



# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MÉXICO

---

---

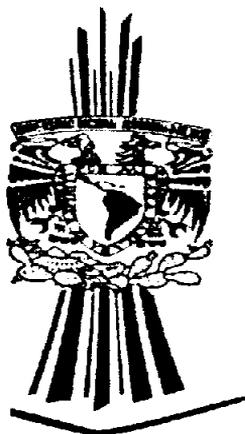
## FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ARAGON

SISTEMA DE REFRIGERACIÓN  
MODERNO (CASO PRÁCTICO)

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:  
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA  
P R E S E N T A N :

JOSÉ JAIME TREJO CRUZ  
MIGUEL ANGEL LÓPEZ HELGUERA



*Asesor*  
*Ing. Federique Jáuregui Renaud*

MÉXICO

2005

m 352568



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

# Facultad de Estudios Superiores Aragón

DIRECCIÓN

DUPLICADO

JOSE JAIME TREJO CRUZ  
PRESENTE

En contestación a su solicitud de fecha 14 de agosto de 2003, presentada por Miguel Ángel López Helguera y usted, relativa a la autorización que se les debe conceder para que el señor profesor, Ing. FEDERIQUE JAUREGUI RENAUD pueda dirigirles el trabajo de tesis denominado "SISTEMA DE REFRIGERACIÓN MODERNO" (CASO PRACTICO), con fundamento en el punto 6 y siguientes, del Reglamento para Exámenes Profesionales en esta Facultad, y toda vez que la documentación presentada por usted reúne los requisitos que establece el precitado Reglamento; me permito comunicarle que ha sido aprobada su solicitud.

Aprovecho la ocasión para reiterarle mi distinguida consideración.

ATENTAMENTE  
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"  
San Juan de Aragón, México a 27 de octubre de 2005.

LA DIRECTORA



ARQ. LILIA TURCOTT GONZÁLEZ

Nota: La aceptación del tema de tesis y asesor de la misma, fue registrada en la Secretaría Académica de esta Facultad con fecha 25 de agosto de 2003.

- C p Secretaría Académica.
- C p Jefatura de la Carrera de Ingeniería Mecánica Eléctrica.
- C p Asesor de Tesis.

LFG/AIR/asm





UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

# Facultad de Estudios Superiores Aragón

DIRECCIÓN

**DUPLICADO**

**MIGUEL ANGEL LOPEZ HELGUERA  
PRESENTE**

En contestación a su solicitud de fecha 14 de agosto de 2003, presentada por José Jaime Trejo Cruz y usted, relativa a la autorización que se les debe conceder para que el señor profesor, Ing. FEDERIQUE JÁUREGUI RENAUD pueda dirigirles el trabajo de tesis denominado "SISTEMA DE REFRIGERACIÓN MODERNO" (CASO PRACTICO), con fundamento en el punto 6 y siguientes, del Reglamento para Exámenes Profesionales en esta Facultad, y toda vez que la documentación presentada por usted reúne los requisitos que establece el precitado Reglamento; me permito comunicarle que ha sido aprobada su solicitud.

Aprovecho la ocasión para reiterarle mi distinguida consideración.

ATENTAMENTE

"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"

San Juan de Aragón, México a 27 de octubre de 2005

LA DIRECTORA

*L. M. Turcott*  
ÁRQ. LILIA TURCOTT GONZÁLEZ



Nota: La aceptación del tema de tesis y asesor de la misma, fue registrada en la Secretaría Académica de esta Facultad con fecha 25 de agosto de 2003.

- C p Secretaría Académica.
- C p Jefatura de la Carrera de Ingeniería Mecánica Eléctrica.
- C p Asesor de Tesis.

LTG/AIR/agm\*



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ARAGÓN  
SECRETARÍA ACADÉMICA

Comisión Académica de  
Tesis de Maestría

M. en I. ~~ULISES MERCADO VALENZUELA~~  
Jefe de la Carrera de Ingeniería Mecánica Eléctrica,  
Presente.

En atención a la solicitud de fecha 27 de octubre del año en curso, por la que se comunica que los alumnos MIGUEL ANGEL LOPEZ HELGUERA y JOSE JAIME TREJO CRUZ, de la carrera de Ingeniero Mecánico Electricista, han concluido su trabajo de investigación intitulado "SISTEMA DE REFRIGERACIÓN MODERNO" (CASO PRÁCTICO), y como el mismo ha sido revisado y aprobado por usted, se autoriza su impresión; así como la iniciación de los trámites correspondientes para la celebración del Examen Profesional.

Sin otro particular, reitero a usted la seguridad de mi atenta consideración.

Atentamente  
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"  
San Juan de Aragón, México, 27 de octubre de 2005  
EL SECRETARIO

Lic. ALBERTO IBARRA ROSAS

Cp Asesor de Tesis.  
Cp Interesado.

AIR/vf

# AGRADECIMIENTOS

*A ese ser supremo que tiene mil nombres en el mundo...*

Tus pruebas me ayudan a salir adelante... y se que estas  
ahí, aún costado en todo momento

*A mi Familia ...*

Que siempre estará a mi lado, que nunca perdió la fé y la  
confianza en mí, y que además apoyaron y  
respetaron mis decisiones

*A la Universidad ...*

A esta casa de estudios que me dio la oportunidad de  
crecer en todos mis aspectos y me proporciono más  
cosas de las que esperaba, algunas de ellas  
impensadas, las cuales cambiaron mi vida de forma  
increíble ...

*Para E. A. y A. J. ...*

Un hombre sólo cambia cuando una mujer llega a su vida...

Mi vida cambio dos veces tomo sentido y rumbo. A  
las dos mujeres que cambiaron mi vida, les dedico  
mi trabajo, mi existencia... Gracias por cambiar mi  
vida

*A mis amigos...*

La oportunidad de estar hombro a hombro con ustedes en  
las distintas circunstancias que la vida nos pone en  
el camino.

## **AGRADECIMIENTOS**

### **A MIS PADRES:**

**FERMIN Y MARGARITA**

Por haberme apoyado y haber depositado su confianza en mi, por esas palabras que un día necesité y pude escuchar.

### **A MIS HERMANOS:**

Gaby, Paty, Nohemi, Araceli, Magos, Miguel y Martha.

Por haberme impulsado cuando creí no poder avanzar.

### **A MIS SOBRINOS:**

Por haberme abierto los ojos y pensar que alguien más, trata de seguir mis pasos.

### **A MIS AMIGOS:**

Por sus esfuerzos, aventuras, sacrificios, apoyos y sobre todo su valiosa amistad.

### **A MIS MAESTROS:**

Por haber encaminado mis pasos a esta etapa, que nunca creí llegar.

### **A NORMA:**

Por todo el apoyo incondicional recibido.

**GRACIAS**

# INDICE

## INTRODUCCION

REFRIGERACION DOMESTICA	2
REFRIGERACION COMERCIAL	2
REFRIGERACION INDUSTRIAL	2
REFRIGERACION MARITIMA Y DE TRANSPORTACION	2
ACONDICIONAMIENTO DE AIRE	2

## CAPITULO I GENERALIDADES

1.1 PRIMERA LEY DE LA TERMODINAMICA	4
Corolario	4
1.2 SEGUNDA LEY DE LA TERMODINAMICA (FORMA DE CLASUSIUS)	4
1.3 LEY DE BOYLE	4
1.4 LEY DE CHARLES	4
1.5 LEY DE JOULE	5
1.6 LEY DE AVOGADRO	5
1.7 GAS PERFECTO	5
1.8 MOL	6
1.9 LEY DE GIBBS-DALTON	6
1.10 REFRIGERACION	7
1.10.1 Carga de calor	7
1.10.2 Agente de refrigeracion	7
1.11 PROCESO SENSIBLE	7
1.12 PROCESO LATENTE	8
1.13 DEFINICION DE UN CICLO	9
1.14 CICLO MECANICO DE COMPRESION	9
1.14.1 Evaporacion	9
1.14.2 Control de la temperatura de evaporacion	9
1.14.3 Abastecimiento del refrigerante al evaporador	11
1.14.4 Recuperacion del refrigerante	11
1.15 CICLO TERMODINAMICO	13
1.15.1 Ciclo de Carnot	13
1.16 CICLO DE UN VAPOR REFRIGERANTE	17
1.16.1 Expansion	18
1.16.2 Efecto de refrigeracion	20
1.16.3 Evaporacion	20
1.16.4 Compresion	21
1.16.4.1 Capacidad del compresor	23
1.16.4.2 Desplazamiento efectivo	23
1.16.4.3 Trabajo requerido para comprimir	23
1.16.5 Condensacion	24

**CAPITULO II**  
**REFRIGERACION COMERCIAL**

<b>2.1 CONSERVACION DE ALIMENTOS</b>	<b>26</b>
2.1.1 Deterioro y descomposicion	27
2.1.2 Conservacion mediante refrigeracion	28
2.1.3 Almacenes para refrigeracion	28
2.1.4 Condiciones en las bodegas	29
2.1.5 Temperatura del almacen	29
<b>2.2 HUMEDAD Y MOVIMIENTO DE AIRE</b>	<b>29</b>
<b>2.3 ALMACENAMIENTO DE PRODUCTOS DIVERSOS</b>	<b>30</b>
<b>2.4 CONDICIONES DEL PRODUCTO A LA ENTRADA DEL ALMACEN</b>	<b>31</b>
<b>2.5 HUMEDAD RELATIVA Y VELOCIDAD DEL AIRE EN LOS CUARTOS DE ENFRIAMIENTO</b>	<b>31</b>
<b>2.6 CONGELAMIENTO Y ALMACENES CONGELADORES</b>	<b>32</b>
<b>2.7 METODOS DE CONGELAMIENTO</b>	<b>32</b>
<b>2.8 CONGELAMIENTO CON CHORRO DE AIRE</b>	<b>32</b>
<b>2.9 CONGELAMIENTO POR CONTACTO INDIRECTO</b>	<b>35</b>
<b>2.10 CONGELAMIENTO POR INMERSION</b>	<b>36</b>
<b>2.11 REFRIGERACION RAPIDA CONTRA REFRIGERACION LENTA</b>	<b>36</b>
<b>2.12 MATERIALES PARA EMPACAR</b>	<b>37</b>
<b>2.13 ALMACENES CONGELADORES</b>	<b>38</b>
<b>2.14 REFRIGERADORES COMERCIALES</b>	<b>38</b>
<b>2.15 REFRIGERADORES TIPO CASERO</b>	<b>38</b>
<b>2.16 ENFRIADORES CON PASILLO INTERNO</b>	<b>39</b>
<b>2.17 UNIDADES DEL TIPO DE EXHIBICION</b>	<b>39</b>
<b>2.18 EVAPORADORES</b>	<b>42</b>
2.18.1 Tipos de construccion	42
2.18.2 Evaporadores de tubo descubierto	42
2.18.3 Evaporadores de superficie de placa	43
2.18.4 Evaporadores aletados	44
2.18.5 Evaporadores de conveccion forzada	44
<b>2.19 CONDENSADORES</b>	<b>45</b>
2.19.1 La carga del condensador	45
2.19.2 Condensadores enfriados con aire	45
<b>2.20 CONTROLES DE FLUJO DE REFRIGERANTE</b>	<b>46</b>
2.20.1 Valvulas de expansion manual	47
2.20.2 Valvulas de expansion automatica	48
2.20.3 Valvulas de expansion termostatica	48
2.20.4 Tubo capilar	49
2.20.5 Control de flotador de presion baja	50
2.20.6 Valvula de flotador de presion alta	51
<b>2.21 CONTROLES DE CICLAMIENTO</b>	<b>52</b>
2.21.1 Controles actuados por temperatura	52
2.21.1.1 Elementos sensibles a la temperatura	53
2.21.2 Controles de ciclamiento impulsados por presion	53

2.21.2.1 Controles de presión alta	53
2.21.2.2 Controles de presión baja	54
<b>2.22 COMPRESORES</b>	<b>55</b>
2.22.1 Compresor reciproco	55
2.22.2 Especificaciones y selección de compresores	56
2.22.3 Aceite para lubricación de compresores	57
2.22.4 Compresores rotatorios	57
2.22.5 Compresores rotatorios helicoidales (tornillo)	57
2.22.6 Compresores centrifugos	58
<b>2.23 REFRIGERANTES</b>	<b>60</b>
2.23.1 Clases de refrigerantes	60
2.23.2 Refrigerante R-12	60
2.23.3 Refrigerante R-134	61
2.23.4 Refrigerante R-22	61
2.23.5 Refrigerante R-502	61
2.23.6 Evaporación del refrigerante	61
2.23.7 Condensación del refrigerante	62
2.23.8 Relaciones de refrigerantes y aceites	62
<b>2.24 ACCESORIOS</b>	<b>62</b>
2.24.1 Termostato	62
2.24.2 Presostato	63
2.24.3 Calefactor del carter	63
2.24.4 Filtro deshidratador	63
2.24.5 Indicador de líquido y humedad	63
2.24.6 Válvula solenoide	65
2.24.7 Separador de aceite	66
2.24.8 Válvula de paso	66
2.24.9 Trampa de succión	67
2.24.10 Eliminador de vibración	67
2.24.11 Reloj de deshielo	68

**CAPITULO III**  
**CONCEPTOS BASICOS DE PLC**  
**(Controlador Logico Programable)**

<b>3.1 CONCEPTOS BASICOS</b>	<b>69</b>
<b>3.2 DEFINICION DE CONTROLADOR LOGICO PROGRAMABLE</b>	<b>71</b>
<b>3.3 COMPUERTAS</b>	<b>72</b>
3.3.1 Compuerta OR	72
3.3.1.1 Operación suma lógica	73
3.3.1.2 Compuerta OR de más de dos entradas	73
3.3.2 Compuerta AND	73
3.3.2.1 Operación producto lógico	74
3.3.3 Compuerta inversor	75
3.3.3.1 Operación negación	76
3.3.3.2 Doble negación	76
3.3.4 Compuerta XOR	77

3.3.5	Compuertas combinadas con inversores	78
3.3.5.1	Compuertas con inversores en sus entradas	78
3.3.5.2	Compuertas con un inversor en su salida	79
3.3.5.3	Compuerta NAND	80
3.3.5.4	Compuertas NOR y NAND con inversores en sus entradas	80
<b>3.4</b>	<b>PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DEL PLC</b>	<b>81</b>
3.4.1	Abreviaturas mas comunes en el PLC	82
<b>3.5</b>	<b>TIPOS DE MEMORIAS</b>	<b>83</b>
3.5.1	Memoria de acceso aleatorio (RAM)	83
3.5.2	Memoria de lectura (ROM)	83
3.5.3	Memoria de lectura programable (PROM)	83
3.5.4	Memoria de lectura programable borrrable (EPROM)	83
3.5.5	Tamaño de memoria	84
<b>3.6</b>	<b>DEFINICIONES</b>	<b>85</b>
3.6.1	BIT	85
3.6.2	Byte	85
3.6.3	Palabra	85
<b>3.7</b>	<b>ESTRUCTURA INTERNA DE UN PLC</b>	<b>86</b>
<b>3.8</b>	<b>ESTRUCTURA DE UN PLC</b>	<b>86</b>
3.8.1	Tarjetas de entrada	86
3.8.2	Tarjetas de salida	86
3.8.3	Unidad central de proceso (CPU)	86
3.8.4	Memoria de programa	87
3.8.5	Bus de datos	87
3.8.6	Fuente de alimentacion	87
<b>3.9</b>	<b>ESTRUCTURA DE UNA INSTRUCCIÓN</b>	<b>87</b>
3.9.1	Direccion	87
3.9.2	Operación	87
3.9.3	Operando	88
<b>3.10</b>	<b>SELECCIÓN DEL PLC</b>	<b>89</b>
3.10.1	Factores cuantitativos	89
3.10.2	Factores cualitativos	89
<b>3.11</b>	<b>VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE UN PLC</b>	<b>89</b>
3.11.1	Ventajas	89
3.11.2	Desventajas	90
<b>3.12</b>	<b>TIPOS DE PROGRAMACION</b>	<b>90</b>
3.12.1	Programacion en esquema de contactos	90
3.12.2	Diagrama de funciones	92
3.12.3	Lista de instrucciones	92

## CAPITULO IV PROYECTO

<b>4.1</b>	<b>CALOR GANADO A TRAVES DE PAREDES</b>	<b>95</b>
4.1.1	Condiciones de almacenamiento y diferencia de temperatura	95
<b>4.2</b>	<b>CALOR GANADO A TRAVES DE PISOS Y TECHOS</b>	<b>96</b>

4.3 CALOR GANADO A TRAVES DE VENTANAS	96
4.4 INFILTRACION DE AIRE PROCEDENTE DEL EXTERIOR	97
4.5 CALOR PERDIDO POR EL PRODUCTO	97
4.6 CALOR POR PERSONAS	98
4.7 CALOR POR ILUMINACION	99
4.8 CALOR DE MOTORES O APARATOS	99
4.9 BALANCE TOTAL DE CALOR	99
4.10 CALCULO RAPIDO DE LA CAMARA DE REFRIGERACION	100
4.11 PROGRAMACION DEL PLC	102

## CAPITULO V

### APENDICE

5.1 TEMPERATURAS EXTERIORES DE DISEÑO EN VERANO	104
5.2 COEFICIENTE DE TRANSMISION DE CALOR	106
5.3 CORRECCION DE TEMPERATURA POR EL EFECTO SOLAR	107
5.4 FACTORES DE CALCULO RAPIDO PARA LA TRANSMISION DE CALOR A TRAVES DE PAREDES AISLADAS	108
5.5 CARGA POR INFILTRACION	108
5.6 CARACTERISTICAS DE LOS PRODUCTOS ALIMENTICIOS	109
5.7 CALOR DISIPADOPOR LOS MOTORES ELECTRICOS	110
5.8 PROPIEDADES DE LOS SOLIDOS	111
5.9 PROPIEDADES DE LOS LIQUIDOS	113
5.10 CONDICIONES DE ALMACENAMIENTO Y PROPIEDADES DE PRODUCTOS ALIMENTICIOS	115
5.11 CONDICIONES DE ALMACENAMIENTO PARA FLORES CORTADAS Y PLANTAS EN CULTIVO	118
5.12 DATOS SOBRE EL ESPACIO, PESO Y DENSIDAD PARA PRODUCTOS ALMACENADOS EN CAMARAS REFRIGERADAS	119
5.13 CAMBIOS DE AIRE CADA 24 HORAS EN CUARTOS FRIOS DEBIDO A LA APERTURA DE PUERTAS E INFILTRACION	122
5.14 CALOR DISIPADO POR LAS PERSONAS DENTRO DEL ESPACIO REFRIGERADO	122
CONCLUSIONES	123
ANEXO	124
BIBLIOGRAFIA	130

## INTRODUCCIÓN

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

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

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

Además, para conocer mejor las aplicaciones de la refrigeración tales como la comodidad que produce el acondicionamiento de aire y los métodos de fabricación de un producto, congelamiento, almacenaje, transportación y exhibición de productos de fácil descompensación la refrigeración mecánica es usada en el procesamiento o fabricación de muchos artículos que actualmente se obtienen en establecimientos comerciales. La lista de procesos o productos que es posible hacer o perfeccionar mediante el empleo de la refrigeración mecánica, es casi infinita. Por ejemplo, la refrigeración hace posible la construcción de grandes represas las cuales son vitales en proyectos hidroeléctricos. Hace posible la construcción de carreteras y túneles y la cimentación y construcción de tiros de minas a través de formaciones en terrenos inestables. Hace también posible la producción de plásticos, de hule sintético y de muchos otros nuevos productos útiles. Mediante la refrigeración mecánica los panaderos pueden obtener mayor número de hogazas de pan de un saco de harina, en las industrias textiles y del papel permite aumentar la velocidad en sus máquinas y tener una mayor producción, se tienen mejoras en los métodos para tratamiento térmico de aceros usados en las máquinas herramientas. Esto representa solo unos pocos de los cientos de formas en las cuales la refrigeración mecánica está utilizándose en la

## INTRODUCCION

actualidad y cada año se encuentran muchas aplicaciones más. De hecho, lo único que frena el crecimiento de la industria de la refrigeración es la falta de un suministro adecuado de entrenamiento del potencial humano técnico.

### **Refrigeración domestica**

El campo de la refrigeración domestica esta limitado principalmente a refrigeradores y congeladores caseros. Sin embargo, debido a que es muy grande el numero de unidades en servicio, la refrigeración domestica representa una parte muy significativa de la refrigeración industrial.

Las unidades domesticas generalmente son de tamaño pequeño teniéndose capacidades de potencia que fluctúan entre 1/20 y ½ HP y son del tipo de sellado hermético.

### **Refrigeración comercial**

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

### **Refrigeración industrial**

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

### **Refrigeración marítima y de transportación**

Las aplicaciones que caen en esta categoría, pudieran ser una parte referida a refrigeración comercial y otra relacionada con la refrigeración industrial; sin embargo, ambas partes de dichas áreas de especialización han tenido tal crecimiento que merecen atención especial.

Desde luego que la refrigeración marítima se refiere a la refrigeración que se tiene a bordo de barcos e incluye, por ejemplo, refrigeración de barcos pesqueros y de barcos que transportan productos putrescibles, así como también refrigeración en depósitos que se tengan en toda clase de barcos.

La refrigeración en transportación se refiere a equipo de refrigeración utilizado en camiones, tanto para cuando se tenga que dar servicio a largas distancias, como para entrega local, así como también en furgones refrigerados.

### **Acondicionamiento de aire**

Como lo implica su nombre, el acondicionamiento de aire concierne con la condición del aire en alguna área o espacio designado. Por lo general, esto

## INTRODUCCION

involucra no únicamente el control de la temperatura del espacio, sino también de la humedad del mismo y el movimiento del aire incluyendo el filtrado y la limpieza de este.

Las aplicaciones de acondicionamiento de aire son de dos tipos de acuerdo a sus propósitos, para producir confort o para uso industrial. Cualquier acondicionamiento de aire el cual tiene como función principal la aplicación de aire para confort humano, se le llama acondicionamiento de aire para confort. Se tienen instalaciones típicas de aire acondicionado para confort en casas, escuelas, oficinas, iglesias, hoteles, establecimientos comerciales, edificios públicos, fabricas, automóviles, autobuses, trenes, aviones, barcos, etc.

Por otra parte, cualquier otro tipo de acondicionamiento de aire el cual no satisfaga su fin primordial de acondicionamiento de aire para confort humano se le llama acondicionamiento de aire industrial. Esto, no necesariamente quiere decir que los sistemas de acondicionamiento de aire industriales no puedan también proporcionar confort, coincidiendo con la función principal. Con frecuencia éste es el caso aunque no siempre coincide.

Las aplicaciones de acondicionamiento de aire industrial no tienen límite de número y variedad. En general, las funciones de los sistemas de acondicionamiento de aire industrial son contenido de humedad en materiales hidroscopicos; Reacción de la velocidad en las reacciones químicas y bioquímicas; límite de las variaciones en el tamaño de la precisión de artículos manufacturados debido a la expansión y contracción térmica y proporcionar aire filtrado limpio, lo cual es conveniente en determinadas operaciones y en la producción de productos de calidad.

## CAPITULO I: GENERALIDADES

### 1.1 PRIMERA LEY DE LA TERMODINÁMICA

"La suma total de la energía del universo es una cantidad constante; esta energía no puede incrementarse, disminuirse, crearse o destruirse."<sup>1</sup>

"La energía no puede crearse ni destruirse".

#### Corolario

"Las diferentes formas de energía son mutuamente convertibles, y la cantidad de una forma de energía que se requiere para producir otra cantidad de otra energía es fija e invariable."

### 1.2 SEGUNDA LEY DE LA TERMODINÁMICA (FORMA DE CLASUSIUS)

"Es imposible que una maquina, actuando por si sola y sin ayuda de un agente exterior, transporte calor de un cuerpo a otro que tenga mayor temperatura que el primero."

### 1.3 LEY DE BOYLE

"A una temperatura constante, el volumen de un peso dado de gas perfecto varia inversamente a la presión absoluta."

$$P_1V_1 = P_2V_2 = P_nV_n = \text{constante}$$

Donde:

$$P = \text{presión absoluta en } \left\{ \frac{lb}{pie^2} \right\}$$

$$V = \text{volumen especifico en } \left\{ \frac{pies^3}{lb} \right\}$$

### 1.4 LEY DE CHARLES

"Cuando un gas perfecto recibe calor a volumen constante, la presión absoluta varia en forma directamente proporcional a la temperatura."

$$\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2} = \frac{P_n}{T_n}$$

Donde:

T = es temperatura absoluta.

<sup>1</sup> Hernández Garibar, Eduardo. Fundamentos de aire acondicionado y refrigeración, edit. Limusa, Pág. 15

### 1.5 LEY DE JOULE

"Cuando un gas perfecto se expande sin hacer trabajo, su temperatura permanece inalterable, ya que su energía interna permanece también inalterable."

"La energía interna de un gas perfecto es función solamente de la temperatura."

### 1.6 LEY DE AVOGADRO

"Iguales volúmenes de cualquier gas, a la misma presión y temperatura, tienen el mismo número de moléculas."

### 1.7 GAS PERFECTO

"Todo aquel gas que obedezca las leyes de Boyle, Charles, Joule y Avogadro, se dice que es *gas perfecto*."

Según la ley de Boyle:

$$P_1V_1 = P_2V_2 = P_nV_n = cte.$$

Como  $T_1 = T_2$

$$\frac{P_1V_1}{T_1} = \frac{P_2V_2}{T_2} = \frac{P_nV_n}{T_n} = cte.$$

Como  $v_1 = v_2$

$$\frac{PV_1}{T_1} = \frac{PV_2}{T_2} = cte. = R$$

$PV = RT$

A  $\frac{PV}{T}$  se le llama la constante  $R$   $\left( \frac{lb \text{ pies}^3}{pie^2} \frac{1}{lb \text{ } ^\circ R} = \frac{lb - pie}{lb \text{ } ^\circ R} \right)$

La constante  $R$  tiene un valor para cada gas.

Multiplicando ambos miembros de la ecuación  $PV = RT$  por la masa de  $m$  libras de gas, se tiene:

$$PVm = mRT$$

Como,

$$Vm = V \text{ (V en pies}^3\text{)}$$

Por lo tanto,

$$PV = mRT$$

Que se llama "ecuación característica de los gases perfectos".

**1.8 MOL**

Mol es una unidad de cantidad de materia que tiene una masa numéricamente igual al peso molecular, expresado en libras o gramos.

Ya que el peso molecular es proporcional a la masa de una molécula, se sigue que *un mol contiene el mismo número de moléculas para cualquier gas.*

Suponiendo que  $V'$  es el volumen de 1 mol en pies<sup>3</sup>, tenemos:

$$PV' = MRT$$

Si,

$$MR = B$$

$$PV' = BT$$

Si,

$N =$  numero de moles

$$PV'N = NBT$$

Ahora,

$$V'N = V,$$

Por lo tanto,

$$PV = NBT$$

$$B = \frac{PV}{NT}$$

Esta es la ecuación molar de los gases perfectos.

**1.9 LEY DE GIBBS-DALTON**

"En una mezcla de gases o vapores, cada gas o vapor ejerce la misma presión en el mismo espacio total, como si la ejerciera por sí solo, a la misma temperatura de la mezcla."

El vapor de agua en la atmósfera no se rige exactamente por las leyes que gobiernan los gases, pero son lo suficientemente aproximadas para usarlas en la práctica.

Las mezclas de vapor-aire se rigen por la ley de Gibbs-Dalton.

De esta ley se sigue que cualquier mezcla de gases ejerce una presión total igual a la suma de las presiones parciales ejercidas independientemente por cada gas.

El aire atmosférico existe a una presión total igual a la presión atmosférica ( $P_b$ ), la cual es:

$$P_t = P_N + P_O + P_V = P_a + P_v \dots$$

Donde:

## CAPITULO I: GENERALIDADES

- $P_N$  = Presión parcial del nitrógeno.  
 $P_O$  = presión parcial del oxígeno.  
 $P_v$  = Presión parcial del vapor de agua.  
 $P_a$  = Presión parcial del aire seco.

La máxima cantidad de vapor que puede existir en el aire depende de la temperatura y es independiente del peso o presión del aire que pueden existir simultáneamente en el espacio.

Esta cantidad de vapor existe cuando el espacio esta saturado, es decir, cuando la presión corresponde a la temperatura de saturación. En estas condiciones, si se atomiza agua en dicho espacio, permanecerá en estado líquido. Si el espacio se enfría, empezara la condensación.

### 1.10 REFRIGERACIÓN

*Refrigeración* es la rama de la ciencia que trata del proceso de reducir y mantener mas baja que su alrededor, la temperatura de un espacio dado o de un producto.

Ya que el calor absorbido se transfiere a otro cuerpo, es evidente que el proceso de refrigeración es opuesto al de calefacción.<sup>2</sup>

#### 1.10.1 Carga de calor

Es la cantidad de calor que debe retirarse del espacio por refrigerar, para reducir o mantener la temperatura deseada.

En la mayoría de los casos, la carga de calor es la suma del calor que se fuga al espacio refrigerado a través de paredes, rendijas, ranuras, etc., mas el calor que produce algún producto por refrigerar o motores eléctricos, alumbrado, personas, etc.

#### 1.10.2 Agente de refrigeración

En cualquier proceso de refrigeración, el cuerpo empleado como absorbente de calor se llama agente de refrigeración o agente refrigerante.

Los procesos de refrigeración se clasifican en sensibles y latentes. El proceso es sensible, cuando la temperatura del refrigerante varía al absorber calor. Es latente cuando la temperatura del refrigerante, al absorber calor, permanece constante y causa cambio de estado. En los dos procesos, la temperatura del agente de refrigeración es menor que la temperatura del espacio por refrigerar.

### 1.11 PROCESO SENSIBLE

Suponga que un espacio cuya temperatura es de 100°F está aislado térmicamente. Si se coloca un recipiente con agua a 45°F, como se muestra en la figura, el calor del espacio fluirá hacia el agua hasta que ambas temperaturas sean iguales, y a este proceso se le da el nombre de sensible. (ver fig. 1.1)

<sup>2</sup> Hernandez Goribar, Eduardo, Fundamentos de aire acondicionado y refrigeración, Edit. Limusa. Pág. 227

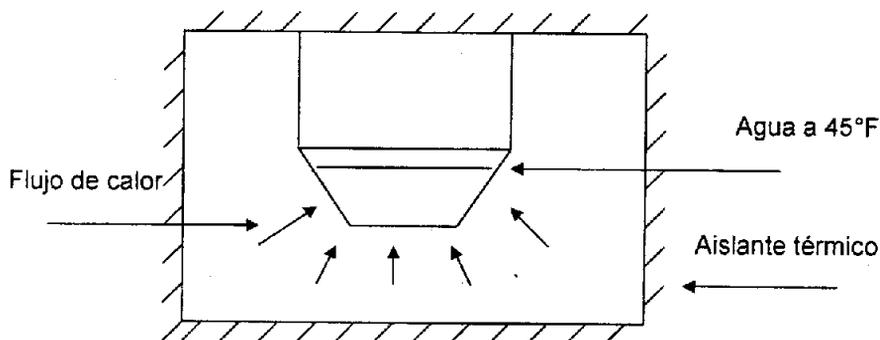


Figura 1.1 Proceso de calor sensible.

### 1.12 PROCESO LATENTE

Si se coloca un trozo de hielo a 32°F en un espacio aislado térmicamente, cuya temperatura es 100°F, el hielo absorberá calor, pero no cambiara su temperatura, solo su estado físico, de sólido a líquido, como se puede ver en la figura. El calor absorbido por el hielo es el calor latente de congelación del hielo, y al proceso realizado se le da el nombre de latente.

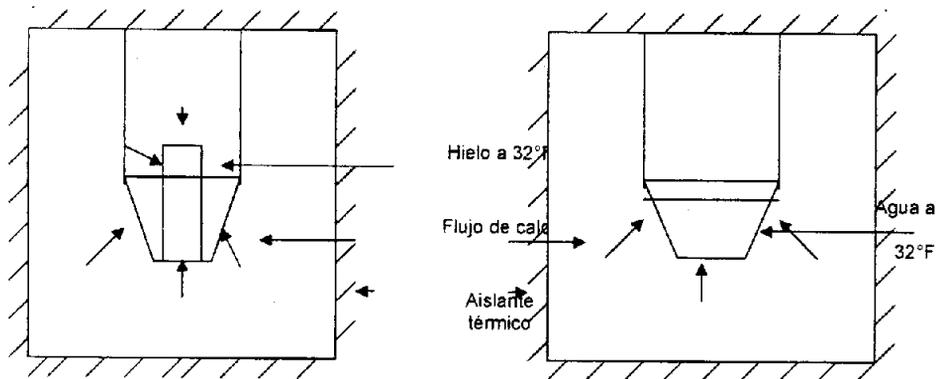


Figura 1.2 Proceso de calor latente.

Los agentes de refrigeración pueden ser sólidos o líquidos. Entre los sólidos, se incluyen, sobre todo, el hielo y el CO<sub>2</sub>. Hasta hace poco el hielo era el que más se usaba en refrigeración domestica, pero hoy en día, en la mayoría de los casos ha sido sustituido por otros refrigerantes que superan las desventajas que tiene el hielo, como son:

1. No se pueden obtener tan bajas temperaturas como con otras sustancias.
2. Es necesario reponer manualmente el hielo.
3. Produce condensado.
4. Es difícil controlar la refrigeración.

Por otro lado, para refrigerar ciertos vegetales, verduras, pescado, etc., se prefiere el hielo, porque evita que se deshidraten y los conserva en buenas condiciones.

La capacidad de los líquidos de absorber calor mientras se evaporan, es la base de la refrigeración moderna. Entre las muchas ventajas de un refrigerante líquido están:

1. control de la cantidad de calor absorbida.
2. se consigue una recirculación continua del refrigerante, sin necesidad de reponerla.
3. Se consiguen rangos de temperaturas muy amplios, pues existe una gran cantidad de refrigerantes líquidos con diferentes puntos de ebullición.

Para los refrigerantes líquidos más conocidos, hay tablas y curvas que indican sus propiedades, bajo diferentes condiciones.

### 1.13 DEFINICIÓN DE UN CICLO

A medida que el refrigerante circula a través del sistema, este pasa por un número de cambios en su estado o condición, cada uno de los cuales es llamado un proceso. El refrigerante empieza en algún estado o condición inicial, pasa a través de una serie de procesos en una secuencia definida y regresa a su condición inicial. Esta serie de procesos es llamada un ciclo. El ciclo de refrigeración simple vapor-compresor consta de cuatro procesos fundamentales: 1) expansión, 2) vaporización, 3) compresión y 4) condensación.<sup>3</sup>

### 1.14 CICLO MECANICO DE COMPRESIÓN

#### 1.14.1 Evaporación

Suponga un espacio bien aislado a 60°F. Un refrigerante (R12) se esta evaporando dentro de él a  $14.7 \left\{ \frac{lb}{plg^2} \right\}$  la temperatura de saturación a  $14.7 \left\{ \frac{lb}{plg^2} \right\}$  de -21.6°F. El refrigerante, para evaporarse, absorbe el calor latente de evaporación a una temperatura constante de -21.6°F que lo toma del espacio que rodea el vaporizador.

El dispositivo que se utiliza para llevar a cabo la evaporación es el evaporador.

#### 1.14.2 Control de la temperatura de evaporación

A cada temperatura de evaporación de cierto refrigerante, le corresponde una presión. Por tanto, para conseguir una temperatura determinada es necesario

<sup>3</sup> Hernández Goribar, Eduardo Fundamentos de aire acondicionado y refrigeración. Edit. Limusa. Pág.229.

controlar la presión y para hacerlo, se necesita controlar con una válvula la cantidad de refrigerante que se evapora. (ver fig. 1.3)

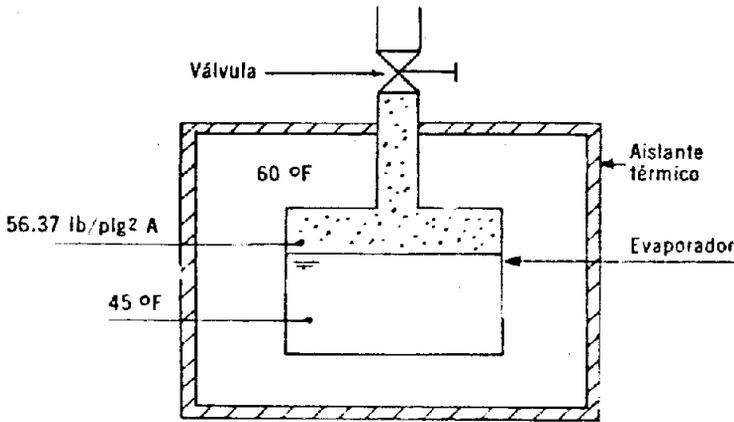


Figura 1.3 Control de la presión de un refrigerante.

Si la válvula se mantiene cerrada, la temperatura del líquido llegara a  $60\text{ }^{\circ}\text{F}$  y su presión será la que corresponda a esa temperatura. Si se necesitaran temperaturas inferiores a  $-21.6\text{ }^{\circ}\text{F}$ , por ejemplo, se necesitaría abatir la presión, por medio de una bomba que succione el vapor y baje la presión a la que corresponda la temperatura deseada. (ver fig. 1.4)

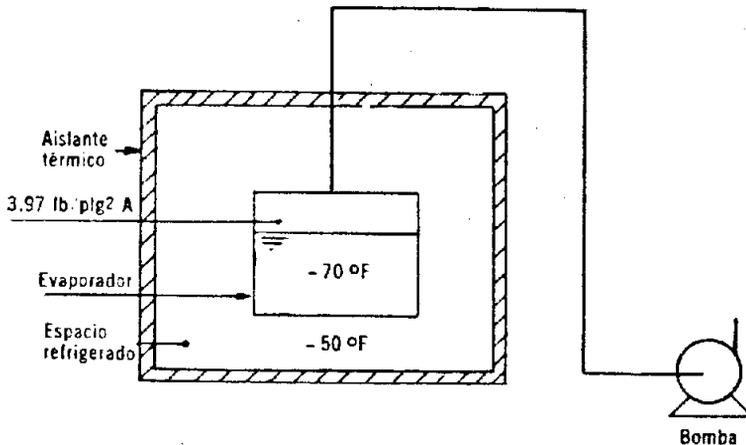


Figura 1.4 Succión del refrigerante.

### 1.14.3 Abastecimiento del refrigerante al evaporador

Para que el líquido del evaporador no se evapore por completo, es necesario suministrar continuamente refrigerante. Esto se puede lograr mediante una *válvula de flotador* que mantenga constante el nivel dentro del evaporador y un *almacenamiento o depósito de refrigerante*, que contiene a este a una presión "P", superior a la presión en el evaporador. En este caso, la válvula del flotador controla la presión dentro del evaporador. (ver fig. 1.5)

La *válvula reguladora del refrigerante*, parte esencial del sistema, es la que regula el flujo.

La *válvula de expansión termostática*, es el tipo de válvula de control más usado. Controla el flujo a través de un serpentín que hace las veces de evaporador.

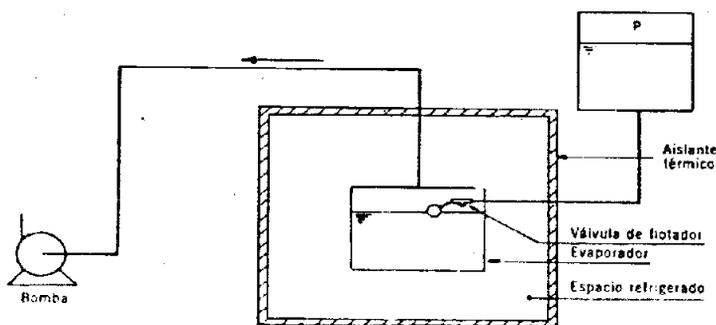


Figura 1.5 suministro de refrigerante.

### 1.14.4 Recuperación del refrigerante

Es indispensable recuperar el refrigerante por razones de economía y conveniencia, por esto, el vapor que sale del evaporador se debe recolectar y condensar para usarlo nuevamente. En esta operación se usa el *condensador*. (ver fig. 1.6)

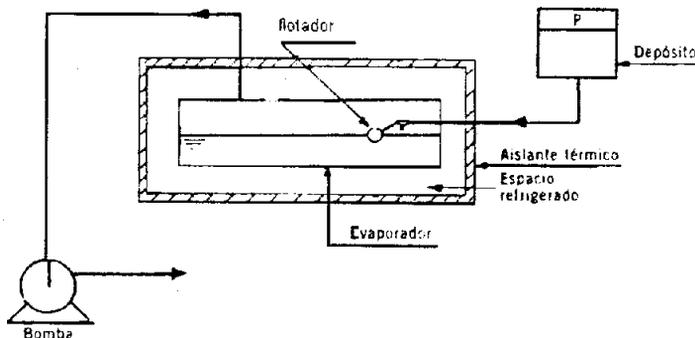


Figura 1.6 Condensación del refrigerante.

El refrigerante absorbe el calor latente necesario para evaporarse en el evaporador del espacio por refrigerar, y es necesario que otro cuerpo absorba este calor, para que el refrigerante se pueda condensar. Este cuerpo se llama *agente o medio del condensador*, que por lo general es aire o agua.

Para que el calor del refrigerante pueda fluir al medio del condensador, se requiere que el medio del condensador tenga menos temperatura que el refrigerante. Para esto es necesario, incrementar la temperatura del refrigerante, comprimiéndolo con el *compresor*, a una determinada temperatura superior a la del medio del condensador.

Una vez comprimido el vapor a alta presión y a alta temperatura, se descarga al condensador, en donde la condensación se realiza a *presión y temperatura constantes*. En esta forma se completa el ciclo de refrigeración (ver fig. 1.7). Las funciones de cada uno de los elementos que componen el sistema se pueden resumir como sigue:

a) *Evaporador:*

Provee la superficie de Calefacción necesaria para pasar al refrigerante el calor del espacio por refrigerar.

b) *Líneas de succión:*

Transporta el vapor de baja presión del evaporador al compresor.

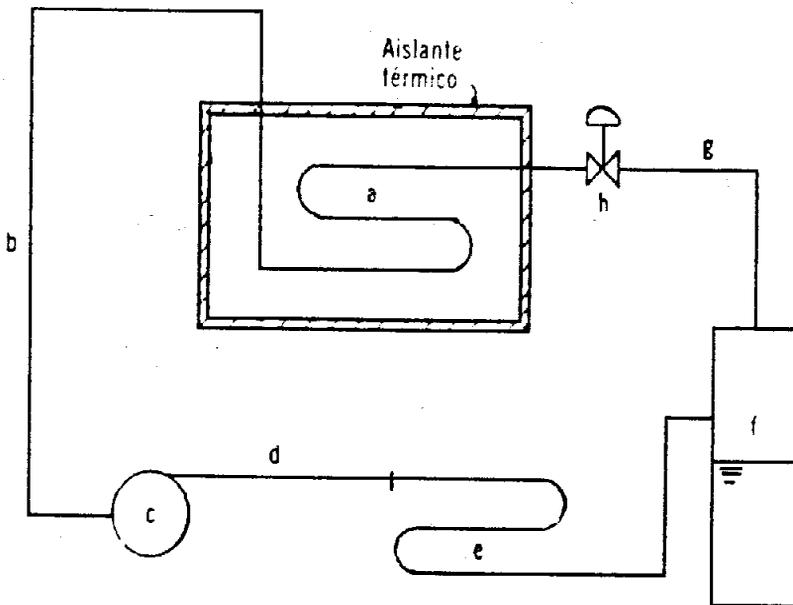


Figura 1.7 Ciclo completo de refrigeración.

c) *Compresor:*

Tiene las siguientes funciones:

- Remueve el vapor del evaporador.
- Baja la presión del evaporador.
- Sube la presión y la temperatura del vapor.

d) *Línea de descarga:*

Transporta, del compresor al condensador, el vapor de alta presión.

e) *Condensador:*

Provee la superficie de calefacción necesaria para que el calor fluya del refrigerante al medio del condensador.

f) *Tanque recibidor:*

Almacena refrigerante, a fin de que exista un continuo suministro cuando se requiera.

g) *Línea líquida:*

Transporta refrigerante líquido, del tanque recibidor a la válvula de control de flujo.

h) *Válvula de control de flujo:*

Controla la cantidad necesaria de refrigerante al evaporador y reduce la presión del líquido que entra al evaporador, de modo que el líquido se evapore en el evaporador a la presión y temperatura deseadas.

## 1.15 CICLO TERMODINÁMICO

### 1.15.1 Ciclo de Carnot

El *ciclo reversible de Carnot*, es la teoría básica para cualquier sistema práctico de refrigeración.

La máxima cantidad de trabajo se puede obtener dejando pasar una cantidad de calor de un cuerpo, que sea una *fente de calor*, a otro que sea un *recibidor*, a través de una maquina que trabaje de una manera reversible. Reversible no solo respecto de su acción interna, sino también de la transferencia de calor de la fuente de calor a la maquina y de la maquina al recibidor de calor.<sup>4</sup>

El *ciclo de Carnot*, para un gas perfecto, consiste de cuatro operaciones sucesivas. (ver fig. 1.8)

AB) *Expansión isotérmica:*

El calor se toma a una temperatura  $T$  del deposito caliente  $C$ .

BC) *Expansión adiabática:*

La temperatura del fluido baja de  $T$  a  $T_0$ .

<sup>4</sup> Hernández Goribar, Eduardo. Fundamentos de aire acondicionado y refrigeración. Edit. Limusa. Pág. 243

CD) *Compresión isotérmica:*

El calor es cedido al cuerpo frío R, a una temperatura de  $T_0$ .

DA) *Compresión adiabática:*

La temperatura del gas se incrementa de  $T_0$  a  $T$

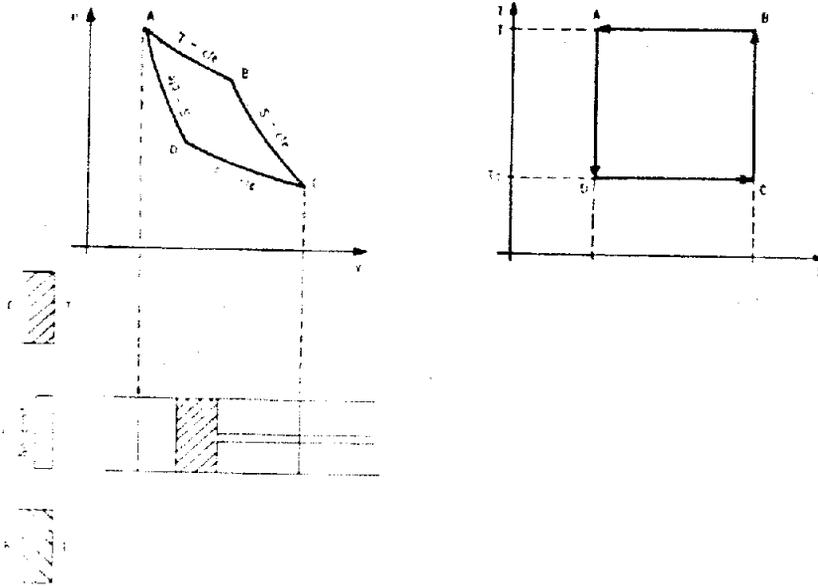


Figura 1.8 Ciclo de Carnot.

Consideremos una maquina para llevar a cabo el ciclo de Carnot.

Imagínese que un cilindro y un pistón se fabrican de material no conductor, excepto la propia cabeza del cilindro.

El cuerpo caliente C sirve como alimentador infinito de calor a una temperatura T. P es una tapa no conductora del calor y R es un cuerpo frío de capacidad infinita a una temperatura  $T_0$ . Ahora suponga que tanto C, P y R se pueden intercambiar a la cabeza del cilindro, según se desee.

El cilindro contiene M libras de gas perfecto a una temperatura T, volumen  $V_A$  y presión  $P_A$ .

- AB) Se aplica "C" al cilindro y el gas se expande isotéricamente, teniendo en el punto B un volumen  $V_B$ . El calor cedido durante el proceso valdrá:

$$Q_A^B = MRT \log_e \frac{V_B}{V_A} \quad (\text{Calor absorbido de C})$$

CAPITULO I: GENERALIDADES

- BC) Se aplica "P" al cilindro y el gas se expande adiabaticamente, teniendo en la posición C un volumen  $V_C$  y una presión  $P_C$ ; El pistón avanza y realiza trabajo a costa de la energía interna, mientras la temperatura cae de T a  $T_0$ .

$$Q_B^C = 0 \text{ (No suministra ni absorbe calor)}$$

- CD) Se aplica R al cilindro y este es forzado a regresar despacio, comprimiendo isotermicamente el gas, a una temperatura de  $T_0$ . El calor absorbido que pasa al deposito R será:

$$Q_C^D = MRT_0 \log_e \frac{V_C}{V_D} \text{ (Calor cedido a R)}$$

- DA) Se aplica P al cilindro hasta alcanzar de nuevo a A; El gas se comprime *adiabaticamente*. La presión y la temperatura alcanzaran los valores iniciales T y  $P_a$ , completando el ciclo.

Eficiencia del ciclo:

$$\left(\frac{V_C}{V_B}\right)^{K-1} = \frac{T_B}{T_C} = \frac{T}{T_0} \text{ de B a C}$$

$$\left(\frac{V_D}{V_A}\right)^{K-1} = \frac{T_A}{T_D} = \frac{T}{T_0} \text{ de D a A}$$

Ahora:

$$\frac{V_C}{V_B} = \frac{V_D}{V_A} \quad \text{O} \quad \frac{V_C}{V_D} = \frac{V_B}{V_A}$$

La cantidad neta de trabajo que realiza el gas es la diferencia entre el calor absorbido y el calor cedido.

$$Q = Q_A^B - Q_C^D = (W)$$

El área dentro del ciclo en el diagrama PV representa el trabajo realizado.

La eficiencia del ciclo es la relación entre el trabajo realizado con el calor suministrado.

$$e_u = \frac{Q}{Q_A^B} = \frac{(W)}{Q_A^B} = \frac{MRT \log_e \frac{V_A}{V_B} - MRT_0 \log_e \frac{V_D}{V_C}}{MRT \log_e \frac{V_B}{V_A}}$$

$$\frac{V_C}{V_D} = \frac{V_B}{V_A}$$

Luego:

$$e_0 = \frac{T - T_0}{T}$$

Si el ciclo es reversible, llega a ser lo que se llama bomba de calor, lo que representa la máxima eficiencia entre dos temperaturas límites.

Supóngase el ciclo reversible mostrado en los diagramas PV y TS de la siguiente figura, usando un gas refrigerante (ver fig. 1.9).

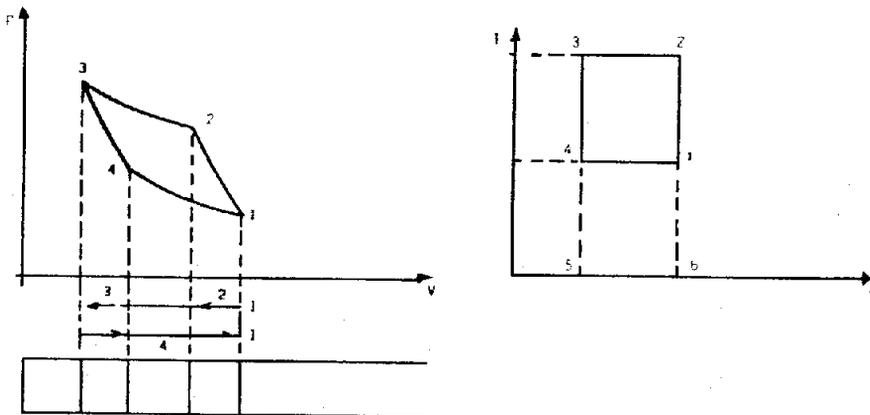


Figura 1.9 Ciclo teórico cuando se usa un gas refrigerante.

Empezando por el punto 1, se comprimen adiabáticamente de 1 a 2, enseguida viene una compresión isotérmica de 2 a 3, luego una expansión adiabática de 3 a 4 y se regresa a 1 con una expansión isotérmica de 4 a 1. Sobre el gas se realizara trabajo durante la compresión; y el gas realizara trabajo durante la expansión, con un trabajo neto, que es la diferencia representada en el diagrama PV como el área 1 2 3 4 1.

En el diagrama TS, el calor cedido por el sistema, esta representado por el área 2 3 5 6 2 que es  $T_2 (S_2 - S_3)$ . El calor suministrado al sistema es 4 1, 6 5 4, o sea  $T_1 (S_1 - S_4)$ ; La diferencia 1 2, 3 4 1, es la energía que se suministra en forma de trabajo.

El proceso de 1 a 2 se realiza en el compresor, de 2 a 3 en el condensador, de 3 a 4 en la válvula de expansión y de 4 a 1 en el evaporador.

En el caso de la maquina de refrigeración, la eficiencia (Carnot) se llama *coeficiente de comportamiento*, (CC) y es la relación entre el calor absorbido por el refrigerante y el calor equivalente del trabajo realizado por el compresor.

Para el ciclo de Carnot, se tiene:

$$CC_1 = \frac{T_1}{T_2 - T_1}$$

Para la maquina refrigerante:

$$CC_2 = \frac{\text{calor - absorbido - por - el - refrigerante}}{\text{calor - equivalente - del - compresor}} = \frac{\text{Efecto refrigeración}}{W}$$

La eficiencia del ciclo es:

$$n_0 = \frac{CC_2}{CC_1}$$

### 1.16 CICLO DE UN VAPOR REFRIGERANTE

El ciclo de un vapor refrigerante puede considerarse como una *modificación o desviación del ciclo de Carnot*.

En resumen, el ciclo teórico de un refrigerante se define en cuatro procesos:

- 1 2. Compresión adiabática reversible.
- 2 3. Suministro de calor a presión constante reversible.
- 3 4. Expansión irreversible.
- 4 1. Absorción de calor a presión constante reversible. (ver fig. 1.10)

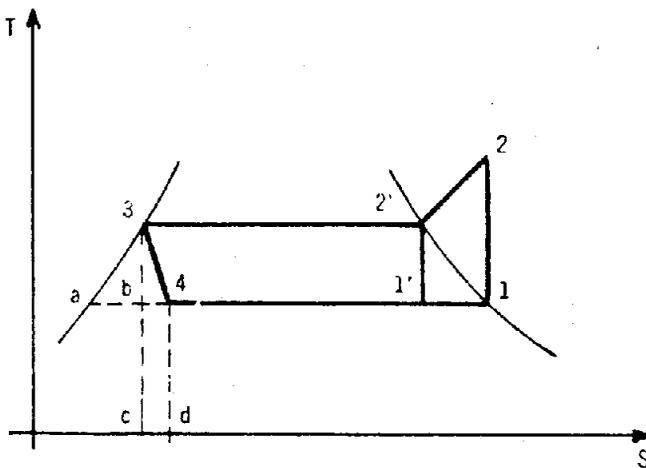


Figura 1.10 Ciclo de un refrigerante en el diagrama T. S.

El análisis de las energías para cada uno de los procesos mostraría que las cantidades solo están representadas por el uso de la *entalpía*. Es por esto que el diagrama P-h es de gran utilidad en los problemas prácticos. (ver fig. 1.11)

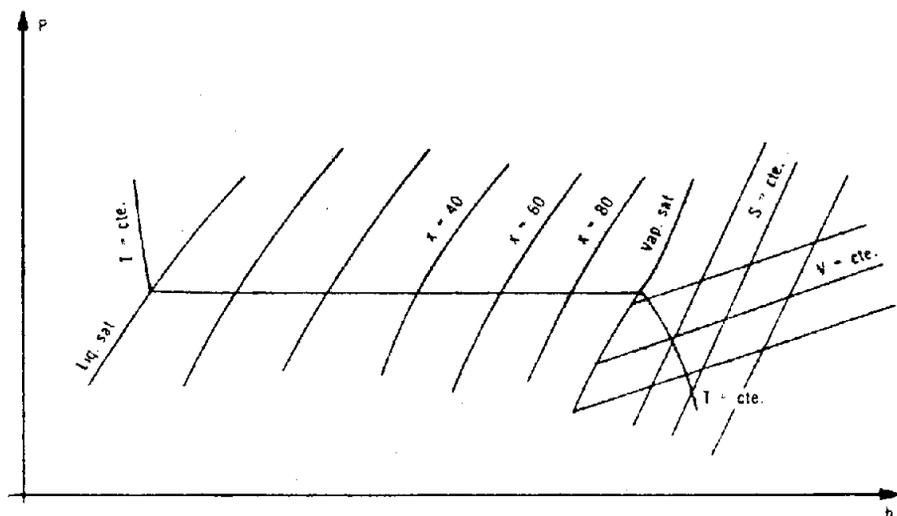


Figura 1.11 Diagrama presión-entalpía de un refrigerante.

Cada refrigerante tiene sus curvas típicas "P-h", o bien, "T-S".

Los procesos llevados a cabo en el ciclo son los siguientes.

### 1.16.1 Expansión

El proceso de expansión ocurre en la válvula; la presión del líquido se reduce de la presión de condensación a la presión de evaporación. Cuando ocurre la expansión a través del orificio de la válvula, la temperatura del líquido también se reduce de la temperatura de condensación a la de evaporación. (ver fig. 1.12)

El proceso de ecuación AB es isentalpico sin producir trabajo, un proceso de estrangulamiento en el que la ecuación general de la energía para una libra de refrigerante se tiene:

$$\frac{V_A^2}{2g_J} + h_A = \frac{V_B^2}{2g_J} + h_B$$

Como la energía cinética de salida difiere muy poco de la entrada, se puede decir que el proceso es a entalpía constante, luego:

$$h_A = h_B$$

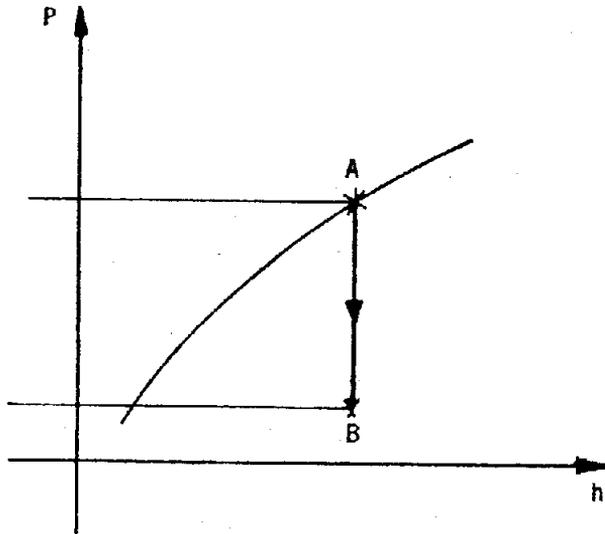


Figura 1.12 Expansión del refrigerante.

$$h_{fA} = h_{fB} + Xh_{fgB}$$

$$X = \frac{h_{fA} - h_{fB}}{h_{fgB}}$$

$V_A$  = velocidad en A, en pies/seg.

$V_B$  = velocidad en B, en pies/seg.

$g$  = constante gravitacional.

$j$  = equivalente mecánico.

$h_A$  = entalpía en A en Btu/lb.

$h_B$  = entalpía en B en Btu/lb.

$h_{fA}$  = entalpía del líquido que entra a la válvula en A.

$h_{fB}$  = entalpía del líquido que sale de la válvula en B.

$h_{fgB}$  = calor latente del refrigerante en B.

$X$  = calidad expresada en decimales.

La calidad  $X$  representa la cantidad de líquido que se evapora en la válvula, en otras palabras  $(h_{fA} - h_{fB})$  es el calor latente que queda disponible de una libra de refrigerante para absorberse en el evaporador, y se le da el nombre de efecto de refrigeración.

### 1.16.2 Efecto de refrigeración

Es la cantidad de calor que absorbe un peso dado de refrigerante. Una libra de hielo a 32°F por ejemplo, absorbe al derretirse 144 Btu.

El efecto de refrigeración de un refrigerante líquido es igual al calor latente del refrigerante a la presión de vaporización, menos la cantidad del calor que desprende el líquido al enfriarse de la temperatura de entrada a la válvula a la temperatura de salida; este calor evapora parte del mismo líquido antes de entrar al evaporador, o sea<sup>5</sup>:

$$ER = h_{fB} - (h_{fA} - h_{fB})$$

Donde  $(h_{fA} - h_{fB})$  - calor cedido por el líquido al bajar su temperatura de A a B.

O bien:

$$ER = h_{gB} - h_{fB} - h_{fA} + h_{fB}$$

$$ER = h_{gB} - h_{fA}$$

Donde  $h_{gB}$  = entalpía total del vapor en B.

O todavía como se vio con anterioridad:

$$ER = h_{fB} - Xh_{f2E}$$

*Capacidad del sistema:*

Es la cantidad de calor extraído del espacio por refrigerar. Se designa en  $\frac{Btu}{h}$  o en toneladas de refrigeración.

*Tonelada de refrigeración:*

Cuando se derrite una tonelada de hielo, absorbe 288,000 Btu. Por lo tanto, una libra, absorberá 144 Btu.

Si una tonelada se derrite en 24 horas, absorberá 288,000  $\frac{Btu}{día}$  o 12,000

$\frac{Btu}{h}$ , o bien 200  $\frac{Btu}{m}$ . Esto es lo que se designa como tonelada de refrigeración (tonelada de 2,000 lb).

### 1.16.3 Evaporación

El proceso de evaporación se realiza en el evaporador.

El líquido que sale de la válvula de expansión cambia a vapor, conforme va absorbiendo calor del espacio a refrigerar. (ver fig. 1.13)

<sup>5</sup> Hernández Goribar, Eduardo Fundamentos de aire acondicionado y refrigeración. Edit. Limusa. Pág. 241.

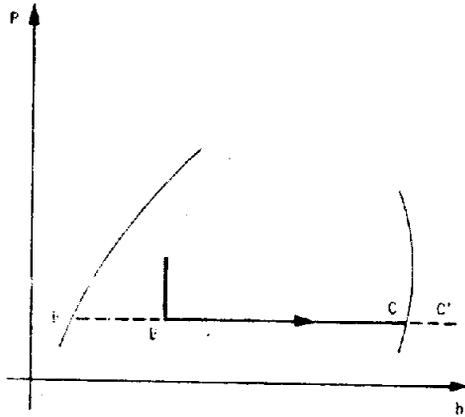


Figura 1.13 Vaporización del refrigerante.

El calor absorbido incrementa la entalpía del refrigerante, y el vapor a la salida se considera en el ciclo teórico, seco y saturado en el punto C. En un ciclo real, generalmente el refrigerante sale del evaporador sobrecalentado hasta el punto C'. El proceso de vaporización se lleva a cabo a presión y temperatura constante.

El calor absorbido en el evaporador por libra de refrigerante, es de:

$$q_1 = h_c - h_b$$

Donde:  $q_1$  = calor absorbido en  $\frac{Btu}{lb}$

$h_c$  = Entalpía del refrigerante que sale del evaporador en  $\frac{Btu}{lb}$

$h_b$  = Entalpía del refrigerante que entra al evaporador en  $\frac{Btu}{lb}$

En el diagrama P-h, la distancia B'C representa el calor latente total del refrigerante a la presión de vaporización, el calor aprovechado o defecto de refrigeración es BC; La diferencia BB' es la pérdida en la válvula de expansión.

#### 1.16.4 Compresión

La compresión en un ciclo teórico se supone que es un proceso *adiabático*, (ver Fig. 1.14)

Se le llama compresión seca cuando se lleva a cabo desde la línea de saturación a la región de sobrecalentamiento (CD) y húmeda si empieza en la región de saturación y termina en las proximidades de la línea de saturación (C'D').

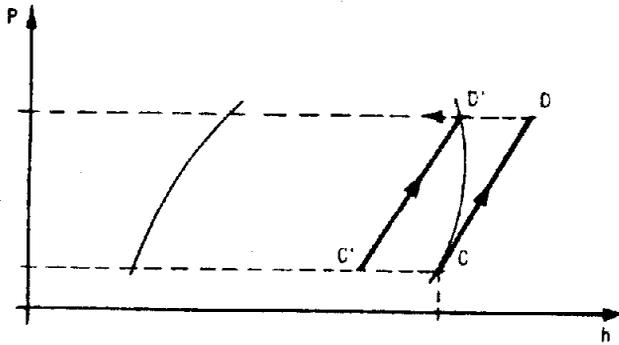


Figura 1.14 Compresión del refrigerante.

El calor de compresión por libra de refrigerante es de:

$$q_2 = h_D - h_C$$

Donde:  $q_2$  = calor de compresión en  $\frac{Btu}{lb}$ .

$h_C$  = Entalpía del refrigerante al entrar al compresor en  $\frac{Btu}{lb}$ .

$h_D$  = Entalpía del refrigerante al salir del compresor en  $\frac{Btu}{lb}$ .

El trabajo necesario será:

$$W = Jq_2 = J(h_D - h_C)$$

$$HP = \omega \frac{(h_D - h_C)}{42.42}$$

En donde  $\omega$  = gasto de refrigerante en  $\frac{lb}{min}$ .

$$1 HP = 42.42 \frac{Btu}{min}$$

O bien:

$$HP = \frac{W}{33,000 \times t}$$

Donde t = tiempo en minutos.

**1.16.4.1 Capacidad del compresor**

La capacidad de un compresor recíprocante al transportar refrigerante depende del desplazamiento volumétrico y de la eficiencia volumétrica.

Eficiencia volumétrica es la relación de cantidad de vapor transportado en pies cúbicos por minuto a la presión y temperatura de succión al desplazamiento del pistón por minuto.

La eficiencia volumétrica  $\eta_v$  en compresores recíprocantes es del orden de 76 a 90%. Se recomienda un valor de 86% para cálculos aproximados.

**1.16.4.2 Desplazamiento efectivo**

Para una maquina de acción sencilla, el desplazamiento volumétrico vale:

$$D.V. = C \frac{\pi d^2 S N}{4 \times 1,728} \eta_v$$

Donde: D.V. = desplazamiento volumétrico en  $\frac{\text{pies}^3}{\text{min}}$

- C = número de cilindros.
- d = diámetro del cilindro en pulgadas.
- S = carrera del cilindro en pulgadas.
- N = r.p.m.
- $\eta_v$  = eficiencia volumétrica.

**1.16.4.3 Trabajo requerido para comprimir.**

La forma general del trabajo requerido para una compresión adiabática es:

$$W_c = \frac{144k}{778(k-1)} P_c V_c \left[ \frac{P_D}{P_c}^{\frac{(k-1)}{k}} - 1 \right]$$

En donde:  $k = \frac{C_p}{C_v}$

$P_c$  = presión inicial en  $\frac{\text{lb}}{\text{plg}^2 A}$

$V_c$  = volumen inicial en  $\text{pies}^3$ .

$P_D$  = presión final en  $\frac{\text{lb}}{\text{plg}^2 A}$

Por otro lado se tiene que:

$$\frac{T_2}{T_1} = \left( \frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{(k-1)}{k}}$$

La potencia será:

$$HP = \frac{144}{33,000} \times \frac{k}{k-1} (P_C V_C) \left[ \frac{(P_D)^{\frac{(k-1)}{k}}}{P_C} - 1 \right]$$

Ya que  $W$  es el trabajo indicado del compresor y  $\omega(h_D - h_C)$  lo aprovechado, puede valuarse el calor rechazado del vapor durante la compresión como:

$$Q = \frac{W}{j} - \omega(h_D - h_C)$$

Observando el anterior diagrama, el calor rechazado del vapor durante la compresión valdrá aproximadamente el cambio de entropía entre la temperatura absoluta media.

$$Q = \omega(S_C - S_D) \frac{(T_C + T_D)}{2}$$

Como el proceso no fue estrictamente adiabático, es obvio que la entropía no es igual en D que en C. Por lo tanto, hay cambio de calor, o sea, se rechaza calor del vapor; El valor del calor rechazado esta dado por la formula anterior, la cual se desprende de la definición de entropía.

$$d_s = \frac{dQ}{T}$$

### 1.16.5 Condensación.

En el condensador es donde el agente absorbe el calor del refrigerante, transformando el gas sobrecalentado que sale del compresor, en líquido saturado o subenfriado. (ver figura 1.15)

El proceso DD' se realiza a presión constante bajando la temperatura hasta la saturación; El proceso D'A se realiza a presión y temperatura constantes.

El calor absorbido por el condensador es igual que el calor absorbido en el evaporador mas el calor equivalente al trabajo suministrado por el compresor.

$$q_3 = q_1 + q_2$$

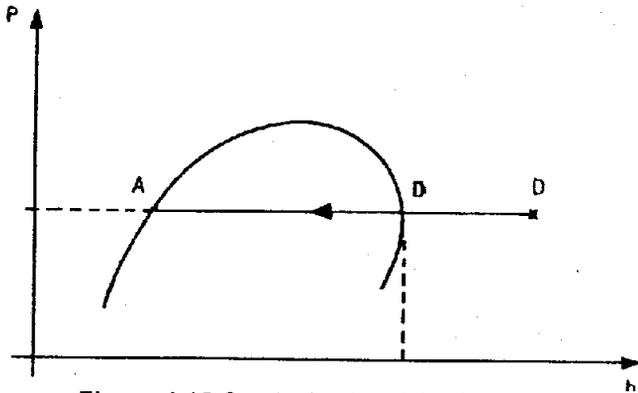


Figura 1.15 Condensación del refrigerante.

Donde  $q_3$  = calor absorbido por el condensador por libra de refrigerante en

$\frac{Btu}{lb}$

O bien:

$$q_3 = h_D - h_A$$

## CAPITULO II: REFRIGERACION COMERCIAL

### 2.1 CONSERVACIÓN DE ALIMENTOS

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

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

Por ser cuestión de vida o muerte, la conservación de los alimentos ha sido uno de los problemas más importantes. Desde el principio de la existencia sobre la tierra, fue necesario buscar la manera de conservar los alimentos durante las estaciones que se tiene en abundancia a fin de sobrevivir durante las estaciones de escasez.

Es natural entonces, que el hombre haya descubierto y desarrollado métodos para conservar los alimentos tales como: secado, ahumado, de salmuera y salado ya que desde entonces él tenía conocimientos acerca de las causas de descomposición de alimentos. Estos métodos primitivos todavía son muy usados hoy en día; en las sociedades primitivas eran los métodos disponibles, en nuestras sociedades modernas sirven como un suplemento a los métodos modernos empleados en la conservación de alimentos. Por ejemplo, millones de libras de fruta deshidratada (seca), leche, huevos, pescado, carne, papas, etc., se consumen cada año en México, combinados con enormes cantidades de productos ahumados, en salmuera y salados, tales como jamón, tocino y salchichas para mencionar solo unos cuantos. Sin embargo, aunque estos métodos antiguos son enteramente adecuados para la conservación de ciertos tipos de alimentos, con frecuencia se obtienen productos de sabor extraño pero que de otra manera no se podrían obtener, no obstante se tienen algunas desventajas inherentes que limitan su utilización. Resulta ser muy natural que se tengan algunos cambios en los productos en cuanto a su apariencia y su sabor, lo cual en muchos casos son objetables y no son universalmente adaptables para la conservación de todos los tipos de productos alimenticios. Además, aun cuando se conservase la calidad de los productos tales métodos están limitados por el tiempo. Para que un producto deba conservarse por tiempo indefinido o por un periodo de tiempo muy largo, de ordinario deben utilizarse otros medios para su conservación.

La invención del microscopio y del descubrimiento subsecuente de microorganismos que causan la descomposición de los alimentos, condujo en

Francia al desarrollo del envasado de alimentos durante el tiempo de Napoleón. Con la invención del envasado de alimentos, el hombre encontró la manera de conservar alimentos de toda clase en cantidades grandes y por periodos indefinidos de tiempo. Los alimentos envasados tienen la ventaja de ser casi imperecederos, de procesarse con facilidad y de manejo y almacenamiento prácticos. Actualmente se conserva mayor cantidad de alimento envasado que por otros métodos combinados. La única gran desventaja que se tiene con los alimentos envasados es la de que deben ser esterilizados mediante calentamiento, con lo cual y con frecuencia se tiene un sobrecoccimiento de los mismos. Por consiguiente, aunque los alimentos enlatados tienen un sabor distinto y delicioso, de ordinario difieren mucho del sabor que tiene el producto fresco original.

La única forma de conservar los alimentos en su estado fresco original es mediante la refrigeración. Desde luego, que esto es la ventaja que tiene la refrigeración con respecto a los demás métodos de conservación de alimentos. Sin embargo, también la refrigeración tiene desventajas; por ejemplo, cuando un alimento va a ser conservado mediante refrigeración el proceso de refrigeración debe de empezar de inmediato después de la recolección o de la matanza, debiendo ser continuo hasta el consumo final del alimento. Esto representa gastos o equipo voluminoso, resultando a veces inconveniente y antieconómico.

Entonces, evidentemente no hay ningún método de conservación de alimentos que sea el mejor para todos los casos y el método que en lo particular se utilice para un caso específico dependerá de un cierto número de factores tales como tipo de producto, los propósitos para lo cual el producto va a ser usado y la disponibilidad de transportación y equipo de almacenamiento. Con frecuencia es necesario utilizar varios métodos a fin de obtener los resultados deseados.<sup>6</sup>

### 2.1.1 Deterioro y descomposición

Debido a que la conservación de alimentos es simple cuestión de prevenir o retardar el deterioro y la descomposición, independientemente del método a utilizar, resulta conveniente conocer las causas que producen el deterioro y la descomposición como un prerrequisito al estudio de los métodos de conservación.

Por principio, debe reconocerse que son grados de calidad y que todos los alimentos al descomponerse pasan a través de varios pasos de deterioro antes que sea inconveniente su consumo. En muchos casos el objetivo de la conservación de alimentos no es tan solo la conservación del producto alimenticio en condición comestible, sino que, además, el conservarlo tanto como sea posible en su alta calidad en lo que respecta a apariencia, olor, sabor y contenido vitamínico. Excepto para unos cuantos alimentos procesados esto indica el mantener a los productos alimenticios tan cerca como sea posible de su estado de fresca original.

Cualquier deterioro lo suficiente como para causar un cambio detectable en su apariencia, olor o sabor de alimentos frescos, reduce inmediatamente su valor comercial al producto, lo cual representa una pérdida económica. Considérense por ejemplo los vegetales marchitados o fruta pasada de madurez; aunque su

<sup>6</sup> J. Dossat, Roy. Principios de refrigeración. Edit. Compañía editorial continental. Pág. 166.

comestibilidad esté un poco dañada se tiene un cambio indeseable en su apariencia con lo cual generalmente se tiene una reducción en su precio. También ya que se encuentra en camino de descomposición eventual, su capacidad de conservar la calidad se ve reducida grandemente por lo que deben consumirse o procesarse de inmediato para no tener una perdida total.

Por razones obvias, es muy importante mantener en su más alto nivel el contenido vitamínico en el procesamiento y / o conservación de todos los productos alimenticios.

### 2.1.2 Conservación mediante refrigeración

La conservación de alimentos putrescibles por refrigeración, se efectúa a temperaturas bajas con el fin de eliminar o retardar la actividad de los agentes destructores. Aunque la acción de las temperaturas bajas no es tan efectiva como la de las temperaturas altas en la eliminación de los agentes destructores, el almacenamiento de alimentos putrescibles a bajas temperaturas reduce en grande la actividad tanto de las enzimas como de los microorganismos proporcionando por lo tanto un medio practico de conservar a los alimentos en su estado fresco original por periodos variables de tiempo. El grado necesario de temperatura baja, para conservar adecuadamente a los alimentos varía con el tipo de productos almacenados y con el periodo de tiempo que el producto deba estar almacenado.

Para fines de conservación, los productos alimenticios pueden agruparse en dos categorías generales: aquellos que están vivos, en el tiempo de distribución y almacenamiento y aquellos que no lo están. Las sustancias alimenticias sin vida, tales como la carne, aves de corral y pescado, son mucho más susceptibles a la contaminación y destrucción microbiana, que las sustancias alimenticias vivientes y, por lo general, requieren un método de preservación más riguroso.

Con las sustancias alimenticias que no tienen vida, el problema de su conservación consiste en proteger al tejido muerto contra las fuerzas de putrefacción y deterioro tanto enzimicas como microbiales. En el caso de sustancias alimenticias vivas, tales como frutas y vegetales, el factor vida en si mismo les proporciona considerable protección contra invasión de microbios y el problema de su conservación es sobre todo el de conservar con vida a las sustancias alimenticias y al mismo tiempo retardar la actividad enzimica natural a fin de retardar la rapidez de la maduración.

### 2.1.3 Almacenes para refrigeración

Los almacenes de refrigeración pueden ser divididos en tres categorías generales: *de corto tiempo o almacén temporal*, *de largo tiempo* y *almacén congelador*.<sup>7</sup> En los almacenes de corto y largo tiempo, el producto es enfriado y almacenado a cierta temperatura arriba de su punto de congelación, mientras que en el almacén congelador el producto es enfriado y almacenado a temperaturas entre -10°F y 10°F, siendo la temperatura de 0°F la mas frecuente usada.

Los almacenes de corto tiempo o temporales, están generalmente asociados con establecimientos de venta al menudeo, en donde se espera que el producto salga rápido a su venta. Dependiendo del producto los periodos de

<sup>7</sup> J. Dossat, Roy. Principios básicos de refrigeración. Edit. Compañía editorial continental. Pág. 173.

almacenamiento varían de 1 a 2 días, en algunos casos hasta una semana o más en otros pero raras veces en mayor a 15 días.

Los almacenes de largo tiempo son por lo general usados por mayoristas y como bodegas de almacenamiento. Nuevamente, el periodo de almacenamiento depende del tipo de producto almacenado y de las condiciones del producto al llegar al almacén. Los periodos de tiempo máximo varían de siete a diez días para algunos productos delicados, tales como, tomate duro, variedades de melones y brécoles y hasta seis u ocho meses para productos durables tales como cebollas y carnes ahumadas. Cuando se almacenan alimentos putrescibles por periodos largos, estos deberán congelarse y almacenarse congelados. Sin embargo, algunos alimentos frescos como tomate resulta dañino someterlos a un proceso de congelación y por lo mismo deberá evitarse su congelación. Se usan otros métodos de conservación para estos productos si se desea almacenarlos por un periodo largo de tiempo.

#### **2.1.4 Condiciones en las bodegas**

Las condiciones óptimas de almacenamiento para un producto ya sean para periodo corto o largo de tiempo, dependen de la naturaleza de cada producto en particular, del periodo de tiempo que el producto va a estar almacenado y de si el producto esté o no empacado. En general, las condiciones necesarias para periodo de corto tiempo son más flexibles que las requeridas en almacenes de largo tiempo y normalmente se puede permitir tener temperaturas más elevadas.

#### **2.1.5 Temperatura del almacén**

La temperatura óptima de almacenamiento para casi todos los productos es ligeramente superior a la temperatura de congelación del producto.

Si bien el efecto de una temperatura de almacenamiento incorrecta trae como consecuencia una baja en la calidad del producto y un tiempo mas corto de almacenamiento, algunas frutas y vegetales son muy sensibles a las temperaturas de almacenamiento y son susceptibles a las llamadas enfermedades por frío almacenamiento cuando están expuestas a temperaturas por arriba o abajo de sus temperaturas criticas de almacenamiento. Por ejemplo, a las frutas cítricas con frecuencia se les desarrolla picadura en la corteza cuando se almacena a temperaturas relativamente altas. Por otra parte, se escaldan (bronceamiento de la corteza) y se aguan cuando se almacenan a temperaturas inferiores a la critica.

### **2.2 HUMEDAD Y MOVIMIENTO DE AIRE**

El almacenamiento de todos los alimentos expuestos a descomponerse estando en su estado natural (sin empacar) requiere de un control estricto no solo de la temperatura del espacio refrigerado sino también de la humedad del mismo y del movimiento de aire. Una de las principales causas del deterioro de alimentos frescos no empacados, tales como carnes, pollos, pescado, frutas vegetales, quesos y huevos, es la perdida de humedad en la superficie del producto por la evaporación del aire de los alrededores. Este proceso es conocido como desecación o deshidratación. En las frutas y en los vegetales, la desecación trae

como consecuencia un arrugamiento y marchitamiento y los productos tienen pérdidas tanto en peso como en contenido vitamínico.

La desecación ocurre siempre que la presión del vapor del producto es mayor que la presión del vapor del aire de los alrededores, la rapidez de la pérdida de humedad del producto es proporcional a la diferencia entre las presiones del vapor y el área de superficie expuesta del producto.

La diferencia de presión del vapor entre el producto y el aire de sus alrededores es principalmente función de la humedad relativa y de la velocidad del aire en el espacio del almacén. En general, con una humedad relativa baja y velocidad alta del aire, se tendrá la mayor diferencia de valores de presión y una mayor rapidez en la pérdida de humedad en el producto.

### 2.3 ALMACENAMIENTO DE PRODUCTOS DIVERSOS

Aun cuando el mantenimiento de condiciones de almacenamiento óptimo requiere de almacenes separados para casi todos los productos, esto, por lo general, económicamente no es factible. La excepción se presenta cuando se tienen que almacenar cantidades grandes de un solo producto, de no ser así, resulta ser práctico tener diferentes productos refrigerados en un almacén común. Es natural que las diferencias en las condiciones de almacenamiento requerido por los diferentes productos crearan problemas con respecto a las condiciones que deban ser mantenidas en el espacio diseñado para almacén común.

Como una regla general, las condiciones de almacenamiento en tales espacios representa un compromiso y por lo común se tiene una temperatura de almacenamiento algo superior a la temperatura óptima para algunos de los productos mezclados almacenados. Se usan las temperaturas máximas de almacenamiento en almacenes de productos mezclados con el fin de minimizar los daños a los productos más sensibles antes mencionados y evitar las "enfermedades por frío almacenamiento" cuando se tienen temperaturas menores a las temperaturas críticas.

Aunque con temperaturas de almacenamiento altas se tiende a acortar el tiempo de almacenamiento de algunos de los productos mezclados almacenados, esto de ordinario no es un problema serio cuando los productos son almacenados por un periodo corto de tiempo o almacenamiento temporal.

Para almacenamiento por un periodo largo, casi todos los establecimientos de ventas al mayoreo y bodegas de almacenes comerciales tienen disponible un número grande de espacios de almacenamiento por separado. Es práctica general en tales casos agrupar los diferentes productos y solo aquellos que requieran aproximadamente de las mismas condiciones de almacenaje podrán quedar colocados juntos.

Otro problema que se tiene con el almacenaje de productos diferentes en el mismo almacén es la absorción de olores y sabores. Algunos productos absorben y / o ceden olores mientras están almacenados. Debe tenerse cuidado de no poner tales productos juntos aun por periodos cortos de tiempo. Los productos lácteos son en particular muy sensibles para absorber olores y sabores de otros productos que estuvieran en el mismo almacén.

## 2.4 CONDICIONES DEL PRODUCTO A LA ENTRADA DEL ALMACÉN

Uno de los factores principales para determinar el tiempo de almacenamiento de un producto refrigerado es la condición que tiene el producto al entrar al almacén. Debe reconocerse que la refrigeración simplemente retrasa el proceso natural de descomposición y que de ninguna manera restaura la buena condición de un producto que ya está deteriorado. No puede obtenerse un producto de buena calidad si inicialmente es mala la calidad del producto. Por lo mismo, solo vegetales y frutas en buen estado deberán aceptarse para su almacenamiento. Aquellos que estén golpeados o dañados sobre todo si tienen roto el pellejo, han perdido mucho de su protección natural contra la invasión microbial y están por lo tanto sujetos a una rápida descomposición por los agentes destructivos. Además, como regla general las frutas y vegetales que van a refrigerarse deberán de cortarse antes de su completa maduración, ya que la maduración continua aun después de la recolección. El tiempo de almacenaje para frutas y vegetales en completa madurez es muy corto, aun bajo las mejores condiciones de almacenamiento y tales productos deberán ser enviados directamente al mercado para evitar tener pérdidas excesivas.

## 2.5 HUMEDAD RELATIVA Y VELOCIDAD DEL AIRE EN LOS CUARTOS DE ENFRIAMIENTO

La importancia de la humedad relativa en los cuartos de enfriamiento depende principalmente del producto que se está enfriando y de si este o no está empacado. Es evidente que no es importante la humedad relativa cuando el producto está envasado a prueba de vapor. Sin embargo, durante la carga y durante los estados iniciales de enfriamiento, la humedad del cuarto de enfriamiento deberá de ser alta si los envases se encuentran con humedad, pero esta bajara con rapidez una vez que la humedad libre se haya evaporado.

El enfriamiento de los productos en su estado natural (no envasado) pierden rápidamente humedad, con frecuencia se produce neblina en el cuarto de enfriamiento cuando la temperatura del producto y la presión del vapor son altas. Es favorable tener enfriamiento rápido y velocidad alta del aire durante este tiempo de manera que tanto la temperatura como la presión del vapor sean bajadas lo más rápido posible con el fin de evitar pérdidas excesivas de humedad y encogimiento. Es también necesario tener aire de velocidad alta a fin de extraer el vapor y de esa manera prevenir la condensación de la humedad sobre la superficie del producto.

Aunque con aire a alta velocidad se tiende a aumentar la rapidez de la evaporación de la humedad del producto, esto acelera grandemente la rapidez del enfriamiento teniendo como resultado una reducción más rápida en la temperatura del producto y en la presión del vapor. Ya que la reducción de la presión del vapor provocada por la rapidez del alto enfriamiento mas que compensar el aumento en la rapidez de la evaporación ocasionada por la alta velocidad del aire durante los primeros pasos del enfriamiento son para reducir pérdidas de la humedad del producto. Sin embargo, durante los pasos finales del enfriamiento cuando la temperatura y presión del vapor del producto son considerablemente menores, el efecto de la alta velocidad del aire en el cuarto hace incrementar la rapidez de

perdida de humedad del producto. Por lo tanto, la velocidad del aire en el cuarto de enfriamiento deberá ser disminuida durante los pasos finales del enfriamiento.

Como regla general, la humedad deberá de conservarse en un nivel alto cuando los productos sujetos a deshidratación están siendo enfriados. Algunos productos altamente sensitivos, como pollo y pescado, son con frecuencia enfriados poniéndolos en contacto con hielo para reducir las pérdidas de humedad durante el enfriamiento.

## 2.6 CONGELAMIENTO Y ALMACENES CONGELADORES

Cuando un producto se le desea conservar en su estado fresco original por periodos relativamente largos, por lo general se les congela y almacena a aproximadamente 0°F o menos. La lista de productos alimenticios comúnmente congelables incluye no solo aquellos que son conservados en estado fresco tales como vegetales, frutas, jugos de frutas, granos, carne, pollos, alimentos de mar y huevos (no en su cascara), sino también muchos alimentos preparados tales como: pasteles, helado y una gran variedad de alimentos especialmente preparados y precocinados incluyendo comidas completas.

Los siguientes factores regulan la calidad última y tiempo de almacenaje para cualquier producto congelable:

1. Naturaleza y composición del producto a congelar.
2. Los cuidados empleados en seleccionar, manejar y preparar el producto que vaya a congelarse.
3. El método de congelamiento.
4. Las condiciones de almacenaje.

Únicamente productos de alta calidad en buenas condiciones deben de congelarse. Es muy importante seleccionar la variedad apropiada de frutas y vegetales que han de congelarse. Algunas variedades no resultan ser apropiadas para su congelamiento pues de hacerlo se obtendría un producto de baja calidad y una de las limitaciones que se tiene es conservar la calidad del producto.

## 2.7 MÉTODOS DE CONGELAMIENTO

Los productos alimenticios pueden ser congelados ya sea en forma lenta o rápida. En el congelamiento se coloca el producto en el cuarto de temperatura baja y se deja congelar lentamente, generalmente en aire tranquilo. La temperatura que se mantiene en los congeladores lentos se mantiene en el rango de 0°F a -40°F. Ya que la circulación de aire es por lo general por convección natural, la transferencia de calor del producto puede ser desde 3 horas hasta 3 días, dependiendo del volumen del producto y de las condiciones del congelador.

El congelamiento rápido o por combinación de ellas se obtiene en cualquiera de las tres formas siguientes: *inmersión*, *contacto indirecto* y *corrientes de aire*.

## 2.8 CONGELAMIENTO CON CHORRO DE AIRE

En el congelamiento con corrientes de aire se utilizan los efectos combinados de temperatura baja y velocidad alta del aire para producir una rápida

transferencia de calor del producto. Aunque el método empleado varía considerablemente con la aplicación, el congelamiento con aire se obtiene con circulación a velocidad alta, teniéndose aire de baja temperatura en los alrededores del producto. Independientemente del método usado, es importante que los arreglos en el congelador sean tales que el aire pueda circular libremente alrededor de todas las partes del producto.

Los modelos paquete de congeladores con corriente de aire se fabrican para colocarse en el piso o para quedar suspendidos de algún lugar. En las siguientes figuras (2.1, 2.2, 2.3) se muestran algunas aplicaciones típicas.

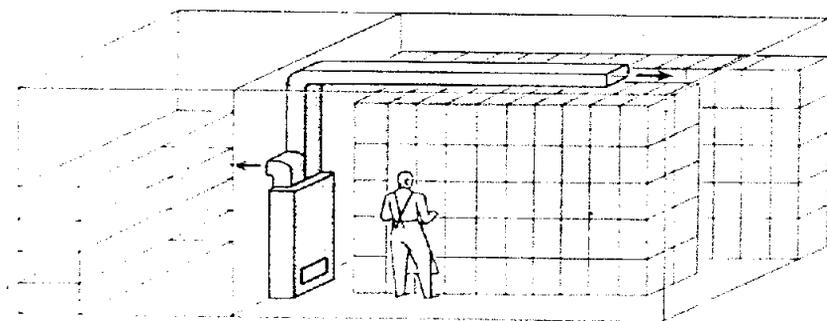


Figura 2.1 Congelamiento en un cuarto y almacén en cuarto contiguo se usa congelador con corriente de aire montado en el piso.

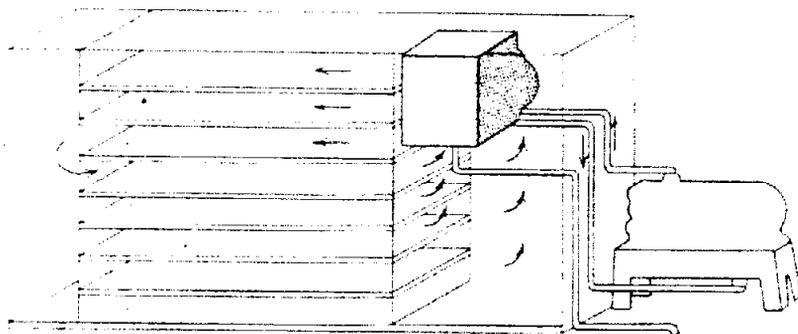
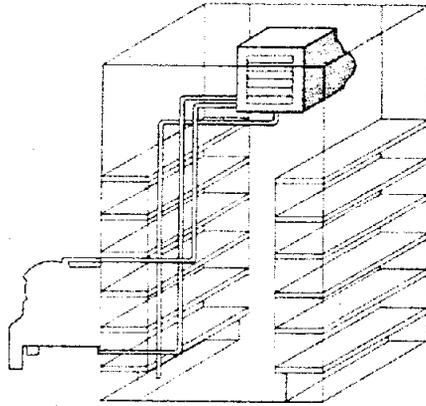


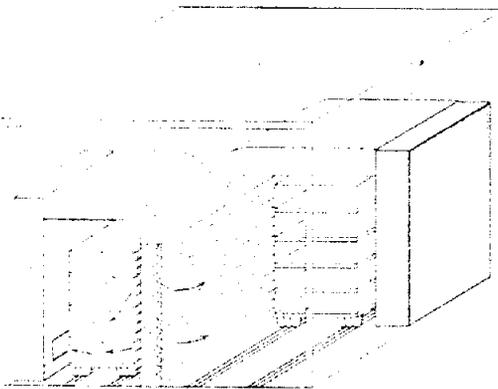
Figura 2.2 Gabinete congelador suspendido; el aire se distribuye a través de anaqueles.



**Figura 2.3** Instalación con pasillo interno. El congelamiento de corriente de aire suspendido proporciona aire de alta velocidad para congelamiento rápido.

Con frecuencia se utilizan congeladores con corrientes de aire que se instalan en túneles aislados, sobre todo cuando se tienen cantidades grandes de productos a congelar.

En algunos casos, el producto es llevado hacia los túneles de congelamiento y para su congelación se utilizan transportadoras de bandas de movimiento lento. El producto no congelado es colocado sobre el transportador en un extremo del túnel y es congelado durante el trayecto que sigue dentro del túnel llegando congelado al otro extremo del mismo. (ver fig. 2.4)



**Figura 2.4** Congeladores de corrientes de aire tipo paquete utilizados para congelamiento de un túnel. Se pasa aire a velocidad alta, a  $-15^{\circ}\text{F}$  a través de carros.

### 2.9 CONGELAMIENTO POR CONTACTO INDIRECTO

El congelamiento indirecto por lo general se proporciona a través de congeladores de puertas en donde el producto es colocado encima de placas metálicas a través de las cuales se hace circular el refrigerante (ver fig. 2.5). Debido a que el producto esta en contacto térmico directo con la placa refrigerada, la transferencia de calor del producto se efectúa principalmente por conducción, de modo que la eficiencia del congelador del congelador dependerá, en su mayor parte, de la cantidad de superficie de contacto. Este tipo de congelador es muy útil sobre todo cuando se le usa con pequeñas cantidades de productos a congelar.

Un tipo de congelador de placas muy usado en establecimientos comerciales para congelación de paquetes pequeños planos, rectangulares, de tamaño muy solicitado por los consumidores, es el congelador de placas múltiples, el cual consiste de una serie de placas refrigeradas dispuestas horizontalmente y paralelas, las cuales están actuadas por presión hidráulica de manera que éstas pueden abrirse para recibir al producto en su interior y después cerrarse a cualquier presión deseada. Cuando las placas están cerradas, los paquetes permanecen entre las placas. Debido a que tanto el techo como el piso entre los paquetes tienen buen contacto térmico con las placas refrigeradas, la rapidez de la transferencia de calor es alta y el producto es congelado en forma rápida.

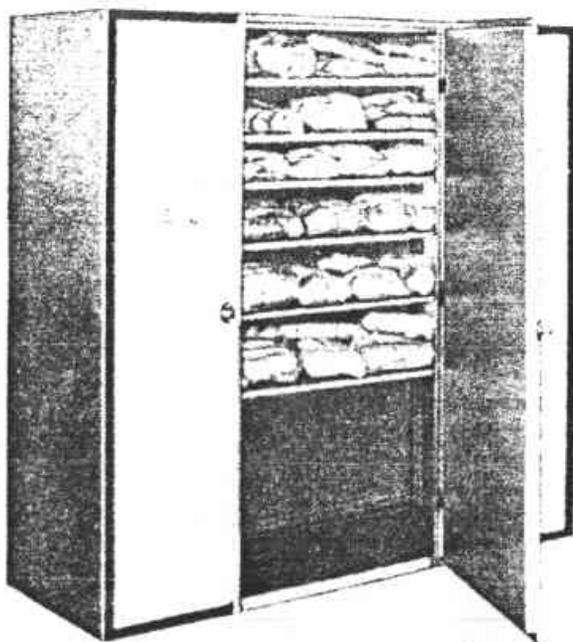


Figura 2.5 Congelador de placas para congelamiento por contacto indirecto.

## 2.10 CONGELAMIENTO POR INMERSIÓN

El congelamiento por inmersión se obtiene introduciendo al producto en una solución de salmuera de baja temperatura. Por lo general, se utiliza cloruro de sodio o azúcar. Debido a que el líquido refrigerado es buen conductor y hace muy buen contacto con todo el producto, la transferencia de calor es rápida y el producto es congelado totalmente en un periodo muy corto de tiempo.

Otra ventaja de la congelación por inmersión, es que el producto se congela en unidades individuales en lugar de hacerlo en forma masiva.

La desventaja principal del congelamiento por inmersión es que existe la tendencia de extracción por ósmosis de los jugos del producto. Esto produce como resultado una contaminación y debilitamiento del líquido congelante. Además, si la salmuera usada es de cloruro de sodio, podrá algunas veces tenerse una penetración excesiva de sal en el producto. Por otra parte, cuando la fruta es congelada en una solución de azúcar, la penetración del azúcar en la fruta es muy benéfica.

El pescado y el camarón son los productos mas comúnmente congelados por inmersión la inmersión es en particular apropiada para congelar pescado y camarón en el mar, debido a que el espacio ocupado por el congelador de inmersión es muy compacto, se le puede tener a bordo en el barco. Además, la congelación por inmersión produce una "superficie lisa y lustrosa" (cubierta pequeña de hielo) sobre la superficie del producto lo cual ayuda a prevenir la deshidratación de productos no envasados durante el periodo de almacenamiento.

## 2.11 REFRIGERACIÓN RÁPIDA CONTRA REFRIGERACIÓN LENTA

Los productos de refrigeración casi siempre son superiores a aquellos de congelación lenta. D.K. Tressler, en 1932, hizo un resumen de los puntos de vista de R. Plank, H. F. Taylor, C. Birdseye y G. A. Fitzgerald y estableció lo siguiente como ventajas principales del congelamiento rápido con respecto al congelamiento lento.<sup>8</sup>

1. Los cristales de hielo formados son mucho más pequeños y, por lo tanto, causan menos daño a las células.
2. Siendo el periodo de congelamiento mucho mas corto, hay menos tiempo para difusión de las sales y para la separación del agua en forma de hielo.
3. El producto es fácilmente enfriado abajo de la temperatura a la cual las bacterias, mohos y levaduras no pueden tener crecimiento con lo cual se evita la descomposición durante el congelamiento.

La principal diferencia entre congelamiento rápido y congelamiento lento esta en el tamaño, número y localización de los cristales de hielo formados en el producto a medida que las células fluidas son solidificadas. Cuando un producto es congelado en forma lenta, se forman cristales grandes de hielo con lo que se puede causar serio daño a los tejidos de algunos productos a través del rompimiento celular. Por otra parte, con congelamiento rápido se producen cristales de hielo más pequeños, los cuales casi siempre se forman dentro de las

<sup>8</sup> J. Dossat, Roy. Principios de refrigeración. Editorial Compañía Editorial Continental. Pág. 181

células con lo que se reduce grandemente el rompimiento celular. Con respecto a la acción de derretir, los productos que se exponen a considerable daño celular, están propensos a pérdidas excesivas de cantidad de fluido a través del "goteo" o "sangrado" lo que da por resultado pérdidas de su calidad.

En casi todos los productos la formación de cristales de hielo principian a una temperatura de aproximadamente 30°F y aunque algunos fluidos extremadamente concentrados permanecen aun sin congelarse a una temperatura de -50°F, casi todos los fluidos se solidifican cuando la temperatura del producto baja hasta 25°F. El rango de temperaturas comprendido entre 30°F y 25°F con frecuencia se le refiere como la zona de máxima formación de cristales de hielo y desde el punto de vista de la calidad del producto, es deseable que la transferencia de calor se efectúe en forma rápida y en el limite de esta zona. Esto es particularmente deseable para frutas y vegetales debido a que pueden estar expuestos a daños serios en sus tejidos con congelamiento lento de los mismos.

Debido a que los tejidos de los animales son más resistentes y mucho más elásticos que los tejidos de las plantas, la rapidez de congelación no es muy critica en el congelamiento de carnes y productos de la carne, pero sí es en el caso de frutas y vegetales. En experimentos resistentes se ha encontrado que las aves y pescados toleran un poco, cualquier daño celular cuando su congelamiento es lento.

## 2.12 MATERIALES PARA EMPACAR

La deshidratación es uno de los principales factores que limitan el tiempo de almacenamiento de los productos congelados y éste es grandemente reducido cuando el producto está empacado. Los productos no empacados están sujetos a pérdidas serias de humedad, no solo durante el proceso de congelamiento sino también durante el tiempo de almacenamiento. Con los productos congelados no empacados, las pérdidas de humedad al aire son continuamente efectuadas por sublimación. Esto eventualmente resulta en una condición conocida como "quemado por congelamiento" que le da al producto una apariencia blanca correosa. El quemado por congelamiento es por lo general debido a una oxidación, que da por resultado un cambio de sabor y pérdida del contenido vitamínico.

Con pocas excepciones, todos los productos son empacados antes de ser colocados en el almacén para su congelación. Aunque casi todos los productos son empacados antes de su congelamiento, algunos tales como los chícharos o habas, son empacadas después del proceso de congelamiento.

Para proporcionar adecuada protección contra la deshidratación y la oxidación, los materiales de empaque deberán ser prácticamente 100% a prueba de gas y vapor y deberán estar muy bien ajustados en torno al producto para evitar hasta donde sea posible la presencia del aire. Además, los espacios de aire dentro de lo empacado hacen efecto de aislamiento lo que reduce la rapidez en el congelamiento e incrementa los costos del mismo.

El hecho de que los productos congelados estén en competencia con otros productos conservados mediante distintos métodos, introduce varios factores que deben ser tomados en cuenta para la selección de los materiales de empaque.

Algunos materiales para empaque de uso general son el papel de aluminio, envases de estaño, cartón fino impregnado, cartón con cubiertas a prueba de vapor, papel encerado, celofán, polietileno y algunas otras hojas de plástico.

### 2.13 ALMACENES CONGELADORES

La temperatura exacta que se requiere tener en almacenes congeladores no presenta problemas, considerando que sea lo suficientemente baja y que no este sujeta a fluctuaciones. Aunque 0°F es por lo general adecuado para almacenaje de poco tiempo (ventas menudeo), -5°F es la temperatura mas adecuada se va a tener almacenaje por tiempo largo (ventas mayoreo). Cuando los productos tienen grasas inestables, (oxidantes, ácidos grasos) la temperatura de almacenaje para cualquier cantidad deberá ser de -10°F o menos a fin de tener el mayor tiempo posible de almacenamiento.

Para algunos productos que por lo normal deban almacenarse a -20°F, la temperatura del cuarto almacén deberá mantenerse constante con una variación no mayor de 1°F en cualquier dirección. Las variaciones en la temperatura del almacén causan un continuo deshielo y recongelación de algunos de los jugos en el producto. Esto tiende a aumentar el tamaño de los cristales de hielo en el producto y eventualmente se tendrían los mismos resultados que ocurren en congelación lenta, daño celular.

El apilamiento del producto es muy importante, éste deberá de ser de tal forma que permita la circulación adecuada del aire alrededor del producto. También es muy importante dejar espacios de aire adecuados entre los productos almacenados y las paredes del cuarto almacén. Además, al permitir la circulación del aire alrededor del producto elimina la posibilidad de que el producto absorba directamente calor de las paredes calientes.

### 2.14 REFRIGERADORES COMERCIALES

El termino "refrigerador comercial" se aplica por lo general a unidades pequeñas fácilmente disponibles, del tipo empleado en tiendas de menudeo y mercados, hoteles, restaurantes e instituciones de procesamiento, almacenamiento, exhibición y distribución de artículos de consumo de fácil descomposición. El término también se usa para unidades de refrigeración más grandes como es el caso de cuartos que se usan para dicho propósito.

Aun cuando se tiene un gran numero de unidades de refrigeración para fines muy especiales, los cuales dificultan hacer una clasificación, en general las unidades comerciales pueden ser agrupadas en tres categorías principales, *refrigeradores tipo casero, enfriadores con pasillo interno y unidades del tipo para exhibición.*

### 2.15 REFRIGERADORES TIPO CASERO

Los refrigeradores tipo casero son probablemente los más versátiles y son los mas ampliamente usados en todas las unidades comerciales. Los clientes típicos de estas unidades son tiendas de abarrotes, carnicerías, panaderías, boticas, cafeterías, restaurantes, florerías, hoteles e instituciones de todas especies. Mientras que algunos de estos refrigeradores se usan solo para almacenar como para exhibir (ver fig. 2.6). Los que solo se emplean para

almacenamiento por lo general tienen puertas sólidas mientras que los utilizados para exhibición tienen puertas de vidrio.

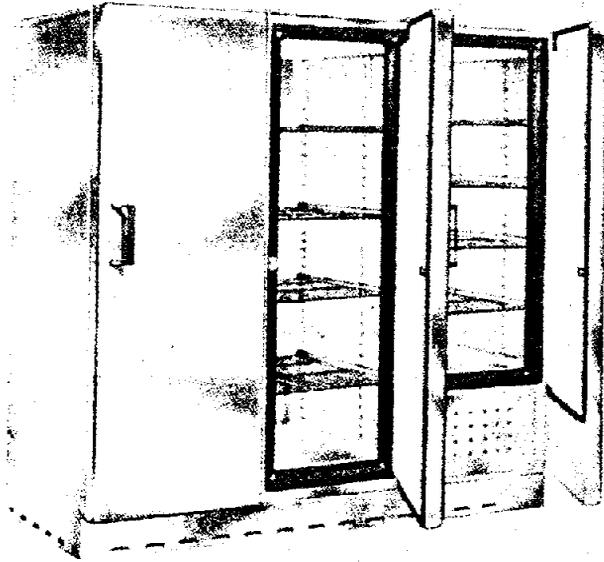


Figura 2.6 Refrigerador tipo casero.

## 2.16 ENFRIADORES CON PASILLO INTERNO

Los enfriadores con pasillo interno son unidades que principalmente se les usa para almacenar y están disponibles en una gran variedad de tamaños para ajustarse a cada necesidad. Casi todas las tiendas de menudeo, mercados, hoteles, restaurantes, instituciones, etc., tienen uno o más de estas unidades para almacenamiento de todo tipo de alimentos de fácil descomposición. Algunas de estas unidades están equipadas con puertas de vidrio. Estas unidades son especialmente para almacenaje, exhibición y distribución de alimentos tales como productos lácteos, huevos y bebidas. Estas unidades igual que las anteriores son ampliamente usadas en tiendas de comestibles, particularmente en puestos de refrescos, cines al aire libre, etc.

## 2.17 UNIDADES DEL TIPO DE EXHIBICIÓN

La principal función de cualquier unidad de exhibición, es la de exhibir el producto o artículo de consumo en la forma más atractiva posible con el fin de estimular las ventas. Por lo tanto en el diseño de estas unidades la principal consideración es la referente a la exhibición del producto. En muchos casos esto no es necesariamente compatible con proporcionar las condiciones óptimas de

almacenaje para el producto que esta siendo exhibido. Por lo mismo, el tiempo de almacenamiento del producto exhibido frecuentemente esta muy limitado pudiendo ser desde unas pocas horas en algunos casos hasta una semana o más dependiendo del producto y del tipo de unidad.

Las unidades de exhibición son de dos tipos generales: *las de autoservicio en las que directamente el cliente se sirve a si mismo y las de servicio, en las que el cliente es atendido por un empleado.* La primera de éstas es muy popular en super mercados y en tiendas de menudeo en establecimientos de autoservicio. Mientras que las de servicio se usan en tiendas pequeñas de comestibles, mercados, panaderías, etc. En las siguientes figuras se muestran algunas de estas unidades.

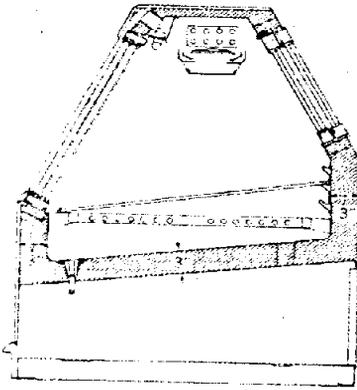


Figura 2.7

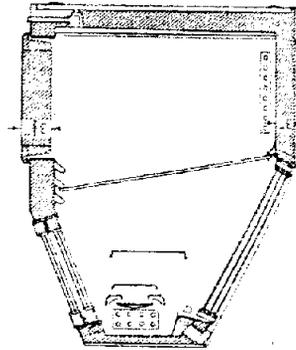


Figura 2.8

Unidades de servicio pesado para exhibir carnes.

Las unidades de autoservicio son de dos tipos, abiertas y cerradas, las de tipo abierto han adquirido mucha popularidad. Con el advenimiento de los supermercados, se han incrementado notablemente las unidades de tipo abierto, volviéndose absoletas las de autoservicio de tipo cerrado. En las siguientes figuras (fig. 2.9 y 2.10) se muestran algunas unidades de autoservicio del tipo abierto que son muy populares. Estas se usan para exhibir carnes, vegetales, frutas, alimentos congelados, helados, productos lácteos y algunos otros manjares muy deliciosos, etc. El diseño de estas unidades varia algo, según el tipo particular de producto a exhibir. Además, se tienen unidades disponibles para instalarse junto a una pared o bien en partes aisladas. También en algunas se proporcionan con espacio para almacenaje, en otras no.

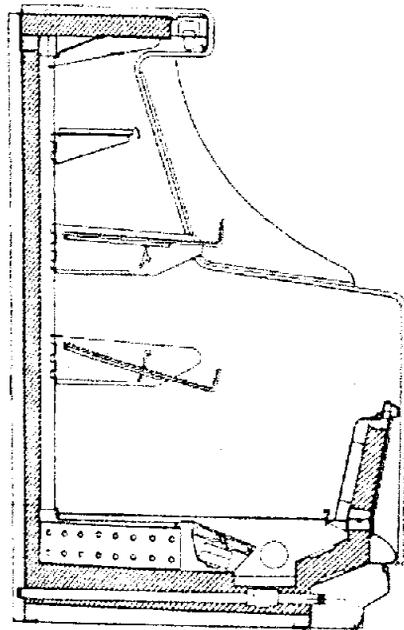


Figura 2.9 Unidad con anaqueles múltiples para venta de diferentes productos.

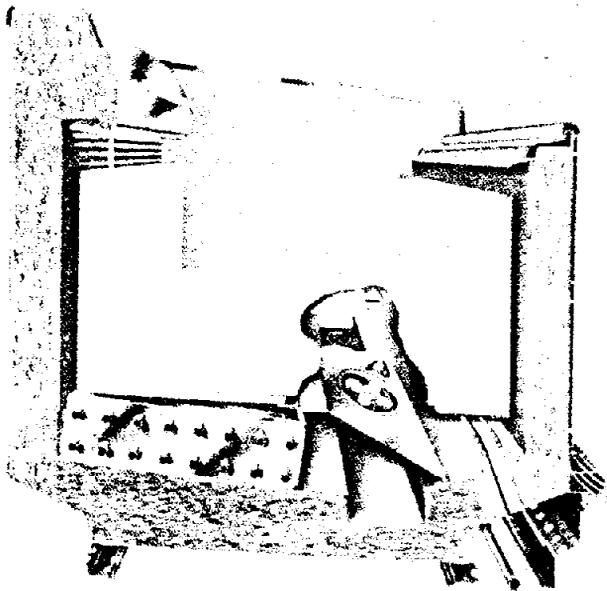


Figura 2.10 Unidad tipo abierto para congelación de alimentos y helados.

## 2.18 EVAPORADORES

Un evaporador es cualquier superficie de transferencia de calor en el cual se vaporiza un líquido volátil para eliminar calor de un espacio o producto refrigerado. Debido a las muchas y diversas aplicaciones de la refrigeración mecánica, los evaporadores se fabrican en una gran variedad de tipos, formas, tamaños y diseños y se pueden clasificar de diferentes maneras, tales como tipo de construcción, condiciones de operación, método de circulación de aire o líquido, tipo de control del refrigerante y por sus aplicaciones.<sup>9</sup>

### 2.18.1 tipos de construcción

Los tres tipos principales de construcción de evaporadores son; *de tubo descubierto*, *de superficie de placa* y *aletados*. Los evaporadores de tubo descubierto y superficie de placa algunas veces se les clasifica como evaporadores de superficie primordial debido a que para ambos tipos la superficie completa queda más o menos en contacto con el refrigerante vaporizado interior. Con el evaporador aletado, los tubos que conducen el refrigerante constituyen la superficie principal, las aletas en si no tienen refrigerante en su interior y por lo mismo, son superficies secundarias en la transferencia de calor cuya función es recoger calor del aire de los alrededores y conducirlo hacia los tubos que llevan el refrigerante.

### 2.18.2 Evaporadores de tubo descubierto

Por lo general se construyen de tubo de acero o de tubo de cobre. El tubo de acero se usa en evaporadores grandes y en evaporadores que trabajan con amoníaco, mientras que los tubos de cobre se utilizan en la fabricación de evaporadores pequeños y se les usa con refrigerante que no sea amoníaco. Los evaporadores de tubo descubierto se fabrican en gran numero de tamaños, forma y diseño y es muy común sean fabricados a la medida según cada caso específico. En la siguiente figura (ver fig. 2.11) se muestran algunas formas comunes de serpentines de tubo descubierto. Con frecuencia se emplean serpentines de tubo descubierto en forma de espiral para enfriamiento con líquido.

Se utilizan con frecuencia serpentines muy grandes de tubo descubierto, suspendidos del cielo, en cámaras frigoríficas congeladas y en almacenes de enfriamiento en donde se requiere circular grandes cantidades de aire a velocidad baja.

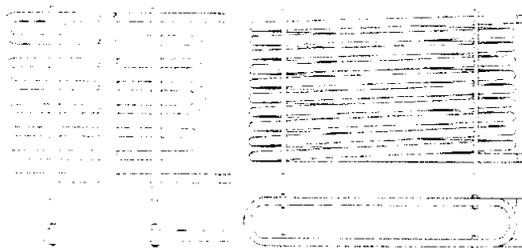


Figura 2.11 Diseños comunes de serpentines de tubo descubierto.

<sup>9</sup> J. Dossat, Roy. Principios de refrigeración. Edit. Compañía editorial continental. Pág. 227

### 2.18.3 Evaporadores de superficie de placa

Algunos son contruidos con dos placas planas de metal realzadas y soldadas una con otra de tal modo que pueda fluir el refrigerante entre las dos placas (ver fig. 2.12 y 2.13). Este tipo de evaporador es muy usado en refrigeradores y congeladores caseros debido a que su limpieza es muy fácil, su fabricación muy económica y pueden fácilmente construirse en cualquiera de las formas requeridas.

Este tipo de evaporadores pueden utilizarse en forma individual o en bancos. En la siguiente figura se ilustra como se agrupan las placas congeladas del cielo en el interior de los cuartos, en alacenas, congeladores, etc. Las placas pueden estar dispuestas para flujo refrigerante paralelo o pueden quedar conectadas para flujo en serie.

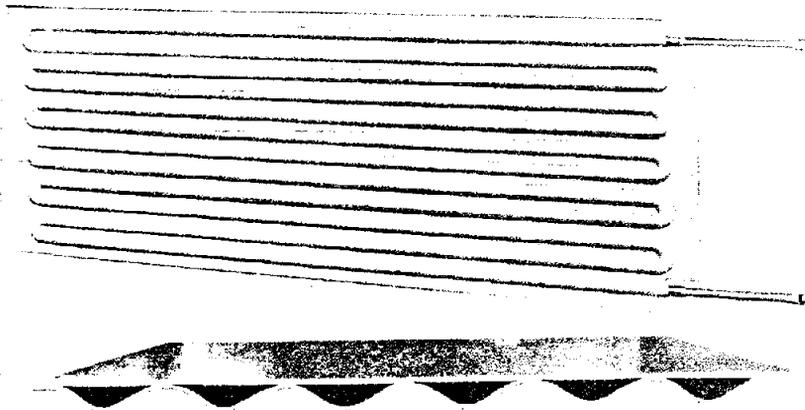


Figura 2.12 Evaporador serpentin estándar de placas.

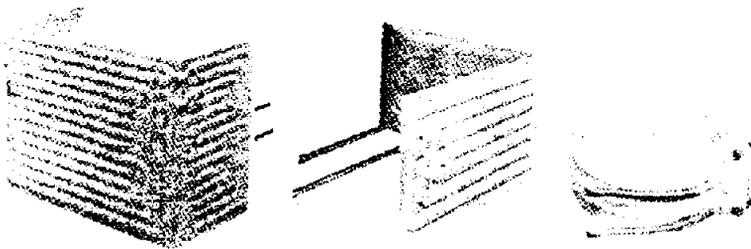


Figura 2.13 Algunas formas típicas utilizadas en evaporadores de placa.

### 2.18.4 Evaporadores aletados

Son serpentines de tubo descubiertos sobre los cuales se colocan placas metálicas o aletas. Las aletas sirven, como superficies secundarias absorbedoras de calor y tienen el efecto de aumentar el área superficial externa del evaporador, mejorándose por lo tanto la eficiencia para enfriar aire u otros gases. Con estos evaporadores, mucho del aire que circula sobre el serpentín pasa a través de los espacios abiertos entre los tubos y no hace contacto con la superficie del serpentín. Cuando se agregan las aletas al serpentín, estas se extienden hacia afuera ocupando los espacios abiertos entre los tubos y actúan como colectores de calor.

El tamaño y espaciamiento de las aletas, en parte depende del tipo de aplicación para el cual está diseñado el serpentín. El tamaño del tubo determina el tamaño de la aleta. (ver fig. 2.14)

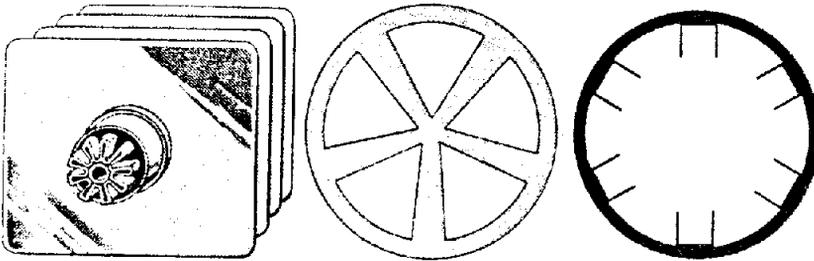
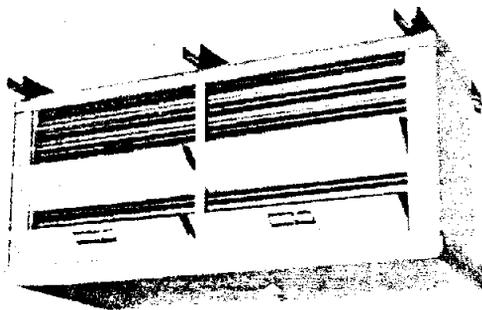


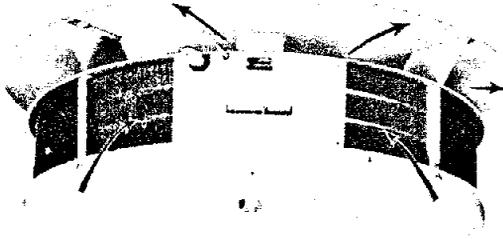
Figura 2.14 Algunos métodos de aletado interno.

### 2.18.5 Evaporadores de convección forzada

Por lo común llamados en refrigeración comercial por el nombre de "unidad enfriadora", "unidades serpentín ventilador" o "serpentín sopladores" son esencialmente serpentines de tubo descubiertos o de tubo aletado colocados en una carcasa metálica y equipados con uno o más ventiladores para proporcionar la circulación del aire. (ver fig. 2.15)

Las unidades grandes se instalan sobre el piso y pueden ser trabajadas ya sea como "húmedas" o "secas". Los serpentines "húmedos" son serpentines que están continuamente siendo rociados con salmuera o alguna solución anticongelante.





**Figura 2.15** Diseño de enfriadores unidad típica. Obsérvese que el diseño de estos enfriadores es tal que el aire no se descarga directamente sobre el producto almacenado.

## 2.19 CONDENSADORES

Igual que con los evaporadores, el condensador es una superficie de transferencia de calor. El calor del vapor refrigerante caliente pasa a través de las paredes del condensador para su condensación. Como resultado de su pérdida de calor hacia el medio condensante, el vapor refrigerante es primero enfriado hasta saturación y después condensado hasta su fase de líquido. Generalmente el medio condensante empleado es aire o agua o una combinación de ambos.

Los condensadores son de tres tipos generales: *enfriados con aire*, *enfriados con agua* y *evaporativos*. Para los condensadores enfriados con aire y enfriados con agua, el calor cedido por el refrigerante condensante aumenta la temperatura del aire o del agua usados como medio condensante. Los condensadores evaporativos emplean tanto aire como agua.<sup>10</sup>

### 2.19.1 La carga del condensador

El calor total rechazado en el condensador incluye tanto el calor absorbido en el evaporador como la energía equivalente del trabajo de compresión. Cualquier sobrecalentamiento absorbido por el vapor de succión del aire de los alrededores, también forma parte de la carga del condensador. Debido a que el trabajo de compresión por unidad de capacidad refrigerante depende de la relación de compresión, la cantidad de calor rechazado en el condensador por unidad de capacidad refrigerante varía con las condiciones de operación del sistema. El calor de compresión varía con el diseño del compresor y es mayor para un compresor hermético con enfriamiento en la succión que para un compresor tipo abierto, debido al calor adicional del motor absorbido por el gas refrigerante.

### 2.19.2 Condensadores enfriados con aire

La circulación de aire sobre un condensador enfriado con aire puede ser por convección natural o por la acción de un ventilador (ver fig. 2.16). Cuando la

<sup>10</sup> J. Dossat, Roy. Principios de refrigeración. Edit. Compañía editorial continental. Pág. 315.

circulación del aire es por convección natural, la cantidad de aire que circula sobre el condensador es baja y relativamente se necesita una superficie condensante grande. Por la capacidad limitada de los condensadores de convección natural, estos se usan solo en unidades pequeñas, principalmente refrigeradores y congeladores domésticos.

Los condensadores de convección natural empleados en refrigeradores domésticos generalmente son de superficie de placa o con tubería aletada. Cuando se usa tubería aletada, las aletas están muy espaciadas de tal manera que ofrecen muy poca o ninguna resistencia a la circulación libre del aire.

El condensador de tipo de placa esta instalado por atrás del refrigerador de tal manera que se forma un tiro de aire para aumentar la circulación del mismo. Los condensadores con tubos aletados están instalados ya sea por atrás del refrigerador o en un ángulo abajo del refrigerador.

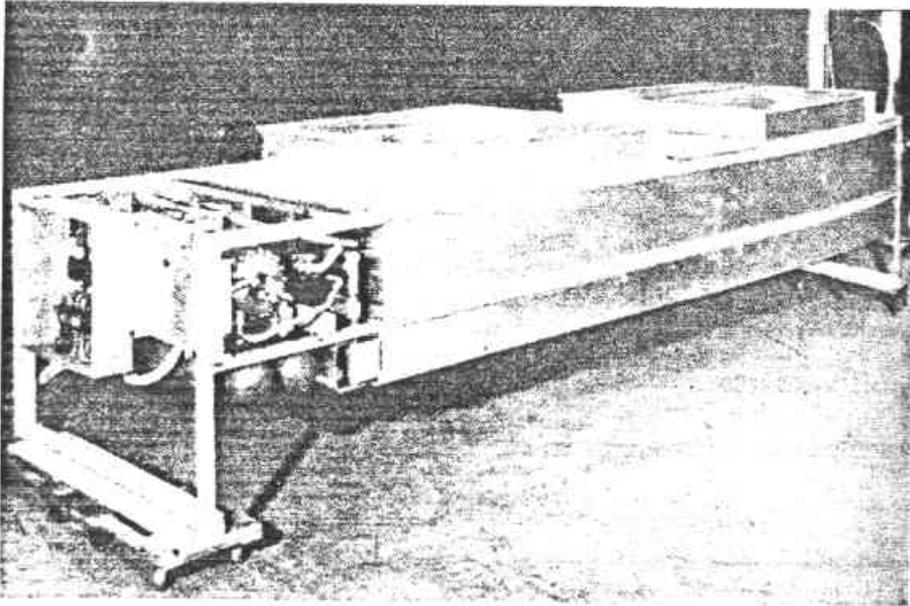


Figura 2.16 Unidad condensadora enfriada por aire.

## 2.20 CONTROLES DE FLUJO DE REFRIGERANTE

Hay seis tipos básicos de válvulas para control del flujo de refrigerante:

1. Válvula de expansión manual.
2. Válvula de expansión automática.
3. Válvula de expansión termostática.
4. Tubo capilar.
5. Válvula de flotador de presión baja.
6. Válvula de flotador de presión alta.

Independientemente del tipo, la función de cualquier control del flujo refrigerante es doble:

- Medir el refrigerante líquido en la tubería del líquido que va hacia el evaporador con una rapidez que sea proporcional a la cual esta ocurriendo la vaporización en esta última unidad.
- Mantener el diferencial de presión entre los lados de alta y baja presión del sistema a fin de permitir vaporizar el refrigerante bajo las condiciones de baja presión deseada en el evaporador y al mismo tiempo efectuar la condensación a la presión alta que se tiene en el condensador.

### 2.20.1 Válvulas de expansión manual

Son válvulas de aguja, operadas manualmente (ver fig. 2.17). La razón de flujo líquido a través de la válvula depende del diferencial de presión a través del orificio de la válvula y del grado de abertura de la válvula, esta última siendo de ajuste manual. Suponiendo que permanece constante el diferencial de presión a través de la válvula, la razón de flujo a través de la válvula de expansión manual permanecerá siempre constante independientemente de la presión que se tenga en el evaporador y de la carga en el evaporador.

La principal desventaja de la válvula de expansión manual es que esta no responde a los cambios de la carga del sistema y por lo tanto debe manualmente ser reajustada cada vez que cambia la carga en el sistema a fin de limitar o sobrealimentar al evaporador. Además, la válvula deberá ser abierta y cerrada manualmente cada vez que el compresor sea ciclado con arranque y paro.

El uso principal que actualmente se le da a la válvula de expansión manual, es para control de refrigerante auxiliar instalándose en una tubería de desviación. Con frecuencia también se le usa para controlar la razón de flujo a través de tuberías de purgado.

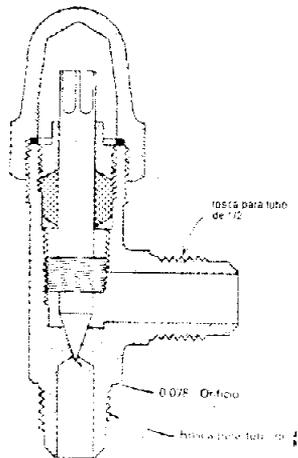


Figura 2.17 Válvula de expansión manual de pequeña capacidad.

### 2.20.2 Válvulas de expansión automática

En la siguiente figura se muestra una válvula de expansión automática, la cual consiste principalmente en una aguja y asiento, un fuelle o diafragma de presión y de un resorte cuya tensión se puede variar por medio de un tornillo de ajuste. Por lo general se instala un filtro a la entrada del líquido a la válvula con el fin de evitar la entrada de materiales extraños los cuales pueden causar interrupción de flujo.

Las funciones de la válvula de expansión automática son las de mantener una presión constante en el evaporador inundado alimentando una mayor o menor cantidad de flujo a la superficie del evaporador, en respuesta a los cambios de carga que se tengan. La característica de presión constante resulta de las interacciones de dos fuerzas opuestas:

1. La presión en el evaporador.
2. La tensión en el resorte.

Por un lado, se ejerce la presión del evaporador sobre los fuelles o diafragma, para dar movimiento a la válvula en la dirección de cerrado, mientras que la tensión en el resorte actúa en el lado opuesto de los fuelles o diafragmas, para mover a la válvula en la dirección correspondiente a abrirse. Cuando el compresor está funcionando, la válvula actúa manteniendo la presión del evaporador en equilibrio con la tensión del resorte.

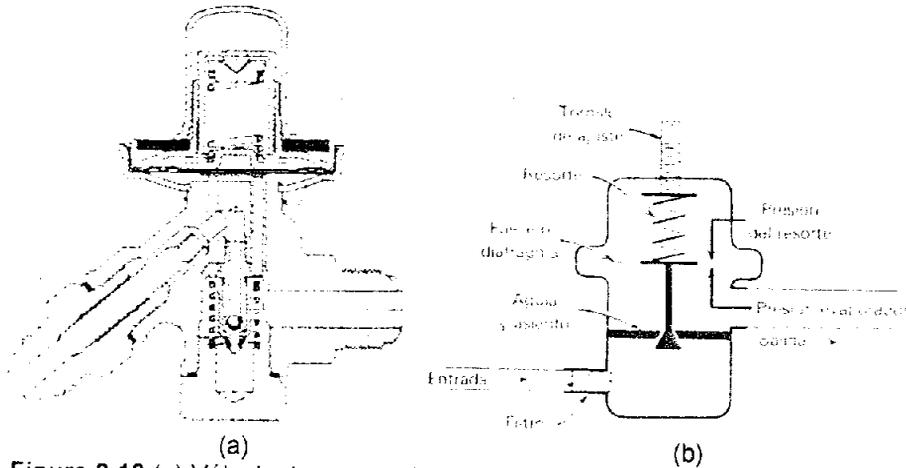


Figura 2.18 (a) Válvula de expansión automática, (b) diagrama esquemático de una válvula de expansión automática.

### 2.20.3 Válvula de expansión termostática

Debido a su alta eficiencia y a lo fácil de adaptarse a cualquier tipo de aplicaciones de refrigeración, la válvula de expansión termostática, es probablemente la que más se usa en la actualidad para control del refrigerante. Mientras que la válvula de expansión automática está basada en mantener presión constante en el evaporador, la válvula de presión termostática se basa en mantener un grado constante de sobrecalentamiento de la succión en la salida del

evaporador, circunstancia que permite mantener al evaporador completamente lleno de refrigerante bajo las condiciones de carga del sistema, sin peligro de derramar el liquido dentro de la tubería de succión.

En la siguiente figura (2.19) se muestra el esquema de una válvula de expansión termostática, sus partes principales son:

- Una aguja y asiento.
- Fuelles o diafragma de presión.
- Un bulbo remoto cargado con cierto fluido el cual esta abierto en el lado de los fuelles o diafragma a través de un tubo capilar.
- Un resorte, cuya tensión es ajustada por un tornillo de ajuste.

La característica de operación de la válvula de expansión termostática resulta de la interacción de tres fuerzas independientes, o sea:

1. La presión en el evaporador.
2. La presión ejercida en el resorte.
3. La presión ejercida por la mezcla de líquido vapor que se tiene en el bulbo remoto.

Como se muestra en la siguiente figura (2.19), el bulbo remoto de la válvula de expansión esta puesto firmemente al tubo de succión en la salida del evaporador, donde responderá a los cambios de temperatura que el vapor refrigerante tenga en dicho punto.

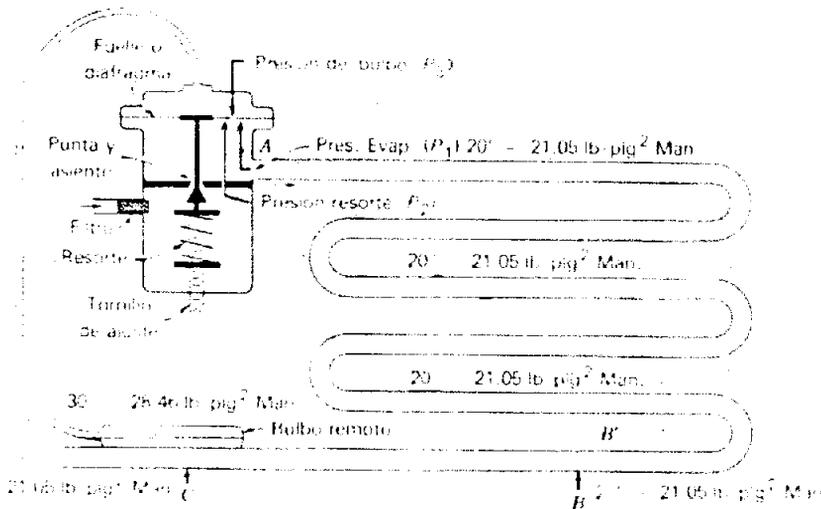


Figura 2.19 Se ilustra el principio de operación de una válvula de expansión termostática cargada con líquido.

#### 2.20.4 Tubo capilar

Es el más simple de los controles del flujo refrigerante, consiste de una tubería de longitud fija, de diámetro pequeño, instalada entre el condensador y el evaporador, generalmente se coloca por el lado de la tubería del liquido (fig. 2.20).

Debido a la gran resistencia por fricción que resulta de su longitud y diámetro pequeño y por el efecto del estrangulamiento resultante de la formación gradual de gas en el tubo a medida que la presión del líquido se reduce hasta un valor menor a la presión de saturación, el tubo capilar actúa para restringir o medir el flujo del líquido del condensador al evaporador y también para mantener la diferencia de presión de operación entre éstas dos unidades.

Para cualquier longitud de tubo y diámetro especificados la resistencia del tubo es fija o constante. El tubo capilar difiere de los otros tipos de control de flujo refrigerante, en que no cierra ni detiene el flujo del líquido hacia el evaporador durante el ciclo de paro. Cuando para el compresor, se igualan las presiones en los lados de alta y baja presión a través del tubo capilar abierto y el residuo de líquido que se tiene en el condensador pasa hacia el evaporador, de presión menor, donde permanece hasta que nuevamente se inicia el ciclo del compresor. Los tubos capilares deberán emplearse solo en aquellos sistemas especialmente diseñados para su uso. Su mejor empleo es para sistemas que tengan carga relativamente constante como en las unidades paquete herméticas de moto-compresor.

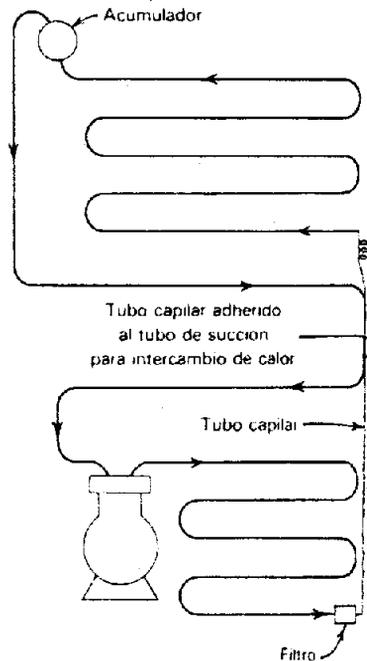


Figura 2.20 Sistema de tubo capilar.

### 2.20.5 Control de flotador de presión baja

El control de flotador de presión baja (flotador en el lado de baja presión) actúa para mantener un nivel constante de líquido en el evaporador regulando el flujo de refrigerante líquido hacia la unidad, de acuerdo con la rapidez a la cual el

suministro de líquido está siendo agotado por vaporización. Este responde solo al nivel del líquido del evaporador y mantendrá lleno de refrigerante líquido al evaporador hasta el nivel deseado, para todas las condiciones de carga e independientemente de la temperatura y presión que se tenga en el evaporador.

La operación del flotador de presión baja puede ser continua o intermitente. Para operación continua la válvula del flotador de presión baja tiene una acción estranguladora en la que ésta modula hacia la posición de abrir o cerrar para suministrar más o menos líquido hacia el evaporador en respuesta directa a los cambios mínimos que se tengan en el nivel del líquido del evaporador.

El flotador de presión baja puede instalarse directamente en el evaporador o en el acumulador en cuya unidad se estaría controlando el nivel del líquido, o también puede instalarse en un lugar fuera de estas unidades en una cámara de flotador separada (fig. 2.21).

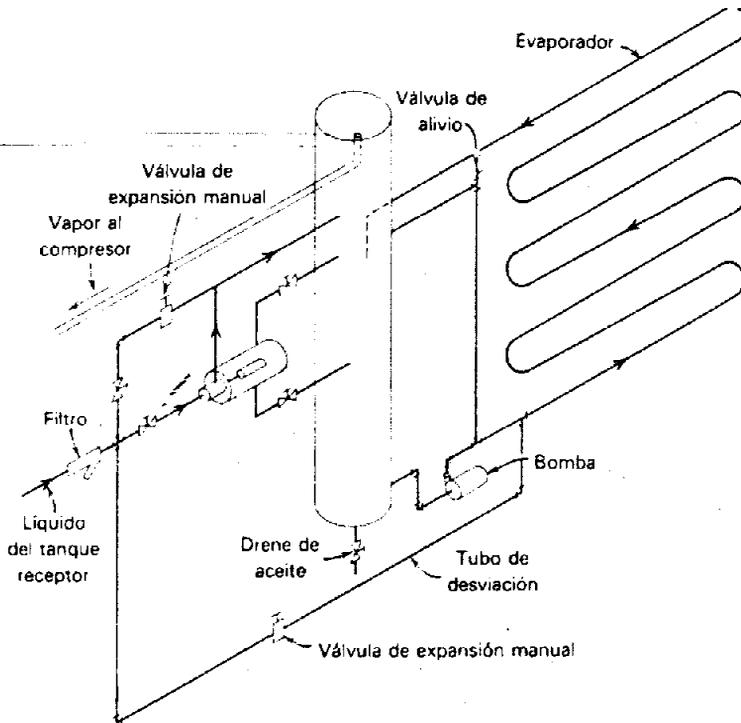


Figura 2.21 Válvula de flotador en el lado de baja controlando el nivel del líquido en el acumulador. Obsérvese la bomba de líquido usada para recircular el refrigerante a través del evaporador.

### 2.20.6 Válvula de flotador de presión alta

Al igual que la válvula de flotador de presión baja, la válvula de flotador de presión alta controla el flujo refrigerante para tener un determinado nivel de líquido en el evaporador de acuerdo con la rapidez a la cual el líquido está siendo

vaporizado. La válvula de flotador de presión alta está localizada en el lado de presión alta del sistema y controla indirectamente la cantidad de líquido en el evaporador, manteniendo constante el nivel de líquido en la cámara del flotador la cual se encuentra a alta presión (fig. 2.22).

El principio de operación de la válvula de flotador de presión alta es relativamente simple. El refrigerante del evaporador se condensa y cambia a líquido en el condensador, después pasa hacia la cámara del flotador haciendo subir el nivel del líquido, causando así que suba la bola del flotador para abrir la lumbrera de la válvula, de manera que una cantidad proporcional de líquido es descargada de la cámara del flotador para suministrar líquido al evaporador.

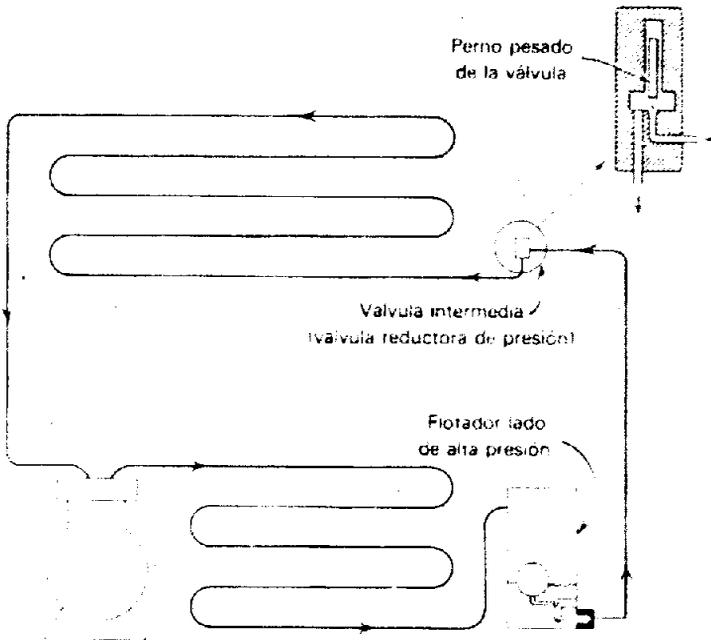


Figura 2.22 Válvula de flotador en el lado de alta presión.

## 2.21 CONTROLES DE CICLAMIENTO

Los controles usados para ciclar un sistema refrigerante "conectar" y "desconectar" son de dos tipos principales:

1. Actuados por temperatura (termostáticos).
2. Actuados por presión.

### 2.21.1 Controles actuados por temperatura

Los controles actuados por temperatura son llamados termostatos, mientras que los controles de flotador son sensibles para y son actuados por los cambios en el nivel del líquido, los termostatos son sensibles y son actuados por cambios de la temperatura. Los termostatos son usados para control del nivel da

la temperatura de un espacio o producto refrigerado haciendo ciclar al compresor de la misma forma que los controles de flotador se usan para control del nivel del liquido al ciclar la bomba.

### 2.21.1.1 Elementos sensibles a la temperatura

Dos son los tipos de elementos comúnmente empleados en termostatos para sentir y relevar cambios de temperatura a través de contactos eléctricos o de algunos otros mecanismos. Uno de estos es el tubo o bulbo llenado con cierto fluido el cual esta conectado a fuelles o diafragmas y esta llenado con un gas o liquido o una mezcla saturada de ambos (fig. 2.23). Aumentando la temperatura del tubo o bulbo se aumenta la presión del fluido confinado el cual actúa a través de los fuelles o diafragmas y un sistema de palancas cierra contactos eléctricos o bien hace actuar a otros mecanismos compensantes.

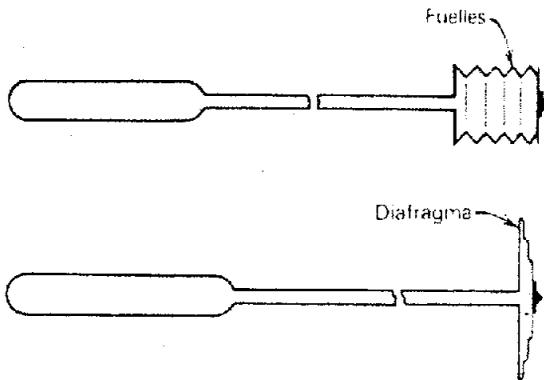


Figura 2.23 Elemento sensible de la temperatura, tipo bulbo.

Otro elemento sensible a la temperatura y completamente diferente, es la barra combinada comúnmente llamada elemento bimetal. La barra combinada esta construida de dos materiales distintos (generalmente acero con 36% de níquel [invar] y acero o invar y bronce) adheridos entre si formando una barra plana.

### 2.21.2 Controles de ciclamiento impulsados por presión

Los controles de ciclamiento impulsados por presión son de dos tipos:

1. Impulsados por presión alta.
2. Impulsados por presión baja.

#### 2.21.2.1 Controles de presión alta

A los controles de presión alta se les usa solamente como controles de seguridad. Se conectan en la descarga del compresor, el objetivo del control de presión alta es parar al compresor en el caso de que la presión en el lado de la presión alta del sistema llegara a tener un valor excesivo. Esto se hace a fin de prevenir daños al equipo. Cuando la presión en el lado de alta presión del sistema se eleva arriba de un valor determinado, actúa el control de presión alta, interrumpiendo el circuito y parando al compresor.

Debido a que las presiones condensantes son diferentes para los distintos refrigerantes, la fijación de las temperaturas de desconectar y conectar en los controles de presión alta, dependerá del refrigerante usado.

**2.21.2.2 Controles de presión baja**

Los controles de presión baja se usan tanto en controles de seguridad como en controles de temperatura. Cuando se usan como controles de seguridad el control de presión baja actúa para interrumpir el circuito y parar al compresor cuando la presión en lado de baja presión se vuelve muy pequeña y parar el circuito y hacer trabajar al compresor cuando la presión del lado de baja presión retoma su valor normal.

Los controles de presión baja son frecuentemente usados como controles de temperatura en aplicaciones de refrigeración comercial. Debido a que la presión en la succión a la entrada del compresor es regulada por la temperatura de saturación del refrigerante en el evaporador, los cambios en la temperatura del evaporador son reflejados por los cambios en la presión de la succión.

A medida que el evaporador se calienta durante el ciclo de parada, se aumenta también la presión en el evaporador. Cuando la presión en el evaporador se eleva hasta el valor de la presión de conectar fijada en el control de presión baja, actuara el control cerrando el circuito haciendo arrancar el compresor.

Debido a que el control de presión baja controla la temperatura del evaporador más que la temperatura del espacio, resulta ser un control de temperatura ideal para aplicaciones que requieran de ciclos de paro para efectuar deshielos. Esto es muy adecuado sobre todo para instalaciones "remotas" donde el compresor esta localizado lejos del evaporador (fig. 2.24).

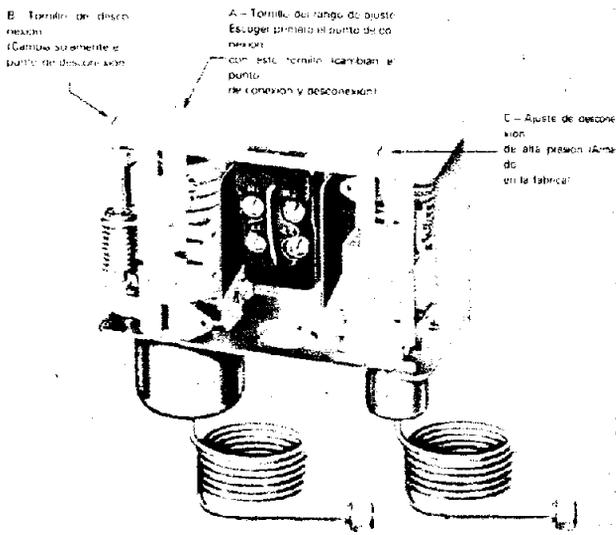


Figura 2.24 Control de presión doble o dual.

## 2.22 COMPRESORES

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

1. Recíprocos.
2. Rotatorios (tornillo).
3. Centrífugos.

### 2.22.1 Compresor recíproco

El compresor recíprocante es el tipo más usado, siendo utilizado en todos los campos de la refrigeración. Se adapta muy en especial para usarse con refrigerantes que requieran desplazamientos relativamente pequeños y para presiones condensantes relativamente altas. Entre los refrigerantes más usados con los compresores recíprocantes están el R-12, 22, 500 y 717 (amoníaco).

Como regla general por lo limitado del área de las válvulas, los compresores recíprocantes no pueden usarse en forma económica con refrigerantes de presión baja los cuales requieren de desplazamiento volumétrico grande por capacidad unitaria.

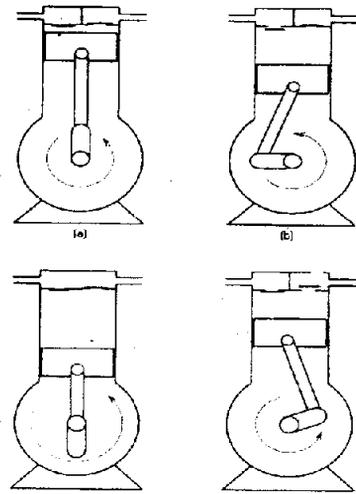
Se tiene compresores recíprocantes en tamaños que varían desde 1/8 HP en unidades domésticas hasta unidades de 250 toneladas o más en instalaciones industriales grandes. El hecho de que los compresores recíprocantes puedan fabricarse económicamente en un gran rango en tamaños y diseños, considerando además su durabilidad y eficiencia para una gran variedad de condiciones de operación, les ha dado extensa popularidad en el campo de la refrigeración.

Los compresores recíprocantes pueden ser de acción simple o de doble acción. En los compresores de acción simple, la compresión se efectúa en un solo lado del pistón y solo una vez en cada vuelta del cigüeñal, mientras que en los compresores de acción doble la compresión del vapor ocurre alternativamente en ambos lados del pistón, de modo que la compresión se efectúa dos veces por cada vuelta del cigüeñal.

En la figura 2.25 se muestra un compresor con el pistón en cuatro posiciones, durante la carrera que efectúa dentro del cilindro. Al moverse el pistón hacia abajo en su carrera de succión, pasa vapor de baja presión, proveniente de la tubería de succión, a través de las válvulas de succión, hacia el cilindro del compresor. En su carrera ascendente del pistón el vapor de baja presión primero es comprimido y después descargado como vapor de alta presión a través de las válvulas de descarga hacia el cabezal del compresor.

Para evitar que el pistón choque contra la placa de la válvula, todos los compresores recíprocos están diseñados con un pequeño claro entre la parte superior del pistón y la placa de la válvula cuando el pistón se encuentra en la parte superior de su carrera. Al espacio de este claro se le llama volumen del claro y es el volumen del cilindro cuando el pistón se encuentra en su punto muerto superior.

No todo el vapor de alta presión pasara a través de las válvulas de descarga al final de la carrera de compresión. Permanece una cierta cantidad dentro del cilindro en el espacio del claro entre el pistón y la placa de la válvula. El vapor que permanece en el espacio del claro al final de cada carrera de descarga se le llama vapor del claro.



**Figura 2.25** (a) Pistón en su punto muerto superior, (b) válvulas de succión abiertas, (c) pistón en su punto muerto inferior, (d) válvulas de descarga abiertas.

### 2.22.2 Especificaciones y selección de compresores

Realmente no resulta ser práctica la evaluación de todos los factores que influyen en el rendimiento del compresor. Por lo mismo, la capacidad el compresor y los requerimientos de potencia son calculados exactamente mediante pruebas reales que se efectúan en el compresor.

Para seleccionar un compresor para una aplicación específica, se necesitan los siguientes datos:

- La capacidad refrigerante requerida (toneladas).
- La temperatura de succión saturada, de diseño.
- La temperatura de descarga saturada, de diseño.

La capacidad refrigerante requerida, es el promedio de la carga horaria obtenida a partir de los cálculos de la carga de enfriamiento. Sin embargo, si la selección del evaporador se hizo antes que la del compresor, el compresor deberá de seleccionarse para ajustarse a la capacidad del evaporador en lugar de hacerlo con la carga calculada.

La temperatura de succión saturada de diseño, depende de las condiciones de diseño de cada caso particular. Específicamente, esta depende de la temperatura del evaporador (que es la temperatura de saturación del refrigerante a la salida del evaporador) y también de las pérdidas de presión en la tubería de succión.

La temperatura de descarga saturada de diseño, depende principalmente del tamaño del condensador seleccionado y de la cantidad y temperatura del medio condensante disponible.

### 2.22.3 Aceite para lubricación del compresor

El hecho de que el aceite lubricante por lo general esta en contacto y con frecuencia se mezcla con el refrigerante del sistema, implica la necesidad de preparar especialmente al aceite utilizado para lubricar los compresores de refrigeración. Algunas de las propiedades más importantes del aceite que deben considerarse cuando éste se selecciona para la lubricación del compresor son:

- **ESTABILIDAD QUÍMICA.**

La importancia de la estabilidad química estriba en el hecho de que es necesario que el aceite en el compresor ejecute sus funciones de lubricación continua y eficientemente sin estar sujeto a cambio alguno durante largos periodos de tiempo.

- **PUNTO DE FLUIDEZ O CONGELACIÓN O DE PRECIPITACIÓN.**

El punto de fluidez de un aceite es la temperatura mínima a la cual el aceite fluirá, o se "congelara" bajo ciertas condiciones específicas de prueba.

- **RESISTENCIA DIELECTRICA.**

La resistencia dieléctrica de un aceite es una medida de la resistencia que ofrece el aceite al flujo de la corriente eléctrica. Esta se expresa en términos del voltaje requerido para causar arco con una corriente eléctrica a través de un entrehierro de una décima de pulgada entre dos polos que están sumergidos en el aceite.

- **VISCOSIDAD.**

La viscosidad es la resistencia que el fluido ofrece al movimiento con respecto al aceite lubricante.

Al evaluar estas propiedades del aceite en relación con un compresor en particular, deberán tomarse en cuenta los siguientes factores:

- Tipo y diseño del compresor.
- Naturaleza del refrigerante usado.
- Temperatura en el evaporador.
- Temperatura en la descarga del compresor.

### 2.22.4 Compresores rotatorios

Los compresores rotatorios de uso común son de tres tipos de diseño general:

1. Pistón rodante.
2. Aleta rotatoria.
3. Lóbulo helicoidal (tornillo).

### 2.22.5 Compresores rotatorios helicoidales (tornillo)

El compresor rotatorio helicoidal o de tornillo es un compresor de desplazamiento positivo en el cual la compresión se obtiene por el engranamiento de dos rotores ranurados helicoidalmente y colocados dentro de una cubierta cilíndrica equipada con lumbreras adecuadas de entrada y de descarga. El rotor

principal que es el motriz consiste de una serie de lóbulos (por lo general cuatro) a lo largo de la longitud del rotor impulsado similarmente formado por estrias helicoidales (como se muestra en la siguiente figura 2.26). A medida que giran los rotores, el gas es lanzado hacia la abertura de entrada llenándose el espacio entre el lóbulo del rotor motriz y la estria en el rotor impulsado. A medida que los rotores continúan girando, el gas es movido pasando por la lumbrera de succión y sellando el espacio entre los lóbulos. El gas así atrapado entre los lóbulos es movido axial y radialmente y es comprimido por la reducción directa del volumen a medida que el engranamiento de los lóbulos del compresor reducen progresivamente el espacio ocupado por el gas. Continúa la compresión del gas hasta que el espacio entre los lóbulos se comunica con las lumbreras de descarga en el cilindro y el gas comprimido sale del cilindro a través de dichas lumbreras.

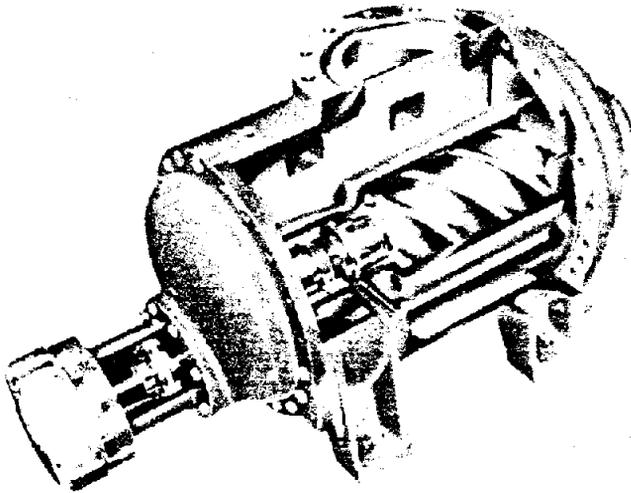


Figura 2.26 Compresor tipo tornillo.

### 2.22.6 Compresores centrífugos

El compresor centrífugo consiste esencialmente de una serie de ruedas impulsoras montadas en un eje de acero contenidas dentro de una carcasa de hierro vaciado (fig. 2.27). El número de ruedas impulsoras depende bastante de la magnitud de la carga termodinámica que el compresor deba desarrollar durante el proceso de la compresión. Es común tener compresores de dos, tres y cuatro ruedas.

Los principios de operación de un compresor centrífugo son similares a los de los ventiladores o bombas centrífugas. El vapor de baja presión y baja velocidad proveniente de la tubería de succión es pasado hacia la cavidad interna u "ojo" de la rueda impulsora a lo largo de la dirección del eje del rotor. Entrando a la rueda del impulsor el vapor es forzado radialmente hacia afuera y entre los alabes del impulsor por la acción de la fuerza centrífuga desarrollada por la

rotación de la rueda y es descargada en la salida de las alabes hacia la carcasa del compresor a velocidad alta habiendo adquirido el vapor un aumento de temperatura y presión. El vapor de alta presión y alta temperatura es descargado de la periferia de la rueda y es colectado en conductos o pasadizos especialmente diseñados en el cuerpo mismo del compresor, en los cuales se reduce la velocidad del vapor y dirigen a este hacia la entrada del siguiente impulsor, o en el caso del ultimo paso, lo descargan a una cámara, desde donde el vapor pasa a la tubería de la descarga hacia el condensador.

Esencialmente los compresores centrífugos son maquinas de velocidad alta. Las velocidades angulares comúnmente fluctúan entre 3000 y 18000 r.p.m., en algunos casos específicos se tienen velocidades mas elevadas. Por sus altas velocidades angulares, los compresores centrífugos son capaces de manejar volúmenes muy grandes de vapor en unidades relativamente pequeñas. Aunque son especialmente apropiadas para usarse con refrigerante de baja presión que requieren un gran desplazamiento de compresor con relaciones de compresión moderadas, han sido usados con mucho éxito en todos los rangos de temperatura con refrigerantes de baja y alta presión.

Algunos de los refrigerantes mas comúnmente usados con compresores centrífugos son los refrigerantes 11,12, 113, 500 y el amoniaco.<sup>11</sup>

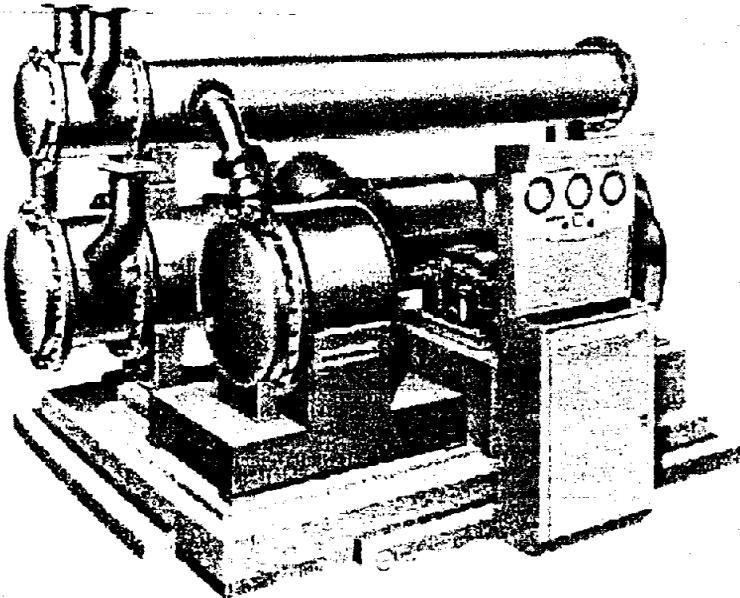


Figura 2.27 Maquina refrigerante centrifuga.

<sup>11</sup> J. Dossat. Roy. Principios de refrigeración. Edit. Compañía editorial continental.  
 Compresores reciprocos Págs. 273-275  
 Compresores rotatorios Págs. 456-462  
 Compresores centrífugos Págs. 462-467

## 2.23 REFRIGERANTES

En general, un refrigerante 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 cual alternativamente se vaporiza y se condensa absorbiendo y cediendo calor, respectivamente.<sup>12</sup>

Una sustancia que puede absorber grandes cantidades de calor con un aumento de su calor sensible si la diferencia de temperatura es grande o si el peso de la sustancia es elevado. Sin embargo en un cambio de estado, una fracción del peso necesario para absorber cierta cantidad de calor sensible, absorberá una cantidad de calor latente equivalente.<sup>13</sup>

En la refrigeración mecánica se requiere un proceso que pueda transmitir grandes cantidades de calor económica y eficientemente y que pueda repetirse continuamente. Los procesos de evaporación y condensación de un líquido son por lo tanto los pasos lógicos en el proceso de refrigeración.

Un refrigerante debe satisfacer dos importantes requisitos:

1. Debe absorber el calor rápidamente a temperatura requerida por la carga del producto.
2. El sistema debe usar el mismo refrigerante constantemente por razones de economía y para enfriamiento continuo.

No existe el refrigerante perfecto y hay gran variedad de opiniones sobre el cual es el más apropiado para aplicaciones específicas.

### 2.23.1 Clases de refrigerantes

Existen muchos tipos de refrigerantes algunos de los cuales se usan comúnmente. En las primeras instalaciones de refrigeración se empleaban por lo general el amoníaco, bióxido de sulfuro, propano, etano y cloruro metálico, los cuales aun se usan en varias aplicaciones. Sin embargo debido a que estas sustancias son tóxicas, peligrosas o tiene características no deseadas, han sido reemplazadas por sustancias creadas especialmente para usarse en refrigeración.

En trabajos a temperaturas extrabajas o en instalaciones con grandes compresores centrífugos, se usan refrigerantes especiales, pero para refrigeración comercial y aire acondicionado que utilizan compresores recíprocos, se usan refrigerantes R-12, R-22 y R-502.

### 2.23.2 Refrigerante R-12

Este refrigerante es utilizado en la refrigeración doméstica y comercial, así como en aire acondicionado. En temperaturas inferiores a su punto de ebullición, es un líquido transparente y casi sin olor, no es tóxico ni irritante y es apropiado para aplicaciones en alta, mediana y baja temperatura.

<sup>12</sup> J. Dossat, Roy. Principios básicos de refrigeración. Edit. Compañía editorial continental. Pág. 365

<sup>13</sup> Manual de capacitación técnica. Curso básico

### 2.23.3 Refrigerante R-134

Este gas ha sido seleccionado como el refrigerante alternativo para reemplazar al CFC-12 o refrigerante R-12 en aparatos automotrices de aire acondicionado y es el candidato líder para ser usado en aparatos y aplicaciones selectas de aparatos estacionarios de aire acondicionado. Además puede ser de utilidad en aplicaciones distintas a las del acondicionamiento de aire y refrigeración. El R-134a es un fluorocarbono que no contiene cloro por tanto, no representa un potencial de afectación a la capa de ozono. Los fluorocarburos que contienen cloro han estado asociados a la reducción de la capa de ozono en la atmósfera de la tierra.

### 2.23.4 Refrigerante R-22

Este refrigerante es similar al R-12 en sus características, sin embargo tiene presiones de saturación más altas para temperaturas equivalentes. Tiene un calor latente de evaporación mucho mayor y un volumen específico inferior.

Por lo anterior tiene una capacidad de refrigeración mucho mayor. Esto permite el uso de menor desplazamiento en el compresor, resultando en algunos casos compresores más pequeños para obtener resultados comparables con R-12.

Por sus características a bajas temperaturas de evaporación y alto índice de compresión la temperatura del vapor R-22 comprimido es tan alto que frecuentemente daña al compresor. Por tal motivo se recomienda para sistemas de un solo paso, aun cuando es usable en baja temperatura en sistemas de varios cuando la temperatura del vapor es controlada.

### 2-23.5 Refrigerante R-502

Es una mezcla azeotrópica del R-22 y R-115. Esta mezcla tiene características diferentes a las de sus componentes y puede evaporarse y condensarse sin cambiar su composición.

Este refrigerante es recomendado para usos en bajas temperaturas por sus excelentes características y también para todas las aplicaciones de un solo paso donde la temperatura de evaporación sea inferior a  $-17.8^{\circ}\text{C}$  ( $0^{\circ}\text{F}$ ). También es muy satisfactorio su uso en sistemas de doble paso y en aplicaciones para temperaturas extra bajas.

### 2.23.6 Evaporación del refrigerante

Supongamos que el refrigerante en un sistema tiene su temperatura equilibrada con la temperatura exterior, si en vez de cambiar la temperatura exterior, se disminuye la presión del sistema, se reducirá el punto de saturación, por lo que la temperatura del refrigerante líquido se encontrará por encima de su punto de ebullición y comenzará a hervir violentamente absorbiendo calor del proceso y gasificándose conforme se produce el cambio de estado. Ahora fluirá el calor del exterior del sistema debido a la baja temperatura del refrigerante, y a la ebullición continuará hasta que la temperatura exterior se reduzca a la temperatura de saturación del refrigerante, o hasta que la presión del sistema aumente

nuevamente a la presión de saturación equivalente a la temperatura exterior. Si existe un medio, como un compresor para sustraer el vapor del refrigerante para que no aumente la presión mientras que el refrigerante esta siendo inyectado en el sistema, podrá haber una refrigeración continua.

### **2.23.7 Condensación del refrigerante**

Una vez más supongamos que el refrigerante se encuentra dentro de un sistema con su temperatura igualada a la temperatura exterior. Si se introduce gas refrigerante caliente en el sistema, la presión se eleva aumentando el punto de saturación.

El calor originado por el calor latente de condensación fluye del sistema hacia el exterior hasta que la presión en el sistema se reduce a la presión de saturación equivalente a la temperatura exterior. Si existe algún medio tal como un compresor para mantener una alimentación de gas caliente en alta presión, mientras que al mismo tiempo el refrigerante líquido es sustraído, ocurrirá una condensación continua.

### **2.23.8 Relaciones de refrigerantes y aceites**

En compresores recíprocos el aceite y el refrigerante se mezclan continuamente, los aceites de refrigeración son solubles en refrigerante líquido y a temperaturas normales en una cámara se mezclan completamente. A la capacidad de un refrigerante líquido para mezclarse con el aceite se llama miscibilidad. Estos tipos de aceites son altamente refinados y especialmente preparados para la refrigeración.

Puesto que el aceite debe pasar por los cilindros del compresor para lubricarlos, siempre circula una pequeña cantidad de aceite con el refrigerante; el aceite y el gas refrigerante no se mezclan fácilmente, y el aceite solo puede circular correctamente a través del sistema si las velocidades del gas son suficientemente altas para barrer el aceite. Si las velocidades no son adecuadas el aceite se quedara estacionado en la parte inferior de los tubos disminuyendo la transmisión de calor causando falta de aceite en el compresor. Excesivo refrigerante en el cárter del compresor puede dar por resultado una espuma violenta en ebullición expulsando fuera del cárter todo el aceite y causando problemas de lubricación.

Por lo tanto debe tenerse precaución para prevenir la acumulación de refrigerante en el compresor.

## **2.24 ACCESORIOS**

### **2.24.1 Termostato**

Es un interruptor eléctrico accionado por la presión de un gas contenido en el bulbo sensor y en el tubo capilar. Este interruptor puede ser de dos tiros o de tiro sencillo con un polo, en ambos casos, se conecta a la posición normalmente cerrada, o sea que estando el bulbo a la temperatura ambiente el interruptor eléctrico debe estar cerrado y cuando se enfría el bulbo a la temperatura de ajuste del control estará abierto. Lo anterior se debe a que el gas contenido en bulbo

sensor a mayor temperatura desarrolla mayor presión y al enfriarse su presión disminuye. Su accionamiento puede ser destinado a controlar una válvula solenoide o a controlar la bobina de retención del arrancador del motor del compresor.

#### **2.24.2 Presostato**

Es un interruptor eléctrico accionado por la presión del gas refrigerante del sistema. Esto se consigue interconectando los elementos de poder del control con las conexiones existentes en el compresor para ese fin. En el momento en que una unidad se pone en operación, la presión en el lado de baja disminuye y la presión del lado de alta aumenta; si las condiciones de operación no son las adecuadas la presión registradas en el lado de baja puede disminuir y alcanzar un valor menor que el de ajuste de control y el interruptor eléctrico abrirá el circuito deteniéndose la unidad.

También puede darse el caso con el lado de alta presión, en donde ésta se incrementa a un valor mayor al que se tiene ajustado el control y al suceder esto, el circuito eléctrico se abre y detiene la unidad.

Su accionamiento es destinado a controlar la bobina de retención del arrancador del motor del compresor.

#### **2.24.3 Calefactor del cárter**

Es una resistencia eléctrica que aunque en algunos casos si no se emplea para calentar el cárter, si para el aceite contenido en el, ya que se instala inmerso en el lubricante.

Su finalidad es reducir la cantidad de refrigerante diluido en el aceite depositado en el cárter durante los ciclos de paro.

#### **2.24.4 Filtro deshidratador**

El deshidratador contiene un agente desecante y filtrante o también puede ser de triple acción, desecante, neutralizador de ácidos o retenedor de los mismos y filtrante (fig. 2.28).

El agente comúnmente conocido como sílica en forma de perlas, es un elemento químico a base de bióxido de silicio y es un desecante de tipo de absorción.

Existen también en forma granulada y compactada conocidos como piedras desecantes y son a base de sulfato anhídrido de calcio, siendo un desecante del tipo de absorción.<sup>14</sup>

#### **2.24.5 Indicador de líquido y humedad**

Básicamente es una mirilla de cristal con elemento reactivo a la presencia de la humedad y es instalado en la línea de líquido entre el deshidratador y la válvula solenoide.

---

<sup>14</sup> Toda la información de accesorios fue tomada del manual del curso de capacitación técnica. Curso básico, Impartido por el ing. Gildardo Yañez Angli.

CAPITULO II: REFRIGERACION COMERCIAL

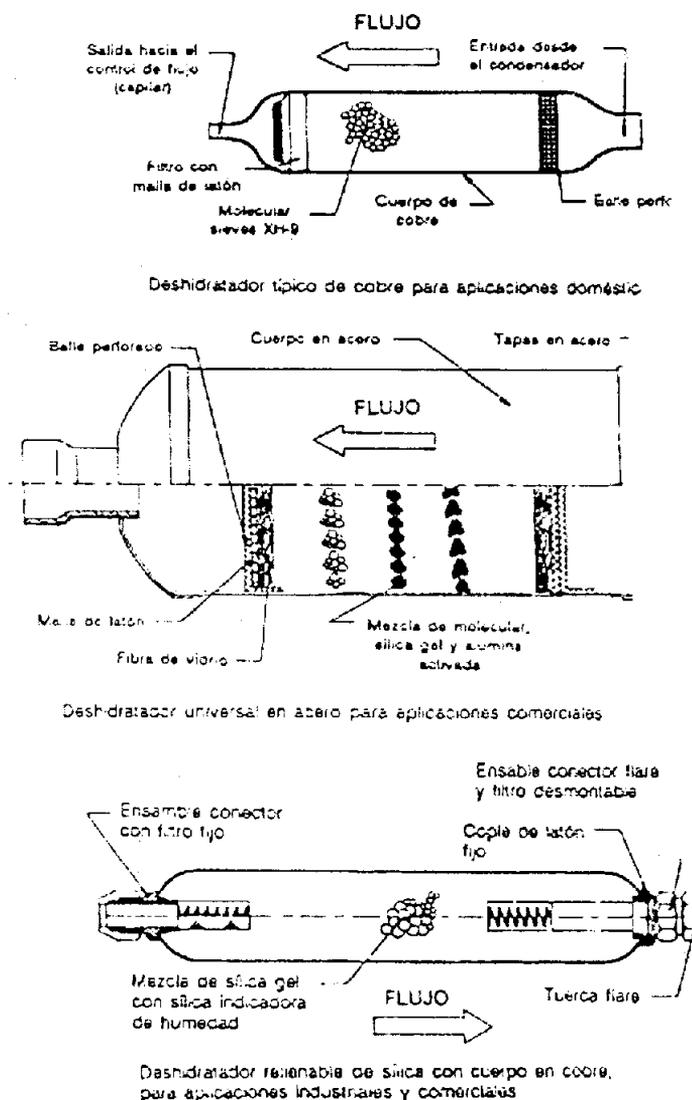


Figura 2.28 Diferentes diseños de deshidratadores para refrigeración mas comúnmente utilizados actualmente.

Al estar en operación la unidad de refrigeración, el cristal se debe observar transparente y el indicador de humedad debe estar de acuerdo al color que indique ausencia de humedad (según la marca) (fig. 2.29).

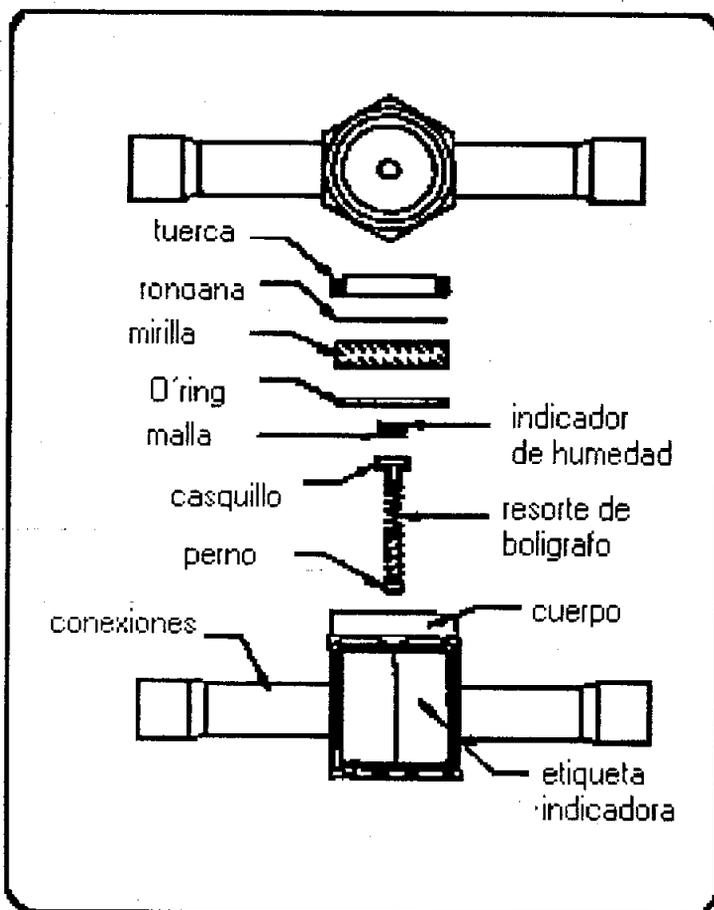


Figura 2.29 Dibujo explosionado de una mirilla e indicador de humedad, mostrando sus componentes constructivos.

### 2.24.6 Válvula solenoide

Es una válvula de paso accionado por un solenoide normalmente cerrada y se emplea como dispositivo de protección del compresor ya que al detenerse el funcionamiento del mismo la válvula deberá cerrarse y evitar que continúe el paso de refrigerante líquido proveniente del receptor hacia el evaporador. La protección consiste en que se evita la acumulación de refrigerante en el evaporador y si esto sucediera, en el momento del arranque del equipo llegaría cierta cantidad de refrigerante líquido al compresor dañándolo por el fenómeno conocido como golpe de líquido.

### 2.24.7 Separador de aceite

La función básica de un separador de aceite, es proteger al compresor asegurando el retorno del aceite del sistema al cárter del compresor, su funcionamiento es el siguiente:

El separador de aceite se instala en el tubo de descarga a la salida del compresor, entre este y el condensador. El refrigerante comprimido que contiene aceite en forma de neblina, penetra por la abertura de entrada y pasa por la placa deflectora de entrada, cuyo diámetro, es mayor que el tubo de descarga reduciendo por consiguiente, la velocidad del refrigerante. Sin embargo, como las partículas de aceite tienen mas impulso y menos fuerza, chocan contra la superficie de las placas deflectoras y se escurren hasta el fondo de la cubierta, permaneciendo ahí hasta que el nivel de aceite sube para abrir la válvula de flotación y hacer que el refrigerante regrese al cárter impulsado por la presión de descarga que es mayor que la del cárter del compresor, a través del tubo de retorno.

Al ir saliendo el refrigerante del separador de aceite, pasa por otra serie de placas deflectoras, en donde las partículas mas finas de aceite son recogidas, a medida que el refrigerante se acelera, hasta adquirir su velocidad inicial pasando exento de aceite al condensador. (fig. 2.30)

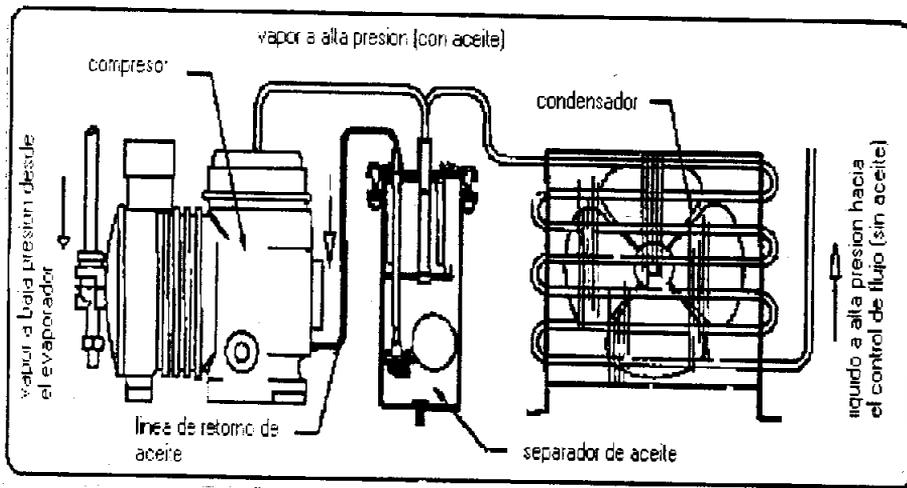


Figura 2.30 Diagrama de conexión de separador de aceite.

### 2.24.8 Válvula de paso

Este elemento se utiliza en sistemas de refrigeración y aire acondicionado, su función es interrumpir el flujo de refrigerante cuando se requiere hacer un mantenimiento o aislar un área específica del sistema, se instalan tanto en la línea de líquido como en la línea de gas. (fig. 2.31)

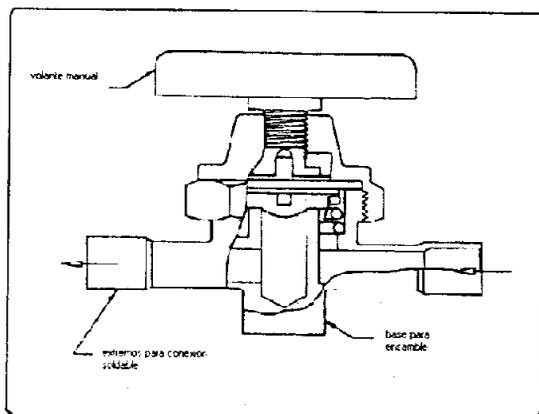


Figura 2.31 Dibujo esquemático de una válvula de paso.

#### 2.24.9 Trampa de succión

La trampa de succión es un elemento auxiliar cuya función es retener el refrigerante en estado líquido; se instala en la línea de succión entre el evaporador y el compresor.

#### 2.24.10 Eliminador de vibración

Con el objeto de evitar que la vibración procedente del compresor sea transmitida a las tuberías del sistema de refrigeración, es conveniente que se instalen eliminadores de vibración, estos se pueden colocar en la línea de descarga como en la línea de succión. Siempre paralelos al cigüeñal o a la flecha. (fig. 2.32)

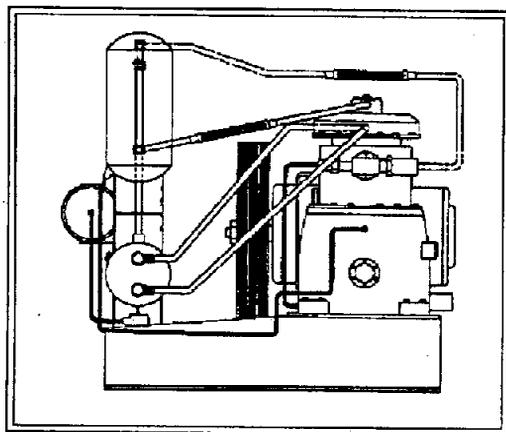


Figura 2.32 Instalación de absorbedores en líneas de succión y descarga con orientación paralela al eje del compresor.

### 2.24.11 Reloj de deshielo

Este elemento de control se utiliza para efectuar el descongelamiento del evaporador cuando este se encuentre bloqueado por el acumulamiento de hielo en el serpentín.

Este elemento asegura que el descongelamiento se lleve a cabo en forma regular y en el momento adecuado; ya que estos se fabrican con ciclos de 24 horas e intervalos de descongelamiento hasta de 120 minutos.

Existen diversos tipos de circuitos de control de descongelamiento, tales como momento de inicio, momento de terminación, temperaturas de terminación o presión de terminación.

Normalmente en los circuitos con finalización por presión o temperatura se fija una finalización de tiempo límite en el caso de que el ciclo de descongelación por cualquier razón se prolongue anormalmente.

## CAPITULO III: CONCEPTOS BÁSICOS DE PLC (Controlador Lógico Programable)

### 3.1 CONCEPTOS BÁSICOS

"La automatización de una maquina o proceso consiste en la incorporación de un dispositivo tecnológico que se encarga de controlar su funcionamiento. El sistema que se crea con la incorporación del dispositivo, denominado genéricamente automatismo, es capaz de reaccionar ante las situaciones que se presentan, ejerciendo la función de control para la que ha sido concebido".<sup>15</sup>

La información de que se sirve la UNIDAD DE CONTROL es recogida por un conjunto de elementos denominados captadores, que la preparan o transforman adecuadamente. Por otra parte la unidad de control genera unas ordenes que se transmiten a la maquina o proceso a través de accionadores o actuadores; Los accionadores transforman las ordenes recibidas en magnitudes o cambios físicos en el sistema mediante una aportación de potencia.

Son factores fundamentalmente económicos los que causan la aparición de los automatismos, e impulsan su desarrollo, apoyados en la evolución de la tecnología. En un entorno altamente competitivo se trata de conseguir:

- Alcanzar un nivel de calidad constante.
- Producir las cantidades necesarias en el momento preciso.
- Mejorar la productividad y disminuir los costes.
- Adaptarse con facilidad y en breve tiempo a los cambios del mercado.

La evolución tecnológica ha permitido la realización de automatismos cada vez más complejos. El nivel de automatización no ha dejado de elevarse, desde las primeras y elementales funciones de vigilancia o enlace en operaciones generalmente conducidas por el operador a nivel maquina, pasando por el control total de una maquina compleja, hasta llegar al complejo control de un proceso productivo.

Las tecnologías empleadas en la automatización pueden clasificarse en dos grandes grupos: tecnologías cableadas y tecnologías programadas o programables.

En la siguiente figura (3.1) se muestran varios tipos de representación de compuertas en forma neumática, eléctrica, compuertas lógicas y tablas de verdad.

<sup>15</sup> Klockner, Moeller. Automation with Programmable Controllers, An introduction for Beginners. Pag. 14

COMPUERTAS	NEUMATICA	ELECTRICA	PLC	COMPUERTA LOGICA	TABLA DE VERDAD															
AND				 	<table border="1"> <thead> <tr> <th>E1</th> <th>E2</th> <th>A</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>0</td> <td>1</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> </tbody> </table>	E1	E2	A	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	1	1
E1	E2	A																		
0	0	0																		
0	1	0																		
1	0	0																		
1	1	1																		
OR				 	<table border="1"> <thead> <tr> <th>E1</th> <th>E2</th> <th>A</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>0</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>0</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> </tbody> </table>	E1	E2	A	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1
E1	E2	A																		
0	0	0																		
0	1	1																		
1	0	1																		
1	1	1																		
NOT				 	<table border="1"> <thead> <tr> <th>E</th> <th>A</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>0</td> <td>1</td> </tr> </tbody> </table>	E	A	1	0	0	1									
E	A																			
1	0																			
0	1																			
AND NOT				 	<table border="1"> <thead> <tr> <th>E1</th> <th>E2</th> <th>A</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>0</td> <td>1</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> </tbody> </table>	E1	E2	A	1	1	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0
E1	E2	A																		
1	1	1																		
0	1	0																		
1	0	0																		
0	0	0																		

Figura 3.1 Diferentes formas de representación de compuertas.

### 3.2 DEFINICIÓN DE CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE

"Un controlador lógico programable es una computadora industrial, que acepta entradas de interruptores y sensores, evalúa estas entradas de acuerdo al programa que tiene almacenado y genera salidas para controlar maquinas y procesos". (ver fig. 3.2) La definición aproximada de la ISA (instrument Society of America) es:

"Dispositivo electrónico basado en el microprocesador, que sustituye las funciones de relevadores, timers y contadores de pulsos, que puede recibir señales analógicas, efectuar operaciones aritméticas, que se puede instalar en ambientes industriales y se programa fundamentalmente en lenguaje de lógica de escalera".<sup>16</sup>

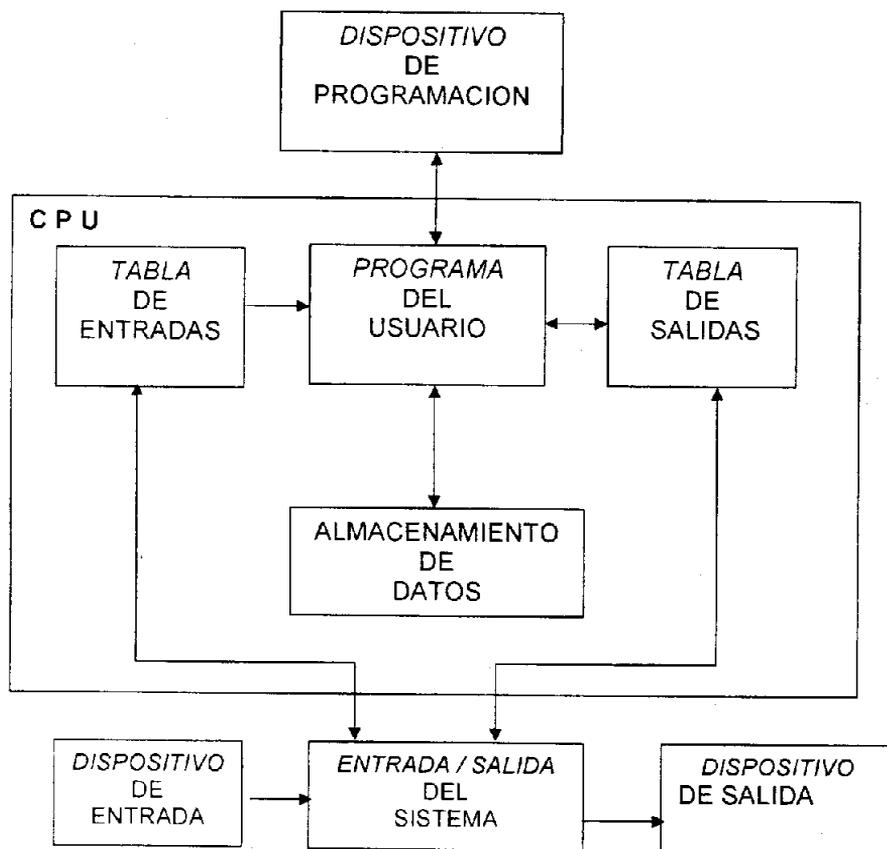


Figura 3.2 Diagrama de bloques básico de un PLC.

<sup>16</sup> Definición tomada de los apuntes del curso de controladores lógicos programables. Tomados en Centro de Estudios Técnicos N° 1, del Instituto Politécnico Nacional.

### 3.3 COMPUERTAS

Cuando se desea cambiar el estado de tensión de un cable se puede, por ejemplo, accionar una llave que realice este proceso. Mediante un dispositivo electrónico llamado compuerta lógica se puede conmutar el nivel de tensión de un cable conectado a su salida cambiando adecuadamente la combinación de niveles de tensión existente en los cables que llegan a las entradas de dicha compuerta.

La denominación de compuerta proviene del hecho de que este dispositivo puede usarse para permitir o no que el nivel que llega a un cable de entrada se repita en el cable de salida. El término lógica se debe a que en esencia una compuerta realiza electrónicamente una operación lógica, de forma tal de que a partir de una combinación de valores lógicos existentes en las entradas obtiene un valor lógico (1 ó 0) en su salida. El comportamiento de una determinada compuerta a todas las combinaciones posibles de valores lógicos de entrada se resume en una tabla de funcionamiento o tabla de verdad. Este último nombre proviene claramente de la analogía con las tablas de verdad de la lógica proposicional.

#### 3.3.1 Compuerta OR

Una compuerta OR de dos entradas es un dispositivo electrónico que presenta dos entradas, a las cuales llegan los niveles de tensión de dos cables (A y B), y una salida. Esta genera en el cable (Z) un nivel que depende de los niveles existentes en las entradas de la forma indicada en la figura 3.3.

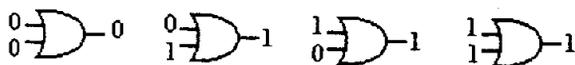


Figura 3.3 Compuerta OR.

El comportamiento eléctrico se resume en la *tabla de funcionamiento* de la figura 3.4, que representa la respuesta en la salida de la compuerta para todas las combinaciones posibles de niveles que pueden darse en las entradas.

A	B	Z
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

Figura 3.4 Tabla de funcionamiento.

En definitiva, una compuerta OR acepta como datos de entrada dos valores  $x_1$  y  $x_2$ , que son bits, y produce un dato de salida que es precisamente  $x_1 \rightarrow x_2$ .

### 3.3.1.1 Operación suma lógica

La compuerta OR realiza una operación que simbolizaremos con el operador binario representado por el signo "+" que indica esta operación definida por la tabla de verdad de la figura 3.5, la cual contempla todos los casos posibles. Se denomina suma lógica u *operación OR*, siendo que coincide formalmente hasta el tercer renglón de la tabla con la suma aritmética, aunque el significado de los valores lógicos 1 y 0 es distinto que el de los valores aritméticos 1 y 0, como ya se ha aclarado.

A	B	Z	
0	0	0	$0 + 0 = 0$
0	1	1	$0 + 1 = 1$
1	0	1	$1 + 0 = 1$
1	1	1	$1 + 1 = 1$

Figura 3.5 Tabla de verdad.

Dado que los valores lógicos de cada suma corresponden a las variables **A**, **B** y **Z**, en forma sintética podemos expresar.

$Z = A + B$ , y se lee **Z** es igual a **A** o **B**.

### 3.3.1.2 Compuerta OR de más de dos entradas

En una compuerta OR de un número cualquiera **n** de entradas (figura 3.6) a las que llegan igual número de cables designados **A**, **B**, ..., **N**, el cable **Z** conectado en su salida estará en un nivel alto si **A** o **B** o **C** o... o **N** está en el nivel alto, o sea, si uno o más de dichos cables está en nivel alto.

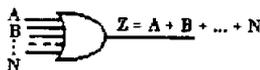


Figura 3.6 Compuerta de mas de dos entradas.

### 3.3.2 Compuerta AND

Una compuerta AND de dos entradas (Figura 3.7) es un dispositivo electrónico que presenta dos entradas, a las cuales llegan los niveles de tensión de dos cables (**A** y **B**), y una salida. Esta genera en el cable (**Z**) un nivel que depende de los niveles existentes en las entradas de la forma indicada en la figura 3.8. Este comportamiento eléctrico se resume en la *tabla de funcionamiento* de la figura 3.9.

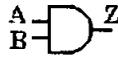


Figura 3.7 Compuerta AND.

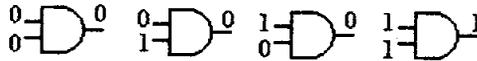


Figura 3.8 Diferentes tipos de combinaciones.

A	B	Z
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

Figura 3.9 Tabla de funcionamiento.

### 3.3.2.1 Operación producto lógico

A la compuerta AND la simbolizaremos con el operador binario representado por ". Se denomina producto lógico por coincidir simbólicamente los resultados de los productos lógicos y numéricos. (Fig. 3.10)

A	B	Z	
0	0	0	$0 \cdot 0 = 0$
0	1	0	$0 \cdot 1 = 0$
1	0	0	$1 \cdot 0 = 0$
1	1	1	$1 \cdot 1 = 1$

Figura 3.10 Tabla de funcionamiento.

Puesto que los valores lógicos de cada producto corresponden a las variables A, B y Z, en forma simbólica podemos expresar:

$Z = A \cdot B$ , y se lee Z igual a A por B. (fig. 3.11 y 3.12)

Así:

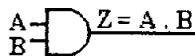


Figura 3.11 Forma simbólica de la compuerta AND.

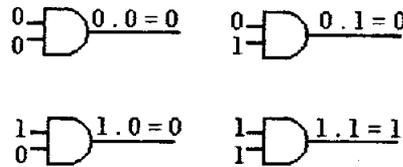


Figura 3.12 Forma representativa de la compuerta AND.

Como en el caso de la compuerta OR, en la compuerta AND también podemos tener más de dos entradas. En ese caso, el cable Z estará en nivel alto sólo si todos los cables de entrada están en este nivel. De lo contrario, Z estará en nivel bajo.

### 3.3.3 Compuerta Inversor

Una compuerta inversor o *inversora* (Figura 3.13) es un dispositivo electrónico que genera en el cable que está en su salida un nivel de tensión alto si el cable que está en su entrada presenta un nivel bajo, y viceversa. Esto se indica en la figura 3.14, y se resume en la tabla de funcionamiento de la figura 3.15.

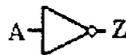


Figura 3.13 Compuerta inversora.

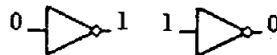


Figura 3.14 Niveles de tensión en compuertas inversoras.

A	Z	
0	1	$\bar{0} = 1$
1	0	$\bar{1} = 0$

Figura 3.15 Tabla de funcionamiento.

Decimos entonces que los cables A y Z son complementarios, o que uno es el inverso del otro, o que están en oposición. Incluso puede decirse que uno es la negación del otro.

### 3.3.3.1 Operación negación

La tabla de la figura 3.15 define la operación inversión que realiza la compuerta inversora. Dado que  $Z$  vale  $1$  cuando  $A$  no vale  $1$ , y que  $Z$  vale  $0$  cuando  $A$  no vale  $0$ , podemos decir que  $Z$  es *no A*. Escribimos entonces:

$$Z = \bar{A}$$

El símbolo de la barra sobre la variable booleana indica la operación de negación que el inversor realiza sobre los valores de la misma. En particular,  $\bar{0} = 1$  y  $\bar{1} = 0$ .

Dados dos cables que están en oposición, resulta indiferente cuál se designa  $A$  y cual  $\bar{A}$ . Si el cable  $A$  está con el valor lógico  $0$ , algebraicamente en el otro cable el valor lógico será:  $\bar{A} = \bar{0} = 1$ .

Cabe mencionar que en general un círculo (figura 3.16) denota inversión, esté o no acompañado del triángulo, como en la figura 3.17.

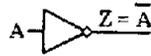


Figura 3.16 Compuerta negación.

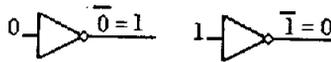


Figura 3.17 Diferentes formas de negación en compuertas.

### 3.3.3.2 Doble negación

En la figura 3.18 se han dispuesto dos inversores en serie, de modo que el cable  $\bar{A}$  que está a la salida del primero sea a su vez la entrada del segundo inversor. El cable a la salida del segundo inversor está en oposición al cable  $\bar{A}$ , por lo cual debemos indicarlo como  $\bar{\bar{A}}$ . Es claro que este último cable tendrá un nivel de tensión que coincidirá con la del cable de entrada del primer inversor. Así,  $\bar{\bar{A}} = A$ .

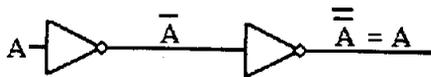


Figura 3.18 Inversores en serie.

### 3.3.4 Compuerta XOR

Una compuerta XOR u *OR excluyente* (Figura 3.19) de dos entradas es un dispositivo electrónico que presenta dos entradas, a las cuales llegan los niveles de tensión de dos cables (A y B), y una salida, que genera en el cable (Z) un nivel que depende de los niveles en las entradas de la forma indicada en la figura 3.20.



Figura 3.19 OR excluyente.

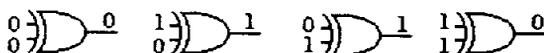


Figura 3.20 Diferentes niveles en las compuertas.

El comportamiento eléctrico de la compuerta XOR se resume en la tabla de la figura 3.21, que difiere de la tabla de la compuerta OR (figura 3.4) sólo en el último renglón.

A	B	Z
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0

Figura 3.21 Tabla de funcionamiento.

Esta compuerta es importante dado el hecho ya señalado de la imposibilidad de que un cable pueda estar con los dos niveles de tensión simultáneamente.

A la operación definida por esta compuerta la simbolizaremos con el operador binario representado por " $\oplus$ ", y todas las combinaciones posibles se detallan en la figura 3.22. A la operación se la denomina "*operación OR exclusiva*".

A	B	Z	
0	0	0	$0 \oplus 0 = 0$
0	1	1	$0 \oplus 1 = 1$
1	0	1	$1 \oplus 0 = 1$
1	1	0	$1 \oplus 1 = 0$

Figura 3.22 Tabla de funcionamiento.

Puesto que los valores lógicos de cada producto corresponden a las variables **A**, **B** y **Z**, podemos expresar:

$Z = A \oplus B$ , y se lee **Z** es igual a **A** OR excluyente **B**.

Resulta entonces lo que muestran las siguientes figuras 3.23 y 3.24.

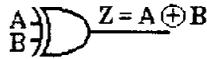


Figura 3.23 Representación simbólica.

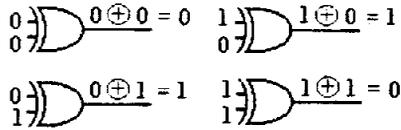


Figura 3.24 Representación gráfica.

### 3.3.5 Compuertas combinadas con inversores

#### 3.3.5.1 Compuertas con inversores en sus entradas

Una compuerta OR con un inversor en su entrada **A** se puede dibujar de las dos formas indicadas en la figura 3.25, dado que un círculo denota negación.

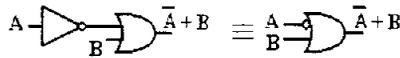


Figura 3.25 Compuerta OR con inversor en la entrada

Lo que hace es realizar la suma lógica  $\bar{A} + B$  (que se lee *no A o B*) cuyos resultados se detallan en la tabla de la figura 3.26. En la última columna se calcularon algebraicamente los resultados.

A	B	$\bar{A} + B$	
0	0	1	$\bar{0} + 0 = 1 + 0 = 1$
0	1	1	$\bar{0} + 1 = 1 + 1 = 1$
1	0	0	$\bar{1} + 0 = 0 + 0 = 0$
1	1	1	$\bar{1} + 1 = 0 + 1 = 1$

Figura 3.26 tabla de funcionamiento.

De la misma forma pueden deducirse las dos combinaciones de compuertas (figura 3.28) que se muestran en la figura 3.27, y que realizan las operaciones "A ó no B" y "no A ó no B".

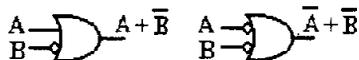


Figura 3.27 Combinaciones de compuertas.

A	B	$A + \bar{B}$	A	B	$\bar{A} + B$
0	0	1	0	0	1
0	1	0	0	1	1
1	0	1	1	0	1
1	1	1	1	1	0

Figura 3.28 Tabla de funcionamiento.

Igualmente pueden realizarse combinaciones de compuertas AND con una o más entradas negadas, que dan lugar a las operaciones definidas en las figuras 3.29.



Figura 3.31 Diferentes combinaciones en las compuertas.

El procedimiento realizado puede generalizarse a compuertas de cualquier número de entradas.

### 3.3.5.2 Compuertas con un inversor en su salida

Compuerta NOR: Una compuerta NOR (figura 3.32) es una compuerta OR con un inversor en su salida que complementa cada resultado que ésta genera, de modo de realizar una suma lógica negada. Como se observa en la figura, en lugar del inversor completo se dibuja el círculo que denota negación.

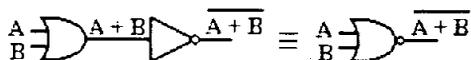


Figura 3.32 Compuerta OR con un inversor en la salida.

La tabla de funcionamiento se presenta en la figura 3.33., mostrando en la última columna los cálculos algebraicos.

A	B	$\overline{A+B}$	
0	0	1	$\overline{0+0} = \overline{0} = 1$
0	1	0	$\overline{0+1} = \overline{1} = 0$
1	0	0	$\overline{1+0} = \overline{1} = 0$
1	1	0	$\overline{1+1} = \overline{1} = 0$

Figura 3.33 Tabla de funcionamiento.

### 3.3.5.3 Compuerta NAND

Una compuerta **NAND** (figura 3.34) resulta de invertir la salida de una compuerta **AND**. La figura 3.35 muestra la tabla de funcionamiento y las operaciones algebraicas correspondientes.



Figura 3.34 Compuerta NAND.

A	B	$\overline{A \cdot B}$	
0	0	1	$\overline{0 \cdot 0} = \overline{0} = 1$
0	1	1	$\overline{0 \cdot 1} = \overline{0} = 1$
1	0	1	$\overline{1 \cdot 0} = \overline{0} = 1$
1	1	0	$\overline{1 \cdot 1} = \overline{1} = 0$

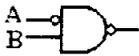
Figura 3.35 Tabla de funcionamiento.

### 3.3.5.4 Compuertas NOR y NAND con inversores en sus entradas

Invirtiéndolo los resultados de las tablas de las figuras 3.26, 3.28, 3.33 y 3.35 resultan las siguientes tablas, que representan las operaciones que realizan las combinaciones circuitales dibujadas abajo de las mismas.<sup>17</sup>

<sup>17</sup> Toda la información de compuertas fue tomada de la página de Internet. [www.Compuertas.com](http://www.Compuertas.com)

A	B	$\overline{A}B$	A	B	$A\overline{B}$	A	B	$\overline{A}\overline{B}$
0	0	1	0	0	1	0	0	0
0	1	0	0	1	1	0	1	1
1	0	1	1	0	0	1	0	1
1	1	1	1	1	1	1	1	1



A	B	$\overline{A+B}$	A	B	$\overline{A+B}$	A	B	$\overline{1 \cdot 1}$
0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	1	0	0	1	1	0	1	0
1	0	1	1	0	0	1	0	0
1	1	0	1	1	0	1	1	1



Figura 3.36 Tabla con resultados inversos de las tablas de las figuras 3.26, 3.28, 3.33, 3.35.

### 3.4 PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DEL PLC

En el PLC las instrucciones se almacenan en una memoria, que recibe el nombre de memoria de programa, el procesador recoge los estados de las señales de entrada y los almacena en otra memoria denominada tabla de E/S.

Así pues, en un PLC existe un tiempo de respuesta, cuya magnitud es función de la cantidad y complejidad de las instrucciones que forman el programa y de la velocidad con que se ejecutan; durante la resolución del programa "el equipo ignora la evolución externa de la maquina o proceso.

Los sistemas lógicos, o los sistemas electrónicos digitales como el PLC actúan dependiendo de variables discretas, es decir variables que pueden adquirir un número finito de valores.

La primera cuestión que puede plantearse ante una nueva aplicación, una vez descrito el algoritmo de control, es cual será la solución tecnológica que mejor se adapte a la implementación práctica de dicho algoritmo.

Supuesto que la tarea de control justifica la adopción de una tecnología programable, es necesario determinar mediante una evaluación de ventajas e inconvenientes, cual de las soluciones, diseño de un sistema microprocesador, empleo de PLC o la aplicación de un ordenador industrial, es la mejor para la realización practica del sistema de control.

Además de una evaluación de factores técnicos y económicos hay que considerar otros factores importantes, como el impacto que la solución adoptada, caso de significar una nueva tecnología en la planta, puede causar en el personal técnico de mantenimiento (necesidad de formación o reciclaje de personal, incorporación de especialistas).

En la actualidad es cada vez más difícil acotar los campos de aplicación de los equipos programables. En los ordenadores de proceso se hallan funciones propias de los autómatas y los fabricantes de estos equipos incorporan cada día soluciones particularizadas, lo que permite que realicen funciones antes reservadas a los controles de proceso.

Las soluciones aportadas por los PLC presentan una serie de ventajas:

1. Diseñados y construidos para su aplicación en ambiente industrial.
2. Son equipos flexibles, por su carácter programable
3. Son fáciles de instalar y reutilizables.
4. Construidos de forma que sea fácil el, mantenimiento y la localización de averías.
5. Pueden emplearse en múltiples tipos de tarea de control en una misma planta, lo que facilita el aprendizaje, permite un mayor conocimiento y explotación de prestaciones.
6. Su capacidad de comunicaciones permite la integración en la tarea global de control, o sistema de producción integrado.

### 3.4.1 Abreviaturas más comunes en PLC

PC	computadora personal o también control programable (personal computer or programmable controller)
PLC	control lógico programable (programmable logical controller)
CPU	unidad central de proceso (central process unit)
PS	fuelle de alimentación (power supply)
EPROM	memoria de solo lectura programable y borrrable por luz ultravioleta (erasable programmable read only memory)
EEPROM	memoria programable de solo lectura borrrable eléctricamente (electrical erasable programmable read only memory)
RAM	memoria de lectura y escritura volátil (read only memory)
CR	bastidor central (central rack)
ER	bastidor de expansión (expansion rack)
IP	periferia inteligente (intelligent periphery)
CP	procesador de comunicaciones (communications processor)
IM	modulo de interfaz (interface module)
ET	regleta de bornes electrónicos (electronic terminator)
PG	programador (programmer)
AG	controlador lógico programable (atomatizierungs geraet)
I	entrada (input)
Q	salida (output)
HW	equipos (hardware)
SW	programas (software)
AI	entrada analógica (analog input)

<b>AQ</b>	salida analógica (analog output)
<b>DI</b>	entrada digital (digital input)
<b>DQ</b>	salida digital (digital output)
<b>OB</b>	bloque de organización (organization block)
<b>PB</b>	bloque de programa (program block)
<b>FB</b>	bloque de funciones (functions block)
<b>DB</b>	bloque de datos (data block)
<b>DW</b>	palabra de datos (data word)

### 3.5 TIPOS DE MEMORIA

#### 3.5.1 Memoria de acceso aleatorio (RAM)

Esta memoria esta diseñada de tal manera que los datos o información pueden ser escritos o leídos desde una localidad única. La dirección de entrada a la RAM especifica la localidad del dato a ser leído o la localidad del dato a escribir dentro de esta. Los controladores programables en su mayoría usan la RAM con una batería de respaldo. La memoria RAM brinda excelentes resultados para una fácil creación y variación en el programa de control así como para permitir la entrada de datos. En comparación con otros tipos de memoria la RAM es relativamente más rápida. La única desventaja en la batería de soporte de la RAM es que utiliza una batería la cual pudiera fallar en tiempos críticos, pero que es suficiente para la mayoría de los PLC's.

#### 3.5.2 Memoria de lectura (ROM)

La memoria de lectura para almacenar permanentemente un programa. El cual normalmente nunca será cambiado. Como la memoria RAM, la ROM tiene una dirección de entrada para especificar la localidad de un dato a ser leído. La ROM esta diseñada para ser inmune a cambios debidos a ruido eléctrico o fallas de alimentación. El programa ejecutable o sistema operativo de un PLC se almacena generalmente en la memoria ROM. Los PLC no usan a la ROM para programas de aplicación con regularidad.

#### 3.5.3 Memoria de lectura programable (PROM)

La memoria PROM es un caso especial de la ROM que es inusual en la mayoría de los PLC's. Cuando se usa esta almacena datos permanentemente como algunos tipos de RAM. Aunque la PROM es programable y, como la ROM, tiene la ventaja de ser no volátil, tiene las desventajas de requerir un equipo especial para su programación, y que una vez programada, no puede ser borrada o modificada.

#### 3.5.4 Memoria de lectura programable borrable (EPROM)

La memoria EPROM es un tipo especial de PROM que puede ser reprogramada después de ser reprogramada después de ser completamente borrada usando una fuente de luz ultravioleta. La memoria EPROM puede ser considerada un dispositivo de almacenamiento temporal en el que se almacena un programa que esta listo para ser modificado. Muchos PLC's contiene el programa

de control en memorias EPROM como respaldo opcional para soporte de batería de la RAM. Con su capacidad de almacenamiento permanente combinado con la facilidad de modificación de la RAM, se crea un sistema de memoria conmutable.

**3.5.5 Tamaño de memoria**

El tamaño de la memoria es un factor importante para el diseño de los controladores programables para sistemas de control. La especificación del tamaño correcto de memoria puede ahorrar costos de hardware y posibles pérdidas de tiempo. El tamaño de memoria es generalmente expandible en la mayoría de los controladores programables. Los PLC's que manejan 64 ó mas dispositivos de entrada salida son usualmente expandibles en incrementos de 1k, 2k, 3k, etc. La memoria máxima en los PLC's mas grande es generalmente es de 64k.

El principal problema para determinar el tamaño de memoria para una aplicación es la complejidad del programa de control ya que no es determinada hasta que se prueba el equipo.

En el siguiente cuadro se resumen todos los tipos de memorias y sus características (fig. 3.37).

tipo de memoria	borrable	programable	memoria de seguridad en caso de falla eléctrica
RAM memoria de acceso aleatorio	eléctrica	eléctrica	volátil
ROM memoria solo de lectura	no es posible		no volátil
PROM ROM programable			
EPROM borrable	por fuente de luz ultravioleta	eléctrica	
EEPROM. PROM borrable eléctricamente	eléctrica		

Figura 3.37 Tipos de memorias.

### 3.6 DEFINICIONES

#### 3.6.1 BIT

El BIT es la unidad de información más pequeña. Solo puede tomar los valores de 0 y 1. Un BIT es suficiente para representar una señal binaria. (fig. 3.38)



Figura 3.38 Representación de un BIT.

#### 3.6.2 Byte

El byte es una unidad compuesta por 8 bits. Los bits se agrupan de derecha a izquierda tomando como número de BIT del 0 al 7. En un byte se puede representar el estado de hasta 8 señales binarias (uno por cada BIT). (fig. 3.39)

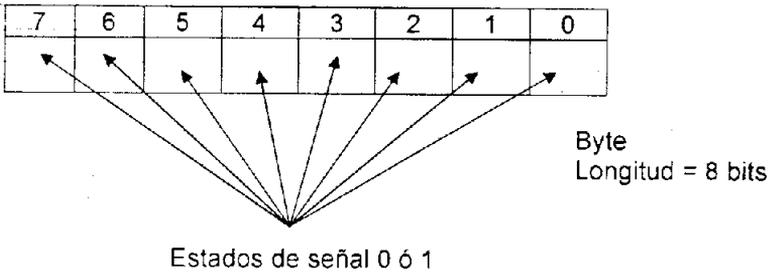


Figura 3.39 Representación de un Byte.

#### 3.6.3 Palabra

La palabra es una unidad mayor, compuesta por 16 bits y por lo tanto es igual a 2 bytes. Los bits se agrupan de derecha a izquierda tomando un número de BIT de 0 a 15. En una palabra se pueden representar hasta 16 señales binarias. (fig. 3.40)

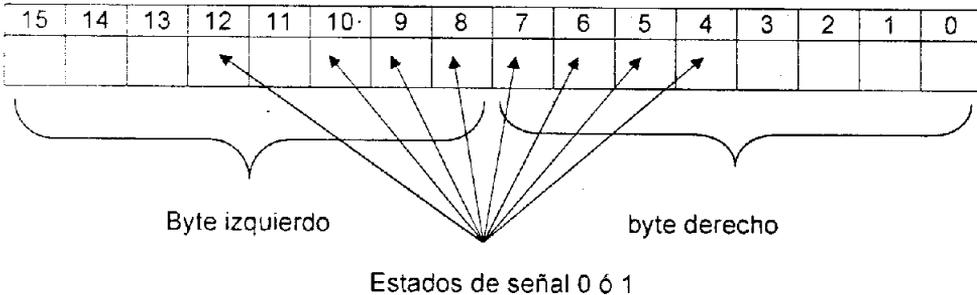


Figura 3.40 Representación de una palabra.

### 3.7 ESTRUCTURA INTERNA DE UN PLC (fig. 3.41)

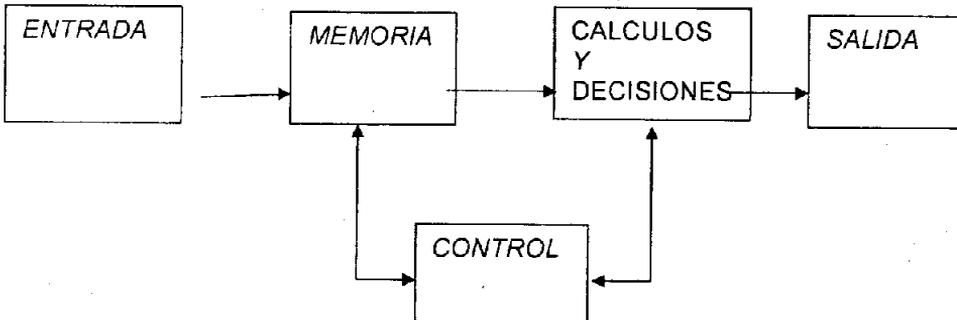


Figura 3.41 Estructura de un PLC.

### 3.8 ESTRUCTURA DE UN PLC

Un PLC se compone de las siguientes partes funcionales:

- Fuente de alimentación.
- Tarjetas de entrada.
- Tarjetas de salida.
- Unidad central de proceso (CPU).
- Bus de datos.
- Memorias.

Estas unidades son fundamentales en el PLC y cada una de ellas cumple con una función específica.

#### 3.8.1 Tarjetas de entrada

Las tarjetas de entrada reciben las señales del proceso y las adaptan a los niveles de señal internos del equipo, estas señales ya condicionadas viajan a través de un bus de datos hasta el CPU, el cual ejecuta el programa de control y en base al estado de las entradas se producen las señales de respuesta a dichas condiciones existentes.

#### 3.8.2 Tarjetas de salida

Las tarjetas de salida toman las señales de respuesta, elaborada por el CPU y realizan la conversión en sentido contrario, es decir que a partir del nivel de señal interno, las tarjetas producen el nivel adecuado para alimentar a relevadores, electroválvulas, lámparas, focos piloto, alarmas audibles y en general elementos finales de control. Las tarjetas de entrada y salida, constituyen la interfase entre los emisores de señal y los actuadores de la maquina y/o proceso que se desea controlar.

#### 3.8.3 Unidad central de proceso (CPU)

El CPU es el cerebro del PLC porque se encarga de ejecutar el programa existente en la memoria. Dependiendo de lo que el programa contenga, el CPU consulta si las entradas al aparato tienen o no tensión aplicada. En base a esto se

elabora un resultado y le ordena a las tarjetas de salida la conexión o desconexión de determinados contactos. Y con ello los elementos de control, como accionamiento, lámparas, focos piloto, solenoides, etc., son conectados o desconectados.

#### 3.8.4 Memoria de programa

El programa de control se almacena en la memoria de programa con la ayuda de la computadora, se escriben una a una las instrucciones del programa de control. Cuando se desee hacer cambios en la lógica o secuencia de control, basta con modificar el programa contenido en la memoria.

#### 3.8.5 Bus de datos

Es la vía por la que se intercambian todas las señales entre el CPU y las tarjetas de entrada y salida.

#### 3.8.6 Fuente de alimentación

Genera a partir de una tensión de suministro, la tensión de operación necesaria para que todos los elementos electrónicos del PLC funcionen, tales como el CPU, tarjetas de entrada, tarjetas de salida, etc.

La tensión de operación normalmente es mucho menor que la tensión de suministro. Sin embargo los circuitos de los dispositivos emisores y los circuitos de los dispositivos de control, requieren de tensión de trabajo de 24 VCD, 110 VCA, 220 VCA, etc., esta tensión es suministrada por fuentes de alimentación externas y no por la fuente de alimentación del PLC.

### 3.9 ESTRUCTURA DE UNA INSTRUCCIÓN DE CONTROL

Un controlador programable usa programas que están compuestos por instrucciones individuales, cada una de estas instrucciones determina las funciones del controlador programable, paso a paso (fijar instrucción). La instrucción completa consiste de una dirección, de una operación y de un operando.

#### 3.9.1 Dirección

Todas las instrucciones se ubican con un número en la memoria (dirección). El controlador programable manda la instrucción en el orden que se le pide al destinatario.

Después que el PLC ha efectuado la última instrucción comienza nuevamente con la primera instrucción en forma cíclica.

#### 3.9.2 Operación

La operación que mandamos se debe ejecutar:

- 1) Se examina el estado de la señal en el PLC si es entrada o salida:

L 10.1 leer la señal de estado de la entrada  
I0.1 dentro del registro de trabajo.

- 2) Determinación del tipo de secuencia:

O10.2 valorar la entrada I0.2 con la secuencia  
que tiene la entrada I0.1 = circuito paralelo.

- 3) Fijación y cancelación de una asignación:  
 = Q0.8 asignar el resultado de una secuencia a la salida N° Q0.8.

### 3.9.3 Operando

La operación es sustraída por el operando a la entrada y sale por una señal marcada. En el ejemplo anterior, esas son entradas I0.1, I0.2 y la salida es la Q0.8.

Son varios los datos que se necesitan para identificar los operandos.

- 1) La identificación: (el tipo de operando)

I para entrada.

Q para salida.

M para marcas.

- 2) Los parámetros: (el numero de entradas)

Si un PLC es modular y ha sido extendido por acoplamientos de varias unidades, los parámetros están compuestos de dos partes:

- a) Los componentes de la unidad. 0 = unidad maestra.

1 = primer esclavo.

2 = segundo esclavo, etc.

- b) El numero de entradas y salidas.

Así como se muestra en los ejemplos los dos números son separados por un punto. (ver fig. 3.42)

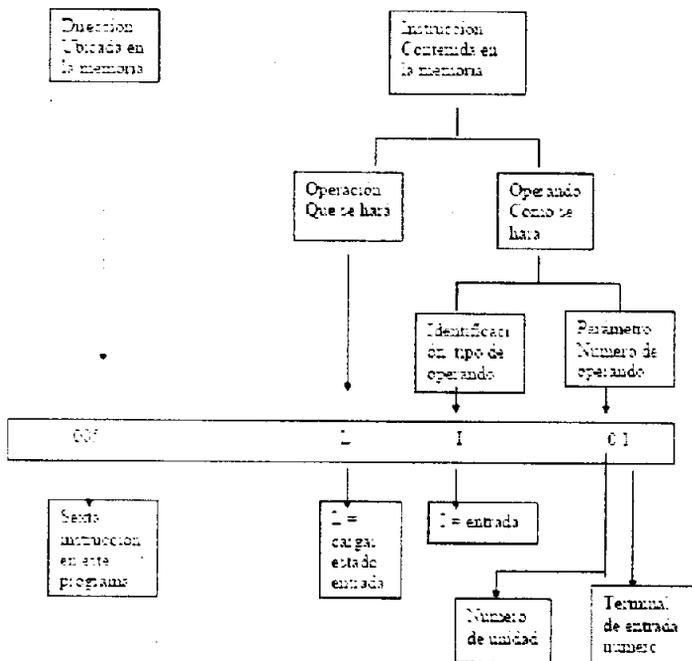


Figura 3.42 Estructura de una instrucción.

### 3.10 SELECCION DEL PLC

En el supuesto de que se adopte la solución del PLC para implementar el programa de control de determinada aplicación, se plantea ahora la necesidad de seleccionar, de entre la amplia oferta del mercado, el equipo mas adecuado. La decisión debe basarse en análisis sistemático de una serie de factores, pero considerando no solo las características actuales de la tarea de control, sino también las necesidades futuras en función de los objetivos de la empresa.

#### 3.10.1 Factores cuantitativos

Se refieren a la capacidad del equipo para soportar todas aquellas especificadas para el sistema de control, y se pueden agrupar en las siguientes categorías:

- Entradas / salidas: cantidad, tipo, prestaciones, ubicación, etc.
- Tipo de control: control de una o varias maquinas, proceso, etc.
- Memoria: cantidad, tecnología, expandibilidad, etc.
- Software: conjunto de instrucciones, módulos de programas, etc.
- Periféricos: equipos de programación, dialogo hombre maquina, etc.
- Físicos y ambientales: características constructivas, banda de temperatura, etc.

#### 3.10.2 Factores cualitativos

Una vez evaluados los factores correspondientes a las características técnicas y constructivas de los componentes del PLC y equipos periféricos, el número de equipos posibles para determinada aplicación quedará reducido a los ofrecidos por dos o tres firmas, y abra que decidir entre equipos de prestaciones muy similares.

En muchas ocasiones la decisión se basa en criterios comerciales y en general limitados al aspecto económico de la adquisición, pero hay que tener en cuenta otros aspectos que en definitiva tendrán una mayor influencia a medio plazo. Es el momento de evaluar factores menos tangibles que se ocultan en las mismas características del equipo y en las del fabricante o el suministrador del PLC.

- Ayudas al desarrollo del programa.
- Fiabilidad del producto.
- Servicios del suministrador.
- Normalización en planta.

### 3.11 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE UN PLC

#### 3.11.1 Ventajas:

- Reducido consumo de energía.
- Elevada seguridad de funcionamiento para fallos prematuros.
- Velocidad de trabajo muy elevada.
- Es flexible y versátil.
- Es muy confiable.
- Rápida modificación o ajuste del programa.

- En una falla eléctrica no pierde el programa de control almacenado.
- La instalación y programación del PLC puede ocurrir en paralelo.
- Puede ser utilizado en condiciones ambientales difíciles y peligrosas.
- Es recuperable la inversión realizada.
- Es aplicable en casi todos los campos de la industria.
- Es capaz de recibir y procesar información, para después ejecutar una acción correctiva previamente programada.
- En muchas ocasiones, reduce notablemente la cantidad de accidentes en áreas consideradas difíciles o peligrosas.
- No requiere de mucho mantenimiento.

### 3.11.2 Desventajas:

- Elevados costos de adquisición.
- Ausencia de un lenguaje de programación unificado.
- Refacciones costosas.
- Es complicado si no se sabe operar.
- Requiere por seguridad del PLC, regulación del voltaje de alimentación.
- Reduce notablemente el costo de mano de obra.
- En una falla eléctrica, pierde la secuencia del programa. Por lo que es necesario instalar un UPS adicional para el resguardo del programa.
- En algunas ocasiones, no es muy bien aceptado por los operadores que se resisten al cambio de control manual al control automático.
- Ausencia de normalización entre todas las marcas de PLC existentes.
- No realiza ninguna tarea, que no este previamente programada.
- Es necesario tener personal capacitado para realizar debidamente el mantenimiento de la instrumentación y del PLC<sup>18</sup>.

## 3.12 TIPOS DE PROGRAMACION

### 3.12.1 Programación en esquema de contactos

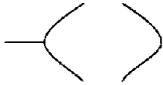
La programación en esquema de contactos permite crear programas con componentes similares a los elementos de un esquema de circuitos. El esquema de contactos es probablemente el lenguaje preferido de numerosos programadores y encargados del mantenimiento de sistemas de automatización, adecuándose también en gran medida para los programadores principiantes. Básicamente, los programas en esquema de contactos hacen que la unidad emule la circulación de corriente eléctrica desde una fuente de alimentación, a través de una serie de condiciones lógicas de entrada que, a su vez, habilitan condiciones lógicas de salida. Por lo general, la lógica se divide en unidades pequeñas y de fácil comprensión llamadas "segmentos" o "networks". El programa se ejecuta segmento por segmento, de izquierda a derecha y luego de arriba a abajo, según lo determine el programa. Tras alcanzar la unidad el final del programa, comienza nuevamente en la primera operación del mismo.

<sup>18</sup> Las ventajas y desventajas en un PLC fueron tomadas de curso impartido por el Ing. Abraham Rodas en IPN en febrero del 2002

Las operaciones se representan mediante símbolos gráficos que incluyen tres formas básicas: (fig. 3.43)



Contactos – representan condiciones lógicas de "entrada" similares a interruptores, botones, condiciones internas, etc.



Bobinas – representan condiciones lógicas de "salida" similares a lámparas, arrancadores de motor, relés interpuestos, condiciones internas de salida, etc.



Cuadros – representan operaciones adicionales tales como temporizadores, contadores u operaciones aritméticas.

A continuación se indican los aspectos principales a considerar cuando se desee utilizar la programación de esquema de contactos:

- La programación en esquema de contactos les facilita el trabajo a los programadores principiantes.
- La representación gráfica es a menudo fácil de comprender, siendo popular en el mundo entero.
- la programación en esquema de contactos se puede utilizar prácticamente en todas las marcas de PLC.
- La programación en lista de instrucciones siempre se puede utilizar para visualizar un programa creado en esquema de contactos.

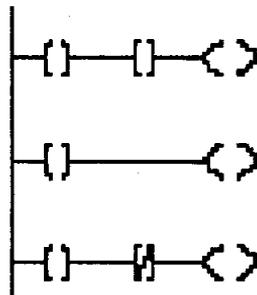


Figura 3.43 Programación en esquema de contactos.

### 3.12.2 Diagrama de funciones

La programación en Diagrama de funciones, permite visualizar las operaciones en forma de cuadros lógicos similares a los circuitos de puertas lógicas. En este tipo de programación no existen contactos ni bobinas como en la programación de esquema de contactos, pero sí hay operaciones equivalentes que se representan en forma de cuadros. La lógica del programa se deriva de las conexiones entre dichas operaciones de cuadro. Ello significa que la salida de una operación (p.ej. un cuadro AND) se puede utilizar para habilitar otra operación (p.ej. un temporizador) con objeto de crear la lógica de control necesaria. Dichas conexiones permiten solucionar fácilmente numerosos problemas lógicos, al igual que con los otros editores.

La figura siguiente (3.44) muestra un ejemplo de un programa creado en diagrama de funciones.

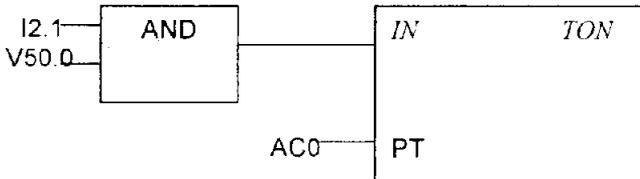


Figura 3.44 Programación en diagrama de funciones.

A continuación se indican los aspectos principales a considerar cuando se desee utilizar la programación de diagrama de funciones:

- El estilo de representación en forma de puertas gráficas se adecua especialmente para observar el flujo del programa.
- La programación en lista de instrucciones se puede utilizar para visualizar un programa creado en esquema de contactos.
- Los cuadros ampliables AND/OR facilitan la creación de combinaciones complejas de entradas.

### 3.12.3 Lista de instrucciones

La programación en lista de instrucciones permite crear programas de control introduciendo la nemotécnica de las operaciones. Por lo general, la programación en lista de instrucciones se adecua especialmente para los programadores expertos ya familiarizados con los sistemas de automatización (PLCs) y con la programación lógica. Esta programación también permite crear ciertos programas que, de otra forma, no se podrían programar en esquema de contactos ni en diagrama de funciones. Ello se debe a que programar en lista de instrucciones es el lenguaje nativo de la CPU, a diferencia de los programas

gráficos en los que son aplicables ciertas restricciones para poder dibujar los diagramas correctamente. El siguiente ejemplo muestra un programa en lista de instrucciones.

```

NETWORK 1
LD  I0.0
LD  I0.1
LD  I2.0
A   I2.1
OLD
ALD
=   Q5.0
    
```

Como se puede apreciar en el ejemplo, esta forma textual es muy similar a la programación en lenguaje ensamblador. La CPU ejecuta cada operación en el orden determinado por el programa, de arriba a abajo, reiniciando luego arriba nuevamente. La figura siguiente (3.45) muestra un programa sencillo en esquema de contactos y el correspondiente programa en lista de instrucciones.

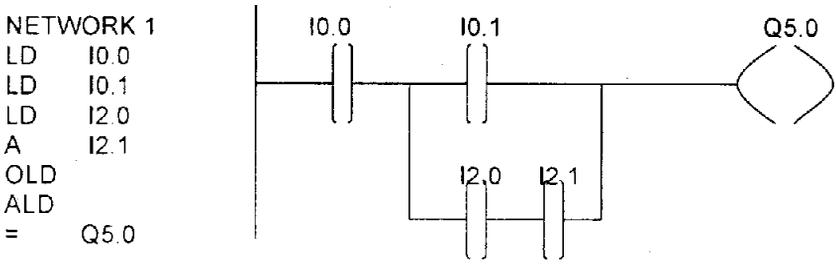


Figura 3.45 Programación en esquema de contactos y lista de instrucciones.

A continuación se indican los aspectos principales a considerar cuando se desee utilizar la programación en lista de instrucciones:<sup>19</sup>

- La programación en lista de instrucciones es más apropiada para los programadores expertos.

En algunos casos, la programación en lista de instrucciones permite solucionar problemas que no se podrían resolver fácilmente con las programaciones de contactos o diagrama de funciones.

<sup>19</sup> Todos los tipos de programación fueron tomados del programa LOGO de SIEMMENS y del Automation with Programmable Controllers. An Introduction for Beginners de MOELLER

## CAPITULO IV: PROYECTO

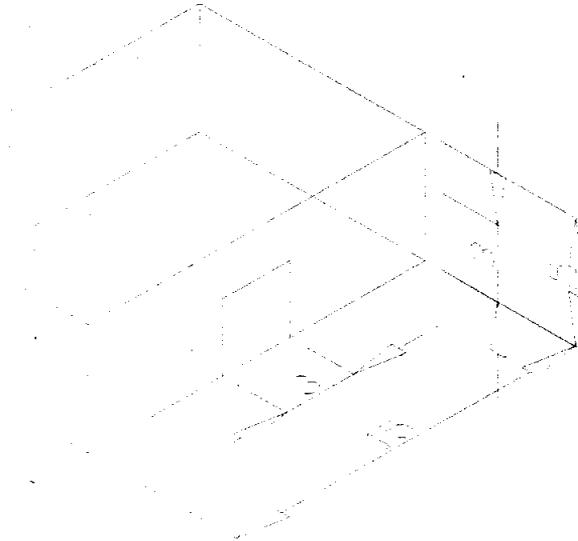
Nuestro proyecto empieza con la ubicación del terreno en donde se pretende instalar nuestro centro comercial. La ubicación es en el Distrito Federal.

En dicho centro comercial se pretenden instalar cámaras de refrigeración de carnes, frutas y verduras, lácteos, salchichonería, panadería, pescados y mariscos, isla de quesos, cámara de congelados de carnes.

A continuación se justificara la carga térmica de una cámara de refrigeración de carnes.

Justificación de la cámara de refrigeración de carnes.

Cámara de carne roja (res) carne fresca, las medidas de la cámara son las siguientes: (fig. 4.1)



**Figura 4.1** Dimensiones de la cámara de refrigeración de carnes,  
(Las cotas están en metros).

Este cálculo es solo para la cámara de carnes. Posteriormente se señala la cantidad y el tipo de carnes que se almacenaran en esta cámara frigorífica.

**4.1 Q<sub>1</sub> = CALOR GANADO A TRAVÉS DE PAREDES.**

1 pie = 0.3048 mts.

Todos estos cálculos están hechos en sistema ingles.

Área total de paredes:

$$Q_1 = Q_{pared\ 1} + Q_{pared\ 2} + Q_{pared\ 3} + Q_{pared\ 4}$$

$$A_{pared\ 1} = (32.80\ ft)(16.40\ ft) = 537.9\ ft^2$$

$$A_{pared\ 2} = (49.21\ ft)(16.40\ ft) = 807.04\ ft^2$$

$$A_{pared\ 3} = A_{pared\ 1} - A_{puerta}$$

$$A_{pared\ 3} = 807.04 - 96.82 = 710.22\ ft^2$$

$$A_{pared\ 4} = 710.22\ ft^2$$

$$A_{pared\ 5} = A_{pared\ 1} = 537.9\ ft^2$$

$$A_{pared\ 6} = 807.04\ ft^2$$

$$A_{totalpareds} = A_{pared\ 1} + A_{pared\ 2} + A_{pared\ 3} + A_{pared\ 4}$$

$$A_{totalpareds} = 537.9\ ft^2 + 710.22\ ft^2 + 537.9\ ft^2 + 807.04\ ft^2 = 2593.06\ ft^2$$

$$Q_{pareds} = (A_{pareds})(U_{aislante})(\Delta T_M)$$

**4.1.1 Condiciones de almacenamiento y diferencia de temperatura**

Ave corral 32

Carne credo 32-34

Carne res 32-34

Cordero 32-34

$$T_{ext} = 30^\circ C = 86^\circ F$$

$$T_{int} = 34^\circ F$$

$$\Delta T_{ext} = 86 - 34 = 52^\circ F$$

$$Q_{pareds} = (2593.06\ ft^2) \left( 2.04 \frac{BTU}{^\circ F ft^2 dia} \right) (52^\circ F) = 275071.8 \frac{BTU}{dia}$$

4.2  $Q_2$  = CALOR GANADO A TRAVÉS DE PISOS Y TECHOS.

$$Q_{piso} = A_{piso} \times U_{piso} \times \Delta T_n$$

Espesor hormigón 6 pulgadas desnudo.

$$0.59 \frac{BTU}{hr \cdot ^\circ F ft^2} \times 24 \frac{hrs}{día} = 14.16 \frac{BTU}{^\circ F ft^2 día}$$

$$Q_{piso} = (1614.08 ft^2) \left( 14.16 \frac{BTU}{día \cdot ^\circ F ft^2} \right) (52^\circ F) = 1188479.38 \frac{BTU}{día}$$

$$Q_{techo} = A_{techo} \times U_{techo} \times \Delta T_M$$

$$Q_{techo} = (1614.08 ft^2) \left( 2.04 \frac{BTU}{día \cdot ^\circ F ft^2} \right) (52^\circ F) = 171221.60 \frac{BTU}{día}$$

$$Q_2 = Q_{techo} + Q_{piso}$$

$$Q_2 = 171221.60 \frac{BTU}{día} + 1188479.38 \frac{BTU}{día} = 1359700.98 \frac{BTU}{día}$$

$$Q_3 = Q_{puerta} + Q_{ventana} \quad \text{Puerta con 2" de aislante}$$

$$Q_{puerta} = (A_{puerta}) (U_{aislante}) (\Delta T_n)$$

$$Q_{puerta} = (96.82 ft^2) \left( 2.04 \frac{BTU}{día \cdot ^\circ F ft^2} \right) (52^\circ F) = 10270.66 \frac{BTU}{día}$$

## 4.3 CALOR GANADO A TRAVES DE VENTANAS

$$Q_3 = 0$$

La carga térmica por ventana es cero ya que nuestra cámara no tiene ventanas.

4.4 Q<sub>4</sub> = INFILTRACIÓN DE AIRE PROCEDENTE DEL EXTERIOR.

$$Q_4 = \left( \text{volumen cámara} \right) \left( \frac{\text{cambio de aire}}{24 \text{hrs (tabla 8)}} \right) \left( \text{Factor uso (tabla 9)} \right)$$

$$\text{Volumen cámara} = (32.80 \text{ft})(492.1 \text{ft})(16.40 \text{ft}) = 2647104 \text{ft}^3$$

Tabla 8

25000	3.0	→	2.9 cambios
30000	2.7	→	

De tabla 9

H.R. = 60%

T<sub>int</sub> = 32 °F

T<sub>ext</sub> = 86 °F

$$Q_4 = \left( 26471.04 \text{ft}^3 \right) \left( 2.9 \frac{\text{cambio}}{\text{dia}} \right) \left( 2.16 \frac{\text{BTU}}{\text{ft}^3} \right) = 165814.59 \frac{\text{BTU}}{\text{dia}}$$

4.5 Q<sub>5</sub> = CALOR PERDIDO POR EL PRODUCTO

$$Q_5 = \begin{matrix} \text{Calor que} \\ \text{pierde} \\ \text{inmediatamente} \\ \text{al entrar a la} \\ \text{cámara} \\ \text{frigorífica} \end{matrix} + \begin{matrix} \text{Calor de respiración} \\ \text{(solamente la presentan} \\ \text{algunas frutas y} \\ \text{hortalizas).} \end{matrix}$$

5 toneladas	5 toneladas	3 toneladas	2 toneladas	2 toneladas
Q carne de res = 0.77	Q ave corral = 0.79	Q cerdo = 0.68	Q ternera = 0.71	Q carnero = 0.67

1 Libra = .4536 Kg.

$$(11022.92lb) \left( 0.77 \frac{BTU}{\text{°F ft día}} \right) (52^{\circ}F) = 441357.71 \frac{BTU}{\text{día}}$$

$$(11022.92lb) \left( 0.79 \frac{BTU}{\text{°F ft día}} \right) (52^{\circ}F) = 452821.551 \frac{BTU}{\text{día}}$$

$$(11022.92lb) \left( 0.68 \frac{BTU}{\text{°F ft día}} \right) (52^{\circ}F) = 389770.45 \frac{BTU}{\text{día}}$$

$$(4409.16 \text{ lb}) \left( 0.71 \frac{BTU}{\text{día °F lb}} \right) (52^{\circ}F) = 162786.18$$

$$(4409.16 \text{ lb}) \left( 0.67 \frac{BTU}{\text{día °F lb}} \right) (52^{\circ}F) = 153615.13$$

$$Q_5 = 1600351.02 \frac{BTU}{\text{día}}$$

#### 4.6 Q<sub>6</sub> = CALOR POR PERSONAS

$$Q_6 = \left( \text{número de personas} \right) \left( \frac{\text{calor disipado}}{\text{por persona}} \right) \left( \begin{array}{l} \text{número de horas que trabajan} \\ \text{dentro de la bodega} \end{array} \right)$$

$$= (3 \text{ personas}) \left( 950 \frac{BTU}{\text{hr persona}} \right) \left( 3 \frac{\text{hr}}{\text{día}} \right) = 8550 \frac{BTU}{\text{día}}$$

4.7  $Q_7$  = CALOR DE ILUMINACION

$$= (\text{número de watts}) \left( 3.41 \frac{\text{BTU}}{\text{hr watt}} \right) \left( \frac{\text{número de horas que esta encendida}}{\text{día}} \right)$$

$$= \left( 4 \text{ lamparas} \right) \left( 40 \frac{\text{watts}}{\text{lámpara}} \right) = 160 \text{ watts}$$

$$= (160 \text{ watts}) \left( 3.41 \frac{\text{BTU}}{\text{hr watt}} \right) \left( 3 \frac{\text{hr}}{\text{día}} \right) = 1636.8 \frac{\text{BTU}}{\text{día}}$$

4.8  $Q_8$  = CALOR MOTORES O APARATOS

No se toma en cuenta debido a que los micro motores no genera carga térmica significativa.

## 4.9 BALANCE TOTAL DE CALOR

$$Q_T = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6 + Q_7 + Q_8$$

$$= 275071.8 + 1359700.98 + 10270.66 + 165814.59 + 1600351.02 + 8550 + 1636.8$$

$$= 3421395.85 \text{ BTU / día} + 10 \% \text{ de factor de seguridad.}$$

$$= 3763535.43 \text{ BTU / día.}$$

Debido al cálculo resultante de la carga térmica y al tamaño de la cámara de refrigeración dividiremos la carga en dos equipos de similares características

Una vez determinada la carga de refrigeración, junto con la temperatura de evaporación requerida y la temperatura de condensación prevista, puede seleccionarse el equipo para el sistema dado.

El equipo de refrigeración está diseñado para funcionar continuamente pero el tiempo de operación del compresor se determina tomando en cuenta los periodos de descongelación. La capacidad del compresor (BTU/hora) se obtiene dividiendo la carga total en 24 horas entre el tiempo de operación del compresor.

Deberá establecerse un factor de seguridad razonable para que la unidad pueda recuperarse con rapidez después de una elevación en la temperatura, o para una carga superior a la estimada.

$$3763535.43 \text{ BTU/día} \times 1 \text{ día/24 horas} = 156813 \text{ BTU/hora}$$

Normalmente se agrega un factor de seguridad del 5 al 10% sobre el cálculo de la carga, como medida de precaución. Esto es conveniente cuando los datos relativos a la carga de refrigeración resultan dudosos, pero por lo general el hecho de que el compresor se calcule para un funcionamiento de 16 a 18 horas, constituye por si mismo un factor de seguridad. La carga deberá calcularse tomando en cuenta la demanda máxima durante las condiciones de diseño y, normalmente, las condiciones de diseño se eligen tomando como base las que tendrían en no más del 1% de las horas durante los meses de verano

Con el fin de seleccionar un compresor adecuado para una aplicación específica, no debe conocerse tan solo la capacidad requerida del compresor, sino que deben conocerse también las temperaturas de evaporación y de condensación.

La temperatura de condensación depende del tipo del medio de condensación utilizado, aire o agua, la temperatura ambiente de diseño, o la temperatura del agua y la capacidad el condensador seleccionado. Los condensadores enfriados por aire se seleccionan comúnmente para funcionar a diferencias de temperatura que oscilan entre los 10°F y los 30°F, utilizándose normalmente la diferencia de temperatura mas baja para las aplicaciones de baja temperatura y la diferencia de temperatura mas alta para las aplicaciones de temperatura, en donde la relación de compresión es menos critica.

#### 4.10 CALCULO RAPIDO DE LA CARGA DE REFRIGERACIÓN

La gran mayoría de los proyectistas ya en la practica no realizan un trabajo de ingeniería como el que se realizo en este proyecto.

Ellos solo usan la siguiente tabla en la que representan a groso modo todos los cálculos que nosotros realizamos.

Calculo para \_\_\_\_\_

Aplicación

Temperatura del cuarto \_\_\_\_\_ Humedad relativa \_\_\_\_\_

Temperatura del ambiente \_\_\_\_\_ Humedad relativa \_\_\_\_\_

Diferencia de temperatura \_\_\_\_\_

Cámara:           Alto \_\_\_\_\_ Ancho \_\_\_\_\_  
                       Largo \_\_\_\_\_ Volumen \_\_\_\_\_

CAPITULO IV: PROYECTO

Aislamiento: Grosor \_\_\_\_\_  
 Tipo \_\_\_\_\_

Carga del producto: \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

Luces, motores \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

Personas, varios \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

**Carga de transmisión de calor**

Paredes laterales		L x		A x 2 =		Area x		DT x		Factor =	
-------------------	--	-----	--	---------	--	--------	--	------	--	----------	--

Paredes frontales		L x		A x 2 =		Area x		DT x		Factor =	
-------------------	--	-----	--	---------	--	--------	--	------	--	----------	--

techo		L x		ancho		Area x		DT x		Factor =	
-------	--	-----	--	-------	--	--------	--	------	--	----------	--

piso		L x		ancho		Area x		DT x		Factor =	
------	--	-----	--	-------	--	--------	--	------	--	----------	--

vidrio		Area x		DT x		Factor =	
--------	--	--------	--	------	--	----------	--

**Infiltración de aire**

Volumen		Pies <sup>3</sup> x		Cambios de aire cada 24 horas x		Factor de uso x		BTU / pie <sup>3</sup>	
---------	--	---------------------	--	---------------------------------	--	-----------------	--	------------------------	--

**Carga del producto**

Reducción de la temperatura del producto

	Lb. x		Calor especifico x		DT =	
--	-------	--	--------------------------	--	------	--

**Calor latente de congelación**

	Lb. x		BTU / lb. Calor latente de fusión =	
--	-------	--	---	--

**Calor de evolución**

	Tons. x		BTU / 24 hr. calor de evolución =	
--	---------	--	---	--

**Carga suplementaria**

	Watts x		Horas x		BTU / hr.	
	HP x		Horas x		BTU / hr	
	Personas x		Horas x		BTU / hr	
subtotal						

Factor de seguridad \_\_\_\_\_ %

Carga total de refrigeración en 24 horas: \_\_\_\_\_

Capacidad del compresor basada en \_\_\_\_\_ horas de operación \_\_\_\_\_

**4.11 PROGRAMACION DEL PLC**

Para nuestro sistema de control utilizaremos un controlador lógico programable (PLC) step - 7 de siemens, ya que:

- es fácil de usar, pues se puede programar desde un programador manual o una computadora personal
- Universal. Por la flexibilidad y las opciones del hardware disponibles en la actualidad, se pueden interconectar al PLC una gran variedad de dispositivos de campo; tales como, sensores foto eléctricos, arrancadores para motores eléctricos, botones pulsadores, lámparas, electro válvulas.

CAPITULO IV: PROYECTO

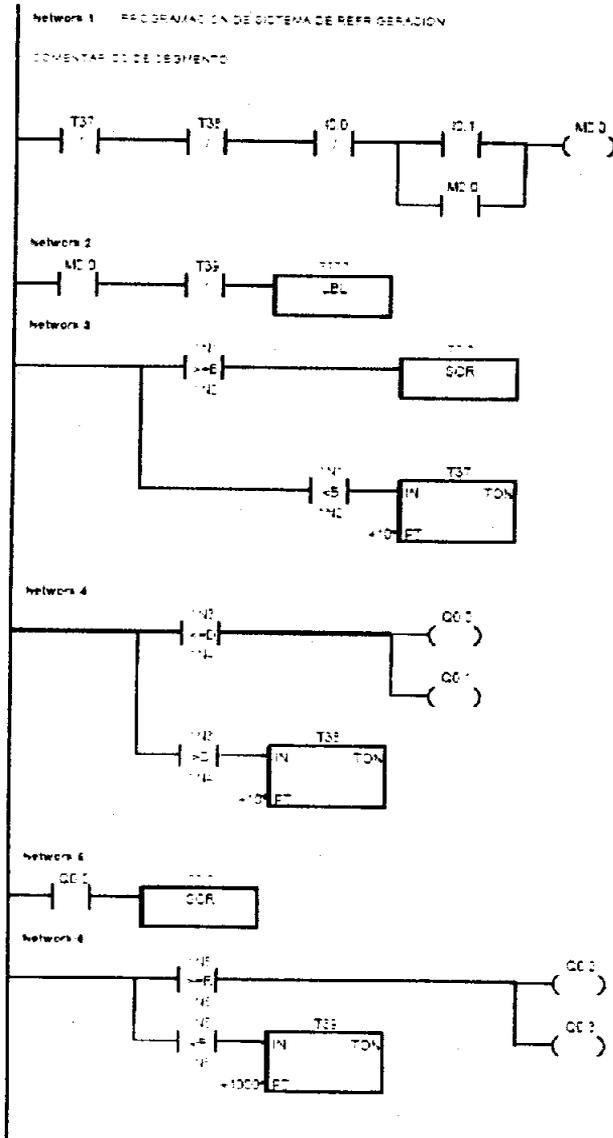


Fig. 4.2 Programa del sistema de refrigeración.

## CAPITULO V: APENDICE

TEMPERATURAS EXTERIORES DE DISEÑO EN VERANO						
La temperatura de diseño de bulbo seco y bulbo húmedo representan la temperatura igualada o excedida durante el 1% de las horas en verano						
LUGAR		B. S.		B. H.		ALTITUD (Mts.)
		° C	° F	° C	° F	
2	3	4	5	6	7	8
<b>AGUAS CALIENTES</b>	Aguas Calientes	34	93	19	66	1879
<b>BAJA CALIFORNIA</b>	Ensenada	34	93	26	79	13
	Mexical	43	109	28	82	1
	La Paz	36	97	27	81	18
	Tijuana	35	95	26	79	29
<b>CAMPECHE</b>	Campeche	36	97	26	79	25
	Ciudad de Camen	37	99	26	79	3
<b>COAHUILA</b>	Matamoros	34	93	21	70	1120
	Monclova	38	100	24	75	585
	Nueva Rosita	41	106	25	77	439
	Piedras Negras	40	104	26	79	220
	Saltillo	35	95	22	72	1609
<b>COLIMA</b>	Colima	36	97	24	75	494
	Manzanillo	35	95	27	81	3
<b>CHIAPAS</b>	Tapachula	34	93	25	77	166
	Tuxtla Gutierrez	35	95	25	77	536
<b>CHIHUAHUA</b>	Camargo	43	109	23	73	1653
	Casas Grandes	43	109	25	77	1476
	Chihuahua	35	95	23	73	1423
	Ciudad Juárez	37	99	24	75	1137
	Parí	32	90	20	68	1652
<b>DISTRITO FEDERAL</b>	México Tacubaya	32	90	17	63	2309
<b>DURANGO</b>	Durango	33	91	17	63	1995
	Guadalupe Victoria	43	109	21	70	1982
	Ciudad Lerdo	39	97	21	70	1140
	Santiago Papasquiaro	30	100	21	70	1740
<b>GUANAJUATO</b>	Celaya	38	100	20	68	1754
	Guanajuato	32	90	19	64	2030
	Irapuato	35	95	19	66	1724
	León	34	93	20	68	1909
	Salvatierra	35	95	19	66	1761
	Silao	36	97	20	68	1777
<b>GUERRERO</b>	Acapulco	33	91	27	81	3
	Chilpancingo	33	91	23	73	1250
	Iguala	39	102	22	72	735
	Tarco	34	93	20	68	1755
<b>HIDALGO</b>	Pachuca	29	84	18	64	2445
	Tulancingo	32	90	19	66	2181
<b>JALISCO</b>	Guadalajara	33	91	20	68	1589
	Lagos de Moreno	39	102	20	68	1980
	Puerto Vallarta	36	97	26	79	2
<b>MEXICO</b>	Texcoco	32	90	19	66	2216
	Toluca	26	79	17	63	2675
<b>MICHOACAN</b>	Apatzingan	39	102	25	77	652
	Morelia	30	86	19	66	1923
	La Piedad	34	93	20	68	1775
	Uruapan	34	93	20	68	1611

Tabla 5.1 Temperaturas exteriores de diseño en verano.

CAPITULO V: APENDICE

	Zamora	35	95	20	68	1633
	Zacabú	32	90	19	66	2000
<b>MORELOS</b>	Cuautla	42	108	22	72	1291
	Cuernavaca	31	88	20	68	1536
<b>NAYARIT</b>	Acaponeta	37	99	27	81	25
	San Blas	33	91	26	79	7
	Tepic	38	97	26	79	918
<b>NUEVO LEON</b>	Linares	38	100	25	77	684
	Montemorelos	39	102	25	77	432
	Monterrey	38	100	26	79	534
<b>OAXACA</b>	Oaxaca	35	95	22	72	1563
	Santa Cruz	34	93	26	79	56
<b>PUEBLA</b>	Huauclínango	37	99	21	70	1600
	Puebla	29	84	17	63	2150
	Tehuacán	34	93	20	68	1676
	Teziutlán	36	97	22	72	1990
<b>QUERETARO</b>	Querétaro	33	91	21	70	1842
<b>QUINTANA ROO</b>	Cozumel	33	91	27	81	3
	Payo Obispo	34	93	27	81	4
<b>SAN LUIS POTOSI</b>	Matnuaia	36	97	22	72	1697
	San Luis Potosí	34	93	18	64	1877
<b>SINALOA</b>	Cuilaacán	37	99	27	81	53
	Escuinapa	33	91	26	79	14
	Mazatlán	31	89	26	79	78
	Topolobampo	37	99	27	81	3
<b>SONORA</b>	Ciudad Obregón	43	109	28	82	40
	Empalme	43	109	28	82	2
	Guaymas	42	108	28	82	4
	Hermosillo	41	106	28	82	211
	Navojoa	41	106	28	82	38
	Nogales	37	99	26	79	1177
	San Luis Rio Colorado	51	124	30	86	40
<b>TABASCO</b>	Villahermosa	37	99	26	79	10
<b>TAMAULIPAS</b>	Matamoros	36	97	26	79	12
	Nuevo Laredo	41	106	26	77	140
	Tampico	36	97	22	72	16
	Ciudad Victoria	38	100	26	79	321
<b>TLAXCALA</b>	Tlaxcala	28	82	17	63	2252
<b>VERACRUZ</b>	Alvarado	35	95	26	79	9
	Córdoba	36	97	23	73	671
	Jalapa	32	90	21	70	1399
	Orizaba	34	93	21	70	1248
	Tuxpan	37	99	27	81	14
	Veracruz	33	91	27	81	16
<b>YUCATAN</b>	Mérida	37	99	27	81	22
	Progreso	36	97	27	81	14
<b>ZACATECAS</b>	Fresnillo	36	97	19	66	2250
	Zacatecas	28	82	17	63	2612

Tabla 5.1 Temperaturas exteriores de diseño en verano.  
(Continuación).

CAPITULO V: APENDICE

COEFICIENTES DE TRANSMISION DE CALOR							
MATERIAL	DENSIDAD	TEMPERATURA	CONDUCTIVIDAD	CONDUCTAN	RESISTENCIA (R)		
	D (lb/ft <sup>3</sup> )	RA MEDIA (°F)	IDAD (ft)	CIA (C)	POR P/LC	TOTAL	
	0		0		0		
2	3	4	5	6	7	8	9
<b>MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN</b>	Concreto, Arena y Grava	140		12.0		0.09	
	Ladrillo Común	120	75	8.0		0.20	
	Ladrillo de Fachada	130	75	9.0		0.11	
	Ladrillo Hueco de 2 Cerdas 6"		75			0.65	1.50
	Bloque de Concreto Arena y Grava 8"		75			0.90	1.11
Bloque de Concreto Ceniza 5"		75			0.65	1.72	
Yeso para estucar, Arena	105	75	5.9			0.18	
<b>MATERIALES AISLANTES</b>	Capa de Lana mineral	0.5	75	0.32		3.12	
	Capa de Fibra de Vidrio	0.5	75	0.32		3.12	
	Placa de corcho	5.5 - 8.0	0	0.25		4.00	
	Placa de fibra de Vidrio	9.5 - 11.0	-6	0.21		4.75	
	Urethano expandido R-11		0	0.17		5.68	
	Ponestirico	1	0	0.24		4.17	
	Placa de Lana mineral	15	0	0.25		4.00	
	Cubierta de techo aislante de 2"		75			0.18	5.56
	Reieno sueto de ana mineral	2.0 - 5.0	0	0.23		4.25	
	Penta Expandida	5.0 - 8.0	0	0.32		3.12	
<b>TECHOS</b>	Techos de Asbesto - Cemento	120	75			4.75	0.21
	Asfalto en rollo para Techos	70	75			5.50	0.15
	Techo Prefabricado de 3.5"	70	75			3.00	0.33
	Tejas de Madera		75			1.03	0.94
<b>MATERIALES PARA PISOS</b>	Alfombra con Bajo alfombra de Fibra		75			0.45	0.08
	Alfombra con Bajo alfombra de tipo Espuma		75			0.81	1.23
	Losa de Corcho de 1.5"		75			3.60	0.26
	Terrazo 1"		75			12.50	0.56
	Loseta Asfáltica, de vinilo o Inoleum		75			20.00	0.05

Tabla 5.2 Coeficiente de transmisión de calor.

CAPITULO V: APENDICE

	Subsuelo de Madera de 2 1/2"				1.02	0.98
	Suelo de Madera de 3/4"				1.47	0.68
<b>VIDRIO</b>	Vidrio Plano Simple				0.73	1.37
	Vidrio Aislante Doble				0.48	2.04
	Vidrio Aislante Triple				0.39	2.62
	Ventanas de Tormenta				0.44	2.27
<b>MATERIALES PARA ACABADOS</b>	Placa de Asbesto-Cemento	120	75	4.00		0.25
	Yeso de 1/2"	50	75		2.25	0.46
	Triplay	34	75	0.50		1.25
	Revestimiento de Madera	20	75	0.35		2.62
	Fibrascel	65	75	1.40		0.72
	Fleto Permeable al vapor		75			16.70
	Película Plástica impermeable		75			
<b>MADERAS</b>	Madera Biselada de 1 x 6		75		1.23	0.61
	Arce, Roble, Madera Dura	45	75	1.10		0.61
	Abeto, Pino	32	75	0.80		1.25
<b>VARIOS</b>	Agua			4.20		0.24
	Nieve			1.2 - 3.6		0.63 - 0.27
	Tierra			7.0 - 12.0		0.14 - 0.08
	Aerón		75	0.45		2.02

Tabla 5.2 Coeficiente de transmisión de calor.  
(Continuación).

CORRECCION DE TEMPERATURA POR EL EFECTO SOLAR						
Grados Fahrenheit de añadirse a la diferencia de temperatura normal en los cálculos de transmisión de calor para compensar el efecto solar. Esta tabla no es aplicable para diseños de acondicionamiento de aire)						
2	3	4	5	6	7	
COLOR	TIPO DE SUPERFICIE	PARED ESTE	PARED SUR	PARED OESTE	TECHO PLANO	
SUPERFICIES DE COLOR OSCURO	Techo de arcilla negra	6	5	5	20	
	Techo de Chapopote	6	5	5	20	
	Pintura negra	6	5	5	20	
SUPERFICIES DE COLOR MEDIO	Madera sin pintar	6	4	5	15	
	Ladrillo	6	4	5	15	
	Losa roja	6	4	5	15	
	Cemento Oscuro	6	4	5	15	
	Pintura roja gris o verde	6	4	5	15	
SUPERFICIES DE COLOR CLARO	Esfera blanca	4	2	4	9	
	Cemento de color blanco	4	2	4	9	
	Pintura blanca	4	2	4	9	

Tabla 5.3 Corrección de temperatura por el efecto solar.

CAPITULO V: APENDICE

FACTORES DE CALCULO RAPIDO PARA LA TRANSMISION DE CALOR A TRAVES DE PAREDES AISLADAS													
TIPO DE MATERIAL		BTU POR °F D.T. POR PIE CUADRADO POR 24 HORAS*											
		2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
		0.800	0.640	0.560	0.520	0.485	0.460	0.500	0.510	0.480	0.410	0.370	0.340
AISLANTE	Poliestireno expandido Factor k = 0.17		0.340	0.380	0.420	0.455	0.480	0.500	0.510	0.480	0.410	0.370	0.340
	Fibra de vidrio con celuloosa y refuerzo de lana y poliestireno expandido Factor k = 0.25		3.000	2.000	1.500	1.200	1.000	0.850	0.750	0.670	0.600	0.550	0.500
	Asbesto Factor k = .45		5.400	3.600	2.700	2.160	1.800	1.540	1.350	1.200	1.080	0.980	0.900
VIDRIO	Vidrio Simple	17.520											
	Doble Vidrio Asistente	11.750											
	Triple Vidrio Asistente	9.120											

Tabla 5.4 Factores de cálculo rápido para la transmisión de calor a través de paredes aisladas.

CARGA POR INFILTRACION																	
TEMPERATURA DE LA CAMARA DE ALMACENAMIENTO EN °F		BTU por pie cúbico															
		TEMPERATURA DEL AIRE EXTERIOR EN °F								PORCENTAJE DE LA HUMEDAD RELATIVA							
		40	50	60	70	80	85	90	95	100	70	80	90	100			
70	60	0.00	0.60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.65	0.85	0.95	1.17	1.24	1.54	1.58	1.95
65										0.65	0.85	0.92	1.17	1.24	1.54	1.58	1.95
60										0.65	1.02	1.12	1.37	1.44	1.74	1.78	2.15
55										1.12	1.34	1.41	1.66	1.72	2.01	2.06	2.44
50										1.32	1.54	1.62	1.87	1.93	2.22	2.28	2.65
45										1.50	1.73	1.80	2.06	2.12	2.42	2.47	2.85
40										1.69	1.92	2.00	2.26	2.31	2.62	2.67	3.06
35										1.85	2.09	2.17	2.43	2.49	2.79	2.85	3.24
30	0.24	0.23	0.58	0.65	2.25	2.52	2.95	3.35	2.00	2.24	2.25	2.53	2.64	2.94	2.96	3.35	
25	0.41	0.45	0.75	0.83	2.44	2.71	3.14	3.54									
20	0.56	0.61	0.91	0.99	2.62	2.90	3.33	3.73									
15	0.71	0.75	1.05	1.14	2.80	3.07	3.51	3.91									
10	0.85	0.89	1.19	1.27	2.99	3.26	3.69	4.09									
5	0.98	1.03	1.34	1.42	3.17	3.44	3.87	4.27									
0	1.12	1.17	1.48	1.56	3.35	3.62	4.05	4.45									
-5	1.23	1.28	1.59	1.67	3.54	3.81	4.24	4.64									
-10	1.35	1.41	1.73	1.81	3.72	3.99	4.42	4.82									
-15	1.50	1.57	1.89	1.97	3.90	4.17	4.60	5.00									
-20	1.63	1.69	2.01	2.09	4.08	4.35	4.78	5.18									
-25	1.77	1.83	2.15	2.23	4.26	4.53	4.96	5.36									
-30	1.90	1.96	2.29	2.37	4.44	4.71	5.14	5.54									

Tabla 5.5 Carga por infiltración.

CAPITULO V: APENDICE

CARACTERISTICAS DE LOS PRODUCTOS ALIMENTICIOS									
PRODUCTO	TEMP. PROMEDIO DE CONGELACION	PORCENTAJE DE AGUA	CALOR ESPECIFICO (BTU/lb *F)		CALOR LATENTE DE FUSION	CALOR DE EVOLUCION (BTU * 24 Hrs /ton) a al Temp. Indicada			
			Arriba del punto de Congelacion	Abajo del punto de Congelacion		BTU / lb	* F	BTU	
			* F						
VERDURAS	Aceitunas	28.5	75.2	0.8	0.42	108	0	0	
2	3	4	5	6	7	8	9	10	
VERDURAS	Aceitunas	28.5	75.2	0.80	0.42	108			
	Alcachofas	26.1	63.7	0.57	0.45	120	32	19140	
	Abró	26.7	63.7	0.25	0.48	125	32	1500	
							40	2400	
	Berengena	30.4	92.7	0.24	0.48	132			
	Betabe	31.1	67.6	0.20	0.49	126	32	2700	
							40	4100	
	Brocol	26.0	66.9	0.20	0.47	130	40	11000 - 17000	
	Calabaza	30.1	69.5	0.22	0.47	130			
	Calabazas terraz	30.1	69.5	0.22	0.47	130			
	Camotes	26.5	65.5	0.75	0.40	97	40	1710	
	Cebollas	30.1	67.5	0.20	0.45	124	32	700 - 1100	
							40	1500	
	Co	21.0	92.4	0.24	0.47	123	40	1700	
	Co for	20.1	91.7	0.22	0.47	122	40	4500	
	Co rábano	30.0	69.0	0.22	0.47	126			
	Colestas de Bruselas	21.0	64.9	0.59	0.49	122	40	6500 - 11000	
	Co Fermentado /Sauerkraut	26.0	69.0	0.20	0.47	126			
	Co Rizada	30.7	68.5	0.59	0.45	124			
	Chicharos verdes	20.0	74.3	0.79	0.42	106	40	13200 - 16000	
	Chicharos secos		9.5	0.28	0.22	14			
	Chirivias	26.6	75.5	0.54	0.49	112			
	Etoles	26.6	65.9	0.21	0.47	125	40	9700 - 11400	
	Etoles	26.6	75.5	0.76	0.42	106	32	7200 - 11300	
	Escarola	30.6	63.3	0.24	0.45	132			
	Escarogce	26.6	63.0	0.24	0.45	134	40	11700 - 23000	
	Espinacas	30.3	92.7	0.24	0.45	132	40	9000	
	Habas	30.1	66.5	0.72	0.40	94	40	4300 - 6100	
	Habas secas		12.5	0.30	0.24	15			
	Hongos	30.0	61.1	0.22	0.47	130	32	6200	
							50	22000	
	Jonote	30.4	64.1	0.25	0.45	134	40	1200	
	Lechuga	31.0	64.5	0.26	0.45	136	32	2300	
							40	2700	
	Maiz		10.5	0.29	0.23	15			
	Nabo	30.2	69.9	0.22	0.47	130	32	1900	
							40	2200	
	Papas	26.6	77.5	0.62	0.43	111	40	1300 - 1800	

Tabla 5.6 Características de los productos alimenticios.

CAPITULO V: APENDICE

Huevos (congelados)	27.0			0.41	100		
Huevos (frescos)	27.0		0.76	0.4	100		
Leche	31.0	87.5	0.33	0.42	124		
Levadura		73.2	0.77	0.41	102		
Lúpulo						35	1500
Malta						50	1500
Manteca de cerdo			0.52				
Manteguilla	33.0	15.0	0.64	0.34	15		
Miel de abeja		18.0	0.35	0.29	26	40	1420
Miel de Maple		38.0	0.48	0.31	52	45	1420
*Huevos (secos)		3 - 10	0.21 - 0.29	0.16 - 0.24	4.3 - 14	35	1000
Oleomargarina		15.5	0.32	0.25	22		
Pan		32 - 27	0.70	0.34	42 - 52		
Pasta de pan		56.0	0.75				
Pieles y Lana			0.40				
Queso Amencano	17.0	60.0	0.54	0.35	72	40	4550
Queso Camarber	16.0	60.0	0.70	0.4	68	40	4520
Queso Limburger	19.0	55.0	0.70	0.4	68	10	4520
Queso Rocuefort	3.0	55.0	0.65	0.32	72	45	4500
Queso Suizo	15.0	55.0	0.54	0.35	72	40	4550
Tabaco y Purcs	25.0						

Tabla 5.6 Características de los productos alimenticios (Continuación).

CALOR DISIPADO POR LOS MOTORES ELECTRICOS			
Estos datos son válidos para motores que accionan fans, ventiladores y bombas			
HP DEL MOTOR	BTU POR (HP)(HORA)		
	Motor y Ventilador dentro del cuarto	Motor Fuera y Ventilador dentro	Motor dentro y Ventilador fuera
2	3	4	5
De 1/8 a 1/2	4250	2545	1700
De 1/2 a 3	3700	2545	1150
De 3 a 20	2950	2545	400

Tabla 5.7 Calor disipado por los motores eléctricos.

CAPITULO V: APENDICE

PROPIEDADES DE LOS SÓLIDOS

NOTA:  $k = \text{BTU} : (\text{HORA})(\text{PIEZ})(^{\circ}\text{F})(\text{PIE DE ESPESOR})$ .

Gravedad Específica = Relación entre la densidad del material (lb. Por pie<sup>3</sup>) y la densidad del agua (62.4 lb por pie<sup>3</sup>)

NOMBRE O DESCRIPCIÓN	CALOR ESPECÍFICO		GRAVEDAD ESPECÍFICA	CONDUCTIVIDAD TÉRMICA	
	BTU por (lb) (°F)	Temperatura (°F)		Temperatura (°F)	k
1	2	3	4	5	6
Acero	0.12000		7.830	32	23.000
Acero de Alquitran de carbón	0.34000	69 - 194		66	0.364
Acero al níquel	0.10900				
Acero estirado en frío	0.12000				
Agoodo (haja)					0.010
Agoodo (lino cañamo)			1.47 - 1.5	32	0.333
Alquitran bituminoso			1.200		
Alquitran de carbón	0.35000	104.0			
Aluminio	0.22600	100.0	2.65 - 2.9	32	122.000
Amibo	0.19500	210.0			
Arce			0.53 - 0.65	66	0.062
Arca	0.22400		1.260		
Areña	0.18700		1.4 - 1.9	66	0.163
Asbesto	0.25000	0.47 - 0.68	2.1 - 2.9	32	0.090
Asfalto			0.210	66	0.040
Asfalto	0.3 - 0.4				
Baqueño	0.3 - 0.4				
Bronce	0.10400		7.4 - 8.5		
Bronce de aluminio			7.700		
Bronce para campanas	0.09500	69 - 208.4			
Cacahú	0.25450		8.650	64	63.700
Cacaña			0.56 - 0.65		
Carbón de Piedra	0.26 - 0.37		0.67 - 1.9		
Carbón de Petrol	0.02340				
Carbón de Vegetal	0.24000		0.26 - 0.57	172	0.051
Cerco					0.1 - 0.2
Caucho de la India	0.49700	149.0			
Celulosa	0.32000				
Ceniza	0.20600		0.64 - 0.72	32	0.041
Ceniza de madera			0.55 - 0.71		
Cerise laminado			6.6 - 6.9	32	224.000
Cerveza	0.25500	69.8 - 752	1 - 1.4	32	0.102
Cerulio en placa	0.48900		0.22 - 0.25	24	0.023
Cinco	0.25700	60.8 - 191			
Cinta de papel	0.11700		3.2 - 4.7		
Cuero			0.85 - 1.02		0.060
Diamante	0.14700				
Ebanizado	0.20000		1.85 - 2	70	0.23 - 0.60
Echizado Rustico					0.26 - 0.26
Escara de Cemento Portland	0.18600		1.5 - 2.4		0.317
Estado London	0.05900		7.2 - 7.5	64	27.600
Estado a Estirado	0.24600			64	37.600
Estric				66	0.022

Tabla 5.8 Propiedades de los sólidos.

CAPITULO V: APENDICE

Fuente	0.21000	86.0			
Gis	0.21500		1.6 - 2.8		0.480
Grafito	0.20000	66 - 212	2.4 - 2.7		1 - 2.32
Granate	0.31758	80.8 - 212			
Hielo	0.35000	-112.0	0.85 - 0.92	32	1.28 (agua)
Hielo	0.43400	-40.0		14	1.380
Hielo	0.46500	-4.0		-4	1.410
Hielo	0.49700	32.0		-22	1.471
Hielo				40	1.536
Hierro en lingote			7.200		
Hierro forjado			7.6 - 7.8		
Hierro fundido gns	0.10100		7.03 - 7.13	129	27.600
Hornoson (pedra)	0.15600	70 - 213	1.5 - 2.4		0.5 - 0.75
Hule	0.48000		1 - 2	100	0.900
Ladrillo de arcilla Refractaria	0.18500	212.0			
Ladrillo de promita	0.17000				
Ladrillo de promita	0.22200	212.0			0.9 - 0.25
Lana			1.200	88	0.000
Lana de Vidrio	0.15700				
Látex amarillo	0.09681	32.0	6.4 - 6.7	32	49.400
Látex rojo	0.09991	32.0	6.4 - 6.7	32	58.500
Lino					0.050
Luzargino	0.05500				
Maceras	0.45 - 0.25				
Malapiesic	0.23400	212.0			
Malgarresic			7.400		
Mármol	0.21000	64.4	2.4 - 2.8		1.0 - 1.7
Metal monel	0.12100	88 - 2.372	6.970		
Mica	0.10000	65.0			0.440
Nieve (recien Calda)			0.125		
Nieve	0.10300		6.900	64	24.400
Nitrato de potasa			1.070		
Nogal			0.690		
Nogal Americano			0.74 - 0.8		
Olimo			0.650		
Oro	0.03050		19.25 - 19.2	64	1.69.000
Papel	0.32400		0.7 - 1.15		0.075
Parafina	0.68700	32 - 68	0.87 - 0.91	66	0.145
Piedra	0.20000				
Piedra Caliza	0.21700	59 - 212	2.1 - 2.8		0.3 - 0.75
Plateno			0.450		
Plomo	0.57000		0.43 - 0.67	68	0.065 - 0.085
Plomo de Coore	0.12100	65.2 - 122			
Plomo de Hierro	0.12500	69 - 208.4			
Plata entana	0.06460	32 - 212	6.650		
Plata fundida			10.4 - 10.6	64	244.000
Plomo fundido			21.500	64	40.200
Plomo	0.03000		11.400	64	20.100
Pólvora de Grafito	0.16500	78.8 - 168.8		104	0.104
Porcelana	0.22000			328	0.945
Rot e	0.57000		0.65 - 0.84		0.085 - 0.105
Sa de Piedra	0.21900	55.4 - 112			

Tabla 5.8 Propiedades de los sólidos (Continuación).

CAPITULO V: APENDICE

Slice	0.31600				
Temla seca y empapada:				1.5 (suela)	32
Tungreñe	0.05400		12.2		0.025
Yonic				2.4 - 2.5	
Yonic (corona)	0.16 - 0.2			2.4 - 2.5	0.025 - 0.05
Yonic (pyrex)	0.25000				
Yonic (silicatos)	0.188 - 0.2		32 - 212		
Yeso	0.25900		60.8 - 114.8	2.3 - 2.5	68
Cinc fundido				7.100	32
					63.000

Tabla 5.8 Propiedades de los sólidos (Continuación).

PROPIEDADES DE LOS LIQUIDOS													
NOTA: k = BTU/HOR/PIE/IN <sup>2</sup> /°F; PÍE DE ESPESOR; DENSIDAD = Libras por pie <sup>3</sup>													
Gravedad Especifica = Relacion entre la densidad del material(lb. Por pie <sup>3</sup> ) y la densidad del agua (62.4 lb por pie <sup>3</sup> )													
PRODUCTO	PUNTO DE EBULLICION °F	ENTALPIA DE VAPORIZACION (BTU/LB)	CALOR ESPECIFICO		VISCOSIDAD		PUNTO DE CONGELACION °F	ENTALPIA DE FUSION (BTU/LB)	GRVEDAD ESPECIFICA O DENSIDAD:		CONDUCTIVIDAD TERMICA		
			BTU por (100°F)	Temp (°F)	Centipoises	Temp (°F)			Temperatura (°F)	lb/ins	k	Temperatura (°F)	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
ALCOHOL 20%			0.36										
ALCOHOL 30%					42.000	80.00				77.0	55.0 (3)		
ALCOHOL 40%			0.430		451.000	86.00				65.0	62.5 (3)	0.124	65
ALCOHOL 50%			0.430	42.0									
ALCOHOL 60%					40.600	85.00				152.0	0.919		
ALCOHOL 70%					42.000	100.00				59.0	0.700		
ALCOHOL 80%			0.47	44.0	54.000	88.00				55.0	0.800	0.097	65
ALCOHOL 90%	69.40	244.0			25.000	88.00					0.925		
ALCOHOL 100%	173.70	312.0	0.470	88.0	0.275	30.00		190.300		115.300	0.700		65
ALCOHOL 100%		30.0											
ALCOHOL 100%	130.70	176.0	0.465	59.0				122.450					
ALCOHOL 100%	102.50	225.0	0.500	30.0					209.000	42.00	55.0	45.4 (3)	0.102
ALCOHOL 100%	241.30	193.0	0.500	78.0 (200)	1240	54.00		60.000	77.00			0.091	65
ALCOHOL 100%	329.30	255.0	0.515	20.0 (60)	1264.000	86.00		22.210	54.00				
ALCOHOL 100%	359.50		0.56	17.0 (50.8)				30.00		55.0	60.0 (3)		
ALCOHOL 100%	210.40	0.16	0.52	65.0 (210)	1460	86.00		47.000	104.40				
ALCOHOL 100%	58.40							43.600	17.00				
ALCOHOL 100%	285.60	176.0	0.560	66.0 (219.8)	0.950	86.00		15.440					
ALCOHOL 100%	450.60	0.164	0.560	66.0				16.160	49.00				
AGUA	212.00	970	1.000	60.0	0.500	86.00		32.000	143.00	78.0	0.700	0.010	65
										25.0	62.4 (3)	0.330	65
			0.660										
			0.530										
			0.600										
AGUA 100%	320.00	100.0	0.41	30.0	1.070	86.00				0.560	0.074		65

Tabla 5.9 Propiedades de los líquidos.

CAPITULO V: APENDICE

Alcohol Ato	206 60	282 0	0.667	69 1 - 204 8	1 169	86 00	-200 200			0 104	77 84
Alcohol Anilico	250 00	216 0					-109 000	48 00		0 094	66
Alcohol Butilico	243 84	250 0	0.667	22 115			-123 840	54 00		0 097	66
Alcohol Etilico	222 84	366 8	0.643		1 200	86 00	-124 280	48 00		0 758	
Alcohol Metilico	224 40	248 0									
Alcohol Metilico	148 40	470 0	0.600	54 0	0 156	86 00	-142 800	36 00		0 796	
Alcohol Propilico	207 80	298 0	0.700	56 0	1 779	86 00	-164 840		2 040		
Alomamat			1.000	20 0				94 80		0 280	57 84
Anilina	63 00	198 0	0.614	50 0	4 467	86 00	20 770	48 00	32 0	64 8 10	
Benzeno	178 18	187 0						54 00	32 0	56 1 10	0 090
Benzol			0.540	50 0	0 667	86 00		88 00			
Bromo	137 84	98 0	0 707	13 48	0 717	86 00		29 78	32 0		
Bromuro Etilico	161 40	128 0	0 216	69 86	0 265	86 00	-163 200				
Bromuro de Etileno	269 00	88 0	0 773	66 0	1 278	86 00	56 108				
Clorofoma	142 18	108 0	0 221	59 0	0 519	86 00	-42 300		800	0 080	66
Cloruro Etilico	83 58	166 0	0 367	30 0			-117 690				
Cloruro de Etileno	162 84	136 0	0 289	68 0	0 736	86 00	-21 000				
Desano	348 00	128 0	0 400	0 88	0 770	71 14	-22 000	86 40		0 085	66
Etilamina	578 60		0.860	125 0				127 360			
Etileno de Carbono	118 00	18 0	0 240	66 0	0 350	86 00	-161 240		32 0	82 8 10	0 093
EtA Contina CDS	211 10										
	209 60										
	377 60										
	448 00										
Ete Etilico	84 00	166 0	0 500	30 0	0 300	86 00	-178 800	4 40		0 736	0 080
Etilenglicol	268 60	304 0								0 163	30
Glicerina	158 18		0.600	30 0 110						0 730	
Glicerina	844 00		0 578	69 127	0 300 000	68 84	64 860	88 80			
Glicerol	588 00				207 000	68 00	64 400	88 80		0 154	66
Hexano	269 10	127 0	0 460	66 0	0 378	86 00	-13 800	60 00		0 080	66
Hexano	168 60	142 0	0.600	66 0	0 388	86 00	-139 000	68 00		0 080	66
Hidroxido Potasico - 30											
Llaves de Agua			0.878	64 0							
Hidroxido Potasico - 100											
Llaves de Agua			0.878	64 0							
Hidroxido Sodico			0.640	64 0							
Hidroxido Sodico - 100			0.960	64 0							
Llaves de Agua											
Ammoniaco			0.800	30 0 110						0 78 0 80	0 080
Nafta 70	454 40	136 0	0 298	138 0			178 390	64 00			
Nitrosobenzol	411 60	142 0	0 340	67 0			42 830	48 00		0 098	66
Nitrosobenzol			0.380	68 0							
Nitrobenz	302 00		0.600	30 0 110	0 600	70 14	-64 680			0 084	66
Nitrobenz	280 20	127 0	0 447	68 120	0 469	86 00	-10 420			0 080	66
Nitrobenz	98 10				0 300	86 00	-207 600		32 0	48 6 10	
Nitrobenz			0.511	70 138						0 870	
Cloruro de Etileno de Calcio			0.764	6 0					6 0	1 140	
			0.721	66 0					66 0	1 140	0 080
			0.698	4 0					4 0	1 200	0 340
			0.728	66 0					66 0	1 200	
			0.681	4 0					4 0	1 200	
			0.678	66 0					66 0	1 200	
Cloruro de Etileno de Calcio - 200			0.79	64 0						264 0 0 30	66
Cloruro de Etileno de Calcio - 200			0.878	64 0						138 0 0 34	66
Cloruro de Etileno			0.648	66 0							
Cloruro de Etileno - 50			0.640	68 1 08							
Cloruro de Etileno - 200			0.860	128 0							
Trifluoruro de Carbono	169 10	89 0	0 521	66 0	0 543	86 00	-6 040	74 80		0 107	30
Tolueno	230 50	188 0	0 440	67 6 110 0	0 508	86 00	-33 000				
Tujil	231 60	184 0	0 366	60 0							
Urea Etilico	161 70	8 0	0 181	66 0	0 540	86 00	-162 000			0 064	104
Urea Metilico	160 14	82 0	0 560	66 0	0 560	86 00	-66 680				
Urea	287 60	148 0	0 411	66 0			-16 730			0 080	66

Tabla 5.9 Propiedades de los líquidos (continuación).

CAPITULO V: APENDICE

CONDICIONES DE ALMACENAMIENTO Y PROPIEDADES DE PRODUCTOS ALIMENTICIOS				
PRODUCTO		TEMP. DE ALMAC. °F	HUMEDAD RELATIVA %	DURACION APROXIMADA
2	3	4	5	6
<b>VERDURAS</b>	Aberlunas	45 - 50	85 - 90	4 - 6 Semanas
	Ajos verdes	32	80 - 95	1 - 3 Meses
	A cacnofas esféricas	31 - 32	80 - 95	1 - 2 Semanas
	A cacnofas Jerusa em	31 - 32	80 - 95	2 - 5 Días
	Berenjenas	45 - 50	85 - 90	10 Días
	Betabe es	32	80 - 95	1 - 3 Meses
	Betabe es en manojo	32	80 - 95	10 - 14 Días
	Brocoli	32	80 - 95	7 - 10 Días
	Calabazas	50 - 55	70 - 75	2 - 6 Meses
	Calabazas tipo bellota	45 - 50	75 - 85	5 - 8 Semanas
	Calabazas de invierno	50 - 55	70 - 75	4 - 6 Meses
	Calabazas de Verano	32 - 40	85 - 95	10 - 14 Días
	Camotes	55 - 60	80 - 85	4 - 6 Meses
	Cebollas	32	70 - 75	5 - 6 Meses
	Coles	32	80 - 95	3 - 4 Meses
	Coles de Bruselas	32	80 - 95	3 - 4 Semanas
	Coliflor	32	80 - 95	2 - 3 Semanas
	Col rábano	32	80 - 95	2 - 4 Semanas
	Col Picada	32	80 - 95	2 - 3 Semanas
	Chicharos Verdes	32	85 - 90	1 - 2 Semanas
	Chiles Secos	32 - 40	85 - 95	6 - 9 Semanas
	Chirivias	32	80 - 95	2 - 6 Meses
	Escarola	32	80 - 95	2 - 3 Semanas
	Espinagac	32	80 - 95	2 - 3 Semanas
	Esomacos	32	80 - 95	10 - 14 Días
	Frijoles	32 - 40	85 - 90	10 - 16 Días
	Habas	45	85 - 90	8 - 10 Días
	Hongos	32 - 45	85 - 90	3 - 5 Días
	Hongos cultivados en abono	34	75 - 80	8 Meses
	Hongos cultivados en grano	32 - 40	75 - 80	2 Semanas
	Hongos en cultivo	22 - 35	85 - 90	3 - 6 Meses
	Lechugas	32	80 - 95	3 - 4 Semanas
	Maiz tiende	31 - 32	85 - 90	4 - 8 Días
	Maizos	32	80 - 95	2 - 4 Meses
	Papas	38 - 55	85 - 90	
	Pepinos	45 - 50	80 - 95	10 - 14 Días
	Pimientos Duros	45 - 50	85 - 90	5 - 10 Días
	Papasos de Invierno	32	80 - 95	2 - 4 Meses
	Papasos de Primavera	32	80 - 95	10 Días
	Papasos P.ante	32	80 - 95	10 - 12 Semanas
	Papadric	32	80 - 95	2 - 3 Semanas
	Pastis blanco	32	80 - 95	2 - 4 Meses
	Semilla de Verduras	22 - 50	60 - 65	
	Tomates	45 - 50	85 - 90	2 - 7 Días
	Tomates sin madurar	57 - 70	85 - 90	2 - 4 Semanas
	Verduras envasadas y congeladas	-10		6 - 12 Semanas

Tabla 5.10 Condiciones de almacenamiento y propiedades de productos alimenticios.

CAPITULO V: APENDICE

	Zanahorias	30	90-95	4-6 Semanas
	Zanahorias empacadas	90	80-90	3-4 Semanas
<b>FRUTAS</b>	Aguacates	45-55	85-90	4 Semanas
	Arañados	38-40	85-90	1-4 Meses
	Cerezas	31-32	85-90	10-14 Días
	Cruetas	31-32	80-85	3-4 Semanas
	Chabacano	31-32	85-90	1-2 Semanas
	Cocos	32-35	80-85	1-2 Meses
	Duraznos	31-32	85-90	2-4 Semanas
	Frambuesa Negra	31-32	85-90	7 Días
	Frambuesa Roja	31-32	85-90	7 Días
	Frambuesa Congelada	-10		1 Año
	Fresas frescas	31-32	85-90	7-10 Días
	Fresas Congelada	-10		1 Año
	Frutas envasadas y Congeladas	-10		8-10 Meses
	Frutas secas	32	80-80	8-10 Meses
	Granadas	34-35	85-90	2-4 Meses
	Guineo	32	80-85	10-14 Días
	Higos Frescos	29-32	85-90	5-7 Días
	Higos Secos	32-40	80-90	9-10 Meses
	Limas	48-50	85-90	6-8 semanas
	Limon	32-35	85-90	1-4 Meses
	Mandarinas	31-38	80-95	3-4 Semanas
	Mangos	60	85-90	2-3 Semanas
	Manzanas	30-32	85-90	2-5 Meses
	Melones 'Cantaloupe'	32-40	85-90	5-15 Días
	Melones 'Casaba'	40-50	85-90	4-6 Semanas
	Melones 'honeycow - honeyba'	45-50	85-90	2-4 Semanas
	Melones 'Fensas'	45-50	85-90	1-2 Semanas
	Melones	31-32	85-90	2-3 Meses
	Moras azules	31-32	85-90	3-6 Semanas
	Moras negras	31-32	85-90	7 Días
	Naranjas	32-34	85-90	8-10 Semanas
	Jugo de Naranja Fric	30-35		3-5 Semanas
	Nispeños	30	85-90	2 meses
	Nueces	32-50	85-75	8-10 Meses
	Papayas	45	85-90	2-3 Semanas
	Papa matura	40-45	85-90	2-4 Semanas
	Papa verde	50-60	85-90	3-4 Semanas
	Pera	26-31	85-90	
	Pitacos		85-95	
	Sandias	35-40	85-90	2-3 Semanas
	Torrijas	60	95-90	4-8 Semanas
	Uva espiñ	31-32	80-85	3-4 Semanas
	Uva (p. americano)	31-32	85-90	3-5 Semanas
	Uva (p. europeo)	30-31	85-90	3-6 Meses
	Zarzamora	31-32	85-90	7-10 Días
<b>CARNES</b>	Aves de corral frescas	32	85-90	1 semana
	Aves de corral congeladas	-20	80-95	8-10 Meses
	Carne de cerdo fresca	30-34	85-90	3-7 Días
	Carne de cerdo congelada	-10	80-95	4-8 Meses

Tabla 5.10 Condiciones de almacenamiento y propiedades de productos alimenticios (continuación).

CAPITULO V: APENDICE

	Carne de res fresca	32 - 34	85 - 92	1 - 6 Semanas
	Carne de res congelada	-10	80 - 95	6 - 12 Meses
	Carne de ternera	32 - 34	80 - 95	5 - 10 Días
	Conejos Frescos	32 - 34	80 - 95	1 - 6 Días
	Conejos Congelados	-10	80 - 95	0 - 6 Meses
	Cordero fresco	32 - 34	85 - 90	6 - 12 Días
	Cordero congelado	-10	80 - 95	8 - 10 meses
	Hígados congelados	-10	80 - 95	3 - 4 Meses
	Jamones y Lomos frescos	32 - 34	85 - 90	7 - 12 Días
	Jamones y Lomos congelados	-10	80 - 95	6 - 8 Meses
	Jamones y Lomos curados	60 - 65	50 - 60	0 - 5 Años
	Lomos grasosos	34 - 38	85 - 90	3 Meses
	Salchichas ahumadas	40 - 45	85 - 90	6 Meses
	Tocono congelado	-10	80 - 95	4 - 6 Meses
	Tocono curado (de Empacadora)	34 - 40	85	2 - 6 Semanas
	Tocono curado (esti lo granja)	34 - 40	85	2 - 8 Meses
<b>PESCADOS Y MARISCOS</b>	Pescado ahumado	40 - 50	80 - 85	6 - 8 Meses
	Pescado congelado	-10	80 - 95	8 - 10 Meses
	Pescado curado	28 - 35	75 - 80	4 - 6 Meses
	Pescado salado		80 - 95	10 - 12 Meses
	Pescado fresco	33	80 - 95	5 - 15 Días
	Marisco congelado	-20	80 - 95	3 - 8 Semanas
	Marisco fresco	33	80 - 95	2 - 7 Días
<b>VARIOS</b>	Acete para ensalada	35		1 Año
	Café en grano	35 - 37		2 - 4 Meses
	Cerveza en barril	35 - 40		3 - 10 Semanas
	Dulces	0 - 34	40 - 55	
	Huevos frescos	29 - 31	80 - 85	8 - 9 Meses
	Huevos congelados	0		Más de un año
	Levadura	31 - 32		
	Manteca de cerdo sin antioxidante	45	80 - 95	4 - 8 Meses
	Manteca de cerdo sin antioxidante	0	80 - 95	12 - 14 Meses
	Miel			1 Año
	Oilomargarina	35	80 - 70	1 Año
	Palmotas de Maíz sin reventar	32 - 40	85	
	Par	0		varias semanas
	Pielés y tejidos	34 - 40	45 - 55	varios años
<b>PRODUCTOS LACTEOS</b>	Crema endulzada	-15		varios meses
	Hleajos	-15		varios meses
	Leche condensada y endulzada	40		varios meses
	Leche evaporada			1 Año
	Leche pasteurizada	33		7 Días
	Leche en polvo completa	45 - 55	Baja	varios meses
	Leche en polvo sin grasa	45 - 55	Baja	varios meses
	Mantequilla	32 - 40	80 - 85	2 Meses
	Mantequilla	-10	80 - 85	1 Año
	Queso	30 - 45	85 - 70	

Tabla 5.10 condiciones de almacenamiento y propiedades de productos alimenticios (continuación).

CONDICIONES DE ALMACENAMIENTO PARA FLORES CORTADAS Y PLANTAS DE CULTIVO						
PRODUCTO	TEMP. DE ALMAC. °F	HUMEDAD RELATIVA %	VIDA DE ALMACENAMIENTO APROX.	TIPO DE ALMACENAMIENTO	TEMP. MAX. CONG. °F	
2	3	4	5	6	7	
<b>FLORES CORTADAS</b>	Camelia	45	80 - 85	3 - 8 Días	En seco	30 60
	Clave	31	80 - 85	1 Mes	En seco	30 60
	Crisantemo	31	80 - 85	2 - 5 Semanas	En seco	30 50
	Flor de lis	31	80 - 85	2 Semanas	En seco	30 60
	Gardenia	31	80 - 85	2 - 3 Semanas	En seco	31 00
	Gladiola	35	80 - 85	1 Semana	En seco	31 40
	Flor de Chionara	31	80 - 85	2 Semanas	En seco	30 40
	Lino de Agua	40	80 - 85	1 Semana	En seco	
	Lino de Pasqua	31	80 - 85	2 Semanas	En seco	31 10
	Lino de los Vales	21	80 - 85	2 - 3 Semanas	En seco	
	Narciso	31	80 - 85	1 - 2 Semanas	En seco	
	Orquidea	45 - 55	80 - 85	2 - 3 Días	En agua	31 40
	Peonia	31	80 - 85	6 Semanas	En seco	30 10
	Rosa	31	80 - 85	2 Semanas	En seco	31 00
	Tulipán	31	80 - 85	6 - 8 Semanas	En seco	
<b>ARBUSTOS</b>	Abejo	31	85 - 90	1 - 4 Semanas	En seco	27 00
	Arandano	31	85 - 90	1 - 4 Semanas	En seco	26 70
	Helecho	31	85 - 90	4 - 6 Meses	En seco	28 00
	Laurel	31	85 - 90	1 - 4 Semanas	En seco	27 00
	Magnolia	31	85 - 90	1 - 4 Semanas	En seco	27 00
	Redodendro	31	85 - 90	1 - 4 Semanas	En seco	27 00
	Sala	31	85 - 90	1 - 4 Semanas	En seco	28 60
<b>BULBOS</b>	Azuena	70 - 75	75 - 80	2 Meses	En seco	30 60
	Dalia	40 - 45	75 - 80	5 Meses	En seco	28 70
	Flor de lis	75 - 80	75 - 80	4 Meses	En seco	
	Gladiola	40 - 45	75 - 80	6 Meses	En seco	28 00
	Lino	31	75 - 80	2 - 3 Meses	Envuelto en musgo	29 00
	Isardio	40 - 45	75 - 80	4 Meses	En seco	
	Peonia	40 - 45	75 - 80	5 Meses	En seco	
	Tulipán	40 - 45	75 - 80	1 - 2 Meses	En seco	27 60
<b>PLANTAS EN MACETA</b>	Arbustos y arbustos	32 - 35	80 - 85	4 - 5 Meses		
	Esquejes	32 - 40	80 - 85		Envuelto	
	Hortícolas perennes	27 - 35	80 - 85			
	Matas de Rosa	32 - 35	85 - 85	4 - 5 Meses	Raíces a descubierto envueltas en plástico	
	Plantas de Fresas	30 - 32	80 - 85	4 - 10 Meses	Raíces a descubierto envueltas en plástico	29 00

Tabla 5.11 Condiciones de almacenamiento para flores cortadas y plantas en cultivo.

**DATOS SOBRE ESPACIO, PESO Y DENSIDAD PARA PRODUCTOS  
ALMACENADOS EN CAMARAS REFRIGERADAS**

PRODUCTO	TIPO DE EMPAQUE	DIMENSIONES EXTERIORES DEL EMPAQUE (PLG)	PESO BRUTO PROMEDIO CON EMPAQUE (lb)	PESO NETO PROMEDIO CON EMPAQUE (lb)	DENSIDAD PROMEDIO DEL PESO BRUTO (lb/pie <sup>3</sup> )	DENSIDAD PROMEDIO DEL NETO (lb/pie <sup>3</sup> )
2	3	4	5	6	7	8
Amenoras con cascara	Sacos	24 x 15 x 33	91.50	90.0	13.3	13.10
Amenoras sin cascara	Cajas	6.6 x 23.5 x 8.8	32.00	28.0	31.7	27.70
Apo	Cajas a amoradas	29.2 x 16 x 8.8	60.00	55.0	32.8	30.00
	Caja de Cartón	16 x 11 x 10	36.00	32.0	35.4	31.40
Arandanos	Caja de Cartón	15.7 x 11.2 x 10.5	26.00	24.0	24.1	22.20
Brocoli congelado	Caja de Cartón de 24 - 10 onzas	12.5 x 11.5 x 8.5	18.50	15.0	26.2	21.20
Cacañuales sin cascara	Costal	36 x 10 x 15	127.00	125.0	38.2	38.60
Camachones	Caja de Cartón de 2.5 y 5 libras	Hecho a la medida				35.00
Carne de cordero sin hueso	Caja de fibra	23 x 15 x 5	57.00	53.0	55.7	51.00
Carne de res sin hueso	Caja de Cartón	23 x 15 x 5	145.00	140.0	83.4	80.00
Carne de res de antero	Suelto					22.20
Carne de res trancero	Suelto					22.20
Carne de ternera sin hueso	Caja de Cartón	23 x 15 x 5	57.00	53.0	55.7	51.00
Coco desmenzado	Sacos	35 x 15.5 x 8	101.00	100.0	31.0	30.70
Concentrados cítricos congelados	Caja de Cartón de 48 - 6 onzas	13 x 5.5 x 7.5	27.00	26.0	54.7	52.70
Crema	Latas	12 x 12 x 14	52.75	50.0	45.2	42.90
Enchinos	Caja de Cartón de 5 - 5 libras	17 x 11 x 8.5	32.00	30.0	31.1	28.20
Enchilatchi	Paquetes	23.5 x 10.5 x 7	57.00	57.0	57.0	57.00
Erbes	Sacos	45 x 21 x 25	234.00	229.0	16.5	16.10
Duraznos	Canasta	Diámetro 17	41.00	38.0	43.9	40.70
	Canasta	Diámetro 14.5	28.00	25.0	45.0	40.20
	Canasta Alamoza	16 x 11.5 x 11.5	42.00	38.0	29.2	26.40
	Caja de Alamoza con asas	15.1 x 11.5 x 8.7	26.00	23.0	32.0	33.10
Duraznos congelados	Caja de Cartón de 24 - 1 libra	13.5 x 11.2 x 7.5	27.00	24.0	41.0	36.40
Espes congelados	Caja de Cartón de 36 - 10 onzas	12.5 x 11 x 8	25.50	22.5	40.1	35.30
Espárragos congelados	Caja de Cartón de 24 - 12 onzas	13.5 x 11.7 x 8.5	21.00	18.0	27.7	23.80
Espinaca	Caja de Cartón de 24 - 14 onzas	12.5 x 11 x 8.5	24.00	21.0	35.5	31.00

Tabla 5.12 Datos sobre el espacio, peso y densidad para productos almacenados en cámaras refrigeradas.

CAPITULO V. APENDICE

Fresas	Lata de 30 Libras	12.5 x 10 x 10	32.00	30.0	44.2	41.50
Fruitas secas	Caja de Madera	15.5 x 10 x 8.6	26.50	25.0	45.4	42.90
Fruitas secas Dátiles	Caja de Cartón	14 x 14 x 11	32.00	30.0	25.7	24.00
Fruitas secas Ciruelas, Duraznos, Higos y Uvas Pasas	Caja de Cartón	15 x 11 x 7	32.00	30.0	47.9	44.90
Huevos Frescos	Caja de Madera	29 x 12 x 13	55.00	45.0	23.4	19.10
Huevos congelados	Latas	10 x 10 x 12.5	32.00	30.0	44.2	41.50
Leche condensada	Barriles	35 x 25.5 x 25.5	670.00	600.0	50.9	45.60
Lechuga	Caja de Cartón	22.5 x 13.5 x 9.5	37.50	35.0	24.7	
	Caja de Cartón	21.5 x 14.5 x 10.5	45.00	42.0	26.9	25.20
	Huacal para 30 cajas	42 x 50 x 66	1350.00	1170.0	16.8	14.60
Limonas	Caja de Cartón	16.2 x 10.1 x 10.5	40.00	37.0	40.0	37.00
Lomos con hueso	Caja de madera	28 x 10 x 10	60.00	54.0	37.0	33.30
Lomos deshuesado	Caja de fibra	20 x 15 x 5	57.00	52.0	65.7	59.90
Manteca de cerdo 2 - 29 libras	Caja de madera para exportación	15 x 13.2 x 7.7	64.00	56.0	59.8	52.50
Manzanas	Caja de Madera	16.5 x 11 x 12.2	50.00	42.0	33.1	27.80
	Caja de Cartón	20.5 x 12.5 x 13.5	46.75	43.0	22.8	21.90
	Huacal	47 x 47 x 30	1030.00	900.0	26.9	23.50
Morras azules congeladas	Caja de Cartón 24 - 12 onzas	12 x 11.5 x 8	20.00	18.0	31.3	22.20
Naranja	Caja	10.1 x 13.2 x 26.2	77.00	69.0	31.5	28.30
	Caja tipo Bruce	13 x 11 x 25.2	88.00	83.0	40.5	32.20
	Huacal para 40 cajas	40 x 48 x 55.5	1690.00	1480.0	26.0	22.80
Naranjas de Florida	Caja de Cartón	12.2 x 12.2 x 8	45.00	37.0	41.3	33.90
Nuez de la india con cascara	Costal	30 x 22 x 12	127.00	125.0	23.7	23.40
Nuez de la india sin cascara	Caja de Cartón	12 x 13 x 11	32.00	30.0	29.9	27.90
Nueces inglesas con cascara	Sacos	26 x 11 x 21	103.00	100.0	20.9	20.30
Nueces inglesas sin cascara	Caja de Cartón	14 x 14 x 10	27.00	25.0	23.8	22.00
Fajas	Sacos	33 x 17.5 x 11	101.00	100.0	27.5	27.20
Fajas a la francesa	Caja de Cartón de 10 - 12 onzas					22.60
Fajos congelados	Caja de Cartón	22 x 16 x 4	32.50	31.0	35.5	32.00
Fajos 2 - 8 lb 15 por paquete	Caja de Cartón	21 x 17 x 8.5	30.00	27.0	22.5	20.10
Fajos 8 - 10 lb 16 por paquete	Caja de Cartón	25 x 21.5 x 7	52.50	49.0	23.3	21.20
Fajos 10 - 13 lb 14 por paquete	Caja de Cartón	23.5 x 16 x 7.5	50.00	46.0	27.2	25.00
Fajos 13 - 15 lb 14 por paquete	Caja de Cartón	22 x 18.5 x 9	67.50	62.0	24.2	22.20
Fajos 15 - 20 lb 12 por paquete	Caja de Cartón	17 x 16 x 6	39.00	36.0	27.7	25.40
Fajos 20 - 24 lb 12 por paquete	Caja de Cartón	19 x 16.5 x 6.5	47.50	44.0	27.6	25.50
Fajos	Caja de Madera	8.5 x 11.5 x 1.8	52.00	49.0	51.0	47.10
Fajas envueltas	Caja de Cartón	16.5 x 12 x 10	52.00	46.0	40.5	35.60

Tabla 5.12 Datos sobre el espacio, peso y densidad para productos almacenados en cámaras refrigeradas (continuación).

CAPITULO V: APENDICE

Pescados congelados : Barras de pescado :	Caja de Cartón de 12 - 8 onzas	11 x 5.2 x 3.9	6.90	6.0	33.6	29.30
	Caja de Cartón de 24 - 8 onzas	17 x 5.5 x 4.5	13.80	12.0	37.8	32.90
Pescados congelados : Filete :	Caja de Cartón de 12 - 16 onzas	12.7 x 5.5 x 4	13.50	12.0	55.2	49.60
Pescados congelados : -Kuaon nango en rodajas :	Sin envase -congelado :	Caja de madera, suelto				30.35
Pescados congelados : pescado molido :	Sin envase -congelado :	Caja de madera, suelto				30.35
Pescados congelados : Pommes :	Caja de cartón de 2.3, 5 libras	Hecho a la medida				29.33
Pescados congelados : Barras :	Sin envase -congelado :	Aplado suelto				33.35
Pescados congelados : Trozos :	Caja de cartón de 4 - 12 libras	20.7 x 10.2 x 6.7	56.00	54.0	57.0	55.00
	Caja de cartón de 4 - 10 libras	16.7 x 10.7 x 11.3	68.00	66.0	49.2	47.80
Pollo fresco desvicerado: entero 24 - 30 por paquetes :	Canasta Alambrada	24 x 10 x 7	65.00	60.0	27.5	25.40
Pollo fresco desvicerado: en panes :	Canasta Alambrada	17.7 x 10 x 12.5	54.00	50.0	42.1	39.90
Pollo congelado desvicerado : 8 pollos por paquetes :	Caja de Cartón	20.7 x 13 x 5.5	32.50	30.0	27.3	25.20
Pollo congelado desvicerado : 8 pollos por paquetes :	Caja de Cartón	20.7 x 13 x 5.5	32.50	30.0	27.3	25.20
Queso	Empaque reflejado	16 x 16 x 13	84.00	78.0	43.6	40.50
	Madera de exportación	17 x 17 x 14	87.00	76.0	37.1	32.50
Queso suizo	Empaque diámetro	32.5 x 32.5 x 7		171.0		40.00
Tomates de California	Caja de Madera con asas	17.5 x 14 x 17.5	34.00	30.0	30.9	27.30
Tomates de Florida	Caja de Cartón	18 x 10.2 x 9.9	43.00	40.0	33.3	31.00
Tomates de Florida	Canasta Alambrada	10.9 x 11.9 x 11.2	64.00	60.0	41.3	32.70
Tomates de Texas	Caja de Madera con asas	17.5 x 14 x 9.9	34.00	30.0	36.2	31.90
Tortugas	Caja de Cartón	18.2 x 10.2 x 9	40.00	39.0	36.7	34.60
Uvas de California	Caja de Madera con asas	6.5 x 16 x 19	31.00	28.0	32.4	29.20

Tabla 5.12 Datos sobre el espacio, peso y densidad para productos almacenados en cámaras refrigeradas (continuación).

Cambios de aire cada 24 horas en cuartos Fríos, debidos a la apertura de puertas e infiltración		
VOLUMEN (m <sup>3</sup> )	VOLUMEN (pies <sup>3</sup> )	CAMBIOS DE AIRE CADA 24 HORAS
5	200	41.0
6	300	34.5
11	400	28.5
14	500	26.0
17	600	23.0
23	800	20.0
28	1000	17.5
42	1500	14.0
57	2000	12.0
85	3000	8.5
113	4000	8.0
142	5000	7.2
170	6000	6.5
225	8000	5.5
283	10000	4.9
425	15000	3.9
566	20000	3.5
765	25000	3.0
950	30000	2.7
1123	40000	2.3
1415	50000	2.0
2124	75000	1.6
2820	100000	1.4

Tabla 5.13 Cambios de aire cada 24 horas en cuartos fríos debido a la apertura de puertas e infiltración.

CALOR DISIPADO POR LAS PERSONAS DENTRO DEL ESPACIO REFRIGERADO	
TEMPERATURA DEL REFRIGERADOR	CALOR DISIPADO / PERSONA (BTU HORA)
°F	
5	3
50	720
40	840
30	950
20	1050
10	1200
0	1300
-10	1400

Tabla 5.14 Calor disipado por las personas dentro del espacio refrigerado.<sup>20</sup>

<sup>20</sup> Todas las tablas fueron tomadas del Manual de Refrigeración Gilvert Copeland, Parte 3, Secciones 12 a 16.

## CONCLUSIONES

En el presente trabajo se pudo observar que el hombre a través de la historia ha buscado tener mayor grado de confort aplicando para ello sus conocimientos haciendo uso de los avances tecnológicos y con ello lograr mejor nivel de vida. Tomando en este caso lo relacionado a su confort y preservación de alimentos.

Para lo que a las conclusiones que podemos que llegar es demostrar la importancia la importancia que se tiene en la actualidad para poder controlar dentro de lo posible el medio ambiente que nos rodea y tener conciencia del estudio de la refrigeración para con ello poder satisfacer las necesidades que hoy en día se tiene en la vida diaria.

Es de suma importancia realizar un trabajo profesional en este campo para con ello cubrir las necesidades de una manera eficiente y económica, todo ello evitando siempre el desperdicio de recursos humanos y económicos sin perder de vista la protección del medio ambiente.

Si nos damos cuenta la vida moderna nos pide que en los centros laborales, así como en los hogares, existan equipos que puedan mantener un ambiente adecuado.

En el ámbito comercial es de suma importancia este campo de estudio pues se tiene que aplicar desde diferentes puntos de aplicación como puede ser el automóvil, las maquinas industriales, los sistemas de computo, las centrales telefónicas, las oficinas administrativas, los equipos de perforación, equipos de refrigeración, refrigeradores industriales, refrigeradores comerciales, etc.

De lo antes expuesto podemos concluir que el mundo moderno nos exige cada vez más el estudio de este campo.

## ANEXO

**Temperatura** es la escala usada para medir la intensidad de calor y es el indicador que determina la dirección en que se moverá la energía de calor.

**Termodinámica** rama de la física que trata sobre la acción mecánica del calor.

**Calor** es una forma de energía, creada principalmente por la transformación de otros tipos de energía.

**Medida de calor** la unidad básica es la caloría que equivale a 1000 gr. En el sistema ingles la unidad es el BTU, que se define como la cantidad de calor necesaria para elevar la temperatura de una libra de agua en un grado Fahrenheit.

**Transmisión de calor** la segunda ley importante de la termodinámica es aquella según la cual el calor siempre viaja del cuerpo mas calido al cuerpo mas frío. El grado de transmisión es directamente proporcional a la diferencia de temperatura entre ambos cuerpos.

**Radiación** es la transmisión de calor por ondas similares a las de la luz.

**Conducción** es el flujo de calor a través de una sustancia. Se requiere del contacto físico real.

**Convección** es el flujo de calor por medio de un fluido, que puede ser un gas o un líquido.

**Calor sensible** es la cantidad de calor que se agrega o se quita a una sustancia y en el cual hay aumento o disminución de temperatura y la sustancia permanece en un solo estado.

**Calor latente** es la cantidad de calor que se agrega o se quita a una sustancia, la cual se encuentra en un cambio de estado físico.

**Entalpia** es la cantidad de calor total por unidad de masa que se agrega o se quita a una sustancia partiendo desde un punto de referencia.

**Tonelada de refrigeración** es una unidad americana basada en el efecto frigorífico de la fusión del hielo. Puede definirse como la cantidad de calor absorbida por la fusión de una tonelada de hielo sólido puro en 24 hrs.

**Temperatura de saturación** es la condición de temperatura y presión en la cual el líquido y el vapor pueden existir simultáneamente.

**Vapor sobrecalentado** cuando un líquido cambia a vapor, cualquier cantidad adicional de calor aumentara su temperatura.

**Líquido sub-enfriado** cualquier líquido que tenga una temperatura inferior a la temperatura de saturación correspondiente a la presión existente. El agua a cualquier temperatura por debajo de su punto de ebullición está sub-enfriada.

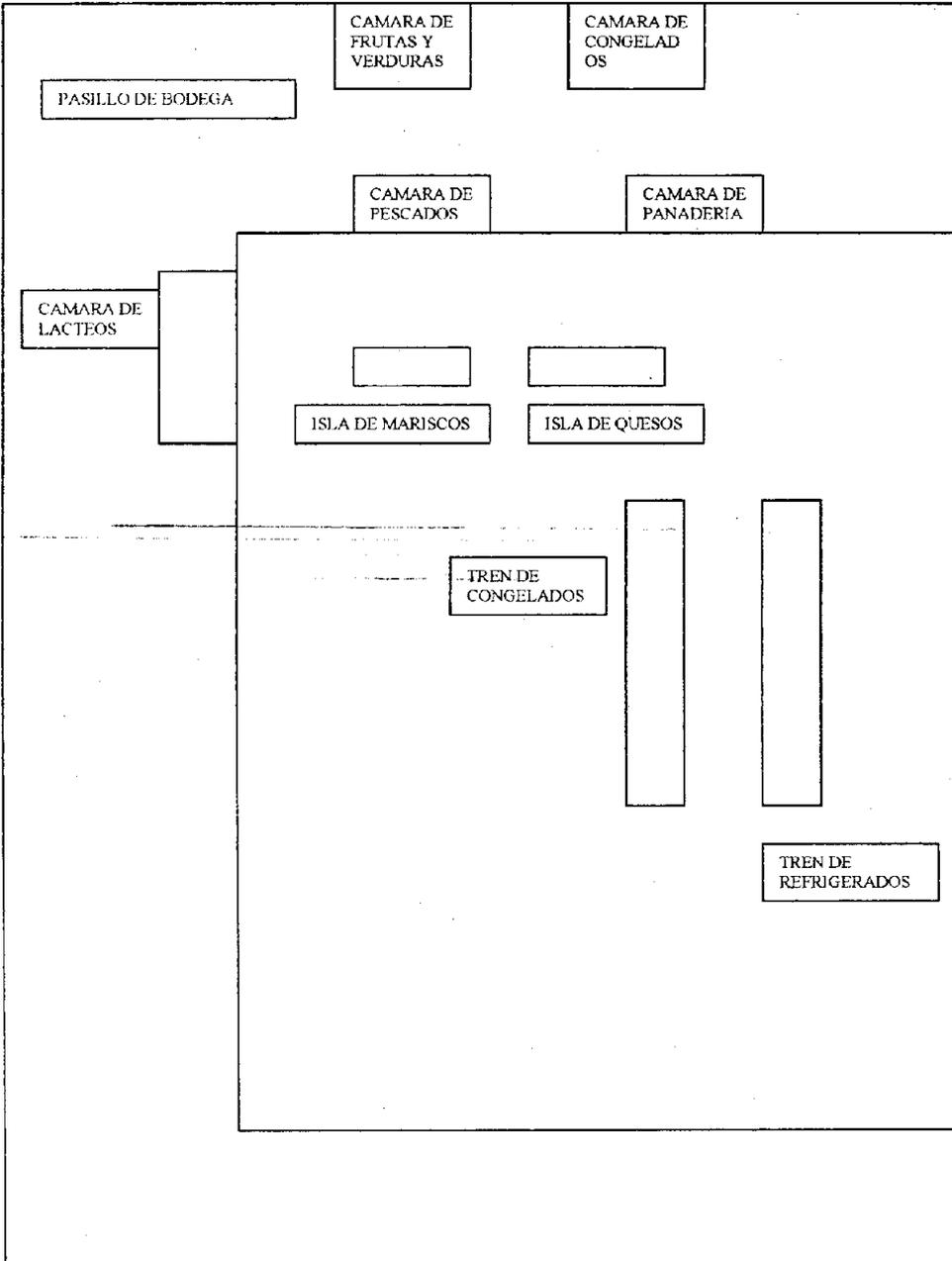
**Presión** es la fuerza aplicada sobre una unidad de superficie y se utilizan varias unidades para medirla.

**Presión atmosférica** es la fuerza que se ejerce debido al peso del aire sobre los cuerpos que se encuentran en la tierra, dependiendo esta de la altitud del lugar con respecto del nivel del mar.

**Presión manométrica** es la presión interna a la que se encuentra un sistema cerrado y puede ser generado casi siempre por el hombre.

**Refrigerante** es una sustancia que puede absorber grandes cantidades de calor con un aumento de su calor sensible si la diferencia de temperatura es grande o si el peso de la sustancia es elevado.

ANEXO



ESQUEMA GRAFICO DE DISTRIBUCION DE EQUIPOS DE REFRIGERACION.

ANEXO

TEMPERATURA			
	*Fahrenheit	*Celsius	*Kelvin
*Fahrenheit	1	(F - 32)/1.8	(F-32)/5/9-273.15
*Celsius	(C * 1.8) + 32	1	C - 273.15
*Kelvin	(K-273.15)*9/5-32	K - 273.15	1

LONGITUD						
	cm	METRO	Km	plg	pie	mi
cm	1	1.00000E-02	1.00000E-05	3.93701E-01	3.28084E-02	6.21504E-06
METRO	1.00000E+02	1	1.00000E-02	3.93701E+01	3.28084E+00	6.21504E-04
Km	1.00000E+05	1.00000E+03	1	3.93701E+04	3.28084E+03	6.21504E-01
plg	2.54000E+00	2.54000E-02	2.54000E-05	1	9.33333E-02	1.57828E-05
pie	3.04800E+01	3.04800E-01	3.04800E-04	1.20000E+01	1	1.57828E-04
mi	1.60930E+05	1.60930E+03	1.60930E-03	6.33333E+04	5.28000E+03	1

AREA				
	cm2	METRO2	plg2	pie2
cm2	1	1.00000E-04	1.55000E-01	1.07639E-03
METRO2	1.00000E+04	1	1.55000E+03	1.07639E+01
plg2	6.45160E+00	6.45160E-04	1	6.64444E-03
pie2	9.29030E+02	9.29030E-02	1.44000E+02	1

VOLUMEN					
	cm3	METRO3	LITRO	plg3	pie3
cm3	1	1.00000E-06	1.00000E-03	6.10237E-02	3.53147E-05
METRO3	1.00000E+06	1	1.00000E+03	6.10237E+04	3.53147E+01
LITRO	1.00000E+03	1.00000E+03	1	6.10237E+01	3.53147E+00
plg3	1.63871E+01	1.63871E-05	1.63871E-02	1	5.76704E-04
pie3	2.63168E+04	2.63168E-02	2.63168E+01	1.72800E+02	1

FUERZA						
	dina	NEWTON	lb	lbf	gf	Kgf
dina	1	1.00000E-05	2.24809E-06	7.23300E-06	1.02000E-03	1.02000E-06
NEWTON	1.00000E+05	1	2.24809E-01	7.23300E+00	1.02000E+02	1.02000E-01
lb	4.44840E+05	4.44840E+00	1	3.21700E+01	4.53800E+02	4.53800E-01
lbf	1.38255E+04	1.35255E-01	3.10549E-02	1	1.41000E+01	1.41000E-02
gf	9.80392E+02	9.80392E-03	2.20459E-03	7.09220E-02	1	1.00000E-03
Kgf	9.80392E+05	9.80392E+00	2.20459E+00	7.09220E+01	1.00000E+03	1

Las cantidades en áreas coloreadas no son unidades de fuerza aunque frecuentemente se usan como tales. Por ejemplo, si escribimos 1 gramo fuerza "=" 980.7 dinas, queremos decir que un gramo masa experimenta una fuerza de 980.7 dinas bajo condiciones normales.

ANEXO

<b>POTENCIA</b>						
	Btu/h	pie <sup>3</sup> /lb/s	hp	cal/s	KW	Watt
Btu/h	1	2.18130E-01	3.92703E-04	6.99800E-02	2.93030E-04	2.93030E-01
pie <sup>3</sup> /lb/s	4.62742E+00	1	1.61500E-03	3.23900E-01	1.25630E-03	1.36603E+00
hp	2.54515E+03	5.50255E+02	1	1.78100E+02	7.45700E-01	7.45700E+02
cal/s	1.42565E+01	3.06737E+00	5.61482E-03	1	4.16790E-03	4.16790E+00
KW	2.41297E+03	7.37483E+02	1.34102E+00	2.38534E+02	1	1.00000E+03
Watt	3.41297E+00	7.37483E-01	1.34102E-03	2.38834E-01	1.00000E-03	1

<b>TIEMPO</b>					
	AÑO	DIA	HORA	MINUTOS	SEGUNDOS
AÑO	1	3.65250E+02	8.76000E+03	5.25650E+05	3.15270E+07
DIA	2.72765E-03	1	2.40000E+01	1.44000E+03	8.64000E+04
HORA	1.14317E-04	4.12887E-02	1	6.00000E+01	3.60000E+03
MINUTO	1.90129E-05	6.04444E-04	1.65567E-02	1	6.00000E-01
SEGUNDO	2.14581E-08	1.15741E-05	2.77778E-04	1.66667E-02	1

<b>DENSIDAD</b>					
	slug/pie <sup>3</sup>	Kg/m <sup>3</sup>	g/cm <sup>3</sup>	lb/pie <sup>3</sup>	lb/plg <sup>3</sup>
slug/pie <sup>3</sup>	1	5.15400E-02	5.15400E-01	3.21700E+01	1.85200E-02
Kg/m <sup>3</sup>	1.94030E-03	1	1.00000E-03	6.24300E-02	3.61300E-05
g/cm <sup>3</sup>	1.94030E+00	1.00000E+03	1	6.24300E+01	3.61300E-02
lb/pie <sup>3</sup>	3.10630E-02	1.60200E-01	1.60200E-02	1	5.78700E-04
lb/plg <sup>3</sup>	5.37100E+01	2.76800E-04	2.76800E-01	1.72800E+03	1

Estas cantidades son densidades en peso y son diferentes dimensionalmente de la densidad en masa

<b>ANGULO PLANO</b>					
	GRADO	MINUTO	SEGUNDO	RADIAN	REVOLUCION
GRADO	1	6.00000E-01	3.60000E-03	1.74633E-02	2.77778E-03
MINUTO	1.66667E-02	1	6.00000E-01	2.60886E-04	4.62963E-05
SEGUNDO	2.77778E-03	1.66667E-02	1	4.64144E-05	7.71605E-07
RADIAN	5.72958E+01	3.43775E+02	2.06285E+04	1	1.59155E-01
REVOLUCION	3.60000E-03	2.16000E-04	1.59155E-01	6.28318E+00	1

ANEXO

**ENERGIA, TRABAJO Y CALOR**

	BTU	erg	pie <sup>2</sup> lb	hp <sup>2</sup> h	JOULE	cal	KWh	eV	MeV	Kg	u
BTU	1	1.0550E+10	7.7790E+02	3.9200E+04	1.0550E+09	2.5200E+02	2.9300E-04	6.5850E-21	6.5850E-15	1.1743E-14	7.0700E-12
erg	4.4757E-11	1	7.3769E-03	3.7260E-14	1.0000E+07	2.3882E-02	2.7780E-14	6.2420E-17	6.2420E-05	1.1130E-24	6.7000E-02
pie <sup>2</sup> lb	1.2855E-02	1.3557E-07	1	5.2510E-07	1.3550E+00	3.2360E-01	3.7860E-07	8.4640E-16	8.4640E-12	1.6090E-17	9.0870E-06
hp <sup>2</sup> h	2.5421E-03	2.6949E-13	1.9795E+06	1	2.6500E+06	6.4130E+05	7.4570E-01	1.6700E+25	1.6700E-19	2.9890E-11	1.7900E-16
JOULE	9.4787E-04	1.0000E-07	7.3746E-07	3.7244E-07	1	2.3882E-01	2.7850E-07	6.2420E-16	6.2420E-12	1.1130E-17	6.7020E-06
cal	3.9693E-03	4.1870E-07	3.6863E+00	1.5563E+04	4.1870E+00	1	1.1635E-06	2.6140E-19	2.6140E-13	4.8600E-17	2.6000E-10
KWh	5.4133E+03	5.6927E+15	2.8153E+09	1.3410E+30	5.5666E+06	6.5969E+07	1	2.2470E-07	2.2470E+19	4.0070E-11	2.4190E+16
eV	1.5185E-02	1.6021E-12	1.1815E-19	5.2506E-26	1.6021E-10	3.8295E-20	4.4504E-26	1	1.0000E-06	1.7830E-36	1.0740E-09
MeV	1.5185E-12	1.6021E-02	1.1815E-15	5.2506E-20	1.6021E-10	3.8295E-14	4.4504E-20	1.0000E-06	1	1.7830E-30	1.0740E-03
Kg	6.5170E+13	6.8647E+23	6.6246E+16	3.3467E+10	5.6547E+16	2.1456E+16	2.4956E+10	5.6085E+38	5.6085E+29	1	6.0020E+20
u	1.0000E+00	1.4621E-03	1.1005E-10	5.2566E-17	1.4621E-10	3.5636E-11	4.1442E-17	9.3110E+06	9.3110E-02	1.6606E-27	1

Las cantidades coloreadas no son propiamente unidades de energía, pero se incluyen por conveniencia. Proviene de la fórmula de la equivalencia relativista de masa-energía E = mc<sup>2</sup> y representan la energía liberada cuando un kilogramo o unidad de masa atómica

**PRESIÓN**

	atm	dina/cm <sup>2</sup>	plg de agua	cm Hg	PASCAL	lb/plg <sup>2</sup>	lbpie <sup>2</sup>
atm	1	1.0130E+05	4.0690E+02	7.613000E+01	1.01300E+05	1.47000E+01	2.11600E+03
dina/cm <sup>2</sup>	9.8757E-07	1	4.01500E-04	7.50100E-05	1.00000E-01	1.45033E-05	2.05900E-03
plg de agua	2.48010E-03	2.49009E+03	1	1.93600E+01	2.49100E+02	3.61500E-02	5.20200E+00
cm Hg	1.31577E-02	1.33316E+04	5.31332E+00	1	1.33300E+03	1.93430E-01	2.76500E+01
PASCAL	9.8757E-09	1.00000E-01	4.01445E-03	7.50187E-04	1	1.45000E-04	2.05900E-02
lb/plg <sup>2</sup>	6.80170E-02	6.59500E+04	2.75776E+01	5.17003E+00	6.59600E-03	1	1.44200E+02
lbpie <sup>2</sup>	4.72520E-04	4.76626E+02	1.92234E-01	3.54006E-02	4.76606E-07	6.64444E-03	1

**MASA**

	gramo	Kilogramo	slug	oz (onza)	oz	libra	ton
gramo	1	1.0000E+03	6.85200E-03	6.02200E+23	3.52700E-02	2.20500E-03	1.10220E-06
Kilogramo	1.00000E-03	1	6.85200E-02	6.02200E+26	3.52700E+01	2.20500E+00	1.10220E-03
slug	1.45000E+04	1.45000E+01	1	6.76900E+27	5.14800E+02	3.21700E+01	1.60200E-02
oz (onza)	1.60130E-24	1.60130E-07	1.13500E-28	1	5.65700E-08	3.60200E-07	1.63000E-30
onza	2.65500E-01	2.65500E-02	1.64300E-03	1.71600E+26	1	6.25000E-02	3.12500E-05
libra	4.53000E-02	4.53000E-01	3.10500E-02	2.73200E+26	1.50000E-01	1	5.00000E-04
ton	9.07200E-05	9.07200E-02	6.21000E-01	5.46300E+26	3.20000E-04	2.00000E-03	1

Estas no son unidades de masa aunque a menudo se usen como tales. Cuando escribimos, por ejemplo, 1Kg=2.205 lb esto significa que un Kg es una masa que pesa 2.205 lb bajo las condiciones normales de gravedad (g=9.80665 m/s<sup>2</sup>)

## BIBLIOGRAFIA

Marks., Manual del ingeniero mecánico. Edit. McGraw-Hill / Interamericana de México, SA de CV. 3ª Edición en español.

Dossat, Roy J., Principios de refrigeración. Grupo Editorial Patria. Vigésima reimpresión 2001.

Hernández Goribar, Eduardo., Fundamentos de aire acondicionado y refrigeración. Edit. Limusa. Octava reimpresión 1988.

Copeland, Gilvert., Manual de refrigeración. Parte 3, secciones 12 a 16

Yáñez Angli., Gildardo., Manual de servicio y operación de equipos de refrigeración comercial. Curso de capacitación técnica.

Apuntes del curso de refrigeración, impartido por el Ing. Mata. En el CET 1. En el periodo comprendido de Agosto a Diciembre de 2002.

Apuntes del curso de Controladores Lógicos Programables (PLC), Impartido por el Ing. Abraham Rodas, en el CET 1. En el periodo de febrero a mayo de 2002.

Apuntes del curso de aire acondicionado, impartido por el Ing. Mata. En el CET 1. en el periodo de mayo a agosto de 2002.

Moeller, Klöckner., Automation with programmable controllers, An introduction for beginners.

Manual de referencias del STEP 7 de SIEMMENS.

Pagina de Internet [www.compuertas.com](http://www.compuertas.com).