



Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Ingeniería Mecánica

**DISEÑO DE SISTEMA DE AIRE ACONDICIONADO PARA EL ÁREA DEL  
COMEDOR DE LA SUBDIRECCIÓN GENERAL DE APOYO Y LOGÍSTICA DE  
LA POLICÍA NACIONAL CIVIL**

**Jonathan Benjamín España Cabrera**  
Asesorado por el Ing. Oscar Ernesto Jurado Godoy

Guatemala, agosto de 2017

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE SISTEMA DE AIRE ACONDICIONADO PARA EL ÁREA DEL  
COMEDOR DE LA SUBDIRECCIÓN GENERAL DE APOYO Y LOGÍSTICA DE  
LA POLICÍA NACIONAL CIVIL**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

JONATHAN BENJAMÍN ESPAÑA CABRERA  
ASESORADO POR EL ING. OSCAR ERNESTO JURADO GODOY

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO MECÁNICO**

GUATEMALA, AGOSTO DE 2017

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. Angel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Jurgen Andoni Ramírez Ramírez
VOCAL V	Br. Oscar Humberto Galicia Nuñez
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADOR	Ing. Carlos Aníbal Chicojay Coloma
EXAMINADOR	Ing. Carlos Humberto Pérez Rodríguez
EXAMINADOR	Ing. Fredy Mauricio Monroy Peralta
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

## **HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

### **DISEÑO DE SISTEMA DE AIRE ACONDICIONADO PARA EL ÁREA DEL COMEDOR DE LA SUBDIRECCIÓN GENERAL DE APOYO Y LOGÍSTICA DE LA POLICÍA NACIONAL CIVIL**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica, con fecha 26 de octubre de 2016.

**Jonathan Benjamín España Cabrera**

Guatemala, febrero de 2017

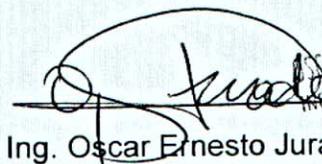
Ingeniero  
Roberto Guzmán Ortiz  
DIRECTOR  
Escuela de Ingeniería Mecánica  
Facultad de Ingeniería, Usac.

Ingeniero Guzmán Ortiz

Por medio de la presente me dirijo a usted, para hacer de su conocimiento que como Asesor del estudiante universitario, Jonathan Benjamín España Cabrera, con número de carné 2005-17743, he tenido a la vista el trabajo de graduación titulado: **DISEÑO DE SISTEMA DE AIRE ACONDICIONADO, PARA EL ÁREA DEL COMEDOR DE LA SUBDIRECCIÓN GENERAL DE APOYO Y LOGÍSTICA DE LA POLICÍA NACIONAL CIVIL.** El cual encuentro satisfactorio.

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

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

  
OSCAR ERNESTO JURADO GODOY  
INGENIERO MECANICO INDUSTRIAL  
COLEGIADO No. 8604

Ing. Oscar Ernesto Jurado Godoy.

Colegiado No. 8604

ASESOR



**USAC**  
TRICENTENARIA

Universidad de San Carlos de Guatemala

Facultad de Ingeniería

Escuela de Ingeniería Mecánica

Ref.E.I.M.086.2017

El Coordinador del Área Térmica de la Escuela de Ingeniería Mecánica, luego de conocer el dictamen del Asesor y habiendo revisado en su totalidad el trabajo de graduación titulado: **DISEÑO DE SISTEMA DE AIRE ACONDICIONADO, PARA EL ÁREA DEL COMEDOR DE LA SUBDIRECCIÓN GENERAL DE APOYO Y LOGÍSTICA DE LA POLICÍA NACIONAL CIVIL** desarrollado por el estudiante **Jonathan Benjamín España Cabrera, CUI 2521-43345-0101, Registro Académico 200517743** recomienda su aprobación.

**"Id y Enseñad a Todos"**

Ing. Julio César Campos Paiz  
Coordinador Área Térmica  
Escuela de Ingeniería Mecánica



MA Ing. Julio César Campos Paiz  
Ingeniero Mecánico  
Colegiado No. 2701

Guatemala, febrero 2017



**USAC**

TRICENTENARIA  
Universidad de San Carlos de Guatemala

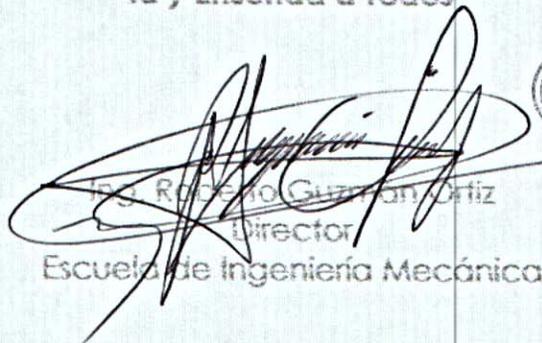
Facultad de Ingeniería

Escuela de Ingeniería Mecánica

Ref.E.I.M.203.2017

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica, de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor y con la aprobación del Coordinador del Área Térmica del trabajo de graduación titulado: **DISEÑO DE SISTEMA DE AIRE ACONDICIONADO, PARA EL ÁREA DEL COMEDOR DE LA SUBDIRECCIÓN GENERAL DE APOYO Y LOGÍSTICA DE LA POLICÍA NACIONAL CIVIL** del estudiante **Jonathan Benjamín España Cabrera, CUI 2521-43345-0101, Registro Académico 200517743** y luego de haberlo revisado en su totalidad, procede a la autorización del mismo.

*"Id y Enseñad a Todos"*

  
Ing. Rodolfo Guzmán Ortiz  
Director  
Escuela de Ingeniería Mecánica



Guatemala, julio de 2017

/aej

Universidad de San Carlos  
de Guatemala

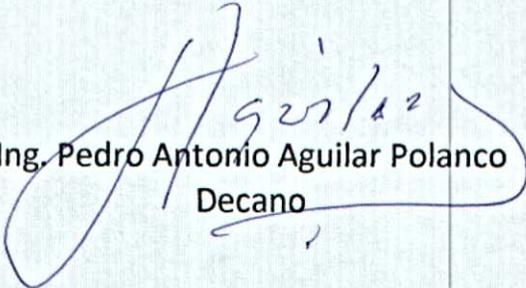


Facultad de Ingeniería  
Decanato

DTG. 330.2017

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica, al Trabajo de Graduación titulado: **DISEÑO DE SISTEMA DE AIRE ACONDICIONADO PARA EL ÁREA DEL COMEDOR DE LA SUBDIRECCIÓN GENERAL DE APOYO Y LOGÍSTICA DE LA POLICÍA NACIONAL CIVIL**, presentado por el estudiante universitario: **Jonathan Benjamín España Cabrera**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

  
Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco  
Decano



Guatemala, agosto de 2017

/gdech

## **ACTO QUE DEDICO A:**

<b>Dios</b>	Por darme sabiduría y permitirme llegar a alcanzar esta meta.
<b>Mi madre</b>	María Lisseth Cabrera Ramirez, por su amor y apoyo incondicional.
<b>Mi abuela</b>	María Margarita Cabrera Ramírez, por sus bendiciones y cariño durante mi vida.
<b>Mis hermanas</b>	María Jossé y Jaqueline Lisseth España, para quienes quiero ser un ejemplo de que con esfuerzo y dedicación se pueden lograr los objetivos trazados.
<b>Mi novia</b>	Licda. Karla Mollinedo, quien me acompañó en cada momento de mi carrera y con quien hoy puedo compartir esta alegría.
<b>Mis tíos</b>	Por ser parte importante de mi éxito, en especial mi tía Elizabeth Ramírez y Jorge Cabrera.
<b>Mis amigos</b>	Arturo Figueroa, Erick Roldan, Alex Roquel, Luis Solares y a todos los que hicieron más amena mi vida estudiantil.

## **AGRADECIMIENTOS A:**

**Universidad de San  
Carlos de Guatemala**

Por ser fuente de conocimiento y abrirme las puertas al profesionalismo.

**Facultad de Ingeniería**

Por brindarme los conocimientos y habilidades necesarias para desempeñarme de la mejor manera como profesional.

**Todas las personas que  
hicieron parte de este  
trabajo de graduación**

Gracias por sus consejos, conocimientos y apoyo incondicional que hicieron posible este trabajo de graduación.



2.3.1.	Calor sensible.....	22
2.3.2.	Calor latente .....	22
2.3.3.	Calor específico.....	22
2.4.	Transferencia de calor.....	22
2.4.1.	Conducción .....	23
2.4.2.	Convección.....	23
2.4.3.	Radiación .....	24
2.5.	Psicometría .....	25
2.5.1.	Líneas de proceso en la carta psicométrica .....	29
2.5.2.	Variaciones de calor sensible y latente .....	31
3.	COMPONENTES DE UN SISTEMA DE AIRE ACONDICIONADO .....	33
3.1.	Componentes básicos.....	33
3.1.1.	Evaporadores .....	33
3.1.2.	Condensadores .....	37
3.1.3.	Compresores.....	39
3.1.4.	Válvula de expansión termostática.....	42
3.2.	Controles automáticos del sistema de aire acondicionado.....	43
3.2.1.	Control de temperatura o termostato.....	43
3.2.2.	Control de presión o presostato .....	47
4.	ANÁLISIS DE LAS CONDICIONES AMBIENTALES DEL ÁREA DEL COMEDOR DE LA SUBDIRECCION GENERAL DE APOYO Y LOGISTICA.....	49
4.1.	Condición interior de diseño.....	49
4.2.	Condiciones exterior del diseño .....	50
4.3.	Ubicación geográfica.....	51
4.4.	Tablas para el cálculo de carga térmica.....	51

4.5.	Procedimiento para el cálculo de carga térmica del área de comedor.....	57
4.6.	Índices de confort .....	61
5.	SELECCIÓN DEL EQUIPO DE AIRE ACONDICIONADO .....	63
5.1.	Tipo de aire acondicionado seleccionado.....	63
5.1.1.	Equipo de aire acondicionado tipo paquete .....	64
5.1.2.	Especificaciones técnicas del equipo .....	68
5.1.3.	Aplicaciones.....	70
5.2.	Diseño del sistema de ductos para el área del comedor .....	71
5.2.1.	Calculo de ductería por medio de tablas .....	72
5.2.2.	Sistema de ductos de retorno .....	75
5.2.3.	Aire de renovación.....	75
5.2.4.	Difusores de aire.....	76
5.2.5.	Esquema de la distribución del aire a través del sistema de ductos.....	78
5.3.	Esquema del circuito eléctrico del equipo de aire acondicionado .....	80
	CONCLUSIONES .....	81
	RECOMENDACIONES .....	83
	BIBLIOGRAFÍA.....	85



# ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

## FIGURAS

1.	Organigrama .....	3
2.	Área del comedor .....	4
3.	Plano Layout .....	4
4.	Compresor rotativo.....	8
5.	Compresor de tornillo .....	9
6.	Compresor de caracol .....	9
7.	Condensador enfriado por agua.....	10
8.	Condensador enfriado por aire.....	10
9.	Ciclo de refrigeración de compresión de vapor .....	12
10.	Relación de presiones entre el refrigerante R-404 a y R502.....	19
11.	Esquema simple de refrigeración .....	21
12.	Carta psicométrica a temperaturas normales y presión barométrica de 101 325 kPa .....	30
13.	Procesos combinados de calor sensible y latente.....	31
14.	Evaporador cúbico .....	34
15.	Evaporador mural.....	35
16.	Evaporador de plafón .....	35
17.	Evaporador centrífugo .....	36
18.	Evaporador estático .....	36
19.	Evaporador de agua.....	37
20.	Válvula de expansión .....	42
21.	Termostato bimetalico .....	45
22.	Termostato automático.....	45

23.	Termostato de bajo voltaje.....	46
24.	Termostato universal de bajo voltaje para bomba de calor.....	46
25.	Termostato a voltaje de línea.....	47
26.	Presostato.....	48
27.	Área afectada por alero .....	57
28.	Índice de confort .....	62
29.	Aire acondicionado tipo paquete.....	64
30.	Componentes sin movimiento del equipo paquete .....	69
31.	Partes del equipo paquete que contienen movimiento .....	70
32.	Ducto redondo .....	73
33.	Ducto rectangular.....	74
34.	Sistema de aire de reposición.....	76
35.	Difusores comúnmente usados .....	78
36.	Esquema de ductos rígidos en el área de comedor.....	79
37.	Distribución de ductos en área de comedor.....	79
38.	Esquema del circuito eléctrico .....	80

## TABLAS

I.	Presiones de operación .....	15
II.	Gases que componen el aire en la atmosfera .....	27
III.	Descripción de consumo de los aparatos eléctricos .....	49
IV.	Temperatura media bulbo seco en °F de la ciudad capital .....	50
V.	Temperatura promedio y absoluta de la ciudad capital.....	51
VI.	Factores de sombra para aleros .....	52
VII.	Ganancia por calor.....	52
VIII.	Factores de ganancia de calor por radiación solar a través de los vidrios .....	53
IX.	Factores de transmisión de calor.....	53

X.	Factores de transmisión de calor a través de pared y techo .....	54
XI.	Diferencias equivalentes de temperatura para pared.....	56
XII.	Infiltración cambios por hora .....	56
XIII.	Medidas y capacidades de sistema tipo paquete.....	68
XIV.	Velocidades recomendadas para el cálculo de ductería .....	72
XV.	Dimensiones de suministro .....	75
XVI.	Dimensiones de retorno .....	75



## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
<b>A/C</b>	Aire acondicionado
<b>Amp. (A)</b>	Amperaje
<b>w</b>	Ancho
<b>Cal</b>	Calorías
<b>CU</b>	Coeficiente de utilización
<b>dB</b>	Decibeles
<b>FM</b>	Factor de mantenimiento
<b>° C</b>	Grados Celsius
<b>° F</b>	Grados Fahrenheit
<b>m</b>	Metro
<b>m<sup>2</sup></b>	Metro cuadrado
<b>m/s</b>	Metro por segundo
<b>mm</b>	Milímetros
<b>min</b>	Minutos
<b>CFM</b>	p <sup>3</sup> /min.
<b>Pa</b>	Pascal
<b>p<sup>3</sup>/lb</b>	Pie cúbico por libra
<b>p<sup>3</sup>/min.</b>	Pie cúbico por minuto
<b>Ft</b>	Pies
<b>s</b>	Segundos
<b>T</b>	Temperatura
<b>Te</b>	Temperatura externa
<b>Ti</b>	Temperatura interna

<b>BTU</b>	Unidad térmica británica
<b>Watts (W)</b>	Vatios
<b>V</b>	Velocidad
<b>v</b>	Volumen específico

## GLOSARIO

<b>Aire acondicionado</b>	Tratamiento para controlar una o más de las siguientes condiciones del aire contenido en un espacio: temperatura, humedad, limpieza y distribución.
<b>Calor</b>	Forma de energía asociada al movimiento de los átomos, moléculas y otras partículas que forman la materia.
<b>Calor latente</b>	Cambio de entalpía de una sustancia cuando cambia de estado.
<b>Calor sensible</b>	Cambio de entalpía de una sustancia cuando cambia su temperatura pero no su estado.
<b>Fahrenheit</b>	Escala de temperatura en la cual el punto de congelamiento del agua es de 32 °F y el punto de ebullición de 212 °F.
<b>Temperatura</b>	Movimiento molecular acelerado de las partículas.
<b>Punto crítico</b>	Es el límite en el cual la densidad del líquido y el vapor son iguales.



## RESUMEN

La refrigeración es una técnica que se ha desarrollado con el transcurso del tiempo y que ha avanzado con el paso del tiempo, como resultado de las necesidades que la misma sociedad presenta a medida con que avanza la tecnología y la invención en diferentes campos; contribuye a elevar el nivel de vida de las personas. Se ha comprobado que los sistemas de aire acondicionado reducen los niveles de estrés y mejoran la productividad en las diferentes áreas de trabajo.

La diversidad de equipos empleados para refrigeración y acondicionamiento de aire es muy grande y su funcionamiento se ajusta, en términos generales, a ciertos procesos termodinámicos: evaporación, compresión, a condensación y expansión. Cada sistema tiene sus características particulares. Por tal motivo es necesario analizar todas las variables térmicas que interactúan con el espacio acondicionar para poder dar la opción que más se acople a las necesidades del área.

La calidad del aire juega un papel muy importante y será como punto primordial mantener esa calidad en rangos aceptables: libre de contaminantes y libre de olores desagradables. Es importante mantener los niveles de ruido de los equipos a instalar en rangos aceptables con el propósito de mantener una mejor comodidad del área ambientada.



## **OBJETIVOS**

### **General**

Diseñar un sistema de aire acondicionado para el área del comedor de la Subdirección General de Apoyo y Logística de la Policía Nacional Civil.

### **Específicos**

1. Identificar la situación actual para el sistema de aire acondicionado del área de comedor de la Subdirección General de Apoyo y Logística de la Policía Nacional Civil.
2. Obtener información detallada de las variables térmicas acerca de la edificación y condiciones climáticas.
3. Realizar un balance térmico general del área a acondicionar, tomando en cuenta los horarios de ocupación.
4. Identificar los diferentes tipos de diseño que se utilizan en la industria que brinden mejor versatilidad, inversión, mantenimiento y consumo energético.



## INTRODUCCIÓN

El acondicionamiento de aire de un área determinada es el proceso que limpia, enfría y hace circular el aire; adicional a esto, se controla el contenido de humedad. Existen diversos factores importantes que ayudan a lograr un buen acondicionamiento del aire. No existe un método único en la instalación de un equipo de acondicionamiento de aire en especial, pero que sí requiere de mucha atención los siguientes pasos: estudio de planos, cálculo de carga térmica, selección del equipo adecuado y diseño del sistema de ductería.

Se ha comprobado de que un ambiente climatizado ayuda a reducir el nivel de estrés y agotamiento que causa los excesos de calor o frío. Hoy en día ninguna persona gustaría almorzar en un lugar sin aire acondicionado. En un comedor el acondicionamiento de aire debe evitar que se propaguen los olores de los diferentes alimentos de los comensales, y debe proporcionar aire fresco que permita una estadía placentera.

Es importante que se tenga siempre presente que el diseño de estos sistemas debe realizarse de manera minuciosa y detallada, de manera que sea posible ahorrar costos de instalación y de producción. El ahorro energético a fin de conservar los recursos naturales y mitigar el calentamiento global deberá también ser un factor importante en la selección del equipo de acondicionamiento de aire.



# **1. ANTECEDENTES GENERALES**

## **1.1. Descripción de la Subdirección General de Apoyo**

Está a cargo de un subdirector general de la Policía Nacional Civil, entre sus funciones se encuentran: coordinar con la Unidad de Administración Financiera del Ministerio de Gobernación, la administración y optimización presupuestaria asignada a la institución policial y sus unidades ejecutoras; promover la descentralización y desconcentración administrativa y financiera; elaborar el proyecto anual de presupuesto de la institución con base en políticas y lineamientos estratégicos emanados de la dirección general.

Su importancia radica en el apoyo directo que presta a la dirección general de la institución policiaca y que ayuda a optimizar los recursos materiales y humanos.

- **Secretaría Técnica:** se encuentra al mando de un comisario general con el curso de capacitación en la escala de dirección, le corresponde coordinar con la Unidad de Administración Financiera del Ministerio de Gobernación, administrar y optimizar la asignación presupuestaria asignada a la institución, promover la descentralización y desconcentración administrativa y financiera. En este departamento se realizan las compras, y se almacenan y distribuyen los recursos logísticos financieros. Esta subdirección es una de las más importantes dentro de la institución y para llevar a cabo sus funciones se encuentra integrada por los órganos necesarios para el efecto; pero la falta de recursos y el manejo inadecuado de los asignados y la corrupción que

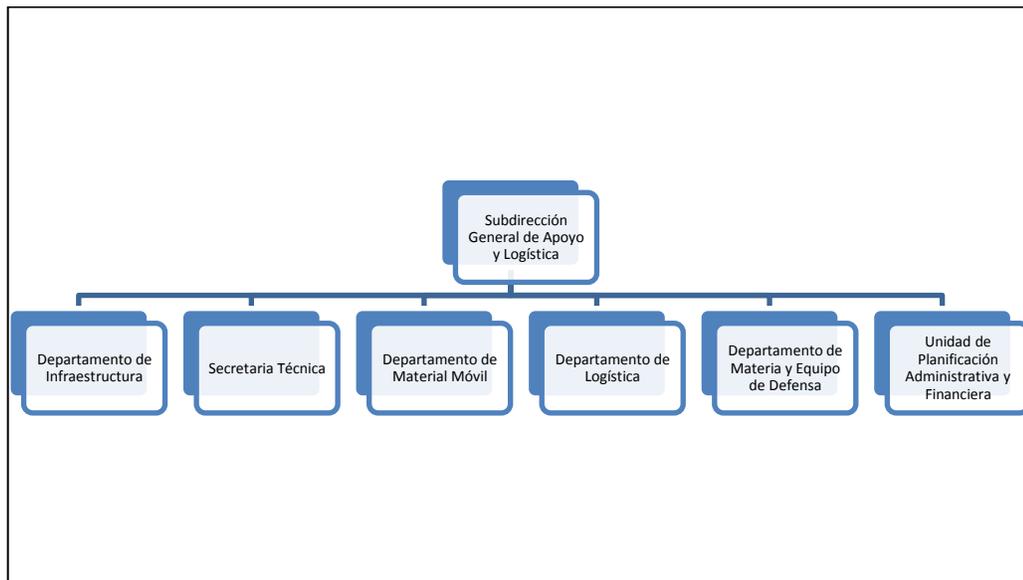
manifiesta en la compra anómala de combustibles y otros recursos que son necesarios para el desarrollo normal de toda la Institución policiaca.

- Departamento de Logística: está al mando de un oficial superior y le corresponde el vestuario, mobiliario, material de oficina y de aquel material o equipamiento no contemplado en los demás servicios de la subdirección
- Departamento de Material Móvil: está al mando de un oficial superior, a quien le corresponde la formulación de propuestas de compra, conservación y mantenimiento del material móvil que se precise; también la adquisición, distribución y control del combustible y lubricante necesario para el servicio.
- Departamento de Materia y Equipo de Defensa : se encuentra al mando de un oficial superior a quien le corresponde realizar las propuestas de adquisición de armamento y su control, conservación y mantenimiento; también, de las municiones y explosivos, equipos ópticos de detección y cualquier otro material que expresamente se le encomiende.
- Departamento de Infraestructura: al mando de un oficial superior quien gestiona la compra, construcción, conservación, arrendamiento, venta y aceptación de inmuebles e instalaciones para las diferentes instalaciones policiales, así como su inventario.
- Unidad de Planificación Administrativa y Financiera: emite informes mensuales sobre la ejecución del gasto mensual y anualmente, controla los recursos y gastos , coordinando con el Ministerio de Gobernación la ejecución presupuestaria anual.

## 1.2. Organigrama

A continuación se presenta el organigrama de la institución en estudio.

Figura 1. Organigrama



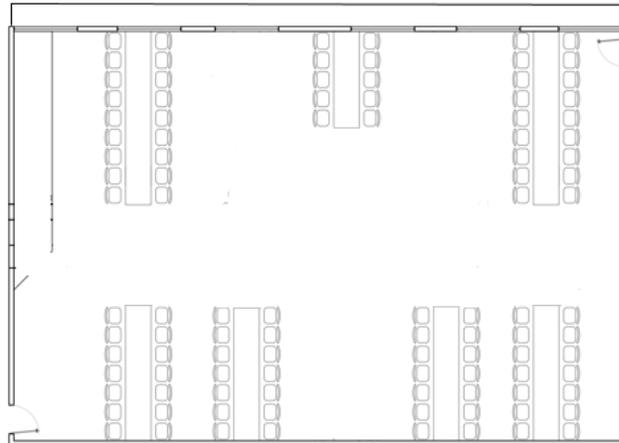
Fuente: Policía Nacional.

[http://mingob.gob.gt/uip/images/documentos/dgpnc/numeral1/POLICIANACIONAL\\_NUMERAL\\_1\\_ORGANIGRAMA\\_INSTITUCIONAL\\_ENERO\\_2014.pdf](http://mingob.gob.gt/uip/images/documentos/dgpnc/numeral1/POLICIANACIONAL_NUMERAL_1_ORGANIGRAMA_INSTITUCIONAL_ENERO_2014.pdf). Consulta: 14 noviembre de 2016.

## 1.3. Instalaciones de la Subdirección General de Apoyo

Actualmente está ubicada, geográficamente en la 16 avenida 14-00 colonia Cipresales zona 6, ciudad de Guatemala; altitud de 4 838 pies sobre el nivel del mar y latitud de 14°. La subdirección cuenta con una sala de reuniones, ocho oficinas, un comedor para aproximadamente 55 personas, quince baños, un parqueo para 65 vehículos de la institución.

Figura 2. **Área del comedor**



Fuente: elaboración propia, empleando HomeByMe.

Figura 3. **Plano Layout**



<b>Área administrativa</b>	<b>A</b>
Baños de mujeres	B
Baño de hombres	C
Archivo	D
Comedor	E
Cocina y área de almacenaje	F
Procesos técnicos	G
Recepción	GA
Fotocopiadora	H
Cajas de fiipones	I
Bodega de suministro	J
Bodega de equipo policial	K

Fuente: elaboración propia, empleando Adobe Illustrator.

## **2. TEORÍA BÁSICA DE REFRIGERACIÓN**

### **2.1. Refrigeración**

Es el proceso de quitar energía térmica de donde no se desea y deshacerse de la misma en lugar donde se desee o donde no sea motivo de objeción. La refrigeración mecánica utiliza componentes mecánicos para producir trabajo y transferir calor de un área de baja temperatura a un área de alta temperatura; por ejemplo, si se trata de un refrigerador doméstico, desde el interior del refrigerador hacia el área circundante en la cocina. La refrigeración por absorción es el uso de energía térmica para producir las condiciones necesarias para transferirla de un sitio a otro. La energía térmica se convierte en trabajo obteniéndose los resultados deseados, lo mismo que en el sistema de refrigeración mecánico.

#### **2.1.1. Principios básicos de la refrigeración**

Los principios de refrigeración son: temperatura, calor, refrigeración, enfriamiento, calentamiento, producto fresco, duración mínima y producto congelado.

- Temperatura: es la escala usada para medir la densidad del calor y es el indicador que determina la dirección en que se moverá la energía de calor.
- También puede definirse como el grado de calor sensible que tiene un cuerpo en comparación con otro. La temperatura se mide en grados

Fahrenheit (°F) y grados centígrados, algunas veces llamadas Celsius. Ambas escalas tienen dos puntos básicos en común: el punto de congelación y el de ebullición del agua al nivel del mar. Al nivel del mar, el agua se congela a 0°C o a 32°F y hierve a 100°C o a 212°F.

- Calor: es la medida de la temperatura, no tiene ninguna relación con la cantidad de calor. Una llama de fósforo puede tener la misma temperatura que una hoguera, pero obviamente la cantidad de calor que despiden es totalmente diferente.
- Refrigeración: es un proceso mecánico que utiliza una sustancia llamada refrigerante que absorbe calor no deseado en un espacio por evaporación, luego lo elimina en un lugar donde no afecte mediante la condensación.
- Enfriamiento: proceso en el cual se disminuye la temperatura.
- Calentamiento: proceso en el cual se aumenta la temperatura.
- Producto fresco: producto blando para consumo directo.
- Duración mínima: el menor tiempo que el producto permanece dentro del cuarto frío.
- Producto congelado: producto duro, se extiende su duración.
- La refrigeración es una técnica que se ha desarrollado con el transcurso del tiempo y el avance de la civilización; al igual que la mayoría de las ciencias y técnicas, ha sido el resultado de las necesidades que la misma

sociedad va creando a medida que avanzan los inventos en diferentes campos.

Básicamente sus componentes encargados de realizar el trabajo en el cambio de calor son dos: condensador y evaporador.

El evaporador opera como intercambiador de calor por cuyo interior fluye el refrigerante el cual cambia su estado de líquido a vapor. Este cambio de estado permite absorber el calor sensible contenido alrededor del evaporador y de esta manera el gas, al abandonar el evaporador, lo hace con una energía interna notablemente superior, cumpliéndose así el fenómeno de refrigeración.

El condensador es otro intercambiador de calor que con el refrigerante que ya absorbió calor en el evaporador lo cede al exterior y de esta forma es cómo funciona la refrigeración.

### **2.1.2. Mecánica de la refrigeración**

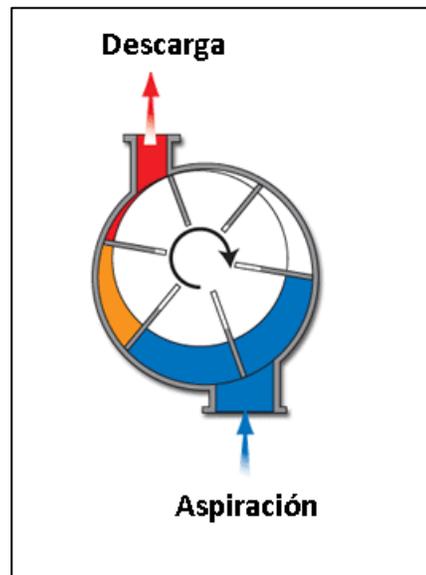
La transferencia de calor en el sistema de refrigeración se lleva a cabo utilizando un refrigerante que opera en un sistema cerrado. El proceso de refrigeración tiene su aplicación en sistemas refrigerados y sistemas de aire acondicionado. Los sistemas refrigerados están principalmente diseñados para el enfriamiento de productos, en tanto que los sistemas de aire acondicionado enfrían (o calientan) personas.

#### **2.1.2.1. Ciclo de refrigeración por compresión de vapor**

En el sistema de refrigeración a compresión de vapor existen cuatro elementos importantes que se deben tomar para que el ciclo funcione.

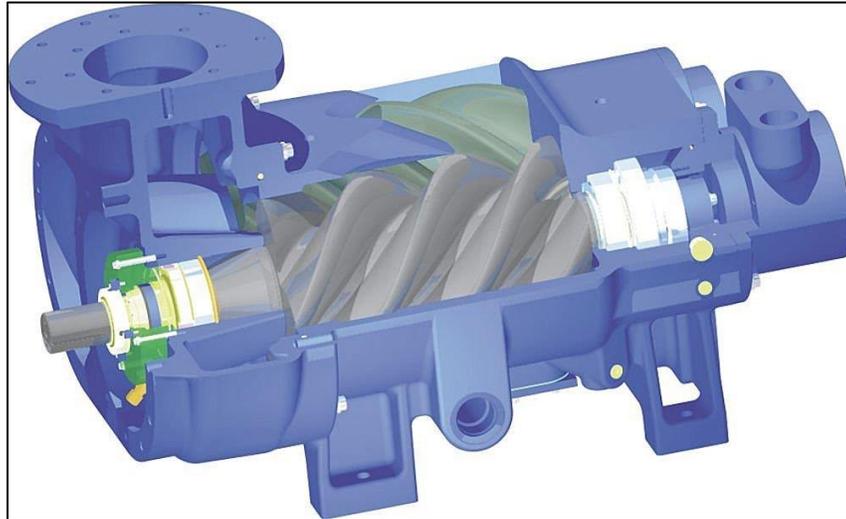
- **Compresor:** es un dispositivo mecánico para bombear refrigerante de un área de baja presión (el evaporador) a un área de alta presión (el condensador). Dado que están relacionados entre sí presión, temperatura y volumen de un gas, un cambio en la presión de baja a alta genera un aumento de temperatura y una reducción en volumen (es decir, una compresión) del vapor. Los tipos principales de compresores son:
  - Reciprocante (de pistón)
  - Rotativo
  - Centrífugo
  - De tornillo
  - Caracol

Figura 4. **Compresor rotativo**



Fuente: *Compresor rotativo*. [www.carly-sa.es](http://www.carly-sa.es). Consulta: 16 de noviembre de 2017.

Figura 5. **Compresor de tornillo**



Fuente: *Compresor de tornillo*. [www.kaeser.com](http://www.kaeser.com). Consulta: 16 de noviembre de 2017.

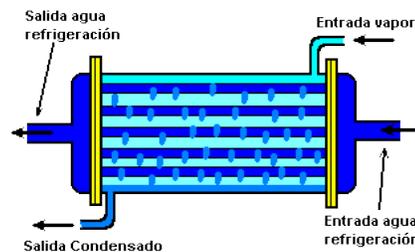
Figura 6. **Compresor de caracol**



Fuente: *Compresor de caracol*. [www.kaeser.com](http://www.kaeser.com). Consulta: 16 de noviembre de 2017.

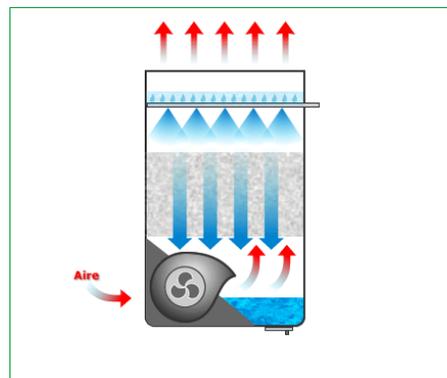
- Condensador: es un dispositivo para eliminar calor del sistema de refrigeración. En el condensador, el vapor a alta temperatura y alta presión transfiere calor a través de los tubos del condensador al medio que lo rodea (generalmente agua). Cuando la temperatura del vapor se reduce a la temperatura de saturación, el calor latente que se sigue eliminando hace que el refrigerante se condense, produciendo refrigerante líquido.

Figura 7. **Condensador enfriado por agua**



Fuente: *Condensador enfriado por agua*. [www.carly-sa.es](http://www.carly-sa.es). Consulta: 16 de noviembre de 2017.

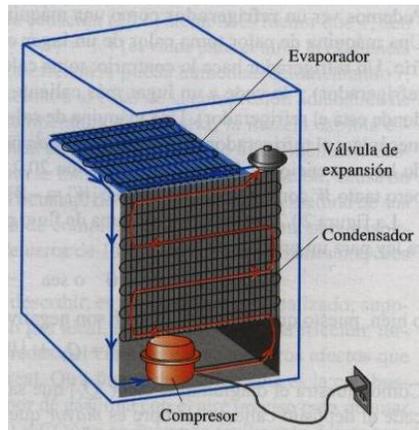
Figura 8. **Condensador enfriado por aire**



Fuente: *Condensador enfriado por agua*. [www.carly-sa.es](http://www.carly-sa.es). Consulta: 16 de noviembre de 2017

- Dispositivo medidor: controla el flujo del refrigerante hacia el evaporador. Separa la parte de alta presión y la parte de baja presión del sistema. El líquido a alta presión y a temperatura mediana en el dispositivo medidor entra en el evaporador a baja presión y a baja temperatura. La presión es baja porque el compresor de manera continua está extrayendo vapor del evaporador. El dispositivo medidor controla el flujo de refrigerante hacia el evaporador. En el dispositivo medidor ocurren dos situaciones:
  - El líquido refrigerante es enfriado hasta la temperatura del evaporador por la evaporación de parte del refrigerante líquido.
  - La presión del refrigerante se reduce a la presión que corresponde a la temperatura del evaporador en saturación.
  
- Evaporador: es un dispositivo para absorber calor hacia dentro del sistema de refrigeración. Dentro del evaporador, el refrigerante saturado absorbe el calor que lo rodea y hierve como un vapor a baja presión. El refrigerante líquido hirviendo y vaporizando en un evaporador frío se puede comparar con agua hirviendo en una estufa. El refrigerante es calentado por carga del equipo, en tanto que el agua es calentada por el quemador de la estufa. Acción y resultado son comparables. La diferencia estriba en que la estufa está caliente y el refrigerador frío, sin embargo, en ambos casos se está transfiriendo energía térmica.

Figura 9. **Ciclo de refrigeración de compresión de vapor**



Fuente: *Ciclo de refrigeración de compresión de vapor*. [www.carly-sa.es](http://www.carly-sa.es). Consulta: 16 de noviembre de 2017. Fuente: [www.carly-sa.es](http://www.carly-sa.es).

### 2.1.2.2. **Ciclo de refrigeración por expansión de gas**

Para el cálculo del ciclo de refrigeración es necesario determinar las siguientes condiciones y el tipo de refrigerante que se utilizará.

- Refrigerante R-404A
- Determinación de la temperatura de evaporación
- Determinación de la temperatura de condensación
- Trazado del ciclo de refrigeración
- Cálculo de los parámetros del ciclo teórico de refrigeración

## 2.2. **Refrigerantes**

Como refrigerante se entiende todo aquel fluido que se utiliza para transmitir el calor en un sistema frigorífico y que absorbe el calor a bajas

temperaturas y presión, y lo cede a temperaturas y presión más elevada, generalmente con cambios de estado fluido.

Los refrigerantes se identifican por su fórmula química o por una denominación simbólica numérica; no es suficiente identificarlos sólo por su nombre comercial. La importancia relativa de cada una de las propiedades del refrigerante varía de una aplicación a otra, y no existe un refrigerante que pueda considerarse ideal para todas las aplicaciones.

### **2.2.1. Propiedades de los refrigerantes**

Todo refrigerante debe reunir en el mayor grado posible las siguientes cualidades

- **Calor latente de evaporación:** el número de calorías que debe obtener en su ebullición ha de ser muy elevado, a fin de emplear la menor cantidad posible de refrigeración en el proceso de evaporación y para obtener una temperatura determinada.
- **Punto de ebullición:** deberá ser lo suficientemente bajo como para que sea inferior a la temperatura de los alimentos que se depositen en el refrigerador para su enfriamiento o conservación.
- **Temperaturas y presiones de condensación:** habrán de ser bajas para condensar rápidamente las presiones de trabajo normales y las temperaturas usuales del medio enfriador que se emplee en el condensador.

- Volumen específico del refrigerante evaporado: es el espacio que ocupa el refrigerante en estado de vapor, el cual ha de ser lo más reducido posible.
- Temperatura y presión crítica: todos los refrigerantes tienen un punto en que se condensan, por grande que sea la presión que se les aplique. A esta temperatura se le llama punto crítico, y a la presión correspondiente a dicha temperatura se le llama presión crítico.
- Efecto sobre el aceite lubricante: todos los compresores requieren lubricación, por lo que la naturaleza del refrigerante no ha de afectar seriamente la del aceite empleado, descomponiéndolo.
- Propiedades de inflamación o explosión: es muy conveniente que no sea inflamable ni explosivo.
- Propiedades tóxicas: no deben ser tóxicos, y por consiguiente, no han de resultar nocivos para el cuerpo humano. El refrigerante debe tener un bajo potencial de daño a la capa de ozono, recientemente se ha incrementado el interés en la seguridad para obtener refrigerantes con bajo potencial en el agotamiento de la capa de ozono (ODP).
- Propiedades termodinámicas
  - Presión: debe operar con presiones positivas: las presiones que actúan en un sistema de refrigeración son extremadamente importantes. En primer término, se debe operar con presiones positivas; es decir, las presiones tanto en el condensador como en el evaporador, deben ser superiores a la presión atmosférica. Si la

presión en el evaporador es negativa, es decir, que se esté trabajando en vacío, hay riesgo de que por una fuga entre aire al sistema. Por esto, el refrigerante debe tener una presión de evaporación lo más baja posible, pero ligeramente superior a la presión atmosféricas. Por otra parte, la presión de condensación debe ser lo suficientemente baja, ya que esto determina la robustez del compresor y del condensador. Mientras más alta sea la presión, se requiere un equipo más robusto y, por lo tanto, más caro. La tabla muestra las presiones de operación para los refrigerantes seleccionados, a las condiciones fijadas de temperaturas. Un ejemplo claro de alta presión de condensación es el R-170, para el cual se requiere un equipo extremadamente robusto para soportar presiones arriba de 4 660 kPa (660 psig). Los refrigerante R-30 y R-123 trabajarían en vacío en el evaporador a esta temperatura.

Tabla I. **Presiones de operación**

Refrigerante núm.	EVAPORADORA -15°C		CONDENSADOR A 30°C	
	Kpa	psig	Kpa	psig
12	183	11,8	754	93,2
22	296	28,2	1 192	158,2
30	8	27,6	69	9,5
123	16	25,2	110	1,2
134 a	164	9,1	767	96,6
170	1 627	221,3	4 660	661,1
500	214	16,4	880	113,4
502	348	35,9	1 319	176,6
717	236	19,6	1 167	154,5
718	0,8	29,7	4,5	28,6

Fuente: elaboración propia.

- El R-134a trabaja a presiones más próximas a lo ideal ya que su presión de evaporación es muy baja sin llegar al vacío y su presión de

condensación no es tan alta por lo que no requiere un equipo muy robusto.

- Temperatura: debe tener una temperatura crítica por arriba de la temperatura de condensación. Debe tener una temperatura de congelación por debajo de la temperatura del evaporador. Debe tener una temperatura de ebullición baja.
  - Volumen: debe tener un valor bajo de volumen específico en fase vapor y un valor alto de volumen en líquida.
  - Entalpia: debe tener un valor alto de calor latente de vaporización. Esto significa un mayor efecto de refrigerante por unidad de masa de refrigerante en circulación.
- Propiedades físicas y químicas
    - No debe ser tóxico ni venenoso
    - No debe ser explosivo ni inflamable
    - No debe tener efecto sobre otros materiales
    - Fácil de detectar cuando se fuga
    - Debe ser miscible con el aceite
    - No debe reaccionar con la humedad
    - Debe ser un compuesto estable

### **2.2.2. Tipos de refrigerantes**

Los refrigerantes se identifican por número, anteceditos de la letra R (refrigerante); se puede utilizar el nombre comercial del fabricante como prefijo alternativo en las publicaciones técnicas pero no en las placas de los equipos o

en las especificaciones técnicas. Esta designación por número ha sido establecida por la Sociedad Americana de Ingenieros de Calefacción, Refrigeración y Aire, (*ASHRAE-Acondicionado American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers*). Y se utiliza en toda la industria.

Se han dado ciertas designaciones para refrigerantes en forma abreviada, para indicar su composición química, así como para relacionarlos con el factor de agotamiento del ozono (ODF, por sus siglas en inglés) en cuanto al refrigerante. Esta clasificación se estipula en un rango de 1-10.

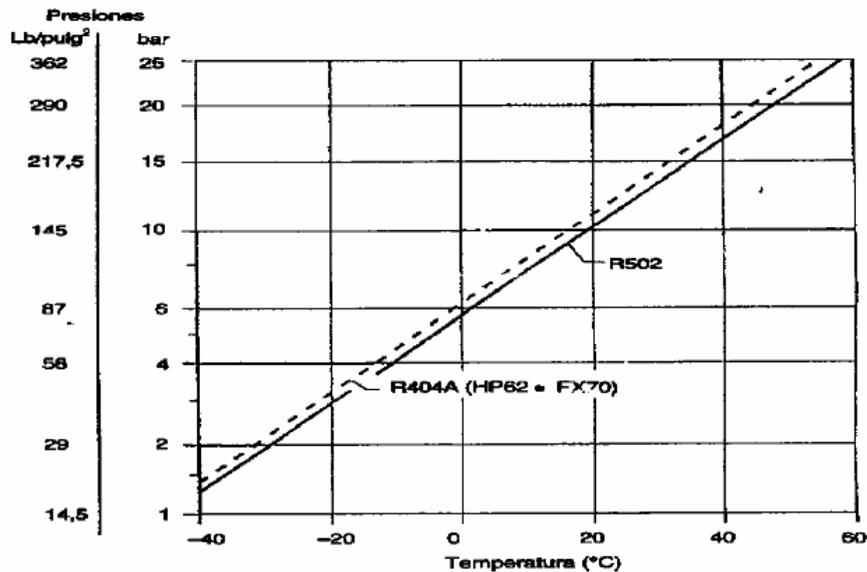
- R-12: es uno de los compuestos, de los llamados freón, más usado en aire acondicionado. Se compone de un átomo de carbono, dos de cloro, dos de flúor, para formar una molécula de diclorodifluorometano. Su fórmula química es  $\text{CCL}_2\text{F}_2$  y el nombre usado actualmente es R-12. No tiene olor ni color y su punto de ebullición es de  $-30\text{ }^\circ\text{C}$  a la presión atmosférica. Los vapores del R-12 no afectan los ojos, la nariz, la garganta, los pulmones o la piel; no es inflamable ni explosivo. En la siguiente tabla se muestra la curva de presiones de condensación a diversas presiones de aspiración y temperatura ambiente del R-12. Este refrigerante está siendo discontinuado hoy en día porque daña la capa de ozono y, por consiguiente, el ambiente.
- R-22: este refrigerante está formado por un átomo de carbono, uno de hidrógeno, uno de cloro y dos de flúor. Su fórmula química es  $\text{CHCLF}_2$  (monoclorodifluorometano). Su punto de ebullición es de  $-40\text{ }^\circ\text{C}$  a la presión atmosférica. Se debe seleccionar muy cuidadosamente el aceite que se emplee en instalaciones de R-22 y que deban trabajar a muy bajas temperaturas. El R-22 y los aceites lubricantes se mezclan en la compresión. El espesor del aceite depende de la cantidad que contenga

el refrigerante líquido y de las propiedades del aceite, que deberán ser de un alto grado de refinamiento. La solubilidad del agua con el R-22 es aproximadamente ocho veces mayor que la del R-12. Una instalación de R-22, perfectamente deshidratada al ponerla en funcionamiento, es capaz de absorber una mayor cantidad de humedad que una instalación con R-12. Este refrigerante está siendo discontinuado hoy en día porque daña la capa de ozono y, por consiguiente, el ambiente.

- R-134a: su nombre químico es 1, 1, 1, 2,-tetrafluroetano y la fórmula es  $\text{CH}_2\text{-FCF}_3$ . Es un gas exento de cloro, químicamente estable e inerte. No es tóxico ni inflamable y su principal cualidad es que no degrada la atmósfera. Sus presiones de aspiración son más bajas que las de R-12 al que sustituye; en cambio, las presiones de condensación son ligeramente altas. De baja capacidad térmica y alta conductibilidad térmica, sus temperaturas de trabajo son apropiadas para las instalaciones de frío y aire acondicionado. Hasta temperaturas de evaporación de  $-10\text{ }^\circ\text{C}$ , su rendimiento es igual que el R-12. No se recomienda para trabajar a temperaturas de evaporación inferiores a  $-20\text{ }^\circ\text{C}$ . En consecuencia, los intercambiadores de calor pueden tener básicamente la misma superficie que para R-12.
- R-404a: su fórmula química  $\text{CHF}_2\text{CF}_3/\text{CH}_3\text{CF}_3/\text{CH}_2\text{FCF}_3$  y es un azeotropo compuesto de R-143a/R-125 y R134a (44 %, 52 % y 4 %). Todos estos componentes básicos, HFC, están absolutamente exentos de cloro. El R404a corresponde al SUVA MP62 producido por Dupont y al FX70 de Atoche. Una característica de este refrigerante es que trabaja a temperaturas de descarga más bajas que el R502,  $8\text{ }^\circ\text{C}$  menos, lo que permite la instalación de sistemas de un solo escalón para la obtención de bajas temperaturas. Deben emplearse aceites POE, a base de éster,

según las recomendaciones de los fabricantes de compresores teniendo en cuenta el tendido y dimensionado de las tuberías para asegurar el debido retorno de aceite al cárter del compresor. Debido a la tendencia de los aceites poliéster de limpiar el circuito y la consiguiente posibilidad de arrastrar impurezas, se recomienda la instalación de un filtro en la aspiración.

Figura 10. Relación de presiones entre el refrigerante R-404 a y R502



Fuente: ALARCÓN Creus. *Refrigeración automática*. p. 39.

### 2.2.3. Efecto de refrigeración

Si se va a llevar a cabo un trabajo específico en un sistema de refrigeración, cada libra de refrigerante que circule en el sistema debe hacer su parte del trabajo. Debe absorber una cantidad de calor en el evaporador o serpentín de enfriamiento, y disipar ese calor, y algo más que le agrega el

compresor, para sacarlo por el condensador, sea enfriado por aire, por agua o evaporativo. El trabajo efectuado por cada libra de refrigerante al pasar por el evaporador se refleja en la cantidad de calor que se extrae de la carga de refrigeración, principalmente cuando el refrigerante pasa por un cambio de estado líquido a estado de vapor.

Para que un líquido pueda cambiar a vapor se debe agregar calor o debe absorberlo. Esto es lo que sucede, o debería suceder, en el serpentín de enfriamiento. El refrigerante entra a la válvula de expansión en estado líquido y pasa hacia el evaporador, donde absorbe calor al evaporarse y convertirse en gas. Como vapor sigue su camino por el tubo de succión al compresor. En este, se comprime pasando de un estado a baja temperatura y baja presión, a uno de vapor de alta temperatura y alta presión; a continuación, pasa por el tubo de alta presión, o de descarga, al condensador, donde sufre otro cambio de estado: de vapor a líquido, y como líquido sale por el tubo de líquido y de nuevo pasa por la válvula de expansión para iniciar otro viaje por el evaporador.

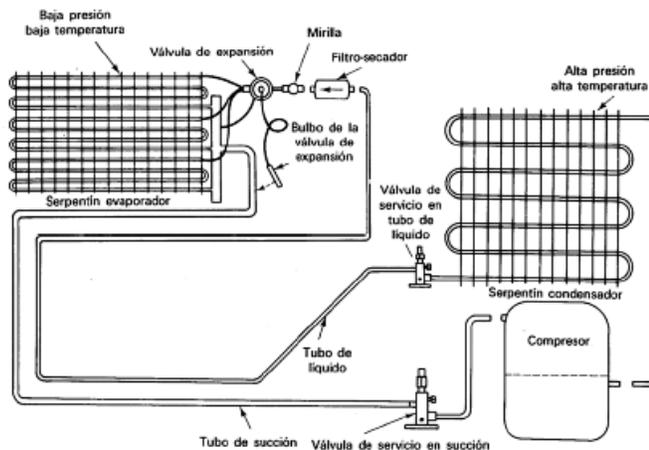
Cuando el refrigerante en estado líquido deja el condensador, puede pasar a un receptor donde permanece hasta que se le necesite en el evaporador; o bien puede pasar en forma directa por el tubo de líquido a la válvula de expansión y después al serpentín del evaporador. El líquido que entra a la válvula de expansión inmediatamente antes del serpentín evaporador tendrá determinado contenido de calor o entalpía que depende de su temperatura de entrada. El vapor que sale del evaporador también tendrá determinado contenido calorífico o entalpía según su temperatura.

La diferencia entre esas dos cantidades de contenido de calor es la cantidad de trabajo que hace cada libra de refrigerante al pasar por el evaporador y recoger calor allí.

La cantidad de calor absorbida por cada libra de refrigerante se llama efecto refrigerante del sistema o efecto del refrigerante dentro del sistema.

Este efecto de refrigeración se evalúa en Btu por libra de refrigerante (Btu/lb); si se conoce la carga térmica total, expresada en Btu/hora, se puede calcular el número total de libras de refrigerante que se deben circular cada hora de funcionamiento del sistema. Esta cifra se puede descomponer más en la cantidad que debe circular cada minuto dividiendo la cantidad que circula por hora entre 60.

Figura 11. **Esquema simple de refrigeración**



Fuente: HALL Prentice. *Manual de refrigeración y aire acondicionado*. p. 89.

### 2.3. **Calor**

El calor es una forma de energía que genera un incremento en la temperatura de un cuerpo o de su entorno cuando se agrega y una reducción de temperatura cuando se elimina, siempre y cuando no haya cambiado de estado.

### **2.3.1. Calor sensible**

El calor medio, se conoce como calor sensible. Se trata del calor que causa un cambio en la temperatura de una sustancia sin cambiar de estado. Las sustancias, estén en un estado sólido, líquido o gaseoso. Tiene algún grado de calor sensible, siempre que sus temperaturas estén por encima del cero absoluto.

### **2.3.2. Calor latente**

En un cambio de estado físico, la mayor parte de las sustancias tendrán un punto de fusión en el que cambiarán de sólidos a líquido sin ningún incremento de temperatura. En este punto, si la sustancia está en estado líquido y se elimina calor de la misma, dicha sustancia se solidificara sin ningún cambio en su temperatura.

### **2.3.3. Calor específico**

El calor específico de una sustancia es la cantidad de calor en Btu requerida para cambiar la temperatura de 1 libra de sustancia 1 °F.

## **2.4. Transferencia de calor**

La transferencia de calor se basa en la segunda ley de la termodinámica, en la cual se establece que el calor se transfiere solo en una dirección, de una temperatura alta a una temperatura baja. Esta transferencia ocurrirá mediante uno o más de los métodos básicos de transferencia.

- Conducción
- Convección
- Radiación

#### **2.4.1. Conducción**

Conducción se explica como la transferencia de calor entre las moléculas altamente compactadas de una sustancia o entre sustancias que tengan un buen contacto una con otra.

La mayor parte de los metales como la plata, cobre, acero y hierro conducen el calor razonablemente aprisa; en tanto que otros sólidos, como vidrio, madera y otros materiales de construcción, transfieren el calor a una velocidad mucho más lenta y, por lo tanto, se utilizan como aislantes.

#### **2.4.2. Convección**

Si existe una diferencia de temperatura en el interior de un líquido o un gas, es casi seguro que se producirá un movimiento del fluido. Este movimiento transfiere calor de una parte del fluido a otra por un proceso llamado convección. El movimiento del fluido puede ser natural o forzado. Si se calienta un líquido o un gas, su densidad (masa por unidad de volumen) suele disminuir.

Si el líquido o gas se encuentra en el campo gravitatorio, el fluido más caliente y menos denso asciende, mientras que el fluido más frío y más denso desciende.

Este tipo de movimiento, debido exclusivamente a la no uniformidad de la temperatura del fluido, se denomina convección natural. La convección forzada

se logra sometiendo el fluido a un gradiente de presiones, con lo que se fuerza su movimiento de acuerdo a las leyes de la mecánica de fluidos.

Para describir la transferencia de calor (Q) por convección natural se tiene la siguiente expresión:

$$Q = h_i \cdot A_i \cdot \Delta t_i$$

Donde:

$h_i$ : coeficiente de película.  $J/(s) (m^2) (K)$

$A_i$ : área interna de transferencia.  $m^2$

$t_i$ : temperatura de la parte interna de la pared.  $m^2$

### **2.4.3. Radiación**

La radiación es la emisión, propagación y transferencia de energía en cualquier medio en forma de ondas electromagnéticas o partículas.

Una onda electromagnética es una forma de transportar energía (por ejemplo, el calor que transmite la luz del sol).

Clasificación de las radiaciones electromagnéticas: las ondas o radiaciones electromagnéticas se pueden clasificar en:

- Radiación no ionizante: no tiene la suficiente energía como para romper los enlaces que unen los átomos del medio que irradian (ondas de radio y tv, microondas, luz visible, etc.).

- Radiación ionizante: tiene suficiente energía como para producir ionizaciones de los átomos del medio o materia que es irradiado. Van desde los rayos X hasta la radiación cósmica.

## **2.5. Psicometría**

Se refiere a todos aquellos procedimientos relacionados con la medida del contenido en vapor de agua existentes en el aire, sea cual sea su estado; en una expresión general, la psicrometría puede referirse a cualquier gas, en este caso se emite al sistema de agua/aire.

El aire atmosférico está compuesto por aire seco y vapor de agua; estos están tan uniformemente mezclados que si se dividiera una masa de aire en pequeñas fracciones, con seguridad encontraríamos que en cada una, el aire seco y el vapor de agua se encuentran en igual proporción.

Se puede, por lo tanto, considerar que en cada metro cúbico de aire coexisten, estrechamente mezclados y compenetrados, un metro cúbico de aire seco y un metro cúbico de vapor de agua, cumpliendo dicha mezcla las leyes de Dalton relativas a los gases perfectos o ideales.

- Propiedades del aire

El aire es una mezcla de gases incolora, inolora e insabora que rodea a la tierra. Este aire que envuelve a la tierra se conoce como atmósfera. Se extiende hasta una altura de aproximadamente 645 km y se divide en varias capas. La capa más cercana a la tierra se llama tropósfera, y va desde el nivel del mar hasta los 15 km. La capa que se extiende desde los 15 km hasta los 50 km, se llama estratósfera. La capa de los 50 km

hasta los 95 km, se llama mesósfera, y de los 95 km a los 400 km se llama ionósfera.

El aire no es un vapor saturado que esté cercano a temperaturas donde pueda ser condensado. Es siempre un gas altamente sobrecalentado o, más precisamente, es una mezcla de gases altamente sobrecalentados.

Se puede enfriar o calentar el aire, limpiarlo y moverlo, pero esto no cambia significativamente sus propiedades; ya que, los relativamente pequeños cambios de temperatura que se le hagan, sólo causan pequeñísimos cambios en el volumen y la densidad.

Si el aire seco se calienta, se expande; y su densidad disminuye, cuando la presión permanece constante. Inversamente, si se enfría el aire seco, aumenta su densidad. Aún más, las temperaturas, densidades, volúmenes y presiones, todas varían proporcionalmente.

El aire atmosférico es una mezcla de oxígeno, nitrógeno, bióxido de carbono, hidrógeno, vapor de agua y un porcentaje muy pequeño de gases raros como argón, neón, ozono, etc. En la tabla se muestran los porcentajes de estos gases, tanto en peso, como en volumen, para el aire seco (sin vapor de agua).

Tabla II. **Gases que componen el aire en la atmosfera**

Nombre	Símbolo Químico	AIRE SECO	
		% en Peso	% en Volumen
Nitrógeno	N <sub>2</sub>	75.47	78.03
Oxígeno	O <sub>2</sub>	23.19	20.99
Bióxido de carbono	CO <sub>2</sub>	0.04	0.03
Hidrógeno	H <sub>2</sub>	0.00	0.01
Gases raros	---	1.30	0.94

Fuente: elaboración propia.

- Propiedades del vapor de agua (humedad):

La humedad es un término utilizado para describir la presencia de vapor de agua en el aire ya sea a la intemperie o dentro de un espacio. La humedad está en el aire solamente en el sentido de que los dos, aire y vapor de agua, existen juntos en un espacio dado al mismo tiempo.

El vapor de agua es producido por el agua a cualquier temperatura (aún por el hielo). El agua no tiene que estar en ebullición, aunque sí lo está, el vapor de agua es producido con mayor rapidez.

El vapor ejerce una presión definida encima del agua la cual es determinada solamente por la temperatura del agua misma, independientemente de si el agua está o no en ebullición o de si el espacio por encima del agua contiene aire. Tampoco la presión del aire ejerce efecto alguno sobre la presión del vapor.

- Humedad absoluta:

El término humedad absoluta (ha) se refiere al peso del vapor de agua por unidad de volumen. Esta unidad de volumen, generalmente es un espacio de un metro cúbico (o un pie cúbico). En este espacio normalmente hay aire también, aunque no necesariamente. La humedad relativa está basada en la humedad absoluta, bajo las condiciones establecidas; es decir, la humedad relativa es una comparación con la humedad absoluta a la misma temperatura si el vapor de agua está saturado.

Tanto la humedad absoluta como la relativa están basadas en el peso del vapor de agua en un volumen dado.

- Humedad específica:

La humedad específica, o también llamada contenido de humedad, es el peso de vapor de agua en gramos por kilogramo de aire seco (o bien, gramos por libra). La humedad específica se refiere a la cantidad de humedad en peso, que se requiere para saturar un kilogramo de aire seco, a una temperatura de saturación (punto de rocío) determinada.

La humedad específica es muy similar a la humedad absoluta, excepto que esta última, está basada en gramos por metro cúbico, y la humedad específica, está basada en gramos de humedad por kilogramo de aire seco.

- Porcentaje de saturación:

El porcentaje de saturación (o porcentaje de humedad) es un término que algunas veces se confunde con la humedad relativa. El porcentaje de

saturación es 100 veces la relación del peso de vapor de agua con el peso del vapor de agua necesario para saturar un kilogramo de aire seco a la temperatura del bulbo seco. Esto se puede expresar en una ecuación:

Porcentaje de saturación:  $W1/Ws * 100$

Donde:

$w1$  : humedad específica en el punto de rocío de la mezcla de aire seco y vapor de agua.

$ws$  : humedad específica en el punto de saturación.

- Punto de rocío:

El punto de rocío se define como la temperatura debajo de la cual el vapor de agua en el aire comienza a condensarse. También es el punto de 100 % de humedad. La humedad relativa de una muestra de aire, puede determinarse por su punto de rocío.

### 2.5.1. Líneas de proceso en la carta psicrométrica

Una carta psicrométrica es una gráfica de las propiedades del aire como temperatura, hr, volumen, presión, etc. Las cartas psicrométricas se utilizan para determinar cómo varían estas propiedades al cambiar la humedad en el aire.

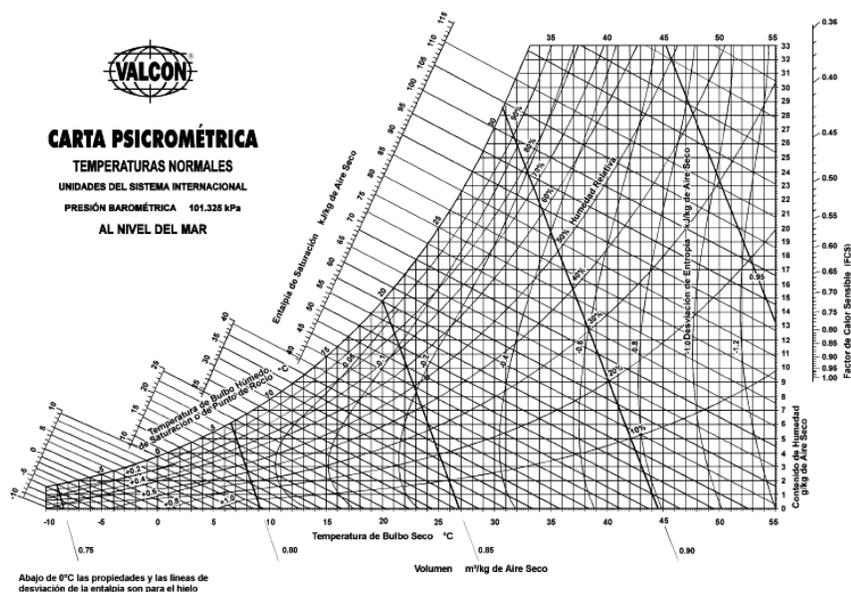
El objetivo de acondicionamiento de aire es cambiar el estado del aire que entra y llevarlo a otra condición. A este cambio se le llama proceso y son de gran utilidad en la carta psicrométrica, en la selección de equipos y el análisis

de problemas. Se indican los procesos trazando una línea desde el estado inicial del aire hasta su estado final. El aire cambia sus propiedades a lo largo de esa línea.

La mayor parte de los procesos se pueden representar mediante líneas rectas.

La carta psicrométrica es un diagrama de doble entrada en el que se relacionan múltiples parámetros referentes a una mezcla de aire húmedo: temperatura, humedad relativa, humedad absoluta, punto de rocío, entalpía específica o calor total, calor sensible, calor latente y volumen específico del aire.

Figura 12. **Carta psicrométrica a temperaturas normales y presión barométrica de 101 325 kPa**



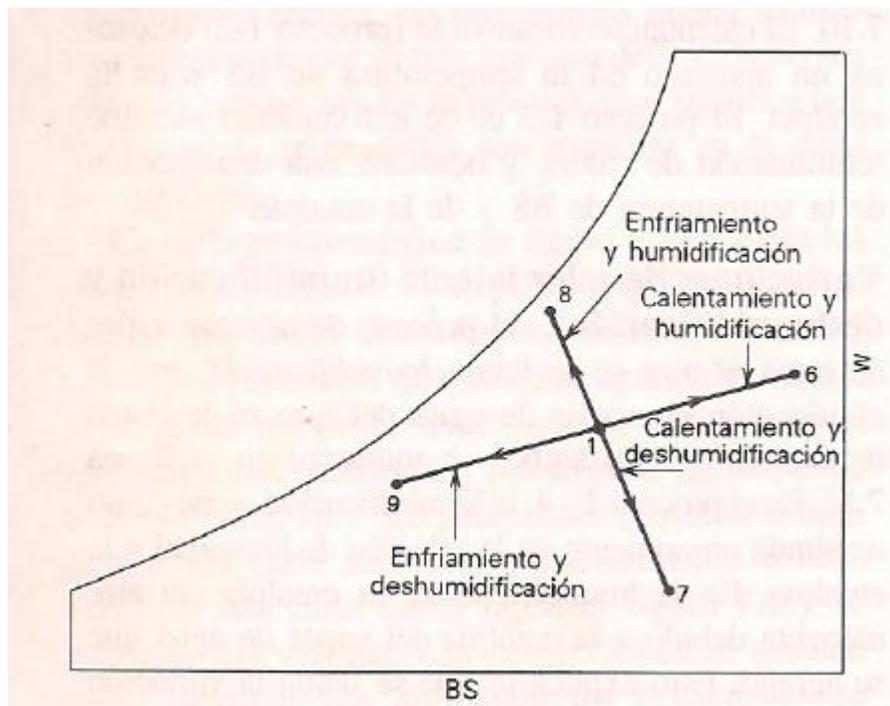
Fuente: PITA, Edward G. *Acondicionamiento de aire*. p. 191.

## 2.5.2. Variaciones de calor sensible y latente

Los procesos combinados de calor sensible y latente que se pueden presentar en acondicionamiento son los siguientes:

- Calentamiento sensible y humidificación
- Calentamiento sensible y deshumidificación
- Enfriamiento sensible y humidificación
- Enfriamiento sensible y deshumidificación

Figura 13. **Procesos combinados de calor sensible y latente**



Fuente: PITA, Edward G. *Acondicionamiento de aire*. p. 191.



### **3. COMPONENTES DE UN SISTEMA DE AIRE ACONDICIONADO**

#### **3.1. Componentes básicos**

Un sistema de refrigeración mecánico puede tener varios componentes básicos que pueden circular el refrigerante y transferir el calor: evaporador (serpentín de evaporación), compresor, condensador, válvula.

##### **3.1.1. Evaporadores**

El evaporador de enfriamiento está fabricado de materiales como cobre, aluminio o ambos. Se escogen estos metales en función de su buena conductividad. La tubería está interconectada por aletas de aluminio que sirven a la vez para dirigir el flujo de aire a través del serpentín y para incrementar la transferencia de calor mediante la conducción.

Los tipos de refrigerantes y fluidos que están en los evaporadores son: R-134a, R-404A, R-507, R-417A, R-422D, R-424A, R-427A, glicol, CO<sub>2</sub> (R-744), NH<sub>3</sub> (R-717 amoníaco), etc.

Existen muchos tipos de evaporadores adecuados a muchos tipos de aplicaciones e instalaciones: cámaras frigoríficas, túneles de pre-enfriamiento, túneles de congelación, industria farmacéutica, centrales térmicas, industria plástica, industria automovilística, industria química, superficies comerciales, bancos, hospitales, sanidad, residencias de la tercera edad, cines, teatros, edificios de administraciones públicas, edificios de oficinas.

- Los evaporadores y aero evaporadores cúbicos están diseñados para distintas aplicaciones: cámaras frigoríficas para la conservación de productos frescos y delicados por encima de más de 5° C, para la conservación de productos congelados, para la conservación de géneros frescos a 0/+2° C, para envasado, para salas de trabajo, para cámaras de baja temperatura y para túneles de congelación.

Este tipo de evaporadores son ideales para la colocación en techos de cámaras de conservación y refrigeración. Pueden ser de uso comercial e industrial.

Figura 14. **Evaporador cúbico**



Fuente: *Evaporador cúbico*. [www.refrigeracionzelsio.es/](http://www.refrigeracionzelsio.es/). Consulta: 5 de diciembre de 2016.

- Aero evaporadores murales: son ideales para cámaras industriales (de conservación y refrigeración) y especialmente para túneles de congelación, aportando una buena distribución del aire con un aprovechamiento máximo del espacio y una larga difusión del aire frío.

Figura 15. **Evaporador mural**



Fuente: *Evaporador natural*. [www.refrigeracionzelsio.es/](http://www.refrigeracionzelsio.es/). Consulta: 6 de diciembre de 2016.

- Evaporadores y aero evaporadores de plafón: pueden ser de flujo normal y de doble flujo de aire. Diseñados para diferentes aplicaciones: cámaras de conservación de productos congelados y túneles de congelación, cámaras de conservación de productos frescos y delicados por encima de más de 5° C, cámaras de conservación de géneros frescos a 0/+2° C, salas de trabajo, envasado, despiece, etc.

Figura 16. **Evaporador de plafón**



Fuente: *Evaporador de plafón*. [www.refrigeracionzelsio.es/](http://www.refrigeracionzelsio.es/). Consulta: 9 de diciembre de 2016.

- Evaporadores y aero evaporadores centrífugos: diseñados para cámaras frigoríficas y salas de trabajo con temperaturas positivas. Están equipados de ventiladores asegurando una presión del aire disponible.

Figura 17. **Evaporador centrífugo**



Fuente: *Evaporador centrífugo*.. [www.refrigeracionzelsio.es/](http://www.refrigeracionzelsio.es/). Consulta: 10 de diciembre de 2016.

- Evaporadores estáticos: pueden ser evaporadores de convección o evaporadores de gravedad, diseñados para diferentes aplicaciones: cámaras frigoríficas entre 0° C y -10° C para la conservación de géneros frescos o delicados con temperatura y grado higrométrico constante.

Figura 18. **Evaporador estático**



Fuente: *Evaporador estático*. [www.refrigeracionzelsio.es/](http://www.refrigeracionzelsio.es/). Consulta: 5 de diciembre de 2016.

- Evaporadores enfriadores de agua: pueden ser compactos de placas soldadas y de placas desmontables (intercambiadores de placas). También, son evaporadores multitubulares de aplicación en instalaciones para el enfriamiento del agua (aire acondicionado), de cámaras frigoríficas, túneles de preenfriamiento, túneles de congelación, etc.

Figura 19. **Evaporador de agua**



Fuente: *Evaporador de agua*. [www.refrigeracionzelsio.es/](http://www.refrigeracionzelsio.es/). Consulta: 10 de diciembre de 2016.

### **3.1.2. Condensadores**

El condensador es un intercambiador de calor, similar al evaporador, responsable de expulsar del sistema el calor absorbido por el evaporador.

Este calor se encuentra en forma de gas caliente que se enfría hasta el punto en que se condensa. El condensador trabaja a temperaturas y presiones más altas que el evaporador y se localiza generalmente en el exterior. El condensador lleva a cabo tres funciones y debe ser capaz de realizarlas correctamente ya que en caso contrario motivará una subida excesiva de presión.

- Debe disminuir la temperatura del gas caliente proveniente del compresor. Esta operación se realiza al principio del serpentín del condensador.
- Condensar el refrigerante. Ello se lleva a cabo en la mitad del serpentín. Es el único lugar del condensador donde la temperatura corresponde a la presión de descarga.
- Enfriar el refrigerante antes de que abandone el serpentín. Este subenfriamiento baja la temperatura del refrigerante hasta un punto por debajo de la verdadera temperatura de condensación. Es normal un subenfriamiento de 2.8 a 11.1 °C (5 a 20 °F).

El condensador debe disponer de la cantidad correcta de medio enfriador (aire o agua). Este medio enfriador no debe circular nuevamente sin haber sido enfriado.

- Condensadores enfriados por agua: de forma distinta a los evaporadores, los primeros condensadores comerciales de refrigeración eran enfriados por agua. Estos condensadores no estaban tan bien resueltos como los modernos condensadores enfriados por agua. Los condensadores enfriados por agua son bastante eficientes comparados con los enfriados por aire y trabajan a temperaturas de condensación mucho más bajas. Los equipos enfriados por agua se presentan en diversas formas: los de serpentines concéntricos con un tubo dentro del otro y los de tipo recipiente con el serpentín de agua en su interior, son estos últimos los más usados.

- Condensadores enfriados por aire: los condensadores enfriados por aire emplean este como medio en lugar del agua para la expulsión del calor contenido en el refrigerante. Este sistema tiene ventajas cuando resulta difícil disponer de agua. Los primeros condensadores enfriados por aire eran de tubo liso o desnudo sobre los que se dirigía el aire impulsado por el volante del compresor. A fin de aumentar su eficacia del condensador y reducir también sus dimensiones, se aumentó su superficie con la adición de aletas. Los condensadores enfriados por aire con aletas de acero se emplean en algunas pequeñas instalaciones de refrigeración. Esta es una condición de la industria de refrigeración ya que los condensadores con aletas de acero no se emplean en las unidades de aire acondicionado, posiblemente debido a su peso. Los sistemas de refrigeración de mayor capacidad emplean los mismos tipos de condensadores que la industria de aire acondicionado.

### **3.1.3. Compresores**

Hay diferentes tipos de compresores que son usados en unidades enfriadoras. Todos cumplen el mismo objetivo: incrementar la presión y temperatura del refrigerante cuando este es transferido del evaporador al condensador. Aunque el refrigerante no es el centro de atención cuando se escoge un sistema en particular, el refrigerante seleccionado dicta el diseño, eficiencia y tipo de compresor usado en una unidad.

- Compresor recíprocante:

Los compresores recíprocantes se usan con unidades residenciales pequeñas, unidades paquete de techo, así como en los pequeños sistemas comerciales. Este tipo de compresor se utiliza en instalaciones donde el costo,

espacio disponible y costo de instalación son cuestiones más importantes que costos de operación.

Una desventaja de los compresores reciprocantes es que tienen demasiadas partes móviles, lo que significa que estas máquinas requieren demasiado mantenimiento y son menos confiables debido a potenciales fallos de los diferentes componentes; también, para mantener la eficiencia, altos ajustes son requeridos entre los pistones y las paredes de los cilindros.

El refrigerante utilizado casi exclusivamente en compresores reciprocantes para aire acondicionado es R-22, sin embargo, este refrigerante es considerado una alternativa transicional o refrigerante interino ya que contiene cloro. Ya que el R-22 tiene moléculas de alta densidad, este refrigerante posee buenas propiedades de transferencia de calor, lo que reduce el tamaño de los intercambiadores de calor y compresores. Para convertir unidades reciprocantes las mejores alternativas son refrigerantes puros, mezclas azeotrópicas y zeotrópicas con baja variación de temperatura.

- **Compresores de tornillo:**

Los compresores de tornillo son máquinas rotativas de desplazamiento positivo. Poseen dos rotores, hembra y macho, acanalados en espiral (tornillos), o un rotor accionado mecánicamente junto con un rotor libre. Conforme dan vueltas, el volumen de la cámara de refrigerante entre los tornillos es reducida, comprimiendo el refrigerante. El compresor de tornillo tiene casi un flujo constante de refrigerante y provee grandes radios de compresión. El flujo de gas en los tornillos es radial axial.

- Compresor espiral:

Es una máquina de movimiento rotatorio de desplazamiento positivo. Se usadas en pequeñas instalaciones domésticas y comerciales. El rango de tamaño es de 1,5 a 15 toneladas. Es similar al compresor de tornillo, pero el refrigerante es comprimido por la acción de dos rotores en forma de espiral, por lo regular uno es fijo y el otro móvil.

Los compresores espirales son por lo general más eficientes que otros pequeños compresores. Tienen menos partes móviles, lo que causa menos fricción y son más pequeños que los compresores recíprocos. Sin embargo, el sistema para ser eficiente requiere de tolerancias ajustadas entre las espiras.

No existen válvulas, así que no hay refrigerante que se pierda a través de las válvulas. La cámara de compresión se vacía completamente, así que no hay volumen de reexpansión como sucede con los compresores recíprocos. La admisión y descarga están físicamente separadas, así que el calor de compresión se mantiene con el gas de descarga en vez de regresar con el gas de admisión. Estos hechos resultan en eficiencias de hasta el 83 %, lo que es comparable con unidades grandes de tornillo o centrífugas.

- Compresores centrífugos:

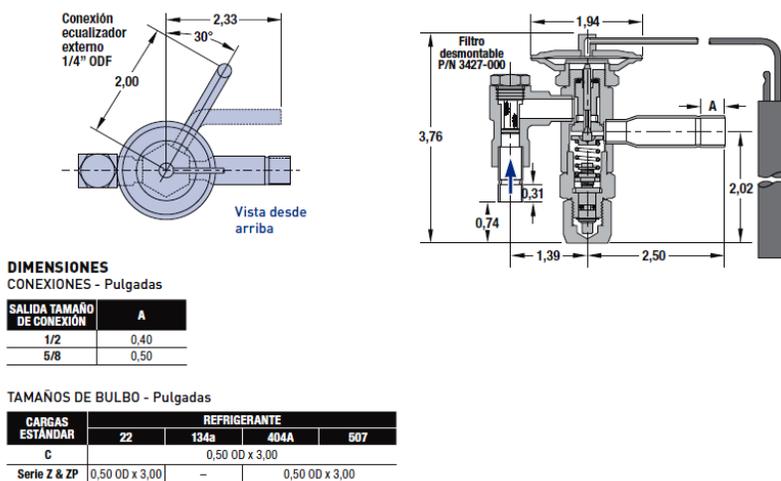
Utilizan la acción centrífuga para comprimir el refrigerante. Un compresor centrífugo, similar a una bomba o un ventilador, comprime el vapor que fluye a través de este, haciéndolo girar desde el centro de una rueda impulsora, radialmente hacia fuera a velocidades elevadas. Los compresores centrífugos tienen muy pocas partes móviles, esto reduce el mantenimiento y aumenta la confiabilidad.

### 3.1.4. Válvula de expansión termostática

La válvula de expansión termostática (VET) controla el flujo de líquido refrigerante que entra al evaporador de expansión directa (DX) manteniendo un valor constante del vapor refrigerante sobrecalentado en la salida del evaporador. La válvula VET controla la diferencia entre la temperatura actual y la de saturación del refrigerante, correspondiente a la presión de succión en el lugar del bulbo sensor, esto es el recalentamiento.

Controlando el recalentamiento, la válvula mantiene activa la mayor parte de la superficie de evaporación, evitando que el líquido refrigerante vuelva al compresor. Gracias a su capacidad de regular el flujo del refrigerante a la cantidad que puede ser evaporizada en el evaporador, la válvula es el dispositivo de expansión ideal para la mayoría de las aplicaciones de aire acondicionado y refrigeración.

Figura 20. Válvula de expansión



Fuente: *Medidas de válvulas*. [www.parker.com](http://www.parker.com). Consulta: 20 de octubre de 2016.

## **3.2. Controles automáticos del sistema de aire acondicionado**

El tipo de controladores a utilizar en un sistema dependerá de la antigüedad del equipo, tamaño, ubicación de sus compresores, costo relativo, e incluso el diseño.

Para los controles automáticos del sistema de aire acondicionado, se puede utilizar termostato presostato.

### **3.2.1. Control de temperatura o termostato**

El termostato en el aire acondicionado es un dispositivo que se emplea para mantener la temperatura en un punto determinado de un ambiente o sistema. Los mismos adquieren varias formas o tipos: pueden ser tan simples como una lámina metálica o extremadamente complejos como microprocesadores. Los termostatos vienen de varias formas: electrónicos, digitales, proporcionales, analógicos y mecánicos; dan la posibilidad de abrir o cerrar un circuito eléctrico en función de la temperatura, el mismo se encarga de mantener esta última de forma regular.

El termostato también se emplea en los sistemas de refrigeración con el objetivo de controlar el caudal de líquido refrigerante es desviado hacia el condensador; el termostato de aire acondicionado está compuesto por una válvula que maneja o acciona la temperatura. Dicha válvula se encuentra conectada que posee parafina, una sustancia muy dilatante; cuando el motor permanece frío, la válvula no se abre haciendo que el líquido vuelva por otro conducto a la bomba impulsora. La válvula recién se abrirá cuando la parafina se dilate a causa del calentamiento del motor; de esta forma el líquido se dirigirá al condensador brindando su calor a la atmósfera.

El termostato es la parte central de cualquier consola de aire acondicionado y es por eso que a la hora de comprar uno hay que tener en cuenta el nivel y la calidad del mismo, existen termostatos que son capaces de consumir hasta el 60 % más de electricidad que otros.

Cuando se instala un aire acondicionado se debe cerciorar que la unidad interior no quede muy lejos de la exterior ya que cuanto mayor es la distancia mayor será el consumo del termostato y de todo el equipo. El funcionamiento del termostato puede darse de forma deficiente siempre que se ubique cerca de focos de calor o de electrodomésticos que provoquen calor: bombilla, o generador, etc. Esto es importante ya que si no se ubica el equipo de aire acondicionado en el lugar adecuado será casi imposible que funcione de manera eficiente.

Al generar un microclima dentro de la dependencia, el cuerpo de los individuos es muy propenso a contraer dolores de garganta y pulmonares ya que al salir de este ambiente artificial, organismo choca con el ambiente exterior produciendo cambios muy significativos en el mismo, el contraste de las temperaturas puede ser nocivo.

Para dormir de una forma placentera es suficiente con regular el termostato a temperatura no inferiores a los 17 °C, aunque los niños y gente mayor suele establecerlo en 15 °C; en el caso de que haya adquirido una consola de aire acondicionado sin termostato, se recomienda instalar uno, éste será el encargado de proporciona información precisa sobre la graduación de la temperatura y si realmente lo estamos utilizando como se requiere.

- Bimetálicos: consiste en dos láminas de metal unidas, con diferente coeficiente de dilatación térmico. Cuando la temperatura cambia, la

lámina cambia de forma actuando sobre unos contactos que cierran un circuito eléctrico. Pueden ser normalmente abiertos o normalmente cerrados, cambiando su estado cuando la temperatura alcanza el nivel para el que son preparados.

Figura 21. **Termostato bimetálico**



Fuente: *Termostato bimetálico*. www. <http://refrielectric.wordpress.com>. Consulta: 15 de diciembre de 2016.

- Automáticos: regresan a su estado inicial sin necesidad de intervención humana. Actúan de una forma totalmente automática, de ahí su aplicación actual en gran parte de los hogares y los comercios.

Figura 22. **Termostato automático**



Fuente: *Termostato automático*. www. <http://refrielectric.wordpress.com>. Consulta: 18 de diciembre de 2016.

- Termostato de bajo voltaje multietapas: este termostato cuenta con un contacto por cápsula de mercurio sellada, termómetro bimetálico. Cuenta con anticipadores de calefacción y enfriamiento para dar un diferencial en la temperatura del cuarto.

Figura 23. **Termostato de bajo voltaje**



Fuente: *Termostato de bajo voltaje*. [www.emerson.com](http://www.emerson.com). Consulta: 20 de diciembre de 2016.

- Termostato universal de bajo voltaje para bomba de calor: cuenta con las características de dos etapas de calefacción y una etapa de enfriamiento. El cambio se realiza de forma manual.

Figura 24. **Termostato universal de bajo voltaje para bomba de calor**



Fuente: *Termostato de bajo voltaje*. [www.emerson.com](http://www.emerson.com). Consulta: 22 de diciembre de 2016.

- Termostato a voltaje de línea: para el control directo de abanicos de serpentines, ventiladores, arrancadores de motor, motores de circulación, contactores, válvulas para calefacción, enfriamiento.

Figura 25. **Termostato a voltaje de línea**



Fuente: Termostato de bajo voltaje. [www.emerson.com](http://www.emerson.com). Consulta: 22 de diciembre de 2016.

### 3.2.2. **Control de presión o presostato**

El presostato se utiliza para controlar la temperatura de un mueble exhibidor al controlar la presión del evaporador. Cuando la presión del evaporador y su temperatura correspondiente son demasiado altas, el presostato opera arrancado el compresor.

Figura 26. **Presostato**



Fuente: *Presostato*. [www.emerson.com](http://www.emerson.com). Consulta: 22 de diciembre de 2016.

## 4. ANÁLISIS DE LAS CONDICIONES AMBIENTALES DEL ÁREA DEL COMEDOR DE LA SUBDIRECCION GENERAL DE APOYO Y LOGISTICA

### 4.1. Condición interior de diseño

El área del comedor está diseñada para que en su interior puedan estar un máximo de cincuenta y cinco personas, con una temperatura entre 70 °F y 73 °F; además, deberá contar con una humedad relativa de 50 % a 55 %. Se usará equipo de cocina como horno de microondas y cafeteras, también, se tendrá la iluminación aceptable en el área. Todos estos equipos eléctricos generan más calor en el área de acondicionamiento, por tal motivo deben ser tomados en cuenta en el cálculo de carga térmica.

Tabla III. Descripción de consumo de los aparatos eléctricos

<b>Cantidad</b>	<b>Descripción del aparato</b>	<b>Consumo por unidad (Watts)</b>	<b>Total (Watts)</b>
3	Cafetera industrial	1 200	3 600
3	Horno microonda	1 800	5 400
24	Lámpara 2x4´	64	1 536
<b>Total</b>			<b>10 536</b>

Fuente: elaboración propia.

## 4.2. Condiciones exteriores del diseño

Para la determinación de las condiciones de diseño del exterior no se toman los datos extremos de temperatura y humedad relativa ya que se presentan durante pocos días y, por lo general, son picos de corta duración. El criterio que debe tomarse es promediar las condiciones de temperaturas extremas con las medias; lo mismo con la humedad relativa. Se tomó la información de la temperatura exterior y humedad relativa de la ciudad capital de los últimos 10 años en el Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrológica (INSIVUMEH). Las tablas nos muestran las temperaturas mínimas y máximas y el porcentaje de la humedad de la ciudad capital en los diferentes meses del año, lo cual indica que tenemos un clima variado.

La temperatura y la humedad relativa de diseño fueron tomadas del manual de la ASHRAE, y seguimos el lineamiento de los datos de diseño para las condiciones que se especifican para la ciudad capital.

Tabla IV. **Temperatura media bulbo seco en °F de la ciudad capital**

AÑO	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	TBS PROMEDIO
ENERO	18.6	17.5	19	17.4	17.4	19.8	17.4	18	16.8	18	19	16.58
FEBRERO	19.4	18.6	19.3	18.6	18.3	20.3	17.3	18.6	17.1	18.6	17.8	16.99
MARZO	19.7	19.4	20.5	18.9	20.5	20.7	19.6	19.6	19.9	18.6	24.8	18.52
ABRIL	21.6	19.3	19.4	20.8	21.7	22.2	20.9	23.6	20.3	19.8	20.6	19.18
MAYO	22.1	20.8	21.3	20.5	21.4	22.5	20.7	19.9	20.5	20.3	20.7	19.23
JUNIO	21.3	19.7	20.6	20.1	20.4	20.3	19	19.2	19.5	20.1	19	18.27
JULIO	20.6	20	20.1	19.5	21.3	20.9	19.2	20.1	20.1	21	20.3	18.59
AGOSTO	19.6	19.4	20.3	19.3	19.7	20.4	19.4	19.7	19.9	19.6	20	18.11
SEPTIEMBRE	19.5	19.3	19.4	21	20	19.6	18.3	19.5	19.2	18.9	19.7	17.87
OCTUBRE	18.1	20	19	19.4	21.1	20.5	18.5	19.4	19	17.1	20.8	17.74
NOVIEMBRE	19.2	19.6	18.6	18.3	19.4	19	17.1	18	17.3	17.9	20.1	17.04
DICIEMBRE	17.5	18.5	19.7	17	18.3	18.1	17.9	17.1	18.3	16	17.5	16.33

Fuente: GARCÍA FIGUEROA, Héctor Eduardo. *Estudio de un sistema de aire acondicionado para el área de central de equipos, del hospital San Juan de Dios.* p.52.

Tabla V. **Temperatura promedio y absoluta de la ciudad capital**

Datos estadísticos del INSIVUMEH					
Mes	Temperaturas °F				Humedad relativa %
	Promedio		Absolutas		
	Mínima	Máxima	Mínima	Máxima	
Enero	55,4	75,56	42,8	86	75
Febrero	56,48	78,08	46,04	89,78	74
Marzo	58,28	80,42	47,48	88,7	74
Abril	60,62	82,04	47,48	93,02	75
Mayo	62,06	81,14	54,14	93,02	69
Junio	62,06	78,62	57,38	88,16	83
Julio	61,16	77,54	53,78	84,38	81
Agosto	61,52	77,54	57,02	86,36	82
Septiembre	61,34	76,64	55,4	82,4	85
Octubre	60,8	76,46	53,06	83,12	83
Noviembre	58,64	75,38	50,18	85,82	81
Diciembre	56,66	74,84	47,3	83,84	77
<b>Promedio</b>	59,58	77,86	51,00	87,05	78,25

Fuente: INSIVUMEH

#### 4.3. Ubicación geográfica

La sección central se encuentra localizada en el valle de Guatemala, con una orientación de 14° al este del norte magnético.

#### 4.4. Tablas para el cálculo de carga térmica

Para los cálculos térmicos se utilizan las siguientes tablas:

Tabla VI. Factores de sombra para aleros

latitud Hora estación	24°				32°				40°			
	9 a.m	12 p.m	3 p.m	6 p.m	9 a.m	12 p.m	3 p.m	6 p.m	9 a.m	12 p.m	3 p.m	6 p.m
N	---	---	---	0.58	---	---	---	0.63	---	---	---	0.83
NE	1.89	---	---	---	2.17	---	---	---	2.13	---	---	---
E	1	---	---	---	0.97	---	---	---	0.89	---	---	---
SE	0.93	4.55	---	---	1	3.33	---	---	0.86	2.33	---	---
S	4.35	3.57	4.35	---	2.63	2.38	2.63	---	1.85	1.59	1.85	---
SO	---	4.55	0.93	---	---	3.33	1	---	---	2.33	0.86	---
O	---	---	1	---	---	---	0.97	---	---	---	0.89	---
NO	---	---	1.89	---	---	---	2.17	---	---	---	2.13	---

Fuente: CARRIER, AIR CONDITIONING COMPANY. *Carrier system designs manual*. p. 45.

Tabla VII. Ganancia por calor

latitud Hora estación	24°				32°				40°			
	9 a.m	12 p.m	3 p.m	6 p.m	9 a.m	12 p.m	3 p.m	6 p.m	9 a.m	12 p.m	3 p.m	6 p.m
N	28	37	33	12	27	36	32	14	25	34	30	15
NE	135	47	32	9	118	41	31	9	101	36	30	10
E	202	71	32	9	202	70	31	9	199	68	30	10
SE	153	83	33	9	168	107	45	9	181	131	34	10
S	32	68	48	9	41	104	71	11	59	141	98	14
SO	26	50	147	65	25	64	168	98	24	84	187	90
O	26	30	174	100	25	38	168	115	24	36	165	129
NO	26	38	153	26	25	36	82	85	24	34	65	82
horizontal	153	267	215	39	150	256	207	41	142	239	194	42

Fuente: CARRIER, AIR CONDITIONING COMPANY. *Carrier system designs manual*. p. 45.

Tabla VIII. **Factores de ganancia de calor por radiación solar a través de los vidrios**

Tipo de vidrio	Sin sombra	Con sombra
Vidrio plano ( 1/8")	1	0.64
Vidrio plano ( 1/4")	0.95	0.64
Vidrio que absorbe calor o con algún color (3/16")	0.72	0.57
Vidrio reflectivo de (1/4")	0.30-0.45	0.25-0.50
Vidrio claro con película reflectiva aplicada en el interior	0.25-0.45	0.21-0.35
Vidrios dobles	0.90	0.57
Vidrios claros (1/8")	0.83	0.57
Vidrios claros ( 1/4")	0.56	0.39

Fuente: CARRIER, AIR CONDITIONING COMPANY. *Carrier system designs manual*. p. 47.

Tabla IX. **Factores de transmisión de calor**

Tipo de vidrio	Verano		
	Sin sombra	Con sombra	Invierno
Vidrio sencillo	1.06	0.81	1.13
Vidrio doble ( 1/4")	0.61	0.52	0.65
Ventana corriente+ ventana para tormentas	0.54	0.47	0.56

Fuente: CARRIER, AIR CONDITIONING COMPANY. *Carrier system designs manual*. p. 47.

Tabla X. Factores de transmisión de calor a través de pared y techo

Construcción	Valor U	
	Verano	Invierno
<b>Estructura con laterales de madera, forro y terminado interior</b>		
Sin aislamiento	0.22	0.23
Con aislamiento R-7	0.09	0.09
Con aislamiento R-11	0.07	0.07
<b>Estructura con ladrillo de 4"</b>		
Sin aislamiento	0.24	0.24
Con aislamiento	0.09	0.09
<b>Marco con estucado de 1" foro exterior y término interior</b>		
Sin aislamiento	0.29	0.29
Con aislamiento	0.10	0.10
<b>Mampostería</b>		
8" de bloques de concreto, sin terminado	0.49	0.51
12" de bloques de concreto, sin terminado	0.45	0.47
<b>Mampostería ( con bloques de 8")</b>		
Placas forradas de asbesto-cemento (1/2") sin aislamiento	0.29	0.30
Placas forradas de asbesto-cemento con hoja delgada de metal (1/2") sin aislamiento	0.29	0.30
Láminas de aislamiento de 1" de poliestireno (R-5)	0.13	0.13
<b>Mampostería ( bloques de 8" de material volcánico)</b>		
Placas forradas de asbesto-cemento de (1/2" ) sin aislamiento	0.25	0.25
Placas forradas de asbesto-cemento con hoja delgada de metal de (1/2") sin aislamiento	0.17	0.17
Láminas de aislamiento de 1" de poliestireno (R-5) y de placas de pared de asbesto-cemento (1/2")	0.12	0.12
Mampostería (ladrillo de 4" de fachadas con bloques de material volcánico de 8" o con losas de 8" huecas de barro)		
Placas forradas de asbesto-cemento (1/2") sin aislamiento	0.22	0.22
Placas forradas de asbesto-cemento con hoja delgada de metal (1/2") sin aislamiento	0.15	0.15
Láminas de aislamiento de 1" de poliestireno R-15 y placas de pared de asbesto-cemento (1/2")	0.12	0.12
<b>Mampostería de ladrillo de 4" de fachada, ladrillo común de 4"</b>		
Placas forradas de asbesto-cemento (1/4") sin aislamiento	0.28	0.28
Placas forradas de asbesto-cemento con hoja delgada de metal (1/2") sin aislamiento	0.18	0.19
Láminas de aislamiento de 1" de poliestireno R-5 y placas de asbesto-cemento (1/2")	0.13	0.13
<b>Mampostería 8" de concreto-cemento (1/2") sin aislamiento</b>		
Placas forradas de asbesto-cemento (1/2") sin aislamiento	0.33	0.34
Placas forradas de asbesto-cemento con hoja delgada de metal (1/2") sin aislamiento	0.21	0.21

Continuación de la tabla X.

<b>Cielo falso-piso</b>		
Estructura ( losas de asfalto para piso 5/8" de triples 25/32"x subpiso de madera cielo falso terminado)		
Calor que fluye hacia arriba	0.23	0.23
Calor que fluye hacia abajo	0.20	0.19
Concreto ( losa de asfalto para piso cubierta de concreto de 4" espacio de aire cielo falso terminado)		
Calor que fluye hacia arriba	0.34	0.33
Calor que fluye hacia abajo	0.26	0.25
<b>Techo (plano, sin cielo falso terminado)</b>		
Cubierta de acero		
Sin aislamiento	0.64	0.66
Con aislamiento de 1" (R-2.78)	0.23	0.25
Con aislamiento de 2" (R-5.56)	0.15	0.16
<b>Cubierta de madera de 1"</b>		
Sin aislamiento	0.40	0.48
Con aislamiento de 1" (R-2.78)	0.19	0.21
Con aislamiento de 2" (R-5.56)	0.12	0.13
<b>Cubierta de madera 2.5"</b>		
Sin aislamiento	0.25	0.28
Con aislamiento de 1" (R-2.78)	0.15	0.16
Con aislamiento de 2" (R-5.56)	0.10	0.11
<b>Cubierta de madera de 4"</b>		
Sin aislamiento	0.17	0.18
Con aislamiento de 1" (R-2.78)	0.12	0.12
Con aislamiento de 2" (R-5.56)	0.09	0.09
<b>Techo cielo-falso</b>		
Cubierta de acero		
Sin aislamiento	0.33	0.40
Con aislamiento de 1" (R-2.78)	0.17	0.19
Con aislamiento de 2" (R-5.56)	0.12	0.13
<b>Cubierta de madera de 1"</b>		
Sin aislamiento	0.26	0.29
Con aislamiento de 1" (R-2.78)	0.15	0.16
Con aislamiento de 2" (R-5.56)	0.11	0.11
<b>Cubierta de madera de 2.5"</b>		
Sin aislamiento	0.18	0.20
Con aislamiento de 1" (R-2.78)	0.12	0.13
Con aislamiento de 2" (R-5.56)	0.09	0.10
<b>Cubierta de madera de 4"</b>		
Sin aislamiento	0.14	0.15
Con aislamiento de 1" (R-2.78)	0.10	0.10
<b>Cubierta de concreto liviano de 6"</b>		
Sin aislamiento	0.10	0.11
<b>Cubierta de concreto liviano de 8"</b>		
Sin aislamiento	0.08	0.09
<b>Cubierta de concreto pesado de 2"</b>		
Sin aislamiento	0.32	0.38
Con aislamiento de 1" (R-2.78)	0.17	0.19
Con aislamiento de 2" (R-5.56)	0.11	0.12
<b>Cubierta de concreto de 6"</b>		
Sin aislamiento	0.28	0.33
Con aislamiento de 1" (R-2.78)	0.16	0.17
Con aislamiento de 2" (R-5.56)	0.11	0.12
<b>Techo ático-cielo-falso</b>		
Sin aislamiento	0.15	0.29
Con aislamiento R-19 ( 5 ½" y 6 ½" )	0.04	0.05
<b>Pisos</b>		
<b>Losa de concreto contra el suelo</b>		
Sin aislamiento	0	50
Con aislamiento de placas de poliestireno de 1" con 2 pies profundidad o con 2 pies de ancho	0	30
<b>Piso sobre espacio no acondicionado, sin cielo-falso</b>		
<b>Estructura de madera</b>		
Sin aislamiento	0.33	0.27
Con aislamiento R-7 ( 2" y 2 ¾" )	0.09	0.08
<b>Cubierta de concreto</b>		
Sin aislamiento	0.59	0.43
Con aislamiento R-7	0.10	0.09
<b>Puertas</b>		
<b>Madera sólida</b>		
De 1" de espesor	0.61	0.64
De 1 ½" de espesor	0.47	0.49
De 2" de espesor	0.42	0.43
<b>Acero</b>		
De 1 ¾" de espesor, con interior de fibra mineral	0.58	0.59
De 1 ¾" de espesor, con interior de poliestireno	0.46	0.47
De 1" de espesor, con interior de espuma de uretano	0.39	0.40

Fuente: CARRIER, AIR CONDITIONING COMPANY. *Carrier system designs manual*. p. 50.

Tabla XI. **Diferencias equivalentes de temperatura para pared**

Construcción de la pared	Hora estándar	NE claro	E claro	SE claro	S claro	SO claro	O claro	N claro
Construcción liviana	9 a.m.	17	20	17	10	12	12	9
	mediodía	17	22	13	17	15	15	12
	3 p.m.	17	20	21	21	24	22	15
	6 p.m.	17	19	18	18	25	30	16
Construcción medio-liviana	9 a.m.	8	9	7	4	5	6	5
	mediodía	14	18	15	7	7	6	6
	3 p.m.	18	23	22	16	16	12	11
	6 p.m.	20	24	25	24	24	25	17
Construcción medio-pesada	9 a.m.	11	13	12	11	12	16	10
	mediodía	11	14	12	9	10	11	8
	3 p.m.	14	19	15	11	11	11	9
	6 p.m.	16	19	18	15	15	15	11
Construcción pesada	9 a.m.	14	16	15	14	16	17	11
	mediodía	13	15	14	13	15	16	11
	3 p.m.	13	16	15	13	14	15	10
	6 p.m.	14	16	16	13	14	15	11

Construcción de la pared	Hora estándar	NE oscuro	E oscuro	SE oscuro	S oscuro	SO oscuro	O oscuro	N oscuro
Construcción liviana	9 a.m.	28	35	29	16	18	18	14
	mediodía	27	38	38	27	24	24	17
	3 p.m.	24	29	31	32	37	34	20
	6 p.m.	23	26	26	26	41	47	21
Construcción medio-liviana	9 a.m.	12	14	11	6	8	9	7
	mediodía	25	34	27	11	9	9	10
	3 p.m.	29	35	39	28	21	18	16
	6 p.m.	30	37	39	38	41	38	22
Construcción medio-pesada	9 a.m.	14	17	16	14	18	20	12
	mediodía	17	21	19	13	15	16	11
	3 p.m.	21	28	25	16	14	17	12
	6 p.m.	25	32	30	23	23	22	15
Construcción pesada	9 a.m.	20	26	23	20	24	26	15
	mediodía	19	24	22	19	24	24	14
	3 p.m.	20	24	22	19	22	23	14
	6 p.m.	20	26	25	22	22	23	14

Fuente: CARRIER, AIR CONDITIONING COMPANY. *Carrier system designs manual*. p. 60.

Tabla XII. **Infiltración cambios por hora**

Clase de área	Verano		Invierno	
	Protección ordinaria	Sellamiento impermeable	Protección ordinaria	Sellamiento impermeable
Sin ventanas	0.30	0.15	0.5	0
Salones de entrada	1.20-1.80	0-0.90	2-3	1-1.50
Salones de recepción	1.20	0.60	2	1
Baños	1.20	0.60	2	1
Infiltración a través de ventanas	0.60	0.30	1	0.50
Pieza con 1 lado expuesto				
Pieza con 2 lados expuestos	0.90	0.45	1.5	0.75
Pieza con 3 lados expuestos	1.20	0.60	2	1
Pieza con 4 lados expuestos	1.20	0.60	2	1

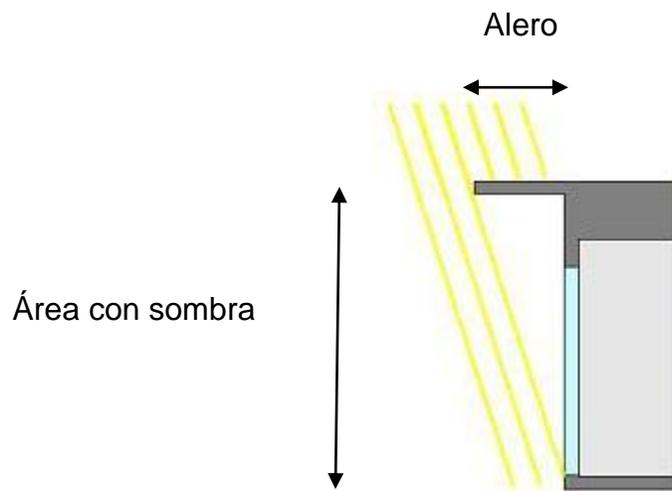
Diferencia de temperatura	Tráfico de personas (TR)							
	10	20	40	60	80	100	200	400
10	4	8	16	24	32	40	80	160
20	8	16	32	48	64	80	160	320
40	16	32	64	96	128	160	320	640
60	24	48	96	144	192	240	480	960
80	32	64	128	192	256	320	640	1280
100	40	80	160	240	320	400	800	1600

Fuente: CARRIER, AIR CONDITIONING COMPANY. *Carrier system designs manual*. p. 66.

#### 4.5. Procedimiento para el cálculo de carga térmica del área de comedor

A continuación, se describe el procedimiento para el cálculo de carga térmica para el área en estudio.

Figura 27. Área afectada por alero



Fuente: elaboración propia.

- $X = \text{factor tabla V} \times \text{longitud del alero}$   
 $X = 1 \text{ pies} \times 2,62 = 2,62 \text{ pies}$
- Área con sombra (alineal)
  - $\text{Área} = S \times \text{ancho ventana} \times \# \text{ de ventanas}$
  - $S = X - \text{altura de la viga}$
  - $S = 2,62 - 1,5 = 1,12 \text{ pies}$
  - $\text{Área} = 1,12 \times 4 \times 6 = 26,88 \text{ pies}^2$

- Área soleada (alinear)
  - Área soleada = área de ventana x # ventanas – área soleada
  - Área soleada =  $4 \times 2,35 \times 6 - 26,88 = 29,52$  pies<sup>2</sup>
  
- Ganancia calor sensible por radiación solar
  - Qs (sombra) = área de sombra x factor tabla VI (a las 9:00 a.m. con sombra localización norte) x factor ( vidrio con sombra )
  - Qs (sombra) =  $26,88 \times 28 \times 0,64 = 481,69$  BTU/ HR
  - Qs (soleada) = área soleada x factor tabla VI (a las 9:00 a.m. localización este )x factor tabla 6 (vidrio sin sombra)
  - Qs (soleada) =  $29,52 \times 202 \times 0,95 = 5 564,88$  BTU/HR
  
- Ganancia de calor por transmisión en vidrios
  - Qs = área de ventana x valor U tabla XIII (vidrio doble ¼” con sombra ) x DT
  - (TBS<sub>e</sub>-TBS<sub>i</sub>)
  - TBS<sub>e</sub>= 87 °F (temperatura de bulbo seco exterior)
  - TBS<sub>i</sub>= 70 °F (temperatura de bulbo seco interior)
  - Valor U = 0,81
  - Qs =  $4 \times 2,35 \times 6 \times 0,52 \times (87-70) = 498,57$  BTUR
  
- Área con sombra y sin sombra en paredes
  - Área sombra = (altura con sombra x longitud) – (área ventanas con sombra)
  - Área sombra =  $(2,62 \times 62,64) - (26,88) = 137,24$  pies<sup>2</sup>
  - Área soleada = (altura sin sombra x longitud) – (área de ventana sin sombra)
  - Área soleada =  $(6,89 \times 62,64) - (29,52) = 402.06$  pies<sup>2</sup>

- Ganancia calor sensible por transmisión en paredes
  - $Q_s$  (área sombra) = área sombra x (DT) x valor tabla IX
  - $DT = 7 - [(20 - (87 - 70))] = 4$
  - Valor tabla IX = estructura ladrillo 4" (verano)
  - $Q_s$  (área sombra) =  $137,24 \times 0,24 \times 4 = 131,75$  BTU/HR
  - $Q_s$  (área soleada) = área soleada x (DT) x valor tabla IX
  - $DT = 14 - [(20) - (87 - 70)] = 11$
  - Valor tabla IX = estructura ladrillo 4" (verano)
  - $Q_s$  (área soleada) =  $402,06 \times 0,24 \times 11 = 1\,061,44$  BTU/HR
  
- Ganancia de calor por transmisión en techo
  - Área de techo = (longitud) x (ancho + alero)
  - Área de techo =  $62,64 \times (41,83 + 2,62) = 2\,784,35$  pies<sup>2</sup>
  - $Q_s$  = (área) x factor tabla IX x (DT)
  - $DT =$  temperatura de la tabla X +/- [ (20) - (TBS<sub>exterior</sub>-TBS interior) ]
  - $DT = (62) +/- [(20) - (87 - 70)] = 62 - 3 = 59$
  - Valor de la tabla IX = 0,10 (cielo falso 6")
  - $Q_s = 2\,784,85 \times 0,10 \times 59 = 16\,427,67$  BTU/HR
  
- Ganancia de calor por iluminación
  - $Q_s =$  # lámparas x # tubos x vatios x factor de fluorescente
  - $Q_s = 12 \times 2 \times 64 \times 4 \times 10 = 6,297.6$  BTU/HR
  
- Ganancia de calor interna por personas
  - $Q_s =$  # de personas x factor
  - $Q_s = 55 \times 245$  BTU/HR = 13 475 BTU/HR
  - $Q_l =$  # de personas x factor
  - $Q_l = 55 \times 155$  BTU/HR = 8 525 BTU/HR

- Ganancia de calor interna por electrodomésticos
  - Qs por cafetera = factor ganancia cafetera x # cafeteras
  - Qs por cafetera =  $230 \times 3 = 690$  BTU/HR
  - Ql por cafetera= factor ganancia cafetera x # cafeteras
  - Ql por cafetera =  $70 \times 3 = 210$  BTU/HR
  - Qs por microondas = factor ganancia microondas x # microondas
  - Qs por microondas=  $1680 \times 3 = 5,040$  BTU/HR
  - Ql por microondas= factor ganancia microondas x # microondas
  - Ql por microondas=  $1120 \times 3 = 3360$  BTU/HR
  
- Ganancia de calor por infiltración o ventilación
  - Infiltración total = cambio de aire por hora + cambio de aire por puertas
  - Cambio de aire por hora = H (altura pieza) x L (longitud pieza) x W (anchura pieza) x factor tabla XI / 60
  - Valor de la tabla XI = por el tipo de área es un salón recepción tomado en verano con una protección ordinaria)
  - Cambio de aire por hora =  $9,51 \times 41,83 \times 62,64 \times 1,20 / 60 = 498,37$  Pies<sup>2</sup>/minuto
  - Tráfico de personas = # de personas / hora promedio de permanencia x # puertas
  - Tráfico de personas =  $55 / 2 \times 2 = 13,75$
  - DT = TBS<sub>e</sub> – TBS<sub>i</sub> = 17
  - Por tabla XII con DT y tráfico de personas se obtiene la infiltración en puertas= 12
  - Infiltración total =  $498,37 + 12 = 510,37$
  - Qs = infiltración total x DT x 1,08
  - Qs =  $510,37 \times 17 \times 1,08 = 9370,39$  BTU/HR
  - Ql = infiltración total x factor tabla /100

○  $QI = 510,37 \times 1221 / 100 = 6\,231,61 \text{ BTU/HR}$

$Qs \text{ total} = 58\,425,55 \text{ BTU/HR}$

$QI \text{ total} = 18\,326,61 \text{ BTU/HR}$

$Qs + QI \text{ total} = 76\,752,16 \text{ BTU/HR} \times 20 \% \text{ de seguridad} = 92\,102,59 \text{ BTU/HR}$

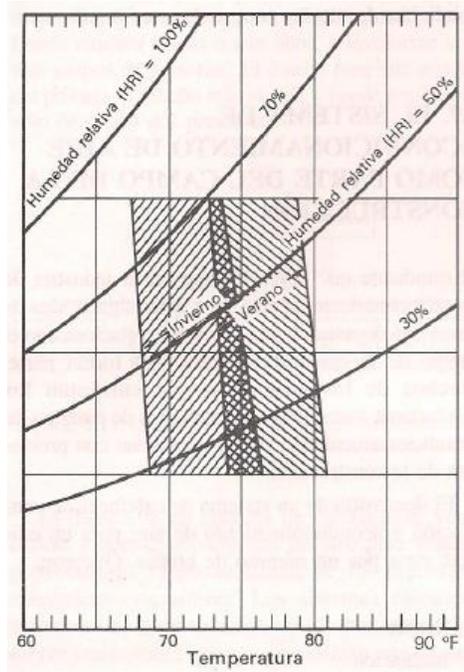
$1 \text{ tonelada} \times (92\,102,59 \text{ BTU/HR}) \times (12,000 \text{ BTU/HR}) = 7 \frac{1}{2} \text{ toneladas}$

Para el area del comedor de la subdirección general de apoyo y logística se necesita un equipo tipo paquete de 7 ½ toneladas

#### **4.6. Índices de confort**

El ser humano estará confortable bajo una variedad de combinaciones de temperatura y humedad. La mayoría de la gente está confortable en una atmosfera con una humedad relativa de entre 30 % y 70 % y una temperatura entre 70°F a 85°F. Un sistema de aire acondicionado, debe modificar las condiciones existentes, utilizando diferentes procesos para lograr las condiciones deseadas. Estos procesos se pueden moldear sobre la carta psicométrica.

Figura 28. Índice de confort



Fuente. Edwar Pita. *Acondicionamiento de aire*. p. 9.

## **5. SELECCIÓN DEL EQUIPO DE AIRE ACONDICIONADO**

### **5.1. Tipo de aire acondicionado seleccionado**

Dependiendo del tipo del sistema de refrigeración utilizado en estos sistemas, los acondicionadores de aire compactos se dividen en dos tipos: con condensador refrigerado por agua y con condensadores refrigerado por aire.

- Aire acondicionado de paquete con condensador de frío por agua:

En este aire acondicionado compacto el condensador enfría el aire con agua. El condensador utilizado en este aparato es del tipo de carcasa y tubos. El refrigerante fluye a lo largo de la parte del tubo y el agua de refrigeración fluye a lo largo del lado de la carcasa. El agua es suministrada de forma continua en estos sistemas para mantener el funcionamiento del sistema de aire acondicionado.

El condensador del tipo de carcasa y tubo es compacto y está encerrado en una carcasa única, junto con el compresor, la válvula de expansión y la unidad de tratamiento de aire, incluyendo también el serpentín de refrigeración o el evaporador. Todo este aparato de aire acondicionado empaquetado se ve externamente como una caja con un panel de control situado en el exterior.

- Aire acondicionado de paquete condensador de frío por aire:

En este aire acondicionado compacto de condensador de frío con aire, el aparato dispone de una unidad exterior que se compone de los componentes importantes como el compresor, el condensador y en algunos casos, la válvula

de expansión. La unidad exterior se puede mantener en la terraza o en cualquier otro lugar abierto en el que se disponga de libre flujo del aire atmosférico. La unidad de ventilación situada en el interior de la casa o despacho, succiona el aire exterior y lo empuja sobre la bobina de condensador para iniciar el proceso de enfriamiento. El serpentín del condensador se compone de varias vueltas de tubería de cobre. Los AA compactos con condensadores enfriados por aire se utilizan con más frecuencia que los AA con condensadores enfriados con agua, ya que el aire es de libre acceso, pero es difícil mantener el flujo continuo del agua.

La unidad de refrigeración comprende la válvula de expansión, el evaporador, el ventilador de tratamiento de aire y el filtro, esta unidad se encuentra en el suelo o colgado en el techo. Los conductos procedentes de la unidad de refrigeración están conectados a las distintas habitaciones que han de ser enfriadas.

Figura 29. **Aire acondicionado tipo paquete**



Fuente: *Tipos de aire acondicionado*. [www.carrier.com](http://www.carrier.com). Consulta: 20 abril de 2014.

### **5.1.1. Equipo de aire acondicionado tipo paquete**

Estos aires acondicionados son de tipo central, sus unidades están autocontenida, es decir, el condensador y el evaporador se encuentran en el

mismo sistema y el aire se distribuye a través de ductos. Los elementos o componentes más importantes de un equipo de aire acondicionado son:

- Compresor
- Moto-ventilador condensador
- Condensador
- Válvula termostática
- Evaporador
- Moto-ventilador evaporador

En algunas ocasiones el motor impulsa al ventilador del condensador y el del evaporador. El ventilador del condensador es axial de aspas y el del evaporador puede ser de aspas (axial) o centrífugo.

- Dispositivos de la unidad compresora:
  - Compresor.
  - Conductos de aspiración.
  - Conductos de descarga.
  - Conductos de servicio.
  - Caja de alimentación o energía eléctrica.
  - El conducto de aspiración es la que admite el paso del gas a baja presión al compresor.
  - El conducto de descarga, como su nombre lo indica, descarga el gas a alta presión al condensador.
  - El conducto de servicio permite la medición de presiones del equipo para verificar el funcionamiento correcto del circuito.
  - La caja eléctrica provee la corriente al motor del compresor.
  
- Dispositivos de la unidad condensadora:

- Rejilla protectora.
- Serpentín condensador.
- Rejilla de salida del aire (aire que ya ha pasado por el serpentín condensador).
- Compresor.
- Moto-ventilador.
- Fijador o soporte del motor.

La rejilla protectora es el elemento que ayuda a proteger al serpentín condensador, especialmente a las laminillas o intercambiadores, que son muy frágiles a cualquier golpe.

El serpentín condensador está formado por aletas acanaladas y tubería de cobre estriada en su interior.

El moto-ventilador (compuesta por el ventilador en sí y su motor de impulsión) tiene la función de hacer pasar el aire a través del serpentín y descargarlo al aire del ambiente.

- Dispositivos de la unidad evaporadora:
  - Carcasa del ventilador centrífugo
  - Moto-ventilador
  - Panel obturador (compuerta de tiro)
  - Válvula termostática
  - Serpentín evaporador
  - Bandeja de drenaje

La carcasa del ventilador centrífugo es el elemento en el cual se encuentra el moto-ventilador. Tiene la función de dirigir el caudal de aire hacia los ductos.

El moto-ventilador es el encargado de impulsar el aire acondicionado hacia los ductos de suministro.

La compuerta de tiro ejerce la función de regular el caudal requerido por cierto recinto o área.

La bandeja de condensado es el elemento que retiene el líquido condensado del ambiente (agua) y luego lo descarga por medio de la tubería de drenado.

El tubo de drenaje es el encargado de evacuar el líquido que se aloja en la bandeja de drenado, este líquido va a perderse al desagüe principal del edificio, esta tubería por lo general es de PVC.

El serpentín evaporador es el encargado de quitar el calor al aire del recinto que se desee acondicionar. Es el lugar donde se evapora el refrigerante.

- Ductos: los ductos son pasajes provistos para dirigir (transportar) el aire desde la unidad acondicionadora hasta el espacio que se ha de acondicionar. Se construyen generalmente de metal. El material que más se utiliza en los sistemas de ductos es lámina galvanizada. El aluminio y el hierro aluminizado son también muy comunes

### 5.1.2. Especificaciones técnicas del equipo

Estos equipos se instalan en el exterior, generalmente en losa de techo. Las dimensiones varían respecto a la capacidad del equipo seleccionado. Las más usadas son de 3 TR a 30 TR. A continuación, se presentan las dimensiones según la capacidad del equipo.

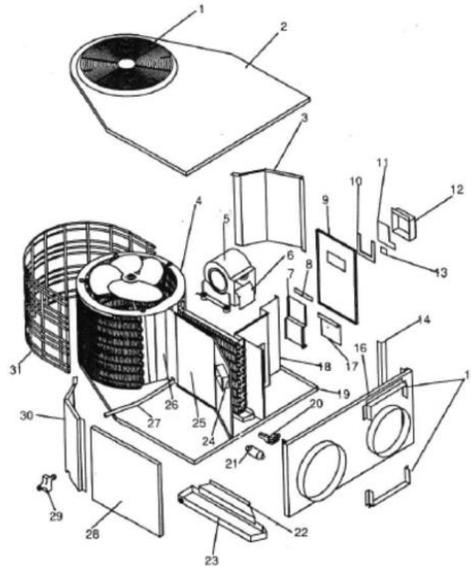
Tabla XIII. **Medidas y capacidades de sistema tipo paquete**

CAPACIDAD	LARGO	ANCHO	ALTO
3.0TR - 6.0TR	1.90m	1.20m	0.90m
7.5TR- 12.5TR	2.30m	1.50m	1.30m
15.0TR- 25.0TR	2.30m	2.20m	1.30m

Fuente: elaboración propia.

A continuación se presentan las especificaciones del equipo seleccionado:

Figura 30. **Componentes sin movimiento del equipo paquete**

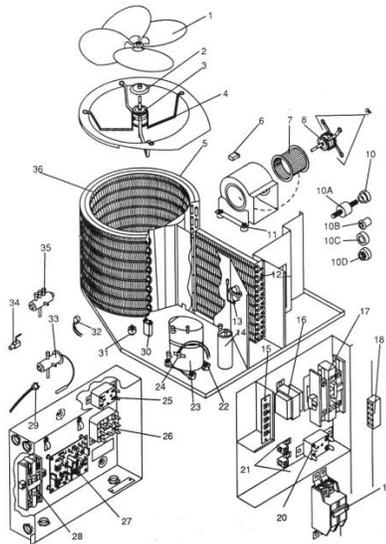


Listado de los componentes

- |  |                                       |
|--|---------------------------------------|
| 1. Rejilla de salida de aire del condensador | 16. Panel donde se acoplan los ductos |
| 2. Panel superior                            | 17. Panel tapador                     |
| 3. Panel o tapa del lado derecho             | 18. Mamparo del soplador              |
| 4. Serpentín condensador                     | 19. Panel de base                     |
| 5. Carcasa del ventilador                    | 20. Tubo de caída                     |
| 6. Panel obturador                           | 21. Soporte de arranque               |
| 7. Caja de control                           | 22. Desviador de agua                 |
| 8. Placa o lámina de soporte                 | 23. Bandeja de condensado             |
| 9. Puerta de radiación de calor              | 24. Caja de control                   |
| 10. Pestaña contra el agua                   | 25. Panel de accesorios               |
| 11. Lámina adaptadora                        | 26. Panel divisor                     |
| 12. Puerta separadora                        | 27. Tubo de drenaje                   |
| 13. Lámina adaptadora                        | 28. Panel de acceso al compresor      |
| 14. Soporte del lado izquierdo               | 29. Trampa de drenaje                 |
| 15. Pestaña de ducto                         | 30. Panel del lado izquierdo          |

Fuente: Manual del fabricante. Residential and mobile home package. p 20.

Figura 31. Partes del equipo paquete que contienen movimiento



1. Aspas del ventilador	19. Interruptor automático del circuito contactor
2. Eslinga	20. Relevador
3. Motor del ventilador del condensador	21. Tierra del circuito
4. Elemento de montaje del motor	22. Montaje del compresor
5. Anillo exterior del condensador	23. Compresor
6. Capacitor	24. Alimentación de corriente eléctrica
7. Ventilador	25. Relevador
8. Motor del ventilador del evaporador	26. Relevador de descongelo
9. Elemento de montaje del motor	27. Control de descongelo
10. Rotor del motor	28. Contactor
11. Montaje de la carcasa del moto-ventilador	29. Sensor de deshielo
12. Serpentín evaporador	30. Capacitor
13. Interruptor de alta presión	31. Arrancador
14. Capacitor	32. Solenoide del ventilador
15. Caja de bajo voltaje	33. Válvula de expansión
16. Transformador	34. Válvula cheque
17. Bloque de terminales de alto voltaje	35. Válvula de reversa
18. Terminales del moto-ventilador	36. Serpentín condensador

Fuente: Manual del fabricante. *Residential and mobile home package*. p. 22.

### 5.1.3. Aplicaciones

Las unidades compactas se aplican a uso residencial, industrial y comercial. En la primera aplicación se encuentran aquellas cuyo objetivo

primordial sería el confort humano, enfriamiento en verano o calentamiento (calefacción) en invierno.

En la aplicación comercial se incluye, además del confort humano, otros procesos en los cuales se desea mantener cierta temperatura: industria farmacéutica, confitería, proceso de café instantáneo, en el enfriamiento de maquinaria, entre otros.

Dentro del uso del enfriamiento para proceso están: cuartos para computadoras electrónicas que deben ser muy controlados en temperatura y humedad; cintas y tarjetas requieren condiciones uniformes; diseños corrientes de computadores requieren que se retiren grandes cantidades de calor. Los cuartos limpios para todo tipo de herramientas, instrumentos y manufactura de precisión crítica deben mantener condiciones con bajas tolerancias para proteger la precisión dimensional, ajuste, medidas. La presencia ligera de polvo o una amplia variación de la temperatura y humedad, puede a causar contactos erráticos en una comunicación telefónica. La industria de drogas es uno de los mayores usuarios del aire acondicionado industrial, entre otros.

## **5.2. Diseño del sistema de ductos para el área del comedor**

La finalidad de un sistema de ductos es suministrar la cantidad específica de aire con una presión adecuada para los difusores en el área o espacio acondicionado. Con esto se busca asegurar que la carga del espacio acondicionado sea absorbida y que ocurra un apropiado movimiento dentro del espacio en los que será liberado. Al utilizar un método adecuado para definir las rutas y el tamaño de los ductos, se obtendrá un sistema razonable y silencioso.

### 5.2.1. Cálculo de ductería por medio de tablas

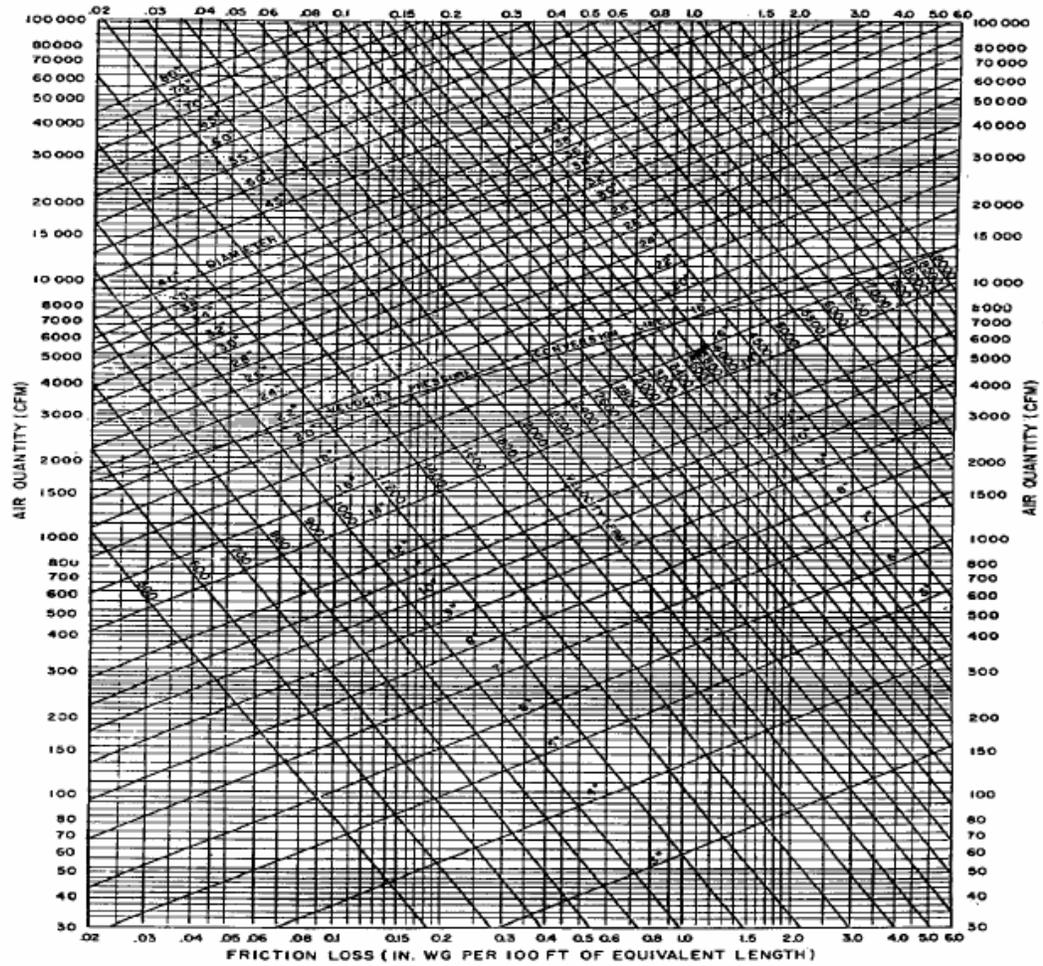
Para el cálculo de la ductería se utilizan diferentes tablas según el tipo de ducto

Tabla XIV. Velocidades recomendadas para el cálculo de ductería

Componente	Velocidades recomendadas, ft/min			Velocidades máximas, ft/min		
	Residencias	Escuelas, teatros, edificios públicos	Construcciones industriales	Residencias	Escuelas, teatros, edificios públicos	Construcciones industriales
Entradas de aire exterior <sup>a</sup>	500	500	500	800	900	1200
Filtros <sup>b</sup>	250	300	350	300	350	350
Serpentines de calentamiento <sup>a</sup>	450	500	600	500	600	700
Lavadores de aire	500	500	500	500	500	500
Conexiones de succión	700	800	1000	900	1000	1400
Descargas de ventilador	1000 – 1600	1300 – 2000	1600 – 2400	1700	1500 – 2200	1700 – 2800
Ductos principales	700 – 900	1000 – 1300	1200 – 1800	800 – 1200	1100 – 1600	1300 – 2200
Ductos de ramal	600	600 – 900	800 – 1000	700 – 1000	800 – 1300	1000 – 1800
Subidas de ramal	500	600 – 700	800	650 – 800	800 – 1200	1000 – 1600

Fuente: EDWARD G, Pita. *Acondicionamiento de aire principios y sistemas Estados Unidos*. p.

Figura 32. Ducto redondo



Fuente: Carrier, Air Conditioning Company, Carrier system designs manual  
Estados Unidos, 2000.

Figura 33. Ducto rectangular

SIDE	6		8		10		12		14		16		18		20		22	
	Area sq ft	Diam in.																
10	.39	6.4	.52	9.8	.65	10.9												
12	.45	9.1	.62	10.7	.77	11.9	.94	13.1										
14	.52	9.8	.72	11.5	.91	12.9	1.09	14.2	1.28	15.3								
16	.59	10.4	.81	12.2	1.02	13.7	1.24	15.1	1.45	16.3	1.67	17.5						
18	.66	11.0	.91	12.9	1.15	14.5	1.40	16.0	1.63	17.3	1.87	18.5	2.12	19.7				
20	.72	11.5	.99	13.5	1.26	15.2	1.54	16.8	1.81	18.2	2.07	19.5	2.34	20.7	2.61	21.9		
22	.78	12.0	1.08	14.1	1.38	15.9	1.69	17.6	1.99	19.1	2.27	20.4	2.57	21.7	2.86	22.9	3.17	24.1
24	.84	12.4	1.16	14.6	1.50	16.6	1.83	18.3	2.14	19.8	2.47	21.3	2.78	22.6	3.11	23.9	3.43	25.1
26	.89	12.8	1.26	15.2	1.61	17.2	1.97	19.0	2.31	20.6	2.66	22.1	3.01	23.5	3.35	24.8	3.71	26.1
28	.95	13.2	1.32	15.6	1.71	17.7	2.09	19.6	2.47	21.3	2.86	22.9	3.25	24.4	3.60	25.7	4.00	27.1
30	1.01	13.6	1.41	16.1	1.82	18.3	2.22	20.2	2.64	22.0	3.06	23.7	3.46	25.2	3.89	26.7	4.27	28.0
32	1.07	14.0	1.48	16.5	1.92	18.8	2.36	20.8	2.81	22.7	3.25	24.4	3.68	26.0	4.12	27.5	4.55	28.9
34	1.13	14.4	1.58	17.0	2.03	19.3	2.49	21.4	2.96	23.3	3.43	25.1	3.89	26.7	4.37	28.3	4.81	29.7
36	1.18	14.7	1.65	17.4	2.14	19.8	2.61	21.9	3.11	23.9	3.63	25.8	4.09	27.4	4.58	29.0	5.07	30.5
38	1.23	15.0	1.73	17.8	2.25	20.3	2.76	22.5	3.27	24.5	3.80	26.4	4.30	28.1	4.84	29.8	5.37	31.4
40	1.28	15.3	1.81	18.2	2.35	20.7	2.88	23.0	3.43	25.1	3.97	27.0	4.52	28.8	5.07	30.5	5.62	32.1
42	1.33	15.6	1.86	18.5	2.43	21.1	2.98	23.4	3.57	25.6	4.15	27.6	4.71	29.4	5.31	31.2	5.86	32.8
44	1.38	15.9	1.95	18.9	2.52	21.5	3.11	23.9	3.71	26.1	4.33	28.2	4.90	30.0	5.55	31.9	6.12	33.5
46	1.43	16.2	2.01	19.2	2.61	21.9	3.22	24.3	3.88	26.7	4.49	28.7	5.10	30.6	5.76	32.5	6.37	34.2
48	1.48	16.5	2.09	19.6	2.71	22.3	3.35	24.8	4.03	27.2	4.65	29.2	5.30	31.2	5.97	33.1	6.64	34.9
50			2.16	19.9	2.81	22.7	3.46	25.2	4.15	27.6	4.84	29.8	5.51	31.8	6.19	33.7	6.87	35.5
52			2.22	20.2	2.91	23.1	3.57	25.6	4.30	28.1	5.00	30.3	5.72	32.4	6.41	34.3	7.14	36.0
54			2.29	20.5	2.98	23.4	3.71	26.1	4.43	28.5	5.17	30.8	5.90	32.9	6.64	34.9	7.38	36.8
56			2.38	20.9	3.09	23.8	3.83	26.5	4.55	28.9	5.31	31.2	6.08	33.4	6.87	35.5	7.62	37.4
58			2.43	21.1	3.19	24.2	3.94	26.9	4.68	29.3	5.48	31.7	6.26	33.9	7.06	36.0	7.87	38.0
60			2.50	21.4	3.27	24.5	4.06	27.3	4.84	29.8	5.65	32.2	6.50	34.5	7.26	36.5	8.12	38.6
62			2.64	22.0	3.46	25.2	4.24	27.9	5.10	30.6	5.91	33.1	6.87	35.5	7.71	37.6	8.59	39.7
64					3.63	25.8	4.49	28.7	5.37	31.4	6.26	33.9	7.18	36.3	8.12	38.6	9.03	40.7
66					3.83	26.5	4.71	29.4	5.69	32.2	6.60	34.8	7.54	37.2	8.50	39.5	9.52	41.8
68					4.09	27.4	4.91	30.0	5.86	32.8	6.83	35.4	7.95	38.2	8.90	40.4	9.98	42.8
70					4.15	27.6			5.17	30.8	6.15	33.6	7.22	36.4	8.29	39.0	9.21	41.1
72									5.41	31.5	6.41	34.5	7.54	37.3	8.55	39.6	9.75	42.3
74									5.58	32.0	6.64	34.9	7.87	38.0	8.94	40.5	10.1	43.1
76																		
78																		
80																		
82																		
84																		
86																		
88																		
90																		
92									5.79	32.6	6.91	35.6	8.12	38.6	9.39	41.5	10.4	43.8
94									5.90	33.0	7.14	36.2	8.40	39.2	9.70	42.1	10.8	44.5
96																		
98																		
100																		
102																		
104																		
106																		
108									7.60	37.4	8.90	40.5	10.3	43.5	11.6	46.2	13.0	48.8
110									7.90	38.0	9.20	41.2	10.6	44.0	12.0	47.0	13.4	49.6
112									8.10	38.6	9.50	41.8	10.9	44.7	12.3	47.5	13.6	50.3
114																		
116																		
118																		
120																		
122																		
124																		
126																		
128																		
130																		
132																		
134																		
136																		
138																		
140																		
142																		
144																		
146																		
148																		
150																		
152																		
154																		
156																		
158																		
160																		
162																		
164																		
166																		
168																		
170																		
172																		
174																		
176																		
178																		
180																		
182																		
184																		
186																		
188																		
190																		
192																		
194																		
196																		
198																		
200																		

\*Circular equivalent diameter (d<sub>c</sub>). Calculated from  $d_c = 1.3 \frac{(ab)^{0.625}}{(a+b)^{0.25}}$  [Large numbers in table are duct class.]

Fuente: Carrier, Air Conditioning Company, Carrier system designs manual  
Estados Unidos, 2000.

Tabla XV. **Dimensiones de suministro**

<b>Ductos de suministro</b>	<b>SECCIÓN DEL DUCTO</b>		
	<b>A-B</b>	<b>B-C</b>	<b>C-D</b>
Caudal	2200	1200	600
Velocidad del ducto	1400	1200	1000
Ancho x alto de ducto rectangular	21x12	12x12	12x8
Tasa de fricción/100 pies	0.16	0.16	0.16
Dimensión del difusor	12x12	12x12	12x12
Deflexión del difusor	20 ° - 45 °	20 ° - 45 °	20 ° - 45 °

Fuente: elaboración propia.

Tabla XVI. **Dimensiones de retorno**

<b>Ductos de retorno</b>	<b>SECCIÓN DEL DUCTO</b>
	<b>Único ducto</b>
Caudal	2200
Velocidad del ducto	1200
Ancho x alto de ducto rectangular	26x12
Tasa de fricción/100 pies	0.1

Fuente: elaboración propia.

### **5.2.2. Sistema de ductos de retorno**

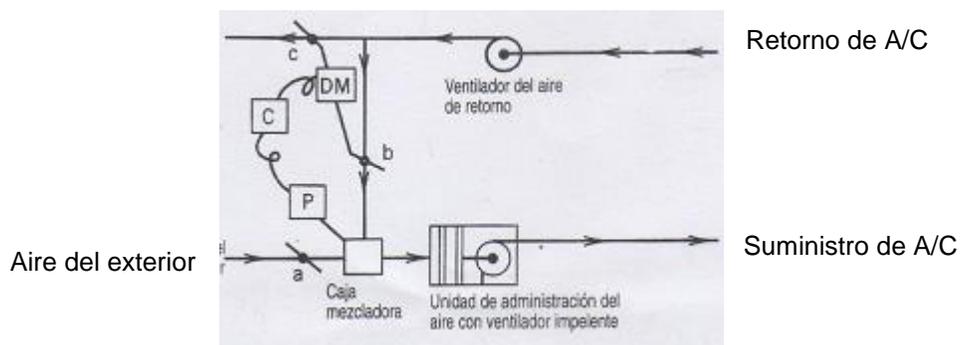
El propósito del sistema de ductos es suministrar una cantidad específica de aire con una presión predeterminada a los difusores de cada espacio acondicionado.

### **5.2.3. Aire de renovación**

El diseño y control de la parte de sistema de ducto que maneja el aire de retorno, el aire de salida, el aire del exterior y el aire recirculado es una

consideración importante. Independientemente del tipo de sistema utilizado, se requiere de una cantidad fija de aire del exterior para satisfacer los requerimientos de calidad de aire interior. Esto es más difícil con los sistemas de volumen de aire variable (VAV) que con los sistemas de flujo constante. Independientemente del tipo de sistema de volumen de aire variable o de flujo constante, siempre fluirá una cantidad fija de aire a través del ducto de reposición de aire hacia la caja de mezclado, si es constante el diferencial de presión entre el exterior y la caja de mezclado. Generalmente es necesario utilizar un ventilador en la parte del aire de retorno para asegurar la operación apropiada del sistema con un caudal necesario.

Figura 34. **Sistema de aire de reposición**



Fuente: MCQUISTON. Parker. *Splitter, Calefacción, ventilación y aire acondicionado*, p. 59.

#### 5.2.4. Difusores de aire

Las principales funciones de la difusión de aire en un espacio son:

- Introducción del aire en el local
- Homogeneización
- Evitar estratificaciones

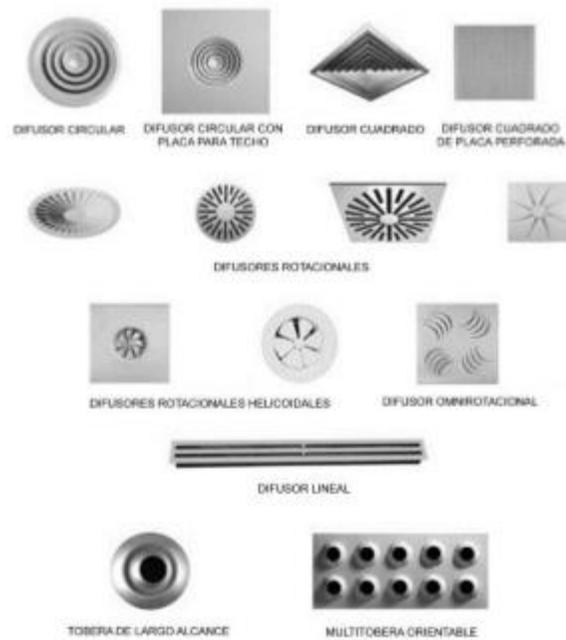
- Compensación de cargas térmicas

En cuanto a la temperatura, una vez establecidas las condiciones interiores, el sistema de distribución de aire debe estar proyectado para mantener la temperatura dentro de los límites establecidos. Hay cuatro tipos de difusores de aire.

- Parrillas y registros: estos dispositivos consisten de un marco y barras paralelas que pueden ser fijas o ajustables. Las barras sirven para desviar el suministro de aire en la dirección en la que se dispongan; son ajustables para el alcance y dispersión del aire. Existen parrillas con dos juegos de barras en ángulo recto entre sí: parrillas de doble deflexión; permiten el control de la distribución del aire en ambas direcciones, si es necesario. Las parrillas con compuertas de control de flujo detrás de las barras se llaman registros.
- Difusores de cielo raso: estos dispositivos consisten, en general, de una serie de anillos concéntricos separados o persianas con un collarín o cuello para conectarlas con el ducto. Pueden ser redondos, cuadrados o rectangulares. Además de los que distribuyen el aire por igual en todas direcciones, se pueden diseñar para distribuirlo en una dirección determinada. Se consiguen también difusores de cielo raso en forma de tablero perforados. A veces se usa este tipo porque combina arquitectónicamente con la apariencia de un cielo raso de tableros suspendidos.
- Difusores de ranura: es una salida larga en forma de banda con una o más aberturas angostas dependiendo del número de barras o persianas.

- Cámaras plenas de cielo raso: estas unidades de techo se consiguen con ranuras o perforaciones en la mayor parte o en la totalidad del cielo raso. El espacio sobre el cielo se usa como una gran cámara a través de la cual se suministra el aire. De esta forma se puede distribuir uniformemente por todo el espacio por acondicionar.

Figura 35. **Difusores comúnmente usados**

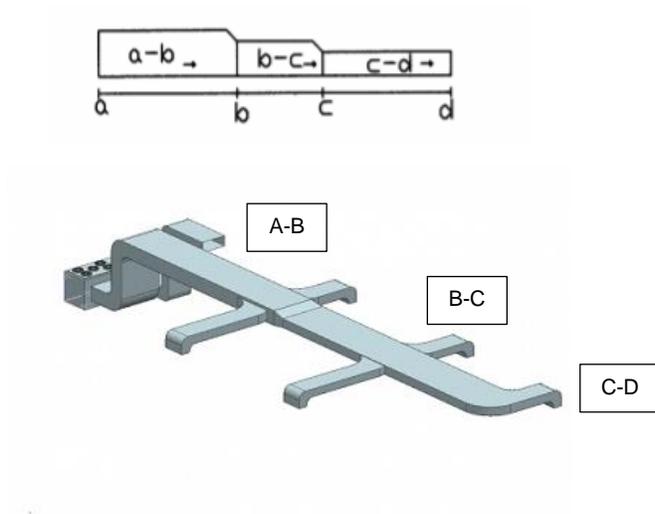


Fuente. *Tipos de difusores*. <http://www.trox.es/>. Consulta: 10 de noviembre de 2016.

### 5.2.5. Esquema de la distribución del aire a través del sistema de ductos

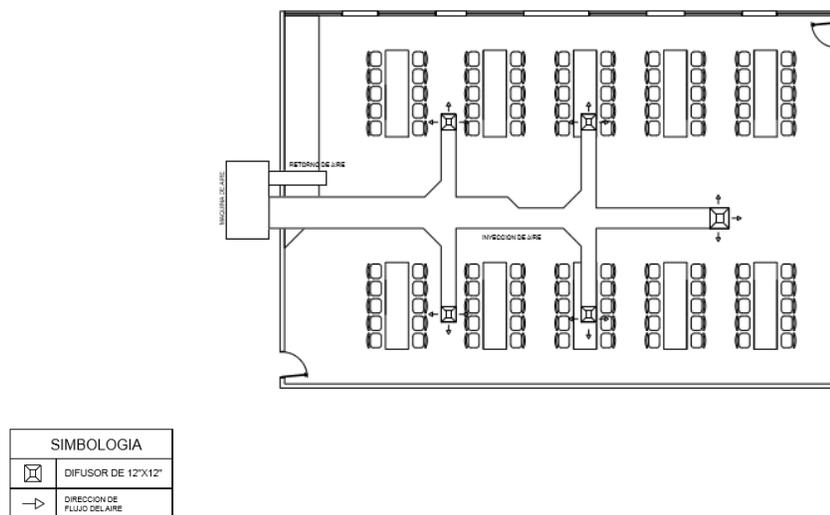
Se presentan el esquema de distribución del aire en el área en estudio.

Figura 36. Esquema de ductos rígidos en el área de comedor



Fuente: elaboración propia, empleando Adobe Ilustrador

Figura 37. Distribución de ductos en área de comedor



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.



## CONCLUSIONES

1. El estudio físico del local y el cálculo de carga térmica son los principales pasos en el diseño de aire acondicionado para poder seleccionar el equipo.
2. La carga térmica externa se transmitirá al edificio por las ventanas, paredes y terraza. Según su ubicación y posición geográfica, los rayos solares penetrarán en la mañana y por la tarde. Se obtuvieron datos estadísticos del INSIVUMEH de los últimos 10 años, dando confiabilidad a los datos calculados para la obtención de la capacidad térmica del área por condicionar.
3. El estudio y evaluación de los factores generadores de calor ayudará a determinar la capacidad y el tipo de equipo acondicionador que mejor se adapte al área de central de equipos.
4. El dimensionamiento de la ductería fue realizado con el método de igual fricción, un método práctico donde se relaciona un valor constante para todas las secciones del ducto del sistema y se basa en la velocidad máxima permisible en el ducto principal que sale del ventilador para evitar demasiado ruido.



## RECOMENDACIONES

1. Crear un programa de mantenimiento que contemple suplanificación, organización, dirección y control para evitar la disminución de la vida de los equipos de aire acondicionado.
2. Al personal de mantenimiento, recibir y aplicar los cursos de capacitación y seminarios para actualizar sus conocimientos de mantenimiento y operación de los equipos de aire acondicionado.
3. Asegurar un ambiente térmicamente estable no es solo lo que se busca en el en aire acondicionado sino mantener un aire libre de contaminantes que puedan dañar la salud de los trabajadores, por lo que se debe seleccionar un filtro capaz de atrapar todas las partículas (por muy pequeñas que fueran), asegurándose de dar el confort necesario y un ambiente saludable.
4. Evitar la instalación de ductería sobre equipos eléctricos o en lugares que puedan ser peligrosos para los técnicos que realicen trabajos de mantenimiento.



## BIBLIOGRAFÍA

1. CARRIER, AIR CONDITIONING COMPANY. *Carrier system designs manual*. [en línea]. <  
<http://www.carrieruniversity.com/en/us/courses-materials/materials/carrier-system-design-manuals/>>. [Consulta: 25 de November de 2016].
2. CENGEL, Yunes A.; BOLES, Michael A. *Termodinámica*. 7a ed. México: McGraw Hill, 2012. 852 p.
3. EDWARD G, Pita. *Acondicionamiento de aire principios y sistemas*. México: Continental, 1994. 342 p.
4. MCQUINSTON, Faye C.; PARKER, Jerald D.; Splitter, Jeffrey D. México: Limusa, 2003. 140 p.
5. STEPHEN, Elena Michael. *Refrigeración y Acondicionamiento de aire: preguntas y respuestas*. México. McGraw Hill, 1997. 157 p.
6. WILEY John. *Calefacción, ventilación y aire acondicionado*. México: Limusa, 2003. 203 p.

