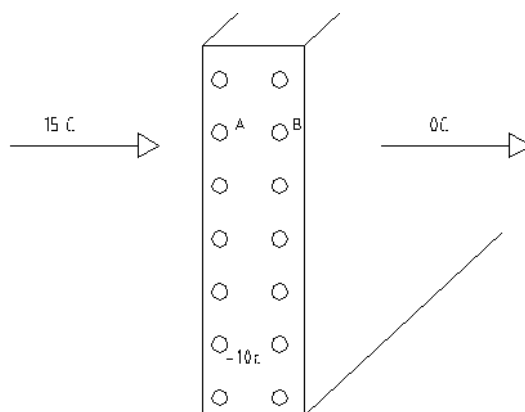
La cantidad de calor que absorbe el evaporador depende de la superficie, la diferencia de temperatura (entre el exterior y la temperatura de evaporación) y el coeficiente de transmisión de calor (K) que es el material que empleamos.

Cuando el líquido entra en el evaporador a través del elemento de expansión una parte se evapora (30%) para enfriarse a si mismo, el resto va robando calor al exterior y va evaporándose a medida que atraviesa el evaporador, la presión y la temperatura se mantienen constantes siempre que por el evaporador circule líquido, en el momento que se halla evaporado todo, si el refrigerante sigue robando calor del exterior obtendremos gas recalentado o recalentamiento.

Lo ideal sería que el recalentamiento empezara en la llave de aspiración del compresor, de esta manera disminuimos la temperatura de descarga del gas e incrementamos capacidad frigorífica, pero resulta complicado ya que corremos el riesgo de que nos llegue líquido al compresor.

Una vez el refrigerante sale del evaporador se aísla la tubería de aspiración para evitar más recalentamiento.

La cantidad de calor que puede absorber el evaporador viene expresado en Kcal/h o W/h.



**FIGURA 2.26 FORMA DE TRANSFERENCIA DE CALOR EN EL EVAPORADOR.**

Los evaporadores pueden ser estáticos o de tiro forzado, según el  $\Delta t$  que quedamos conseguir:



**FIGURA 2.27 EVAPORADOR ESTÁTICO.**



**FIGURA 2.28 EVAPORADOR DE TIRO FORZADO.**

El aire al tocar el tubo del evaporador enfría el aire y lo pone a 5°C, al pasar por el segundo tubo lo enfriamos más y lo ponemos a 0°C. El segundo tubo roba menos calor ya que hay menos  $\Delta t$ .

Si pusiéramos una sola fila de tubos para conseguir la misma temperatura necesitaríamos más espacio, pero obtendríamos mejor rendimiento.

En evaporadores estáticos no es recomendable poner más de dos filas de tubos, para ello necesitaremos un ventilador para que el aire circule por todos los tubos. (a más tubos mayor velocidad de aire debemos conseguir).

La presión en el evaporador no se mantiene constante a causa de las pérdidas de carga.

Para evitar estas pérdidas de carga en evaporadores grandes se divide en secciones. Cada parte del evaporador ha de ser de igual longitud y van a parar a un colector.

La humedad afecta negativamente en el rendimiento del evaporador, al enfriar el aire de 2°C (70% de humedad relativa) a – 30°C la humedad pasa a ser del 100% y pasamos de 10 gr de agua por m<sup>3</sup> de aire a 3 gr/m<sup>3</sup>. Los 7 gr/m<sup>3</sup> restantes se quedan en el evaporador en forma de escarcha.

Al tocar el aire con el producto robamos calor al producto, como al aire le falta agua también robamos humedad del producto, la humedad relativa necesaria depende del producto que tenemos que almacenar para no deshidratar el producto.

Para evitar la deshidratación del producto, se debe envasar o acortar el  $\Delta t$ .

A mayor velocidad de aire mayor  $\Delta t$  conseguimos y enfriamos más rápido, para conservar alimentos sin envasar necesitamos poco  $\Delta t$  para no deshidratarlo (utilizando evap estáticos P.E.).

## **2.7 Accesorios del sistema de Refrigeración.**

Las tuberías de cobre para refrigeración a diferencia del que se usa para otros fines se sirven limpio de impurezas y cerrado por los dos extremos.

Se puede encontrar en rollos o en barras:

- El que va en rollos se denomina recocado, esta clase de tubo permite ser doblado y suele venir en rollos de 25m. Estos

tubos no deben estirarse o curvarse más de lo necesario ya que se endurecerá.

- El que va en barras se denomina estirado, no tiene ductilidad por lo tanto no se puede doblar, se utiliza sólo en tramos rectos, ver características en la tabla 3.

**TABLA 3**

**CARACTERÍSTICAS DE LOS TUBOS DE COBRE.**

	<i><b>Estirado</b></i>	<i><b>Recocido</b></i>
Peso específico (kg. / dm <sup>3</sup> )	8.9	8.9
Temperatura de fusión (°C)	1083	1083
Calor específico	0.092	0.092
Temperatura de recocido (°C)	-	500
Temperatura de forja (°C)	750-900	750-900
Alargamiento (%)	3 a 5	28 a 30

**Corte de los tubos:**

Los tubos se cortan normalmente con una herramienta cortatubos o con una sierra para cortar metales, normalmente se emplea el corta tubos para el tubo recocido o para tubo estirado de poco diámetro. La sierra se emplea generalmente para el tubo estirado



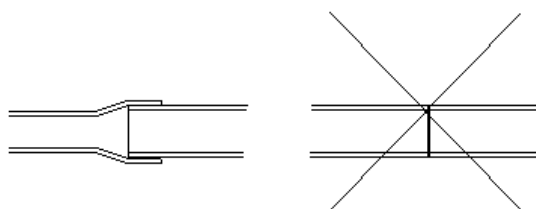
de diámetro superior, se pueden encontrar en los siguientes diámetros ver Apéndice B.

Cuando se ha terminado el corte con cualquiera de las dos herramientas, debe de eliminarse la rebaba. Estas rebabas causan obstrucciones en el paso de fluido a través de la tubería.

### **Curvatura de los tubos:**

Existen varios sistemas para la curvatura de los tubos, como puede ser el muelle o la curvadora de tipo palanca. Tanto con un sistema como en el otro se ha de garantizar que toda la superficie del tubo permanezca redonda sin que se aplane o retuerza.

### **Soldadura:**



**FIGURA 2.29 FORMA CORRECTA DE SOLDAR TUBERÍAS.**

La soldadura se realiza por capilaridad, introduciendo el material fúndenle entre los dos tubos., se suelen emplear mecheros de propano, de butano o acetileno. Antes de proceder a la soldadura se ha de limpiar los bordes del tubo de cobre y el interior de la pieza. Para lograr su limpieza debe emplearse un papel de lija fino, un paño o bien un cepillo metálico. Calentar la varilla y introducirlo en interior del bote del decapante para que éste se impregne en la varilla, aplicar el decapante en el borde limpio del tubo evitando que fluya en su interior.

Antes de calentar la junta, es una buena práctica inyectar nitrógeno para purgar el aire y así reducir la oxidación. Aplíquese calor a las partes que deben unirse con soplete. Caliéntese primero el tubo, a 20centímetro aproximadamente por debajo del borde del accesorio que ha de acoplarse, moviendo la llama alrededor del tubo. Es muy importante mantener la llama en movimiento y no sobrecalentar ningún punto. Dirigir ahora la llama a la base del casquillo del accesorio. Aplíquese la soldadura en el punto donde el tubo se inserta en el accesorio. Cuando se ha alcanzado la temperatura adecuada, el metal de aportación fluirá con facilidad. El material de aportación no debe calentarse directamente. La temperatura en el punto donde se efectúa la soldadura debe ser suficiente para fundir

el metal de aportación. Cuando el lugar de la junta se halla a la temperatura correcta se notará por su coloración cereza. El fundente usado en este tipo de soldaduras causará oxidaciones. Cuando la soldadura esté terminada, límpiase con agua y jabón si es posible. Antes de proceder a la soldadura se han de limpiar los puntos de unión igual que en la soldadura con plata. Acopar la pieza de conexión al tubo. Calentar la junta igual que en la soldadura con plata, aproximar la varilla a la junta. Si esta no se funde seguir aplicando calor. Cuando la soldadura aportada fluya libremente en la junta, debe irse aplicando más soldadura hasta llenar la soldadura, ver en la tabla 4 las temperaturas de fusión.

**TABLA 4.**

**CARACTERÍSTICAS DE LA SOLDADURA DE  
FÓSFORO.**

	<i>Intervalo de fusión ° C</i>	
	<b>Sólido</b>	<b>Líquido</b>
Cobre	1083	1083
Cobre-fósforo (7% P)	707	750
Cobre-plata 72-28	780	780
Plata-cobre-fósforo		
2% Ag. y 6,5% P	640	695
5% Ag. y 6,5% P	640	705
15% Ag. y 5% P	625	780

### **Elementos de expansión.**

La misión de los elementos de expansión es la de controlar el paso de refrigerante y separar la parte de alta con la de baja, los diferentes tipos de elementos de expansión son:

- Tubo capilar.
- Válvula de expansión termostática.
- Válvula de expansión automática.
- Válvula manual.
- Válvula de flotador en alta presión.
- Válvula de flotador en baja presión.
- Válvula electrónica.

### **Tubos capilares.**

Los tubos capilares se utilizan habitualmente como elementos de expansión en pequeñas instalaciones por las razones siguientes:

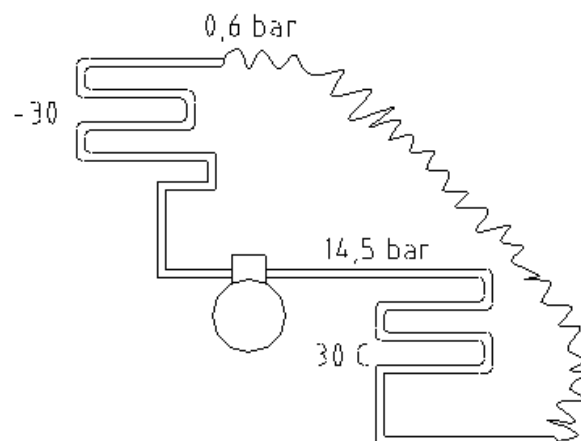
Facilidad de instalación.

- Bajo coste.
- Fiabilidad, no hay piezas en movimiento.

- Permiten la utilización de compresores de bajo par de arranque por el buen equilibrio de presiones.

Cuando el refrigerante líquido entra dentro del tubo capilar se produce una estrangulación, (aumenta la velocidad y disminuye la presión) debido a esto parte del líquido se evapora al cambiar de presión.

Para evitar que se evapore todo el líquido antes de entrar al evaporador se suele soldar junto con la línea de aspiración para evitar que robe calor del exterior.



**FIGURA 2.30 UBICACIÓN DEL TUBO CAPILAR.**

Cuando ponemos en marcha el compresor empezamos regar el evaporador, se evapora y va avanzando el refrigerante, se suele colocar un termostato en la línea de aspiración antes del compresor para pararlo cuando llegue el refrigerante en estado líquido.

Al parar el compresor todo el refrigerante pasa al evaporador al no haber nada que lo impida y gracias a la diferencia de presiones, por esta razón no se puede utilizar recipiente en instalaciones con tubo capilar y hay que tener cuidado al dimensionar el filtro ya que este podría hacer de recipiente.

Al estar las presiones igualadas el motor arranca sin muchos esfuerzos. Los equipos congeladores suelen llevar un separador de partículas para evitar los golpes de líquido, en la placa de características del equipo ha de llevar el peso de refrigerante que ha de llevar la instalación ya que la carga es crítica.

El tubo está calibrado, la potencia frigorífica está en función con el diámetro y la longitud del tubo, la carga exacta para estos equipos es cuando todo el refrigerante está evaporado en el evaporador en el momento en que el compresor está parado.

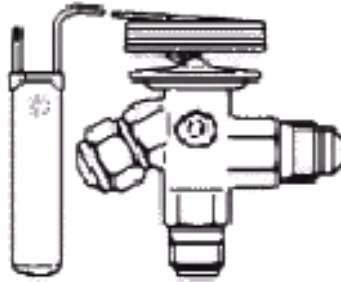
Ajustamos las condiciones de trabajo de los equipos con tubo capilar con la carga de refrigerante, una carga escasa es causa de una temperatura de evaporación demasiado baja, lo que tiene como consecuencia la disminución del rendimiento frigorífico y por lo tanto aprovechamiento solamente parcial del evaporador.

En cambio una carga demasiado fuerte es causa de una presión demasiado elevada y conduce a la sobrecarga del compresor pudiéndole llegar golpes de líquido.

#### **Válvulas de expansión termostáticas:**

Las válvulas de expansión termostáticas están formadas por:  
**bulbo:** Es un elemento cargado con el mismo refrigerante que hay que controlar. La presión que ejerce este refrigerante depende de la temperatura al final del evaporador y actúa sobre el orificio calibrado de la válvula.

La presión del bulbo es presión de apertura (a más temperatura mayor apertura).



**FIGURA 2.31 VÁLVULA TERMOSTÁTICA.**

Tornillo de recalentamiento, va ajustado de fábrica con 4°C (respecto la presión de baja), la presión que ejercemos con el tornillo contrarresta la presión del bulbo.

$$P_{\text{cierre}} = P_{\text{tornillo}} + P_{\text{baja}}$$

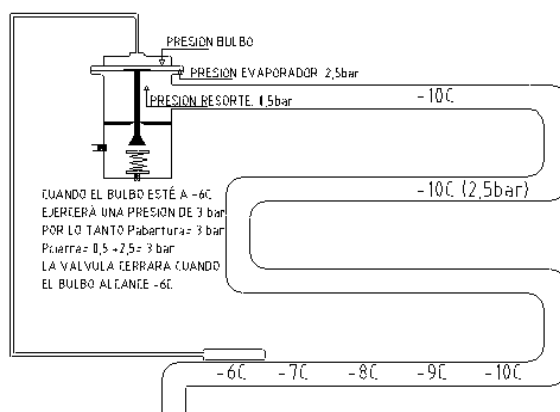
$$P_{\text{apertura}} = P_{\text{bulbo}}$$

**Válvulas de expansión termostática con compensación interna:**

Una vez entra el refrigerante en el evaporador va robando calor del medio a enfriar y se va evaporando. Hasta el momento que no llegue líquido al bulbo y lo enfríe la válvula de expansión no cerrará. Cuando conseguimos enfriar el bulbo y el recalentamiento es de 4°C empezamos a cerrar la válvula. Una vez cerrara la



válvula aumenta el recalentamiento y por lo tanto la presión del bulbo vuelve abrir la válvula.



**FIGURA 2.32 UBICACIÓN DE LA VÁLVULA TERMOSTÁTICA CON COMPENSACIÓN INTERNA.**

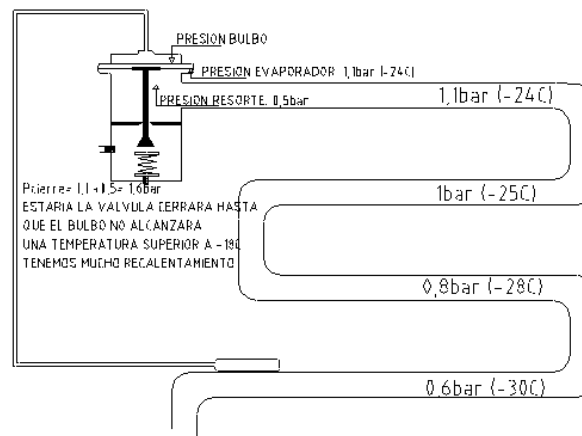
Este tipo de válvulas no son recomendables para evaporadores que existan grandes pérdidas de presión.

### **Válvulas de expansión termostáticas de compensación externa:**

Cuando las pérdidas de carga en el evaporador son considerables se emplean válvulas de expansión de compensación externa.

Estas a diferencia de las anteriores toman la presión de baja al final del evaporador justo detrás del bulbo, de esta manera aunque existan pérdidas de carga la presión de baja es más exacta.

Por ejemplo si tenemos pérdidas de presión la presión de baja es de 0,6 bar pero al principio tengo 1,1 bar.



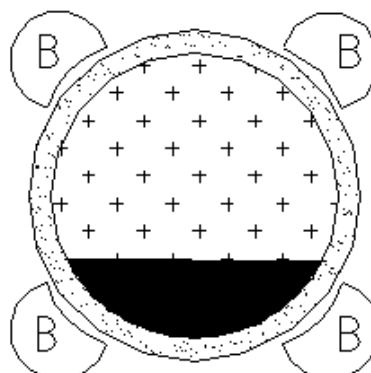
**FIGURA 2.33 UBICACIÓN DE LA VÁLVULA TERMOSTÁTICA CON COMPENSACIÓN EXTERNA.**

Estar a más de  $-18^{\circ}\text{C}$  para que la válvula empiece a regar. Entonces necesito  $12^{\circ}\text{C}$  de recalentamiento ( $0,6 \text{ bar} = -30^{\circ}\text{C}$ ) no regamos todo el evaporador.

Con una válvula de compensación externa la presión que existe después de la válvula ya no es importante, cogemos la que existe después del bulbo que es la presión de aspiración.

**Normas de colocación del bulbo:**

- Debe estar bien amarrado al tubo, no debe ir con cinta aislante o tiras de plástico, se debe colocar con la presilla metálica que suele acompañar.
- Colocarlo en una superficie limpia y lisa, no se debe colocar sobre un codo, curva o soldadura.
- El bulbo tiene una hendidura que es la que se aloja sobre el tubo.
- No colocar el bulbo en la parte baja del tubo ya que por esa parte es por donde circula el aceite que hace de capa aislante. Se debe colocar entre las 2 y las 4.



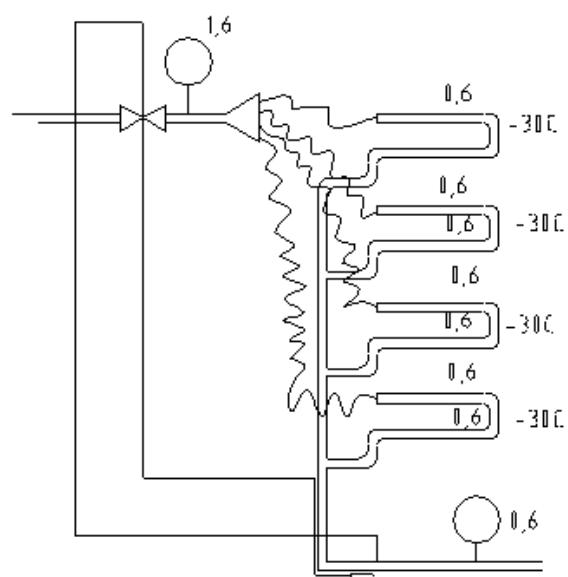
**FIGURA 2.34 MANERAS DE COLOCAR DEL  
BULBO.**

El bulbo se debe colocar siempre en tramos horizontales, en los casos que sólo se pueda colocar en un tramo vertical se colocará con el bulbo hacia arriba.

Se debe aislar siempre el bulbo para que no le afecte en su funcionamiento las corrientes de aire, se debe colocar siempre dentro del medio a enfriar. El tubo de compensación exterior debe estar entre 10 o 15 cm después del bulbo.

### Distribuidores:

Si dividimos un evaporador en varias secciones conseguimos un mayor rendimiento ya que reducimos las pérdidas de carga y se mantiene una temperatura de salida del evaporador más uniforme.



**FIGURA 2.35 DISTRIBUCIÓN DE VARIOS EVAPORADORES.**

Para ello se utilizan distribuidores que pueden ser de caída de presión o de efecto Venturi.

La distancia entre la válvula de expansión y el distribuidor a de ser mínima, a la salida, la longitud de los tubos que alimentan a cada tramo de evaporador también ha de ser mínimo y además han de tener todos la misma longitud así evitamos que un tramo esté mejor regado que otro. El de efecto Venturi reparte la misma proporción de gas y líquido en cada tubo ya que gracias a la reducción que lleva aumenta la velocidad y mezcla el gas y el líquido, la pérdida de presión que ejerce este distribuidor es de  $\frac{1}{2}$  kilo y funciona en cualquier posición.

### **Valvulas M.O.P.:**

Si añadimos mucha carga térmica en una cámara (teníamos  $-20^{\circ}\text{C}$  y pasamos a  $0^{\circ}\text{C}$ ). dentro del evaporador se nos evapora más gas, la válvula no cierra y el compresor trabaja más, para evitar que el consumo del compresor sea elevado se coloca una válvula de expansión MOP o de presión de operación máxima. Este tipo de válvulas nos limita la presión máxima de trabajo, por ejemplo una válvula MOP fijada a  $-20^{\circ}\text{C}$  significa que la presión máxima de evaporación que deja pasar es de 1,5bar.

Esto se consigue llenando el bulbo de gas con un poco de líquido que se evapora a  $-20^{\circ}\text{C}$  o a la temperatura de la presión máxima

de trabajo que queramos conseguir, si la temperatura es inferior a  $-20^{\circ}\text{C}$  podemos controlar el recalentamiento pero si superamos esta temperatura el líquido se evapora y el bulbo no es capaz de dar más presión de apertura y va cerrando la válvula hasta que se consigue la presión adecuada.

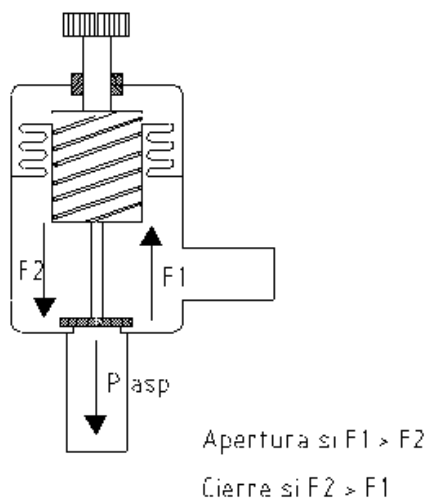
**TABLA 5.**

**ESCALA DE VÁLVULAS M.O.P.**

<b>N</b>	+10°C	-40°C
<b>NM</b>	-5°C	-40°C
<b>NL</b>	-15°C	-40°C
<b>B</b>	-25°C	-60°C

**Válvula de expansión automática:**

Físicamente es parecida a la termostática pero sin bulbo



**FIGURA 2.36 VÁLVULA M.O.P..**

Esta válvula mantiene la presión del evaporador constante, si ajustamos la válvula a 1 bar, si el evaporador está a menos vence la fuerza del resorte y abre la válvula. En el momento en que el evaporador alcance 1,1 bar la válvula cierra. No se puede utilizar con solenoide se usa en instalaciones que cierran por temperatura.

Tiene bastantes inconvenientes el uso de este tipo de válvulas:

- Si tenemos la cámara a 20°C en el evaporador tenemos 8 bar y la válvula está cerrada.
- Por lo tanto dejará pasar poco refrigerante y tardará horas en conseguir la temperatura.



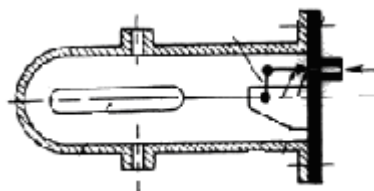
- Al contrario si tenemos la cámara muy fría, porque se ha estropeado el termostato, tenemos menos presión en el evaporador y por lo tanto vence la presión del muelle y entra aún más líquido llegando retorno al compresor.

### **Válvula de Expansión Manual.**

Es parecida a una llave de paso, se utiliza en grandes instalaciones bajo la supervisión de un mecánico.

### **Válvulas de flotador.**

Se usa en evaporadores inundados, mantienen un nivel de líquido en el evaporador. A medida que se evapora el líquido la bolla abre la válvula y entra líquido en el evaporador. El gas evaporado se va al condensador.



**FIGURA 2.37 VÁLVULA FLOTADOR.**

### **Válvula de Expansión Electrónica.**

Esta formado por una válvula solenoide conectada a un microprocesador el cual lleva un programa y dos sondas, una conectada al principio y otra al final del evaporador.



**FIGURA 2.38 VÁLVULA DE EXPANSIÓN  
ELECTRÓNICA.**

Podemos trabajar con mucha precisión, hasta con 1°C de recalentamiento.

# CAPITULO 3

## 3. SELECCIÓN DE LOS EQUIPOS, ACCESORIOS Y COMPONENTES DE LA CAMARA.

### 3.1 Calculo del aislante para las paredes.

Para calcular es el espesor en las paredes de la cámara asumiremos que la temperatura de almacenamiento es constante para todo los cálculos, como sabemos la temperatura exterior es variable no podemos utilizar cualquier temperatura por lo cual nos vamos a regir en ciertos parámetros del medio donde se vaya a construir la cámara, y esto consiste entre la temperatura máxima y la mínima del lugar como veremos a continuación en la ecuación:

$$T_{ext} = 0.6T_{max} + 0.4T_{min} \quad \mathbf{Ec\ 3.1}$$

Donde:

$T_{ext}$  = temperatura del medio exterior, base o temperatura del proyecto exterior. Para la determinación de esta temperatura se han desarrollado formulas empíricos que tratan de evitar que se sobredimensione la instalación frigorífica cuando se considera la temperatura máxima exterior, ya que la misma debe estar preparada para funcionar en estas consideraciones extremas.

$T_{max}$  = Temperatura máxima del lugar de trabajo.

$T_{min}$  = Temperatura mínima del lugar de trabajo.

Esta temperatura exterior va a estar afectada por unos cuantos grados de temperatura debido a la ubicación del sol como vemos en la tabla. Se admite que en las proximidades del techo y paredes expuestas al sol, la temperatura exterior promedio se debe aumentar de la siguiente manera como veremos en la siguiente tabla:

**TABLA 6**  
**TEMPERATURAS ADICIONALES DE ACUERDO A LA**  
**UBICACIÓN DE LA CÁMARA.**

<b>Paredes</b>	$T_{ext} (^{\circ}C)$	<b>Temperatura adicional(<math>^{\circ}C</math>)</b>	$T_{med} (^{\circ}C)$
Techo	29	15	44
Pared con orientación norte	29	10	39
Pared con orientación oeste	29	10	39
Pared con orientación este o sur	29	5	34

La temperatura adicional es igual que la suma entre la temperatura exterior y el incremento admitido en las proximidades. Para calcular el espesor de cada pared nos vamos a regir en la siguiente ecuación:

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + \sum \frac{e_n}{\lambda} + \frac{1}{h_e}} \quad \text{Ec 3.2}$$

Donde:

U= Coeficiente de transferencia de calor.

$h_i$  = coeficiente de convección interior.

$h_e$  = coeficiente de convección exterior.

$e_n$  = espesor de los diferentes materiales utilizados en la pared

$\lambda$  = coeficiente de transmisión de calor de los diferentes materiales.

Para sacar el valor de  $k$  entraremos en siguiente tabla, en la mayoría de los casos tenemos que interpolar:

**TABLA 7**  
**COEFICIENTES DE TRANSFERENCIAS DE CALOR.**

$\Delta T(^{\circ}C)$	$U(\frac{Kcal}{m^2 h^{\circ}C})$
>60	0.15
50	0.20
40	0.25
30	0.30
20	0.35
10	0.40

Para entrar a esta tabla necesitamos conocer el valor de  $\Delta T$  el cual lo determinaremos de la siguiente manera como vemos en la ecuación:

$$\Delta T = T_{med} - T_{int} \quad \text{Ec 3.3}$$

Donde:

$T_{med}$  = Temperatura a la que se le agrega los grados de acuerdo a su ubicación.

$T_{int}$  = temperatura interior de la cámara o de almacenamiento.

Los valores de h (coeficiente de convección) están dados de acuerdo a la disposición de la cámara como veremos a continuación:

$h_i = 10 \frac{Kcal}{h * m^2 * ^\circ C}$  Pared en contacto de una cámara ligeramente ventilada.

$h_e = 20 \frac{Kcal}{h * m^2 * ^\circ C}$  Pared en contacto con el aire exterior.

Vamos a trabajar con el poliestireno expandido el cual tiene una conductividad

$$\lambda = 0.030 \frac{Kcal}{h * m^2 * ^\circ C}$$

Todas las paredes a excepción del piso utilizaran dos planchas de acero y dos barreras antivapor.

### TABLA 8

**ESPEORES Y CONDUCTIVIDADES DE LOS  
MATERIALES.**

<b>Materiales de las paredes</b>	<b>Espesor (m)</b>	<b>Conductividad(<math>\frac{Kcal}{h * m^2 * ^\circ C}</math>)</b>
Planchas de acero	0.001	39
Poliestireno	$e_n$	0.030
Barreras antivapor	0.001	0.206

**Calculo de aislante para el piso.**

Para el piso no calcularemos el espesor debido a que esto esta dado por norma en el caso del suelo, el proceso seguido en su ejecución es el siguiente: sobre el terreno compactado se extiende una capa de hormigón, con un espesor de 5 a 10 cm, permite nivelar el suelo y luego aplicamos la barrera antivapor antes de ser aislado. Una vez aislado, se extenderá una capa de hormigón (H-175 o de mayor resistencia, generalmente), de unos 12-15 cm de espesor, adicionándole previamente una mezcla de cuarzo y cemento con objeto de constituir un pavimento antideslizante de gran resistencia o la rodadura de las carretillas elevadoras y a los golpes; esta mezcla puede ir provista de un



pigmento que le dará el color deseado, o bien puede acabarse con una pintura adecuada, con una pintura epóxica, con resinas epóxica o se elige el acabado en función del uso de la cámara. Sobre el suelo se suele levantar un muro de hormigón de unos 30-35 cm de altura y de unos 8-15 cm de espesor, que protegerán las paredes de golpes accidentales, facilitando al mismo tiempo la circulación del aire en la cámara.

### **Calculo de aislante para el techo.**

Como ya se explico para calcular esto entraremos con  $\Delta T$  utilizando la  $T_{med}$  con la temperatura interior:

$$\Delta T = 44 - 10 = 34^{\circ}C$$

El valor de la conductividad lo sacamos de la tabla 7 interpolando:

$$U = 0.28 \frac{Kcal}{m^2 h^{\circ}C}$$

$$0.28 = \frac{1}{\frac{1}{10} + \frac{0.001}{39} + \frac{e_n}{0.03} + \frac{0.001}{39} + \frac{0.001}{0.206} + \frac{1}{20}}$$

$$e_n = 0.1023 m$$

### Calculo de aislante para la pared norte.

El calculo de la capa de aislante de la pared norte, es se realiza de igual manera verificando el grado de incremento de temperatura, para este caso  $10^{\circ}C$ .

$$\Delta T = 39 - 10 = 29^{\circ}C$$

El valor de la conductividad lo sacamos de la tabla interpolando:

$$U = 0.305 \frac{Kcal}{m^2 h^{\circ}C}$$

$$0.305 = \frac{1}{\frac{1}{10} + \frac{0.001}{39} + \frac{e_n}{0.030} + \frac{0.001}{39} + \frac{0.001}{0.206} + \frac{1}{20}}$$

$$e_n = 0.09357 m$$

### Calculo de aislante para la pared oeste.

Para la pared oeste recurrimos a la tabla para ver los grados que se le agregan por las condiciones ya especificadas en el medio, vemos que la temperatura que se agrega es  $10^{\circ}C$ .

$$\Delta T = 39 - 10 = 29^{\circ}C$$

El valor de la conductividad lo sacamos de la tabla interpolando:

$$U = 0.305 \frac{Kcal}{m^2 h^{\circ}C}$$

$$0.305 = \frac{1}{\frac{1}{10} + \frac{0.001}{39} + \frac{e_n}{0.030} + \frac{0.001}{39} + \frac{0.001}{0.206} + \frac{1}{20}}$$

$$e_n = 0.09357 \text{ m}$$

### Calculo de aislante para la pared este y sur.

Vamos a calcular el espesor para ambas paredes de la misma manera debido a que a ambas se le agrega el mismo incremento en grados centígrados.

$$\Delta T = 34 - 10 = 24^{\circ}C$$

$$U = 0.33 \frac{Kcal}{m^2 h^{\circ}C}$$

$$0.33 = \frac{1}{\frac{1}{10} + \frac{0.001}{39} + \frac{e_n}{0.030} + \frac{0.001}{39} + \frac{0.001}{0.206} + \frac{1}{20}}$$

$$e_n = 0.08611 \text{ m}$$

### Aislamiento para la puerta.

Se asume una temperatura igual que la temperatura ambiente pero incrementándose  $10^{\circ}C$ , en el caso de que esta este ubicada en el lado norte.

Por lo tanto tenemos:

$$\Delta T = 39 - 10 = 29^{\circ}C$$

El valor de la conductividad lo sacamos de la tabla7 interpolando en la tabla.

$$U = 0.305 \frac{Kcal}{m^2 h^{\circ}C}$$

$$0.305 = \frac{1}{\frac{1}{10} + \frac{0.001}{39} + \frac{e_n}{0.030} + \frac{0.001}{39} + \frac{0.001}{0.206} + \frac{1}{20}}$$

$$e_n = 0.09357 \text{ m}$$

### 3.2 Cálculos de la cámara frigorífica del sistema.

Estos cálculos que realizaremos a continuación sirven para determinar la cantidad de calor que necesito remover del sistema, en otras palabras esto sería la capacidad que tiene que disipar el evaporador, tenemos que calcular los aportes externos al sistema,

aportes internos y de los aportes varios como lo realizaremos a continuación:

### **Aportes externos.**

Los aportes externos son dados por las paredes de la cámara como veremos a continuación en los siguientes cálculos.

Para calcular el calor generado nos basaremos en la siguiente ecuación:

$$Q = U * A * (T_{med} - T_{int}) \quad \text{Ec 3.4}$$

Donde:

Q = Calor generado por las paredes, pisos y techos.

A = Área de transmisión de calor.

$T_{med}$  = Temperatura exterior a la que se le agrega los grados de acuerdo a su ubicación.

$T_{int}$  = temperatura interior de la cámara o de almacenamiento.

### **Aporte por parte del techo.**

$$Q = U * A * (T_{med} - T_{int})$$

$$T_{med} = 44^{\circ} C$$

$$T_{alm} = 10^{\circ} C$$

$$U = 0.28 \frac{Kcal}{m^2 h^{\circ} C}$$

$$Q_1 = 0.28 * 15 * 9 * (39 - 10)$$

$$Q_1 = 1285.2 Kcal/h$$

### **Aporte de la pared lateral oeste.**

$$Q = U * A * (T_{med} - T_{int})$$

$$T_{alm} = 10^{\circ} C$$

$$T_{med} = 39^{\circ} C$$

$$U = 0.305 \frac{Kcal}{m^2 h^{\circ} C}$$

$$Q_2 = 0.305 * 15 * 4.5 * (39 - 10)$$

$$Q_2 = 597.04 Kcal/h$$

### **Aporte de la pared este.**

$$Q = U * A * (T_{med} - T_{int})$$

$$T_{alm} = 10^{\circ} C$$

$$T_{med} = 34^{\circ} C$$

$$U = 0.33 \frac{Kcal}{m^2 h^{\circ}C}$$

$$Q_3 = 0.305 * 15 * 4.5 * (34 - 10)$$

$$Q_3 = 534.6 Kcal/h$$

**Aporte por parte de la pared delantera.**

$$Q = U * A * (T_{med} - T_{int})$$

$$T_{alm} = 10^{\circ}C$$

$$T_{med} = 34^{\circ}C$$

$$U = 0.33 \frac{Kcal}{m^2 h^{\circ}C}$$

$$Q_4 = 0.33 * (9 * 4.5 - 2 * 3) * (34 - 10)$$

$$Q_4 = 273.24 Kcal/h$$

**Aporte por parte de la pared posterior.**

$$Q = U * A * (T_{med} - T_{int})$$

$$T_{alm} = 10^{\circ}C$$

$$T_{med} = 39^{\circ}C$$

$$U = 0.305 \frac{Kcal}{m^2 h^{\circ}C}$$

$$Q_5 = 0.305 * 9 * 4.5 * (39 - 10)$$

$$Q_5 = 358.22 \text{ Kcal / h}$$

### **Aporte de la puerta.**

$$Q = U * A * (T_{med} - T_{int})$$

$$T_{alm} = 10^{\circ} C$$

$$T_{med} = 34^{\circ} C$$

$$U = 0.33 \frac{\text{Kcal}}{\text{m}^2 \text{h}^{\circ} C}$$

$$Q_6 = 0.33 * 2 * 3 * (34 - 10)$$

$$Q_6 = 47.52 \text{ Kcal / h}$$

Ahora determinamos el aporte calorífico total externo.

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6$$

$$Q = 3095.82 \text{ Kcal / h}$$

### **Cálculos de aportes internos.**

Los aportes internos están dados por el producto, el calor de respiración del producto y de los empaques que estos contengan.



### Calor aportado del producto.

Para realizar los siguientes cálculos debemos conocer los siguientes datos dados a continuación en la siguiente tabla:

**TABLA 9**  
**PROPIEDADES DEL PRODUCTO.**

Temperatura exterior	29 <sup>0</sup> C
Temperatura de almacenamiento	10 <sup>0</sup> C
Temperatura inicial del queso	26 <sup>0</sup> C
Humedad relativa	85- 90%
Calor de respiración	1800 $\frac{Kcal}{Tm * dia}$
Calor especifico	0.68 $\frac{Kcal}{Kg * ^0 C}$
Masa del producto	50000Kg/día

$$Q_{ul} = c * M * (T_i - T_a) \quad \text{Ec 3.5}$$

Donde:

c = calor especifico del producto.

M = masa total del producto.

$T_i$  = temperatura inicial del producto.

$T_{alm}$  = temperatura de almacenamiento del producto.

$$Q_{u1} = 0.68 \frac{Kcal}{Kg * ^\circ C} * 50000 \frac{Kg}{dia} * (26 - 10)^\circ C * \frac{1dia}{24h}$$

$$Q_{u1} = 22666.67 \frac{Kcal}{h}$$

### **Calor producido por la respiración del producto.**

Este calor lo determinaremos con la siguiente ecuación, la cual involucra el calor de respiración del producto y la masa del producto:

$$Q_{u2} = l * M \quad \text{Ec 3.6}$$

l = calor de respiración.

M = masa del producto en toneladas.

$$Q_{u2} = 1800 \frac{Kcal}{TON * dia} * 50000 Kg * \frac{1TON}{1000 Kg} * \frac{1dia}{24h}$$

$$Q_{u2} = 3750 \frac{Kcal}{h}$$

### **Calor producido por el embalaje.**

En esta parte necesitamos saber lo referente al producto de almacenamiento y si este esta embalado o esta en pallets y eso lo

veremos a continuación en la siguiente tabla los calores específicos para los diferentes embalajes:

**TABLA 10**  
**DATOS DEL PRODUCTO DE EMBALAJE.**

<b>Tipos de embalajes</b>	<b>Calores específicos(J/Kg*K)</b>
Cartón	1340
Plásticos	1000
Metal	480
Madera	1255

El embalaje representa aproximadamente un 15% del peso total del producto, supondremos que el queso esta en gavetas plásticas dentro de la cámara, como veremos a continuación:

$$Q_{u1} = 0.15 * c_1 * M * (T_i - T_a) \quad \text{Ec 3.7}$$

$c_1$  = calor específico del embalaje.

M = masa del producto en toneladas.

$T_i$  = temperatura inicial del embalaje.

$T_{alm}$  = temperatura de almacenamiento del producto.

$$Q_{u3} = 0.15 * 1000 \frac{J}{Kg * K} * 50000 \frac{Kg}{dia} * (29 - 10)K * \frac{1dia}{24h} * \frac{1Kcal}{4186.8J}$$

$$Q_{u3} = 1418.14 \frac{Kcal}{h}$$

### Calor producido por los pallets.

Los pallets aportan con el 10% del peso total del producto, los pallets están contruidos de madera, el valor del calor especifico de la madera lo sacaremos de la tabla dada anteriormente, a continuación realizaremos el siguiente cálculo:

Ahora el calor de total de esta parte es:

$$Q_{u1} = 0.10 * c_2 * M * (T_i - T_a) \quad \mathbf{Ec\ 3.8}$$

Donde:

$c_2$  = calor especifico de la madera.

M = masa del producto en toneladas.

$T_i$  = temperatura inicial de los pallets.

$T_{alm}$  = temperatura de almacenamiento del producto.

$$Q_{u4} = 0.10 * 1255 \frac{J}{Kg * K} * 50000 \frac{Kg}{dia} * (29 - 10)K * \frac{1dia}{24h} * \frac{1Kcal}{4186.8J}$$

$$Q_{u4} = 1186.52 \frac{Kcal}{h}$$

$$Q_{TV} = 22666.67 + 3750 + 1418.14 + 1186.52 = 29021.33 \frac{Kcal}{h}$$

### Cálculos de aportes varios.

Aquí en esta parte se hace referencia a los calores aportados por la renovación del aire, por los ventiladores, el personal que trabaja dentro de la cámara y por la iluminación de la cámara.

### Renovación del aire.

La carga por renovación del aire en la cámara lo calcularemos con la siguiente ecuación:

$$Q_{AIRE} = N * \frac{V_{ol}}{V_a} * (h_a - h_f) \quad \mathbf{Ec 3.9}$$

$N$  = Cambios de aire.

$V_{ol}$  = Volumen de la cámara de conservación.

$V_a$  = Volumen específico del aire.

$h_a$  = Entalpía del aire del medio

$h_f$  = Entalpía del aire dentro de la cámara.

Del diagrama Psicrometrico (ver Apéndice C) determinaremos las entalpías y volumen específico tanto del aire como la de almacenamiento y estos son:

- Para el aire con  $T_{ext} = 29^0 C$  y una humedad relativa  $\phi = 80 \%$  tenemos:

$$h_a = 84 \frac{KJ}{Kg} = 20.06 \frac{Kcal}{Kg}$$

$$V_a = 0.89 \frac{m^3}{Kg}$$

- Para el almacenamiento con  $T_{int} = 10^0 C$  y una humedad relativa  $\phi = 85 \%$  tenemos:

$$h_a = 26 \frac{KJ}{Kg} = 6.21 \frac{Kcal}{Kg}$$

Ahora procedemos a calcular el número de renovaciones de aire en 24h, debido a la apertura de puertas e infiltraciones, según el volumen de la cámara y el nivel de temperatura de la misma, ver tabla 12.

**TABLA 11**  
**NUMERO DE RENOVACIONES DE ACUERDO AL**  
**VOLUMEN DE LA CÁMARA.**

Volumen de la cámara( $m^3$ )	Temperaturas	
	$>0^{\circ}C$	$<0^{\circ}C$
5	47	36
30	17	13
60	12	9
150	7	5.5
200	6	4.5
1200	2.2	1.7
3000	1.4	1.1
15000	0.90	0.80

Con el volumen de la cámara es  $607.5 m^3$  de la tabla dada anteriormente sacamos el número de renovaciones de aire en 1 día de 24h y sabiendo que la temperatura de almacenamiento es  $>0^{\circ}C$ , de la tabla nos da:

$$N_1 = 4.45$$

En esta parte se incluirán 2 renovaciones técnicas adicionales que están dentro de un rango normalizado en cámaras frigoríficas, entonces el número total de horas es:

$$N = N_1 + 2 = 6.45$$

$$Q_{AIRE} = 6.45 \frac{\text{renova}}{\text{dia}} * \frac{607.5m^3}{0.89 \frac{m^3}{Kg}} * (20.6 - 6.21) \frac{Kcal}{Kg} * \frac{1\text{dia}}{24h}$$

$$Q_{AIRE} = 2639.77 \text{Kcal/h}$$

### Calculo de las necesidades de los ventiladores.

Para determinar el calor desprendido por estos motores es preciso conocer su potencia, considerando por cada hora de funcionamiento el calor desprendido por estos será de  $630 \frac{Kcal}{CV}$  O

$860 \frac{Kcal}{Kw}$  y se lo calcularía normalmente con las siguientes

formulas:

$$Q_v = 630 Pe * H$$

Donde:

Pe = Potencia unitaria de los motores en CV.

H = Numero de horas de funcionamiento de los motores.

O bien;

$$Q_v = 860 Pe * H$$

Donde:

Pe = Potencia unitaria de los motores en KW.



H = Numero de horas de funcionamiento de los motores.

Pero debido a que Pe y H no son conocidos a PRIORI por lo tanto en práctica se opta por realizar un valor aproximado que esta en función del volumen de la cámara y del calor desprendido por los ventiladores.

$$Q_v = V_{ol} * Q_{dv} \quad \mathbf{Ec\ 4.0}$$

Donde:

$V_{ol}$  = volumen de la cámara.

$Q_{dv}$  = Calor desprendido por los ventiladores

$$Q_{dv} = 41.868 \frac{KJ}{m^3 * dia} = 10 \frac{Kcal}{m^3 * dia}$$

$$Q_v = 607.5m^3 * 10 \frac{Kcal}{m^3 * dia} * \frac{1dia}{24h}$$

$$Q_v = 253.13 \frac{Kcal}{h}$$

### **Aporte del personal que labora en la cámara.**

Este calor dependerá del número de personas que entren diariamente en la cámara, del trabajo que en ella realicen y el tiempo de permanencia en la misma, lo calcularemos mediante la

siguiente formula: De la siguiente tabla dada a continuación determinaremos la potencia calorífica liberada por las personas.

**TABLA 12**

**POTENCIA CALORÍFICA LIBERADAS POR LAS PERSONAS.**

<b>Temperatura de la cámara</b>	<b>Potencia calorífica liberad por personas(KJ/h)</b>	<b>Potencia calorífica liberad por personas(Kcal/h)</b>
15	645	154
10	754	180
5	862	206
0	971	232
-5	1080	258
-10	1185	283
-15	1294	309
-20	1403	335
-25	1616	362

Sabiendo que la temperatura de almacenamiento es de  $10^{\circ}C$  procedemos a verificar en la tabla y resulta:

$$CP = 180 \frac{Kcal}{h}$$

Asumiremos para nuestro cálculo que el personal labora dentro de la cámara un tiempo de 5h/día y el número de personas igual a 4.

Con todos estos datos listos procedemos a calcular el calor aportado con las personas con la siguiente ecuación:

$$Q_p = N_p * CP * t \quad \mathbf{Ec\ 4.1}$$

Donde:

$N_p$  = numero de personas que trabajan dentro de la cámara.

CP = calor corporal de las personas (KJ/h) o (Kcal/h)

t = tiempo de permanencia de las personas dentro de la cámara en un día.

$$Q_p = 4pers * 180 \frac{Kcal}{h} * 5 \frac{h}{dia} * \frac{1dia}{24h}$$

$$Q_p = 150 \frac{Kcal}{h}$$

### **Aporte calorífico de las luminarias.**

Estas dependen del nivel lumínico proyecto en el recinto frigorífico y del tiempo de utilización. Generalmente el nivel lumínico será bajo entre 20y 60 luces por lo que la potencia instalada será del

orden de  $1-10 \frac{W}{m^2}$  .

Ahora vemos que por cada metro cuadrado utilizamos 10W trataremos de calcular la potencia instalada en luminarias en la cámara, con esto calculamos el área del techo:

$$A_{techo} = 15m * 4.5m = 67.5m^2$$

Con la siguiente ecuación dada a continuación calculamos las necesidades de luminarias:

$$Q_{ilum} = 860 * P_i * t_i \quad \text{Ec 4.2}$$

Donde:

$P_i$  = Potencia de las luminarias en KW.

$t_i$  = tiempo de permanecía que están prendido los focos.

Primeramente calculamos la potencia disipada por los focos como vemos a continuación:

$$P = A_{techo} * 10 \frac{W}{m^2} = 67.5m^2 * 10 \frac{W}{m^2} = 675W = 0.675 KW$$

Asumiremos que el tiempo que estas luces están prendidas es el mismo que el personal esta dentro de la cámara siendo este igual 5h/día.

$$Q_{ilum} = 860 * 0.675 \text{ KW} * 5 \frac{\text{h}}{\text{dia}} * \frac{1 \text{ dia}}{24 \text{ h}}$$

$$Q_{ilum} = 120.94 \frac{\text{Kcal}}{\text{h}}$$

Ahora calculamos el calor:

$$Q_R = Q_{AIRE} + Q_v + Q_p + Q_{ilum}$$

$$Q_R = 2639.77 + 253.13 + 150 + 120.94 = 3163.84 \frac{\text{Kcal}}{\text{h}}$$

**Ahora realizamos el cálculo de calor total:**

$$Q_T = Q + Q_{TU} + Q_R$$

$$Q_T = 3095.82 \frac{\text{Kcal}}{\text{h}} + 29021.33 \frac{\text{Kcal}}{\text{h}} + 3163.84 \frac{\text{Kcal}}{\text{h}}$$

$$Q_T = 35280.99 \frac{\text{Kcal}}{\text{h}}$$

### 3.3 Selección del sistema de refrigeración.

#### Selección del refrigerante.

En este proyecto trabajaremos con el refrigerante 134<sup>a</sup> por sus características y propiedades, por lo cual todos nuestros cálculos estarán basados en las tablas del diagrama de Mollier para dicho refrigerante, también trabajaremos con amoníaco.

#### Trazado del ciclo de refrigeración.

Una vez seleccionado el refrigerante procedemos a trazar el ciclo de refrigeración en el diagrama presión-entalpía (ver Apéndice D), el diagrama presión – entalpía del amoníaco también está dado (ver Apéndice E)

Primero seleccionamos la temperatura de condensación:

$$T_{cond} = T_{ext} + \Delta T \quad \text{Ec 4.3}$$

$$10 < \Delta T < 15$$

Escogemos  $\Delta T$  de 12 °C para nuestros cálculos.

$$T_{ext} = 29^{\circ}\text{C}$$

$$T_{cond} = 29^{\circ}\text{C} + 12^{\circ}\text{C} = 41^{\circ}\text{C}$$

Ahora vamos a calcular la temperatura de evaporación ahora tenemos otro rango de  $\Delta T$ :

$$7 \leq \Delta T \leq 8$$

para estos cálculos utilizaremos un  $\Delta T = 8^{\circ}\text{C}$

$$T_{evapor} = T_{int} - \Delta T \quad \text{Ec 4.4}$$

La temperatura de almacenamiento que asumimos para nuestro trabajo es de  $10^{\circ}\text{C}$ .

$$T_{evapor} = 10 - 8 = 2^{\circ}\text{C}$$

Calculamos la relación de compresión para saber de que etapa será el sistema con la siguiente ecuación:

Procedemos a sacar la presión de condensación y evaporación del diagrama de Moolier al realizar el respectivo trazado para refrigerante 134 A.

$$P_{cond} = 1.1\text{MPa}$$

$$P_{evapor} = 0.31\text{MPa}$$

$$r = \frac{P_{condensacion}}{P_{evaporacion}}$$

$$r = \frac{1.1}{0.31} = 3.548$$

Como la relación de la tasa de compresión es menor a 10 ( $r < 10$ ) nuestro sistema es de una etapa.

Luego de esto procedemos a obtener los valores de entalpía del y volumen específico del diagrama de Mollier.

Cuando se vaya a dibujar el punto de entrada al compresor, punto 1, vamos a asumir un recalentamiento de 10 °C ósea sumarle esta cantidad a la temperatura de evaporización. Con esto obtenemos la entapia y el volumen específico:

$$h_1 = 268 \frac{KJ}{Kg}$$

$$v_1 = 0.072 \frac{m^3}{Kg}$$

En el punto 2 que es el lado de descarga del compresor y entrada al condensador obtenemos la siguiente entalpía:

$$h_2 = 288 \frac{KJ}{Kg}$$



El refrigerante en el condensador es transformado en líquido, proveniente del compresor en estado gaseoso a alta temperatura y presión, a presión constante obtenemos el punto 3 a la salida del condensador:

$$h_3 = 109 \frac{KJ}{Kg}$$

Luego de esto calculamos la entalpía en el punto 4 con un subenfriamiento  $\Delta T = 10^\circ C$  es la entrada a la válvula de restricción de refrigerante, esta diferencia se resta de la temperatura de condensación:

$$h_4 = 91 \frac{KJ}{Kg}$$

Para calcular la entalpía en el punto 5 el proceso es isentalpico, este punto comprende válvula de restricción y entrada al evaporador por lo cual va hacer igual a la del punto 4:

$$h_5 = 91 \frac{KJ}{Kg}$$

Ahora calculamos la entalpía en el punto 6 que es la salida del evaporador- entrada al compresor:

$$h_6 = 250 \frac{KJ}{Kg}$$

### Selección del compresor.

Primeramente calcularemos el flujo másico del refrigerante que tendrá el sistema. Este flujo másico lo determinaremos con la siguiente ecuación:

$$Q = m(h_6 - h_5) \quad \text{Ec 4.5}$$

Q = calor absorbido por el sistema.

m = flujo másico del refrigerante.

$$m = \frac{Q}{(h_6 - h_5)} = \frac{147714.45 \text{ KJ/h}}{(400 - 245) \text{ KJ/Kg}}$$

$$m = 952.99 \frac{\text{Kg}}{\text{h}}$$

El rendimiento volumétrico lo encontraremos del gráfico (Ver Apéndice F) relación de la tasa de compresión vs. Rendimiento volumétrico.

$$\eta_i \approx \eta_v$$

$$\eta_v = 0.79$$

Luego determinaremos la potencia del compresor:

$$P = \frac{m(h_2 - h_1)}{\eta_i \eta_m} \quad \text{Ec 4.6}$$

$$\eta_m \approx 0.8$$

$\eta_v$  = eficiencia volumétrica.

$\eta_m$  = eficiencia mecánica = 0.8

$$P = \frac{952.99 * (440 - 410)}{0.79 * 0.8}$$

$$P = 45237.17 \frac{KJ}{h}$$

Ahora procedemos a calcular el caudal volumétrico.

$$V = m * v_1 \quad \mathbf{Ec 4.7}$$

$$V = 952.99 * 0.065 = 2940.42 \frac{m^3}{h}$$

Con la potencia y el caudal volumétrico seleccionamos el tipo de compresor para todo sistema de refrigeración.

### Selección del condensador.

El condensador es un intercambiador de calor cuyo objetivo es transmitir al medio ambiente (aire o agua) el calor de los vapores de descarga del compresor.

$$Q_{rechazad} = m * (h_2 - h_3) \quad \mathbf{Ec 4.8}$$

$$Q_{rechazad} = 952.99 * (440 - 255)$$

$$Q_{rechazad} = 543977 \frac{KJ}{h} = 12992.5 \frac{Kcal}{h}$$

**TABLA 13**  
**COEFICIENTES DE TRANSFERENCIA PARA LOS TIPOS**  
**DE CONDENSADORES.**

<b>GRUPO</b>	<b>Medio de condensación</b>	<b>Tipo</b>	<b><math>K(\frac{Kcal}{m^2h^0C})</math></b>
Calor sensible	Aire	Circulación natural	8 – 10
		Circulación forzada	20 – 25
	Agua	Inmersión	200 – 250
		Doble tubo y contracorriente	600 – 800
		Multitubulares(Horizontales)	600 – 1000
Calor latente	Atmosféricos	Multitubulares(vertical es)	700 – 1200
		Chorro simple	200 – 250
		Chorro y contracorriente(Bloques y similares)	700 – 1000
	Evaporación forzada	Tubos lisos	200 – 300
		Tubos con aletas	100 - 150

Los condensadores utilizados son de convección forzada de aire y tubos aleteados procedemos a determinar el valor respectivo en la tabla.

$$K = 120 \frac{Kcal}{h * m^2 * ^\circ C}$$

para calcular la superficie de transmisión de calor necesitamos conocer la diferencia de temperatura y esta se da a continuación en la siguiente tabla:

**TABLA 14**  
**DIFERENCIA DE TEMPERATURAS VS. LA HUMEDAD RELATIVA.**

<b>Humedad Relativa</b>	<b>90%</b>	<b>85%</b>	<b>80%</b>	<b>75%</b>
Tubos lisos (°C)	3°	5°	7°	10°
Tubos con aletas (°C)	5-6°	7-8°	9-10°	12-13°

De esta tabla procederemos a determinar el  $\Delta T$  con una humedad relativa del producto de 80% para tubos con aletas, tomamos un  $\Delta T = 10^\circ C$ , por lo tanto la superficie de transferencia de calor será:

$$S = \frac{Q}{K * \Delta T} \quad \text{Ec 4.9}$$

$$S = \frac{543977E3 \frac{J}{h} * \frac{1Kcal}{4186.8J}}{120 \frac{Kcal}{h * m^2 * ^\circ C} * 10^0 C} = 108.27m^2$$

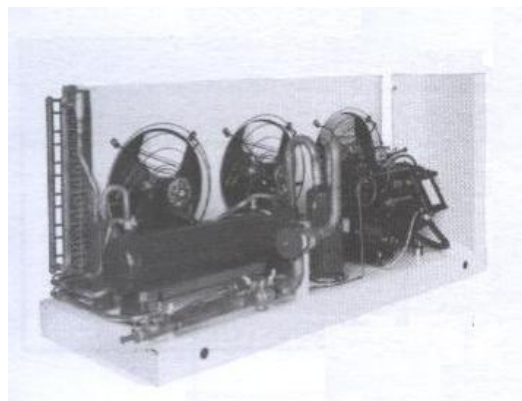
Con estos dos parámetros dado a continuación usted puede calcular el condensador para el sistema, en los catálogos dados por los fabricantes existentes en el medio:

$$Q_{rechazad} = 543977 \frac{KJ}{h} = 12992.5 \frac{Kcal}{h}$$

$$S = 108.27m^2$$

### **Selección de la unidad condensadora.**

Los cálculos que se han realizado anteriormente del compresor y del condensador están perfectos para calcular por separado los componentes.



**FIGURA 3.1 UNIDAD CONDENSADORA.**

Pero en el mercado encontramos compresor-condensador con el nombre de unidad condensadora y es esta la que vamos a seleccionar en el programa, la seleccionaremos con el calor total de la carga del sistema, la temperatura de almacenamiento y la temperatura del medio, pero tenemos que multiplicar esta cantidad de calor por 0.9 para R-134<sup>a</sup>, porque el catalogo es para R- 22.

$$Q_T = 0.9 * 35280.99 = 31752.89 \frac{Kcal}{h}$$

Entramos a la tabla en el y vemos que la unidad condensadora para estos la cámara es el modelo **BDT1200H2** con un compresor **COPELAN DE 12HP**, claro esta que esto es para un fabricante en específico.

### **Selección del evaporador.**

Calcularemos el área del evaporador y el calor que este absorbe de los productos almacenados dentro de la cámara mediante la siguiente ecuación:

$$S = \frac{Q_{absorbido}}{K * \Delta T}$$

Donde:

S = superficie de transferencia de calor ( $m^2$ )

$Q_{absorbido}$  = Calor absorbido por el evaporador.

$K$  = Coeficiente de transmisión de calor en el evaporador.

$\Delta T$  = Diferencia de temperatura entre la temperatura promedio del medio a enfriar y la temperatura de vaporización del refrigerante.

$$Q_{absorbido} = m * (h_6 - h_5) \quad \text{Ec 5.0}$$

Donde:

$m$  = Flujo másico del refrigerante.

$h_6$  = Entalpia a la salida del evaporador-entrada al compresor.

$h_5$  = Entalpia a la entrada al evaporador.

$$Q_{absorbido} = 952.99 * (250 - 91)$$

$$Q_{absorbido} = 151525.41 \frac{KJ}{h} = 36191.22 \frac{Kcal}{h}$$



**TABLA 15**  
**COEFICIENTES DE TRANSFERENCIA PARA LOS TIPOS**  
**DE EVAPORADORES.**

Grupo	Tipos		$K \left( \frac{Kcal}{m^2 h^0 C} \right)$
<b>Enfriadores de aire</b>	A inmersión	Serpentín	60 – 80 o 200 - 250
		Parrilla	350 – 400
		Intensivos	500
	Doble tubo y contracorriente		500 - 700
	A chorro		800 - 1200
	Multitubulares	Horizontales	400 – 600
		Verticales	700 - 1200
<b>Enfriadores de aire.</b>	Circulación natural	Tubos lisos	16 – 20
		Tubos aleteados	6 – 8
	Circulación forzada	Tubos lisos	30 – 40
		Tubos aleteados	14 - 20

Como los evaporadores utilizados son de convección forzada de aire y tubos aleteados procedemos a determinar el valor respectivo en la tabla.

$$K = 18 \frac{Kcal}{h * m^2 * ^\circ C}$$

En el caso que el medio a enfriar sea el aire de un local, esta diferencia estaría sujeta no solo a condiciones de temperatura si no también de la humedad relativa del local a enfriar y además del producto a conservar.

De esta tabla 19 procederemos a determinar el  $\Delta T$  con una humedad relativa del producto de 90% para tubos con aletas, tomamos un  $\Delta T = 6^\circ C$ , por lo tanto:

$$S = \frac{313813.53E3 \frac{J}{h} * \frac{1Kcal}{4186.8J}}{18 \frac{Kcal}{h * m^2 * ^\circ C} * 6^\circ C} = 694m^2$$

Esta es el área superficial de transferencia de calor si deseáramos diseñar el evaporador, procedemos a determinar el evaporador de nuestro sistema entrando con la temperatura de evaporación, y la cantidad de calor como veremos a continuación, en el catalogo

tenemos para el R-22 para poder entrar tenemos que multiplicar por 0.9 la cantidad de calor absorbida por el sistema:

$$Q_{\text{absorbido}} = 0.9 * 36191.22 = 32572.01 \frac{\text{Kcal}}{\text{h}} = 129256.18 \frac{\text{BTU}}{\text{h}}$$

$$T_{\text{evapor}} = 2 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Vemos en el catalogo que nuestra temperatura es de 5°C y la capacidad máxima es de  $19770 \frac{\text{Kcal}}{\text{h}}$ , por lo cual vamos a utilizar

dos unidades de  $16710 \frac{\text{Kcal}}{\text{h}}$  y el modelo es **BMA 600**.

Para seleccionar los equipos (vea apéndice G) tiene que seleccionar tiene que entrar con los datos que se piden en los catálogos.

### 3.4 Selección de los accesorios del sistema.

#### Selección de tuberías para el sistema de refrigeración.

En esta sección vamos a calcular el diámetro de la tubería que vamos a utilizar en nuestro sistemas por lo general para refrigerantes halogenados se utiliza tubería de cobre, y es la que vamos a utilizar aquí en este proyecto.

**Tubería de descarga.**

La tubería de descarga o de alta presión comprende en el sistema desde la salida del compresor hasta la entrada al condensador, a continuación determinaremos el diámetro de la tubería, para esto utilizamos las siguientes ecuaciones:

$$m = \rho * v * A \quad \text{Ec 5.1}$$

$$A = \frac{\pi * d^2}{4}$$

$$d = 2 * \sqrt{\frac{m}{\pi * \rho * v}}$$

Donde:

d = diámetro de la tubería.

m = flujo másico del refrigerante.

$\rho$  = densidad del refrigerante.

v = velocidad del refrigerante.

Vamos a tomar una velocidad de la salida del refrigerante aproximada de  $v = 15\text{m/seg}$ , para encontrar la densidad del refrigerante encontramos primero el volumen específico del

refrigerante y este es igual a  $v = 0.022 \frac{\text{m}^3}{\text{Kg}}$ , Luego:

$$\rho = \frac{1}{v} = \frac{1}{0.022} = 45.45 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$$

$$d = 2 * \sqrt{\frac{952.99 \frac{\text{Kg}}{\text{h}} * \frac{1\text{h}}{3600\text{seg}}}{\pi * 45.45 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} * 15 \frac{\text{m}}{\text{seg}}}}$$

$$d = 2.223\text{E} - 2\text{m} = 22.23\text{mm}$$

#### Tubería de líquido.

La tubería de líquido comprende en el sistema desde la salida del condensador hasta la entrada al evaporador, a continuación determinaremos el diámetro de la tubería, para esto utilizamos las siguientes ecuaciones:

$$m = \rho * v * A$$

$$A = \frac{\pi * d^2}{4}$$

$$d = 2 * \sqrt{\frac{m}{\pi * \rho * v}}$$

Donde:

d = diámetro de la tubería.

m = flujo másico del refrigerante.

$\rho$  = densidad del refrigerante.

v = velocidad del refrigerante.

Vamos a tomar una velocidad de la salida del refrigerante aproximado de  $v = 0.7\text{m/seg}$ , para encontrar la densidad del refrigerante encontramos primero el volumen específico del refrigerante y este es igual a  $\nu = 0.000873 \frac{\text{m}^3}{\text{Kg}}$ , Luego:

$$\rho = \frac{1}{\nu} = \frac{1}{0.000873} = 1145.47 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$$

$$d = 2 * \sqrt{\frac{952.99 \frac{\text{Kg}}{\text{h}} * \frac{1\text{h}}{3600\text{seg}}}{\pi * 1145.47 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} * 0.7 \frac{\text{m}}{\text{seg}}}}$$

$$d = 2.05\text{E} - 2\text{m} = 20.5\text{mm}$$

#### Tubería de absorción.

La tubería de absorción o lado de baja presión y baja temperatura, comprende en el sistema desde la salida del evaporador hasta la entrada al compresor, a continuación determinaremos el diámetro de la tubería, para esto utilizamos las siguientes ecuaciones:

$$m = \rho * v * A$$

$$A = \frac{\pi * d^2}{4}$$

$$d = 2 * \sqrt{\frac{m}{\pi * \rho * v}}$$

Donde:

d = diámetro de la tubería.

m = flujo másico del refrigerante.

$\rho$  = densidad del refrigerante.

v = velocidad del refrigerante.

Vamos a tomar una velocidad de la salida del refrigerante aproximada de  $v = 13$  m/seg, para encontrar la densidad del refrigerante encontramos primero el volumen específico del

refrigerante y este es igual a  $v = 0.067 \frac{m^3}{Kg}$ , Luego:

$$\rho = \frac{1}{v} = \frac{1}{0.067} = 14.92 \frac{Kg}{m^3}$$

$$d = 2 * \sqrt{\frac{952.99 \frac{Kg}{h} * \frac{1h}{3600seg}}{\pi * 14.92 \frac{Kg}{m^3} * 13 \frac{m}{seg}}}$$

$$d = 4.169E - 2m = 41.69mm$$

### **Selección del aislante para la tubería de descarga.**

El material aislante utilizado suele ser casi con exclusividad la espuma elastomérica, ya que presenta una baja conductividad térmica y una alta resistividad al vapor de agua, constituyendo al mismo tiempo una verdadera barrera antivapor, evitando las condensaciones. Éste material se fabrica en planchas y coquillas del espesor adecuado para cada situación.

Otros materiales, como la lana de roca o la fibra de vidrio, presentan un valor más alto del coeficiente de conductividad térmica y una resistividad al vapor de agua muy inferior, por lo que siendo adecuados para el aislamiento de tuberías por las que circula un fluido caliente (no existe peligro de condensaciones), no lo son tanto para aquellas por las que circula un fluido frío, en las que existe peligro de condensaciones y por tanto habrá que proceder a establecer una barrera antivapor mediante el uso de materiales bituminosos o chapas metálicas, lo que dificulta y encarece la instalación.

En el mercado encontramos de varios espesores como mostramos en el apéndice... y se lo seleccione con el diámetro



de la tubería de descarga y de acuerdo al espesor que uno quiera, como veremos a continuación calcularemos un espesor lógico para no exagerar en los gastos, pero necesitamos recordar los siguientes datos:

$$d = 2.084E - 2m = 20.84mm$$

$$T_{\text{evapor}} = 2 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T_{\text{ext}} = 29^\circ\text{C}$$

$$\phi = 80\%$$

$$\lambda = 0.030 \frac{\text{Kcal}}{\text{h} * \text{m}^2 * ^\circ\text{C}}$$

Con estos datos entramos en el nomograma del (ver apéndice H) y el procedimiento es el siguiente:

- Se traza una línea que una  $T_{\text{evapor}}$  con la humedad relativa ( $\phi$ ) y se encuentra la temperatura del punto de rocío (LINEA A).
- Luego se traza una línea que una la temperatura del punto de rocío con la  $T_{\text{ext}}$  (LINEA B).
- Después se unen los puntos de intersección de la LINEA A con la escala  $\lambda$  y la LINEA B con la escala  $X_f$  (LINEA C)

- Se procede a trazar otra línea que una  $\lambda$  del material con aislante con la intersección de la línea c y la recta pivote, esta línea deberá llegar hasta  $X_f$ .
- Finalmente se traza la línea (LINEA D) que une el valor de  $X_f$  con el valor del diámetro nominal del tubo, esta intercepta la escala  $X_p$  y este es el valor del aislamiento mínimo.

Para nuestros cálculos el espesor del aislamiento es de 20 mm.

### **Selección del acumulador de succión.**

El acumulador de succión no es nada más que una trampa que puede coger el líquido antes de que alcance el compresor, este líquido se evapora en esta trampa y llega como gas al compresor. En algunos evaporadores, la acción del aparato de medición no es tan rápida para responder a los cambios de carga, en este caso el líquido saldrá ocasionalmente del evaporador a través de la línea de succión. Esto puede dañar al compresor.



**FIGURA 3.2 ACUMULADOR DE SUCCIÓN**

El acumulador de succión generalmente se encuentra muy cerca del evaporador. Ocasionalmente se lo encontrara en la línea principal de succión de un sistema multievaporador, protegiendo por consiguiente contra el arrastre de todos los evaporadores.

#### **Selección de la válvula solenoide.**

Las válvulas solenoides se usa en la línea de refrigerante liquido para controlar el flujo de refrigerante al evaporador, a veces se usa en la líneas de succión para aislar los evaporadores en sistemas de dos temperaturas. La válvula solenoide es un aparato extremadamente confiable cuando se instala como lo recomiendan los fabricantes. Las instalaciones inapropiadas, tales como fallar en

la colocación vertical de la válvula, en el alambrado o calentar excesivamente el cuerpo de la válvula durante la soldadura puede hacer una válvula solenoide una fuente de constantes problemas. Estas válvulas se las selecciona con los mismos parámetros de carga del sistema.

### **Selección de la válvula de expansión termostática.**

La válvula de expansión termostática sirve para restringir la el líquido refrigerante y se coloca a la entrada al evaporador, esta válvula posee un ecualizador externo, mejorando la reanudación de modulación de inyección de la válvula, y contribuyendo con el sobrecalentamiento ideal del fluido de retorno al compresor, y se la elige de la siguiente manera:

$$Q_{\text{absorbido}} = 151525.41 \frac{KJ}{h} = 36191.22 \frac{Kcal}{h}$$

Con este valor entramos al catálogo en el y vemos que es el modelo **Danfoss TEX- 2 4.5**.

### **Selección de visores, mirillas o indicadores.**

La mirilla permite al instalador o técnico de servicio observar la condición del refrigerante en ese punto en particular. La mirilla usualmente consiste en una apertura con vidrio en la línea de líquido del sistema frecuentemente se utiliza a cada lado de la línea para asegurar la iluminación.



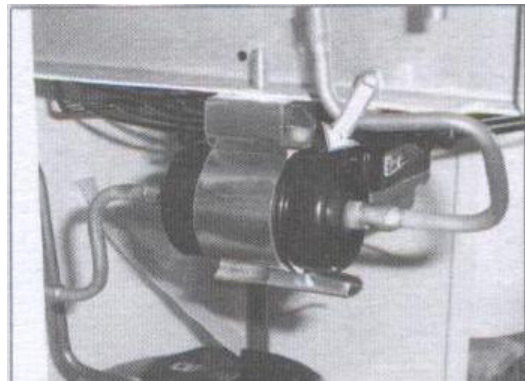
**FIGURA 3.3 MIRILLA**

Cuando la línea esta completamente llena con el refrigerante liquido no hay casi obstrucción, pero si hay algo de gas en la línea de líquido, se mostrara inmediatamente en la forma de burbujas al pasar por la mirilla.

Estas mirillas se seleccionan con el diámetro de la tubería como veremos en el catalogo, y esta claro que se utilizan dos en el sistema tanto en el lado de alta y baja (succión).

### Selección del filtro secador.

El filtro secador es un accesorio que sirve para retirar la humedad del sistema, consiste en una carcasa a través de la cual pasa el refrigerante líquido.



**FIGURA 3.4 FILTRO SECADOR**

Siempre se instala después de la válvula de servicio de salida del tanque de líquido y antes de la válvula en la línea de líquido.

El filtro secador se pide por el diámetro de la tubería de la línea de líquido y son estándares, **para este caso sería un filtro de**

$$d = 20.5mm = \mathbf{0.807pulg}$$

# CAPITULO 4

## 4. DISEÑO DEL SOFTWARE

### 4.1 Descripción del Software.

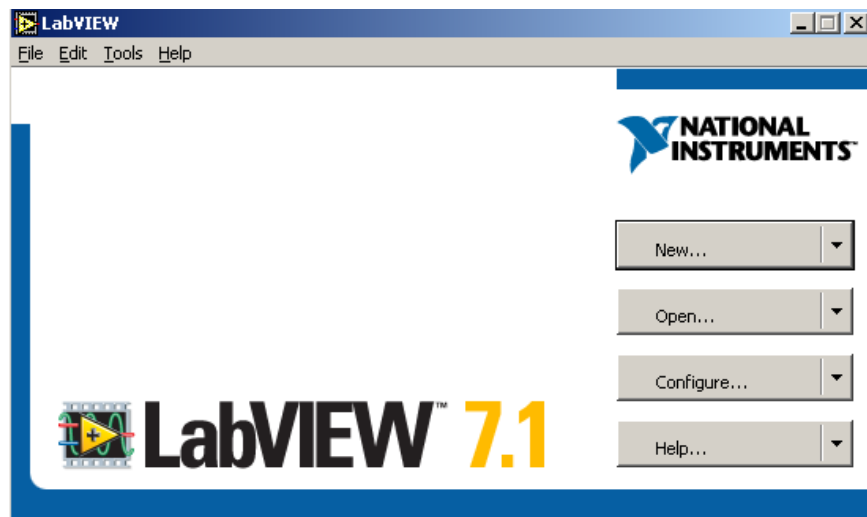
Los programas en Lab VIEW son llamados instrumentos virtuales (VIs). Los VIs tiene tres partes principales: El panel frontal, el diagrama de bloques y el icono conector.

El panel frontal permite dar valores de entrada y ver los valores de salida del diagrama de bloques del VI. Dado que el panel frontal es análogo al panel frontal de un instrumento, las entradas son llamadas controles y las salidas son llamadas indicadores. Se puede utilizar una gran variedad de controles e indicadores como perillas, interruptores, botones gráficas, etc. Los controles

indicadores ayudan para que el panel frontal sea fácil de entender y a que sus elementos se identifiquen rápidamente.

### La Ventana de Inicio de Lab VIEW

La siguiente ventana de inicio de Lab VIEW aparece al oprimir el botón del mouse sobre el icono de Lab VIEW, Figura 4.1.



**FIGURA 4.1 VENTANA DE INICIO DE LAB VIEW**

**New VI** : crea un VI nuevo.

**Open VI**: Abre un VI existente.

**DAQ Solucion Wizard** : Ejecuta una utilería interactiva que permite crear aplicaciones de adquisición de datos.



**Lab VIEW Tutorial:** Abre un tutorial interactivo y se presenta la información de modo verbal.

**Exit:** Termina la ejecución de Lab VIEW.

A continuación se explicara las dos ventanas de un VI nuevo.

### **Ventanas de Panel Frontal y Diagrama de Bloques**

Al seleccionar **New VI** en la ventana de inicio de Lab VIEW, una nueva ventana de panel sin titulo aparece en la pantalla. La ventana del panel despliega el panel frontal del VI; esta es una de las dos ventanas que se utilizan en Lab VIEW para construir un VI. La otra ventana, la ventana de diagrama, contiene el diagrama de bloques. Los paneles frontales y el diagrama de bloques están constituidos por una colección de objetos gráficos que son los elementos programables de Lab VIEW.

Los paneles frontales contienen varios tipos de controles e indicadores. Los diagramas de bloques consisten en terminales que corresponden a los controles e indicadores del panel frontal, así como constantes, funciones, SubVIs, estructuras, y cables que transportan datos de un objeto a otro. Cada indicar o control

utilizado en el panel frontal se corresponde con un terminal en la ventana de diagrama de bloques, desde la cual se pueden cablear estos terminales para dirigir la información como entradas en el caso de los terminales de un control o como salidas para el caso de los terminales un indicador.

### **Definición de Íconos.**

Dentro de esta sección se dará a conocer las barras de herramientas con que cuentan tanto el panel frontal como el diagrama de bloques además de las paletas de herramientas, funciones y controles.

Cada una de estas paletas y barras de herramientas contienen iconos que representan las funciones, esta información se requiere para comprender el funcionamiento y la programación en Lab VIEW.



### **Barra de Herramientas del Panel Frontal**


Las ventanas de panel y de diagrama contienen barras de herramientas con botones de comandos e indicadores de estado que se utilizan para controlar el VI. Dependiendo si está trabajando


en la ventana de panel frontal o en la de diagramas. Estas dos barras son similares.





**FIGURA 4.2 BARRA DE HERRAMIENTA DEL PANEL FRONTAL.**


 El botón de Ejecución. Para correr el VI, oprima el botón de ejecución con el botón izquierdo del mouse, cuando el VI se está ejecutando, el botón cambia a 

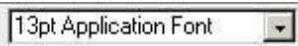
El botón de Ejecución roto. Este botón reemplaza al botón de  Ejecución e indica que el VI no se puede compilar porque tiene errores. Para encontrar las causas del error oprima el botón izquierdo del mouse sobre este botón automáticamente aparece una ventana con una lista de errores.


 El botón de Abortar la Ejecución aparece mientras el VI se esta ejecutando. Oprima el botón izquierdo del mouse sobre este botón para parar la ejecución del VI.


 El botón de Ejecución Continua. Oprima este botón con el botón izquierdo de mouse para ejecutar el VI repetidamente.


 Mientras se encuentra en modo de Ejecución continua, el icono cambia como se muestra y solo basta oprimirlo para deshabilitar la función.

 El botón de Pausa/Continuar. Este botón hace una pausa en la ejecución del VI. Para continuar desde el modo de Pausa oprima el botón otra vez, y el VI continuara la ejecución.

 El Anillo de Fuentes. Este anillo permite seleccionar opciones de texto, incluyendo tipos de fuente, tamaño y color.

 El Anillo de Alineación. Se puede usar la herramienta de Posicionamiento para seleccionar los elementos que deseen alinear, después se elige las opciones de alineación, incluyendo vertical, esquinas superiores, izquierda etc., para dos o mas objetos.

 El Anillo de Distribución. Se puede usar la herramienta de Posicionamiento para seleccionar los elementos que deseen alinear, después se elige las opciones de distribución, espacios, compresión etc., para dos o más objetos.


 El Anillo de Reordenación, este anillo se utiliza cuando varios objetos se encuentran empalmados, y se requiere definir que objeto esta al frente o atrás de otro objeto. Seleccione uno de los objetos utilizando la herramienta de posicionamiento y después seleccione alguna de las siguientes opciones: Mover Adelante, Mover Atrás, Mover al Frente, Mover al Fondo.


### **Barra de Herramientas del Diagrama de Bloques.**

La barra de herramientas del diagrama de bloques contiene casi los mismos botones de la barra de herramientas del panel frontal, pero además contiene cuatro herramientas útiles para depuración.



**FIGURA 4.3 BARRA DE HERRAMIENTAS DEL DIAGRAMA DE BLOQUES**

 El botón de animación de Ejecución. Presione este botón con el botón izquierdo del mouse para animar la ejecución.

 Cuando se activa esta función el icono cambia a iluminado. Este modo permite ver el flujo de datos a través del diagrama de bloques.



El botón de Pasar Sobre. Oprima este botón con el botón izquierdo del mouse para habilitar el modo paso a paso, este modo permite parar en cada uno de los modos del VI.

Este modo hace que los nodos parpadeen para denotar que están listos para ejecutarse. Presione en el botón de Pasar Sobre con el botón izquierdo del mouse si desea saltar un ciclo, subVI, etc. Al saltar el nodo este no se ejecuta paso a paso.



El botón Entrar A. Al presionar este botón permite entrar al ciclo, subVI, etc. De este modo esta listo para hacer ejecución paso a paso dentro del nodo.




El botón de Salir De. Al presionar este botón permite salir de un ciclo, subVI, etc. Así se completa la ejecución paso a paso de ese nodo y se puede ir al siguiente nodo.


### Paleta de Herramientas


Se puede crear, modificar, y depurar VIs utilizando las herramientas localizadas en la paleta flotante de herramientas. Si la paleta de herramientas no esta visible, seleccione la opción de **Show Tool Palette** enseñar la Paleta de Herramientas del menú de **Windows**





herramienta de posicionamiento para seleccionar, mover o redimensionar objetos.


 **Herramienta de Etiquetado.** Se usa la herramienta de etiquetado para escribir texto en etiquetas.


 **Herramienta de Cableado.** Se usa la herramienta de cableado para cablear objetos en el diagrama de bloques.

 **Herramienta de Pop-up.** Se usa esta herramienta para tener acceso al menú pop-up de un objeto al oprimir el botón derecho del mouse.

 **Herramienta de Deslizamiento.** Se usa esta herramienta para deslizarse a través de las ventanas sin usar las barras de desplazamiento.

 **Herramienta de Puntos de Detención.** Se usa esta herramienta para poner puntos de ruptura en un VIs, funciones y estructuras.

 **Herramienta de Pruebas.** Se usa esta herramienta para poner pruebas en los cables del diagrama de bloques.

 **Herramienta de Copiado de Color.** Se usa la herramienta de copiado de color para copiar colores e insertarlos con la herramienta de color.



**Herramienta de Color.** Se usa la herramienta de color



para colorear un objeto. Esta herramienta también despliega el color del fondo y del primer plano del objeto.

### **Paleta de Funciones y Controles**

Las paletas de funciones y controles consisten en iconos de alto nivel que representan las subpaletas dando acceso a un gran rango de objetos que están disponibles para crear un VI. Se puede acceder a las paletas al oprimir el botón del mouse sobre un icono de alto nivel. Para convertir la subpaleta en una paleta flotante para que permanezca en la pantalla, presione la tachuela de la esquina superior derecha de la subpaleta.

### **Paleta de Controles**

Se puede añadir controles e indicadores al panel frontal utilizando la paleta de Controles. Cada opción de de la paleta despliega una subpaleta con los controles e indicadores disponibles para esa selección. Si la paleta de controles no esta visible , se puede abrir seleccionando Enseñar Paleta de Control (**Show controls Palette**) en el menú Windows. La paleta también se puede acceder al oprimir el botón derecho del mouse en un área abierta de la

ventana del panel frontal. Una vez que la paleta aparece en la pantalla, se puede hacer que esta se convierta en una paleta flotante presionando la tachuela que se encuentra en la esquina superior izquierda de la paleta. La paleta de controles únicamente esta disponible cuando la ventana del panel frontal está activa. La Figura 4.5 muestra la paleta de controles.



**FIGURA 4.5 PALETA DE CONTROLES**

A continuación se explicara cada una de las subpaletas que contiene la paleta de controles.



**Subpaleta Numeric (Numérica).** Consiste en indicadores y controles de datos numéricos.



**Subpaleta Boolean (Booleana).** Consiste en indicadores y controles para valores booleanos.



**Subpaleta String (Cadena de Caracteres).** Consiste en controles e indicadores para cadena de caracteres y tabas.



**Subpaleta Listin & Ring (Lista y Anillos).** Consiste en los controles e indicadores de menús de anillos y las listas de texto.



**Subpaleta Array & Cluster (Arreglos y Clusters).** Consiste en los controles e indicadores que agrupan conjuntos de tipos de datos.



**Subpaleta Graph (Gráficos).** Consiste en indicadores para graficar datos.



**Subpaleta Paths & Refnums (Rutas y Refnums).** Consiste en los controles e indicadores para rutas de archivos y refnums.



**Subpaleta Decoration (Decoración).** Consiste en objetos gráficos que permiten decorar y modificar los objetos del panel frontal.



**Subpaleta User Controls (Controles de Usuario).** Almacena los controles creados por el usuario.



**Subpaleta Active X.** Consiste en controles e indicadores que permiten tener la capacidad de ser un Contenedor ActiveX.



**Subpaleta Select a Control (Selección de Control).** Despliega una ventana de dialogo que permite utilizar controles creados por el usuario.



**Subpaleta Field Point.** Contiene los controles e indicadores



A continuación se presentaran cada una de las subpaletas de la paleta de funciones.



**Subpaleta Structures (Estructuras).** Contiene estructuras de control del programa tales como Ciclo For.



**Subpaleta Numeric (Numérico).** Contiene funciones aritméticas, trigonométricas, logarítmicas y numéricas.



**Subpaleta Boolean (Booleana).** Contiene funciones lógicas y booleanas.



**Subpaleta String (Cdena de Caracteres).** Contiene funciones para manipular cadena de caracteres.



**Subpaleta Array (Arreglos).** Contiene funciones para procesar arreglos.



**Subpaleta Cluster.** Contiene funciones para procesar agrupamientos.



**Subpaleta Comparison (Comparación).** Contiene funciones para comparar números, booleanos y cadena de caracteres.



**Subpaleta Time & Dialog (Temporizacion y Dialogos).** Contiene funciones para ventanas de dialogo, control de tiempo y manejo de errores.



**Subpaleta File I/O (Manejo de Archivos).** Contiene

funciones y VIs para manejo de archivos.



**Subpaleta Communication (Comunicacion).** Contiene VIs para implementar TCP, DDE, Eventos Apple y Ole.



**Subpaleta Instrument I/O (Instrumentos)** Contiene VIs para establecer comunicación con instrumentos que usan GPIB, VISE, o comunicación de serie.



**Subpaleta Data Acquisition (Adquisición de datos)** Contiene VIs que adquieren y generan en tiempo real datos analógicos y digitales a demás contiene operaciones de conteo.



**Subpaleta Análisis** contiene VIs para el procesamiento de señales digitales, filtros, funciones de probabilidad y estadística, el álgebra lineal, operaciones de arreglos, y a demás VIs que realizan métodos numéricos.



**Subpaleta Tutorial** Los VIs Tutelares provee ejemplos que se pueden o usar mientras esta trabajando a través de el LabView Usuario Manual.



**Subpaleta Instruments Drivers (manejadores de instrumentos)** Contiene un grupo de VIs manejadores para

instrumentos tanto de National Instruments como de otros fabricantes.

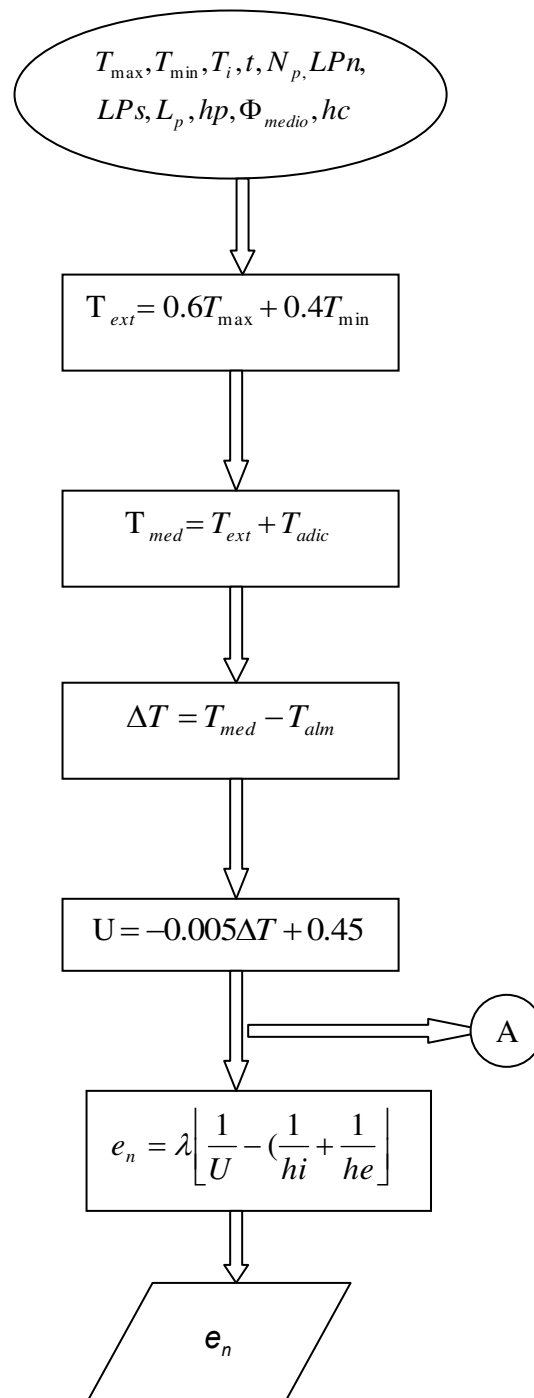


**Subpaleta User Libraries (Librerias del Usuario)** Esta paleta permite incorporar VIs al directorio User.lib para tener mas rápido acceso a los VIs más utilizados.



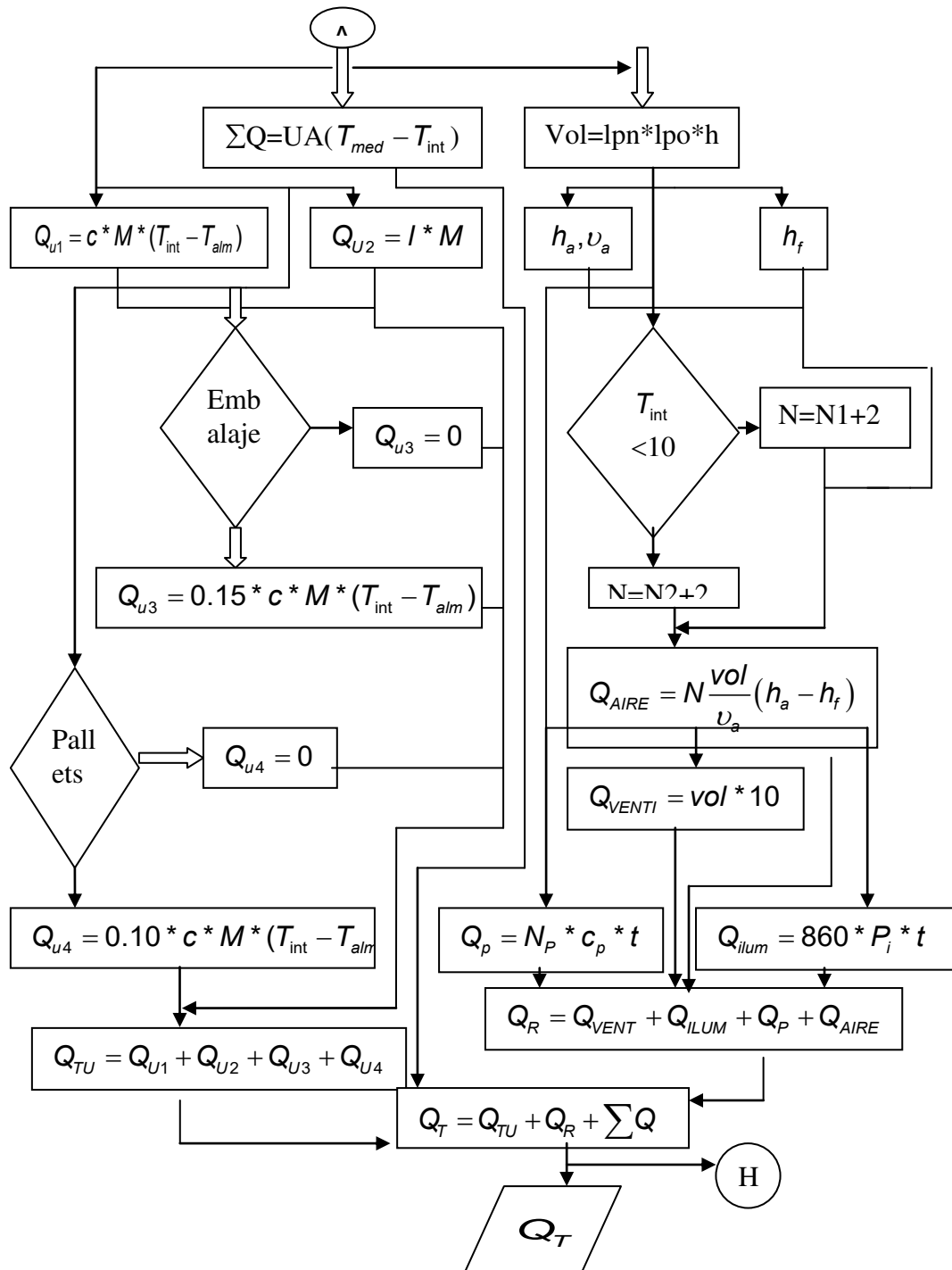
**Subpaleta Application Control (Control de Aplicaciones)** Esta paleta incluye la funciones de ayuda, funciones de menú, impresión de VIs, y VI Servidor VIs.

Una vez revisado todos los parámetros en Labview a continuación vamos a revisar unos flujo gramas para entender de una mejor manera como funciona este software, la programación en este software es similar a los flujo gramas, tienen la misma secuencia, lógicamente se tuvo que optar por programas adicionales como Excel para linealizar graficas, este programa solo lee formulas ya dadas y no figura, cada parte donde se este utilizando graficas se topara con polinomios, los cuales en su gran parte estarán dados aquí en esta sección.

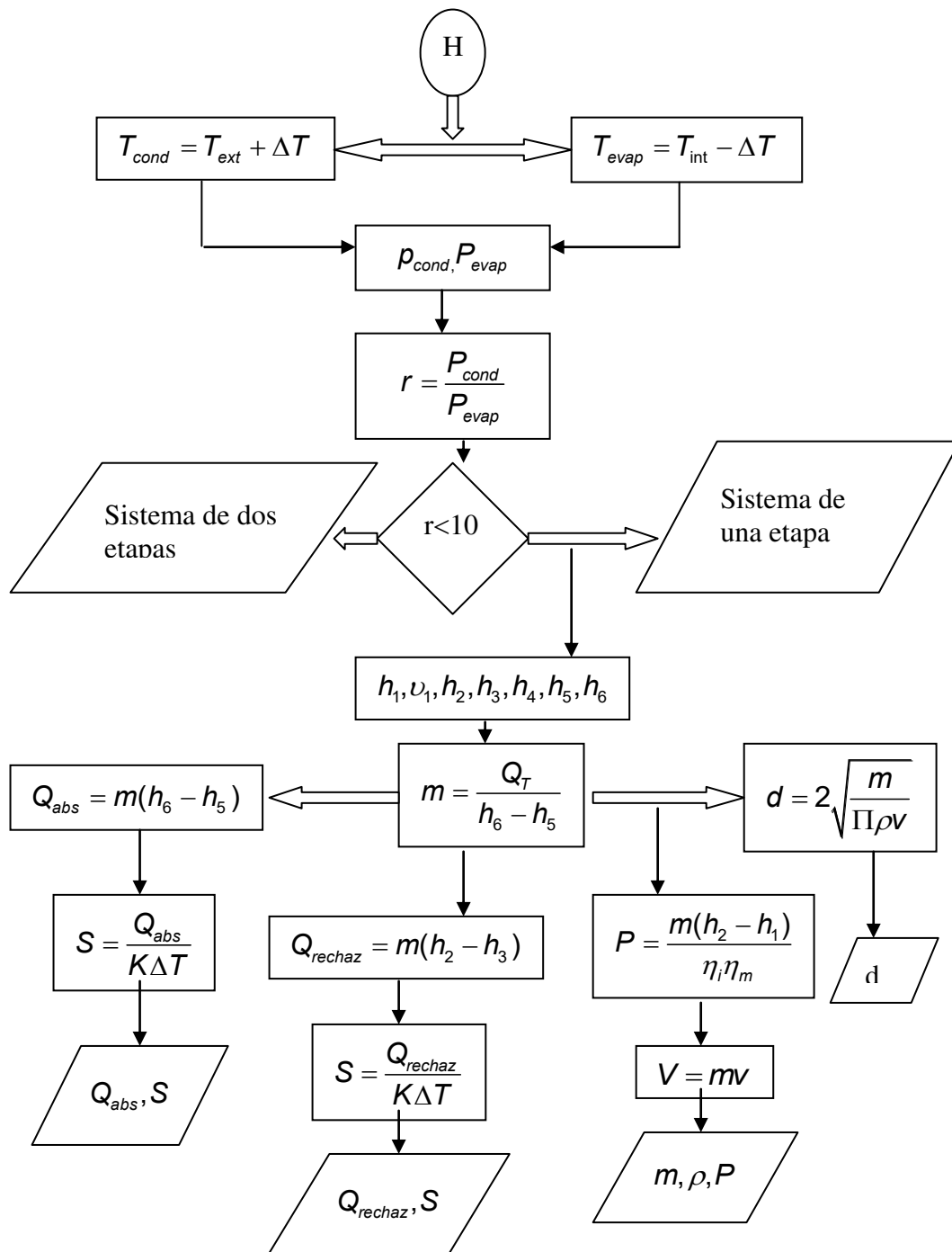


**FIGURA 4.7 FLUJOGRAMA PARA CALCULAR EL ESPESOR DE LAS PAREDES DE LA CÁMARA.**





**FIGURA 4.8 FLUJOGRAMA PARA CALCULAR APORTE DE CALOR A LA CÁMARA.**



**FIGURA 4.9 FLUJOGRAMA PARA CALCULAR EL SISTEMA DE REFRIGERACION DE LA CÁMARA.**

Revisando los flujogramas vemos que es un proceso en el cual ingresan varios parámetros descritos en el capítulo anterior como temperatura máxima, mínima, temperatura inicial del producto, dimensiones de la cámara, de la puerta, humedad relativa, tiempo de hora de trabajo dentro de la cámara y el persona que labora dentro de ella, seguimos una secuencia lógica en base a formulas y polinomios ajustados de rectas con la ayuda de otros programas obteniendo con esto nuestros parámetros requeridos como: espesor de las paredes de la cámara, selección de equipos de refrigeración y accesorios.

La programación en Labview es de igual secuencia como apreciamos en los flujogramas, a continuación detallaremos en que consiste esta programación:

Para calcular el espesor entramos con la temperatura máxima y mínima.

Para obtener el aporte calorífico se realiza de igual manera, pero se tuvo que ajustar varios polinomios en varias graficas, como es el caso de la carta Psicrometrica, de la cual obtuvimos los siguientes polinomios:

Polinomios para el 90%:

$$h = 0.0514x^2 + 1.3143x + 9.2857;$$

$$v = 6E-05x^2 + 0.0018x + 0.7894;$$

Polinomios para el 85%:

$$h = 0.0543x^2 + 1.15x + 9.1786;$$

$$v = 5E-05x^2 + 0.0023x + 0.7846;$$

Polinomios para el 80%:

$$h = 0.0464x^2 + 1.2393x + 8.5357;$$

$$v = 6E-05x^2 + 0.0018x + 0.7864;$$

Donde  $x$  es la temperatura de almacenamiento del producto o interna,  $h$  es la entalpía y  $v$  el volumen específico., y así seguimos sucesivamente con estos polinomios hasta un rango del 60%.

Siguiendo con los equipos y accesorios de refrigeración pero antes tenemos que detallar como se trabaja aquí con el Diagrama de Molliere.

Para entrar al diagrama se tuvo que ajustar líneas en otros programas resultando los siguientes polinomios para las entalpías y volúmenes específicos.

$$v = 0.2836 * \exp(-0.0308 * (T_{evap} + 10));$$

$$h1 = 0.2648 * (T_{evap} + 10) + 401.44;$$

$$h2 = 0.2648 * T_{cond} + 401.44;$$

$$v2 = 0.2836 * \exp(-0.0308 * T_{cond});$$

$$h3 = 1.1041 * T_{cond} + 100.02;$$

$$h4 = 1.1041 * (T_{cond} - 10) + 100.02;$$

$$v4 = 0.0033 * (T_{cond} - 10) + 1.5666;$$

$$h6 = 0.2648 * T_{evap} + 401.44;$$

$$v6 = 0.2836 * \exp(-0.0308 * T_{evap})$$

En los polinomios se entra con la temperatura de evaporación y condensación.

#### 4.2 Pasos para utilizar el programa.

Utilizar este programa es muy sencillo, a continuación detallaremos los pasos para utilizar este software.

- Tener Labview 7.1 en su computador.

- Instalar el software.
- Hacer clic en el icono



**FIGURA 4.10 ICONO PARA INGRESAR AL PROGRAMA.**

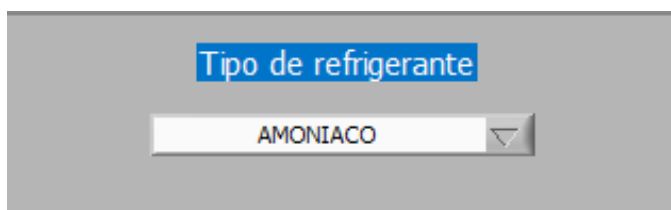
- Ingresar los datos que se pide en la pantalla de inicio.

La imagen muestra la interfaz de usuario de un programa de diseño de cámara. La ventana tiene una barra superior con pestañas: "Datos de diseño", "Resultados Refrigerante 134a" y "Resultados para Amoniaco". El contenido está dividido en varias secciones:

- Datos del medio:** Incluye campos para "Humedad Relativa" (80%), "Temperatura máxima °C" (34) y "temperatur mínima °C" (22). Hay una imagen de un edificio industrial.
- Datos del producto:** Incluye un menú desplegable para "Producto" (queso), "Temperatura inicial" (Exterior, 0), "Masa producto Kg" (50000), "Enbalaaje" (Carton) y "Pallets" (si). Hay una imagen de quesos colgando.
- Dimensiones de la cámara:** Incluye campos para "Altura de la cámara (m)", "Longitud de la pared norte (m)", "Longitud de la pared este (m)", "Altura de la puerta (m)" y "Ancho de la puerta (m)". Hay una imagen 3D de una cámara roja.
- Factores de influencia en la cámara:** Incluye campos para "Número de personas trabajando en cámara" y "Tiempo de trabajo en cámara horas/dias".
- Tipo de refrigerante:** Incluye un menú desplegable para "AMONIACO".

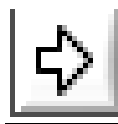
**FIGURA 4.11 VENTANA DE INGRESO DE DATOS.**

- Seleccionar el tipo de refrigerante con que usted desea trabajar, en el programa existen dos clases de refrigerantes como son: Amoniaco y el r-134<sup>a</sup>.



**FIGURA 4.12 VENTANA PARA SELECCIONAR EL TIPO DE REFRIGERANTE.**

- Una vez ingresado todos los parámetros y seleccionando el respectivo programa, ponga a funcionar haciendo clic en el icono.



**FIGURA 4.13 ICONO PARA PONER EN MARCHA LOS CALCULOS.**

- Habiendo realizado esto seleccione la ventana de acuerdo al tipo de refrigerante que usted haya utilizado.



**FIGURA 4.14 VENTANA PARA SELECCIONAR LOS RESULTADOS.**

- Luego revisar los resultados que presenta la pantalla, lo que nos dará los parámetros para la construcción de la cámara frigorífica.

Datos de diseño | Resultados Refrigerante 134a | Resultados para Amoniaco

**Datos para seleccionar Condensador y Evaporador**

QT Kcal/h  
702993

Q Condensador Kcal/h  
2.936021

Q absorcion del eva Kcal/h  
702993

**Datos para seleccionar el compresor**

Potencia del compresor Hp  
46.4631

Flujo masico Kg/h  
2628

Caudal Volumetrico m3/h  
515.01

Relación de Compresión  
3.47745

Sistema de una etapa

**AISLANTE POLIESTIRENO EXPANDIDO**

Espesor del techo mm  
0.10273

Espesor de paredes oeste y norte mm  
0.09389

Espesor de paredes este y sur mm  
0.08639

**FIGURA 4.15 VENTANA DE RESULTADOS.**

### 4.3 Utilidad del programa.

Este programa fue realizado para ayudar en el diseño y seleccionamiento de equipos que van a ser parte de la cámara frigorífica.



Con esto tenemos una reducción a la hora del diseño en tiempo y costo y aumentamos el proceso de selección de cámaras y equipos.

Otra de las ventajas es la facilidad que este programa presenta para su uso e instalación y puede ser utilizado por cualquier persona que tenga conocimientos básicos de ingeniería

# CAPITULO 5

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

1. La unidad condensadora no debe estar tan lejos del evaporador, para de esta manera evitar perdidas en el sistema por recalentamiento.
2. Evite que el piso de la cámara no se congele esto es peligroso para el personal que labora dentro de la cámara, y para el mismo funcionamiento del sistema.
3. No exceda el número de permanencia del personal especificado dentro de la cámara.
4. El aislamiento de las paredes de acuerdo a su ubicación para este caso en especifico nos dio para el techo 10.23cm, pared norte y oeste 9.35cm,

este y sur 8.61cm y para la puerta 9.35cm, estos espesores son necesarios para mantener una adecuada conservación en la cámara con este producto en específico, esto va a variar con cada producto.

5. El modelo de la unidad condensadora es **BDT1200H2** con un compresor **COPELAND DE 12HP** la marca es BOHN.
6. Nuestro evaporador seleccionado para este caso en específico es el modelo **BMA 600** de BOHN.
7. Se creó un Software para diseñar de una manera rápida y sencilla cámaras frigoríficas, con su respectivo sistema de refrigeración, estas pueden ser para cualquier producto producido en nuestro País.
8. El uso del software es un incentivo que nuestros agricultores puedan crear sus propias cámaras frigoríficas acordes a sus necesidades, para mantener sus cosechas en condiciones ideales para su comercialización.
9. En lo posible no tratar de sobrecargar la cámara con productos de más, cuando esta ya ha sido diseñada con una carga específica, esto nos

causaría una sobrecarga en el sistema de refrigeración por lo cual tenderíamos a correr graves daños en el producto debido a fallas en el sistema por recalentamiento.

10.No ubicar el evaporador debajo de la puerta de entrada – salida de la cámara, esto es incorrecto para su normal desempeño debido a que la transferencia de calor es mas intensa en esta área.

## APENDICE A

### TEMPERATURAS DE CONSERVACIÓN.

100 °C	74 °C	60°C	8°C	0 °C
Zona de cocción	Zona de alarma	Zona de peligro	Zona de enfriamiento	Zona de congelación
Se destruye la mayoría de microorganismos en unos minutos.	No hay multiplicación ni supervivencia.	Gran proliferación bacteriana.	No hay multiplicación, el alimento puede estar a esta temperatura breves períodos.	No hay multiplicación, pero sí supervivencia. Se usa en períodos largos.



CIB-ESPOL

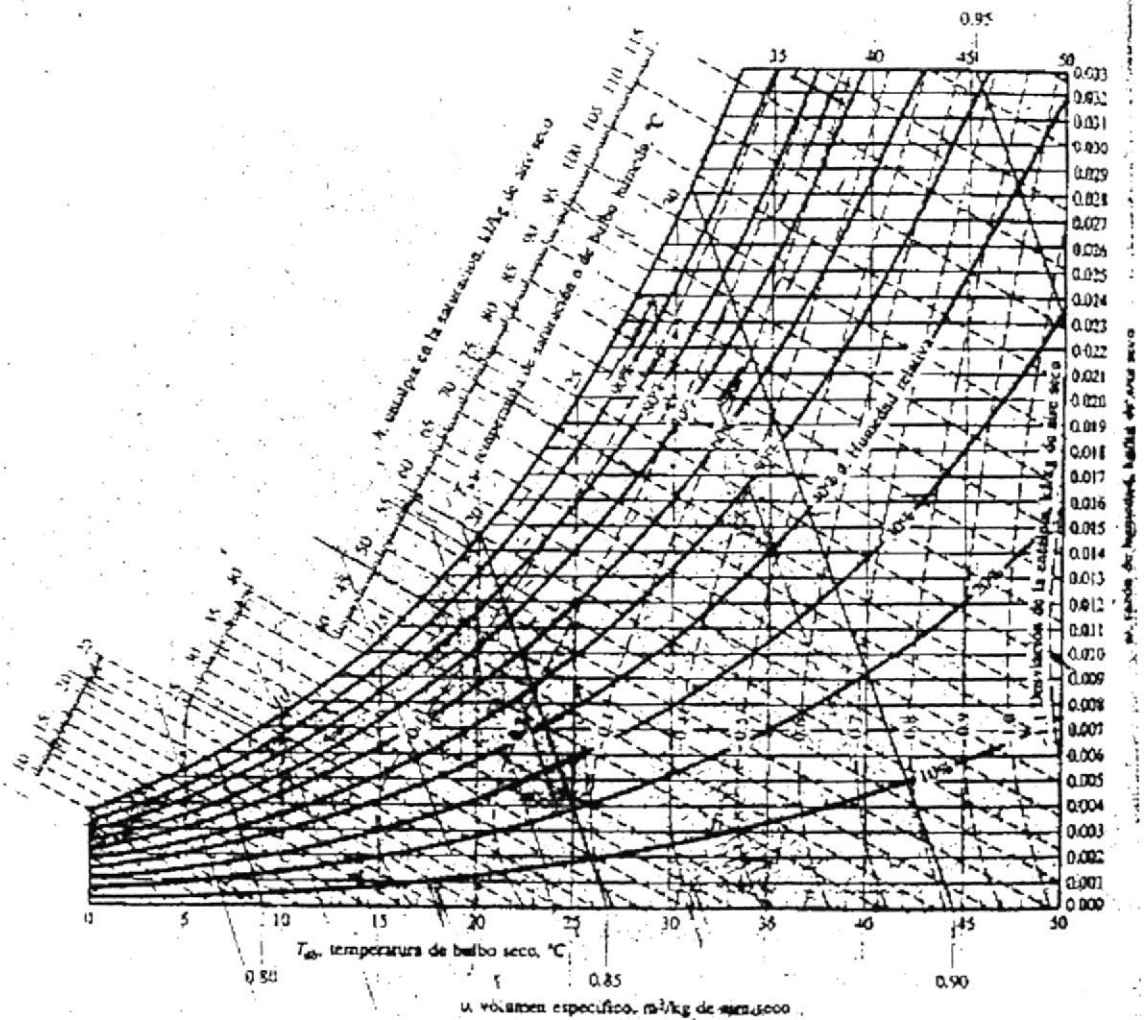
## APENDICE B

### DIÁMETROS DE TUBERÍAS DE COBRE EMPLEADAS EN REFRIGERACIÓN.

<b>Denominación del turbo</b>	<b>1/4"</b>	<b>3/8"</b>	<b>1/2"</b>	<b>5/8"</b>	<b>3/4"</b>
Diámetro nominal mm.	1/8"	1/4"	3/8"	1/2"	5/8"
Diámetro exterior mm.	6,35	9,52	12,7	15,87	19,05
Espesor mm.	1	1	1	1	1,05
Peso por metro Kg.	0,151	0,241	0,331	0,419	0,512
Sección interior cm <sup>2</sup>	0,166	0,465	0,933	1,561	2,29
<b>Denominación del turbo</b>	<b>7/8"</b>	<b>1"</b>	<b>1 1/8"</b>	<b>1 3/8"</b>	<b>1 5/8"</b>
Diámetro nominal mm.	3/4"	7/8"	1"	1 1/4"	1 1/2"
Diámetro exterior mm.	22,22	25,4	28,57	34,92	41,28
Espesor mm.	1,14	1,2	1,27	1,4	1,52
Peso por metro Kg.	0,594	0,689	0,975	1,315	1,696
Sección interior cm <sup>3</sup>	3,122	4,16	5,32	8,107	11,4

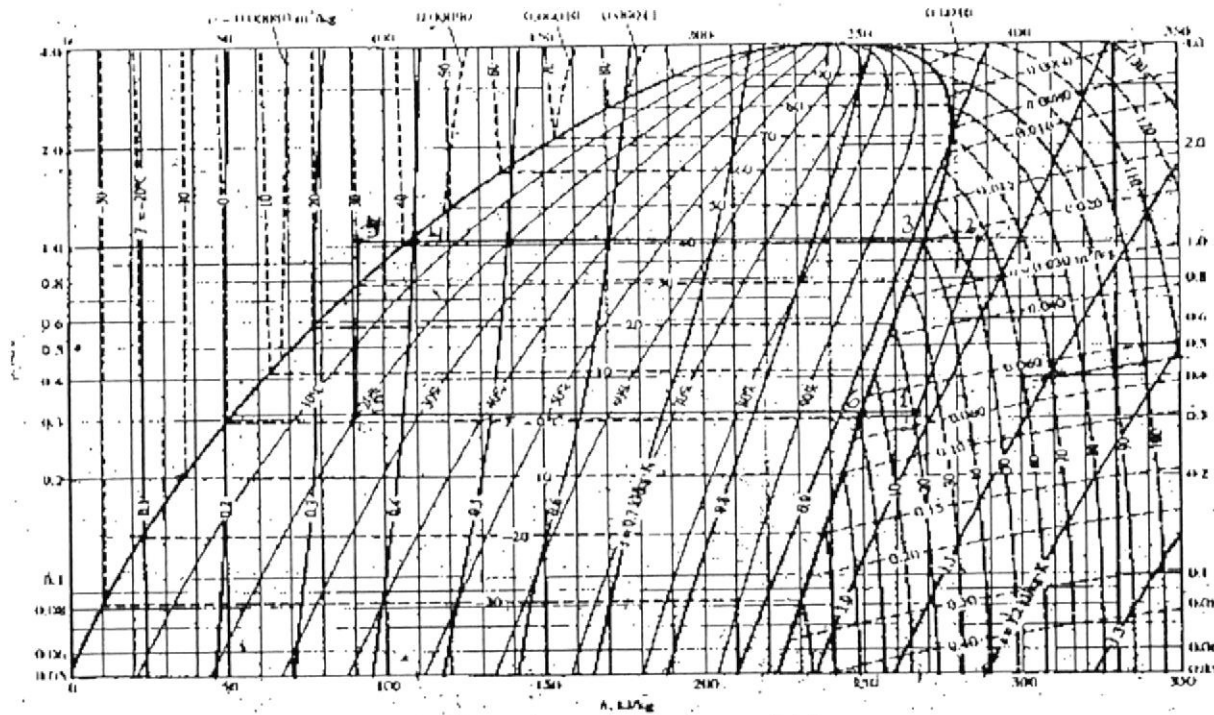
# APENDICE C

## CARTA PSICROMETRICA.



## ANEXO D

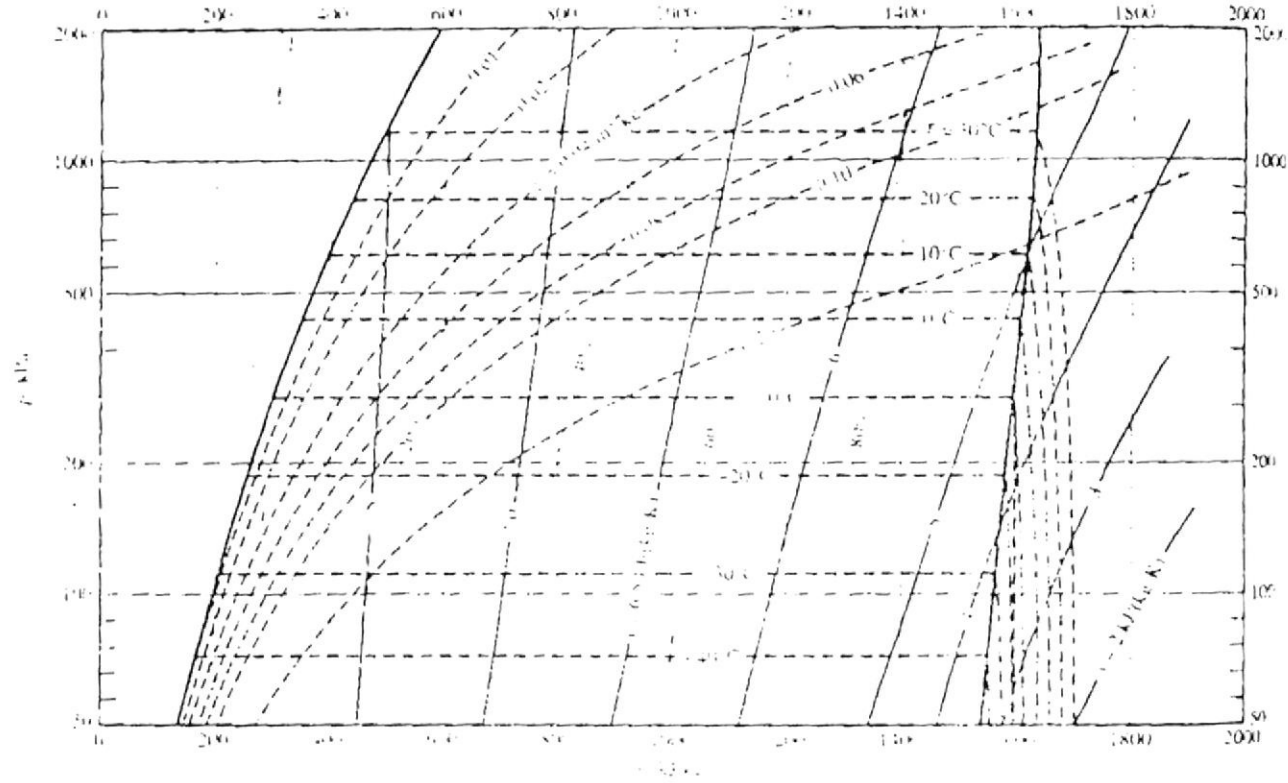
### CICLO TERMODINÁMICO DEL SISTEMA (PRESIÓN VS. ENTALPÍA DEL R-134A.)





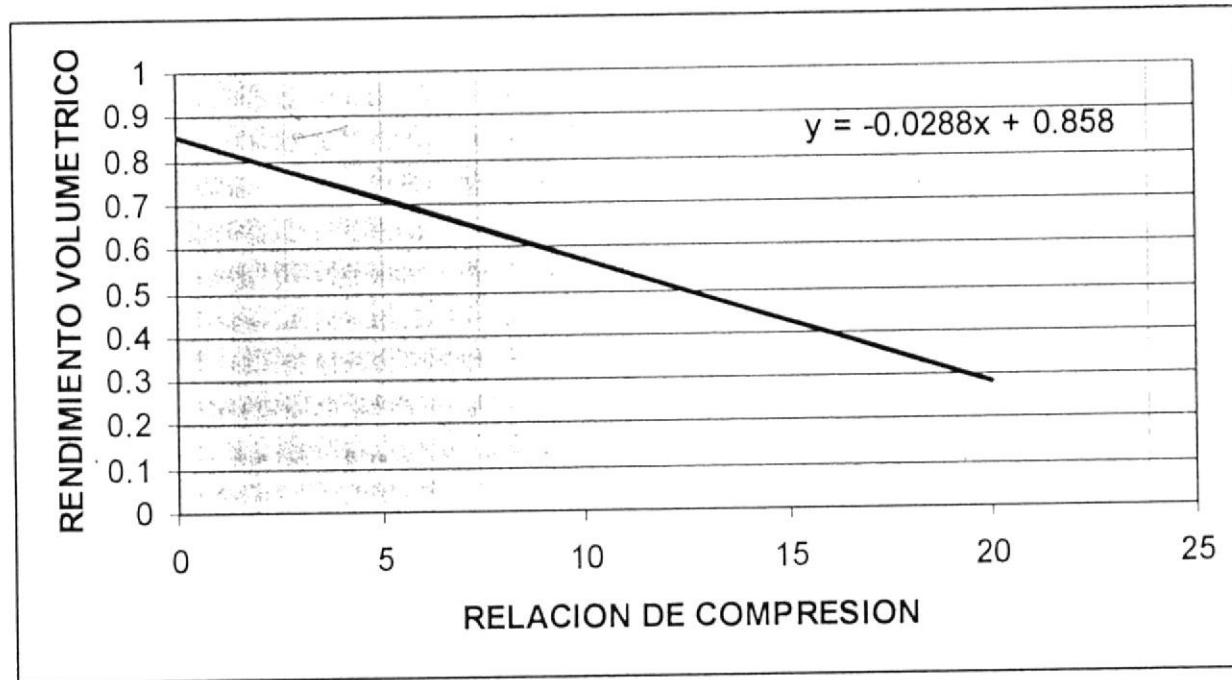
# ANEXO E

## CICLO TERMODINÁMICO DEL SISTEMA (PRESIÓN VS. ENTALPÍA DEL AMONIACO.)



APENDICE F

RELACIÓN DE LA TASA DE COMPRESIÓN VS. RENDIMIENTO VOLUMÉTRICO.



**APENDICE G**

**CATALOGOS DE LOS PRINCIPALES EQUIPOS Y ACCESORIOS DE  
DE REFRIGERACION.**



**CIB-ESPOL**

## Item 3.2 - TABLAS DE SELECCIÓN DE VÁLVULAS DE EXPANSIÓN FORZADORES

Tabla 1 - Tabla para selección de válvulas de expansión

Modelo Danfoss	Orificio número	Temperatura de evaporación										
		10°C	5°C	0°C	-5°C	-10°C	-15°C	-20°C	-25°C	-30°C	-35°C	-40°C
TEX 2 - 0.3	00	1204	1204	1204	1161	1118	1075	1032	989	946	899	852
TEX 2 - 0.7	01	3113	2938	2762	2578	2393	2186	1978	1806	1634	1508	1383
TEX 2 - 1.0	02	4679	4408	4138	3825	3511	3175	2838	2571	2303	2055	1806
TEX 2 - 1.5	03	8394	7862	7330	6789	6249	5678	5106	4608	4109	3689	3268
TEX 2 - 2.3	04	12557	11754	10952	10098	9244	8379	7514	6801	6887	5498	4909
TEX 2 - 3.0	05	15843	14859	13876	12764	11652	10858	9525	8614	7703	6851	6199
TEX 2 - 4.5	06	19318	18107	16895	15556	14217	12946	11675	10549	9423	8499	7575

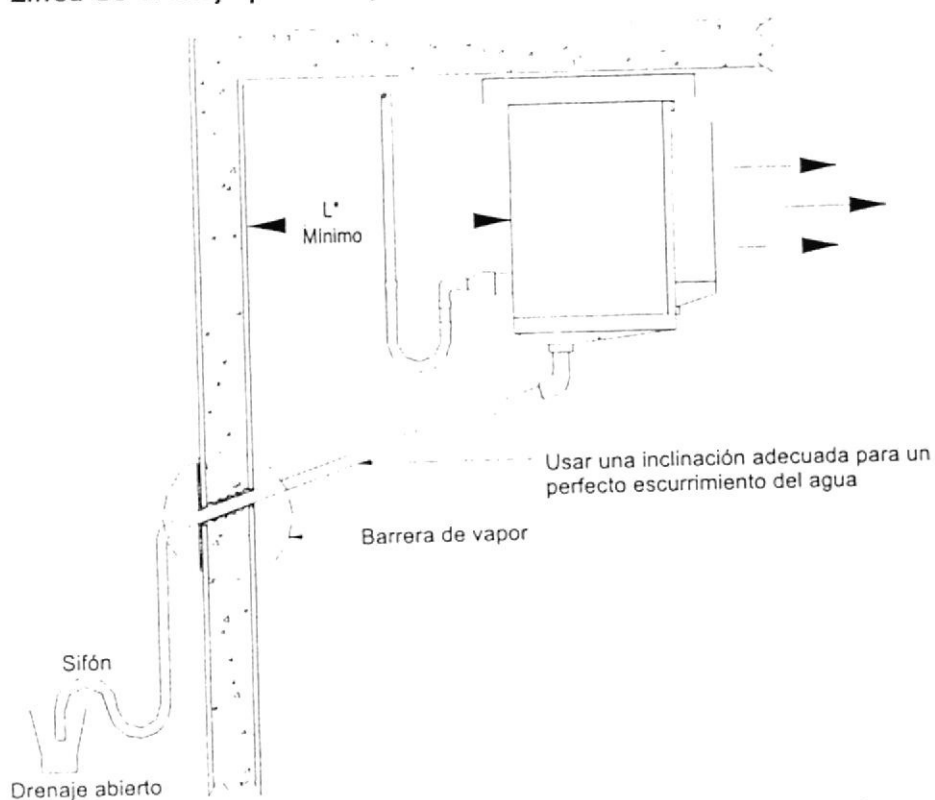
Tabla 2 - Tabla para selección de válvulas de expansión

Modelo Alco	Orificio número	Temperatura de evaporación										
		10°C	5°C	0°C	-5°C	-10°C	-15°C	-20°C	-25°C	-30°C	-35°C	-40°C
TIE 1/6 H	00	1204	1213	1185	1158	1114	1060	1005	922	804	750	696
TIE 1/3 H	01	3009	2968	2927	2886	2766	2606	2453	2250	1966	1830	1693
TIE 1/2 H	02	4838	4838	4838	4838	4661	4394	4120	3750	3275	3044	2812
TIE 1 H	03	8014	7878	7742	7605	7293	6893	6539	5987	5080	4808	4536
TIE 1/2 H	04	13155	13018	12882	12746	12168	11367	10660	9828	8618	7938	7258
TIE 2 H	05	16027	15755	15483	15211	14587	13786	12965	11854	10433	9752	9072
TIE 2 1/ H	06	18447	18174	17902	17603	16917	15983	15802	13789	11915	11098	10282

## Item 3.3 - LÍNEAS DE DRENAJE DEL EVAPORADOR DE AIRE FORZADO

- 1 - Líneas de drenaje deben tener aislamiento térmico adecuado.
- 2 - En líneas que deben vencer tramos horizontales, prever una inclinación adecuada para el perfecto escurrimiento del agua condensada.

FIGURA 18 - Línea de drenaje para evaporadores de aire forzado



# UNIDAD CONDENSADORAS DE 12 HASTA 30 HP 16

DATOS DE DESEMPEÑO Y CONSUMO ELÉCTRICO - ALTA/MEDIANA TEMPERATURA - R-22  
CAPACIDADES E POTÊNCIAS EN 60HZ (PARA 50HZ MULTIPLICAR POR 0,833)

Modelo	HP	Temperatura Evaporación	Datos	Temperatura de Evaporación			
				5°C	0°C	-5°C	-10°C
BDT1200H2	12	32° C	Q	39067	33715	28739	24068
			P	16,68	15,51	14,17	12,85
		35° C	Q	37856	32747	27804	23257
			P	17,16	15,92	14,57	13,16
		38° C	Q	36645	31678	26871	22513
			P	17,63	16,38	14,97	13,44
		43° C	Q	34229	29547	24943	20898
			P	18,59	17,30	15,81	14,06
BDT1500H2	15	32° C	Q	46168	39822	33725	28127
			P	17,88	16,58	15,35	14,13
		35° C	Q	44814	38577	32652	27209
			P	18,39	17,04	15,74	14,46
		38° C	Q	43381	37278	31582	26250
			P	18,93	17,53	16,13	14,80
		43° C	Q	40524	34795	29388	24417
			P	20,01	18,46	16,94	15,45
BDT2000H2	20	32° C	Q	50502	43984	37596	31727
			P	18,93	17,58	16,31	15,02
		35° C	Q	48952	42548	36284	30474
			P	19,47	18,05	16,71	15,37
		38° C	Q	47398	41118	34970	29273
			P	19,97	18,48	17,09	15,68
		43° C	Q	44396	38195	32349	26879
			P	20,83	19,27	17,72	16,20
BDT2500H2	25	32° C	Q	63577	55686	48076	41048
			P	24,74	22,96	21,29	19,69
		35° C	Q	61587	53893	46465	39599
			P	25,44	23,58	21,83	20,15
		38° C	Q	59592	52067	44883	38148
			P	26,12	24,18	22,33	20,59
		43° C	Q	55648	48470	41621	35245
			P	27,36	25,27	23,25	21,34

Q = Capacidad (kcal/h)

P = Potencia consumida (kw)

Las capacidades están basadas en las siguientes condiciones:

. Temperatura de succión: 18,3°C

. Subenfriamiento: 3,2°C

Las capacidades son para 60 Hz. Para 50 Hz multiplicar por 0,833



CIB-ESPOL

- Unidades equipadas con compresor COPELAND.

## 1 - MODELOS BMA - 60 Hz (Para 50Hz multiplicar por 0,87)

Modelo	Capacidad en kcal/h - Dt = 6 °C				Datos de los Ventiladores			
	Temperatura de Evaporación				Caudal (m <sup>3</sup> /h)	Cant.	Diámetro (mm)	Tiro de Aire (m)
	10 °C	5 °C	0 °C	-4 °C				
BMA 130	3810	3620	3430	3280	3910	1	457	20
BMA 155	4550	4320	4090	3910	3740	1	457	20
BMA 245	7180	6820	6460	6170	7820	2	457	20
BMA 300	8790	8350	7910	7560	7480	2	457	20
BMA 365	10690	10160	9630	9200	11730	3	457	20
BMA 450	13190	12530	11870	11340	11220	3	457	20
BMA 510	14950	14200	13450	12850	15640	4	457	20
BMA 600	17590	16710	15830	15120	14960	4	457	20
BMA 710	20810	19770	18730	17890	17850	5	457	20



**NOTA:**

1. Dt = temperatura interna - temperatura de evaporación.
2. Capacidades basadas en R-22, R-507 e R-404A. Para capacidades con R-134a, multiplicar por 0,9.
3. Deshielo natural.
4. Tiro de aire basada en cámaras de 5,5 m de altura, sin obstrucciones y velocidad final de 0,25 m/s.
5. Conversión Kcal/h para BTU/h, multiplicar por 3,97

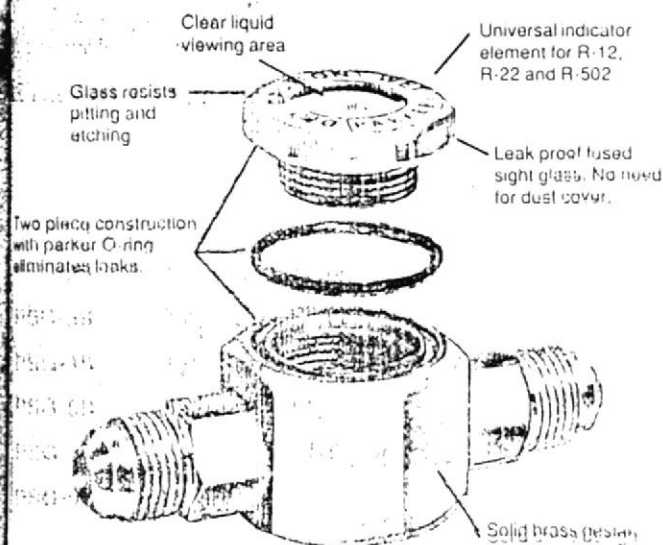
## 2 - MODELOS BME/BML - 60Hz (Para 50 Hz multiplicar por 0,87)

Modelo	Capacidad en kcal/h - Dt = 6 °C								Datos de los Ventiladores			
	Temperatura de Evaporación								Caudal (m <sup>3</sup> /h)	Cant.	Diámetro (mm)	Tiro de Aire (m)
	10 °C	5 °C	0 °C	-4 °C	-8 °C	-12 °C	-16 °C	-20 °C				
<b>Modelos BME 6 Aletas por Pulgada</b>												
BME 101	2.970	2.860	2.760	2.660	2.580	2.500	2.290	2.040	4.000	1	457	20
BME 140	4.110	3.970	3.830	3.680	3.580	3.470	3.180	2.820	3.830	1	457	20
BME 190	5.580	5.390	5.190	5.000	4.850	4.710	4.310	3.830	7.990	2	457	20
BME 260	7.640	7.380	7.110	6.840	6.640	6.440	5.900	5.240	7.650	2	457	20
BME 310	9.110	8.790	8.480	8.160	7.920	7.680	7.030	6.250	11.990	3	457	20
BME 390	11.460	11.060	10.660	10.260	9.960	9.670	8.850	7.860	11.480	3	457	20
BME 430	12.640	12.200	11.760	11.320	10.980	10.660	9.750	8.670	14.960	4	457	20
BME 520	15.280	14.750	14.220	13.690	13.280	12.890	11.790	10.480	14.280	4	457	20
BME 620	18.220	17.590	16.950	16.320	15.830	15.360	14.060	12.500	17.000	5	457	20
<b>Modelos BML 4 Aletas por Pulgada</b>												
BML 100	2.940	2.840	2.730	2.630	2.550	2.480	2.270	2.020	3.950	1	457	20
BML 165	4.850	4.680	4.510	4.340	4.210	4.090	3.740	3.330	8.380	2	457	20
BML 220	6.470	6.240	6.020	5.790	5.620	5.450	4.990	4.440	7.910	2	457	20
BML 250	7.350	7.090	6.840	6.580	6.380	6.200	5.670	5.040	12.500	3	457	20
BML 330	9.700	9.360	9.020	8.690	8.430	8.180	7.480	6.650	11.860	3	457	20
BML 370	10.870	10.500	10.120	9.740	9.450	9.170	8.390	7.460	15.420	4	457	20
BML 440	12.930	12.480	12.030	11.580	11.240	10.900	9.980	8.870	14.790	4	457	20
BML 530	15.580	15.030	14.490	13.950	13.530	13.130	12.020	10.680	17.600	5	457	20

**NOTA:**

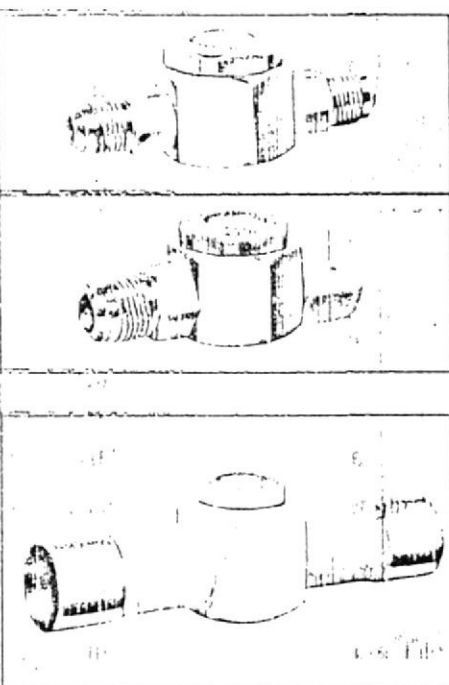
1. Dt = temperatura interna - temperatura de evaporación.
2. Capacidades basadas en R-22, R-507 e R-404A. Para capacidades con R-134a, multiplicar por 0,9.
3. Deshielo eléctrico.
4. Tiro de aire basada en cámaras de 5,5 m de altura, sin obstrucciones y velocidad final de 0,25 m/s.
5. Conversión Kcal/h para BTU/h, multiplicar por 3,97

# Sight Glass Moisture Indicator



- Available in all popular end connections up to 1 1/8"
- Solid copper extended sweat fittings permit solder installation without disassembly.
- Flare models feature solid brass body and fittings.
- Compact design, low silhouette, short laying in length.
- Extremely accurate.
- Easy viewing.
- U.L. listed for 2500 psig minimum bursting pressure. File No. SA-1744.

Model No.	Fitting Size	Fitting Type	Overall Length	Cut Out Length
PSG-2	1/4"	SAE Male Flare	3.42"	---
PSG-3	3/8"	SAE Male Flare	3.50"	---
PSG-4	1/2"	SAE Male Flare	3.63"	---
PSG-5	5/8"	SAE Male Flare	4.06"	---
PSG-2MF	1/4"	SAE Male x Female Flare	3.05"	---
PSG-3MF	3/8"	SAE Male x Female Flare	3.17"	---
PSG-4MF	1/2"	SAE Male x Female Flare	3.39"	---
PSG-5MF	5/8"	SAE Male x Female Flare	3.69"	---
PSG-10T	Replacement indicator element and o-ring			
PSG-2S	1/4"	Sweat Type	4.08"	4.19"
PSG-3S	3/8"	Sweat Type	4.08"	4.12"
PSG-4S	1/2"	Sweat Type	4.88"	3.87"
PSG-5S	5/8"	Sweat Type	4.88"	3.62"
PSG-7S	7/8"	Sweat Type	6.25"	4.73"
PSG-9S	1 1/8"	Sweat Type	6.25"	4.45"



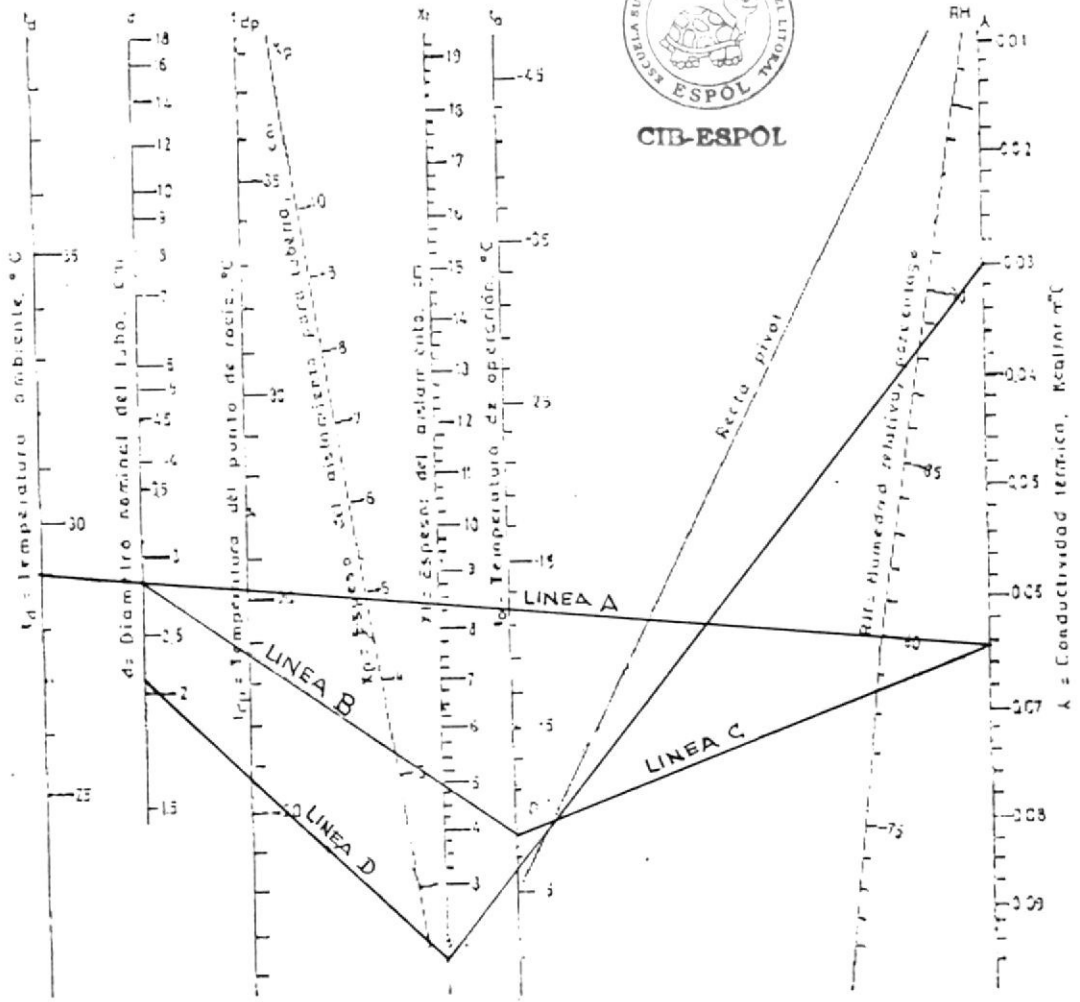
## Moisture-color indications in PPM at liquid line specific temperatures

System Refrigerant		R-12		R-22		R-502		
		75°F	125°F	75°F	125°F	75°F	125°F	
System Conditions - Indicator Color	Dry	Green	Below 5	Below 15	Below 30	Below 60	Below 10	Below 30
	Caution	Yellow/Green	5 - 15	15 - 50	30 - 110	60 - 220	10 - 50	30 - 120
	Wet	Yellow	above 15	above 50	above 110	above 220	above 50	above 120

Immediate steps should be taken to protect the system when the moisture indicating element shows "Wet".  
 The best protection system available is a Parker Liquid Line Filter Dryer and Parker Suction Line Filter Dryer.  
 The sight-glass moisture indicator should normally be installed between a Parker Liquid Line Filter Dryer and a refrigerant control device.

## APENDICE H

### NOMOGRAMA PARA CALCULAR EL ESPESOR DEL AISLAMIENTO DE TUBERIAS







## BIBLIOGRAFÍA

1. ARAUJO D. PABLO, "Diseño de un condensador tipo serpentín aleteado para refrigeradora doméstica" (Tesis de Grado, ESPOL.1991)
2. MUÑOZ MENDIETA ABELARDO, "Cálculo del Equipo Frigorífico para la congelación de Carne Molida por inmersión en refrigerante 12" (Tesis de Grado, Facultad de Ingeniería Mecánica, ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL, 1985)
3. RAPIN R. J., "Instalaciones Frigoríficas" (Editorial Marcombo, España, 1979).
4. DOLZ GUERRI MANUEL., "Gestión y Administración de Hoteles y Restaurantes" (New York, 1987)
5. HERNÁNDEZ G., "Fundamentos de Aire Acondicionado y Refrigeración" (Limusa Noriega Editores, México, 1994)
6. KREITH PLAN K., "Principios de Transferencia de Calor" (Intext Press, New York,1973)
7. MECHANICAL ENGINNERING MAGAZINE, (Octubre: Vol. 120 / No.10, 1998), Pag. 88-99.
8. VARGAS A., "Curso de Refrigeración" (Serie VZ, Guayaquil, 1974)
9. VARGAS A., "Transporte de Carga en Buques Refrigerados" ( Serie VZ, Guayaquil, 1991) .
10. VARGAS A., "Instalaciones Frigoríficas para Buques Pesqueros" (Serie VZ, Guayaquil, 1979).